

GREEN WASTE DETECTION AND SORTING USING DEEP LEARNING IMPLEMENTED ON BANK SAMPAH INDUK SURABAYA

**Salman, Nadira Luna R, Mochammad Fajar N, Muhammad Adib Kamali, S.T.,
M.Eng.**

Institut Teknologi Telkom Surabaya

Abstrak

Berdasarkan data yang dilansir dari hasil pengolahan sampah induk Surabaya, Pengendapan sampah di wilayah metropolitan seperti Surabaya telah menjadi perhatian utama dalam yang jika tidak ditangani dapat menyebabkan degradasi lingkungan dan yang terburuk dapat membahayakan kesehatan penduduk. Dalam proses pengolahan sampah, sistem deteksi dan memilah sampah masih dilakukan secara manual yang membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang tinggi. Oleh karena itu penting untuk mendesain sistem deteksi dan memilah sampah yang cerdas dan efisien untuk memangkas waktu dan biaya operasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan metode pemodelan cerdas yang dapat mendeteksi dan memilah sampah secara otomatis. Model yang kami usulkan menerapkan algoritma *convolutional neural network* (CNN) dan sistem *konveyor* berbasis panel surya

Kata Kunci: CNN, Konveyor, Klasifikasi sampah, Panel surya.

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sampai saat ini pengolahan sampah di Indonesia jauh dari level optimal. Sebagian besar sampah yang berada di tempat penampungan sementara (TPS) berakhir di tempat pemrosesan akhir (TPA). Hal ini dilatar belakangi beberapa hal, seperti kurangnya edukasi kepada masyarakat untuk memilah sampah dengan benar dan kurangnya jumlah tempat pendauran ulang. Idealnya sampah yang berada di TPS harus di olah ditempat pendauran ulang terlebih dahulu, kemudian sisanya dibuang di TPA. Hal ini sesuai dengan Undang-Undang No.18 Tahun 2008 yang mewajibkan masyarakat menangani sampah dengan berwawasan lingkungan [1]. Dengan mendaur ulang sampah terlebih dahulu sebelum di buang ke TPA, maka hal ini dapat meningkatkan ekonomi masyarakat dan dampak positif bagi lingkungan.

Disisi lain, sistem pemilahan sampah di tempat pendauran ulang masih dijalankan secara manual yang membutuhkan tenaga kerja dan waktu yang cukup banyak [2]. Hal ini juga menjadikan proses pendauran ulang sampah membutuhkan tenaga dan biaya yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi sistem pemilahan sampah dengan menggunakan sistem pemilahan sampah yang dilakukan secara otomatis.

Perkembangan teknologi sistem pemilihan sampah otomatis ini berkembang pesat mengingat pentingnya peningkatan efisiensi dalam pengolahan sampah. Secara garis besar perkembangan teknologi sistem pemilihan sampah yang sudah menjadi produk komersial dan dalam proses pengembangan dapat di bagi menjadi dua kategori yaitu *macrosorting* dan *microsorting*. *Macrosorting* bertujuan untuk memilah sampah sejenis dari kumpulan sampah yang masih belum diproses apapun [3]. Sedangkan *microsorting* bertujuan untuk memilah sampah yang telah diproses seperti memilah sampah yang telah dihancurkan berdasarkan warna dari materialnya [4]. Kebutuhan proses *macrosorting* lebih mendesak saat ini mengingat proses ini yang membuat pengolahan sampah membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini fokus untuk mengembangkan sistem pemilahan sampah otomatis untuk *macrosorting* yang bertujuan untuk memilah sampah berdasarkan jenisnya.

Metode *macrosorting* yang ada saat ini dapat dibagi menjadi tiga metode yaitu *spectroscopy* [5], *X-ray* [6], dan *marker* sistem [6]. Cara kerja metode *spectroscopy* dan *X-ray* mengandalkan refleksi gelombang yang ditembakkan ke target. Perbedaan dari kedua metode tersebut terletak pada rentang panjang gelombang yang digunakan selama

proses transmisi dan refleksi gelombang. Pada metode *spectroscopy* rentang panjang yang di gunakan berdasarkan gelombang *infrared* yaitu dari 600 sampai 2500 nanometer. Pada metode *X-ray* menggunakan gelombang *X-ray* yaitu dari 0,01 hingga 10 nanometer. Dengan penggunaan gelombang *infrared* metode *spectroscopy* digunakan untuk membedakan jenis sampah yang berbahan tidak terlalu tebal sedangkan metode *X-ray* digunakan untuk memilah sampah yang berbahan tebal. Selanjutnya metode *marker* sistem, metode yang mengandalkan adanya simbol atau tanda tertentu yang dibuat oleh pabrik untuk membedakan jenis bahan yang digunakan.

Ketiga metode *macrosistem* tersebut masih memiliki ruang untuk ditingkatkan lagi. Terutama dari aspek fleksibilitas dari ketiga metode tersebut. Aspek fleksibilitas yang dimaksud disini adalah kemudahan untuk diadaptasi dan diterapkan menggunakan jenis sampah yang berbeda dari yang digunakan dalam percobaan. Mengingat ketiga metode tersebut menggunakan gelombang *infrared* dan *X-ray* atau pelabelan dalam prosesnya, maka hal ini menurunkan aspek fleksibilitas dari metode tersebut. Dengan kata lain, penambahan jenis sampah baru yang ingin diamati harus diamati terlebih dahulu di laboratorium yang mampu mengolah gelombang *infrared* dan *X-ray*.

Dengan adanya permasalahan dari aspek fleksibilitas tersebut, penelitian ini mengusulkan untuk mengganti penggunaan gelombang dan *marker* dengan *computer vision*. Dengan menggunakan metode *computer vision* ini penambahan jenis sampah baru yang akan diamati dapat dilakukan lebih mudah. Selain itu, metode yang diusulkan ini dapat memantau secara langsung dalam proses pemilahan sampah.

Penelitian yang berkembang di bidang ini berfokus pada peningkatan akurasi dengan merekayasa model kecerdasan buatan yang digunakan. Penelitian ini merekayasa model kecerdasan buatan *Convolutional Neural Network* (CNN). Penelitian ini mempertimbangkan aspek kemudahan untuk diimplementasikan di industri (praktikal) sehingga CNN yang digunakan adalah CNN yang memiliki kompleksitas rendah. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan teknik *transfer learning* dari modul *MobileNet* yang sudah dibuktikan dapat dijalankan di ponsel pintar.

Selain merekayasa model kecerdasan buatan penelitian ini mengusulkan penggunaan sistem konveyor yang ditenagai panel surya. Hal ini dilatar belakangi oleh tingginya daya yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem konveyor. Dengan desain ini sistem pemilahan sampah yang diusulkan tidak hanya dapat meningkatkan efisiensi waktu dan biaya tetapi juga dapat mengurangi penggunaan sumber energi fosil. Dari penjelasan diatas yang menjelaskan hal-hal yang memotivasi penelitian ini, secara garis besar kontribusi dari penelitian ini dapat diringkas sebagai berikut:

1. Penelitian ini mempertimbangkan aspek fleksibilitas dan praktikal. Modul *MobileNet* yang memiliki kemampuan unggul dari kedua aspek tersebut diusulkan untuk menjadi model kecerdasan buatan untuk sistem pemilahan sampah otomatis ini.
2. Sistem konveyor yang digunakan ditenagai oleh panel surya. Hal ini dilakukan untuk memastikan industri daur ulang sampah harus menjaga prinsip energi terbarukan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan pemaparan permasalahan yang dijelaskan pada latar belakang di atas, penelitian ini berfokus pada masalah-masalah berikut:

1. Bagaimana cara untuk meningkatkan fleksibilitas dan reabilitas sistem pemilahan sampah?
2. Bagaimana strategi implementasi sistem yang diusulkan pada dunia industri daur ulang sampah?

C. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini dapat dibagi dua yaitu tujuan umum dan khusus. Tujuan umum dari penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi sistem pengolahan sampah agar mengurangi dampak negatif pada lingkungan dan meningkatkan ekonomi masyarakat. Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui metode yang memiliki reabilitas dan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan metode yang sudah ada.
2. Mengetahui strategi yang efektif untuk menerapkan metode yang diusulkan dan integrasi sistem konveyor bertenaga panel surya pada dunia industri pengolahan sampah.

Penelitian ini mempertimbangkan aspek permasalahan nyata yang terjadi di dunia industri yaitu reabilitas dan fleksibilitas. Oleh karena itu penelitian ini memiliki manfaat teoritis dan praktis.

1. Manfaat teoritis

Penelitian ini dapat menjadi *state-of-the-art* penelitian tentang pemanfaatan *computer vision* pada dunia industri pengolahan sampah.

2. Manfaat praktis

Biaya dan waktu pemilahan sampah dapat diturunkan sehingga dapat meningkatkan ekonomi masyarakat dan dampak negatif pada lingkungan.

BAB II

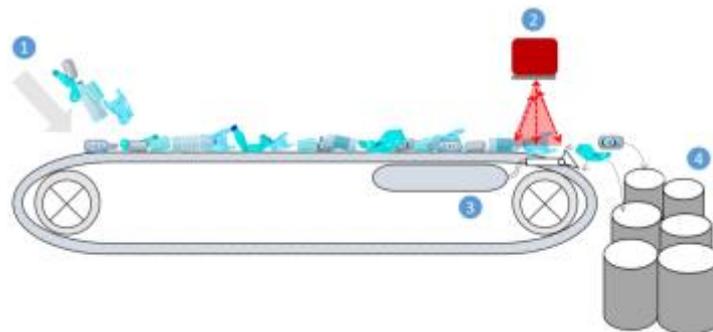
TINJAUAN PUSTAKA

Sistem pemilahan sampah otomatis telah dikembangkan dengan berbagai metode. Secara garis besar metode yang telah dikembangkan dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu menggunakan pancaran gelombang dan *computer vision*.

A. Sistem Pemilahan Sampah Menggunakan Pancaran Gelombang

Sistem pemilahan sampah otomatis yang telah banyak dikembangkan saat ini menggunakan gelombang baik itu gelombang infrared ataupun *X-ray*. Sistem pemilihan sampah yang menggunakan gelombang infrared di sebut juga dengan metode *spectroscopy*. **Gambar 2.1** menunjukkan kerangka kerja sistem pemilahan sampah otomatis dengan metode *spectroscopy* [5].

Proses kerjanya dimulai dengan menaruh sampah pada *conveyor belt* kemudian sampah akan berjalan menuju pemancar gelombang. Pada saat sampah berada di bawah pemancar gelombang, sampah tersebut akan memantulkan gelombang yang ditembakkan. Kemudian pantulan gelombang yang dihasilkan akan dianalisis untuk mengetahui jenis sampah yang sedang ada ujung persimpangan. Hasil analisis pantulan gelombang akan dijadikan acuan untuk menaruh sampah pada tempat yang telah di sediakan. Proses ini dibantu dengan adanya air *compressor* untuk mengarahkan sampah pada tempat yang telah disediakan.



Gambar 2. 1 Sistem pemilahan sampah otomatis menggunakan metode *spectroscopy*

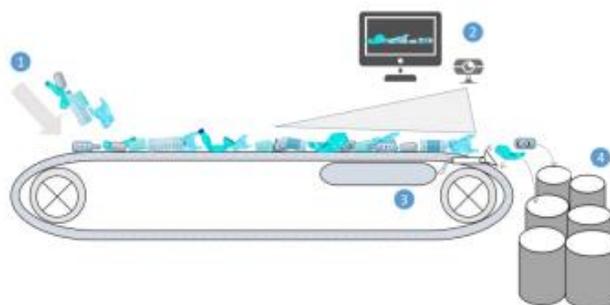
Sistem ini juga dapat diadaptasi dengan metode *X-ray* [6],perbedaannya terletak pada penggunaan panjang gelombang. Pada metode *spectroscopy* rentang panjang yang di gunakan berdasarkan gelombang infrered yaitu dari 600 sampai 2500 nanometer. Pada metode *X-ray* menggunakan gelombang *X-ray* yaitu dari 0,01 hingga 10 nanometer. Penggunaan gelombang infrared metode *spectroscopy* digunakan untuk membedakan jenis sampah yang berbahan tidak terlalu tebal sedangkan metode *X-ray* digunakan untuk memilah sampah yang berbahan tebal.

B. Sistem Pemilahan Sampah Menggunakan Pancaran Gelombang

Computer vision adalah bagian dari aplikasi mesin kecerdasan buatan yang melatih komputer untuk memprediksi dan memahami dunia *vision* berdasarkan objek digital [7]. Gambar digital dan video dari kamera menjadi masukan untuk model kecerdasan buatan atau model pembelajaran mendalam. Luaran dari model kecerdasan buatan atau pembelajaran mendalam dapat mengidentifikasi dan mengklasifikasi objek masukan dan bereaksi terhadap apa yang dilihatnya. Dengan berkembangnya teknologi komputasi yang dapat melakukan perhitungan kompleks dengan waktu singkat, peran *computer vision* banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Kerangka kerja *computer vision* telah dikembangkan di industri daur ulang sampah. Berikut ini adalah beberapa metode yang diusulkan untuk meningkatkan efisiensi sistem daur ulang sampah.

Sistem klasifikasi sampah berbasis *support vector machine* (SVM) dan metode transformasi fitur skala telah dikembangkan [8]. Sistem ini bertujuan untuk memilah enam jenis sampah yaitu logam, kertas, kaca, plastik, karton, dan sampah tidak bisa didaur ulang. Akurasi dari sistem ini mencapai 63%. Selain itu, sistem pemilahan sampah menggunakan jaringan saraf *convolutional* diusulkan [9]. Sistem ini dibuat untuk mengategorikan limbah yang berbeda ke dalam tiga kategori yaitu sampah kertas, yang akan dibawa ke TPA, dan yang bisa didaur ulang. Masukan dari sistem ini adalah gambar sampah yang jenisnya bermacam-macam. Pada proses pemilahan, sistem ini menggunakan teknik jaringan saraf konvolusi berbasis wilayah untuk mendapatkan proposal wilayah dan mengklasifikasikan objek.

Secara garis besar kerangka kerja dari sistem pemilihan sampah otomatis berbasis *computer vision* seperti yang ditunjukkan Gambar 2.2 berikut ini. Komponen yang digunakan kurang lebih sama dengan sistem pemilahan sampah otomatis berbasis gelombang. Perbedaannya terletak pada penggunaan pemancar gelombang di ganti dengan penggunaan *computer vision*. Penelitian yang berkembang akan berfokus pada peningkatan akurasi dengan merekayasa model kecerdasan buatan yang digunakan.



Gambar 2. 2 Sistem pemilahan sampah otomatis menggunakan metode *computer vision*

BAB III METODE

Penelitian ini bertujuan untuk mencari sistem yang dapat meningkatkan efisiensi sistem pemilahan sampah dengan menggunakan kerangka kerja *computer vision*. **Gambar 3.1** adalah diagram alur metode penelitian yang digunakan. Penelitian ini dimulai dengan mengkaji teknologi *macrosorting* yang telah dikembangkan sebelumnya, kemudian dilanjutkan analisis kebutuhan dan permasalahan yang ada pada sistem pemilahan sampah otomatis yang ada. Hasil dari analisis kebutuhan dan permasalahan dijadikan pertimbangan dalam perancangan dan penentuan parameter sistem. Selanjutnya proses *training* dan *validation* sistem dilakukan untuk menguji reabilitas dan fleksibilitas sistem yang diusulkan. Tahap terakhir yaitu evaluasi sistem untuk menentukan apakah sistem yang dirancang sudah mencapai tujuan atau belum.



Gambar 3.1 Diagram alur perancangan sistem pemilahan sampah otomatis berbasis *computer vision*

A. Perancangan Sistem Computer Vison

1. *Input* Data

Data dalam penelitian ini diambil dari Induk Bank Sampah Surabaya. Data yang berhasil terkumpul adalah data gambar jenis sampah yang ada di kota Surabaya. Terdapat enam kelas atau jenis sampah yang ada, yaitu kardus, kaca, logam, plastik, kertas dan sampah. Data kardus terkumpul 403 gambar, data kaca terkumpul 501 gambar, data metal terkumpul 410 gambar, data kertas terkumpul 594 gambar, data plastik terkumpul 482 gambar, data sampah terkumpul 137 gambar. Sehingga total data yang dikumpulkan

adalah 2527 gambar.



Gambar 3.2 Contoh data sampah kardus



Gambar 3.3 Contoh data sampah kertas

2. *Preprocessing* Data

Preprocessing data merupakan teknik awal data *mining* untuk mengubah data mentah atau biasa dikenal dengan raw data yang dikumpulkan dari berbagai sumber menjadi informasi yang lebih bersih dan bisa digunakan untuk pengolahan selanjutnya. Proses yang dilakukan yaitu membagi gambar menjadi gambar yang lebih kecil dan saling tumpang tindih.

3. Pembagian Data

Setelah *preprocessing* data kemudian data dibagi menjadi dua bagian yaitu data *training* dan data *testing*.

4. Permodelan Machine Learning

Layer (Type)	Output Shape	Param #
Conv2d	(None, 300, 300, 32)	896
Max_pooling2d (MaxPooling2D)	(None, 150, 150, 32)	0
Conv2d_1(Conv2D)	(None, 150, 150, 64)	18496
max_pooling2d_1(MaxPooling2D)	(None, 75, 75, 64)	0
Conv2d_2(Conv2D)	(None, 75, 75, 32)	18464
max_pooling2d_2(MaxPooling2D)	(None, 37, 37, 32)	0
Conv2d_3(Conv2D)	(None, 37, 37, 32)	9248
max_pooling2d_3(MaxPooling2D)	(None, 18, 18, 32)	0
flatten (Flatten)	(None, 10368)	0
dense (Dense)	(None, 64)	663616
Dense_1 (Dense)	(None, 6)	390

Total Params : 711,110

Trainable Params : 711,110

Non-Trainable Params : 0

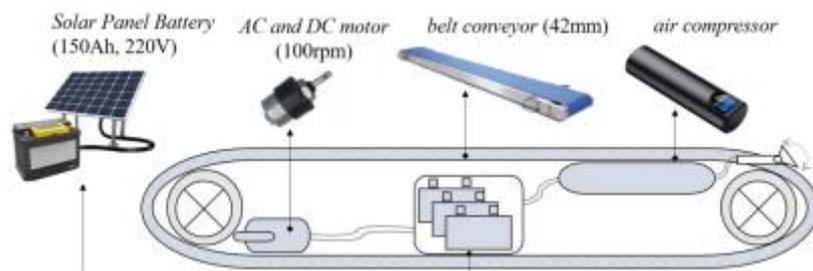
Pemilihan model *machine learning* diperlukan untuk menunjang keakuratan dari hasil data yang kita perlukan. Ada berbagai model yang akan digunakan tergantung pada data yang akan diproses seperti gambar, suara, teks, dan nilai numerik. Pada penelitian ini menggunakan model algoritma klasifikasi di antara-Nya *Convolutional Neural Network*(CNN) dan *CNN Mobile Net*. Setelah menentukan beberapa algoritma yang akan digunakan, selanjutnya perlu melatih kumpulan data menggunakan algoritma tersebut. Hasil dari pemodelan *machine learning* dapat digunakan untuk evaluasi untuk memeriksa apakah memenuhi persyaratan dari tujuan penelitian.

5. Evaluasi

Dapat kita lihat bahwa hasil yang kita dapatkan dari klasifikasi menggunakan CNN yaitu akurasi bernilai 73% sedangkan CNN MobileNet memiliki akurasi yang lebih tinggi. Pernyataan tersebut dapat dibuktikan dengan hasil prediksi yang dihasilkan oleh CNN MobileNet pada **gambar 3.2** lebih konsisten dari pada hasil prediksi oleh CNN pada gambar 3.1.

B. Perancangan Sistem Konveyor Bertenaga Panel Surya

Sistem konveyor yang diusulkan didesain untuk memindahkan sampah yang masih bercampur jenisnya ke dalam tempat yang sudah disediakan berdasarkan tempatnya. Dalam implementasinya sistem konveyor ini membutuhkan daya yang tinggi. Oleh sebab itu, penelitian ini mendesain sistem konveyor yang digunakan bertenaga surya. Hal ini untuk memastikan bahwa industri daur ulang sampah dapat menjadi *green industry*. Arsitektur sistem konveyor bertenaga surya ditunjukkan pada **gambar 3.1** berikut. Panel surya dengan tegangan 220 Volt dihubungkan ke baterai berkapasitas 150Ah. Motor AC/DC yang telah mendapat energi dari baterai dihubungkan ke poros roda konveyor. Kemudian *belt conveyor* akan berjalan ke arah *air compressor*.

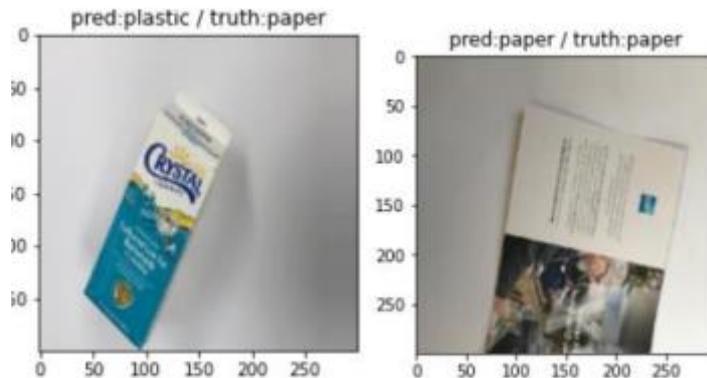


Gambar 3. 3 Arsitektur Sistem Konveyor Bertenaga Panel Surya

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

A. Hasil Pengujian

Data yang berhasil terkumpul adalah data pengolahan sampah di kota Surabaya di tahun 2018 yang berjumlah 1176 data, tahun 2019 berjumlah 1340 data, dan tahun 2020 berjumlah 874 data, sehingga total data yang terkumpul berjumlah 3390 data.



Gambar 4.1 Hasil Klasifikasi menggunakan model CNN

Kita mendapatkan akurasi yang lebih tinggi dari menggunakan model CNN. Ketika kita mengklasifikasi gambar paper122 pada CNN kita mendapati gambar tersebut diprediksi sebuah plastic padahal nilai sebenarnya yaitu kertas seperti yang terlihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.2 Hasil Klasifikasi menggunakan model CNN MobileNet

Apabila kita mengklasifikasi gambar paper122 menggunakan model CNN MobileNet, dapat kita lihat pada gambar 4.2 Kita mendapatkan nilai 99% gambar tersebut merupakan kertas. Hasil dari percobaan menggunakan MobileNet lebih baik dibandingkan dengan CNN yang belum melakukan *fine tuning* CNN. Banyak jenis sampah yang tidak dapat dideteksi dengan CNN dapat dideteksi dengan mudah dengan model MobileNet. Selain itu, MobileNet juga rendah komputasi sehingga dapat dioperasikan di platform yang memiliki *resources* terbatas, seperti smart phone, laptop. Oleh karena itu, penggunaan MobileNet ini dapat memastikan sistem daur ulang sampah otomatis dapat dijalankan dengan respons cepat meskipun perangkat yang digunakan sederhana.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa dalam klasifikasi sampah induk di Kota Surabaya menggunakan metode *machine learning*, penggunaan algoritma yang mendapatkan akurasi terbaik adalah ketika menggunakan Algoritma MobileNet yaitu mendapat akurasi sebesar 75%. Beberapa sampah yang tidak dapat dideteksi menggunakan CNN dapat deteksi dengan MobileNet.

B. Saran

Penggunaan *dataset* yang diambil langsung dari jenis sampah Indonesia akan sangat membantu model *computer vision* yang dikembangkan. Selain itu, penggunaan baterai yang berkapasitas besar akan sangat membantu untuk menenagai sistem konveyor beroperasi lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sitohang and Andrianningsih, "Alat Pendeteksi Data Vaksinasi Sensor FPM10A dan NODEMCU ESP8266 Menggunakan Metode Sequential Searching", J. Teknologi Informasi dan Komunikasi, vol. 6, no. 4, pp. 512- 518, 2022.
- [2] R. Alfita, K. A Wibisono and M.W. Anwar, "Rancang Bangun Alat Pemilah Sampah Organik Dan Anorganik", J. Zetroem, vol. 3, no. 1, pp. 18-25, 2021.
- [3] T. Huth-Fehre et al., "NIR - Remote sensing and artificial neural networks for rapid identification of post consumer plastics", J. of Molecular Structure, vol. 348, pp. 143-146, 1995..
- [4] J. Xie, C. Zhang, J. Fu and P. Zhao, "Automatic and Continuous Separation of Mixed Waste Plastics Via Magneto-Archimedes Levitation", SSRN Electronic Journal, 2021.
- [5] D. Scott and R. Waterland, "Indentification of plastic waste using spectroscopy and neural networks", Polymer Eng. and Sci., vol. 35, no. 12, pp. 1011-1015, 1995.
- [6] H. Hata, Y. Ohara, Y. Tanaka and N. Sugitsue, "Application of support vector machine to rapid classification of uranium waste drums using lowresolution γ -ray spectra", Applied Radiation and Isotopes, vol. 104, pp. 143- 146, 2015.
- [7] M. Rahman and B. Bambang, "Deteksi Sampah pada Real-time Video Menggunakan Metode Faster R-CNN", Applied Tech. and Computing Sci. J., vol. 3, no. 2, pp. 117-125, 2021.
- [8] A. Arayakandy, "Design and Development of Classification Model for Recyclability Status of Trash Using SVM", Int J. for Research in Applied Sci. and Engineering Tech., vol. 7, no. 3, pp. 2146-2150, 2019.

- [9] O. Awe, R. Mengistu and V. Sreedhar, "Smart Trash Net: Waste Localization and Classification", 2017