

# ALAT PEMILAH SAMPAH BATERAI BERBASIS KECERDASAN BUATAN

Arthur, Resmana Lim, Felix Pasila

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Elektro

<sup>2</sup> Universitas Kristen Petra, Surabaya

*E-Mail:* arthurlumanow@gmail.com, resmana@petra.ac.id, felix@petra.ac.id

**Abstrak** – Pengelolaan sampah baterai merupakan masalah penting di Indonesia. Untuk mengatasinya, sebuah sistem pemilahan otomatis sampah baterai berbasis kecerdasan buatan (AI) telah dikembangkan. Sistem ini menggunakan teknologi YOLO (You Only Look Once) untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai jenis baterai secara real-time, memastikan hanya baterai yang diproses. Arduino mengendalikan motor servo untuk mengarahkan baterai ke tempat yang sesuai. Proyek ini bertujuan menyempurnakan prototipe awal dengan meningkatkan akurasi deteksi dan memperluas kemampuan klasifikasi baterai, termasuk jenis CR dan HP. Proses deteksi meliputi memasukkan gambar, pelabelan, pelatihan model YOLOv5, dan pengujian. Inovasi ini juga dilengkapi teknologi edukasi melalui video visual novel untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pembuangan baterai yang benar, serta sistem insentif berbasis poin. Hasil pengujian menunjukkan akurasi deteksi sistem mencapai 91,83% dan berhasil memilah berbagai jenis baterai. Meskipun tidak disebutkan secara eksplisit dalam teks asli, penambahan tenaga surya pada sistem ini di masa depan dapat lebih mendukung keberlanjutan. Dengan pencapaian ini, alat pemilah sampah baterai berbasis AI diharapkan berkontribusi pada kesadaran lingkungan dan mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan (SDG 12, 13, 4).

**Kata Kunci** – pengelolaan sampah baterai, kecerdasan buatan, yolo, sistem pemilahan otomatis, keberlanjutan, teknologi edukasi, arduino, tenaga surya.

## I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan konsumsi perangkat elektronik dalam beberapa dekade terakhir telah memicu peningkatan limbah elektronik, termasuk limbah baterai yang jumlahnya terus bertambah. Baterai yang dibuang sembarangan dapat mencemari lingkungan karena mengandung logam berat berbahaya seperti timbal, kadmium, dan merkuri. Limbah jenis ini memerlukan penanganan khusus agar tidak merusak tanah, air, maupun rantai makanan [1]. Namun, tingkat kesadaran masyarakat terhadap pemilahan limbah baterai masih sangat rendah. Salah satu penyebabnya adalah tidak tersedianya sistem yang memfasilitasi pemilahan secara mudah, edukatif, dan memberi insentif yang menarik. Selain sistem edukasi, pemberian insentif berbasis sistem poin dan barcode juga menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan partisipasi masyarakat [2]. Permasalahan utama dalam pemilahan limbah baterai terletak pada kurangnya teknologi yang mampu mengenali berbagai bentuk dan tipe baterai secara otomatis. Baterai memiliki ukuran, warna, dan bentuk yang beragam, seperti tipe AA, AAA, CR (koin), hingga HP, yang sulit dibedakan oleh sistem konvensional. Selain itu, sebagian besar alat pemilah sampah yang dikembangkan masih fokus pada pemisahan berbasis ukuran atau berat, bukan visual cerdas, serta belum menyediakan komponen edukatif dan penghargaan bagi pengguna.

Berbagai penelitian telah mencoba mengembangkan sistem pemilah otomatis menggunakan perangkat seperti Arduino dan kamera berbasis sensor serta motor servo untuk pemisahan fisik objek [3]. Teknologi YOLO yang dikembangkan Redmon dan Farhadi memungkinkan deteksi objek secara real-time dengan kecepatan dan akurasi tinggi, menjadikannya sangat ideal untuk digunakan dalam konteks penyortiran visual seperti ini [4]. Penggunaan bahasa pemrograman Python dalam proyek AI dan deteksi objek juga terbukti fleksibel dan efisien [5]. Penelitian lain menekankan pentingnya pemilihan perangkat keras mini PC yang tepat dalam mendukung sistem deteksi agar tetap responsif [6], serta pemilihan motor servo yang sesuai untuk mendukung mekanisme sortir [7]. Di sisi lain, pendekatan edukatif melalui tampilan visual di layar monitor telah terbukti meningkatkan keterlibatan dan pemahaman pengguna dalam sistem pengelolaan sampah yang berbasis edukasi [8].

Penelitian ini mengusulkan sebuah sistem pemilah sampah baterai berbasis YOLO yang tidak hanya mampu mengenali berbagai jenis baterai dengan akurasi tinggi, tetapi juga mengintegrasikan komponen edukasi melalui monitor interaktif dan sistem insentif berbasis barcode. Sistem ini dirancang menggunakan kombinasi perangkat keras seperti kamera, mini PC, motor servo, dan modul pemindaian barcode, serta dikendalikan dengan program berbasis Python. Sistem akan secara otomatis mendeteksi baterai, menampilkan informasi edukatif kepada pengguna, dan memberikan poin yang dapat ditukarkan berdasarkan barcode yang dipindai. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada integrasi tiga komponen utama—deteksi visual real-time menggunakan YOLO, edukasi melalui monitor interaktif, dan sistem insentif digital—yang sebelumnya jarang dikombinasikan secara komprehensif dalam konteks pemilahan limbah baterai. Pendekatan ini diharapkan dapat menjawab tantangan teknis dan sosial dalam pengelolaan limbah baterai sekaligus membentuk perilaku memilah sampah yang berkelanjutan di masyarakat.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur mengenai penggunaan algoritma YOLO untuk deteksi objek secara real-time, khususnya dalam mengenali berbagai jenis baterai seperti AAA, AA, C, 9V, dan HP. Kajian juga mencakup penggunaan platform Arduino UNO untuk mengontrol motor servo dalam proses pemilahan fisik, serta integrasi antara YOLO dan Arduino melalui bahasa pemrograman Python untuk membangun antarmuka grafis yang edukatif. Berdasarkan hasil studi ini, sistem dirancang dengan menggabungkan modul

kamera, laptop sebagai pusat pemrosesan visual, serta Arduino dan motor servo sebagai aktuator pemilah. Proses perancangan meliputi wiring komponen elektronik, pelatihan model YOLO dengan dataset baterai, pengembangan sistem deteksi otomatis, dan implementasi tampilan visual edukatif.

Setelah sistem selesai dibangun, dilakukan pengujian pada tiga aspek utama, yaitu akurasi deteksi baterai oleh YOLO, respons motor servo yang dikendalikan Arduino, dan tampilan edukasi interaktif saat sistem idle. Hasil dari pengujian ini disajikan melalui demonstrasi langsung sistem, yang mencakup alur deteksi, penyortiran otomatis, dan penyampaian informasi edukatif. Selanjutnya, kesimpulan diambil berdasarkan kinerja keseluruhan sistem dalam memilah limbah baterai secara otomatis dan interaktif. Penilaian juga mencakup sejauh mana integrasi teknologi deteksi visual dan kontrol mekanis mampu mendukung pengelolaan limbah yang lebih efisien dan edukatif bagi pengguna.

### A. YOLO

YOLO adalah algoritma deep learning untuk deteksi objek secara real-time yang sangat efektif dalam aplikasi computer vision, termasuk sistem penyortiran otomatis seperti alat pemilah sampah baterai. Dengan memproses gambar secara langsung dari kamera, YOLO mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan berbagai jenis baterai (seperti AAA, AA, C, 9V, CR, dan HP) secara cepat dan akurat. Dalam sistem ini, hasil deteksi digunakan untuk mengarahkan baterai ke tempat penyimpanan yang sesuai melalui integrasi dengan perangkat keras seperti Arduino, motor, kamera, dan mini PC Geekom. Selain itu, sistem ini juga dirancang untuk memberikan edukasi kepada pengguna mengenai pentingnya pengelolaan sampah baterai secara bertanggung jawab.

Penelitian ini menggunakan varian terbaru dari algoritma YOLO, yaitu YOLOv5s, yang dibangun menggunakan framework PyTorch dan dikenal memiliki kecepatan inferensi tinggi serta ukuran model yang efisien. YOLOv5s mendukung pelatihan kustom dengan dataset sendiri, memungkinkan sistem mendeteksi objek secara lebih spesifik sesuai kebutuhan, seperti mengenali bentuk dan jenis baterai dari berbagai sudut pandang dan kondisi pencahayaan. Dalam implementasinya, YOLOv5s dilatih menggunakan ratusan gambar untuk masing-masing jenis baterai guna mencapai tingkat akurasi yang optimal. Hasil pelatihan ini menghasilkan file bobot (weight file) yang digunakan dalam proses inferensi pada sistem nyata. Dengan memanfaatkan keunggulan YOLOv5s, sistem pemilah sampah baterai dapat bekerja secara otomatis, cepat, dan adaptif terhadap berbagai variasi input visual yang ditemui di lingkungan nyata.

### B. Arduino Uno

Arduino adalah hardware dengan platform software platform open-source yang digunakan untuk membangun proyek elektronik yang interaktif. Arduino dilengkapi dengan mikrokontroler yang dapat diprogram, serta input/output pin untuk menghubungkan perangkat keras. Dalam penggunaannya pada Alat pemilah sampah baterai, arduino berfungsi untuk mengontrol putaran motor servo agar dapat mengendalikan katup pembuangan sesuai dengan jenis sampah yang dimasukkan. Arduino UNO, salah satu jenis yang umum digunakan, memiliki 14 pin digital input/output dan 6 input analog yang memudahkan penghubungan ke sensor ultrasonik dan motor yang digunakan dalam sistem ini. Selain itu, Arduino juga menjadi penghubung antara komponen mekanik

seperti katup pemilah baterai dengan sistem deteksi berbasis AI.

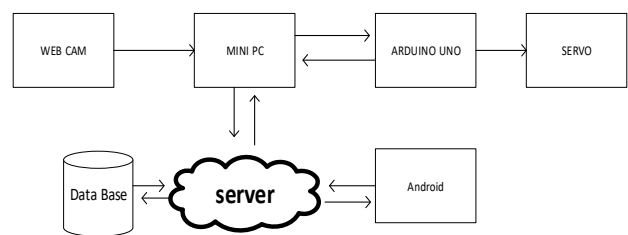
### C. Perancangan Sistem

Sistem pemilah sampah baterai ini dirancang untuk mengidentifikasi dan memilah baterai secara otomatis berdasarkan jenisnya, menggunakan teknologi deep learning berbasis YOLOv5. Kamera dipasang di atas tempat pembuangan untuk menangkap gambar baterai yang dimasukkan oleh pengguna. Gambar tersebut dikirim ke mini PC atau laptop, yang berperan sebagai unit pemrosesan utama. Di sini, algoritma YOLOv5 mengklasifikasikan jenis baterai secara real-time, kemudian mengirimkan informasi hasil klasifikasi ke mikrokontroler Arduino UNO untuk mengatur pergerakan katup pemilah melalui empat buah motor servo.

Sistem ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu: input berupa kamera, pemrosesan yang melibatkan laptop dan Arduino, serta output berupa servo dan buzzer. Kamera bertugas menangkap visual baterai yang masuk, yang kemudian diproses dengan YOLOv5. Hasil deteksi, termasuk nama objek dan akurasi, digunakan untuk menentukan pergerakan servo dan disimpan dalam database. Arduino menerima nama baterai yang telah difilter dari sistem untuk mengarahkan servo ke jalur pembuangan yang sesuai, sementara buzzer memberi sinyal saat proses dimulai atau selesai.

Sebelum sistem digunakan, dilakukan proses pelatihan (training) model YOLO dengan dataset gambar enam jenis baterai (AA, AAA, C, 9V, CR, dan HP). Setiap jenis baterai direkam dalam berbagai posisi dan pencahayaan, dengan target menghasilkan rata-rata mean Average Precision (mAP) minimal 90%. File bobot hasil pelatihan ini menjadi dasar bagi sistem deteksi YOLO. Selain penyortiran, sistem juga mengelola data poin edukasi pengguna berdasarkan jenis baterai yang dibuang. Data ini dikirim ke server melalui HTTP Request dan ditampilkan dalam bentuk barcode yang dapat dipindai oleh aplikasi Android pengguna untuk mengklaim poin edukatif.

Diagram blok sistem pemilah jenis baterai bisa dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem Pemilah Jenis Baterai

### D. Desain Pemilah Sampah

Desain pemilah sampah ini akan dibuat seringkasan mungkin agar bisa ditempatkan dengan mudah dan dirancang untuk mudah dibawa ke mana – mana. Dalam perancangan alat pemilah sampah ini akan memiliki komponen – komponen seperti: 1 mini PC / laptop, 1 LCD Monitor, 1 pasang solar panel, 1 kaca dibagian depan, 4 buah motor servo, 4 buah katup 3D print, 1 arduino UNO, 1 buah rangkaian dalam bentuk PCB dot matrik, 1 buah aki, dan 1 buah SCC (Solar Changer Controller). Dimensi alat pemilah sampah ini sekitar 50 x 50 x 120, dengan ukuran yang cukup besar ini maka untuk bagian

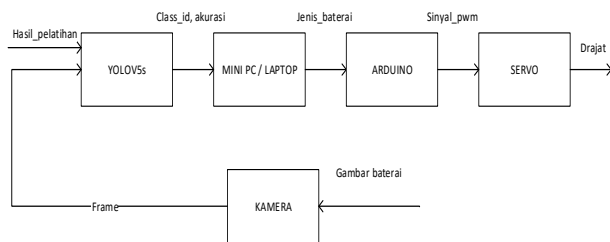
kakinya atau bagian bawahnya akan dilengkapi dengan roda bebas agar memudahkan dalam perpindahan alat.



Gambar 2. Desain Alat Pemilah Sampah

### E. Sistem Kontrol Motor Servo Dan Deteksi YOLOv5s

Sistem ini merupakan penggambaran bagaimana suatu proses berjalan dari setiap komponennya. Sistem kontrol motor servo dan deteksi YOLOv5s yang dirancang pada alat pemilah sampah baterai merupakan sistem close loop yang proses sistemnya akan berjalan berulang terus. Perancangan sistem ini pada alat pemilah sampah baterai dapat dilihat pada Gambar 3.5. proses diawali dengan penangkapan gambar dari kamera, kemudian hasil tangkapan kamera tersebut akan diolah pada blok YOLOv5s. Proses pada blok YOLOv5s akan mencocokkan/menghitung input dari tangkapan kamera, hasil dari penghitungan tersebut akan menjadi acuan untuk menggerakkan motor servo pada alat pemilah sampah baterai.

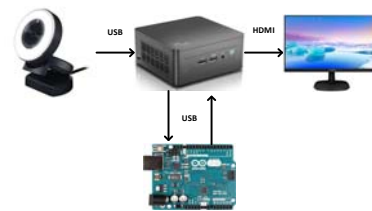


Gambar 3. Sistem Kontrol Motor Servo Dan Deteksi YOLOv5s

Sistem Kontrol Motor Servo Dan Deteksi YOLOv5s mencakup beberapa variabel penting yang berperan dalam proses kerja keseluruhan. Variabel Hasil\_pelatihan, merepresentasikan output dari proses pelatihan model YOLOv5s, yang digunakan untuk deteksi objek. Class\_id merupakan hasil pencocokan kelas objek dari inferensi YOLOv5s, sedangkan Akurasi menunjukkan tingkat keyakinan sistem dalam mengenali objek. Variabel Jenis\_baterai menyimpan hasil identifikasi jenis baterai yang berhasil dikenali dan dikirimkan ke Arduino melalui komunikasi serial. Di sisi aktuasi, Sinyal\_pwm dan Sudut Servo masing-masing mengatur besar pulsa dan sudut gerakan empat buah servo yang mengarahkan baterai ke tempat pembuangan yang sesuai. Selain itu, Gambar\_baterai digunakan sebagai input visual berupa lingkungan baterai yang akan dideteksi, sedangkan Frame mewakili hasil tangkapan langsung dari kamera yang menjadi input awal dalam sistem.

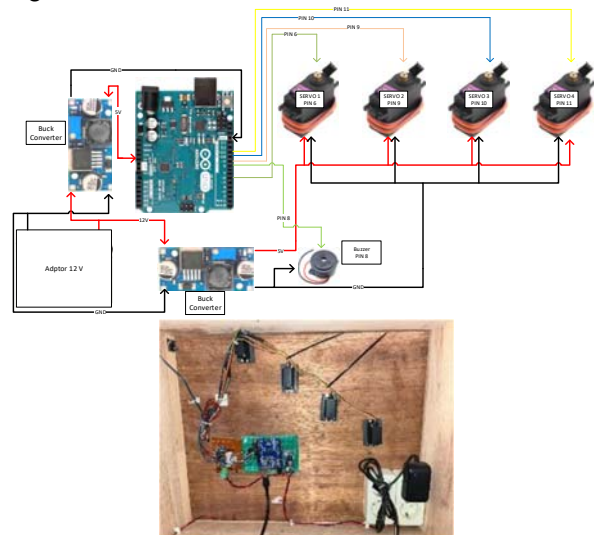
### F. Desain Rangkaian Elektronik Alat Pemilah Sampah Baterai

Rangkaian sistem pemilah sampah ini terbagi menjadi 2 kategori, yang pertama ada rangkaian untuk mini PC atau laptop dan yang kedua adalah rangkaian Arduino. Rangkaian mini PC terdiri dari 3 komponen yaitu 1 buah mini PC, 1 Buah Monitor dan 1 buah kamera. Monitor dan kamera akan terhubung langsung dengan mini PC, kamera yang dipakai nanti adalah kamera webcam yang mempunyai resolusi 720p dan juga dilengkapi dengan auto fokus agar bisa mendeteksi dengan akurat. Sedangkan untuk spesifikasi mini PC yang digunakan memiliki processor dengan generasi terbaru seperti intel i5 dan juga dilengkapi dengan GPU Nvidia, untuk GPU yang digunakan harus menggunakan NVIDIA karena dalam metode YOLOv5 ada 2 mode untuk menjalankannya yaitu dengan CPU atau GPU. Untuk mode CPU bebas menggunakan merek apa saja, sedangkan untuk GPU harus menggunakan merek NVIDIA.



Gambar 4. Rangkaian Mini PC

Dalam rangkaian Arduino UNO akan ada komponen – komponen yang digunakan yaitu diawali dengan buck converter yang fungsi untuk menurunkan tegangan dari adaptor sebesar 12V menjadi 5V, karena tegangan kerja untuk Arduino dan motor servo hanya membutuhkan tegangan 5V. 4 buah motor servo yang digunakan dalam penelitian ini akan tersambung dengan Arduino UNO langsung, yang melalui pin 3, pin 4, pin 5 dan pin 6. Untuk pemberitahuan mengenai status Arduino dipasang buzzer, yang nantinya bunyi buzzer akan memberikan indikasi bahwa Arduino telah berjalan aktif dengan sukses.



Gambar 5. Rangkaian Arduino UNO

### G. YOLOv5 Dalam Mengenali Jenis Baterai

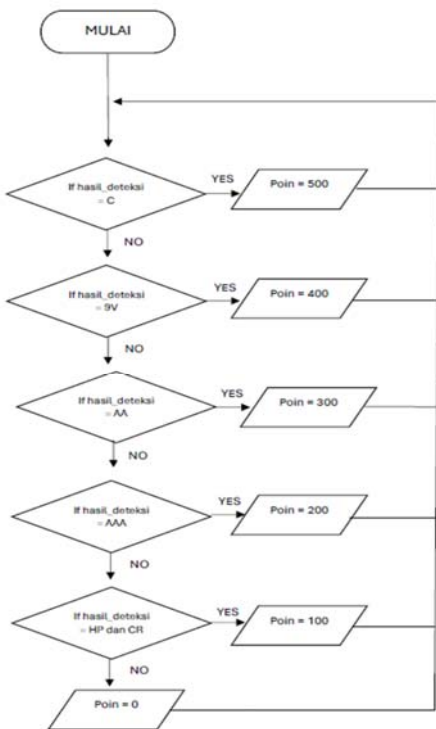
Dalam membangun sistem pemilah sampah baterai berbasis kecerdasan buatan, dibutuhkan beberapa tahapan utama, yaitu pengumpulan data, pelabelan gambar (labelling), pelatihan

model (training), dan pengujian. Penelitian ini menggunakan library YOLOv5 karena kemudahannya dalam proses pelatihan dan pengujian data. Data dikumpulkan dengan merekam video dari enam jenis baterai yang berbeda, lalu diekstrak menjadi gambar (frame), menghasilkan sekitar 600 gambar. Proses labelling dilakukan secara manual melalui platform Roboflow, di mana setiap gambar ditandai dan diklasifikasikan sesuai jenis baterainya, lalu dibuat file class.yaml sebagai acuan deteksi.

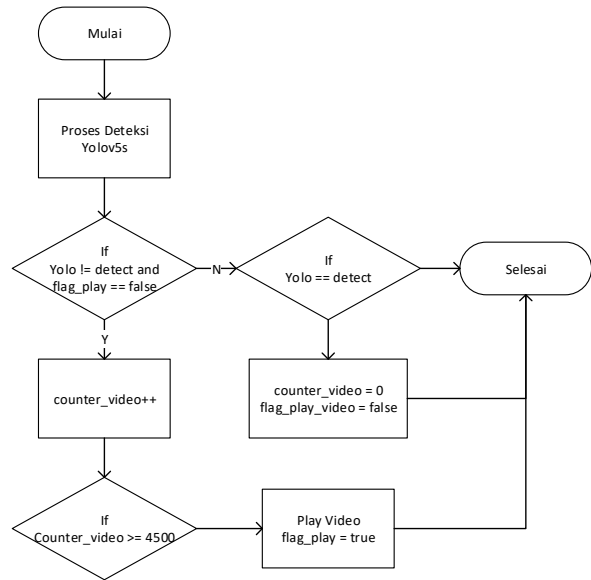
Selanjutnya, proses pelatihan dilakukan menggunakan Google Colab untuk memanfaatkan spesifikasi perangkat keras yang lebih tinggi. Dataset dibagi dalam dua folder, yaitu train (70%) dan valid (30%). Parameter pelatihan yang digunakan antara lain 1000 epoch, ukuran gambar 640×640 piksel, dan batch size 16. Proses pelatihan ini menghasilkan file bobot yang nantinya digunakan dalam sistem YOLOv5 untuk mendeteksi jenis baterai secara real-time.

**H. Alur Sistem Deteksi dan Edukasi pada Pemilah Sampah Baterai Berbasis YOLOv5**

Flowchart sistem dimulai dengan memuat file bobot (.weights) hasil pelatihan YOLOv5, dilanjutkan dengan pengecekan koneksi kamera dan Arduino UNO. Jika salah satu tidak tersambung, sistem tidak akan berjalan. Setelah koneksi berhasil, kamera membaca gambar menggunakan OpenCV dan mengirimkannya ke YOLO untuk proses deteksi. Jika objek terdeteksi, sistem akan menampilkan kotak dan nama objek pada layar, serta mengirim data berupa nama objek, poin, dan ID redeem ke database melalui HTTP request. Data tersebut juga digunakan untuk mengatur pergerakan motor servo melalui Arduino.



Gambar 6. Flowchart Penentuan Nilai Poin Berdasarkan Jenis Baterai



Gambar 7. Flowchart Logika Pemutaran Video Edukasi saat Sistem Idle

Sistem dilengkapi fitur edukasi berupa pemutaran video saat tidak ada objek terdeteksi selama 5 menit. Proses idle ini dihitung berdasarkan nilai counter yang bertambah setiap frame, dengan ambang 4500 frame (setara 5 menit pada 15 fps). Jika objek kembali terdeteksi, sistem akan berhenti memutar video dan kembali ke mode aktif.

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Pelatihan YOLOv5s**

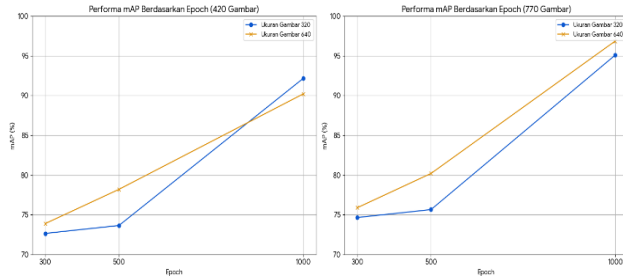
Pelatihan model YOLOv5 dilakukan sebanyak enam kali menggunakan dua set data yang berbeda, yaitu 600 gambar dan 1100 gambar, dengan komposisi 70% untuk pelatihan, 20% validasi, dan 10% pengujian. Tujuan penggunaan dua kloter data ini adalah untuk mengevaluasi efisiensi waktu pelatihan, akurasi hasil (mAP), serta performa deteksi dalam kondisi yang bervariasi. Pelatihan mengikuti parameter yang telah ditentukan oleh dosen pembimbing, sebagaimana tercantum pada Tabel 1 dan Tabel 2. Hasil menunjukkan bahwa jumlah epoch dan ukuran gambar merupakan faktor penting dalam menentukan akurasi model. Semakin tinggi epoch, mAP cenderung meningkat, meskipun berdampak pada waktu pelatihan yang lebih lama. Ukuran gambar 640 memberikan akurasi sedikit lebih baik dibandingkan 320, namun membutuhkan durasi pelatihan yang lebih panjang.

Tabel 1. Hasil Pelatihan YOLOv5 dengan 420 Gambar

Data 420 Gambar					
Pelatihan	Epoch	Komposisi	Size Image	Waktu Pelatihan	Hasil mAP
1	300	70:20:10	320	2 Jam 48 Menit	72.64 %
2	500	70:20:10	320	3 Jam 18 Menit	73.64 %
3	1000	70:20:10	320	3 Jam 20 Menit	90.15 %
4	300	70:20:10	640	3 Jam 36 Menit	73.88 %
5	500	70:20:10	640	3 Jam 44 Menit	78.19 %
6	1000	70:20:10	640	4 Jam 16 Menit	90.20 %

Peningkatan jumlah data dari 600 menjadi 1100 gambar berpengaruh signifikan terhadap peningkatan akurasi dan

performa model. Sebagai contoh, pada percobaan ke-3 dengan 770 gambar, 1000 epoch, dan ukuran gambar 320, mAP mencapai 95,09%, lebih tinggi dari mAP 90,20% yang diperoleh pada pelatihan dengan 420 gambar. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan data dapat meningkatkan kemampuan generalisasi model dan menghasilkan akurasi yang lebih tinggi.



Gambar 8. Grafik Training

Gambar 8 menampilkan grafik performa mAP, yang menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya epoch dan variasi ukuran gambar. Grafik di sebelah kiri menunjukkan hasil untuk data 420 gambar, sedangkan grafik di kanan menunjukkan hasil untuk data 770 gambar. Secara keseluruhan, analisis ini menegaskan pentingnya jumlah data dan konfigurasi parameter dalam meningkatkan performa deteksi model YOLOv5.

Tabel 2. Hasil Pelatihan YOLOv5 dengan 770 Gambar

Data 770 Gambar					
Pelatihan	Epoch	Komposisi	Size Image	Waktu Pelatihan	Hasil mAP
1	300	70:20:10	320	4 Jam 22 Menit	74.64 %
2	500	70:20:10	320	6 Jam 7 Menit	75.64 %
3	1000	70:20:10	320	4 Jam 0 Menit	95.09 %
4	300	70:20:10	640	4 Jam 8 Menit	75.88 %
5	500	70:20:10	640	7 Jam 11 Menit	80.19 %
6	1000	70:20:10	640	4 Jam 22 Menit	96.86 %

### B. Validasi Hasil Pelatihan

Tabel 3. Hasil Validation Menggunakan 120 Gambar

Data Gambar 120		
Pelatihan	Waktu Deteksi (ms)	Hasil mAP
1	125	70.34 %
2	153	72.64 %
3	1.965	91.20 %
4	205	71.28 %
5	806	76.69 %
6	2.112	91.82 %

Tabel 4. Hasil Validation Menggunakan 220 Gambar

Data Gambar 220		
Pelatihan	Waktu Deteksi (ms)	Hasil mAP
1	113	72.64 %
2	141	73.64 %
3	2.765	92.09 %
4	305	74.78 %
5	906	78.89 %
6	2.913	93.82 %

Kedua tabel ini merinci hasil dari enam kali validasi model YOLOv5, masing-masing menggunakan komposisi data 70% training, 20% validation, dan 10% testing. Tabel pertama menampilkan performa dengan 120 gambar, di mana mAP tertinggi mencapai 91,82%. Sementara itu, tabel kedua menunjukkan hasil yang lebih optimal dengan 220 gambar, mencapai mAP tertinggi 93,82%. Secara keseluruhan, peningkatan jumlah data (dari 120 menjadi 220 gambar) secara positif berkorelasi dengan peningkatan akurasi (mAP).

### C. Pengujian Hasil Pelatihan

Pengujian hasil pelatihan dilakukan menggunakan sebuah program sederhana yang menghasilkan nilai prediksi, nama objek, dan kecepatan deteksi. Karena waktu deteksi menjadi salah satu parameter penting, maka spesifikasi perangkat yang digunakan turut dicantumkan, yaitu laptop dengan prosesor Intel Core i5-11400H, GPU NVIDIA GeForce RTX 3050, RAM 8GB, dan sistem operasi Windows 11. Pengujian dilakukan terhadap 10% data (60 dan 110 gambar), masing-masing class diuji enam kali pada siang hari menggunakan kamera yang diposisikan di atas lubang pembuangan sampah baterai. Proses deteksi menggunakan YOLOv5s yang dijalankan pada GPU, sehingga mampu menghasilkan prediksi dalam waktu kurang dari satu detik. File hasil pelatihan dengan ekstensi '.weight' dimuat dan digunakan dalam proses inferensi, sementara kode programnya menggunakan pustaka 'YOLOv5.detector' untuk membaca gambar dan menampilkan hasil deteksi secara visual.

Tabel 5. Hasil Testing Menggunakan 60 Gambar

Pelatihan Ke-	Baterai C	Baterai AA	Baterai AAA	Baterai 9V	Baterai HP	Baterai CR	Rata-Rata	Waktu Deteksi
1	45,0%	42,0%	46,0%	47,0%	49,0%	51,5%	46,75%	4.5 s
2	79,0%	45,0%	67,0%	74,0%	78,0%	80,0%	70,50%	3.8 s
3	85,0%	88,0%	81,0%	82,0%	88,0%	83,0%	84,50%	5.1 s
4	86,0%	87,0%	89,0%	87,0%	87,0%	89,0%	87,83%	3.2 s
5	77,0%	56,0%	63,0%	74,0%	78,0%	80,0%	71,33%	5.9 s
6	85,0%	88,0%	83,0%	85,0%	83,0%	87,0%	85,17%	4.7 s

Tabel 6. Hasil Testing Menggunakan 110 Gambar

Pelatihan Ke-	Baterai C	Baterai AA	Baterai AAA	Baterai 9V	Baterai HP	Baterai CR	Rata-Rata	Waktu Deteksi
1	78,0%	74,0%	72,0%	71,0%	74,0%	73,0%	73,70%	7.4 s
2	75,0%	77,0%	70,0%	74,0%	78,0%	80,0%	75,70%	7.5 s
3	91,0%	93,0%	87,0%	88,0%	92,0%	91,0%	90,28%	7.5 s
4	82,0%	80,0%	83,0%	81,0%	83,0%	81,0%	81,80%	8.1 s
5	74,0%	77,0%	71,0%	72,0%	72,0%	80,0%	74,30%	8.0 s
6	92,0%	94,0%	91,0%	90,0%	93,0%	91,0%	91,83%	8.9 s

Hasil pengujian disajikan dalam dua tabel berdasarkan jumlah data uji, yaitu 60 dan 110 gambar. Tabel menunjukkan rata-rata akurasi untuk masing-masing jenis baterai serta waktu deteksinya. Secara umum, peningkatan jumlah data pelatihan berbanding lurus dengan peningkatan akurasi model. Sebagai contoh, pada pelatihan ke-6, model yang diuji dengan 60 gambar menghasilkan akurasi rata-rata 85,17%, sedangkan pada 110 gambar mencapai 91,83%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak data pelatihan yang digunakan, semakin baik kemampuan model dalam mengenali objek dan menggeneralisasi pola deteksi secara akurat dan konsisten.

**D. Pengujian Hasil Lapangan**

Berdasarkan 200 kali pengujian lapangan terhadap baterai bekas, sistem pemilah menunjukkan tingkat keberhasilan sebesar 81% untuk baterai yang layak dan 82% untuk baterai yang tidak layak. Dari total pengujian, sebagian besar kegagalan disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu kesalahan pembacaan kamera pada baterai AA dan AAA, serta kegagalan mekanis pada baterai 9V dan C. Baterai HP/CR berhasil terdeteksi 100% tanpa adanya kegagalan, menandakan performa optimal pada jenis tersebut. Masalah pada baterai 9V umumnya disebabkan oleh bentuk kotak yang tidak sesuai dengan desain katup, sedangkan baterai C gagal akibat keterbatasan torsi motor servo dalam mengangkat beban. Kesalahan deteksi antara AA dan AAA terjadi karena YOLO hanya mengenali bentuk visual tanpa mempertimbangkan ukuran. Oleh karena itu, diperlukan peningkatan akurasi sistem kamera dalam membedakan jenis baterai serupa, serta perbaikan desain mekanis dan peningkatan spesifikasi motor servo agar kinerja sistem lebih optimal secara keseluruhan.

Tabel 7. Hasil Pengujian Lapangan Alat Deteksi Pemilahan Baterai Bekas yang Layak

Jenis Baterai	Jumlah Percobaan	Berhasil	Tidak Terdeteksi Kamera	Gagal Mekanis
9V	20	19	0	1
C	20	17	0	3
HP/CR	20	20	0	0
AAA	20	16	3	1
AA	20	10	8	2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>82</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

Tabel 8. Hasil Pengujian Lapangan Alat Deteksi dan Pemilahan Baterai Bekas yang tidak Layak

Jenis Baterai	Jumlah Percobaan	Berhasil	Tidak Terdeteksi Kamera	Gagal Mekanis
9V	20	19	0	1
C	20	17	0	3
HP/CR	20	20	0	0
AAA	20	16	3	1
AA	20	10	8	2
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>82</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

**IV. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, penelitian ini berhasil mengembangkan sistem deteksi dan pemilahan baterai bekas berbasis YOLOv5 yang mampu mengenali enam jenis baterai, yaitu AA, AAA, 9V, C, HP, dan CR. Proses deteksi dilakukan melalui empat tahapan utama, yaitu image input, pelabelan, pelatihan, dan pengujian, yang seluruhnya diolah melalui platform Roboflow. Dari enam kali percobaan pelatihan, kombinasi parameter terbaik ditemukan pada pelatihan ke-6 dengan konfigurasi 1000 epoch, ukuran gambar 640x640 piksel, dan total data sebanyak 1100 gambar. Hasil akurasi tertinggi tercapai pada tahap pelatihan sebesar 96,86%, validasi 93,82%, dan pengujian 91,83%. Uji lapangan juga menunjukkan performa yang cukup baik, dengan akurasi sebesar 81% untuk baterai layak pakai dan 82% untuk baterai tidak layak. Namun, beberapa kendala masih ditemukan, terutama pada deteksi baterai AA dan AAA, yang sering salah

klasifikasi karena kemiripan bentuk fisik dan keterbatasan model dalam mengenali ukuran objek.

Sebagai saran untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini masih dapat disempurnakan dalam beberapa aspek. Pertama, disarankan untuk mengganti motor servo dengan motor DC ber-gearbox agar lebih mampu menangani beban berat pada baterai C dan 9V. Kedua, penggunaan model YOLO dari sumber *open-source* yang lebih fleksibel dan terkini dapat membantu mengurangi kesalahan klasifikasi antara baterai AA dan AAA, sekaligus meningkatkan akurasi keseluruhan di atas 91%. Ketiga, sistem juga sebaiknya dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis yang mendeteksi gangguan teknis seperti webcam terlepas atau perangkat keras tidak terbaca, sehingga memudahkan pengguna dalam penanganan awal. Selain itu, penggabungan kelas baterai AA dan AAA menjadi satu class dapat dipertimbangkan, mengingat kemiripan bentuk dan ukuran keduanya yang sering membingungkan sistem deteksi visual. Dengan pengembangan tersebut, diharapkan sistem dapat menjadi lebih andal, efisien, dan siap diimplementasikan secara luas.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] G. Mourad & A. Sayed. "Battery recycling and reuse: An overview of current techniques and future prospects". *Journal of Environmental Management*, 68(3), 233–240, 2024
- [2] Rahman, R., Faisal, M., & Haryanto, A. "Optimasi penggunaan kamera untuk deteksi objek dalam sistem penyortiran sampah berbasis AI". *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 8(3), 37–42, 2021
- [3] Kurniawan, A., Soebandrija, M., & Astuti, D. "Penggunaan Arduino dalam proyek elektronik berbasis sensor dan motor". *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 10(2), 105–110., 2020
- [4] Redmon, J., & Farhadi, A. "You only look once: Unified, real-time object detection". In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 779–788)., 2018
- [5] Al-Rakhami, M. S., & Alharthi, M. "An overview of Python programming for machine learning and deep learning applications". *International Journal of Computer Applications*, 178(17), 22–27., 2019
- [6] Sugiyanto, A., Wulandari, F., & Sutanto, R. "Pemilihan perangkat keras mini PC untuk aplikasi deteksi objek dalam sistem otomatis". *Jurnal Sistem Komputer*, 18(1), 33–39., 2022
- [7] Tanaka, M., Nishimoto, Y., & Akiyama, K. "Penerapan motor servo dalam mekanisme penyortiran sampah elektronik". *Jurnal Mekatronika*, 22(2), 75–81., 2020
- [8] Pratama, I. D., & Hartono, D. "Pengaruh penggunaan layar monitor dalam sistem pengelolaan sampah berbasis edukasi". *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 9(1), 45–50., 2023