

RANCANG BANGUN PURWARUPA PEMILAHAN SAMPAH PINTAR BERBASIS DEEP LEARNING

Kahlil Muchtar^{*1}, Nyak Twoman Anshari², Chairuman³, Khalid Alhabibie⁴, Khairul Munadi⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

Email: ¹kahlil@unsyiah.ac.id, ²oman.anshari@gmail.com, ³chairuman@mhs.unsyiah.ac.id,

⁴khalid.a@mhs.unsyiah.ac.id, ⁵khairul.munadi@unsyiah.ac.id

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 27 September 2021, diterima untuk diterbitkan: 08 Juni 2022)

Abstrak

Pengolahan sampah di Indonesia masih menjadi pekerjaan rumah yang besar dan belum terselesaikan. Menurut penelitian aktual Sustainable Waste Indonesia (SWI) mengungkapkan bahwa 24% sampah di Indonesia masih tidak dikelola dengan baik. Dari sekitar 65 juta ton sampah yang diproduksi di Indonesia tiap harinya, sampah yang paling banyak dihasilkan adalah sampah organik sebanyak 60%, sampah plastik 14%, diikuti sampah kertas 9%, metal 4,3%, kaca, kayu dan bahan lainnya sebesar 12,7%. Sampah plastik yang dihasilkan Indonesia mencapai 1,3 juta ton. Berdasarkan banyaknya sampah yang diproduksi Indonesia, dapat diketahui besarnya peran daur ulang dalam menyelamatkan lingkungan. Peran yang paling utama adalah dapat membantu mengurangi limbah dimanapun dan mengurangi polusi. Langkah awal untuk pengolahan limbah adalah pemilahan. Dengan memilah sampah yang benar, masyarakat dapat dengan mudah mengidentifikasi bahan mana yang dapat didaur ulang dan mana yang tidak. Berdasarkan permasalahan tersebut, peneliti mengusulkan sebuah sistem yang mampu membedakan dan mengenal sampah organik dan sampah anorganik. Dalam hal ini, digunakan salah satu cabang ilmu pembelajaran mesin (*Machine Learning*) yang mampu mengetahui kumpulan gambar serta mengklasifikasikannya yaitu pembelajaran mendalam (*Deep Learning*). Salah satu metode pembelajaran mendalam (*Deep Learning*) yang digunakan adalah *Convolutional Neural Network* (CNN). Arsitektur tersebut menyerupai saraf manusia dan merupakan salah satu pembelajaran terawasi. Selain itu, peneliti memanfaatkan Raspberry Pi sebagai mikrokontroler, modul kamera Raspberry Pi yang digunakan untuk mengambil gambar, serta *Intel Movidius Neural Compute Stick* (NCS) yang berfungsi untuk mempercepat proses komputasi sehingga proses pendeteksian lebih mudah. Hal ini dikarenakan perangkat tersebut bersifat *portable*, cepat dan akurat.

Kata kunci: *Deep Learning*, Sampah Organik dan Anorganik, *Intel Movidius Neural Computing Stick*

PROTOTYPING A SMART BIN VIA DEEP LEARNING

Abstract

Waste processing in Indonesia is still a big homework and has not been solved. According to the latest research by Sustainable Waste Indonesia (SWI) 24% of waste in Indonesia is still not properly managed. From about 65 million tons of waste produced in Indonesia every day, the largest contributor to this is organic waste as much as 60%, plastic waste 14%, followed by paper waste 9%, metal 4.3%, glass, wood and other materials at 12.7%. The plastic waste in Indonesia reaches 1.3 million tons. Based on the amount of waste in Indonesia, it can be seen that the role of recycling is big in saving the environment. It is crucial to help reduce waste anywhere and reduce press down pollution. The very first step in waste processing is sorting. By properly sorting waste, people can easily identify which materials can be recycled and which are not. Based on these problems, the researcher proposes a system that is able to recognize and sort organic waste, and inorganic waste. In this case, Deep Learning, a branch of (Machine Learning) is used to be able to understand a set of images and classify them. Deep Learning method applied here is using Convolutional Neural Network (CNN). The algorithm is like human nerves and is one of supervised learning. In addition, this research use the Raspberry Pi as a microcontroller, the Raspberry Pi camera module which is used to take pictures, and the Intel Movidius Neural Compute Stick (NCS) to speed up the computing process so that the identification process is easier. These devices are portable, fast and accurate.

Keywords: *Deep Learning*, *CNN*, *Organic and Inorganic Waste*, *Intel Movidius Neural Computing Stick*

1. PENDAHULUAN

Bagi Indonesia, pengolahan sampah masih menjadi pekerjaan rumah yang besar dan belum

terselesaikan. Seperti yang dikemukakan oleh *Sustainable Waste Indonesia* (SWI) bahwa 24% sampah di Indonesia masih tidak dikelola dengan

baik. Dari sekitar 65 juta ton sampah yang diproduksi di Indonesia tiap harinya, sekitar 15 juta ton sampah mengotori ekosistem dan lingkungan. Selain itu, ada sekitar 7% sampah berpotensi didaur ulang namun berakhir di tempat pembuangan akhir (TPA). Dari laporan SWI ini pula diketahui bahwa paling banyak jenis sampah yang dihasilkan adalah sampah organik sebanyak 60%, sampah plastik 14%, diikuti sampah kertas 9%, metal 4,3%, kaca, kayu dan bahan lainnya sebesar 12,7 %. Sampah plastik yang dihasilkan Indonesia mencapai 1,3 juta ton. Jumlah ini masih dinilai sangat banyak, mengingat bahwa plastik tidak mudah untuk terurai. Apabila sampah plastik tersebut tidak dikelola di TPA atau didaur ulang, maka akan merusak ekosistem. Sampah plastik yang tidak dikelola ini biasanya tertimbun di tanah, atau ikut mengalir ke lautan (Indonesia, C., 2019).

Dari fakta-fakta diatas dapat diketahui betapa besarnya peran daur ulang dalam menyelamatkan lingkungan. Yang paling utama adalah dapat membantu mengurangi limbah dimanapun dan mengurangi polusi. Langkah awal untuk pengolahan limbah adalah pemisahan. Dengan memilah sampah yang benar, masyarakat dapat dengan mudah mengidentifikasi bahan mana yang dapat didaur ulang dan mana yang tidak (Taopo.org., 2020a). Sekitar 22,8% responden yang memisahkan limbah/sampah daur ulang dan nondaur ulang (Taopo.org., 2020b). Padahal, sebagian besar sampah yang dihasilkan di kota-kota besar seluruh dunia dapat didaur ulang. Oleh karena itu, masyarakat perlu memahami cara untuk menggunakan kembali (*recycling*) sampah-sampah tersebut sehingga sampah dapat bermanfaat dan mengurangi masalah lingkungan. Dengan adanya berbagai metode untuk pengklasifikasian sampah, diharapkan dapat membantu masyarakat untuk memilah sampah dengan benar.

Untuk meminimalisir dampak yang disebabkan oleh pembuangan sampah yang tidak benar, maka kami mengusulkan sistem otomatis menggunakan teknik jaringan saraf (*neural network*) untuk dapat memisahkan sampah sesuai kategorinya. Penelitian mengenai pemilahan sampah sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh Andrés Torres-García, dkk. berjudul “*Intelligent Waste Separator*” (Torres-Garcia, A., dkk, 2015). Penelitian yang dilakukan yaitu pemilah sampah otomatis menggunakan algoritma KNN (*k-nearest neighbor*) dengan menggunakan tiga sampel jenis sampah yang relatif serupa dan tidak dilakukan secara *real time* pada lingkungan terbuka. Akurasi dari penelitian ini sebesar 98,33%.

Penelitian lainnya mengenai pemilahan sampah juga telah dilakukan oleh Yijian Liu, dkk. berjudul “*Novel Smart Waste Sorting System based on Image Processing Algorithms: SURF-BoW and Multi-class*

SVM” (Liu, Y., dkk, 2018). Penelitian yang dilakukan yaitu membuat sebuah sistem berbasis SURF-BoW (*Speeded Up Robust Features-Bag of Words*) dan Multi-Class SVM (*Support Vector Machines*) untuk memisahkan sampah dengan akurasi rata-rata 93,28% dengan 5 jenis sampel sampah yang telah di lokalisasi dengan perlakuan tertentu. Penelitian lainnya mengenai pemilahan sampah juga telah dilakukan oleh suatu perusahaan yang bernama Intuitive yang berjudul “*OSCAR, AI for Zero Waste*” (Yasmin, dkk, 2019).

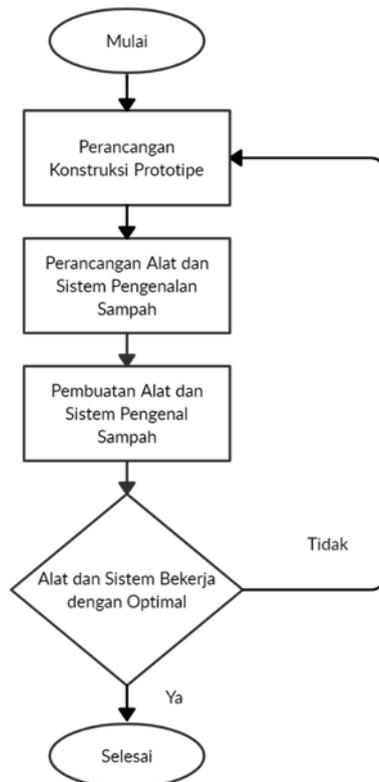
Penelitian yang dilakukan yaitu merancang suatu tempat sampah yang bernama OSCAR, yang dapat mengenali beragam sampah yang ada di tangan seseorang, misalnya gelas plastik, bekas serbet kertas, kantong keripik, dan sendok plastik. Menggunakan teknik visi komputer tingkat lanjut dan algoritma pembelajaran mesin, OSCAR dilatih untuk mengenali *item* yang terlihat sebagian dan juga mengenali berbagai postur tubuh pembuang sampah yang mendekatinya.

Penelitian ini mengusulkan pembuatan suatu purwarupa alat yang dapat memisahkan sampah berdasarkan jenisnya dengan teknologi dan biaya perangkat keras yang murah. Dengan menggunakan teknologi pembelajaran mendalam (*deep learning*) untuk mengidentifikasi jenis sampah. Selain itu, Raspberry Pi dan *open visual inferencing and neural network optimization* (OpenVINO) serta Intel Movidius NCS dimanfaatkan untuk mempercepat pemrosesan jaringan kecerdasan buatan dalam tugas-tugas inferensi secara visual, seperti klasifikasi gambar dan deteksi objek (MSV, J., 2019).

2. METODE PENELITIAN

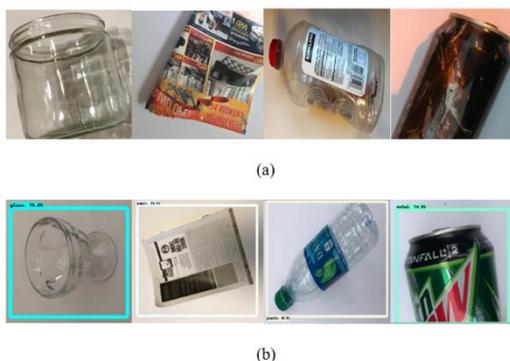
Pada penelitian ini terdapat beberapa tahapan yakni identifikasi masalah dan studi literatur. Setelah itu, proses perancangan konstruksi purwarupa dilaksanakan dan dimulai dari proses desain rancangan sampai merangkai menjadi rangka dari purwarupa alat. Fokus utamanya adalah untuk membangun ruang sampah organik, ruang sampah anorganik, dan ruang untuk pendeteksian sampah melalui kamera.

Secara lebih spesifik, beberapa komponen perangkat keras digunakan untuk membangun tong sampah pintar berbasis kecerdasan buatan. Fokus utamanya adalah merangkai sistem kelistrikan, penempatan *load cell*, *motor stepper*, dan modul kamera Raspberry Pi. Luaran yang diharapkan adalah berupa rangkaian komponen perangkat keras dari purwarupa yang mampu menerima masukan dari *load cell* dan masukan gambar yang ditangkap menggunakan modul kamera Raspberry Pi.



Gambar 1. Diagram alir

Setelah selesai perancangan alat maka langkah selanjutnya adalah perancangan sistem dengan melakukan perekaman gambar secara *real time* menggunakan modul kamera Raspberry Pi dengan luaran sistem adalah citra digital dengan label akurasi, *bounding box*, dan berat tempat sampah yang akan ditampilkan pada situs web terintegrasi. Program pengenalan gambar membutuhkan *dataset* untuk mengenali gambar yang memiliki kemiripan. *Dataset* tersebut berupa kumpulan citra digital yang didapatkan dari repositori yang dapat diakses secara publik pada *website* Github.com (Thung, G., 2017). Kumpulan citra digital pada *dataset* inilah yang digunakan untuk proses pelatihan gambar. Program tersebut menggunakan arsitektur CNN untuk mengenali gambar dengan jarak tertentu, pencahayaan yang cukup, dan latar belakang berwarna putih sehingga mendapatkan hasil luaran yang optimal.



Gambar 2. Ilustrasi gambar latih dan uji

Fungsi aktivasi yang digunakan pada layer output adalah fungsi aktivasi *softmax*. *Fully connected layer* memiliki banyak kesamaan dengan *layer output*. Perbedaan antara kedua layer tersebut adalah fungsi aktivasi *softmax* digunakan pada *layer output* dan fungsi aktivasi ReLU pada *fully connected layer*. Persamaan fungsi *softmax* ditunjukkan pada persamaan dibawah ini.

$$\rho_i = \frac{e^{x_i + \log(C)}}{\sum_{K=1}^N e^{x_k + \log(C)}} \quad (1)$$

Setelah semua perancangan selesai dilakukan, maka dilanjutkan ke tahap pembuatan alat dan sistem pengenalan sampah. Tahapan ini bertujuan untuk mengaplikasikan desain rancangan pada bentuk purwarupa yang sesungguhnya. Mengacu pada desain rancangan yang ada, bagian konstruksi purwarupa, dan perancangan sistem perangkat lunak kemudian dirakit menjadi satu kesatuan purwarupa yang siap pakai. Tahapan ini selesai ketika rancangan dan pembuatan perangkat keras, perangkat lunak, dan konstruksi purwarupa selesai.

Purwarupa tersebut diuji kinerjanya dan dilakukan perbaikan sehingga purwarupa dapat menjawab permasalahan yang telah diidentifikasi pada tahapan identifikasi masalah. Tahapan ini menghasilkan luaran berupa purwarupa siap pakai yang dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan keinginan. Purwarupa alat akan selesai pada saat pengujian berhasil dilakukan dan purwarupa menunjukkan kualitas dan fungsionalitas yang baik.

Tahapan pengujian terdiri dari pengujian alat dan pengujian sistem. Pengujian alat terdiri dari kalibrasi dari pembacaan sensor dan perangkat *stepper motor*, dan *push button* dapat bekerja dengan baik. Pengujian sistem terdiri dari pengujian program pembacaan gambar yang ditangkap menggunakan modul kamera Raspberry Pi menggunakan arsitektur CNN dengan model *MobileNet SSD* (Howard, A., dkk, 2020). Hasil deteksi sampah kemudian ditampilkan pada situs web terintegrasi.

MobileNet adalah salah satu dari arsitektur *convolutional neural network* (CNN) yang digunakan untuk mengatasi kebutuhan akan ukuran penyimpanan yang kecil atau keperluan sumber komputasi yang berlebihan. Perbedaan mendasar antara arsitektur *MobileNet* dan arsitektur CNN pada umumnya adalah penggunaan lapisan atau layer konvolusi dengan ketebalan filter yang sesuai dengan ketebalan dari input image. Pada arsitektur *MobileNet* membagi konvolusi menjadi *depthwise convolution* dan *pointwise convolution* (Howard, A., dkk, 2020).

Depthwise convolution merupakan hasil faktorisasi dari konvolusi standar. Dari N sebagai jumlah input, *depthwise convolution* melakukan prosesnya untuk setiap kanalnya. Sebagai contoh, input dari *layer depthwise convolution* adalah 10

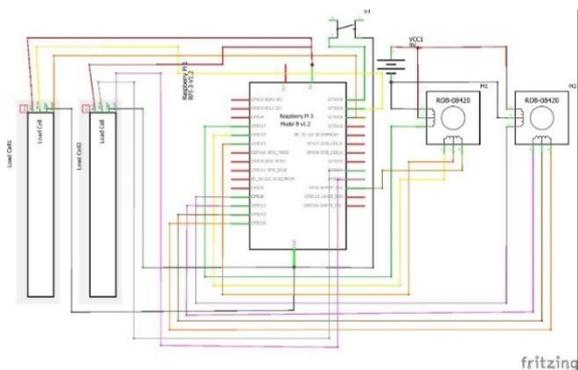
kanal, maka akan menghasilkan 10 hasil konvolusi baru. *Pointwise convolution* merupakan kernel dengan ukuran 1×1 yang digunakan untuk menggabungkan seluruh hasil konvolusi dari *depthwise convolution* (Howard, A., dkk, 2020).

Gambar hasil tangkapan dari modul kamera Raspberry Pi akan disesuaikan dengan *dataset* yang telah dilatih. Pada tahap pengujian performa purwarupa secara keseluruhan untuk melihat sistem yang dibuat bekerja dengan baik atau tidak, sebuah objek sampah akan diletakkan di depan modul kamera Raspberry Pi. Jika sampah berhasil dideteksi dan diklasifikasikan, maka tong sampah organik/anorganik akan terbuka secara otomatis. Selanjutnya, informasi gambar sampah yang terdeteksi (berserta nilai akurasi) dan berat tempat sampah akan ditampilkan pada situs web untuk keperluan pemantauan (*monitoring*) secara real-time.

Jika purwarupa dapat mendeteksi kelima jenis sampah tersebut dengan akurasi 70% maka sistem telah selesai. Jika tingkat akurasi pendeteksian kelima jenis sampah tersebut di bawah 50% atau tidak sesuai maka akan dianalisis faktor-faktor yang dapat mempengaruhi tingkat akurasi dalam pendeteksian kelima jenis sampah tersebut. Hasil analisis yang diperoleh yang diperoleh akan dilakukan penarikan kesimpulan mengenai tingkat akurasi pendeteksian kelima jenis sampah tersebut menggunakan pembelajaran mendalam (*deep learning*) dengan arsitektur CNN dan dilakukan perbaikan pada sistem yang telah dibuat.

2.1 Alat dan Bahan

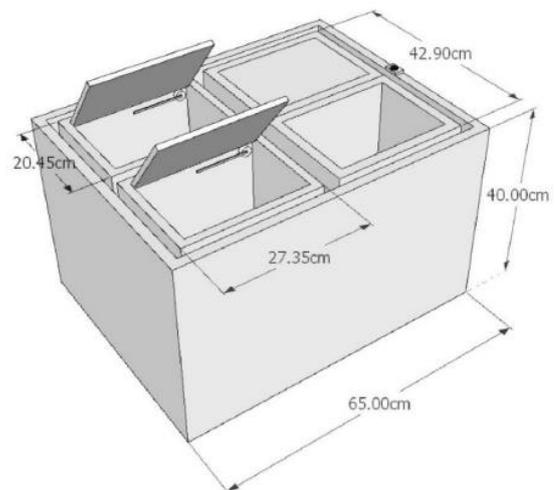
Dalam melaksanakan penelitian ini, terdapat beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yang dibutuhkan guna menunjang penelitian yang dilakukan. Adapun beberapa perangkat keras tersebut di antaranya: (1). Raspberry Pi 3, (2). Modul Kamera Raspberry Pi, (3). Intel Movidius Neural Compute Stick, (4). *Load cell*, (5). Baterai 9V, (6). *Motor stepper*, (7). *Push button*. Untuk perangkat lunak yang dibutuhkan di antaranya (1). *Website*, (2). *Python*, (3). *Google Colab*, dan (4). *Tensorflow*.



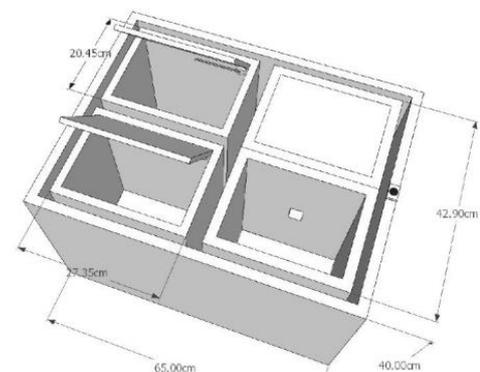
Gambar 3. Perancangan perangkat

2.2 Perancangan Konstruksi Perangkat

Perancangan desain konstruksi dirancang berdasarkan kebutuhan tempat pembuangan sampah yang efisien. Purwarupa tempat sampah menggunakan bahan triplek yang terdiri dari 4 bagian rangka. Pertama rangka bagian luar untuk menampung 3 rangka lainnya, kedua rangka tempat ruang sampah organik dan anorganik, ketiga rangka tempat ruang untuk meletakkan Raspberry Pi, dan keempat ruang untuk meletakkan sampah. Seperti yang divisualisasikan pada gambar 4.



(a)



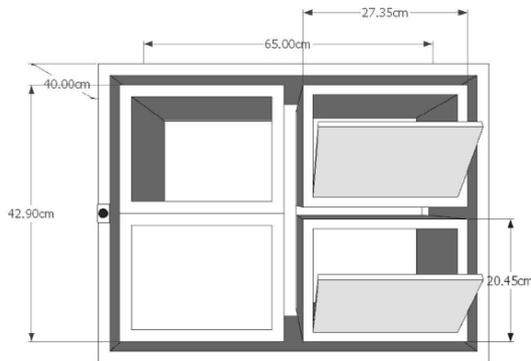
(b)

2.3 Perancangan Perangkat

Perancangan perangkat keras menggunakan mikrokontroler Raspberry Pi 3. Terdapat dua sensor *load cell* terhubung dengan dengan mikrokontroler Raspberry Pi dengan berbagai macam kabel konektor.

Load cell sampah anorganik memiliki kabel konektor berwarna merah terhubung langsung dengan pin VCC atau pin GPIO (*general purpose input output*) 2 5V *power* tegangan yang berada pada Raspberry Pi. Kabel konektor berwarna hitam terhubung langsung dengan pin GPIO GND 9 atau *ground* yang berada pada Raspberry Pi. Kabel

konektor berwarna kuning terhubung dengan pin GPIO 20 pada Raspberry Pi. Kabel konektor berwarna hijau terhubung langsung dengan pin GPIO 16 pada Raspberry Pi.



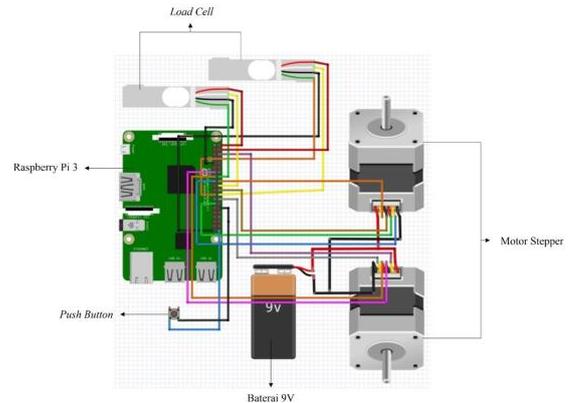
Gambar 4. (a), (b), dan (c) Desain keseluruhan dari purwarupa alat

Load cell sampah organik memiliki kabel konektor berwarna merah yang terhubung langsung dengan pin VCC atau pin GPIO 4 5V *power* tegangan yang berada pada Raspberry Pi. Kabel konektor berwarna hitam terhubung dengan pin GPIO GND 39 yang berada pada Raspberry Pi. Kabel konektor berwarna kuning terhubung dengan pin GPIO 24 pada Raspberry Pi. Kabel konektor berwarna biru muda terhubung dengan pin GPIO 23 pada Raspberry Pi.

Terdapat dua *motor stepper* yang terhubung dengan mikrokontroler Raspberry Pi dengan berbagai macam kabel konektor. *Motor stepper* sampah anorganik memiliki kabel konektor berwarna merah yang terhubung dengan pin VCC dari baterai 9V. Kabel konektor berwarna hitam yang terhubung dengan pin GND dari baterai 9V. Kabel konektor yang berwarna biru terhubung dengan pin GPIO 18 pada Raspberry Pi. Kabel konektor yang berwarna hijau terhubung langsung dengan pin GPIO 22 pada Raspberry Pi. Kabel konektor yang berwarna jingga terhubung langsung dengan pin GPIO 27 pada Raspberry Pi. Kabel konektor yang berwarna cokelat terhubung langsung dengan pin GPIO 17 pada Raspberry Pi.

Motor stepper sampah organik memiliki kabel konektor berwarna merah yang terhubung dengan VCC dari baterai 9V. Kabel konektor berwarna hitam yang terhubung dengan GND dari baterai 9V. Kabel konektor berwarna ungu terhubung dengan pin GPIO 6 pada Raspberry Pi. Kabel konektor yang berwarna merah muda terhubung langsung dengan pin GPIO 13 pada Raspberry Pi. Kabel konektor yang berwarna jingga terhubung langsung dengan pin GPIO 19 pada Raspberry Pi. Kabel konektor yang berwarna abu-abu terhubung langsung dengan pin GPIO 26 pada Raspberry Pi, *Push button* yang terhubung dengan mikrokontroler Raspberry Pi dengan 2 jenis kabel konektor. Kabel konektor berwarna hitam terhubung langsung dengan pin GND pada Raspberry Pi dan

kabel konektor berwarna biru terhubung dengan pin GPIO 21 dari Raspberry Pi.

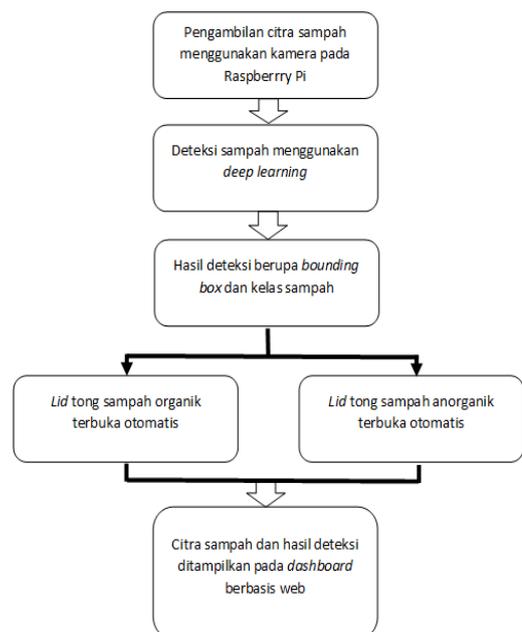


Gambar 5. Perancangan arsitektur perangkat

Motor Stepper = *Motor Stepper*

2.4 Perancangan Arsitektur Sistem

Perancangan arsitektur sistem dimulai dengan pengumpulan *dataset*. Pengumpulan data diambil dari repository yang dapat diakses secara publik pada *website* Github.com (Thung, G., 2017) yang dikelompokkan menjadi lima kategori yaitu sampah plastik, sampah kertas, sampah kaca, sampah metal, dan sampah kardus. Total keseluruhan dari kumpulan gambar yang diunduh adalah 2.390 gambar. Tahapan sistem selanjutnya adalah pelatihan (*training*) *dataset*. Tahapan ini akan menghasilkan sebuah model yang akan dijadikan sebagai prediktor. Tahapan terakhir sistem adalah pengenalan sampah. Sistem akan menerima masukan dari modul kamera Raspberry Pi yang menangkap gambar sampah secara *real time* kemudian gambar tersebut dicocokkan dengan *dataset* hasil dari tahapan pelatihan (*training*) *dataset*. Seperti yang divisualisasikan pada gambar 6.



Gambar 6. Diagram arsitektur sistem

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil dan Pengujian Perangkat Keras

Pada tahapan pengujian purwarupa terdapat 3 tahapan pengujian yaitu pengujian modul kamera Raspberry Pi, pengujian *load cell*, dan pengujian *motor stepper*. Pertama pengujian modul kamera Raspberry Pi berjalan dengan baik pada saat pengujian pengenalan sampah secara *real time*, dengan mendeteksi botol plastik sesuai dengan *dataset* dan hasil penangkapan gambar sampah tersebut ditampilkan pada situs web terintegrasi.

Selanjutnya pengujian *load cell* dilakukan dengan menghubungkan *load cell* dengan mikrokontroler yang telah diprogram. Hasil bacaan *load cell* akan dikalibrasi sesuai dengan beban uji coba, setelah *load cell* terkalibrasi maka dapat dilakukan pengukuran dengan cara penukaran beban dan membandingkan hasilnya menggunakan timbangan secara manual. *Load cell* digunakan untuk menimbang berat sampah yang telah terkumpulkan pada setiap ruang tempat sampah.

Tabel 1. Hasil Pengujian *Load Cell*

Timbangan Analog	Berat (g)	
	Load Cell	Galat
25	23	8
100	99,03	0,97
125	122,24	2,21
200	198,01	0,99
225	224,41	1,15

Tahap selanjutnya adalah pengujian *motor stepper* yang dilakukan dengan menghubungkan *motor stepper* dengan mikrokontroler yang telah diprogram. Proses ini dilakukan dengan membuat *motor stepper* berputar dengan sudut 90°. Proses ini bertujuan untuk mengetahui *motor stepper* dapat bekerja dengan baik untuk membuka penutup tempat sampah.

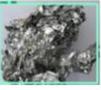
3.2 Hasil dan Pengujian Sistem

Setelah *dataset* berhasil dilatih dan menghasilkan sebuah model prediktor, maka proses pengujian (*testing*) dimulai dengan mengambil beberapa sampel secara acak dari citra sampah kertas, plastik, kaca, metal dan kardus. Pengujian ini bertujuan untuk melihat kesesuaian hasil deteksi dan tingkat akurasi antara data yang sudah dilatih dengan hasil pendeteksian kelima jenis sampah tersebut secara langsung.

Pada tabel 2 terlihat bahwa *confidence score* yang diperoleh sudah cukup bagus antara 90% hingga 100%. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa hanya pada sampah kardus yang terjadi kesalahan deteksi. Hal ini disebabkan karena kurangnya sampel gambar dan variasi pada kelas tersebut. Akibatnya, tingkat akurasi pada kelas sampah kardus memiliki tingkat

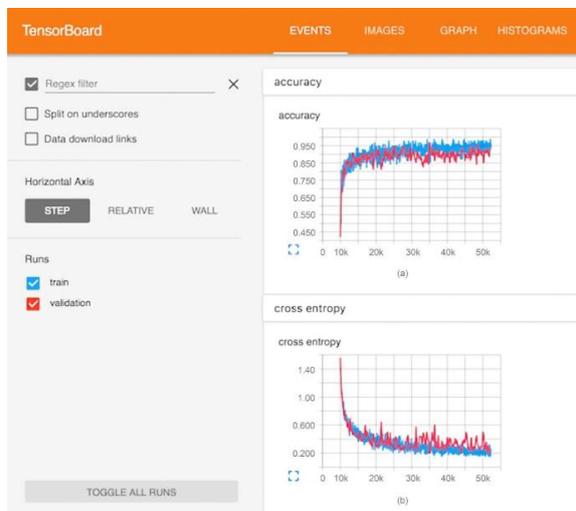
akurasi yang rendah. Secara umum, usulan rancangan model telah mampu untuk mendeteksi sampah plastik, kertas, metal, kardus, dan kaca secara efisien dan presisi.

Tabel 2. Contoh Hasil Pengujian Citra Sampah

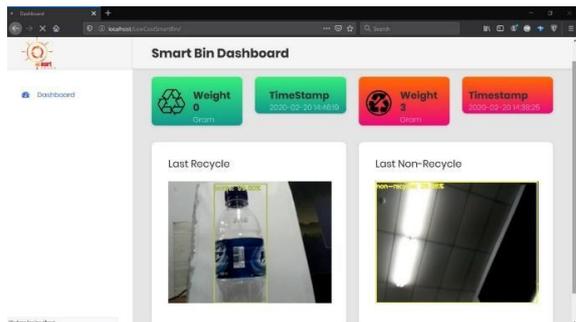
Data Latih	Data Uji	Jenis Sampah Terdeteksi	Confidence Score	Keterangan
		Sampah Metal	100%	Benar
		Sampah Metal	100%	Benar
		Sampah Metal	100%	Benar
		Sampah Metal	100%	Benar
		Sampah Metal	100%	Benar
		Sampah Kertas	91%	Benar
		Sampah Metal	94%	Salah
		Sampah Kertas	99%	Salah
		Sampah Plastik	100%	Benar
		Sampah Plastik	100%	Benar
		Sampah Plastik	100%	Benar
		Sampah Plastik	100%	Benar

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwasanya akurasi validasi dihitung di tiap akhir langkah iterasi. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan generalisasi, ketahanan, dan mencegah *overfitting*. Data dibagi menjadi 80% data latih dan 20% data citra uji.

Pelatihan menggunakan *cross-entropy* sebagai *function loss* dari arsitektur MobileNet. Proses pelatihan (*training*) dilakukan sebanyak 50.000 iterasi. Hasil dari proses pelatihan tersebut adalah *validation accuracy* dengan nilai sebesar 0,9875 dan *validation loss* dengan nilai sebesar 0,1873.



Gambar 7. (a). Grafik *validation accuracy* dan (b). grafik *validation loss*



Gambar 8. Hasil deteksi pada sistem web terintegrasi

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membangun purwarupa alat pendeteksian sampah menggunakan metode pembelajaran mendalam (*deep learning*) dengan arsitektur MobileNet SSD. Sistem dijalankan menggunakan mikrokontroler Raspberry Pi yang berbiaya rendah. Tingkat akurasi yang diperoleh dengan 5 kategori dan menggunakan 25 sampel gambar sampah rata-rata sebesar 98,84%. Kendala yang mempengaruhi kurangnya tingkat akurasi pendeteksian pada sampah metal, plastik, kertas, kaca, dan kardus adalah kurangnya kumpulan gambar untuk melatih *dataset*, intensitas cahaya mempengaruhi pada saat pengenalan objek sampah, dan cahaya yang berlebihan juga dapat menyebabkan *noise* pada citra.

DAFTAR PUSTAKA

INDONESIA, C., 2019. *Riset: 24 Persen Sampah Di Indonesia Masih Tak Terkelola*. [online] cnnindonesia. Available at:

<<https://www.cnnindonesia.com/gayahidup/20180401643282293362/riset-24-persen-sampah-diindonesia-masih-tak-terkelola>> [Accessed 10 June 2019].

TAOPO.ORG. 2020a. *8 Reasons Why Waste Segregation is Important*. [online] Available at:

<<http://www.taopo.org/microsites/wastedmanila/collection/8reasonswhywaste-segregation-is-important/>> [Accessed 4 March 2020].

TAOPO.ORG. 2020b. *Waste Generation*. [online] Available at:

<<http://www.taopo.org/microsites/wastedmanila/collection/8reasonswhywaste-segregation-is-important/>> [Accessed 8 March 2020].

TORRES-GARCÍA, A., RODEA-ARAGÓN, O., LONGORIA-GANDARA, O., SÁNCHEZ-GARCÍA, F. AND GONZÁLEZ-JIMÉNEZ, L., 2015. Intelligent Waste Separator. *Computación y Sistemas*, 19(3).

LIU, Y., FUNG, K., DING, W., GUO, H., QU, T. AND XIAO, C., 2018. Novel Smart Waste Sorting System based on Image Processing Algorithms: SURF-BoW and Multi-Class SVM. *Computer and Information Science*, 11(3), p.35.

YASMIN, HOW, "AI for Social Good," *Re-work*, San Francisco, 2019. pp. 17-18, Juni 2019.

MSV, J., 2019. *Intel Openvino Brings AI Inferencing to the Desktop and Edge*. [online] thenewstack.io. Available at: <<https://thenewstack.io/intel-openvino-brings-ai-inferencing-to-the-desktop/>> [Accessed 28 January 2020].

THUNG, G., 2017. *garythung/trashnet*. [online] GitHub. Available at: <<https://github.com/garythung/trashnet>> [Accessed 10 August 2020].

HOWARD, A., ZHU, M., CHEN, B., KALENICHENKO, D., WANG, W., WEYAND, T., ANDREETTO, M. AND ADAM, H., 2017. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications. arXiv:1704.04861,.