

PERANCANGAN SISTEM SORTIR LIMBAH PLASTIK WARNA BERDASARKAN WARNA MENGUNAKAN PLC

Fayola Liyani¹, Aulia Rahma Annisa², Ardiansyah Al Farouq³, Ryan Yudha Adhitya⁴

e-mail: *fayolaliyani@gmail.com

Abstrak:

Produksi dan penggunaan terhadap plastik sekali pakai semakin meningkat, sehingga diperlukan proses daur ulang pada limbah sampah plastik yang efisien untuk mengurangi dampak negatifnya. Dalam proses daur ulang, diperlukan tahapan proses penyortiran limbah sampah plastik berdasarkan warna. Saat ini, proses penyortiran limbah sampah plastik masih dilakukan secara manual dan membutuhkan tenaga kerja manusia. Pada penelitian sebelumnya sudah terdapat inovasi untuk mengatasi permasalahan tersebut sistem sortir barang berdasarkan warna menggunakan arduino. Pada penelitian ini penulis mengusulkan untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu dengan sistem sortir limbah plastik warna menggunakan PLC, dengan deteksi webcam sebagai input dan pneumatik sebagai output. Metode pengambilan deteksi warna menggunakan OpenCV python untuk memproses video dalam analisis citra dan untuk komunikasi PLC dengan PC menggunakan python serial. Proses awal yaitu saat warna dideteksi oleh webcam setelah itu pneumatik akan aktif mendorong limbah plastik tersebut sesuai warnanya. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem ini tingkat akurat dalam keberhasilan 79,49% dan error 20,51% dalam penyortiran warna merah, biru dan hijau. Dalam proses deteksi warna, dibutuhkan waktu rerata yang berbeda antar warna, yakni 6,85 detik, 8,08 detik, dan 8,90 detik untuk warna merah, hijau, dan biru secara berurutan.

Kata Kunci: Programmable Logic Control, Sistem Automasi, Sistem Sortir.

DESIGN OF COLOR-BASED COLOR PLASTIC WASTE SORTING SYSTEM USING PLC

Abstract: *The production and use of single-use plastics is increasing, so an efficient recycling process for plastic waste is needed to reduce its negative impact. In the recycling process, it is necessary to sort the plastic waste by color. Currently, the process of sorting plastic waste is still done manually and requires human labor. In previous studies, there have been innovations to overcome these problems, a sorting system based on color using Arduino. In this study the authors propose to overcome these problems, namely with a color plastic waste sorting system using a PLC, with webcam detection as input and pneumatic as output. The method for taking color detection uses OpenCV python to process video in image analysis and for PLC communication with a PC using python serial. The initial process is when the color is detected by the webcam after which the pneumatic will actively push the plastic waste according to the color. The experimental results show that this system has an accuracy rate of 79.49% success and 20.51% error in sorting red, blue and green. In the color detection process, it takes a different average time between colors, namely 6.85 seconds, 8.08 seconds and 8.90 seconds for red, green and blue respectively.*

Keywords: Automation System, Programmable Logic Control, Sorting System

1. Pendahuluan

Berdasarkan data tahun 2021, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melaporkan bahwa total konsumsi plastik nasional mencapai 5,63 juta ton per tahun [2]. Kementerian Perindustrian melaporkan bahwa di Indonesia terdapat sekitar 600 industri besar dan 700 industri kecil yang bergerak di bidang daur ulang plastik. Industri-industri ini memiliki total nilai investasi sebesar Rp7,15 triliun dan mampu memproduksi sekitar 2,3 juta ton plastik per tahun. Selain itu, nilai tambah dari industri daur ulang plastik ini mencapai lebih dari Rp10 triliun setiap tahunnya [5].

Dalam proses daur ulang limbah plastik, dilakukan beberapa langkah antara lain koleksi limbah, penyortiran berdasarkan jenis dan warna, pencucian, resizing, pemilahan, kemudian penggabungan. Selama ini, pemilahan limbah plastik berdasarkan kategori warna masih dilakukan secara manual, sehingga memerlukan waktu yang lama, biaya upah yang tinggi, dan rentan terjadi human error akibat warna plastik yang hampir serupa. Hasil penelitian sebelumnya pada sortasi warna buah tomat menunjukkan bahwa otomasi ini cenderung mempercepat pengerjaan dibandingkan cara manual [4]. Hasil yang serupa juga dilaporkan dalam penggunaan sensor TCS3200 dalam penyortiran barang dan pengolahan sampah plastik [3].

Untuk mengatasi permasalahan ini, penulis melakukan pengembangan model sistem otomasi sortir limbah berdasarkan warna menggunakan pendekatan Programmable Logic Control (PLC) berbasis Mikrokontroler. Prinsip kerja sistem ini adalah pemindahan objek melalui konveyor, kemudian sebuah kamera akan mendeteksi warna pada limbah sampah plastik. Setelah dilakukan klasifikasi warna, pergerakan dilanjutkan dan mekanisme pneumatik akan bekerja untuk mengalihkan limbah sampah plastik ke wadah yang sesuai dengan warnanya. Berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Arisandy et al (2022) dengan menggunakan objek sortir kain menunjukkan range jarak deteksi mulai 0 hingga 99 cm, lebih jauh Sagita & Rozany (2017) menjelaskan bahwa pengujian jarak sensor terhadap objek yang optimal adalah 0,75cm. Rancangan sistem dalam penelitian ini mencoba menggabungkan sistem deteksi berbasis webcam dan otomasi pemindahan sampah dengan modifikasi jarak optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem penyortir dan pemindah limbah plastik serta melakukan perbandingan efisiensi sistem dengan metode sortir manual. Ke depannya, penelitian ini diharapkan mampu membantu industri daur ulang limbah plastik dalam melakukan sortir limbah plastik lebih efisien dan mengurangi biaya industri.

2. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang terkait pensortiran barang berdasarkan warna menggunakan PLC dapat berguna sesuai tujuannya. Model Sistem Automasi Sortir Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Programmable Logic Control Berbasis Mikrokontroler menerangkan bahwa dengan jarak sensor dengan objek dapat mempengaruhi hasil deteksi yang didapat akan berbeda-beda, hasil yang didapatkan pada pengujian jarak sensor terhadap objek optimal adalah 0,75cm [3]. Perancangan sistem sortasi buah tomat berdasarkan warna menggunakan arduino menerangkan bahwa pengujian waktu yang dibutuhkan dalam proses pengelompokan atau sortir barang secara otomatis relative lebih cepat dibandingkan dengan pengelompokan yang dilakukan secara manual [4]. Rancang bangun sistem sortir bahan kain berdasarkan degradasi warna dengan kontrol PLC menerangkan bahwa penelitian ini telah merancang bangun serta menguji sensor proximity E18D80NK dapat mendeteksi kain dari jarak 0 cm dan maksimal 99 cm [5]. Rancang bangun sistem kendali sortir barang berdasarkan empat kode warna sensor TCS3200 telah bisa menentukan antara warna kuning, merah, biru, hijau atau tidak terdeteksi, selanjutnya motor servo akan memisahkan warna tersebut ke tempat masing-masing yang telah disediakan dan akan tampil warna yang terdeteksi pada LCD [6]. Proses pengolahan sampah plastik di lembaga generasi bintang sejahtera penelitian ini menyimpulkan bahwa proses pengolahan sampah plastik secara penggilangan melakukan

pemilahan (sortir) lalu penggilingan sampah plastik yang sudah pilah sesuai dengan jenisnya dan juga warna lalu dilakukan tahap penggiling sampah plastik [7].

3. Metode dan Pemodelan

Metode yang akan diterapkan dalam penelitian ini adalah *Research and Development (R&D)*, sebuah pendekatan yang digunakan untuk menciptakan atau mengembangkan produk baru. Produk atau pengembangan yang dihasilkan akan diuji untuk menilai efektivitasnya. Penelitian ini dimulai dengan pendalaman Pustaka untuk menentukan keperluan dan detail alat. Adapun rangkaian penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan. Dalam perancangan, prosesnya dibagi menjadi dua tahap terpisah. Tahap pertama adalah perancangan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*), sedangkan tahap kedua adalah perancangan dan pembuatan perangkat lunak (*software*). Rangkaian dari *hardware* dan *software* ditunjukkan dalam Gambar 1.



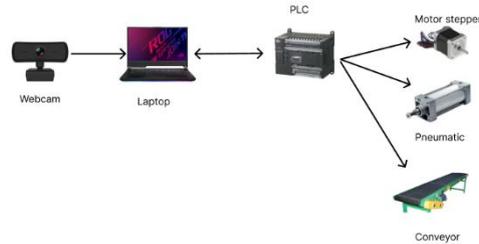
Gambar 1. Rancangan alat sortir limbah

Skema rancangan ini dapat digambarkan sebagai berikut: gerakan konveyor yang akan diatur oleh motor. Limbah sampah plastik berwarna akan diarahkan melalui konveyor menuju kamera webcam untuk mendeteksi warna. Setelah itu, limbah sampah plastik akan diidentifikasi warnanya oleh kamera webcam yang memiliki kemampuan deteksi warna. Setelah terdeteksi oleh webcam, limbah sampah plastik akan dipindahkan menuju pneumatik. Sistem pneumatik akan bergerak sesuai dengan warna yang terdeteksi dan memindahkan limbah sampah plastik ke wadah yang sesuai dengan warna tersebut.

Penjelasan dari blok diagram (Gambar 2) adalah sebagai berikut:

- a. Webcam: Berfungsi sebagai pendeteksi dan juga klasifikasi jenis warna limbah plastik warna.
- b. Pneumatik merah: Berfungsi sebagai penyortir untuk mendorong objek berwarna merah
- c. Pneumatik hijau: Berfungsi sebagai penyortir untuk mendorong objek berwarna hijau
- d. Pneumatik biru: Berfungsi sebagai penyortir untuk mendorong objek berwarna biru
- e. Tempat objek: Berfungsi sebagai tempat untuk objek limbah plastik warna yang telah tersortir dan juga telah dipilah sesuai warna
- f. PLC: Berfungsi untuk memproses input dan output pada alat tersebut.
- g. Motor stepper: Berfungsi untuk arus searah yang dihasilkan nantinya akan diubah menjadi energi mekanis yang berupa putaran atau gerak pada conveyor

- h. Conveyor: Berfungsi untuk menggerakkan alat menuju webcam dan setelah itu akan di sortir.



Gambar 2. Blok diagram rancangan alat penyortir warna limbah plastik

2. Perancangan sistem.

Tahapan perancangan sistem ini dibuat dengan aplikasi Visual Studio Code menggunakan bahasa python. Karena PLC menggunakan warna sebagai input yang didapatkan dari webcam, diperlukan komunikasi antara webcam, PC, dan PLC Omron CPlE. Komunikasi antara PC dan PLC dilakukan dengan menggunakan kabel USB to serial RS232 dan kabel male to female. Program selanjutnya yaitu python serial pada visual studio code sebagai komunikasi antara PC dengan PLC, dengan melakukan import serial pada python lalu memasukkan serial *port com*, *baudrate*, *databits*, *timeout*, dan juga *parity*. Selanjutnya dilakukan penambahan kode program KS (forced set) Header code KS berfungsi untuk mengaktifkan bit pada alamat word yang dituju (0 →1), dan juga untuk mengirimkan data dari Python serial ke PLC. Pada tahap akhir, dilakukan konfirmasi keberhasilan pemrograman visual basic dalam mengirim dan menerima data ke PLC dengan output address 100.01, 100.02, 100.04 (Gambar 3).



Gambar 3. Tampilan kode data warna dan PLC saat berhasil menerima kiriman data dari Visual Studio Code

1. Pengujian Alat

Tahapan pengujian alat digunakan untuk mengetahui dengan baik kinerja alat di setiap bagian dan keseluruhan alat serta mendapatkan hasil pengujian yang valid. Pengujian alat pada penelitian ini berfokus pada sistem sortir limbah sampah plastik berdasarkan warna. Pengujian ini bertujuan untuk mengobservasi kemampuan sortir menggunakan *image processing* dari webcam dan untuk mengetahui kepresisian dari pneumatik saat mendorong limbah plastik warna. Tahapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

- Webcam ditempatkan di lokasi awal sebelum pneumatik.
- Limbah plastik berwarna ditempatkan di titik awal sebelum dideteksi oleh webcam.
- Pada tahap awal, gerakan disusun sedemikian rupa sehingga limbah plastik warna

dapat disortir

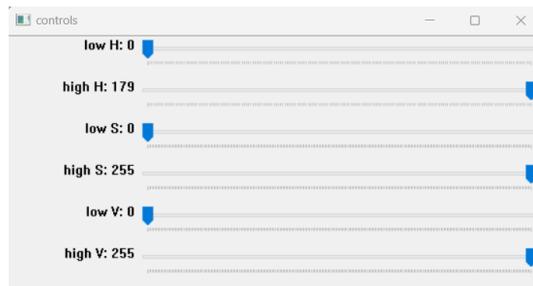
- d. Pengujian dilakukan berulang dengan variasi warna bergantian, termasuk warna merah, hijau, dan biru

4. Hasil dan Analisa

Hasil penelitian ini menunjukkan keberhasilan tahapan kalibrasi menggunakan modul yang diverifikasi dengan pengujian real-time. Pendekatan pengujian alat juga dilaporkan secara menyeluruh untuk menentukan presisi dan efisiensi kerja alat.

a. Hasil percobaan identifikasi warna menggunakan webcam

Kalibrasi warna merupakan sebuah proses penyamaan warna dan kecerahan, sehingga dapat dihasilkan warna yang jelas dan tajam. Hal ini dilakukan dengan menentukan nilai range warna merah, hijau dan biru didapatkan dari proses HSV dan mencari nilai h_{low} , h_{high} , s_{low} , s_{high} , v_{low} , v_{high} (Gambar 4). Setelah pengaturan range high and low HSV, hasil seperti gambar 5 yang mengambil sampel warna merah, untuk deteksi spesifik warna dan mengeliminasi warna lainnya. Warna tujuan (dalam hal ini merah) akan menjadi putih, sementara warna lainnya dikonversi menjadi hitam sehingga tidak terdeteksi (Gambar 5).



Gambar 4. Kontrol menentukan low and high HSV



Gambar 5. Proses kalibrasi mengambil warna RGB dan hasil proses setelah menentukan HSV

Setelah proses kalibrasi tersebut, dapat ditentukan nilai low and high HSV pada 3 sampel warna yaitu warna merah, hijau dan juga biru. Dapat dilihat pada Tabel 1 data hasil percobaan low and high HSV pada RGB.

Tabel 1. Hasil data percobaan setelah penentuan HSV

Warna	Kondisi					
	Low H	High H	Low S	High S	Low V	High V
Merah	0	8	209	247	128	250
Hijau	44	92	127	255	40	140
Biru	111	122	161	240	94	187

b. Hasil percobaan mendeteksi warna secara realtime

Pengujian deteksi warna dilakukan sebanyak empat kali dengan menggunakan 4 sampel warna yaitu warna merah, hijau, biru dan abu-abu. Hasil pengujian deteksi warna menunjukkan bahwa alat telah merespon dengan jelas dan mampu mengidentifikasi warna merah, hijau, dan biru. Alat tidak dapat menerjemahkan warna abu-abu yang tidak diprogramkan. Hasil ini dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil pengujian *real-time* terhadap warna

Prototipe alat yang telah dikembangkan menjalani serangkaian pengujian untuk memvalidasi kemampuannya dalam menyortir berdasarkan warna menggunakan webcam. Proses pengujian alat dilakukan dengan meletakkan objek sebelum webcam, dan pneumatik ditempatkan setelah webcam. Setelah objek terdeteksi oleh webcam, pneumatik akan bergerak untuk mendorong objek masuk ke dalam wadah yang sesuai dengan warnanya. Adapun data hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian performa alat

NO	Warna dideteksi	Waktu proses	Warna	Hasil	Error (%)
1	Warna merah	06,64	Terdeteksi	Berhasil	0%
2	Warna merah	06,93	Terdeteksi	Berhasil	0%
3	Warna merah	07,05	Terdeteksi	Berhasil	0%
4	Warna merah	06,52	Terdeteksi	Berhasil	0%
5	Warna merah	06,78	Terdeteksi	Berhasil	0%
6	Warna merah	07,10	Terdeteksi	Berhasil	0%
7	Warna merah	07,05	Terdeteksi	Berhasil	0%
8	Warna merah	06,70	Terdeteksi	Berhasil	0%
9	Warna merah	07,09	Terdeteksi	Berhasil	0%
10	Warna merah	06,84	Terdeteksi	Berhasil	0%
11	Warna merah	-	Tidak sesuai	Gagal tersortir	100%
12	Warna merah	-	Tidak sesuai	Gagal tersortir	100%
13	Warna merah	-	Tidak sesuai	Gagal tersortir	100%
14	Warna hijau	08,22	Terdeteksi	Berhasil	0%

15	Warna hijau	08,19	Terdeteksi	Berhasil	0%
16	Warna hijau	08,14	Terdeteksi	Berhasil	0%
17	Warna hijau	07,89	Terdeteksi	Berhasil	0%
18	Warna hijau	07,70	Terdeteksi	Berhasil	0%
19	Warna hijau	07,65	Terdeteksi	Berhasil	0%
20	Warna hijau	07,91	Terdeteksi	Berhasil	0%
21	Warna hijau	08,15	Terdeteksi	Berhasil	0%
22	Warna hijau	-	Tidak sesuai	Gagal tersortir	100%
23	Warna hijau	07, 82	Terdeteksi	Berhasil	0%
24	Warna hijau	08,25	Terdeteksi	Berhasil	0%
25	Warna hijau	-	Tidak sesuai	Gagal tersortir	100%
26	Warna hijau	-	Tidak sesuai	Gagal tersortir	100%
27	Warna biru	08,44	Terdeteksi	Berhasil	0%
28	Warna biru	09,40	Terdeteksi	Berhasil	0%
29	Warna biru	08,48	Terdeteksi	Berhasil	0%
30	Warna biru	09,20	Terdeteksi	Berhasil	0%
31	Warna biru	09,43	Terdeteksi	Berhasil	0%
32	Warna biru	08,54	Terdeteksi	Berhasil	0%
33	Warna biru	09,14	Terdeteksi	Berhasil	0%
34	Warna biru	08,44	Terdeteksi	Berhasil	0%
35	Warna biru	09,41	Terdeteksi	Berhasil	0%
36	Warna biru	08,53	Terdeteksi	Berhasil	0%
37	Warna biru	-	Tidak terdeteksi	Gagal tersortir	100%
38	Warna biru	-	Tidak terdeteksi	Gagal tersortir	100%
39	Warna biru	09,38	Terdeteksi	Berhasil	0%
Rata-rata <i>error</i> (%)					20,51%

Dari total 39 kali percobaan didapatkan 31 kali keberhasilan dalam menyortir limbah plastik berdasarkan warna, tingkat akurasi keberhasilan sistem ini adalah 79,49% didapatkan dari perhitungan seperti berikut:

$$\text{Tingkat keberhasilan (\%)} = (\text{Jumlah total keberhasilan})/(\text{Jumlah total percobaan}) \times 100$$

$$\text{Tingkat keberhasilan (\%)} = 31/39 \times 100$$

$$\text{Tingkat keberhasilan (\%)} = 79,49\%$$

Dari total 39 kali percobaan didapatkan 8 kali kegagalan dalam menyortir plastik berdasarkan warna, rata-rata *error* (%) sistem ini adalah 20,51% didapatkan dari perhitungan dibawah ini:

$$\text{Rata-rata error (\%)} = (\text{Jumlah total kegagalan})/(\text{Jumlah total percobaan}) \times 100$$

$$\text{Rata-rata error (\%)} = 8/39 \times 100$$

$$\text{Rata-rata error (\%)} = 20,51\%$$

Berdasarkan hasil pengujian sistem pada subbab 4.3 perihal pengujian sistem maka dapat dilakukan sebuah analisa data. Pengujian dilakukan sebanyak 13 kali pada masing-masing warna merah, hijau, dan biru. Dari data pada tabel 4.2 di atas dapat diketahui bahwa waktu proses saat limbah plastik warna berada di konveyor mulai dari di deteksi oleh webcam lalu bergerak menuju sensor infrared dan akhirnya di dorong oleh pneumatik. Menunjukkan bahwa untuk limbah plastik berwarna merah, waktu proses rata-rata adalah sekitar 6,85 detik dalam 10 kali percobaan berhasil. Sementara itu, untuk limbah plastik berwarna hijau, waktu proses rata-rata adalah sekitar 8,08 detik dalam 10 kali percobaan berhasil. Sedangkan untuk limbah plastik berwarna biru, waktu proses rata-rata adalah sekitar 8,90 detik dalam 11 kali percobaan berhasil. Data juga mencatat bahwa tingkat akurasi keberhasilan sistem ini adalah 79,49% dari 39 kali percobaan pada warna merah, hijau, dan biru. Pada pengujian didapatkan error 20,51% dari 39 kali percobaan. Faktor error pada percobaan dikarenakan webcam tidak mendeteksi, warna yang dideteksi tidak sesuai dan gagal tersortir.

Faktor lain yang mempengaruhi kegagalan pada pengujian ini adalah tata letak webcam yang mendeteksi objek lain dengan warna merah, hijau, dan biru yang mengakibatkan kesalahan atau tidak kesesuaian pada deteksi warna seperti pada tabel 4.2 pada percobaan warna merah deteksi warna yang tidak sesuai mengakibatkan gagal tersortir sesuai warna, webcam mendeteksi warna hijau dari konveyor lalu pneumatik hijau aktif maka warna merah akan tersortir masuk pada tempat warna hijau maka pengujian tersebut gagal tersortir sesuai warnanya. Kesalahan deteksi warna yang tidak sesuai juga bisa terjadi jika ada pemantulan cahaya yang memantulkan warna lain pada webcam sehingga terdeteksinya objek lain dengan warna merah, hijau, dan biru.

Solusi untuk mengatasi kegagalan bisa dilakukan merubah posisi webcam agar mampu menangkap gambar objek saja tidak ada objek lain yang menghalangi. Pengaturan pencahayaan juga bisa dilakukan agar webcam dapat mendeteksi warna dan tidak ada kesulitan dalam pendeteksian warna.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil dalam menyortir limbah sampah plastik warna berdasarkan warna dengan penggunaan PLC sebagai otak sistem dan webcam sebagai sensor warna telah membuktikan keberhasilannya dalam mendeteksi dan memisahkan limbah plastik berdasarkan warnanya. Dengan data waktu proses rata-rata deteksi warna merah adalah sekitar 6,85 detik dalam 10 kali percobaan berhasil. Sementara itu, waktu proses rata-rata untuk deteksi warna hijau adalah sekitar 8,08 detik dalam 10 kali percobaan berhasil. Selanjutnya, warna biru memiliki waktu proses rata-rata sekitar 8,90 detik dalam 11 kali percobaan berhasil. Dalam pengujian percobaan hanya dilakukan deteksi warna untuk 1 limbah plastik warna dalam 1 frame. Tingkat akurasi keberhasilan sistem ini 79,49% dari 39 kali percobaan berhasil dilakukan dengan baik. Sistem ini terdapat error 20,51% yang dapat dijelaskan oleh beberapa situasi dimana webcam tidak mendeteksi warna, terjadi kesalahan dalam pengenalan atau deteksi warna, dan hasil sortir akhir tidak sesuai harapan. Solusi untuk mengatasi kegagalan bisa dilakukan dengan merubah posisi atau tata letak webcam agar mampu menangkap limbah plastik warna saja tidak ada objek lain yang menghalangi yang mengakibatkan webcam mengalami kesalahan dalam pengenalan atau deteksi warna, pengaturan pencahayaan juga bisa dilakukan agar tidak terjadi error seperti webcam tidak mendeteksi warna, merubah tata letak atau mengganti tempat untuk hasil sortir limbah sampah plastik warna juga dapat mengatasi kegagalan agar tersortir pada tempat yang sesuai dengan warnanya. Meskipun terdapat 20,51% error sistem ini memiliki tingkat keberhasilan yang layak menunjukkan bahwa sistem ini dapat diaplikasikan dalam membantu mensortir limbah plastik berdasarkan warna secara otomatis dan dapat menjadi solusi dalam permasalahan sortir limbah plastik berdasarkan warna yang masih manual dan masih membutuhkan tenaga kerja manusia.

Referensi

1. Arisandy, Z., Haykal, T. M., & Purba, A. M. (2022). Rancang Bangun Alat Sortir Bahan Kain Berdasarkan Degradasi Warna Dengan Kontrol Outseal PLC. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 3(1), 926–933.
2. Astriani, L., Mulyanto, T. Y., Bahfen, M., & Dityaningsih, D. (2021). Meningkatkan Ekonomi Masyarakat Melalui Produk Kreatif dari Pengolahan Sampah Plastik. *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ*, 1(1).
3. Jannah, W. (2019). Proses Pengolahan Sampah Plastik di Lembaga Generasi Bintang Sejahtera. *JISIP (Jurnal Ilmu Sosial Dan Pendidikan)*, 3(1).
4. Joko, T. (2017). Perancangan Alat Sortasi Buah Tomat Berdasarkan Warna Menggunakan Arduino. Universitas AMIKOM Yogyakarta.
5. Pratama, A. W., Yudiarti, D., & Hidayat, M. N. (2022). Perancangan Folding Stool Menggunakan Limbah Plastik. *EProceedings of Art & Design*, 9(3).
6. Safaris, A., & Effendi, H. (2020). Rancang bangun alat kendali sortir barang berdasarkan empat kode warna. *JTEV (Jurnal Teknik Elektro Dan Vokasional)*, 6(2), 391–402.
7. Sagita, H., & Rozany, B. A. (2017). Model Sistem Automasi Sortir Barang Berdasarkan Warna Menggunakan Programmable Logic Control Berbasis Mikrokontroler. *Jutisi: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 6(1), 1367–1374.
8. Arisandy, Z., Haykal, T. M., & Purba, A. M. (2022). Rancang Bangun Alat Sortir Bahan Kain Berdasarkan Degradasi Warna Dengan Kontrol Outseal PLC. *Prosiding Konferensi Nasional Social & Engineering Polmed (KONSEP)*, 3(1), 926–933.