

Sistem Pengklasifikasi Jenis Sampah Plastik berdasarkan *Resin Identification Code* menggunakan Metode *YOLOv5s* berbasis Raspberry Pi

Hasbi Hassadiqin¹, Fitri Utamingrum²

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹asbihassadiqin@student.ub.ac.id, ²f3_ningrum@ub.ac.id

Abstrak

Perkembangan industri yang pesat berdampak pada peningkatan kebutuhan manusia, yang mengakibatkan produksi beragam produk untuk memenuhi kebutuhan tersebut. Sebagian besar produk berbahan dasar plastik yang bersifat sulit terurai, sehingga diperlukan proses daur ulang yang panjang. Oleh karena itu, rancang bangun sistem pengklasifikasian jenis sampah berdasarkan *Resin Identification Code* ini dapat membantu memisahkan sampah plastik daur ulang secara otomatis. Pada rancang bangun sistem ini digunakan metode *YOLOv5s*. Penelitian ini memiliki beberapa kelas yaitu *plastic bottle* (PET), *plastic cup* (PP), *soap bottle* (HDPE), *plastic bag* (LDPE), *cable* (PVC), dan *styrofoam* (PS). Pertama, dilakukan *training* pada dataset sampah yang berjumlah 6000 gambar yang terdiri dari 1000 gambar setiap kelasnya. Lalu, akan dilakukan analisa pengaruh nilai *epoch* terhadap akurasi model, pengujian ini menghasilkan bahwa besar nilai *epoch* terhadap akurasi berbanding lurus, dengan hasil *accuration*, *box loss*, *class loss*, dan *object loss* sebesar 0.9995, 0.015, 0.001, dan 0.006. Kemudian, dilakukan perhitungan *accuration*, *precision*, *recall* dan *F1-score* pada model yang menghasilkan rata-rata nilai *accuration* mencapai 0.995, *precision* 0.99, *recall* 0.993, dan *F1-score* 0.991. Kemudian dilakukan pengujian waktu komputasi sistem yang menghasilkan rata-rata waktu komputasi 6.594 detik. Terakhir, dilakukan pengujian akurasi integrasi sistem pada setiap kelas yang dideteksi, pengujian ini menghasilkan total rata-rata akurasi mencapai 93,3%.

Kata kunci: *YOLOv5*, *Sampah*, *Plastik*, *RIC*

Abstract

The rapid growth of the industrial sector has led to an increased demand for various products, primarily made of non-biodegradable plastic. To address this issue, a waste classification system based on the Resin Identification Code was designed to automatically segregate recyclable plastic waste. The system utilizes the YOLOv5s method and was trained on a dataset containing 6000 images, distributed among plastic bottle (PET), plastic cup (PP), soap bottle (HDPE), plastic bag (LDPE), cable (PVC), and styrofoam (PS) classes. Through the analysis, it was observed that a higher epoch value positively impacts the accuracy, with values of 0.9995, 0.015, 0.001, and 0.006 for accuracy, box loss, class loss, and object loss, respectively. The model achieved remarkable results with an average accuracy of 99.5%, precision of 0.99, recall of 0.993, and F1-score of 0.991. Moreover, the system demonstrated an average computation time of 6.594 seconds. In testing the integration accuracy, the system achieved an overall average accuracy of 93.3% across all detected classes. This innovative waste classification system offers a promising solution for the efficient recycling of plastic waste.

Keywords: *YOLOv5*, *Waste*, *Plastic*, *RIC*

1. PENDAHULUAN

Setiap harinya masyarakat Indonesia dapat menghasilkan total 28,4 ribu kilo sampah plastik (Kholidah, Faizal, & Said, 2018). Plastik memiliki karakteristik yang kuat, ringan, dan tahan air (Bruno, 2000). Namun plastik juga

memiliki sifat yang sulit terurai, secara alami plastik membutuhkan waktu 500 hingga 1000 tahun untuk dapat terurai menjadi bagian-bagian yang lebih kecil (Delaney, 2013). Sehingga perlu dilakukannya daur ulang yang memiliki beberapa tahapan, yaitu *collecting*, *sorting*, *washing*, *grinding*, dan *regranulation* (Ragaert,

Delva, & Van Geem, 2017). *Sorting* menjadi salah satu syarat utama dalam proses daur ulang, *American Society of Plastics Industry* membagi plastik menjadi 7 kelompok berdasarkan *Resin Identification Code (RIC)*, yaitu *Polyethylene Therephthalate (PET/PETE)*, *High Density Polyethylene (HDPE)*, *Polyvinyl Chloride (PVC)*, *Low Density Polyethylene (LDPE)*, *Polypropylene (PP)*, *Polystyrene (PS)* dan *Other*. Dari semua kelompok tersebut, hanya PET, HDPE dan PP yang dapat didaur ulang dengan optimal (Lim, Ahn, Cho, & Kim, 2022).

Saat ini, proses *sorting* sampah plastik masih dilakukan secara manual oleh para pekerja untuk memisahkan jenis sampah plastik satu per satu. Namun, belum ada sistem *sorting* otomatis yang dapat memisahkan berbagai jenis sampah plastik berdasarkan jenisnya, terutama PET, HDPE, dan PP yang dapat didaur ulang dengan optimal. Perkembangan teknologi telah memungkinkan penggunaan teknologi pengolahan citra digital untuk melakukan penyortiran sampah plastik berdasarkan jenisnya. Teknologi ini memanfaatkan pengolahan citra digital untuk mengenali objek dengan lebih baik melalui identifikasi fitur-fitur yang membedakannya dari objek lain dan latar belakang (Khrishna & Akansha, 2010).

Dalam pembuatan pendeteksi sampah plastik berdasarkan jenisnya, diperlukan metode pengenalan objek yang akurat dan real-time. Pengenalan objek merupakan komponen penting dalam *computer vision*, yang bertujuan untuk mendeteksi objek kelas tertentu dalam gambar atau video digital (Zou, Zhenwei, Yuhong, & Jieping, 2019). Salah satu algoritma *Deep Learning* yang digunakan dalam pengolahan citra digital adalah metode *You Only Look Once (YOLO)*, yang memiliki kecepatan dan akurasi tinggi. Metode YOLO membagi citra menjadi *grid-grid* kecil untuk mendeteksi objek, dan setiap *grid* memberikan prediksi *bounding bos* dan probabilitas terkait objek di dalamnya. Probabilitas ini kemudian digunakan untuk mengklasifikasikan objek.

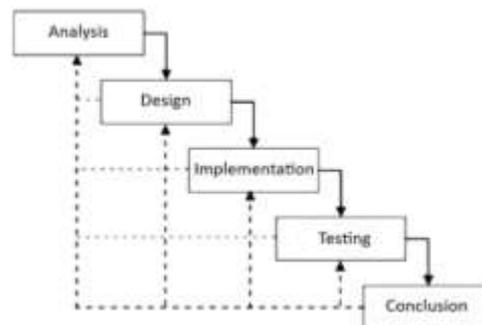
Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan metode *YOLOv5* untuk klasifikasi dan deteksi sampah plastik dengan tingkat akurasi yang tinggi. Penelitian “*A Garbage Classification Method Based on Improved YOLOv5*” (Yan, Yang, Feng, Wang, & Tan, 2022) menggunakan metode *YOLOv5* yang dimodifikasi untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan beberapa jenis sampah plastik, mencapai tingkat akurasi rata-rata

97,5%. Penelitian lain dengan judul “*Using YOLOv5 for Garbage Classification*” (Wu, et al., 2021) juga menggunakan *YOLOv5* sebagai dasar model klasifikasi sampah plastik, mencapai tingkat akurasi lebih dari 99% dengan *Recall* dan *Precision* mendekati 100%. Sementara itu, penelitian dengan judul “*Plastic Waste Detection on Rivers Using YOLOv5 Algorithm*” (Sio, Guantero, & Villaverde, 2022), menggunakan *YOLOv5* untuk mendeteksi sampah plastik pada permukaan air secara *real-time* menggunakan *webcam*, dengan akurasi mencapai 84,298%.

Pada sistem yang akan dikembangkan, metode *YOLOv5s* akan digunakan untuk melakukan deteksi objek secara real-time menggunakan *webcam*. *YOLOv5s* memiliki ukuran yang relatif kecil, sekitar 13,7 *megabyte*, namun tetap memberikan akurasi yang baik (Wu, et al., 2021). Untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi, *library PyTorch* akan digunakan sebagai pendukung dalam pendeteksian menggunakan *YOLOv5*. Penggunaan metode *YOLOv5s* dan *PyTorch* diharapkan dapat secara akurat dan efisien mendeteksi serta mengklasifikasikan sampah plastik berdasarkan bahan penyusunnya secara *real-time*.

2. METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian implementatif pengembangan dengan tujuan mengatasi kekurangan atau permasalahan penelitian sebelumnya. Metode penelitian yang digunakan mengadopsi model *waterfall*, yang terdiri dari tahapan *Analysis*, *Design*, *Implementation*, *Testing*, dan *Conclusion* (Bender RBT Inc., 2012). Penelitian ini akan menghasilkan sebuah *prototype* sebagai solusi dari permasalahan yang diidentifikasi. Diagram alir metodologi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1 Tahapan Metodologi Penelitian

2.1 Teknik Pengumpulan Data dan Analisis

Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan *webcam* JETE beresolusi 1080 *pixel* untuk mengambil citra gambar secara langsung. Data gambar terdiri dari 6 kelas sampah plastik, yaitu *plastic bottle*, *plastic cup*, *cable*, *plastic bag*, *sterofoam*, dan *soap bottle*, dengan total 1000 data gambar per kelas. Pengambilan citra dilakukan di atas alas berwarna coklat untuk memisahkan sampah plastik yang didominasi oleh warna putih. Data kemudian dikategorikan berdasarkan RIC, dimana *plastic bottle* (PET), *plastic cup* (PP), dan *soap bottle* (HDPE) dipisahkan berdasarkan jenisnya masing-masing, sementara *cable* (PVC), *plastic bag* (LDPE), dan *sterofoam* (PS) tergolong dalam kategori *non-recycle*. Kelas-kelas sampah plastik yang dideteksi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Dataset

Teknik analisis data dilakukan berdasarkan data yang diperoleh dari hasil observasi pada sistem. Analisis ini bertujuan untuk menguji seberapa baik kemampuan sistem dalam beberapa aspek. Beberapa aspek yang perlu diuji oleh sistem meliputi:

1. Pengujian pengaruh nilai *epoch* terhadap akurasi model yang dihasilkan dari proses *training* deteksi sampah plastik menggunakan metode *YOLOv5s* dan *Pytorch*.
2. Pengujian *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F1 Score* hasil deteksi sampah yang dihasilkan dari *YOLOv5s* dan *Pytorch*.
3. Pengujian waktu komputasi klasifikasi sampah yang dihasilkan dari *YOLOv5s* dan *Pytorch*.
4. Pengujian akurasi hasil integrasi dari deteksi sampah terhadap penempatan pembuangan sampah berdasarkan RIC.

3. REKAYASA KEBUTUHAN

3.1 Gambaran Umum Sistem

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi sampah plastik menggunakan model algoritma *YOLOv5* dengan *framework PyTorch*. Sistem ini terfokus pada enam kelas sampah plastik: *plastic bottle*, *plastic cup*, *cable*, *plastic bag*, *sterofoam*, dan *soap bottle*. Setiap kelas memiliki 1000 data gambar yang beragam.

Data akan dibagi menjadi *data training* (70% dari total data), *data validation* (20% dari total data), dan *data testing* (10% dari total data). Proses pelabelan data menggunakan *platform Roboflow*, dan *dataset* akan dilatih menggunakan *YOLOv5* dan *PyTorch*.

Setelah pelatihan selesai, pengujian dilakukan menggunakan *webcam* JETE 1080 yang dijalankan pada *Raspberry Pi 4* untuk mengevaluasi akurasi pendeteksian sampah plastik yang dihasilkan.

3.2 Rekayasa Kebutuhan

Rekayasa kebutuhan dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional. Kebutuhan fungsional menjelaskan perancangan sistem deteksi sampah plastik, yang melibatkan input, klasifikasi, dan sistem integrasi sebagai outputnya. Kebutuhan non-fungsional, di sisi lain, merujuk pada kebutuhan yang mendukung perancangan sistem, seperti perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*).

4. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

4.1 Perancangan Perangkat Keras

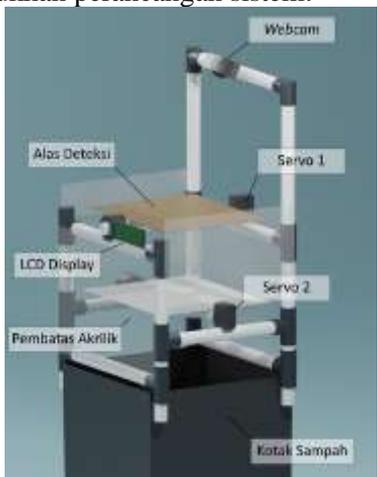
Perancangan perangkat keras memiliki tujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih mudah tentang operasional sistem yang sedang dirancang. Untuk itu, Gambar 3 di bawah ini menunjukkan blok diagram sistem yang menjelaskan setiap proses yang dilakukan oleh komponen perangkat keras.



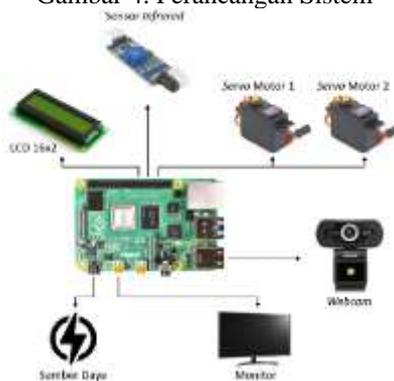
Gambar 3. Blok Diagram Perangkat Keras Sistem

Gambar 3 menjelaskan sistem mulai dari pendeteksian objek oleh *webcam* hingga pengelolaan hasil deteksi oleh *Raspberry Pi 4*. *Webcam* mendeteksi objek dan mengirim

gambar ke *Raspberry Pi 4*. Di *Raspberry Pi 4*, model *YOLOv5* dilatih untuk memprediksi kelas sampah plastik dan membuat *bounding bos*. Hasil deteksi tersebut digunakan untuk mengaktifkan *servo* dan membuang sampah ke tempat yang sesuai. *LCD* menampilkan hasil deteksi dan waktu komputasi. Gambar 4 menunjukkan perancangan sistem.



Gambar 4. Perancangan Sistem



Gambar 5. Skematik Sistem

Gambar 5 adalah skematik sistem pendeteksian sampah plastik berdasarkan jenisnya. *Raspberry Pi 4* berperan sebagai pengolah program deteksi. Sumber daya listrik menyediakan catu daya untuk sistem. Kamera webcam terhubung melalui *port USB* sebagai masukan ke *Raspberry Pi 4* untuk mengambil citra objek. *Sensor infrared* digunakan untuk mendeteksi objek di sekitarnya. *Servo* digunakan untuk mengarahkan tempat pembuangan sampah sesuai dengan kelasnya. Hasil deteksi ditampilkan pada layar monitor melalui *port HDMI* dan layar *LCD 16x2*.

5. PENGUJIAN DAN ANALISIS

5.1 Pengujian Pengaruh Nilai *Epoch*

Terhadap Akurasi Model

Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan akurasi model deteksi sampah plastik menggunakan algoritma *YOLOv5s* dengan variasi nilai *epoch*. Peneliti akan memperhatikan metrik seperti *accuracy*, *box loss*, *classification loss*, dan *object loss* dalam evaluasi hasil pelatihan model. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan parameter nilai *epoch* sebesar 200, dan nilai *batch size* sebesar 16.

Pengujian ini memfokuskan pada pengamatan hasil *accuracy*, *box loss*, *classification loss*, dan *object loss* pada *epoch* terakhir dari setiap model yang dilatih. Hasil terbaik diperoleh pada model yang melalui proses pelatihan dengan jumlah *epoch* 200, seperti yang terlihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perbanding Jumlah Nilai *Epoch* Terhadap *Accuracy*, *Box Loss*, *Classification Loss*, dan *Object Loss*

<i>Epoch</i>	<i>Accuracy</i>	<i>Box Loss</i>	<i>Classification Loss</i>	<i>Object Loss</i>
50	0.973	0.024	0.004	0.008
100	0.994	0.02	0.003	0.007
150	0.995	0.017	0.002	0.006
200	0.995	0.015	0.001	0.006

Dengan demikian, nilai *accuracy* berbanding lurus dengan jumlah *epoch* yang digunakan berdasarkan hasil pelatihan menggunakan metode *YOLOv5s*.

5.2 Pengujian *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1 Score* Model

Pada pengujian ini, bertujuan untuk mengevaluasi performa dari model yang telah dilatih. Evaluasi ini dilakukan dengan menggunakan beberapa metrik, seperti *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F1 score*. Pada tabel 2 adalah hasil pengujian nilai *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F1 score* dari setiap kelas.

Tabel 2. Tabel Pengujian Nilai *Accuracy*, *Precision*, *Recall*, dan *F1-score*

<i>Metric</i> Kelas	<i>Accuracy</i>	<i>Precision</i>	<i>Recall</i>	<i>F1-score</i>
<i>Plastic Bottle</i>	0.997	0.99	1	0.99
<i>Plastic Cup</i>	0.999	0.99	0.99	0.99

Plastic Bag	0.995	1	0.97	0.98
Cable	0.998	0.95	0.9	0.97
Soap Bottle	1	0.99	1	0.99
Sterofoam	100%	0.99	1	0.99

Setiap kelas dalam pengujian ini menunjukkan hasil yang baik untuk setiap metrik yang diuji. Rata-rata dari seluruh kelas menunjukkan *accuracy* model sebesar 99.5%, *precision* 0.99, *recall* 0.993, dan *F1 score* 0.991. Hasil rata-rata ini menyimpulkan bahwa model dengan parameter *epoch* 200 dan *batch size* 16 merupakan model terbaik untuk klasifikasi sampah plastik menggunakan metode *YOLOv5s*. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa model yang dilatih dengan parameter tersebut memiliki tingkat akurasi yang tinggi dan performa yang baik dalam melakukan klasifikasi jenis sampah plastik.

5.3 Pengujian Waktu Komputasi Sistem

Pada pengujian ini, bertujuan untuk mengetahui waktu komputasi pada tiap kelas dan waktu komputasi rata-ratanya yang diperlukan oleh sistem dari proses ekstraksi fitur dan proses klasifikasi terhadap input citra gambar yang dideteksi. Pada Tabel 3 dan Gambar 6 adalah hasil waktu komputasi dari ekstraksi fitur citra gambar tiap kelas dan proses pengujian waktu komputasi.

Tabel 3. Rata-rata Waktu Komputasi 6 Kelas

Objek	Waktu Komputasi Rata-Rata (Detik)
Plastic Bottle	6.60
Plastic Cup	6.50
Plastic Bag	6.61
Cable	6.62
Soap Bottle	6.56
Sterofoam	6.65



Gambar 6. Hasil Waktu Komputasi Pada LCD

Dalam Tabel 3, setiap kelas memiliki nilai yang hampir sama, dengan waktu komputasi rata-rata sekitar 6 detik. *Plastic cup* memiliki waktu komputasi tercepat dengan rata-rata 6.505 detik, sedangkan *sterofoam* memiliki waktu

komputasi terlama dengan rata-rata 6.65 detik. Perbedaan waktu komputasi tercepat dan terlama hanya sekitar 0.1 detik. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa model yang telah dilatih memiliki performa yang baik dalam proses inferensinya.

5.4 Pengujian Integrasi dari Deteksi Sampah Terhadap Penempatan Pembuangan Sampah

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi hasil integrasi sistem pada implementasi sistem. Hasil pengujian integrasi sistem ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Tabel Pengujian Akurasi Hasil Integrasi

Objek	Benar	Salah	Akurasi
Plastic Bottle	5	0	100%
Plastic Cup	5	0	100%
Plastic Bag	5	0	100%
Cable	5	0	100%
Soap Bottle	3	2	60%
Sterofoam	5	0	100%

Berdasarkan Tabel 5, pengujian menghasilkan akurasi terendah sebesar 60% dan tertinggi sebesar 100%, dengan rata-rata akurasi secara keseluruhan mencapai 93.3%. Dalam integrasi sistem, masalah yang dihadapi terletak pada proses deteksi sampah yang memiliki pengaruh besar terhadap kesuksesan integrasi. Kesalahan dalam deteksi sampah dapat menyebabkan kesalahan dalam integrasi sistem.

6. KESIMPULAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada pengujian pengaruh jumlah *epoch* terhadap akurasi model, dilakukan serangkaian pengujian dengan parameter yang konsisten, termasuk *batch size* 16. Setelah melakukan pengujian dengan berbagai jumlah *epoch*, ditemukan bahwa penggunaan *epoch* 200 menghasilkan hasil terbaik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *accuracy* berbanding lurus dengan nilai *epoch* yang digunakan.
2. Pada pengujian nilai *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-score* dalam deteksi sampah plastik, hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata nilai *accuracy* mencapai 0.995, *precision* sebesar 0.99, *recall*

sebesar 0.99, dan *F1 score* sebesar 0.99. Hasil ini menunjukkan bahwa model yang digunakan memiliki tingkat akurasi dan performa yang sangat baik dalam mendeteksi objek sampah plastik.

3. Pada pengujian waktu komputasi deteksi sampah plastik, dilakukan pengukuran waktu untuk mengklasifikasikan setiap kelas sampah plastik. Hasil pengujian menunjukkan rata-rata waktu komputasi untuk setiap kelas. Rata-rata waktu komputasi keseluruhan adalah 6.59 detik. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa proses komputasi untuk deteksi sampah plastik dapat berjalan dengan baik pada *Raspberry Pi 4*.
4. Pada pengujian akurasi integrasi sistem, hasil pengujian menunjukkan sistem mampu memisahkan sampah plastik berdasarkan *Resin Identification Code* (RIC) dan menempatkannya pada tempat pembuangan yang sesuai. Akurasi tinggi ditemukan untuk sebagian besar kelas sampah plastik yang dideteksi, dengan tingkat akurasi mencapai 100% untuk *plastic bottle, plastic cup, plastic bag, cable, dan sterofom*. Namun, terdapat kesalahan dalam deteksi dan penempatan sampah *soap bottle* dengan tingkat akurasi 60%. Rata-rata akurasi integrasi sistem mencapai 93,3%. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa sistem ini dapat dipercaya dan diandalkan dalam memisahkan sampah plastik berdasarkan RIC.

6.2 Saran

1. Untuk meningkatkan kemampuan sistem dalam mendeteksi berbagai jenis sampah plastik, disarankan untuk memperbanyak kombinasi sampah yang digunakan dalam penelitian. Dengan demikian, sistem akan lebih efektif dalam mengklasifikasikan beragam jenis sampah plastik berdasarkan *Resin Identification Code* (RIC).
2. Selain menggunakan *Raspberry Pi 4*, direkomendasikan untuk melakukan percobaan yang sama dengan menggunakan *microprocessor* lain seperti *Jetson Nano*. Hal ini akan memungkinkan perbandingan performa sistem pada *platform* yang berbeda.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Bender RBT Inc. (2012). *Systems Development Lifecycle: Objectives and Requirements* is. 5-29. Retrieved from <https://www.benderrbt.com/Bender-SDLC.pdf>
- Bruno, E. A. (2000). *Automated Sorting of Plastics for Recycling* .
- Delaney, P. (2013, 11 2). *How long it takes for some everyday items to decompose*. Retrieved from Ireland: Down2Earth Materials: <http://www.down2earthmaterials.ie/decompose>.
- Kholidah, N., Faizal, M., & Said, M. (2018). *Polystyrene Plastic Waste Conversion into Liquid Fuel with Catalytic Cracking Process Using Al₂O₃ as Catalyst*. *Science & Technology Indonesia*, (pp. 3, 1-6).
- Khrishna, K. S., & Akansha, S. (2010). *Study of Image Segmentation Algorithms Different Types of Images*. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*.
- Lim, J., Ahn, Y., Cho, H., & Kim, J. (2022). *Optimal strategy to sort plastic waste considering economic feasibility to increase recycling efficiency*. *Process Safety and Environmental Protection* , 420-430.
- Ragaert, K., Delva, L., & Van Geem, K. (2017). *Mechanical and Chemical Recycling of Solid Plastic Waste*. Elsevier.
- Sio, G. A., Guantero, D., & Villaverde, J. (2022). *Plastic Waste Detection on Rivers Using YOLOv5 Algorithm*. *13th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCNT)*, 1-6.
- Wu, Z., Zhang, D., Shao, Y., Zhang, X., Zhang, X., Feng, Y., & Cui, P. (2021). *Using YOLOv5 for Garbage Classification*. *4th International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (PRAI)*, 35-38.
- Yan, X., Yang, Y., Feng, L., Wang, L., & Tan, M. (2022). *A Garbage Classification Method Based on Improved YOLOv5*. *International Conference on Networks, Communications and Information Technology (CNCIT)*, 1-5.

Zou, Z., Zhenwei, S., Yuhong, G., & Jieping, Y.
(2019). Object Detection in 20 Years: A
Survey. *preprint*. arXiv:1905.05055.