

DESAIN ROBOT PEMILAH SAMPAH LINGKARAN MENGGUNAKAN VISI KOMPUTER DENGAN KENDALI PID

Rikza Khamami¹, Yani Prabowo², Jan Everhard Riwurohi³, Irawan⁴

^{1,2} Sistem Komputer, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Budi Luhur, Kota Jakarta Selatan, Indonesia

Email: ¹2113500033@student.budiluhur.ac.id, ²yani.prabowo@budiluhur.ac.id, ³jan.everhard@budiluhur.ac.id, ⁴irawan@budiluhur.ac.id

Abstrak- Permasalahan pengelolaan sampah di Indonesia, khususnya pada tahap pemilahan manual, masih menjadi tantangan besar karena prosesnya memakan waktu lama, memerlukan tenaga kerja yang cukup banyak, serta rentan terhadap kesalahan akibat kelelahan dan ketidaktepatan manusia. Kondisi ini berdampak pada rendahnya kualitas hasil pemilahan, meningkatnya volume sampah yang tidak dapat diolah kembali, dan berkurangnya efisiensi proses daur ulang. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengembangkan robot pemilahan sampah otomatis berbasis *computer vision* yang mampu mengklasifikasikan dan memindahkan sampah secara cepat dan akurat berdasarkan jenisnya. Sistem ini menggunakan algoritma *You Only Look Once* versi 8 (*YOLOv8*) yang dikenal memiliki akurasi tinggi dalam deteksi objek secara *real-time*, dikombinasikan dengan *OpenCV* untuk pengolahan citra, serta *Arduino Mega 2560* sebagai pengendali utama *motor servo*, *motor DC*, dan pompa vakum. Pengujian dilakukan pada kondisi pencahayaan 23–115 lux untuk mengukur akurasi klasifikasi sampah plastik, kertas, daun, dan logam. Hasilnya menunjukkan akurasi di atas 80% untuk sebagian besar kategori, meskipun performa menurun pada cahaya sangat rendah. Robot juga dilengkapi sensor ultrasonik untuk navigasi dan modul *relay* untuk pengendalian daya, memungkinkan operasi mandiri dalam berbagai kondisi lingkungan. Implementasi sistem ini membuktikan peningkatan efisiensi pemilahan sekaligus membuka peluang pengembangan teknologi pengelolaan sampah cerdas yang terintegrasi dengan IoT dan pembelajaran adaptif di masa depan.

Kata Kunci: *computer vision*, robot pemilahan sampah, *YOLOv8*, klasifikasi sampah, otomatisasi

CIRCULAR WASTE-SORTING ROBOT DESIGN USING COMPUTER VISION WITH PID CONTROL

Abstract- The issue of waste management in Indonesia, particularly in the manual sorting stage, remains a major challenge due to the time-consuming nature of the process, the significant labor requirements, and the susceptibility to errors caused by human fatigue and carelessness. This situation results in low-quality sorting outcomes, increased volumes of non-recyclable waste, and reduced efficiency in the recycling process. To address this issue, this study developed an automated waste sorting robot based on computer vision technology capable of quickly and accurately classifying and moving waste based on its type. The system uses the *You Only Look Once* version 8 (*YOLOv8*) algorithm, known for its high accuracy in real-time object detection, combined with *OpenCV* for image processing, and an *Arduino Mega 2560* as the main controller for servo motors, DC motors, and vacuum pumps. Testing was conducted under lighting conditions ranging from 23 to 115 lux to measure the accuracy of classifying plastic, paper, leaves, and metal waste. The results showed accuracy above 80% for most categories, although performance decreased under very low light conditions. The robot is also equipped with ultrasonic sensors for navigation and a relay module for power control, enabling autonomous operation in various environmental conditions. The implementation of this system demonstrates improved sorting efficiency while opening opportunities for the development of smart waste management technology integrated with IoT and adaptive learning in the future.

Keywords: *computer vision*, trash-sorting robot, *YOLOv8*, waste classification, automation

1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan salah satu masalah lingkungan utama yang dihadapi banyak negara, termasuk Indonesia. Volume dan ragam sampah di Indonesia terus meningkat seiring pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi. Menurut data Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) tahun 2021, total timbulan sampah di Indonesia mencapai 24,67 juta ton per tahun; meskipun terdapat penurunan sebesar 13,38% (sekitar 3,3 juta ton) dibandingkan tahun sebelumnya, kapasitas pengelolaan sampah nasional baru mencapai 50,43% atau sekitar 12,44 juta ton per tahun[1]. Kondisi ini menunjukkan kebutuhan mendesak akan solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah.

Salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah otomatisasi proses pemilahan sampah berbasis teknologi penglihatan komputer (*computer vision*). Sistem berbasis *computer vision* memungkinkan robot untuk mendeteksi, mengklasifikasikan, dan merespons objek secara visual melalui pengolahan citra *digital*, sehingga mempercepat dan meningkatkan konsistensi proses pemilahan dibandingkan metode kerja manual.

Penelitian ini mengembangkan sebuah prototipe robot pemilah sampah otomatis yang mengintegrasikan beberapa komponen utama: komputer sebagai unit pemroses citra, *Arduino Mega 2560* untuk pengendalian aktuator, *webcam* untuk akuisisi gambar, sensor ultrasonik untuk pengukuran jarak, serta aktuator (*motor DC*, *motor servo*), *driver motor L298N*, *step-down converter*, dan modul *relay*. Kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak tersebut diharapkan dapat menghasilkan sistem yang efisien, andal, dan mudah diimplementasikan pada skala prototipe laboratorium.

Lingkup penelitian dibatasi pada penggunaan *dataset* gambar sampah yang telah dilabeli, pengujian pada kondisi pencahayaan stabil, operasi di permukaan datar, dan pengembangan dalam skala prototipe laboratorium (bukan skala industri). Fokus penelitian meliputi perancangan dan konstruksi robot, penerapan algoritma deteksi dan klasifikasi sampah, serta evaluasi kinerja sistem dalam kondisi eksperimental riil.

Metode deteksi objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah *YOLOv8*, yang dipilih karena kemampuannya menyeimbangkan kecepatan dan akurasi — karakteristik penting untuk aplikasi yang bersifat *time-critical* seperti pemilahan sampah, di mana keterlambatan deteksi secara langsung mempengaruhi respons dan gerakan robot[2]. Untuk operasi pemrosesan citra tambahan—seperti deteksi warna pada tempat sampah—penelitian memanfaatkan pustaka *OpenCV* yang menyediakan beragam fungsi pemrosesan citra dan utilitas *computer vision* yang komprehensif[3].

Dalam aspek mekanik dan aktuasi, digunakan *arm robot* sebagai mekanisme pemindah objek agar pemilahan dapat dilakukan dengan andal dan fleksibel, sesuai peran lengan mekanis pada sistem industri yang umumnya digerakkan oleh motor servo[4]. Mobilitas robot ditingkatkan dengan penerapan roda *omni-directional* sehingga robot memperoleh kemampuan *holonomic* yang memungkinkan manuver lateral dan peningkatan efisiensi navigasi dibandingkan robot *non-holonomic*[5].

Sensor jarak ultrasonik dipakai untuk deteksi objek dan pengukuran jarak secara sederhana dan efektif, memanfaatkan prinsip pantulan gelombang ultrasonik[6]. Pengendalian aktuator dan antarmuka perangkat keras diimplementasikan menggunakan *Arduino Mega 2560* yang menyediakan jumlah pin I/O dan sumber daya komputasi mikro yang memadai untuk tugas ini[7]. Sebagai unit komputasi utama untuk inferensi model deteksi, penelitian ini menggunakan unit berbasis prosesor *Intel Core i3* untuk menjaga keseimbangan antara kinerja dan konsumsi daya pada level sistem prototipe[8].

Untuk aspek kontrol gerakan, pendekatan kendali *PID* diterapkan guna mencapai respons posisi dan kecepatan yang stabil pada aktuator, karena kombinasi komponen *Proportional*, *Integral*, dan *Derivative* terbukti efektif dalam mengurangi *steady-state error* serta meredam osilasi pada berbagai aplikasi kontrol otomatis[9].

Pemanfaatan akselerasi perangkat keras seperti *GPU* (misalnya *NVIDIA*) menjadi relevan ketika model deteksi—seperti *YOLO*—harus beroperasi secara *real-time*. Optimasi dan penggunaan *GPU* dapat meningkatkan *throughput inferensi* secara signifikan; penelitian terdahulu melaporkan peningkatan performa hingga 417% setelah optimasi model yang di-deploy offline, dengan ukuran model berkurang menjadi 30% dari aslinya dan kehilangan akurasi mAP_{0.5} hanya sebesar 0,6, sehingga kompromi antara kecepatan, efisiensi memori, dan akurasi tetap dapat diterima untuk aplikasi praktis[10]. Oleh karena itu, penggunaan GPU dianggap penting terutama untuk aplikasi pemilahan yang bersifat *time-critical*.

Kontribusi penelitian ini meliputi perancangan dan implementasi prototipe robot pemilah sampah berbasis *computer vision* yang menggabungkan metode deteksi cepat (*YOLOv8*), teknik pemrosesan citra (*OpenCV*), dan sistem aktuasi yang terkoordinasi melalui *Arduino*. Evaluasi kinerja eksperimen diharapkan memberikan bukti kemampuan sistem dalam meningkatkan efisiensi dan akurasi pemilahan sampah pada skala prototipe, serta menjadi dasar pengembangan lebih lanjut untuk aplikasi *smart waste management* di masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen. Penelitian ini mengevaluasi efektivitas sistem robot pemilah sampah berbasis *computer vision* dengan melakukan serangkaian uji terkontrol pada variabel kinerja utama, yaitu akurasi klasifikasi dan waktu pemilahan. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi pencahayaan dan variasi jenis sampah untuk menilai kemampuan sistem dalam mengenali, mengklasifikasikan, serta memindahkan objek ke tempat yang sesuai. Pendekatan ini memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi performa robot, sekaligus memvalidasi keandalan dan konsistensi sistem dalam situasi yang mendekati kondisi operasional sebenarnya.

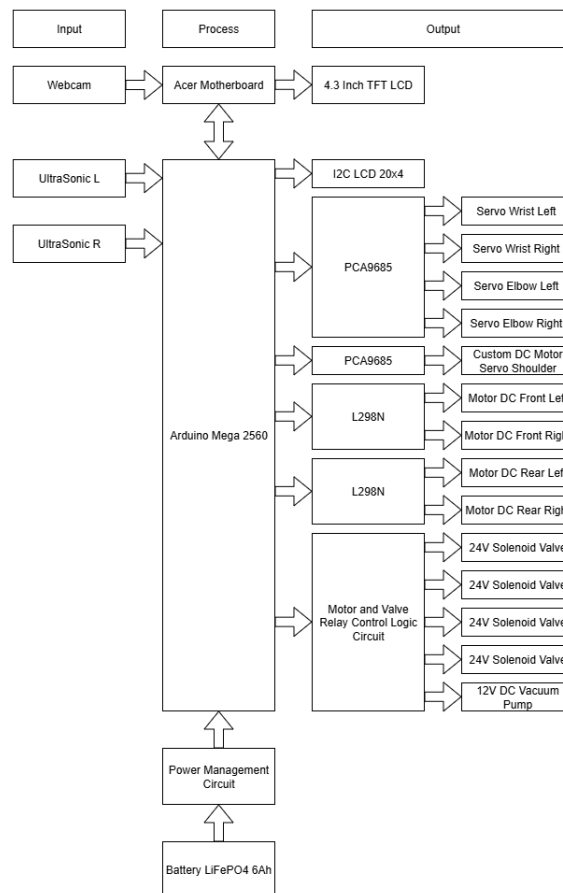
2.2 Rancangan Penelitian

Penerapan metode eksperimen dilakukan melalui tahapan berikut:

1. Perancangan sistem — menyusun arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak (blok diagram, koneksi antar modul).
2. Implementasi dan integrasi — merakit komponen *hardware* dan mengintegrasikan perangkat lunak (*YOLOv8*, *OpenCV*, komunikasi *serial* ke Arduino).
3. Kalibrasi & *tuning* — menyetel parameter kendali (*tuning PID*) dan konfigurasi model deteksi.
4. Pengujian eksperimental — menjalankan uji pada beberapa skenario terkontrol (tingkat pencahayaan, jenis sampah, jarak).
5. Pengumpulan data — merekam hasil deteksi, waktu eksekusi, dan metrik performa lain pada setiap ulangan.
6. Analisis data & interpretasi — menghitung metrik (akurasi, recall, rata-rata waktu pemrosesan), menganalisis kestabilan PID, dan membahas keterbatasan.

2.3 Rancangan Diagram Blok

Pada bagian ini disajikan perancangan diagram blok yang menggambarkan struktur fungsional dari masing-masing modul dalam sistem, termasuk alur data dan sinyal antar komponen utama. Diagram ini menjelaskan bagaimana perangkat keras seperti mikrokontroler, sensor, aktuator, serta modul komunikasi saling terhubung dan berkoordinasi dalam mendukung proses akuisisi data, pemrosesan informasi, dan eksekusi perintah secara terintegrasi. Berikut diagram blok keseluruhan



Gambar 1. Diagram Blok

Pada perancangan sistem berdasarkan Gambar 1, sistem robot pemilah sampah ini dirancang dengan pendekatan modular berbasis mikrokontroler dan komputer, yang memungkinkan integrasi antara pengolahan data visual, pengambilan keputusan, dan pengendalian aktuator secara real-time. Secara umum, sistem dikendalikan oleh dua unit pengolah utama, yaitu mikrokontroler *Arduino Mega 2560* sebagai pengendali perangkat keras, dan *motherboard* komputer *Acer* yang menjalankan proses *image processing* berbasis algoritma *YOLOv8* dan pustaka *OpenCV*.

Unit kamera (*webcam*) digunakan untuk menangkap citra objek di area kerja robot. Citra yang diperoleh kemudian diproses pada komputer untuk mengidentifikasi jenis sampah, seperti daun, plastik, logam, dan kertas. Hasil deteksi dikirimkan ke *Arduino Mega* melalui komunikasi *serial USB* untuk menentukan aksi selanjutnya. Selain itu, terdapat dua sensor ultrasonik (kiri dan kanan) yang berfungsi untuk mendeteksi jarak antara robot dan objek, serta sebagai referensi navigasi.

Arduino Mega mengatur pergerakan aktuator berdasarkan data dari sensor dan hasil klasifikasi visual. Untuk pengendalian lengan robot, digunakan dua buah modul *PWM eksternal PCA9685*, yang masing-masing dapat mengendalikan beberapa *motor servo* seperti pada pergelangan (*wrist*), siku (*elbow*), dan bahu (*shoulder*). Sementara itu, sistem penggerak roda robot dikendalikan oleh dua buah modul *motor driver L298N*, yang masing-masing mengontrol dua *motor DC gearbox* untuk keempat roda (kiri-depan, kanan-depan, kiri-belakang, kanan-belakang).

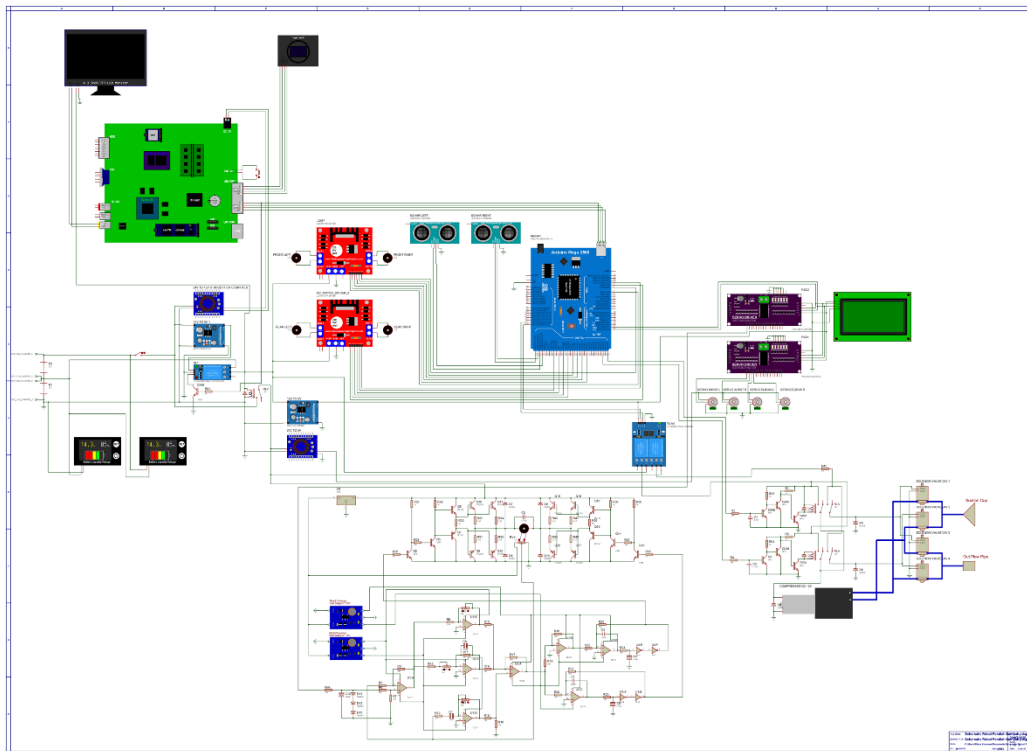
Sistem pneumatik untuk pengambilan dan pembuangan sampah memanfaatkan satu buah *motor vacuum DC 12V* dan empat buah *solenoid valve 24V*, yang diatur melalui rangkaian *relay control* logika motor dan katup. *Relay* dikendalikan langsung oleh *Arduino Mega* berdasarkan urutan logika operasi.

Sistem juga dilengkapi dengan *LCD I2C 20x4* dan layar *TFT 4,3 inci* untuk menampilkan informasi penting seperti status sistem, deteksi jenis sampah, dan kondisi pergerakan aktuator. Seluruh komponen memperoleh suplai daya dari baterai *LiFePO₄ 6Ah*, yang kemudian didistribusikan melalui rangkaian manajemen daya (*power management circuit*) dengan modul *DC-DC converter* untuk menghasilkan tegangan 5V, 12V, dan 24V sesuai kebutuhan masing-masing perangkat.

Dengan integrasi semua komponen tersebut, sistem robot mampu melakukan tugas pemilahan sampah secara otomatis, adaptif, dan efisien berdasarkan data sensor dan pemrosesan visual yang akurat.

2.4 Perancangan Sistem

a. Rangkaian Perangkat Keras



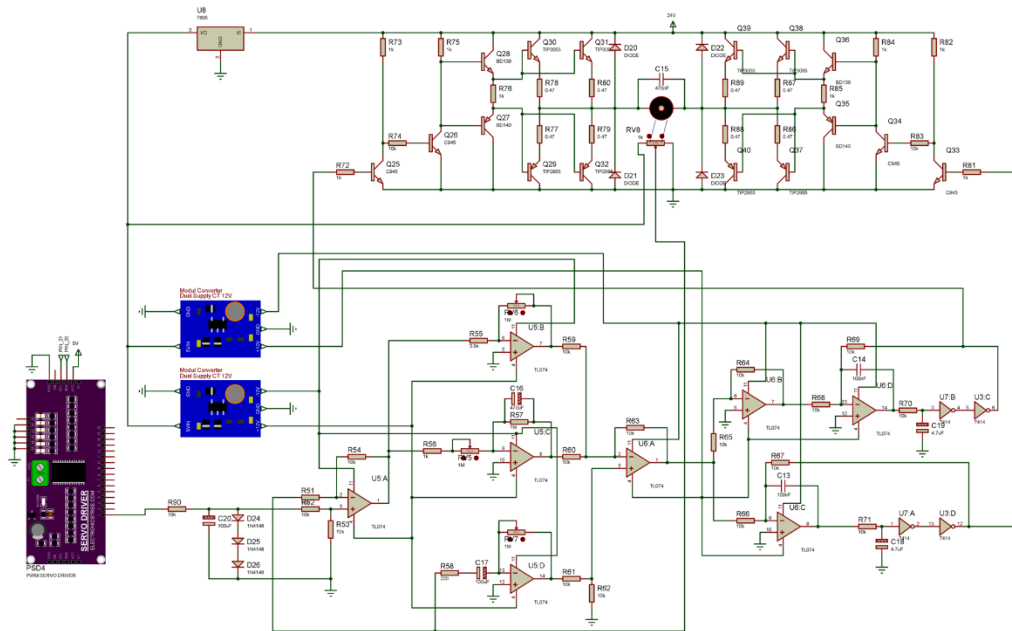
Gambar 2. Rangkaian Keseluruhan

Rangkaian Gambar 2 merupakan integrasi antara sensor, aktuator, pengolah data, dan sistem manajemen daya pada robot pemilah sampah otomatis. Sistem ini dikendalikan oleh dua inti utama, yaitu mikrokontroler *Arduino Mega 2560* dan komputer berbasis *motherboard Acer* dengan *prosesor Intel i3*. Kamera *Logitech C615* digunakan untuk menangkap citra sampah, sementara dua sensor ultrasonik *HC-SR04* mengukur jarak robot terhadap meja pemilah. Data citra diproses menggunakan algoritma *YOLOv8* pada komputer, kemudian hasil klasifikasi dikirim ke *Arduino* melalui komunikasi *serial* untuk mengatur pergerakan aktuator.

Aktuator yang digunakan meliputi *motor servo LF-20MG* untuk menggerakkan pergelangan, siku, dan bahu lengan robot, serta motor DC gearbox pada keempat roda yang dikendalikan melalui dua *driver motor L298N*. Sistem juga dilengkapi pompa vakum 12V dan empat *solenoid valve 24V*, yang diatur oleh modul *relay* eksternal termasuk tiga *relay Omron*. Untuk memperluas kanal *PWM*, digunakan dua modul *PCA9685* yang terhubung melalui jalur *I2C* dengan *Arduino*. Status sistem dan hasil deteksi ditampilkan secara *real-time* melalui *LCD I2C 20x4* dan layar *TFT 4.3 inch*.

Sumber daya berasal dari baterai *LiFePO₄ 6Ah* yang terhubung ke rangkaian manajemen daya dan didukung modul *step-down DC-DC converter* seperti *XL4016* dan *LM2596* untuk menurunkan tegangan sesuai kebutuhan perangkat. *Voltmeter digital DC 8–100V* digunakan untuk memantau kondisi tegangan demi menjaga stabilitas dan keamanan operasi. Dengan integrasi menyeluruh ini, robot mampu mendeteksi, mengklasifikasi, dan memindahkan sampah secara otomatis dengan tingkat presisi tinggi dan efisiensi energi optimal.

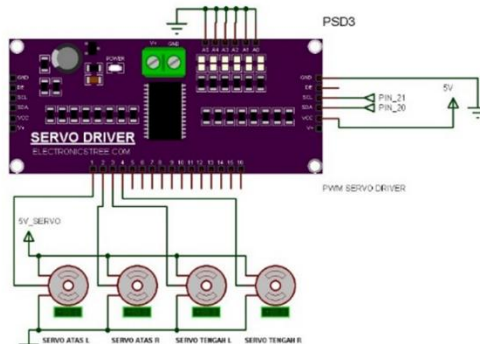
b. DC Servo Motor System (Custom PID-based)



Gambar 3. DC Servo Motor System (Custom PID-based)

Pada Gambar 3 ditunjukkan rangkaian *DC Servo Motor System* yang menerima sinyal *PWM* dari pin 0 pada modul *PCA9685*, yang terhubung langsung ke pin *SCL* (pin 21) dan *SDA* (pin 20) pada *Arduino*. Rangkaian ini dirancang untuk menggerakkan *motor DC* dengan *worm gearbox* secara presisi, berdasarkan nilai masukan yang dikirimkan oleh *Arduino*. Sistem ini memungkinkan pengaturan posisi motor secara akurat, serupa dengan fungsi *servo motor*, namun dengan memanfaatkan sinyal *PWM* berfrekuensi antara (200 Hz–3,5 kHz) dan *duty cycle* (0–100%) sebagai sinyal kendali atau kontrol posisi dalam rangkaian *PID*.

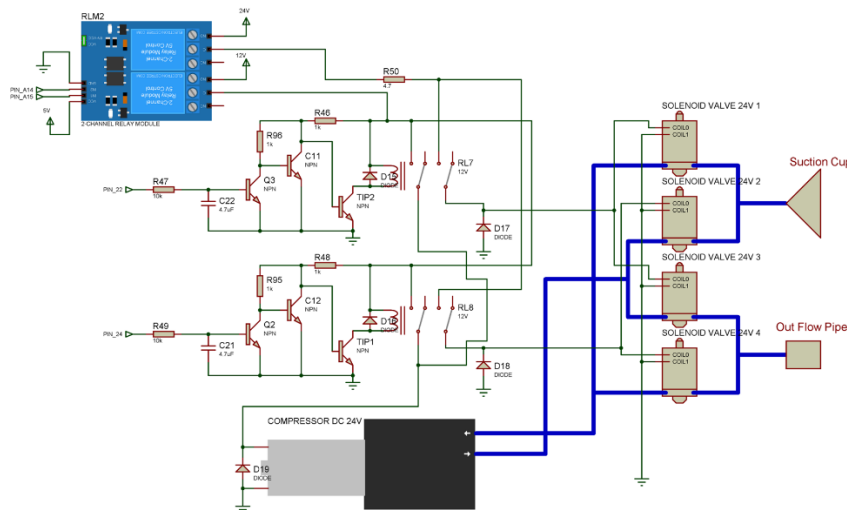
c. Rangkaian Arm Actuator System



Gambar 4. Rangkaian Arm Actuator System

Gambar 4 menunjukkan rangkaian aktuator lengan robot berbasis *Arduino Mega 2560* dengan modul *PWM* eksternal *PCA9685* untuk mengendalikan enam *motor servo* pada bagian *wrist*, *elbow*, dan *shoulder*. Sinyal *PWM* dikirim melalui antarmuka *I²C* (pin *SCL 21* dan *SDA 20*) ke *PCA9685* yang mampu menyediakan hingga 16 kanal *PWM* stabil, mengatasi keterbatasan pin pada mikrokontroler. Setiap servo menerima suplai daya 5–6V DC dari *step-down converter XL4016*, dengan distribusi sinyal dan daya yang diatur untuk menghindari interferensi. Sistem juga dilengkapi dengan pengkabelan ground terpusat guna menjaga kestabilan, sehingga aktuator dapat bergerak presisi dan responsif sesuai instruksi dari *Arduino* berdasarkan hasil pemrosesan citra.

d. Rangkaian Air Pump System



Gambar 5. Rangkaian Air Pump System

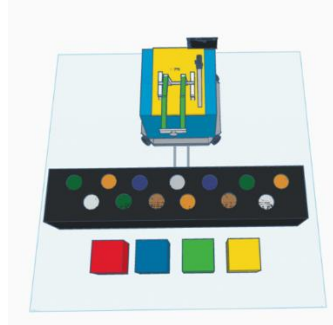
Sistem pompa udara pada robot pemilah sampah Gambar 5 berperan penting dalam mekanisme pengambilan dan pemindahan sampah ringan. Sistem ini memanfaatkan modul *relay* dua kanal, *relay DPDT*, rangkaian pengendali berbasis *transistor*, empat *solenoid valve 24V*, dan pompa vakum *DC 12V* yang terintegrasi dalam satu sistem pneumatik. Modul *relay* dikendalikan oleh *Arduino Mega 2560* melalui pin *A14* dan *A15*, dengan suplai daya 5V dari *regulator* penurunan tegangan.

Aktuasi pompa vakum dan *solenoid valve* dikontrol melalui sinyal logika dari *Arduino* yang diteruskan ke *transistor* sebagai saklar elektronik untuk mengaktifkan *coil relay*. Pompa vakum menghasilkan tekanan negatif yang disalurkan ke *suction cup* untuk mengangkat objek, sedangkan *solenoid valve* mengatur arah aliran udara sesuai perintah dari *Arduino*.

Keandalan sistem dijaga dengan pemasangan *dioda* pelindung pada rangkaian *relay* untuk mencegah arus balik, serta kapasitor *filter* pada basis *transistor* untuk mengurangi fluktuasi tegangan dan interferensi. Dengan

konfigurasi ini, sistem pneumatik dapat bekerja efisien, responsif, dan stabil dalam proses pemilahan serta pemindahan objek pada berbagai kondisi beban.

2.5 Maket 3D



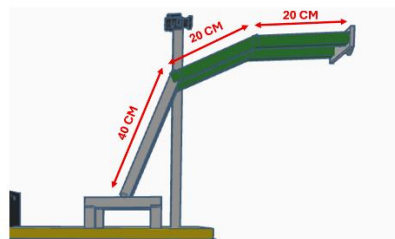
Gambar 6. Maket 3D Arena

Gambar 6 menunjukkan maket 3D arena pemilahan sampah beserta robot pemilah sampah. Pada maket tersebut terdapat sebuah meja dengan dimensi panjang 100 cm, lebar 20 cm, dan tinggi 30 cm sebagai area utama proses pemilahan. Di bagian depan meja disediakan empat buah tempat sampah yang dibedakan berdasarkan warna, masing-masing berfungsi sebagai wadah peletakan sampah sesuai kategori yang telah dideteksi oleh sistem.



Gambar 7. Maket 3D Badan Robot

Gambar 7 menampilkan badan robot yang berbentuk kubus dengan dimensi panjang 50 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 50 cm. Bagian badan robot berfungsi sebagai wadah untuk rangkaian elektronik, sekaligus menjadi dudukan utama tempat konstruksi lengan robot dipasang pada bagian atas. Pada bagian bawah, robot dilengkapi empat roda omni yang masing-masing dipasang dengan sudut 45 derajat di setiap sudut bawah badan robot, sehingga memungkinkan pergerakan holonomik yang fleksibel.



Gambar 8. Maket 3D Konstruksi Lengan Robot

Gambar 8 memperlihatkan maket 3D konstruksi lengan robot beserta dimensi setiap bagiannya. Lengan pertama memiliki panjang 40 cm, lengan kedua 20 cm, dan lengan ketiga 20 cm. Setiap persendian lengan dirancang mampu bergerak hingga 180 derajat, digerakkan oleh motor servo yang dipasang pada kedua sisi lengan, kecuali pada bagian lengan pertama. Sistem aktuasi tidak menggunakan gripper konvensional, melainkan memanfaatkan suction cup sebagai mekanisme pengambilan dan pemindahan objek.

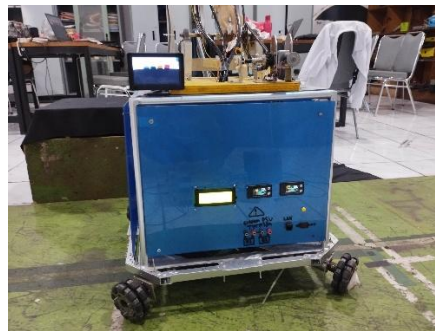
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisi analisis, hasil implementasi ataupun pengujian serta pembahasan dari topik penelitian, yang bisa dibuat terlebih dahulu metodologi penelitian. Bagian ini juga merepresentasikan penjelasan yang berupa penjelasan, gambar, tabel dan lainnya.

3.1 Hasil Rancangan Alat

Pada Gambar 7 dan Gambar 8 ini menampilkan keseluruhan sistem robot pemilah sampah otomatis yang telah dirakit. Antarmuka pengguna dilengkapi *TFT monitor* dan *LCD I2C 20x4* untuk menampilkan status sistem secara *real-time*, termasuk jenis sampah terdeteksi, tegangan, dan proses berjalan. Pemantauan tegangan dilakukan melalui *voltmeter digital* dan tambahan, dengan tombol power terpisah untuk sistem dan komputer mini, serta konektor pengisian baterai.

Penggerak robot menggunakan empat *motor DC* dengan *omni wheel* di setiap sudut untuk pergerakan omnidireksional. Dua sensor ultrasonik di sisi kiri dan kanan mendeteksi meja di depan robot. Mekanisme pengambilan sampah terdiri dari dua pasang servo pada sendi siku dan pergelangan lengan robot, dengan *suction cup* di ujung lengan yang bekerja sama dengan pompa udara untuk mengambil sampah.

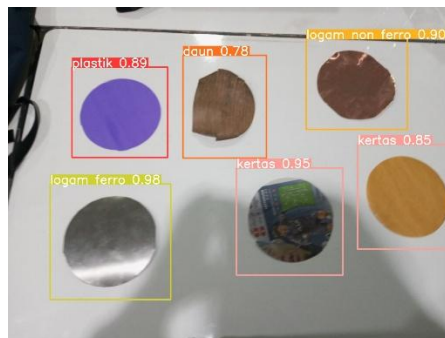


Gambar 9. Hasil Rancangan Alat

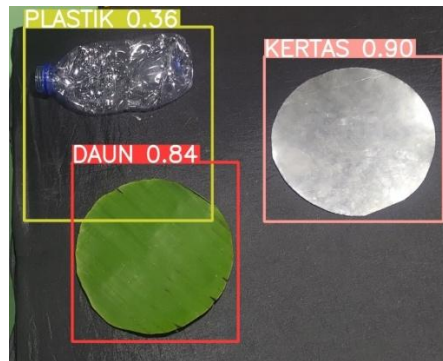


Gambar 10. Hasil Rancangan Alat

3.2 Hasil Deteksi YOLOv8



Gambar 11. Hasil Deteksi YOLOv8 Dengan Latar Belakang Putih

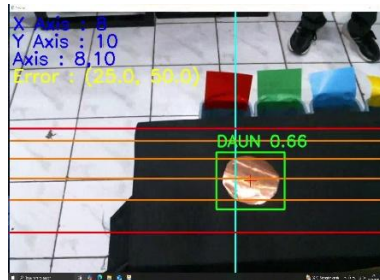


Gambar 12. Hasil Deteksi YOLOv8 Dengan Latar Belakang Hitam

Pada gambar pertama terlihat enam objek sampah dengan label dan confidence score hasil deteksi YOLOv8. Objek plastik berwarna ungu terdeteksi dengan tingkat kepercayaan 0,89, daun 0,78, logam non-ferro 0,90, dan logam ferro dengan *confidence* tertinggi 0,98. Selain itu, dua objek kertas berhasil dikenali dengan nilai 0,95 dan 0,85. Hasil ini menunjukkan sistem mampu mengklasifikasikan sebagian besar material dengan akurasi tinggi, meskipun objek daun memiliki nilai deteksi yang relatif lebih rendah.

Pada gambar kedua ditampilkan tiga objek dengan hasil klasifikasi bervariasi. Botol plastik transparan terdeteksi sebagai plastik dengan *confidence* rendah 0,36 akibat faktor transparansi dan pantulan cahaya, sedangkan daun hijau dan kertas berhasil dikenali lebih baik dengan *confidence* masing-masing 0,84 dan 0,90. Hal ini menunjukkan sistem lebih stabil dalam mendeteksi objek solid atau berwarna kontras, namun masih memerlukan perbaikan dataset dan augmentasi citra untuk meningkatkan performa pada material transparan atau reflektif.

3.3 Tampilan Layar Pada Robot



Gambar 13. Robot Mendeteksi Objek

Gambar 13 memperlihatkan proses saat robot mendeteksi objek, di mana nilai koordinat X hasil deteksi digunakan sebagai acuan agar robot dapat bergerak mendekati objek dan menyesuaikan dengan garis vertikal berwarna biru muda yang merepresentasikan titik tengah suction cup pada lengan robot. Penyesuaian ini memastikan objek dapat terhisap dengan tepat. Selain itu, terdapat empat garis horizontal berwarna jingga yang berfungsi sebagai acuan perbandingan dengan nilai koordinat Y, sehingga lengan robot dapat menempatkan *suction cup* tepat di atas objek. Adapun dua garis horizontal berwarna merah menandai area di luar jangkauan lengan robot. Jika objek terdeteksi berada di luar area tersebut, maka robot tidak akan melanjutkan proses pengambilan.

3.4 Proses Robot dalam Mengambil dan Meletakkan Sampel



Gambar 14. Robot Mengambil Sampel



Gambar 15. Robot Meletakkan Sampel

4. KESIMPULAN

Kesimpulan penelitian ini menunjukkan bahwa robot pemilah sampah berbasis *computer vision* dengan integrasi *YOLOv8* dan *OpenCV* berhasil direalisasikan, mampu mendeteksi serta mengklasifikasikan sampah secara *real-time* dengan akurasi di atas 80% pada sebagian besar kategori, meskipun akurasi menurun pada objek serupa. Sistem berjalan stabil, efisien, dan responsif, namun perlu peningkatan pencahayaan, mekanisme lengan, jenis motor, serta pelatihan data dari lingkungan nyata untuk hasil lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ibnul Rasidi, Y. A. H. Pasaribu, A. Ziqri, and F. D. Adhinata, “Klasifikasi Sampah Organik dan Non-Organik Menggunakan Convolutional Neural Network,” *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 8, no. 1, Apr. 2022, doi: 10.28932/jutisi.v8i1.4314.
- [2] J. Terven, D. M. Córdova-Esparza, and J. A. Romero-González, “A Comprehensive Review of YOLO Architectures in Computer Vision: From YOLOv1 to YOLOv8 and YOLO-NAS,” Dec. 01, 2023, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/make5040083.
- [3] Y. Anzari, F. Novriadi, N. Rahmawati, R. Nurman Aktan, F. Huda Aminuddin, and T. Djauhari, “DETEKSI OBJEK REAL TIME DENGAN YOLOV4-TINY DAN ANTARMUKA GRAFIS MENGGUNAKAN OPENCV PYTHON,” 2024.
- [4] “Rancang Bangun Sistem Pengontrolan Arm Robot Pemindah Barang secara Elektro Pneumatik berbasis Arduino,” *Jurnal Litek : Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, vol. 22, no. 1, pp. 24–31, Mar. 2025, doi: 10.30811/litek.v22i1.60.
- [5] W. SilvianaPrasetyo, “DESIGNING AN OMNI WHEEL ROBOT,” 2024.
- [6] T. N. Arifin, G. Febriyani Pratiwi, and A. Janrafsasih, “SENSOR ULTRASONIK SEBAGAI SENSOR JARAK”, [Online]. Available: <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/jurnaltera/>
- [7] C. Yohana Windra, “Penerapan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai Monitoring pada Pembacaan Arus 3 Fasa di Gardu Induk 150 kV Lubuk Alung,” vol. 10, no. 1, p. 2021, doi: 10.21063/JTE.2021.31331007.
- [8] R. Mulyadi, D. Delvina, E. M. Parsono, L. I. Octavia, and A. J. P. Tantri, “Analisis Performansi Antar Generasi CPU Intel Core i5-1035G1 Dan Intel Core i5-7200U,” *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, vol. 13, no. 2, Apr. 2024, doi: 10.30591/smartcomp.v13i2.5192.
- [9] R. Solekha and U. Latifa, “Electron : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Sistem Kendali Proportional Integral Derivative (PID) Menggunakan Mikrokontroler Arduino Pada Thinkercad”.
- [10] Y. Yang, “Quantization and Acceleration of YOLOv5 Vehicle Detection Based on GPU Chips,” in *ACM International Conference Proceeding Series*, Association for Computing Machinery, May 2024, pp. 425–429. doi: 10.1145/3665348.3665420.