RANCANG BANGUN MESIN PENCACAH SAMPAH SAYURAN BERBASIS *PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER* UNTUK PENANGANAN LIMBAH PASAR STASIUN KABUPATEN PONOROGO

Imam'Ubaidillah H[1)], Reza Rahmadian[2)], Mahendra Widyartono[3)], Daeng Rahmatullah[4)]

[1)]Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: imamubaidillah.22003@mhs.unesa.ac.id
[2)]Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: rezarahmadian@unesa.ac.id
[3)]Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: mahendrawidyartono@unesa.ac.id
[4)]Teknik Listrik, Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: daengrahmatullah@unesa.ac.id

ABSTRACT
Vegetable waste generated from market activities requires appropriate processing technology to improve shredding efficiency and reduce manual handling. This study aimed to design and develop a vegetable waste shredding machine based on an Omron CP1E *Programmable Logic Controller* (PLC) with rotational speed control using a *Variable Frequency Drive* (VFD), and to evaluate its performance during the shredding process. An experimental method was employed through mechanical design, control system design, assembly, and machine performance testing. The system uses a 0.5 HP three-phase induction motor, a VFD for motor frequency and speed control, an Omron CP1E PLC for automatic control, and a PZEM-022 for monitoring electrical parameters. The control system is equipped with a *Thermal Overload Relay* (TOR) protection and an *auto-reverse* mechanism to overcome overload conditions caused by material jamming. Tests were conducted at frequencies of 30, 40, and 50 Hz with different shredding times. The results showed that increasing the VFD frequency produced smaller shredded particles. At 50 Hz, the shredded kangkung particles ranged from 1.56–2.00 cm, while spinach particles ranged from 1.91–2.21 cm. Under normal operating conditions, the motor current was 1.126 A at approximately 2,671 rpm, while under a locked-rotor condition, the current increased to 2.380 A and the TOR operated at approximately 37.24 seconds. Capacity testing resulted in 60 kg/h for a 1 kg sample processed for 60 seconds and an equivalent throughput of 120 kg/h for a 2 kg sample processed for 60 seconds. The *auto-reverse* system successfully restored motor rotation after material jamming, supporting the continuity of the shredding process. Based on the test results, the developed machine was capable of shredding vegetable waste while providing adjustable rotational speed and an automatic PLC-based protection system.
Keywords: shredding machine; vegetable waste; Omron CP1E PLC; VFD; *auto-reverse*.

ABSTRAK
Pengelolaan limbah sayuran dari aktivitas pasar memerlukan teknologi pengolahan yang mampu meningkatkan efisiensi pencacahan dan mengurangi penanganan secara manual. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin pencacah sampah sayuran berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) Omron CP1E dengan pengaturan kecepatan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), serta mengevaluasi kinerja sistem dalam proses pencacahan. Penelitian menggunakan metode eksperimen melalui tahapan perancangan mekanis, perancangan sistem kontrol, perakitan, dan pengujian kinerja mesin. Sistem menggunakan motor induksi tiga fasa 0,5 HP, VFD sebagai pengatur frekuensi putaran motor, PLC Omron CP1E sebagai pengendali otomatis, dan PZEM-022 untuk pemantauan parameter kelistrikan. Sistem kontrol dilengkapi proteksi *Thermal Overload Relay* (TOR) dan mekanisme *auto-reverse* untuk mengatasi kondisi beban lebih akibat kemacetan material. Pengujian dilakukan pada frekuensi 30, 40, dan 50 Hz dengan variasi waktu pencacahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi VFD menghasilkan ukuran cacahan yang lebih kecil. Pada frekuensi 50 Hz, ukuran cacahan kangkung berada pada kisaran 1,56–2,00 cm, sedangkan bayam berada pada kisaran 1,91–2,21 cm. Pada kondisi normal, arus motor sebesar 1,126 A dengan putaran sekitar 2.671 rpm, sedangkan pada kondisi rotor tertahan arus meningkat menjadi 2,380 A dan TOR bekerja pada sekitar 37,24 detik. Pengujian kapasitas menunjukkan hasil sebesar 60 kg/jam untuk pengujian 1 kg selama 60 detik dan mencapai ekuivalen 120 kg/jam pada pengujian 2 kg selama 60 detik. Sistem *auto-reverse* mampu mengembalikan putaran motor setelah terjadi kondisi kemacetan sehingga mendukung kontinuitas proses pencacahan. Berdasarkan hasil pengujian, mesin yang dirancang mampu melakukan pencacahan sampah sayuran dengan pengendalian kecepatan dan sistem proteksi otomatis berbasis PLC.
Kata kunci: mesin pencacah; sampah sayuran; PLC Omron CP1E; VFD; *auto-reverse*.

PENDAHULUAN

Permasalahan sampah masih menjadi tantangan serius dalam pengelolaan lingkungan di Indonesia, baik di wilayah perkotaan maupun pedesaan. Peningkatan jumlah penduduk dan perubahan pola konsumsi masyarakat berbanding lurus dengan peningkatan volume timbunan sampah (Aprilliani *et al*., 2023). Data Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) menunjukkan bahwa timbunan sampah nasional pada tahun 2022 mencapai 19,45 juta ton dan meningkat menjadi 19,56 juta ton pada tahun 2023 berdasarkan Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN). Komposisi sampah tersebut didominasi oleh sampah organik, khususnya sisa makanan, yang mencapai 41,7%. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan sampah organik masih menjadi salah satu aspek penting yang perlu mendapatkan perhatian. Bahkan, *Food Waste Index Report* oleh United Nations Environment Programme (UNEP) tahun 2024 menempatkan Indonesia sebagai salah satu negara dengan kontribusi sampah makanan rumah tangga yang sangat besar, yaitu sekitar 14,73 juta ton per tahun (Arrofat *et al*., 2025).

Salah satu permasalahan dalam pengelolaan sampah adalah rendahnya tingkat pemilahan dan pengolahan sejak dari sumbernya. Sampah organik, seperti sisa sayuran dan makanan, memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali melalui proses komposting, fermentasi pakan ternak, maupun budidaya maggot. Namun, apabila tidak ditangani secara tepat, akumulasi sampah organik dapat menimbulkan bau tidak sedap, pencemaran lingkungan, berkembangnya hewan pengganggu, serta gangguan terhadap kenyamanan dan kesehatan masyarakat (Setiawan *et al*., 2024). Oleh karena itu, diperlukan teknologi pengolahan yang mampu mengurangi ukuran sampah organik sekaligus meningkatkan efektivitas proses pemanfaatannya.

Permasalahan tersebut juga ditemukan di Pasar Stasiun, Kabupaten Ponorogo, yang berlokasi di Jl. Soekarno Hatta No. 261–273, Kelurahan Banyudono, Kecamatan Ponorogo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Pasar ini merupakan salah satu pusat aktivitas perdagangan sayuran dan bahan pangan. Berdasarkan hasil observasi lapangan, limbah sayuran busuk dihasilkan dan menumpuk setiap hari akibat tingginya aktivitas perdagangan serta keterbatasan sistem pengangkutan dan pengolahan sampah. Kondisi tersebut berpotensi menimbulkan pencemaran lingkungan, bau tidak sedap, serta munculnya hewan pengganggu yang dapat mengurangi kenyamanan masyarakat di sekitar pasar. Di sisi lain, karakteristik limbah yang didominasi oleh sisa sayuran menunjukkan adanya potensi untuk dimanfaatkan kembali apabila tersedia teknologi pengolahan yang sesuai.

Salah satu teknologi yang dapat diterapkan adalah mesin pencacah sampah organik. Proses pencacahan bertujuan memperkecil ukuran material sehingga luas permukaan material menjadi lebih besar dan proses degradasi biologis dapat berlangsung lebih efektif. Rahayu dan Budi Basuki (2024) menunjukkan bahwa proses pencacahan dapat meningkatkan efektivitas fermentasi melalui peningkatan luas permukaan material dan aktivitas mikroorganisme. Aminaallah (2025) juga melaporkan bahwa limbah sayuran yang melalui proses pencacahan sebelum fermentasi menghasilkan kualitas pakan ternak yang lebih baik dibandingkan material yang tidak dicacah. Secara umum, mesin pencacah bekerja dengan mentransmisikan daya dari sumber penggerak menuju sistem pemotong sehingga pisau dapat berputar dan mencacah material yang dimasukkan melalui corong pemasukan menjadi partikel dengan ukuran lebih kecil (Rafly Santoso *et al*., 2025).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan mesin pencacah sampah organik dengan berbagai kapasitas dan sistem pemotongan. Andriani *et al.* (2025) melalui penelitian *Manufacturing of Organic Waste Shredding Machine* merancang mesin pencacah sampah organik skala kecil dengan kombinasi sistem pemotongan *rotary blade* pada *flywheel* dan *hammer mill*. Mesin tersebut menggunakan motor listrik 0,5 HP atau 373 watt dan memiliki kapasitas pencacahan sebesar 63 kg/jam. Sementara itu, Sundari *et al.* (2024) mengembangkan mesin pencacah sampah organik berkapasitas 20 kg/*batch* untuk mendukung produksi *eco-enzyme* dan kompos. Mesin tersebut menggunakan motor listrik 0,18 kW atau 180 watt, dua bilah pisau, serta saringan berlubang 5 mm. Penelitian tersebut menekankan aspek mobilitas, konsumsi energi rendah, efisiensi pencacahan, dan kemudahan pengoperasian. Penelitian tersebut juga merekomendasikan pengembangan lebih lanjut berupa pengaturan kecepatan, otomatisasi berbasis sensor, sistem peredam kebisingan, vibrator, dan roda untuk mobilisasi alat.

Meskipun berbagai penelitian telah menghasilkan mesin pencacah sampah organik dengan kapasitas dan konfigurasi pemotongan yang berbeda, masih terdapat peluang pengembangan pada aspek sistem kendali dan proteksi motor. Pada mesin pencacah skala kecil, material yang memiliki kadar air tinggi atau memiliki karakteristik tidak seragam berpotensi menyebabkan beban motor meningkat dan material tersangkut pada pisau pencacah. Kondisi tersebut dapat menyebabkan motor mengalami *overload*, peningkatan arus, penurunan kecepatan putar, serta peningkatan temperatur lilitan apabila berlangsung secara terus-menerus. Sistem proteksi konvensional yang hanya mengandalkan *Thermal Overload Relay* (TOR) umumnya bekerja dengan memutus rangkaian ketika terjadi arus lebih, sehingga mesin berhenti dan memerlukan pengaktifan kembali secara manual. Sistem tersebut belum memberikan tindakan korektif secara otomatis terhadap material yang menyebabkan gangguan pencacahan.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) yang diintegrasikan dengan kontak bantu *Thermal Overload Relay* (TOR). Kontak TOR tidak hanya digunakan sebagai perangkat proteksi pemutus arus, tetapi juga dimanfaatkan sebagai sinyal masukan PLC untuk mendeteksi kondisi *overload*. Ketika kondisi tersebut terdeteksi, PLC menjalankan logika pengendalian berupa penghentian sementara motor, pembalikan arah putaran (*reverse*) selama interval waktu tertentu untuk

melepaskan material yang tersangkut, kemudian mengulangi proses pencacahan. Apabila kondisi *overload* tetap terjadi setelah batas percobaan yang ditentukan, sistem melakukan *shutdown* otomatis dan mengaktifkan indikator alarm. Pendekatan ini memberikan fungsi proteksi yang lebih adaptif karena sistem tidak hanya menghentikan motor ketika terjadi beban lebih, tetapi juga memberikan tindakan korektif secara otomatis sebelum sistem memasuki kondisi penghentian permanen.

Selain pengembangan sistem proteksi, penelitian ini mengembangkan konsep *multi-size shredding system* untuk menghasilkan variasi ukuran cacahan sesuai dengan kebutuhan pemanfaatan limbah sayuran. Ukuran cacahan yang berbeda dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengolahan lanjutan, seperti ukuran lebih halus untuk fermentasi pakan ternak dan budidaya maggot, ukuran sedang untuk proses pengomposan, serta ukuran lebih kasar untuk kebutuhan pencampuran biomassa tertentu. Dengan demikian, mesin yang dikembangkan tidak hanya berfungsi sebagai alat untuk memperkecil ukuran limbah, tetapi juga menjadi sistem pengolahan yang lebih fleksibel terhadap kebutuhan pengguna.

Dalam proses pengujian, *Variable Frequency Drive* (VFD) digunakan untuk memberikan variasi kecepatan putaran motor secara manual. VFD pada penelitian ini tidak diintegrasikan sebagai bagian dari logika kendali otomatis PLC, tetapi digunakan sebagai penggerak sekaligus sarana pengaturan variasi kecepatan motor selama pengujian. Variasi kecepatan tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan putar terhadap karakteristik dan ukuran hasil cacahan pada mode pencacahan halus, sedang, dan kasar. Untuk memperoleh data parameter kelistrikan secara *real-time*, seperti tegangan, arus, dan daya motor selama proses pencacahan, digunakan modul PZEM-022 yang diintegrasikan ke dalam panel kontrol.

Berdasarkan permasalahan dan peluang pengembangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin pencacah sampah sayuran berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) untuk penanganan limbah Pasar Stasiun Kabupaten Ponorogo. Pengembangan difokuskan pada integrasi sistem proteksi berbasis TOR dan PLC dengan mekanisme *reverse* otomatis, pengujian variasi kecepatan motor menggunakan VFD, pengembangan variasi ukuran hasil cacahan, serta pemantauan parameter kelistrikan menggunakan PZEM-022. Dengan pendekatan tersebut, penelitian diharapkan menghasilkan mesin pencacah yang mampu meningkatkan efektivitas penanganan limbah sayuran, memberikan perlindungan terhadap motor akibat kondisi *overload*, serta menghasilkan ukuran cacahan yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan pemanfaatan limbah lebih lanjut.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (*experimental research*) yang bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji kinerja mesin pencacah sampah sayuran berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC). Penelitian dilaksanakan pada Pasar Stasiun yang berlokasi di Jl. Soekarno Hatta No. 261–273, Kelurahan Banyudono, Kecamatan Ponorogo, Kabupaten Ponorogo, Jawa Timur. Tahapan penelitian meliputi survei lapangan, studi literatur, identifikasi masalah, perumusan masalah, perancangan sistem, pembuatan dan perakitan mesin, konfigurasi sistem kendali, serta pengujian kinerja mesin.

1. Perancangan Sistem

Mesin dirancang untuk mencacah limbah sayuran menjadi ukuran yang lebih kecil sebagai tahap awal dalam pengolahan limbah organik. Sistem menggunakan motor induksi tiga fasa berdaya 0,5 HP (373 W) sebagai penggerak utama. Kecepatan motor dikendalikan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), sedangkan sistem kendali utama menggunakan PLC Omron CP1E. Pemantauan parameter kelistrikan dilakukan menggunakan modul PZEM-022 dan proteksi beban lebih menggunakan *Thermal Overload Relay* (TOR).

Sistem kendali PLC diprogram menggunakan *ladder diagram*. Input sistem berasal dari *push button*, *limit switch*, dan kontak bantu TOR, sedangkan output digunakan untuk mengendalikan kontaktor, motor, lampu indikator, dan *buzzer*. Integrasi TOR dengan PLC memungkinkan kondisi *overload* dideteksi oleh sistem kendali sehingga motor dapat dihentikan sementara dan dijalankan dalam arah berlawanan (*reverse*) untuk melepaskan material yang tersangkut. Mekanisme *reverse* dilakukan maksimal tiga kali percobaan. Apabila gangguan tetap terjadi, sistem melakukan penghentian otomatis dan mengaktifkan alarm.

Untuk keselamatan pengoperasian, sistem dilengkapi MCB sebagai pengaman terhadap arus lebih dan hubung singkat, kontaktor sebagai pengendali rangkaian daya motor, serta *limit switch* pada pintu ruang pencacahan. Apabila pintu terbuka ketika mesin beroperasi, sistem akan menghentikan mesin secara otomatis.

2. Spesifikasi Mesin

Komponen utama mesin terdiri atas motor induksi tiga fasa 0,5 HP, PLC Omron CP1E, VFD, PZEM-022, MCB, kontaktor, TOR, *limit switch*, *push button*, lampu indikator, dan *buzzer*. Berdasarkan perhitungan kebutuhan daya, motor memiliki daya 373 W, PLC 26,4 W, *limit switch* 1,08 W, dan PZEM-022 0,22 W sehingga kebutuhan daya komponen yang dihitung mencapai 400,7 W.

Bagian konstruksi mesin menggunakan rangka *mild steel* berbentuk *hollow* 40 × 40 × 2 mm. Komponen *cover*, *hopper*, pintu, sekat, dan corong menggunakan plat baja karbon rendah ST37 dengan ketebalan 1,5–2 mm. Poros pisau menggunakan material baja karbon menengah S45C atau setara, sedangkan pisau menggunakan baja karbon tinggi atau baja pegas. Saringan menggunakan *wire mesh* baja untuk menghasilkan ukuran cacahan sesuai kebutuhan.

3. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dalam tiga kelompok utama, yaitu (1) pengujian kinerja sistem kendali dan proteksi motor, (2) pengujian kapasitas pencacahan, dan (3) pengujian pengaruh variasi kecepatan motor terhadap

hasil pencacahan.

a. Pengujian sistem kendali dan proteksi motor

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi respons PLC dan TOR terhadap kondisi operasi motor. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, daya, kecepatan putar motor, waktu respons *trip* TOR, dan status sistem kendali PLC. Pengujian dilakukan mulai dari kondisi tanpa beban, beban pencacahan normal, hingga kondisi ganjalan atau *overload*. Data kelistrikan diperoleh menggunakan PZEM-022, kecepatan putar menggunakan *digital tachometer*, sedangkan waktu respons TOR diukur menggunakan *digital timer*.

Ketika terjadi *overload*, TOR memberikan sinyal kepada PLC. Sistem kemudian menghentikan motor dan menjalankan mekanisme *reverse*. Respons tersebut diamati untuk mengetahui kemampuan sistem dalam menangani gangguan dan mencegah kerusakan komponen akibat beban berlebih.

b. Pengujian kapasitas pencacahan

Pengujian kapasitas dilakukan menggunakan sampel limbah sayuran dengan massa 1 kg. Sistem PLC diatur menggunakan *timer batching* selama 60 detik untuk setiap siklus pencacahan. Setelah proses selesai, hasil cacahan ditimbang dan pengujian diulangi untuk memperoleh data yang konsisten.

Kapasitas pencacahan dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{m}{t}$$

dengan \(Q\) adalah kapasitas pencacahan (kg/detik), \(m\) adalah massa material uji (kg), dan \(t\) adalah waktu pencacahan (detik). Kapasitas kemudian dikonversi menjadi kg/jam menggunakan:

$$Q_{jam} = Q \times 3.600$$

Nilai kapasitas hasil penelitian selanjutnya dibandingkan dengan data penelitian terdahulu yang relevan untuk mengevaluasi kinerja mesin yang dikembangkan.

c. Pengujian variasi kecepatan motor

Pengujian ini bertujuan mengetahui pengaruh kecepatan motor terhadap karakteristik hasil pencacahan, waktu proses, dan arus motor. Variasi kecepatan dilakukan menggunakan VFD pada frekuensi 30 Hz, 40 Hz, dan 50 Hz, yang digunakan untuk pengujian mode pencacahan halus, sedang, dan kasar. Setiap pengujian menggunakan jenis dan massa material yang sama dengan kondisi pengujian yang dibuat seragam.

Parameter yang dicatat meliputi mode pencacahan, ukuran partikel hasil cacahan, waktu proses, dan arus motor. Data tersebut digunakan untuk menganalisis hubungan antara variasi kecepatan putar dengan karakteristik hasil pencacahan serta kebutuhan energi selama proses berlangsung. Teks yang ditempel (1)(20261120…

4. Variabel dan Parameter Pengamatan

Secara operasional, variabel penelitian dapat disusun sebagai berikut:

Jenis	Variabel/Parameter
Variabel perlakuan	Frekuensi VFD: 30, 40, 50 Hz
Variabel respons	Ukuran hasil cacahan, waktu pencacahan, kapasitas pencacahan
Parameter kelistrikan	Tegangan, arus, daya
Parameter mekanis	Kecepatan putar motor (RPM)
Parameter proteksi	Waktu *trip* TOR dan respons *reverse* PLC
Material uji	Limbah sayuran
Massa sampel	1 kg pada pengujian kapasitas
Sistem kendali	PLC Omron CP1E
Proteksi	TOR, MCB, *limit switch*
Monitoring	PZEM-022

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Perancangan Mesin Pencacah Sampah Sayuran

Hasil perancangan menghasilkan sebuah mesin pencacah sampah sayuran yang mengintegrasikan sistem mekanik, sistem penggerak, dan sistem kendali berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC). Mesin menggunakan motor AC tiga fasa berdaya 0,5 HP sebagai penggerak utama. Pengaturan kecepatan motor dilakukan menggunakan *Variable Frequency Drive* (VFD), sedangkan PLC Omron CP1E digunakan sebagai pusat pengendalian proses operasi dan proteksi mesin. Sistem juga dilengkapi *Thermal Overload Relay* (TOR), *limit switch*, *push button*, lampu indikator, dan *buzzer* sebagai perangkat proteksi dan informasi kondisi operasi.

Secara mekanik, mesin menggunakan rangka *hollow* 40 × 40 mm yang berfungsi menopang tabung pencacah dan komponen penggerak. Tabung dan *cover* menggunakan plat besi dengan ketebalan 2 mm. Hopper input dibuat dengan kemiringan 48° untuk membantu material masuk ke ruang pencacahan secara gravitasi, sedangkan saluran keluaran memiliki kemiringan sekitar 30° agar hasil cacahan dapat keluar menuju wadah penampung. Sistem pemotongan menggunakan poros berdiameter 50 mm dengan susunan pisau yang berfungsi memotong dan memperkecil ukuran limbah sayuran.

Rancangan tersebut menghasilkan sistem pencacahan yang tidak hanya berfungsi secara mekanis, tetapi juga memberikan pengendalian operasi secara otomatis. Keberadaan *limit switch* pada pintu ruang pencacahan menjadi bagian penting dari sistem keselamatan karena proses operasi hanya dapat berlangsung ketika pintu berada pada kondisi tertutup.

2. Hasil Realisasi Sistem Kendali PLC

Sistem kendali menggunakan PLC Omron CP1E-N20SDRA sebagai pusat pemrosesan logika. PLC

menerima masukan dari *push button*, *limit switch*, dan kontak bantu TOR, kemudian menghasilkan keluaran untuk mengendalikan kontaktor, relay, indikator, dan *buzzer*. Program kendali dikembangkan menggunakan *ladder diagram* sehingga proses *start*, *stop*, pemilihan mode pencacahan, deteksi *overload*, *reverse*, dan *reset* dapat dijalankan secara otomatis.

Salah satu fitur utama yang dihasilkan adalah mekanisme *auto-reverse*. Ketika TOR mendeteksi kondisi beban lebih, kontak bantu TOR memberikan sinyal kepada PLC. PLC kemudian memutus kontaktor arah maju, memberikan jeda pengamanan, dan mengaktifkan kontaktor arah mundur. Motor berputar secara *reverse* untuk melepaskan material yang tersangkut pada mekanisme pencacahan. Setelah interval waktu tertentu, sistem kembali berhenti sementara sebelum mengaktifkan putaran maju.

Jika gangguan masih terdeteksi, mekanisme tersebut dapat diulang hingga batas percobaan yang telah diprogram. Apabila kondisi *overload* tetap terjadi setelah batas tersebut, sistem masuk ke kondisi penghentian dan memberikan indikasi alarm. Mekanisme ini menunjukkan bahwa integrasi TOR dengan PLC memberikan fungsi yang lebih adaptif dibandingkan sistem proteksi yang hanya memutus rangkaian motor.

3. Pengujian Kinerja Sistem Kendali dan Proteksi Motor

Pengujian sistem kendali dilakukan untuk mengetahui respons mesin pada kondisi tanpa beban, beban normal, dan kondisi *overload*. Kecepatan motor diukur menggunakan *Digital Laser Tachometer* DT-2234C+, sedangkan kondisi arus diamati selama setiap tahap operasi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi tanpa beban, motor berputar pada sekitar 2700 RPM dengan arus 0,758 A. Ketika mesin bekerja mencacah sampah sayuran dalam kondisi beban normal, arus meningkat menjadi 1,126 A dengan kecepatan 2671 RPM. Perubahan tersebut menunjukkan adanya peningkatan beban mekanis akibat proses pemotongan material, tetapi motor masih berada pada kondisi operasi normal.

Pada saat dilakukan simulasi beban lebih, arus meningkat hingga 2,380 A dan kecepatan motor turun menjadi 0 RPM setelah sistem mendeteksi kondisi gangguan. TOR kemudian mengalami *trip* setelah sekitar 37,24 detik. Sinyal dari TOR diterima oleh PLC sehingga kontaktor arah maju (K1) diputus dan motor berhenti

.

Kondisi pengujian	Arus	Kecepatan	Respons sistem
Tanpa beban	0,758 A	2700 RPM	Forward stabil
Beban normal	1,126 A	2671 RPM	Pencacahan normal
Overload	2,380 A	0 RPM	TOR *trip*, motor berhenti
Jeda pengamanan	0 A	0 RPM	Motor berhenti
Reverse	0,812 A	2619 RPM	Material dilepaskan
Jeda pengamanan	0 A	0 RPM	Interlock
Forward kembali	0,938 A	2700 RPM	Pencacahan dilanjutkan

Data tersebut memperlihatkan bahwa sistem mampu merespons perubahan kondisi operasi secara bertahap. Ketika terjadi *overload*, motor tidak langsung dipaksa untuk terus berputar, tetapi terlebih dahulu dihentikan. Setelah jeda pengamanan, PLC mengaktifkan arah *reverse* dengan arus 0,812 A dan kecepatan 2619 RPM. Setelah proses *reverse* selesai, sistem kembali ke arah *forward* dengan arus 0,938 A dan kecepatan sekitar 2700 RPM.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan PLC memberikan kemampuan pengendalian yang lebih kompleks dibandingkan sistem proteksi konvensional. TOR berfungsi sebagai perangkat deteksi dan proteksi, sedangkan PLC berfungsi mengolah sinyal tersebut menjadi tindakan korektif berupa *reverse* otomatis. Dengan demikian, sistem tidak hanya memberikan fungsi *shutdown*, tetapi juga memberikan kesempatan untuk mengatasi material yang tersangkut tanpa intervensi operator pada tahap awal gangguan.

4. Pengujian Kapasitas Pencacahan

Pengujian kapasitas dilakukan menggunakan sampah sayuran sebagai bahan uji. Massa material dan waktu pencacahan digunakan untuk menentukan kapasitas aktual mesin dengan (Q) adalah kapasitas pencacahan (kg/detik), (m) adalah massa material (kg), dan (t) adalah waktu pencacahan (detik).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin rancangan mampu mencacah 1 kg sampah sayuran dalam waktu 60 detik pada pengaturan pengujian tersebut. Dengan demikian, kapasitas teoritis berdasarkan durasi.

Nilai tersebut menunjukkan bahwa mesin memiliki kapasitas pencacahan sebesar sekitar **60 kg/jam** pada kondisi pengujian 1 kg material dengan durasi operasi 60 detik.

Kapasitas tersebut selanjutnya dibandingkan dengan penelitian terdahulu untuk melihat posisi kinerja mesin yang dikembangkan. Pada penelitian Aden *et al.* (2023), mesin pencacah limbah organik dengan motor 0,5 HP digunakan sebagai salah satu pembanding. Sementara itu, Akinyele *et al.* (2024) melaporkan pengujian mesin pencacah sayuran menggunakan daun bayam dengan massa 500 gram dan waktu pencacahan 31 detik, yang menghasilkan kapasitas sekitar 58,06 kg/jam.

Jika dibandingkan dengan hasil tersebut, mesin yang dikembangkan memiliki kapasitas sekitar 60 kg/jam pada kondisi pengujian yang digunakan. Namun, perbandingan kapasitas perlu dipahami secara hati-hati karena karakteristik bahan, kadar air, ukuran awal material, konfigurasi pisau, kecepatan putar, dan prosedur pengujian dapat memengaruhi kapasitas pencacahan.

5. Pengaruh Variasi Kecepatan terhadap Hasil

Pencacahan

Variasi kecepatan motor dilakukan menggunakan VFD dengan pengaturan frekuensi yang berbeda untuk mengevaluasi pengaruh kecepatan terhadap proses pencacahan. Pengujian diarahkan pada tiga karakteristik hasil, yaitu cacahan kasar, sedang, dan halus.

Peningkatan kecepatan putar menyebabkan pisau memiliki frekuensi kontak yang lebih tinggi terhadap material. Kondisi tersebut secara umum dapat meningkatkan intensitas pemotongan dan menghasilkan ukuran partikel yang lebih kecil. Sebaliknya, pada kecepatan yang lebih rendah, frekuensi kontak pisau terhadap material berkurang sehingga material cenderung membutuhkan waktu lebih lama untuk mencapai ukuran cacahan yang diinginkan.

Pengaturan mode pencacahan pada PLC juga memberikan fleksibilitas terhadap kebutuhan pengguna. Mode kasar menggunakan waktu operasi yang lebih pendek, sedangkan mode sedang dan halus menggunakan waktu operasi yang lebih panjang. Sistem tersebut memungkinkan proses pencacahan disesuaikan dengan tujuan pemanfaatan material hasil cacahan.

Dengan demikian, kombinasi pengaturan VFD dan timer PLC memberikan dua parameter pengendalian utama, yaitu kecepatan putar motor dan durasi pencacahan. Kedua parameter tersebut dapat digunakan untuk memperoleh karakteristik hasil cacahan yang berbeda sesuai kebutuhan pengolahan lanjutan.

6. Monitoring Parameter Kelistrikan

PZEM-022 yang terintegrasi pada panel kontrol digunakan untuk memantau parameter kelistrikan selama proses pencacahan. Parameter yang diamati meliputi tegangan, arus, dan daya. Pemantauan tersebut penting untuk mengetahui perubahan beban listrik motor selama kondisi tanpa beban, pencacahan normal, dan kondisi *overload*.

Pada kondisi normal, peningkatan beban pencacahan menyebabkan arus motor meningkat dibandingkan kondisi tanpa beban. Sementara itu, ketika terjadi material tersangkut, peningkatan beban menyebabkan arus meningkat secara signifikan hingga mencapai kondisi yang memicu proteksi TOR.

Penggunaan PZEM-022 memberikan data kelistrikan secara langsung selama pengujian sehingga kondisi operasi motor dapat dievaluasi secara lebih objektif. Integrasi perangkat monitoring dengan panel kontrol juga memungkinkan data kelistrikan digunakan sebagai dasar evaluasi efisiensi dan keamanan operasi mesin.

7. Pembahasan Kinerja Sistem Secara Keseluruhan

Berdasarkan hasil pengujian, mesin pencacah yang dikembangkan menunjukkan tiga fungsi utama, yaitu pencacahan mekanis, pengendalian otomatis, dan proteksi terhadap gangguan beban lebih. Sistem mekanis berfungsi memperkecil ukuran limbah sayuran, sedangkan PLC mengatur urutan operasi mesin berdasarkan input operator dan kondisi sistem.

Keunggulan utama rancangan terletak pada integrasi TOR dan PLC. Pada sistem konvensional, TOR umumnya hanya berfungsi memutus rangkaian ketika terjadi beban lebih. Pada penelitian ini, sinyal TOR digunakan sebagai masukan PLC sehingga dapat menghasilkan tindakan korektif berupa penghentian sementara dan *reverse* otomatis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme tersebut dapat mengembalikan motor ke kondisi *forward* setelah proses pelepasan material.

Dari sisi operasional, penggunaan VFD memberikan fleksibilitas pengaturan kecepatan motor, sedangkan timer PLC memungkinkan durasi pencacahan ditentukan berdasarkan mode yang dipilih. Kombinasi tersebut menghasilkan sistem yang lebih fleksibel dibandingkan mesin pencacah dengan operasi manual. Selain itu, keberadaan *limit switch* pada pintu ruang pencacahan memberikan lapisan pengamanan tambahan terhadap operator.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan mesin pencacah sampah sayuran berbasis PLC dapat diterapkan sebagai teknologi pengolahan awal limbah sayuran di Pasar Stasiun Kabupaten Ponorogo. Mesin mampu melakukan pencacahan dengan kapasitas pengujian sekitar 60 kg/jam, menjalankan variasi mode pencacahan, memonitor parameter kelistrikan, serta memberikan respons otomatis terhadap kondisi *overload*. Sistem tersebut berpotensi meningkatkan efektivitas penanganan limbah sayuran sebelum memasuki proses pengolahan lanjutan seperti komposting, fermentasi, atau pemanfaatan sebagai bahan baku budidaya maggot.

KESIMPULAN

Pengujian sistem kendali berbasis PLC Omron CP1E terbukti sangat responsif dan stabil dalam merespons gangguan beban lebih (*Locked Rotor*) secara otomatis melalui mekanisme *Auto-Reverse*. Ketika pisau mengalami kemacetan akibat serat sampah sayuran, lonjakan arus berlebih sebesar 111,37% (mencapai 2,380 A) secara efektif memicu kontak *Thermal Overload Relay* (TOR) untuk mengirimkan sinyal gangguan ke masukan PLC (I:0.05). Sistem PLC kemudian mengeksekusi sekuens pengereman dinamis dan jeda pengamanan transisi (*dead-time*), membalik arah putaran pisau (K2 *Reverse*) selama 15 detik pada kecepatan 2619 RPM untuk mengurai serat penyumbat, lalu secara otomatis mengembalikan operasi ke putaran normal (K1 *Forward*) pada 2700 RPM dengan arus stabil 0,938 A. Dengan demikian, program logika PLC berhasil dirancang dan terbukti andal dalam mendeteksi serta membebaskan kemacetan motor secara otomatis tanpa intervensi manual, sekaligus melindungi motor dari kerusakan beban lebih dan mencegah risiko hubung singkat antarfasa.

Berdasarkan hasil pengujian perbandingan kinerja terhadap mesin pencacah sejenis pada penelitian terdahulu dengan daya motor penggerak yang setara (0,5 HP), sistem mesin pencacah limbah organik otomatis berbasis PLC Omron CP1E dan *Variable Frequency Drive* (VFD) terbukti mampu memberikan kepastian waktu siklus kerja, keandalan torsi, serta keamanan operasional melalui sistem *interlock Limit Switch* pada seluruh variasi beban uji (limbah sayuran daun, campuran

buah berair, maupun daun bayam spesifik). Berbeda dengan mesin pembanding konvensional yang durasi kerjanya berfluktuasi secara ekstrem akibat pengumpanan manual dan perbedaan konstruksi mekanis, sistem yang dirancang mampu mempertahankan waktu pencacahan secara konstan sesuai ketetapan *timer* PLC, sekaligus mencatat lonjakan kapasitas produksi tertinggi pada pengolahan campuran limbah buah berat dan berair serta menjaga kestabilan beban motor dari risiko *overload* pada pengolahan limbah sayuran daun melalui sistem ruang pencacah tertutup (*batch processing*).

Berdasarkan hasil pengujian variasi kecepatan motor melalui pengaturan frekuensi *Variable Frequency Drive* (VFD) pada sampel limbah sayuran seberat 1 kg, terbukti bahwa peningkatan frekuensi suplai berbanding lurus dengan kecepatan putar poros pisau dan berbanding terbalik dengan ukuran partikel hasil cacahan. Pengaturan frekuensi 30 Hz menghasilkan putaran rendah yang menetapkan Mode 1 (Kasar) dengan rata-rata ukuran potongan 3,40 cm (3,24 cm untuk kangkung dan 3,57 cm untuk bayam) guna memenuhi kebutuhan pakan ternak kambing, frekuensi 40 Hz menghasilkan putaran menengah untuk Mode 2 (Sedang) dengan rata-rata ukuran 2,64 cm (2,46 cm untuk kangkung dan 2,82 cm untuk bayam) sebagai bahan baku kompos, serta frekuensi 50 Hz menghasilkan putaran tertinggi untuk Mode 3 (Halus) dengan rata-rata ukuran 1,89 cm (1,73 cm untuk kangkung dan 2,05 cm untuk bayam) yang optimal bagi pakan budidaya larva maggot BSF. Pada setiap tingkat frekuensi tersebut, limbah sayur bayam secara konsisten menghasilkan potongan yang sedikit lebih panjang dibandingkan kangkung karena karakter seratnya yang lebih liat dan daunnya yang mudah menggumpal.

Dari aspek durasi pemrosesan dan perilaku beban kelistrikan, peningkatan frekuensi kerja mempercepat laju pemotongan mekanis per satuan waktu, sementara sistem pewaktu (*timer*) otomatis pada PLC Omron CP1E menjaga keseragaman tingkat kehalusan dan memastikan pengeluaran hasil cacahan dari ruang pisau berlangsung tuntas. Selama proses pencacahan di ketiga mode berlangsung, konsumsi rata-rata arus motor meningkat seiring kenaikan kecepatan putar dan kepadatan serat bahan uji (yakni rata-rata 0,794 A pada kangkung dan 1,180 A pada bayam di frekuensi 30 Hz; 0,925 A dan 1,024 A di frekuensi 40 Hz; serta 0,994 A dan 1,196 A di frekuensi 50 Hz), dengan fluktuasi sesaat pada frekuensi rendah 30 Hz saat menerima beban kejut. Meskipun demikian, keseluruhan nilai arus kerja aktual (berkisar antara 0,685 A hingga puncak 1,510 A) tetap berada dalam batas aman di bawah nilai penyetelan pengaman *Thermal Overload Relay* (TOR) sebesar 1,73 A, sehingga sistem mampu beroperasi secara stabil dan andal tanpa memicu gangguan pemutusan proteksi (*trip*).

SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian kinerja, dan evaluasi operasional mesin pencacah limbah organik otomatis berbasis PLC Omron CP1E dan *Variable Frequency Drive* (VFD), terdapat beberapa aspek yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya maupun dalam penerapan mesin di lapangan. Pengembangan pertama berkaitan dengan validasi kinerja melalui pengujian perbandingan secara langsung (*head-to-head*) dengan mesin pencacah limbah organik skala riil. Pada penelitian ini, evaluasi perbandingan kinerja masih menggunakan data dari penelitian terdahulu yang diperoleh melalui literatur. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian secara langsung menggunakan mesin pencacah limbah organik yang telah beroperasi di lapangan, seperti pada TPS 3R maupun kelompok peternakan. Pengujian tersebut perlu menggunakan jenis limbah, prosedur pengoperasian, dan metode pengukuran yang seragam sehingga perbandingan kapasitas produksi, konsumsi daya listrik spesifik (kWh/kg), serta konsistensi ukuran hasil cacahan dapat dilakukan secara lebih objektif sesuai dengan kebutuhan operasional.

Pengembangan berikutnya dapat diarahkan pada peningkatan kapasitas daya motor dan penguatan konstruksi mekanis untuk mendukung skala produksi riil. Mesin yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan motor induksi 3 fasa berdaya 0,5 HP dengan sistem pengumpanan bertahap (*batch processing*) yang ditujukan untuk skala prototipe. Apabila mesin dikembangkan untuk menangani volume limbah harian yang lebih besar, kapasitas motor penggerak dapat ditingkatkan, misalnya pada kelas 1–2 HP, dengan tetap menyesuaikan kapasitas VFD dan sistem kelistrikan yang digunakan. Peningkatan kapasitas tersebut juga perlu diikuti dengan penguatan konstruksi mekanis, penyesuaian dimensi ruang pencacah, serta peningkatan kemampuan sistem pengumpanan agar mesin dapat beroperasi secara kontinu (*continuous feeding*) pada berbagai karakteristik limbah organik, termasuk limbah yang berserat keras maupun memiliki kadar air tinggi.

Selain aspek kapasitas mekanis, pengembangan sistem kendali juga dapat diarahkan menuju sistem umpan balik tertutup (*closed-loop control*) dan otomatisasi pengeluaran material. Pada penelitian ini, durasi pencacahan untuk setiap mode masih ditentukan menggunakan pewaktu tetap (*timer*) sehingga sistem bekerja berdasarkan durasi operasi yang telah ditetapkan sebelumnya. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan sensor berat (*load cell*) pada bagian keluaran atau memanfaatkan pembacaan arus beban secara langsung sebagai masukan PLC. Dengan pendekatan tersebut, sistem dapat menentukan kondisi material secara lebih adaptif dan menghentikan proses pencacahan ketika material telah mencapai kondisi yang ditetapkan. Sistem umpan balik tersebut juga berpotensi mengurangi risiko penumpukan material (*overfeeding*), meningkatkan efisiensi waktu operasi, serta mendukung otomatisasi proses pengeluaran hasil cacahan.

DAFTAR PUSTAKA

Aden, N. A. B., Anis Siti Nurrohkayati, Sigiet Haryo Pranoto, & Nurrohkayati, A. N. (2023). Pembuatan prototype mesin pencacah sebagai pengolah limbah organik untuk pupuk kompos dan pakan ternak. TEKNOSAINS : Jurnal Sains, Teknologi Dan Informatika, 10(1), 12–19. https://doi.org/10.37373/tekno.v10i1.251

Agung Nuhgraha, Y., Abdi, F., Damayanti, E., Mesin, T., Otomasi, T., & TEDC Bandung, P. (2023). PERANCANGAN MESIN PENCACAH SAMPAH ORGANIK. In Eva Damayanti TEDC (Vol. 17, Number 3).

Ahmad, S. (2025). Industrial Automation through PLC and SCADA. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, 13(7), 736–742. https://doi.org/10.22214/ijraset.2025.73072

Akinyele, O. A., Gbolagade, A. T., Oladimeji, S. T., Akande, M. A., & Azees.A.A. (2024). JURNAL INTERNASIONAL SAYURAN. The International Journal of Engineering and Science (IJES), 13(9), 316.

Aminaallah, I. (2025). Optimalisasi Penggunaan Limbah Sayuran Pasar Sebagai Pakan Fermentasi untuk Meningkatkan Produktivitas dan Efisiensi Pakan Ternak Kambing. ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin, 3, 160–167. https://doi.org/10.55681/armada.v2i6.1622

Andriani, D., Suhendra, D. R., Sutriyatna, S., Yani, R. D., Pratomo, T., & Sa'adah, N. (2025). Manufacturing of Organic Waste Shredding Machine. Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 14(1). https://doi.org/10.24127/trb.v14i1.4107

Aprilliani, S., Futriani, N., Aminah, N., & Aryani, D. (2023). Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2023-Teknik Elektronika Rancang Bangun Pencacah Sampah Organik Otomatis. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI).

Arrofat, M. F., Ferdinandus, F., Gunawan, Y., Seru, J., Saputra, D., & Sudia, B. (2025). Perancangan Alat Pencacah Sampah Organik Rumah Tangga Dengan Mata Pisau Horizontal. ENTHALPY: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin, 10. https://doi.org/10.55679/enthalpy.v9i4

Bosowa, P., Muhammad, U., Mansur, A., Aditya Bachri Maulana, M., Studi Teknik Listrik, P., & Bosowa Jl Kapasa Raya, P. (2021). Rancang Bangun Power Supply Adjustable Current pada Sistem Pendingin Berbasis Termoelektrik. Journal Of Electrical Engginering (Joule), 2(2).

Dafa, M., Rezaputra, D., Ridwan, M., & Cahyono, A. (2021). Muhammad Dafa Dezan Rezaputra: Perancangan Sistem Kontrol Otomatis … Perancangan Sistem Kontrol Otomatis Press Roll Berbasis PLC Mitsubishi Type-Q Pada Building Tire Machine. In Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET (Vol. 3, Number 2). https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajet

Fais Bahtiar, N., Wahyudi, B., Kusmaningtyas, P., & Tinggi Ilmu Kesehatan Semarang, S. (2025). Rancang Bangun KIT Praktikum Motor AC 1 Fasa yang Dilengkapi dengan Sistem Pengaman ELCB. Journal of Health Technology and Public Health, (2). https://ejournal.stikessemarang.ac.id/index.php/JHTPH

Febrianto, A. S., Yasa Utama, F., Wulandari, D., Widoretno, Y. S., Mesin, T., & Vokasi, F. (2025). Pengaruh Mata Pisau 12 Cutter pada Mesin Pencacah Sampah Organik terhadap Kapasitas Produksi. JURNAL REKAYASA MESIN (JRM), 10(01), 456–461. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin

Fitria Dea Filiani, Joko, Tri Rijanto, & Tri Wrahatnolo. (2024). OPTIMALISASI KINERJA MOTOR INDUKSI DITINJAU DARI PERBANDINGAN METODE PENGASUTAN SOFT STARTER DAN INVERTER. Jurnal Ilmiah Sain Dan Teknologi, 38–51.

Folgado, F. J., Calderón, D., González, I., & Calderón, A. J. (2024). Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends. In Electronics (Switzerland) (Vol. 13, Number 4). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). https://doi.org/10.3390/electronics13040782

Fortindo Sukses Mandiri. (2023). Power Supply AC to DC Voltage FORT S-15-5. Https://Fort.Web.Indotrading.Com/Product/Power-Supply-Ac-P455409.Aspx.

Fuad, F., Bagus, D., & Cahyono, D. (2024). Perbandingan Konsumsi Energi Motor Induksi 3 Fasa Antara Kontaktor Dan Variable Frequency Drive (Inverter) Pada Mesin Moulding Di PT. Seijin Lestari Furniture. 2(3). https://journal.institercom-edu.org/index.php/multiple

Gazali, R., & Ismuharram. (2021). PROTOTYPE MODUL LATIH PNEUMATIC DAN MOTOR DC BERBASIS PLC.

Herdiana, B., Setiawan, E. B., & Sartoyo, U. (2024). Tinjauan Komprehensif Evolusi, Aplikasi, dan Tren Masa Depan Programmable Logic Controllers (A Comprehensive Review of the Evolution, Applications, and Future Trends of Programmable Logic Controllers). Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali Dan Elektronika Terapan, 11(2), 173–193. https://doi.org/10.34010/telekontran.v11i2.12896

Hidayatullah, R. N., Ramdhan, A., & Khamid, A. (2024). PENGEMBANGAN KENDALI LAMPU MENGGUNAKAN MIKROKONTROLER NODEMCU ESP32 DAN ARDUINO IDE BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT). In Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika (Vol. 8, Number 4).

Indrihastuti, N., Prayoga, A., & Musyaffa, M. A. (2021). Perancangan Kendali 2 Kontaktor Bekerja Berurutan Secara Otomatis Berbasis PLC CPM1A 40CDR_A. In JURNAL CAHAYA BAGASKARA (Vol. 6, Number 2). https://jurnal.umpp.ac.id/index.php/cahaya_bagaskara/

Ismuhadi, Yusman, & Rusli. (2025). RANCANG BANGUN ROBOT PEMANEN PADI SECARA OTOMATIS MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560. JURNAL TEKTRO, 9(1).

Isra Yuspita, O., Rafiq Ahmad, V., Nadhiroh, N., & Widjajanto, D. (2023). Perancangan Panel Motor Control Centre… Perancangan Panel Motor Control Centre Mixing Cream Starter Star-Delta Design of Motor Control Center Mixing Cream Panel Starter Star-Delta (Vol. 5, Number 1).

Jamlean, A., Sarman, I., & Saint Paul, P. (2023). DESAIN DAN IMPLEMENTASI KENDALI MOTOR AC 3 FASA MENGGUNAKAN MODUL (VSD) VARIABLE SPEED DRIVE DESIGN AND IMPLEMENTATION OF 3-PHASE AC MOTOR CONTROL USING VARIABLE SPEED DRIVE (VSD) MODULE. In JELC (Vol. 9, Number 1).

Januar, Fadillah, & Sudrajat, S. (2023). Rancang Bangun Alat Praktikum Proteksi Tegangan Rendah terhadap Arus Lebih Berdasarkan Standar Iec 60898-1.

Khabib, M., Wiweko, A., Sapril Siregar, M., & Pelayaran Malahayati, P. (2023). Mutiara Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia Analisis Kemampuan Thermal Overload Relay pada Panel Kemudi KM. Dharma Rucitra VII saat Kandas di Pelabuhan Wae Kelambu. In Copyright© (Vol. 1, Number 2). https://jurnal.tiga-mutiara.com/index.php/jimi/index

Kristianto, Y., & Fat, J. (2023). Jurnal INTRO (Informatika dan Teknik Elektro) Analisis Perancangan Panel Star-Delta untuk Motor Induksi Pompa 3 Fasa dan Teknik Interlocking dengan Sensor Water Level. In Jurnal INTRO (Vol. 2, Number 2). https://ejournal.upm.ac.id/index.php/intro

M Roykhul Jinan, Agung Priyatno, Andika Bayu S, & Alfun Rochatul J. (2022). allahitani,+Production+M.+Roykhul+Jinan. TEKNOMATIKA, 2, 46–52.

Made, I., Mahardika, G. W., Kadek, I., Arta, J., Aprilyana, A., & Dewi, K. (2024). PENGGUNAAN SENSOR SUHU DHT 11 BUZZER DAN LAMPU LED SEBAGAI PEMANTAU SUHU RUANGAN. Jurnal Manajemen Dan Teknologi Informasi (JMTI), 14, 10–18. https://doi.org/10.59819

Mukhlison, Sri Widoretno, & Iftah Anjani Putra. (2024). TEKNOLOGI PAKAN KUCING OTOMATIS DENGAN SISTEM BUKA TUTUP MENGGUNAKAN DINAMO, SERVO, DAN SENSOR LIMIT SWITCH BERBASIS ARDUINO UNO. Jurnal Qua Teknika Vol.14 No.02.

Mustafa, S., Nurfitri, S., Fuadi, R., Risal, A., & Kapasa Raya, J. (2022). Electrical Engginering (Rancang Bangun Media Pembelajaran Trainer PLC. Journal Of Electrical Engineering (Joule), 3(2).

Nursusanto, U., Rosyadi, adillah, Rahman Hakim, S., & Sony, A. (2025). Jurnal Teknik Elektro: Electronic Control, Telecomunication, Computer Information and Power System Edukasi Keselamatan Ketenagalistrikan Pada Instalasi Listrik Bangunan Residensial. Jurnal Teknik Elektro: Electronic Control, Telecomunication, Computer Information and Power System.

peacefair. (2024, July). PZEM-022 6in1 Single Phase Volt Amp Watt Frequency AC Current Meter Power Factor Wattmeter Energy Meters Solar Power Meter. Https://En.Peacefair.Cn/Product/765.Html.

Rafly Santoso, M., Yasa Utama, F., Riandadari, D., Mesin, T., & Vokasi, F. (2025). Rancang Bangun Mesin Pencacah Sampah Organik Multifungsi Berkapasitas 54 kg/jam. 10(02), 517–524. https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-rekayasa-mesin

Rahayu, S., & Budi Basuki. (2024). Analisa Optimasi Kebutuhan Daya Mesin Pencacah Sampah Kering Organik dengan Variasi Parameter Sudut Mata Pisau. Jurnal Mekanik Terapan, 5(2), 87–96. https://doi.org/10.32722/jmt.v5i2.6024

Sartika, L., Prasetia, A. M., & Krisnawati, M. (2025). Sistem Proteksi Thermal Overload Relay (TOR) pada Motor Induksi 3 Phasa sebagai Penghancur Batu Bara di PT. Mitrabara Adiperdana Tbk. Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 23(2), 297. https://doi.org/10.24843/mite.2024.v23i02.p14

Setiawan, A., Wijaya, R., & Mesin Fakultas Teknik Institut Sains Dan Teknologi Al Kamal Jakarta, T. (2024). Pembuatan dan Pengujian Mesin Pencacah Sampah Organik dan Pemilah Sampah Plastik dengan Kapasitas 180 Kg/Jam. 9(1), 7–18.

Simar Kurniawan, M., Wijaya, K., & Hardi Purba, H. (2025). Implementasi Sistem Kendali Otomatis Pada Industri Manufaktur: Kajian Literatur E-Mail : simarsir13@gmail.com 1)*. In Meruya Selatan No.1 Kembangan Jakarta Barat (Vol. 11650, Number 1).

Sthiefandy, A., Munaiseche, R. O. K., & Fikri Pomalingo, M. (2024). PERANCANGAN MESIN PENCACAH SAMPAH ORGANIK DENGAN MENGGUNAKAN TIPE MATA PISAU HAMMER. In Technology, Education and Mechanical Engineering (Vol. 7, Number 1).

Subiyanta, E., Wafa, F., & Analis Ibnu. (2025). MESTRO JURNAL ILMIAH Rancang Bangun Programmable Logic Controller (P L C) Menggunakan Mikrokontroler Pic16f877 Sebagai Media Pembelajaran. MESTRO JURNAL, 7(1). https://doi.org/10.5281/zenodo.824398

Sumarta, P., & Aini, Z. (2024). Desain Penggunaan Variable Frequency Drive (VFD) Pada Starting-Up Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Metode Sinusoidal Pulse-Width Modulation (SPWM). JURNAL Al-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI, 9(3), 317. https://doi.org/10.36722/sst.v9i3.2910

Sunayana gadepatil. (2025, October 9). Diagram Blok PLC | Pengontrol Logika Terprogram. Https://Www.Instrumentationblog.in/Plc-Block-Diagram/?Utm_source=chatgpt.Com.

Sundari, S., Yuspradana, R., Irwanto, S., & Pratama, R. A. (2024). Desain Mesin Pencacah Sampah Organik Kapasitas 20 Kg dalam Mendukung Produksi Eco-Enzyme dan Kompos. INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi, 3(3), 315–324. https://doi.org/10.55123/insologi.v3i3.3584

Ulum, A. M. (2022). RANCANG BANGUN ALAT

PENDORONG KOTAK MENGGUNAKAN SENSOR INFRARED BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER (PLC) CP1E-E20SDR-A. Jurnal Teknik Mesin, 11(1), 27.

Viantika, A. (2023). PERANCANGAN PENGISIAN GLYCERINE KE DALAM DRUM BERBASIS PLC KEYENCE KV-24R (STUDY CASE DI PT. XYZ BATAM). Sigma Teknika, 6(1), 127–136.

Wicaksono, R., Triyono, B., Jasa, R., & Guszhali, A. I. (2022). Auto Transfer Switch (ATS) System on PLN and Genset Using DSE 4520 MKII Module. In Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering (INAJEEE) (Vol. 5, Number 2).

Wuisam1, J. E., Made, I., Kastawan2, W., Mashar, A., & Penelitian, A. (2025). Sigma-Mu Perancangan Variable Speed Drive Dengan Metode Kendali V/F Konstan Sebagai Penggerak Motor Induksi 3 Fasa Rotor Sangkar Kapasitas 110 Kw Pada Sistem Fan Cooling Tower. Jurnal Penelitian & Gagasan Sains Dan Matematika Terapan, 17(1), 44–56. https://doi.org/10.35313/sigmamu.v17n1.6507

Yudha, M., Plta, A., & Lebong, T. (2021). Politeknik Raflesia 23 Muhammad Yudha Aditya: Rancang Bangun Alat Penguji Relay 220 Vac Portable Pada Cubicle Panel Unit 6 PLTA TES: I (Number 1). https://blogpenemu.blogspot.com

Zondra, E., & Yuvendius, H. (2020). Penggunaan Energi Listrik Motor Induksi Satu Fasa Akibat Perubahan Besaran Kapasitor. Jurnal Sain, Energi, Teknologi & Industri), 4(2), 40–47.