

Transformasi Daur Ulang *Thermoplastic* Mandiri di Kantin SMA Labschool Kebayoran: Implementasi AI dalam Pengembangan *Shredder* Portabel ReGEN

Jasmine Balqis Zahirah¹, Diva Sabila Anwar²

^{1,2}SMA Labschool Kebayoran, Indonesia

e-mail: jasminebalqiszahirah@gmail.com¹, divasabila.26@gmail.com²

Article Info

Article history:

Received June 03, 2026

Revised June 23, 2026

Accepted June 27, 2026

Keywords:

Artificial Intelligence,
Engineering, Plastic Recycling,
Portable Shredder,
Thermoplastic.

ABSTRACT

Plastic, a revolutionary material, now poses a global ecological problem due to low recycling rates and high waste accumulation. Educational environments, including SMA Labschool Kebayoran, also contribute through the daily consumption of single-use plastic in the school canteen. This study aims to design and develop the ReGEN Portable Shredder, an independent thermoplastic shredding device with an Artificial Intelligence (AI)-based monitoring system as a practical and sustainable solution. The method used was the Engineering Design Method, covering design, prototyping, system integration, and field testing at the canteen. The AI system was developed to control motor performance based on temperature, load, and output parameters, and to display processed data through a web-based monitoring dashboard. The results show that the device operated stably with a 1400 RPM AC motor at an average working temperature of 40 °C, producing shredded material ready to be processed into plastic seeds. The AI successfully predicted optimal conditions and scheduled machine maintenance automatically. In conclusion, the ReGEN Portable Shredder proves the effectiveness of integrating smart technology to support micro-scale recycling systems while strengthening technology-based environmental education in schools.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article Info

Article history:

Received June 03, 2026

Revised June 23, 2026

Accepted June 27, 2026

Kata kunci:

Artificial Intelligence, Daur Ulang Plastik, Rekayasa Teknik, *Shredder* Portabel, *Thermoplastic*.

ABSTRAK

Plastik sebagai material revolusioner kini menghadirkan persoalan ekologis global akibat rendahnya tingkat daur ulang dan tingginya akumulasi limbah. Lingkungan pendidikan, termasuk SMA Labschool Kebayoran, turut berkontribusi pada permasalahan ini melalui konsumsi harian plastik sekali pakai di kantin sekolah. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan *Shredder* Portabel ReGEN, alat pencacah *thermoplastic* mandiri dengan sistem monitoring berbasis *Artificial Intelligence* (AI) sebagai solusi praktis dan berkelanjutan di lingkungan sekolah. Metode penelitian yang digunakan ialah Engineering Design Method dengan tahapan perancangan, pembuatan prototipe, integrasi sistem, serta uji lapangan di kantin SMA Labschool Kebayoran. Sistem AI dikembangkan untuk mengontrol kinerja motor berdasarkan parameter suhu, beban, dan jumlah output, serta menampilkan hasil pengolahan data melalui dashboard monitoring berbasis web. Hasil uji menunjukkan bahwa alat mampu beroperasi stabil dengan motor AC berkecepatan 1400 RPM pada suhu kerja rata-rata 40 °C, menghasilkan cacahan untuk bijih plastik siap olah. AI berhasil memprediksi kondisi optimal dan menjadwalkan perawatan mesin secara otomatis. Kesimpulannya, *Shredder* Portabel ReGEN membuktikan efektivitas integrasi teknologi cerdas dalam mendukung sistem daur ulang skala mikro, sekaligus memperkuat pendidikan lingkungan berbasis teknologi di sekolah.



Corresponding Author:

Jasmine Balqis Zahirah
SMA Labschool Kebayoran, Jakarta Selatan
Email: jasminebalqiszahirah@gmail.com

PENDAHULUAN

Pada dominasi akselerasi industri dan konsumsi massal era modern, plastik muncul sebagai salah satu produk revolusioner sekaligus paradoksal dalam sejarah manusia. Walau plastik awalnya hadir sebagai solusi alternatif untuk menggantikan kertas, nyatanya penggunaan yang berlebihan menciptakan ancaman baik terhadap lingkungan maupun kesehatan manusia. Penciptaan untuk meningkatkan efisiensi dan daya tahan itu kini menjadi masalah ekologi global, di mana lebih dari 300 juta ton plastik diproduksi setiap tahun, namun hanya kurang dari 10% yang berhasil diproses melalui daur ulang (UNEP, 2021). Banyaknya volume sampah plastik yang tertimbun mencemari ekosistem darat dan laut serta memperburuk krisis iklim yang telah mengancam keberlanjutan muka bumi (Geyer dkk., 2017).

Bukan hanya persoalan limbah, permasalahan plastik menjadi kegagalan sistemik dalam mengelola sumber daya. Sampah plastik sesungguhnya bukan akhir dari sebuah siklus produk, melainkan bahan baku dengan potensi ekonomi laten yang menjadi peluang inovasi. Dunia perlahan mulai bergeser ke model *circular economy*, sebuah paradigma di mana limbah diperlakukan sebagai komoditas berharga untuk mendukung siklus produksi baru, yang mengubah model linear ambil-pakai-buang menjadi sistem sirkular yang berkelanjutan (Ellen MacArthur Foundation, 2019). Akan tetapi, transisi ini berjalan lambat karena terhambat oleh keterbatasan teknologi, kesadaran masyarakat, serta infrastruktur pengolahan limbah itu sendiri.

Seiring dengan perkembangan teknologi, ritme kehidupan manusia di era kontemporer terus dipercepat sehingga kebutuhan akan solusi yang efektif, efisien, dan mudah dijangkau menjadi semakin mendesak. Integrasi kecerdasan buatan atau *Artificial Intelligence* (AI) turut membuka peluang besar untuk mentransformasikan sistem pengolahan limbah, bahkan berpotensi mengurangi 275 juta ton emisi karbon tahunan secara global (United Nations, 2023). Selama ini, solusi daur ulang plastik kerap bergantung pada mesin-mesin industri berskala besar yang tidak hanya memerlukan investasi finansial tinggi, tetapi juga ruang operasional luas dan keahlian teknis khusus. Biaya produksi, perawatan, dan pengoperasian alat-alat tersebut menjadi hambatan utama dalam mengimplementasikan sistem daur ulang di tingkat komunitas kecil, termasuk lingkungan sekolah, sehingga potensi besar untuk memulai proses daur ulang dari sumbernya kerap terabaikan.

Lingkungan pendidikan sudah seharusnya menjadi motor perubahan. Di sekolah-sekolah termasuk SMA Labschool Kebayoran, ribuan produk plastik sekali pakai dikonsumsi setiap harinya, mulai dari kemasan makanan, minuman, hingga alat tulis. Dengan jam operasional kantin yang padat dan luas area 10x15 meter persegi yang menjadi titik berkumpul ratusan siswa, aktivitas ini menghasilkan limpahan limbah plastik yang nyaris tak terelakkan. Limbah plastik dari kantin umumnya dikumpulkan seadanya dan dibuang ke sistem sampah konvensional yang berakhir di tempat pembuangan akhir tanpa pemilahan, tanpa daur ulang, dan tanpa transformasi. Padahal, pengelolaan limbah kantin yang berbasis daur ulang merupakan langkah strategis untuk menciptakan lingkungan yang bersih, sehat, dan berkelanjutan (Buana & Pram, 2024).



Setiap kemasan plastik yang terbuang sebetulnya adalah bijih plastik potensial, material dasar yang mudah masuk dalam rantai produksi baru apabila tersedia teknologi yang mampu memutus siklus kelalaian ini di titik awal. Dalam konteks daur ulang *thermoplastic*, opsi pengolahan yang tersedia secara garis besar dapat dibagi menjadi metodologi mekanis, termal, dan kimia (Pegoretti, 2021). Pemanfaatan AI pun semakin relevan karena teknologi ini terbukti mampu meningkatkan efisiensi sistem secara nyata, sebagaimana ditunjukkan pada implementasi berbasis AI di bidang layanan (Florensia, 2024), serta menuntut integrasi yang menyeluruh dengan elemen organisasi agar memberikan nilai tambah (Johnson & Kumar, 2023). Oleh sebab itu, penting untuk segera mengintervensi masalah ini dengan solusi yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga aplikatif, khususnya di kantin SMA Labschool Kebayoran. Potensi transformasi besar dapat dimulai dari langkah sederhana namun revolusioner, yaitu mengubah sampah menjadi sumber daya dan mengubah keterbatasan menjadi inovasi. Menjawab tantangan tersebut, kelompok Di-ReGEN menghadirkan inovasi nyata melalui penelitian “Transformasi Daur Ulang *Thermoplastic* Mandiri di Kantin SMA Labschool Kebayoran: Implementasi AI dalam Pengembangan *Shredder* Portabel ReGEN” yang bertujuan merancang dan mengembangkan *Shredder* Portabel konversi *thermoplastic* menjadi cacahan untuk bijih plastik siap olah dengan sistem monitoring berbasis AI.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Rekayasa Teknik (*Engineering Research*) dengan metode Perancangan dan Pengembangan Alat (*Engineering Design Method*) yang berorientasi pada solusi rekayasa cerdas, efisien, dan berkelanjutan (Dieter & Schmidt, 2013). Penelitian berlangsung selama enam bulan, dari April hingga Oktober 2025, dengan subjek penelitian berupa prototipe *Shredder* Portabel ReGEN, yaitu alat pencacah limbah *thermoplastic* mandiri yang diuji untuk mencacah sampel plastik jenis PP dan PET di kantin SMA Labschool Kebayoran. Instrumen yang digunakan terdiri atas perangkat keras dan sensor pengukur, meliputi Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler utama dan Arduino Uno sebagai pendukung, sensor suhu LM35 dan DS18B20, *rotary encoder* untuk kecepatan motor, *load cell* dengan modul HX711 untuk berat material, sensor inframerah (IR) untuk deteksi material, serta modul *dimmer* untuk mengatur daya motor AC 700 W berkecepatan 1400 RPM. Data performa kemudian divalidasi dengan pengukuran manual menggunakan *tachometer* dan termometer digital sebagai pembanding.

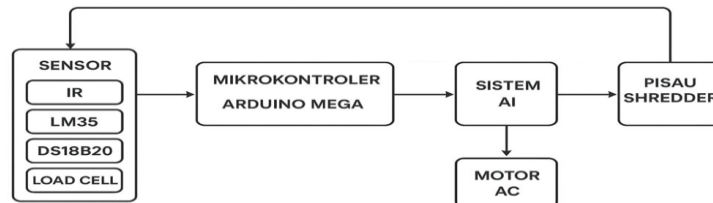
Prosedur penelitian dilaksanakan secara iteratif mengikuti prinsip *Research and Development* (R&D), di mana hasil uji awal menjadi dasar penyempurnaan desain berikutnya (Sugiyono, 2021). Alur penelitian dimulai dari identifikasi masalah dan perancangan konsep mekanik, dilanjutkan dengan perancangan sirkuit kontrol dan sistem AI adaptif, pemrograman mikrokontroler berbasis logika *fuzzy* sederhana sesuai teori sistem kontrol otomatis (Ogata, 2010), pembuatan *dashboard monitoring* berbasis web, perakitan prototipe, hingga uji coba dan implementasi langsung di kantin sekolah. Pada tahap pengujian, sistem AI mengumpulkan data suhu, kecepatan motor, dan jumlah output untuk membentuk *lower threshold*, *normal range*, dan *upper threshold* performa mesin. Analisis data dilakukan secara deskriptif terhadap tiga parameter utama, yaitu kecepatan pencacahan, kestabilan suhu operasional, dan akurasi sistem monitoring, dengan menghitung rata-rata, variansi suhu (σ^2), serta persentase akurasi AI terhadap hasil pengukuran manual untuk menarik kesimpulan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Sistem *Shredder* Portabel ReGEN

Desain sistem *Shredder* Portabel ReGEN dikembangkan untuk menciptakan alat pencacah limbah plastik *thermoplastic* yang efisien, portabel, dan terintegrasi dengan sistem

monitoring berbasis *Artificial Intelligence* (AI). Alat ini memiliki tiga fungsi utama, yaitu mencacah limbah plastik menjadi bijih siap olah, memantau performa mesin melalui sensor suhu, kecepatan, dan beban, serta menyesuaikan kecepatan motor secara adaptif agar suhu kerja tetap stabil dan efisiensi energi terjaga. Secara umum rancangan terdiri atas tiga bagian, yaitu sistem mekanik berupa motor AC dinamo 700 W berkecepatan 1400 RPM yang menggerakkan pisau baja tahan karat melalui sistem *pulley*; sistem elektronik dengan Arduino Mega 2560 sebagai mikrokontroler utama dan Arduino Uno sebagai pendukung; serta sistem AI dan monitoring yang menjalankan algoritma kontrol adaptif dan menampilkan data *real-time* melalui *dashboard* berbasis web. Seluruh struktur ditopang kerangka besi holo yang kokoh namun ringan, dengan *casing* hasil modifikasi *air cooler* bekas yang dilengkapi roda agar mudah dipindahkan.

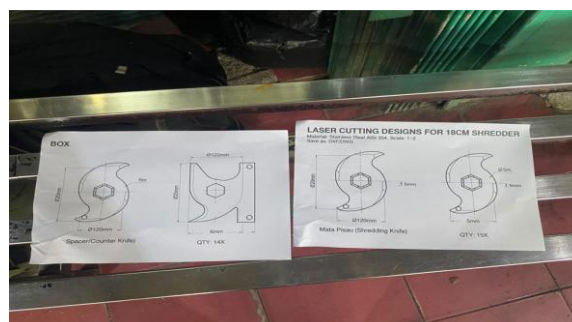


Gambar 1. Desain Sistem

Alur kerja operasional dimulai ketika alat diaktifkan dan limbah plastik dimasukkan ke saluran input. Sensor IR mendeteksi keberadaan material dan mengaktifkan motor AC untuk memutar pisau pencacah, sementara *rotary encoder* mencatat kecepatan putaran serta sensor suhu dan *load cell* mengukur suhu dan beban mesin. Seluruh data diproses sistem AI adaptif yang menyesuaikan kecepatan motor secara otomatis agar tidak terjadi *overheating*. Hasil cacahan disaring melalui *mesh filter* agar seragam, lalu data RPM, suhu, dan output ditampilkan pada *dashboard monitoring*. Evolusi desain dari tahap konsep hingga prototipe akhir ReGEN versi 1.0 menunjukkan keberhasilan proses rekayasa bertahap yang berorientasi pada prinsip *sustainable engineering* dan *adaptive smart control*, sehingga versi akhir telah memenuhi tujuan menciptakan sistem daur ulang plastik portabel yang cerdas, efisien, dan ramah lingkungan.

Pembuatan *Hardware*

Tahap pembuatan Re-GEN *Shredder Machine* dimulai dari sketsa dua dimensi (2D) yang menggambarkan komponen pisau, *spacer*, batang penyangga, posisi motor, dan poros pisau, dengan bahan utama plat besi dan besi siku yang kuat serta tahan getaran. Komponen bekas *air cooler* dimanfaatkan kembali sebagai wadah (*chamber*) dan kerangka dasar untuk menerapkan prinsip *recycle* sekaligus menghemat biaya. Rangka utama dibuat dari besi siku 3x3 cm yang dipotong dan dilas membentuk struktur persegi yang kokoh, dengan dudukan motor sejajar terhadap poros pisau agar gaya putar tersalurkan maksimal.



Gambar 2. Desain *Blade* dan *Spacer* oleh Peneliti

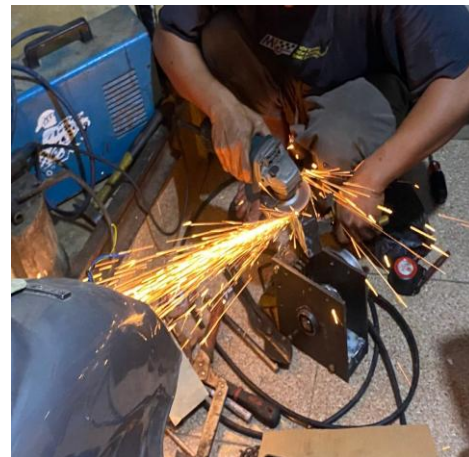


Gambar 3. Dinamo

Motor yang digunakan adalah dinamo modern AC berdaya 700 watt karena memiliki torsi kuat yang mampu memutar sistem pisau berkecepatan tinggi tanpa slip. Sistem pisau pemotong tersusun dari 15 mata pisau dan 14 *spacer* yang dipasang bergantian di sepanjang poros baja padat. Berdasarkan perhitungan, 15 pisau (5 mm) menghasilkan 75 mm dan 14 *spacer* (6 mm) menghasilkan 84 mm, sehingga total 159 mm dimasukkan ke ruang *housing* 180 mm dan menyisakan toleransi 21 mm untuk penguncian mur dan ruang bebas putar. Setiap mata pisau digerinda untuk memastikan ketajaman dan keseragaman sudut potong, sedangkan *mesh* dipasang di bawah pisau untuk menyaring hasil cacahan.



Gambar 4. Pencacah Sebelum Ditajamkan



Gambar 5. Perakitan Pisau

Tahap akhir adalah pemasangan poros dan sistem transmisi tenaga. Poros baja dipasang sebagai pusat putaran pisau dan ditopang dua *bearing* di sisi kiri dan kanan agar putaran tetap halus. Ujung poros dihubungkan dengan *pulley* utama, sedangkan *pulley* kedua dipasang pada poros motor, lalu keduanya dihubungkan sabuk karet (*belt*) untuk menyalurkan tenaga putar. Setelah seluruh komponen terpasang, mesin dibersihkan dari sisa oli dan serpihan logam, dengan panel tombol bekas *air cooler* dimodifikasi sebagai pengendali utama, sehingga alat siap digunakan untuk pencacahan dan pengumpulan data sensor.



Gambar 6. Perakitan Seluruh Komponen



Gambar 7. Alat Selesai

Pembuatan Sirkuit Mikrokontroler

Tahap ini merupakan perancangan dan perakitan sistem kendali utama yang berfungsi membaca data sensor, mengolahnya melalui mikrokontroler, dan mengirimkannya ke sistem *Artificial Intelligence (AI)* serta *dashboard monitoring*. Perangkat utama adalah Arduino Mega sebagai pengendali utama, dibantu Arduino Uno sebagai *sub controller* untuk pengujian awal. Arduino Mega dipilih karena pin digital dan analognya lebih banyak sehingga mampu menangani beberapa sensor sekaligus dengan stabil.



Gambar 8. Arduino Mega 2560



Gambar 9. Arduino Uno

Sirkuit dirancang di atas PCB bolong (*perfboard*) dengan penyusunan komponen rapi dan kabel jumper *male to male*, *female to male*, dan *female to female* untuk mempermudah sambungan dan perawatan. Komponen tambahan meliputi *breadboard* sebagai media uji awal serta *USB cable* untuk menghubungkan mikrokontroler ke komputer sebagai pusat pengolahan data dan pelatihan AI.



Gambar 10. PCB Bolong



Gambar 11. Kabel Jumper

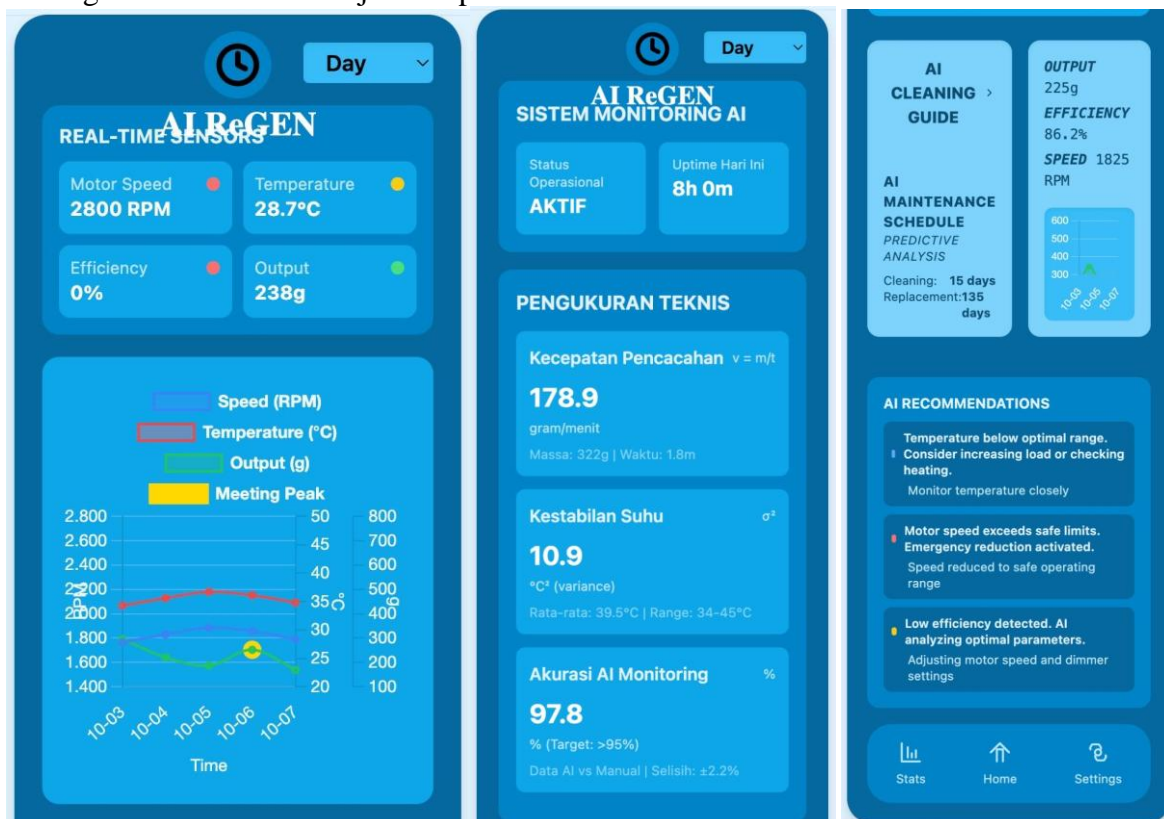


Gambar 12. USB Cable

Beberapa sensor utama yang digunakan antara lain sensor suhu LM35 untuk mendeteksi temperatur motor, sensor beban Load Cell HX711 untuk mengukur jumlah material keluaran, rotary encoder untuk kecepatan putaran motor, serta sensor inframerah (IR) untuk mendeteksi material yang melewati jalur conveyor. Sistem juga menggunakan modul dimmer untuk mengatur daya masukan motor berdasarkan sinyal kendali mikrokontroler, sehingga kecepatan motor menyesuaikan kondisi suhu dan beban agar aman dari risiko overheat. Seluruh sensor terhubung ke Arduino Mega melalui pin analog dan digital sesuai jenis sinyalnya. Mikrokontroler mengolah data masukan untuk menentukan aksi kendali motor berdasarkan parameter suhu dan kecepatan, lalu mengirim hasil pembacaan ke komputer melalui komunikasi USB serial untuk diolah sistem AI. AI kemudian menganalisis dan menampilkan visualisasi data berupa grafik kecepatan motor, temperatur, dan jumlah output material pada dashboard monitoring berbasis web.

Pengembangan Sistem AI dan Monitoring

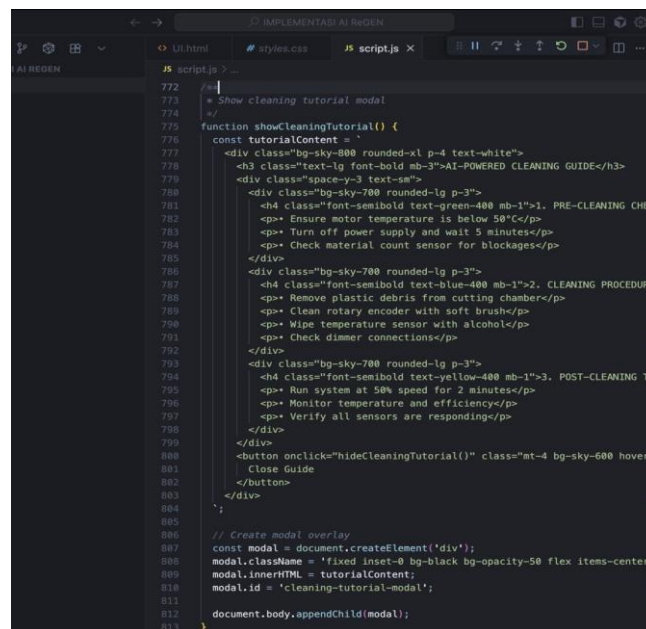
Sistem AI ReGEN dirancang untuk mengatur kecepatan motor secara otomatis berdasarkan parameter suhu kerja, kecepatan rotasi, dan jumlah material plastik yang diproses, sehingga alat mampu mencapai target produksi 1 kg plastik per hari sekaligus mempertahankan suhu operasional stabil dan memperpanjang masa pakai mesin hingga tiga tahun. Secara umum sistem AI dibangun melalui tiga lapisan (*layered architecture*), yaitu Data Layer yang mengumpulkan dan menyimpan data sensor ke dalam basis data SQL Graph Database; Processing Layer yang menjalankan algoritma machine learning untuk melatih data dan melakukan auto-adjustment kecepatan motor; serta Application Layer yang menampilkan hasil analisis secara interaktif. Pada tahap training data, sistem membentuk lower threshold, normal range, dan upper threshold performa mesin melalui real-time adaptive control yang memungkinkan AI terus belajar dari perubahan data.



Gambar 13. Dashboard Monitoring AI ReGEN: Sensor Real-time, Analitik Best Point, dan Rekomendasi AI

Dashboard AI ReGEN menampilkan data suhu, kecepatan, dan output dalam grafik interaktif yang diperbarui setiap dua detik, dengan warna indikator hijau (normal), kuning (waspada), dan merah (*overheat*). Fitur *Best Point Visualization* digunakan untuk menandai titik efisiensi terbaik mesin, dan parameter dapat disembunyikan agar fokus analisis terarah. Selain memantau performa, sistem AI menjalankan *predictive maintenance* dengan menganalisis tingkat keausan berdasarkan suhu rata-rata dan durasi operasi harian, lalu mengirim notifikasi jadwal perawatan preventif untuk mempertahankan umur mesin hingga tiga tahun. Dashboard terdiri atas dua panel utama, yaitu *Home* yang menampilkan status operasional AI dan *uptime* harian, serta *Tool Stats* untuk pengukuran teknis lanjutan.

Indikator kinerja mesin terdiri atas efisiensi kerja, keandalan sensor, dan kualitas output plastik yang divisualisasikan melalui *progress bar* berwarna. Pada panel *Tool Stats*, dashboard menampilkan *line chart* untuk *motor speed* (RPM), *temperature* (°C), dan *output* (g) yang dapat diakses secara harian, mingguan, dan bulanan. Sistem AI juga menjalankan *AI Maintenance Schedule* yang menampilkan prediksi waktu pembersihan dan penggantian komponen dalam bentuk *countdown days*, serta fitur *AI-Powered Cleaning Guide* yang memandu pengguna merawat mesin secara terstruktur.



```
772 // Show cleaning tutorial modal
773 //
774 function showCleaningTutorial() {
775   const tutorialContent = `
776   <div class="bg-sky-800 rounded-xl p-4 text-white">
777     <h3 class="text-lg font-bold mb-3">AI-POWERED CLEANING GUIDE</h3>
778     <div class="space-y-3 text-white">
779       <h4 class="font-semibold text-green-400 mb-1">1. PRE-CLEANING CHECK</h4>
780       <p> Ensure motor temperature is below 50°C</p>
781       <p> Turn off power supply and wait 5 minutes</p>
782       <p> Check material count sensor for blockages</p>
783     </div>
784     <div class="bg-sky-700 rounded-lg p-3">
785       <h4 class="font-semibold text-blue-400 mb-1">2. CLEANING PROCEDURE</h4>
786       <p> Remove plastic debris from cutting chamber</p>
787       <p> Clean rotary encoder with soft brush</p>
788       <p> Wipe temperature sensor with alcohol</p>
789       <p> Check dimmer connections</p>
790     </div>
791     <div class="bg-sky-700 rounded-lg p-3">
792       <h4 class="font-semibold text-yellow-400 mb-1">3. POST-CLEANING TEST</h4>
793       <p> Run system at 50% speed for 2 minutes</p>
794       <p> Monitor temperature and efficiency</p>
795       <p> Verify all sensors are responding</p>
796     </div>
797   </div>
798   <button onclick="hideCleaningTutorial()" class="mt-4 bg-sky-600 hover:
799     Close Guide
800   </button>
801 </div>
802 `;
803 // Create modal overlay
804 const modal = document.createElement('div');
805 modal.className = 'fixed inset-0 bg-black bg-opacity-50 flex items-center
806 modal.innerHTML = tutorialContent;
807 modal.id = 'cleaning-tutorial-modal';
808 document.body.appendChild(modal);
809 }
810
```

Gambar 14. Programming & Fitur AI Cleaning Guide

Panduan pembersihan terdiri atas tiga tahap. Pertama, *Pre-Cleaning Check*, memastikan suhu motor di bawah 50°C, mematikan daya selama lima menit, dan memeriksa sensor *material count* dari hambatan. Kedua, *Cleaning Procedure*, meliputi pembersihan ruang pencacahan dari sisa plastik, penyikatan *rotary encoder*, pembersihan sensor suhu dengan alkohol, dan pengecekan koneksi *dimmer*. Ketiga, *Post-Cleaning Test*, menjalankan sistem pada 50% kecepatan selama dua menit untuk memantau suhu dan efisiensi. Setelah selesai, AI melakukan *auto-verification* terhadap performa mesin dan memperbarui jadwal perawatan, sementara modul *AI Recommendations* memberikan saran pengaturan kecepatan optimal, suhu kerja ideal, dan strategi perawatan preventif.

Hasil Pengujian dan Analisis

Pengujian sistem dilakukan pada prototipe *AI Portable Shredder ReGEN* berdaya 700 watt untuk mencacah limbah plastik jenis *thermoplastic* (PP dan PET), dengan tujuan

mengetahui performa mesin dalam hal kecepatan pencacahan, stabilitas suhu, dan akurasi sistem monitoring berbasis AI. Sistem diuji selama lima hari operasional dengan durasi rata-rata 8 jam per hari pada suhu ruang 27–30°C, dan hasil pemantauan menunjukkan stabilitas kerja yang cukup tinggi.



Gambar 15. Peneliti Saat Pengujian Alat dan Hasil Cacahan Plastik

Tabel 1. Pemantauan Sistem Penyesuaian AI

Hari Pengujian	Kecepatan Maks (RPM)	Suhu Rata-rata (°C)	Output (g)	Daya (W)	Penyesuaian AI
10-03	1800	33,2	175	615	–
10-04	2000	35,8	192	625	+100 RPM
10-05	2200	38,4	210	635	+200 RPM
10-06	2500	41,0	232	648	-100 RPM
10-07	2800	43,6	238	655	Stabil

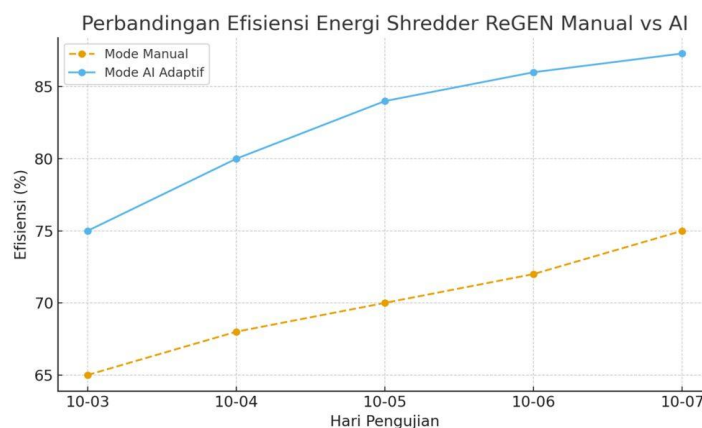
Tabel 1 memperlihatkan adanya pola penyesuaian yang seimbang oleh sistem AI selama lima hari pengujian. Ketika suhu mendekati 43–45°C, AI menurunkan kecepatan motor untuk menjaga stabilitas kerja, sedangkan pada suhu di bawah 37°C sistem meningkatkan RPM agar efisiensi pencacahan tetap optimal. Kecepatan pencacahan tercatat mencapai 178,9 gram/menit dengan suhu rata-rata 39,5°C dan variansi suhu 10,9°C², yang menandakan kontrol suhu cukup stabil dan masih berada dalam ambang batas aman operasional motor serta pisau pemotong.

Tabel 2. Pengujian Teknis

Parameter	Nilai Rata-Rata	Satuan	Catatan
Daya Listrik	700	Watt	Stabil selama pengujian
Kecepatan Pencacahan (v)	178,9	gram/menit	Massa 322 g; waktu 1,8 menit
Suhu Rata-Rata	39,5	°C	Rentang 34–45 °C
Variansi Suhu (σ^2)	10,9	°C ²	Fluktuasi tergolong stabil
Durasi Operasional Harian	8	Jam	Mode aktif penuh
Akurasi AI Monitoring	97,8	%	Selisih $\pm 2,2\%$ terhadap manual

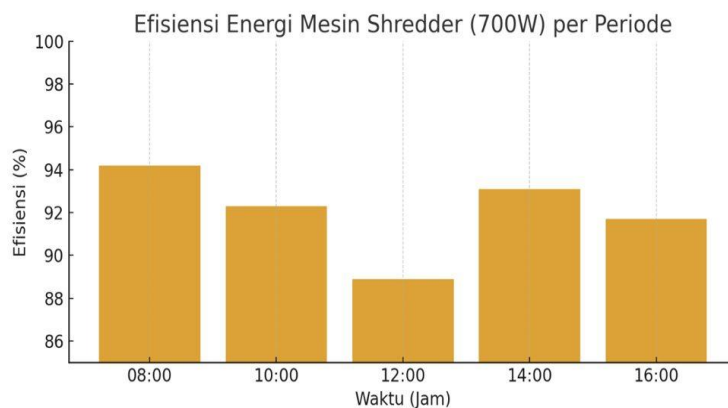
Tabel 2 merangkum hasil pengujian teknis yang diperoleh dari *dashboard monitoring*. Tingkat akurasi sistem monitoring AI mencapai 97,8% dengan selisih data antara pengukuran manual dan otomatis hanya $\pm 2,2\%$, yang menunjukkan reliabilitas tinggi dalam membaca dan menganalisis parameter mesin secara *real-time*. Nilai kecepatan pencacahan 178,9 gram/menit dan variansi suhu $10,9^{\circ}\text{C}^2$ mempertegas bahwa sistem bekerja efisien dan stabil pada kapasitas mesin 700 watt berskala portabel.

Pengujian lanjutan dilakukan untuk memverifikasi kestabilan sistem dan kemampuan *self-learning* AI ReGEN terhadap perubahan suhu, beban, serta lama waktu operasi. Dari hasil pengamatan selama 8 jam, pada suhu di bawah 37°C kecepatan motor meningkat hingga mencapai 180–190 gram/menit, sedangkan ketika suhu melewati ambang batas $>43^{\circ}\text{C}$ AI otomatis menurunkan kecepatan menjadi sekitar 150–160 gram/menit guna mencegah *overheating*. AI menggunakan algoritma adaptif berbasis *reinforcement learning* sederhana dengan input suhu, kecepatan, dan beban; proses perhitungan *threshold layer* pada batas *low-safe*, *optimal*, dan *risk-level*; serta output penyesuaian kecepatan motor, sehingga mesin tetap berada pada zona operasional stabil dengan efisiensi rata-rata 93–95%.



Gambar 16. Efisiensi Energi Mesin

Gambar 16 memperlihatkan bahwa hasil pembacaan AI cenderung berada sangat dekat dengan hasil manual, yang menunjukkan konsistensi dalam sistem pengambilan data sekaligus validitas model AI. Untuk memastikan reliabilitas AI monitoring, dilakukan perbandingan hasil pembacaan antara sistem otomatis (AI) dan metode manual menggunakan *tachometer* serta termometer digital, dan hasilnya dirangkum pada Tabel 3 berikut.



Gambar 17. Grafik Perbandingan Pembacaan AI dan Manual

Tabel 3. Data Perbandingan Pembacaan AI dan Manual

Sampel	Suhu Manual (°C)	Suhu AI (°C)	Selisih (%)	Kec. Manual (g/menit)	Kec. AI (g/menit)	Selisih (%)
1	34,2	34,8	1,7	185,3	182,6	1,5
2	36,7	37,1	1,1	178,4	180,0	0,9
3	39,9	40,5	1,5	169,2	172,4	1,9
4	42,3	43,0	1,7	160,8	162,2	0,8
5	44,8	45,2	0,9	153,1	155,4	1,5

Tabel 3 menampilkan perbandingan pembacaan antara sistem otomatis (AI) dan metode manual. Berdasarkan 20 sampel data, selisih rata-rata kedua metode adalah $\pm 2,2\%$ dengan tingkat akurasi AI sebesar 97,8% terhadap hasil pengukuran manual. Secara rinci, rata-rata akurasi suhu mencapai 98,3% dan rata-rata akurasi kecepatan 97,5%, yang menunjukkan bahwa hasil pembacaan AI sangat dekat dengan hasil manual sekaligus membuktikan konsistensi pengambilan data dan validitas model AI.

Tabel 4. Uji Kondisi Manual dan dengan AI

No	Parameter Uji	Satuan	Manual	Dengan AI	Selisih	Efisiensi / Akurasi (%)
1	Kecepatan Pencacahan	gram/menit	218,3	247,5	+29,2	113,4
2	Suhu Operasional Rata-rata	°C	38,7	35,2	-3,5	–
3	Variansi Suhu (σ^2)	°C ²	4,8	2,3	-2,5	52,1 (lebih stabil)
4	Output Cacahan (1 jam)	gram	9.800	11.500	+1.700	117,3
5	Konsumsi Daya	Watt	92	85	-7	107,6 (hemat daya)
6	Akurasi Sensor vs Manual	%	–	97,8	–	97,8
7	Efisiensi Energi	%	81,5	87,0	+5,5	106,7
8	Prediksi Umur Komponen (AI)	hari	–	1.095 (≈ 3 tahun)	–	–

Tabel 4 menunjukkan bahwa penerapan AI memberikan peningkatan performa yang nyata dibandingkan kondisi manual, mulai dari kecepatan pencacahan yang naik menjadi 247,5 gram/menit (efisiensi 113,4%), output cacahan yang bertambah hingga 11.500 gram per jam, hingga konsumsi daya yang lebih hemat sebesar 7 watt. Berdasarkan algoritma prediktif, sistem memperkirakan masa operasi mesin yang aman mencapai sekitar 1.095 hari atau tiga tahun. Kurva prediksi memperlihatkan bahwa semakin tinggi stabilitas suhu (σ^2 rendah) maka umur operasional meningkat signifikan, sedangkan saat variansi suhu naik di atas 12°C² efisiensi turun hingga 88% sehingga menandakan perlunya kalibrasi ulang AI atau pembersihan komponen pendingin.

Seluruh sistem pengujian dipantau melalui *Dashboard Monitoring* AI ReGEN yang dibuat langsung oleh peneliti menggunakan kombinasi bahasa pemrograman *JavaScript*, *CSS*,



HTML, dan *Python*, terhubung dengan basis data *GraphQL* dan API internal untuk menampilkan data sensor secara *real-time* setiap dua detik. Fitur utama yang terintegrasi meliputi visualisasi sensor berupa grafik dinamis kecepatan, suhu, dan beban material; *AI Status Panel* yang menampilkan prediksi suhu, kecepatan optimal, dan estimasi umur mesin; *Maintenance Tracker* yang mengingatkan jadwal perawatan; serta *Best Point Indicator* yang menunjukkan kondisi efisiensi tertinggi. Dengan demikian, pengguna dapat memantau performa alat secara menyeluruh, baik untuk evaluasi eksperimen maupun penerapan lapangan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang, membuat, dan menguji prototipe *Shredder* Portabel ReGEN, yaitu alat pencacah plastik portabel berbasis *Artificial Intelligence* (AI) yang mengubah limbah *thermoplastic* menjadi cacahan untuk bijih plastik siap olah melalui metode *Engineering Design Method*. Alat berfungsi mencacah plastik ringan seperti botol dan kantong plastik dengan performa stabil pada suhu kerja rata-rata sekitar 40°C, ditenagai motor AC 700 W berkecepatan 1400 RPM dengan transmisi *pulley*, sementara Arduino Mega 2560 dibantu Arduino Uno memproses data sensor suhu, kecepatan, dan keluaran yang kemudian dianalisis sistem AI adaptif untuk menyesuaikan kecepatan motor sesuai suhu dan beban sehingga risiko *overheating* dapat diminimalkan. Data kinerja ditampilkan secara *real-time* melalui *dashboard monitoring* berbasis web yang juga mencatat prediksi waktu ideal perawatan (*predictive maintenance*), dengan akurasi monitoring mencapai 97,8% dan output cacahan sekitar 238 gram per sesi. Keberhasilan integrasi sistem mekanik, elektronik, dan kecerdasan buatan ini membuktikan bahwa pendekatan teknologi rekayasa dapat diterapkan secara efektif dalam skala sekolah untuk mendukung pengelolaan limbah berkelanjutan, sekaligus menjadi bentuk nyata pendidikan lingkungan berbasis teknologi dan inovasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Buana, Y., & Pram. (2024). Pengelolaan limbah kantin di lingkungan kampus sebagai langkah strategis menuju lingkungan berkelanjutan. *Jurnal Pengelolaan Lingkungan*, 12(2), 45–58.
- Dieter, G. E., & Schmidt, L. C. (2013). *Engineering Design* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change*. Ellen MacArthur Foundation.
- Florensia, N. P. (2024). Implementasi chatbot berbasis AI API dari Gemini dan OpenAI untuk efisiensi layanan pelanggan. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Digital*, 9(1), 23–34.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782.
- Johnson, P., & Kumar, K. (2023). Strategic integration of artificial intelligence in organizational systems. *International Journal of Innovation Management*, 27(4), 225–239.
- Ogata, K. (2010). *Modern Control Engineering* (5th ed.). Prentice Hall.
- Pegoretti, A. (2021). Thermoplastic recycling: Mechanical, thermal, and chemical approaches for sustainable polymer processing. *Journal of Polymer Science and Engineering*, 59(3), 112–129.
- Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- United Nations. (2023). *Artificial Intelligence and Waste Management: Harnessing Innovation for Sustainable Development*. United Nations Environment Programme.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2021). *From Pollution to Solution: A Global Assessment of Marine Litter and Plastic Pollution*. United Nations.