

**RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA *MINI WET DISINTEGRATOR*
UNTUK PELUMATAN *MESOKARP* KELAPA SAWIT SEBAGAI
PREPARASI SAMPEL PENGUJIAN KADAR MINYAK
STUDI KASUS SISTEM KONTROL DAN UJI PERFORMA**

Tugas Akhir
Untuk Memenuhi Sebagian
Pesyaratan Mencapai Derajat Sarjana Terapan



Disusun Oleh:
Simon Raynaldi Gunawan Lumbantobing
NIM: 22.02.046

**PROGRAM SARJANA TERAPAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA MESIN
INDUSTRI PERKEBUNAN
POLITEKNIK LPP
YOGYAKARTA
2026**

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN PROPOSAL TUGAS AKHIR

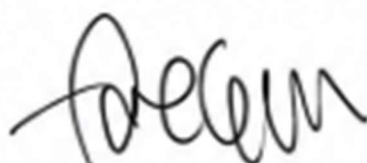
**RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA *MINI WET DISINTEGRATOR*
UNTUK PELUMATAN *MESOKARP* KELAPA SAWIT SEBAGAI
PREPARASI SAMPEL PENGUJIAN KADAR MINYAK
STUDI KASUS SISTEM KONTROL DAN UJI PERFORMA**

Disusun oleh:

Simon Raynaldi Gunawan Lumbantobing
NIM.22.02.046

Telah di periksa dan disetujui
pada tanggal

Penguji 1



Ir. Ari Wibowo, S.T., M.Eng., IPM
NIDN. 0502048103

Penguji 2



Akhmad Tito Fismatika, S.Pd., M.Eng.
NIDN. 0511069701

Mengetahui,

Ketua Program Studi
Teknologi Rekayasa Mesin Industri Perkebunan



Ir. Yusriddu, S.T., M.Eng.
NIDN. 0505017701

LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Simon Raynaldi Gunawan Lumbantobing

NIM : 2202046

Program Studi : Teknologi Rekayasa Mesin Industri Perkebunan

Dengan ini menyatakan bahwasannya hasil penulisan Tugas Akhir (TA) yang telah saya buat dengan judul **“RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA MINI WET DISINTEGRATOR UNTUK PELUMATAN MESOKARP KELAPA SAWIT SEBAGAI PREPARASI SAMPEL PENGUJIAN KADAR MINYAK STUDI KASUS SISTEM KONTROL DAN UJI PERFORMA”** adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan penulis dengan menggunakan data – data hasil pencarian pada referensi dan hasil pengamatan lapangan.
2. Bukan merupakan duplikasi karya tulis yang sudah dipublikasikan, kecuali pada bagian – bagian sumber informasi dicantumkan berdasarkan referensi yang sudah didapatkan.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak ada paksaan dari pihak manapun.

Yogyakarta, Agustus 2026

Simon Raynaldi Gunawan
Lumbantobing

LAMPIRAN

Puji syukur senantiasa kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul **“RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA MINI WET DISINTEGRATOR UNTUK PELUMATAN MESOKARP KELAPA SAWIT SEBAGAI PREPARASI SAMPEL PENGUJIAN KADAR MINYAK STUDI KASUS SISTEM KONTROL DAN UJI PERFORMA”** Adapun tugas akhir ini sebagaimana disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Mesin Industri Perkebunan D-IV di Politeknik LPP Yogyakarta.

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini penulis menyadari sepenuhnya bahwa ada banyak bantuan, dukungan dan doa dari berbagai pihak dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa atas kesehatan, kekuatan, dan penyertaan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orang tua saya tercinta yaitu Bapak T. Lumbantobing dan Ibu D Siregar yang senantiasa memberikan doa, dukungan, motivasi, serta kasih sayang kepada penulis selama proses pendidikan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Saudara saya Winda, Monica, Wilson. Terima kasih atas doa, perhatian, serta dukungan yang telah diberikan kepada penulis, baik dalam menghadapi berbagai kesulitan maupun dalam menyelesaikan laporan ini.
4. Ingrid Purba yang senantiasa memberikan doa, dukungan, semangat, motivasi, dan perhatian kepada penulis selama proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Terima kasih telah menjadi tempat berbagi cerita, memberikan semangat di saat penulis menghadapi berbagai kesulitan,

serta selalu menemani dan mendukung penulis hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.

5. Bapak Ir. Ari Wibowo, S.T., M.Eng., IPM Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, serta bimbingan dalam proses perancangan, pelaksanaan pengujian, hingga penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh dosen dan civitas akademik Politeknik LPP Yogyakarta khususnya di lingkungan Program Studi Teknologi Rekayasa Mesin Industri Perkebunan yang telah memberikan dukungan dan kerja sama atas penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan kelompok Tugas Akhir Syahfrizal, Wisnu. Terima kasih atas kebersamaan, kerja sama, dan perjuangan yang telah dilalui bersama hingga Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
8. Teman-teman Teknologi Rekayasa Mesin Industri Perkebunan angkatan 2022 yang selalu memberi semangat dan bantuan. baik yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan laporan ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi sumbangsih yang berguna bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di bidang teknologi mesin dan industri perkebunan.

ABSTRAK

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan komoditas unggulan nasional dengan kontribusi besar terhadap perekonomian Indonesia melalui produksi minyak sawit. Pengujian kadar minyak pada mesokarp kelapa sawit memerlukan tahap preparasi sampel yang homogen agar hasil analisis akurat dan dapat diandalkan. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kontrol otomatis berbasis timer pada Mini Wet Disintegrator serta menguji kinerjanya dalam proses pelumatan mesokarp kelapa sawit sebagai preparasi sampel pengujian kadar minyak.

Penelitian menggunakan motor listrik 2,2 kW yang dikendalikan melalui rangkaian kontrol terintegrasi meliputi MCB 3 fasa dan 1 fasa, kontaktor magnet, emergency stop, timer digital, dan inverter. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan putaran (750 RPM, 1000 RPM, 1450 RPM) dan variasi durasi pelumatan (5, 10, dan 15 menit) menggunakan sampel mesokarp sebanyak 200 gram dengan 1 liter air. Parameter yang diukur meliputi arus listrik, tegangan antar fasa, frekuensi, massa ampas, dan volume cairan hasil pelumatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol berbasis timer mampu mengoperasikan motor secara presisi dengan stabilitas parameter kelistrikan yang baik pada seluruh variasi pengujian. Peningkatan kecepatan putaran dari 750 RPM ke 1450 RPM menyebabkan kenaikan arus dari rata-rata 1,44 A menjadi 1,96 A, sementara tegangan antar fasa relatif stabil pada kisaran 404-418 V. Pada kecepatan 1450 RPM selama 5 menit diperoleh hasil pelumatan paling optimal dengan massa ampas 181,5 gram dan volume cairan 912,7 gr, menunjukkan efektivitas dan efisiensi proses. Penelitian ini membuktikan bahwa penerapan sistem kendali otomatis pada Mini Wet Disintegrator menghasilkan proses pelumatan yang konsisten, presisi, dan efisien dalam mendukung preparasi sampel pengujian kadar minyak mesokarp kelapa sawit.

Kata kunci: *Mini Wet Disintegrator*, sistem kontrol otomatis, mesokarp kelapa sawit, pelumatan, preparasi sampel, uji kinerja.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
LAMPIRAN.....	iii
ABSTRAK.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan penelitian.....	3
1.4 Manfaat penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
1.6 Hipotesis Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 . Kajian Pustaka.....	6
2.2 Landasan Teori	8
2.2.1 <i>Mesokarp</i> kelapa sawit.....	8
2.2.2 Preparasi	9
2.2.3 Mini wet	9
2.2.4 Motor Listrik	10
2.2.5 Inverter	11

2.2.6 Komponen Sistem kontrol	12
2.2.7 Pengaruh durasi pelumatan	13
2.2.8 Pengaruh Kecepatan Putaran terhadap Homogenitas	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Diagram Alir.....	15
3.2 Prosedur Penelitian.....	16
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	18
3.3.1 Alat Penelitian	18
3.3.1 Bahan Penelitian.....	19
3.4 Perancangan Rangkaian Listrik.....	19
3.4.1 Fungsi Rangkaian Listrik	19
3.4.2 Tahapan Perancangan.....	21
3.5 Pengujian Performa	24
3.5.1 Prosedur Pengujian Performa Kelistrikan.....	24
3.5.2 Prosedur Analisis Hasil Pelumatan	25
3.6 Variabel Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Persiapan Sampel	28
4.1.1 Pembuatan Preperasi Sampel Menggunakan Mini wet Disintegrator .	28
4.2 Hasil dan Pembuatan Sistem kontrol Mesin Miniwet Disintegrator.....	29
4.2.1 Analisis Perancangan Rangkaian Kontrol.....	29
4.2.2 Rangkain Kontrol	30
4.2.3 Komponen Sistem Kontrol.....	33
4.2.4 Metode Pengujian.....	35
4.3 Hasil Analisis Data sistem kontrol listrik dan uji performa	37

4.3.1 Pengujian durasi waktu terhadap RPM.....	37
4.3.2 . Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran terhadap Parameter Kelistrikan Motor	39
4.3.3 Pengujian uji performas hasil.....	44
4.4 Analisis Losis	46
4.4.1 Persentase kehilangan losses terhadap waktu dan RPM.....	46
BAB V PENUTUPAN DAN KESIMPULAN	56
5.1 KESIMPULAN	56
5.2 Saran.....	57
DAFTAR PUSTAKA	58
LAMPIRAN	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Mesokarp	8
Gambar 2. 2 Mini wet disintegrator	10
Gambar 2. 3 motor listrik	11
Gambar 3. 1 Diagram alir	15
Gambar 3. 2. Skema Rangkaian Kontrol	Error! Bookmark not defined.
Gambar 4. 1 Persiapan sampel	28
Gambar 4. 2 Persiapan Sampel	29
Gambar 4. 3 Rangkaian Daya dan Kontrol	31
Gambar 4. 4 Kontaktor	33
Gambar 4. 5 MCB 3 Phase	34
Gambar 4. 6 MCB 1 Phase	34
Gambar 4. 7 Emergency Stop	34
Gambar 4. 8 Inverter	35

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Alat Penelitian	18
Tabel 3. 2 Bahan Penelitian.....	19
Tabel 4. 1 Pengujian Durasi Waktu Terhadap RPM 750.....	37
Tabel 4. 2 Pengujian durasi waktu terhadap RPM 1000	38
Tabel 4. 3 Pengujian durasi waktu terhadap RPM 1450	39
Tabel 4. 4 Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran.....	39
Tabel 4. 5 Pengaruh Frekuensi Terhadap RPM.....	41
Tabel 4. 6 Pengaruh RPM terhadap Arus	42
Tabel 4. 7Pengaruh RPM terhadap Tegangan	43
Tabel 4. 8 Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 750....	44
Tabel 4. 9 Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 1000..	45
Tabel 4. 10 Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 1450	45
Tabel 4. 11 Losses Terhadap Waktu 5 Menit.....	47
Tabel 4. 12 Persentase Losses 5 Menit.....	47
Tabel 4. 13 Losses Terhadap Waktu 10 Menit	48
Tabel 4. 14 Persentase Losses 10 Menit.....	48
Tabel 4. 15 Losses Terhadap Waktu 15 Menit	49
Tabel 4. 16 Persentase Losses 15 Menit.....	50
Tabel 4. 17 Losses Terhadap RPM 750.....	51
Tabel 4. 18 Persentase Losses 750 RPM.....	51
Tabel 4. 19 Losses Terhadap RPM 1000.....	52
Tabel 4. 20 Persentase Losses 1000 RPM.....	53
Tabel 4. 21 Losses Terhadap RPM 1450.....	54
Tabel 4. 22 Persentase Losses 1450 RPM.....	54

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas unggulan nasional karena kontribusinya yang besar terhadap perekonomian nasional Indonesia. Di dalam industri perkebunan, kelapa sawit dikenal sebagai komoditi yang memiliki nilai tinggi karena sebagai bahan untuk memproduksi minyak sawit. Sebagai salah satu produsen minyak kelapa sawit terbesar didunia, ini menarik para masyarakat dari berbagai macam negara terlebih lagi para negara produsen minyak nabati. Banyaknya permintaan dari pangsa pasar dunia, menyebabkan para petani harus menggunakan varietas bibit yang unggul serta pengelolaan perkebunan dengan cara yang benar.[1]

Minyak sawit kasar atau *crude palm oil* (CPO) dan minyak inti sawit atau *palm kernel oil* (PKO) merupakan dua jenis minyak yang dihasilkan oleh tanaman kelapa sawit. Produk turunan dari olahan kedua minyak dasar tersebut digunakan dalam kehidupan sehari-hari seperti minyak goreng, kosmetik, olahan makanan, dll. Produksi CPO pada tahun 2019 dari perkebunan kelapa sawit di Indonesia mencapai 48,4 juta ton. Jugrah tersebut berasal dari perkebunan besar swasta (62%), perkebunan rakyat (34%), dan perkebunan besar negara (4%) (BPS, 2019).Produksi CPO utamanya dipengaruhi dari dua faktor produksi yaitu tingkat ekstraksi minyak di pabrik kelapa sawit dan kandungan minyak pada tandan buah segar.[2]

Kualitas kematangan buah akan mempengaruhi kandungan FFA yang dihasilkan pada CPO. Pemanenan buah dalam keadaan lewat matang akan meningkatkan FFA dan menurunkan mutu minyak, sedangkan panen saat buah belum matang akan menghasilkan FFA rendah tetapi akan menghasilkan rendemen minyak sawit yang rendah sehingga menurunkan produksi CPO.

Berdasarkan pemaparan di atas penelitian ingin meneliti pengaruh tingkat kematangan buah terhadap FFA dan besarnya kandungan minyak pada buah kelapa sawit.[3]

Sebelum dilakukan pengujian kadar minyak, *mesokarp* kelapa sawit harus melalui tahap *preparasi* sampel. Tahapan ini bertujuan untuk menghasilkan sampel yang homogen sehingga kandungan minyak dapat terdistribusi secara merata pada seluruh bagian sampel. Salah satu metode *preparasi* yang umum digunakan adalah proses pelumatan *mesokarp* menggunakan alat mekanis yang mampu menghancurkan struktur serat buah sawit secara efektif.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan pengembangan alat preparasi sampel yang mampu menghasilkan homogenitas tinggi dengan durasi proses yang terkendali. *Mini Wet Disintegrator* hadir sebagai solusi atas kebutuhan alat pelumat *mesokarp* skala laboratorium yang kompak, efisien, dan dilengkapi sistem kendali otomatis. Penggunaan sistem kontrol berbasis *timer* memungkinkan pengaturan durasi pelumatan secara presisi, sehingga variabilitas hasil pengujian akibat kesalahan operator dapat diminimalkan. Penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem kontrol dan uji performa alat, dengan harapan dapat memberikan kontribusi nyata bagi peningkatan kualitas pengujian laboratorium di industri kelapa sawit Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perancangan rangkaian sistem kendali otomatis berbasis *timer* yang mampu menjamin efektivitas kerja motor listrik 2,2 kW dalam proses penghancuran struktur serat buah sawit secara tepat waktu guna meminimalisir *deviasi* hasil pengujian ?
2. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putaran motor (750 RPM, 1000 RPM, dan 1450 RPM) terhadap parameter kelistrikan (arus, tegangan, dan frekuensi) pada Mini Wet Disintegrator?
3. Bagaimana pengaruh variasi durasi waktu pelumatan (5 menit, 10 menit, dan 15 menit) terhadap tingkat homogenitas dan ukuran partikel *mesokarp* kelapa sawit yang dihasilkan oleh *Mini Wet Disintegrator* ?

1.3 Tujuan penelitian

1. Merancang rangkaian sistem kendali otomatis berbasis *timer* yang mampu mengintegrasikan motor listrik 2,2 kW guna memastikan proses penghancuran struktur serat *mesokarp* kelapa sawit berlangsung dengan durasi yang tepat, sehingga meminimalisir *deviasi* hasil pengujian.
2. Untuk mengetahui dan menganalisis uji kinerja (*performance*) dari *mini wet disintegrator* dalam hal efisiensi pelumatan dan konsumsi daya motor listrik pada proses pelumatan *mesokarp* kelapa sawit sebagai preparasi sampel pengujian kadar minyak.
3. Menganalisis pengaruh variasi durasi waktu pelumatan (5 menit, 10 menit, dan 15 menit) terhadap tingkat homogenitas dan distribusi ukuran partikel *mesokarp* kelapa sawit yang dihasilkan sebagai sampel pengujian kadar minyak.

1.4 Manfaat penelitian

1. Manfaat Teoritis (Akademis)

Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah ilmu pengetahuan di bidang teknologi rekayasa mesin, khususnya terkait penerapan sistem kendali otomatis (*automation control*) pada alat pengolah hasil perkebunan.

2. Manfaat Praktis

Meningkatkan akurasi dan reliabilitas data hasil pengujian kadar minyak dengan memastikan proses *preparasi* sampel (pelumatan *mesokarp*) dilakukan secara konsisten.

1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan rangkaian kontrol elektrik yang menggunakan *timer* sebagai pengatur durasi otomatis, tanpa melakukan modifikasi atau penggantian spesifikasi pada motor listrik penggerak utama sebesar 2,2 kW.
2. Pengujian kinerja alat dibatasi pada pengaruh variasi durasi waktu pelumatan, yaitu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit, terhadap tingkat homogenitas sampel *mesokarp* kelapa sawit.
3. Pengujian unjuk kerja (*performance*) dibatasi pada pengukuran efisiensi pelumatan dan besarnya konsumsi daya listrik oleh motor selama alat beroperasi.

1.6 Hipotesis Penelitian

1. Penerapan sistem kendali otomatis berbasis *timer* pada *Mini Wet Disintegrator* akan menghasilkan durasi pelumatan yang lebih konsisten dan presisi dibandingkan dengan kontrol manual, sehingga secara signifikan meminimalisir *deviasi* (penyimpangan) hasil pengujian kadar minyak.
2. Terdapat pengaruh signifikan dari perbedaan durasi waktu pelumatan (5, 10, dan 15 menit) terhadap tingkat homogenitas dan distribusi ukuran

partikel *mesokarp* kelapa sawit, di mana durasi waktu tertentu akan menghasilkan sampel dengan kualitas paling optimal untuk pengujian laboratorium.

3. *Mini wet disintegrator* mampu menunjukkan unjuk kerja yang efektif dalam melumatkan mesokarp kelapa sawit dengan tingkat konsumsi daya motor listrik yang efisien.
4. Analisis kadar minyak tidak dilakukan dalam penelitian ini, hanya dibatasi pada proses preparasi sampel hingga diperoleh hasil pelumatan yang homogen.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 . Kajian Pustaka

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan tanaman monokotil asal Afrika Barat yang telah menjadi komoditas unggulan di Indonesia. Tanaman ini berkontribusi besar terhadap perekonomian nasional melalui produksi minyak sawit. Indonesia sebagai salah satu produsen terbesar dunia menghasilkan *Crude palm oil* (CPO) dan *Palm kernel oil* (PKO). Pada tahun 2019–2020, produksi CPO Indonesia mencapai puluhan juta ton, dengan kontribusi utama dari perkebunan besar swasta, perkebunan rakyat, dan perkebunan negara.

Buah kelapa sawit terdiri dari tandan buah segar (TBS) yang mengandung *mesokarp* (daging buah) dan kernel (inti). *Mesokarp* merupakan sumber utama CPO dengan kandungan minyak rata-rata sekitar 50–56%, sementara kernel menghasilkan PKO. Kualitas dan kematangan buah sangat memengaruhi kandungan minyak serta kadar asam lemak bebas (FFA). Panen yang tidak tepat waktu dapat meningkatkan FFA atau menurunkan rendemen minyak.[4]

Penelitian yang dilakukan oleh Onyenanu & Okiemute (2023) dengan judul penelitian “*Design and Fabrication of a Palm Fruit Digester*” merancang dan memfabrikasi digester buah kelapa sawit skala kecil. Alat ini menggunakan motor listrik dengan *direct coupling* (tanpa belt) untuk menghindari slip dan kerusakan kernel. Hasil pengujian menunjukkan *throughput* rata-rata 485,25 kg/jam dan efisiensi 78,74%. Penelitian ini mendukung pengembangan *Mini Wet Disintegrator* yang kompak dan efisien untuk *preparasi* sampel laboratorium.[5]

Penelitian yang dilakukan oleh Offiong et al. (2025) dengan judul penelitian “*Design and Production of a Vertical Palm Fruit Digester*” mengoptimalkan variabel proses pada digester vertikal. Alat ini dirancang portabel untuk petani

skala kecil, dengan fokus pada kekakuan rangka, kemudahan perakitan, dan efisiensi ekstraksi. Penelitian ini menekankan pentingnya optimalisasi parameter operasi (kecepatan dan waktu) untuk meningkatkan performa pelumatan *mesokarp*. [6]

Penelitian yang dilakukan oleh Wondi et al. (2024) dengan judul penelitian “mengembangkan mesin pemisah *mesokarp* dan kernel berbasis centrifugal setelah proses *digestion*”. Dengan kecepatan rotasi optimal 1500 rpm dan waktu retensi 40 detik, dicapai efisiensi pemisahan 94,89% dan tingkat kerusakan kernel rendah (4,29%). Hasil ini menunjukkan pentingnya sistem kontrol kecepatan dan durasi pada alat pelumatan. [7]

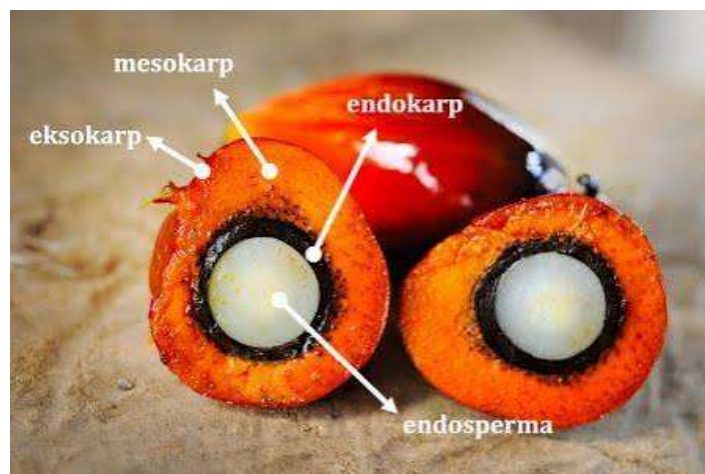
Penelitian yang dilakukan oleh Owolarafe et al. (2008) dengan judul penelitian “*Effect of processing conditions on yield and quality of hydraulically expressed palm oil*” menguji pengaruh durasi *digestion* (3, 5, dan 10 menit). Hasil menunjukkan bahwa peningkatan waktu *digestion* secara signifikan meningkatkan rendemen minyak hingga 35% (pada sterilisasi 60 menit dan tekanan 1 MPa). Penelitian ini relevan dengan variasi durasi pelumatan (1–3 menit) pada *Mini Wet Disintegrator* Anda untuk mencapai homogenitas sampel. [8]

Penelitian yang dilakukan oleh Nurhidayat (2014) dengan judul penelitian “*Fundamental Study of Oil Palm Fruit Digestion Process*” (Universiti Putra Malaysia) mempelajari perubahan sifat fisik, kimia, dan mekanik selama proses *digestion*. Penelitian menemukan bahwa durasi *digestion* (10–30 menit) memengaruhi pelepasan minyak, penyerapan air, dan sludge. Durasi optimal menghasilkan pelepasan minyak maksimal tanpa degradasi berlebih, yang menjadi landasan untuk analisis pengaruh waktu pelumatan pada skala mini. [9]

2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Mesokarp* kelapa sawit

Mesokarp adalah lapisan tengah buah kelapa sawit yang kaya akan minyak. Bagian ini terdiri dari serat (fiber) dan sel-sel yang menyimpan minyak dalam vakuola. Kandungan minyak di *mesokarp* bervariasi tergantung kematangan, varietas, dan kondisi lingkungan. Proses pengolahan industri biasanya melibatkan sterilisasi, pelumatan (digesting), dan pengepresan untuk melepaskan minyak dari struktur sel *mesokarp*. [10]. Serat *mesokarp* juga menghasilkan limbah (palm mesocarp fiber/OPMF) yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut. Untuk pengujian laboratorium, *mesokarp* harus dihomogenkan terlebih dahulu agar representatif. [11]



Gambar 2. 1 Mesokarp

<https://akses.ptki.ac.id/jurnal/index.php/reprokimia/article/download/125/73/4>

2.2.2 Preparasi

Sebelum pengujian kadar minyak, sampel *mesokarp* memerlukan *preparasi* untuk mencapai homogenitas yang tinggi. Homogenitas penting agar distribusi minyak merata dan hasil analisis akurat serta reproduktibel. Metode umum meliputi pengeringan, pencacahan, pelumatan, dan ekstraksi (misalnya Soxhlet dengan pelarut n-heksan). Metode ini memakan waktu lama dan menggunakan bahan kimia. Metode mekanis seperti shredding, digesting, atau pelumatan dengan alat disintegrator/homogenizer digunakan untuk menghancurkan struktur serat dan sel *mesokarp*, sehingga memudahkan pelepasan dan pengukuran minyak. Pengujian kadar minyak juga dapat dilakukan dengan metode lain untuk hasil lebih cepat.[12]

2.2.3 Mini wet

Wet Disintegrator adalah alat yang dirancang untuk menghancurkan material basah menjadi partikel halus secara mekanis, sering menggunakan pisau rotasi berkecepatan tinggi. Dalam konteks kelapa sawit, alat serupa digunakan pada tahap digesting di pabrik untuk melumatkan *mesokarp* sebelum pengepresan. *Mini Wet Disintegrator* yang kompak dan hemat energi diperlukan untuk skala laboratorium guna *preparasi* sampel pengujian kadar minyak.[13]

Milling/disintegration secara mekanis efektif mengurangi ukuran partikel, meningkatkan aksesibilitas pelarut atau enzim, serta menghasilkan sampel yang homogen. Wet disk milling atau metode serupa telah terbukti meningkatkan efisiensi proses pada biomassa kelapa sawit.



Gambar 2. 2 Mini wet disitegrator

2.2.4 Motor Listrik

Motor listrik adalah perangkat elektromekanis yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik dalam bentuk gerakan putar. Prinsip kerja motor listrik didasarkan pada interaksi antara medan magnet dan arus listrik yang mengalir pada kumparan, menghasilkan gaya Lorentz yang menyebabkan rotor berputar. Berdasarkan jenis arus yang digunakan, motor listrik diklasifikasikan menjadi motor arus searah (Direct Current/DC) dan motor arus bolak-balik (Alternating Current/AC).

Motor induksi tiga fasa dipilih sebagai penggerak utama karena memiliki tingkat keandalan yang tinggi serta perawatan yang relatif mudah, sehingga cocok untuk aplikasi di industri perkebunan. Dalam penelitian ini, kecepatan motor diatur menggunakan inverter yang bekerja berdasarkan prinsip pengaturan frekuensi, seperti yang dijelaskan oleh Ishad & Darwinata (2024)[14] dalam studinya mengenai pengaturan kecepatan motor induksi



Gambar 2. 3 motor listrik

2.2.5 Inverter

Inverter adalah perangkat elektronika daya yang berfungsi mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) dengan frekuensi dan tegangan yang dapat diatur. Pada aplikasi pengendalian motor induksi 3 fasa, inverter menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk menghasilkan gelombang sinusoidal yang mendekati bentuk gelombang asli[15]. Pengaturan frekuensi output memungkinkan perubahan kecepatan motor sesuai dengan persamaan:

$$N_s = \frac{120 \times f}{p}$$

Di mana:

N_s = Kecepatan sinkron (RPM)

f = Frekuensi suplai (Hz)

p = Jugrah kutub motor

2.2.6 Komponen Sistem kontrol

Sistem kontrol otomatis berbasis *timer* memungkinkan pengoperasian motor listrik (dalam penelitian ini 2,2 kW) dengan durasi yang tepat, mengurangi *human error* dan meningkatkan efisiensi energi. Rangkaian *timer* dapat mengintegrasikan start-stop otomatis, sehingga proses pelumatan berlangsung konsisten sesuai variasi waktu yang ditentukan.[16]. Kontrol otomatis/semi-otomatis pada peralatan pengolahan perkebunan telah terbukti meningkatkan presisi, mengurangi *deviasi* hasil, dan mendukung analisis kinerja alat.

Komponen Sistem Kontrol:

a) Kontaktor

Berfungsi sebagai saklar elektromagnetik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik berdaya tinggi ke motor (atau beban lain) secara aman.

b) MCB

Berfungsi sebagai pengaman (proteksi) terhadap arus lebih (overcurrent) dan arus hubung singkat (short circuit). Jika terjadi arus berlebih atau korsleting, MCB akan trip (memutus rangkaian) secara otomatis untuk melindungi kabel, komponen, dan motor dari kerusakan.

c) Emergency Stop

Berfungsi sebagai tombol pengaman darurat untuk memutus seluruh sistem kontrol secara cepat dan langsung ketika terjadi kondisi berbahaya. Saat ditekan, rangkaian kontrol terputus sehingga kontaktor terbuka dan motor berhenti total.

d) Inverter

Berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran motor listrik dengan mengubah frekuensi dan tegangan yang disuplai ke motor. Dengan inverter, kecepatan motor dapat divariasikan sesuai kebutuhan proses (misalnya kecepatan pelumatan mesokarp), serta memberikan soft start/stop sehingga mengurangi lonjakan arus saat start.

2.2.7 Pengaruh durasi pelumatan

Durasi pelumatan memengaruhi tingkat penghancuran serat, ukuran partikel, dan homogenitas *mesokarp*. Waktu yang terlalu singkat menghasilkan partikel kasar dan distribusi minyak tidak merata, sementara waktu terlalu lama dapat menyebabkan overheating atau degradasi sampel. Variasi durasi (misalnya 1–3 menit atau lebih) sering digunakan dalam studi *preparasi* untuk menemukan waktu optimal yang menghasilkan sampel berkualitas tinggi untuk pengujian kadar minyak.[17]

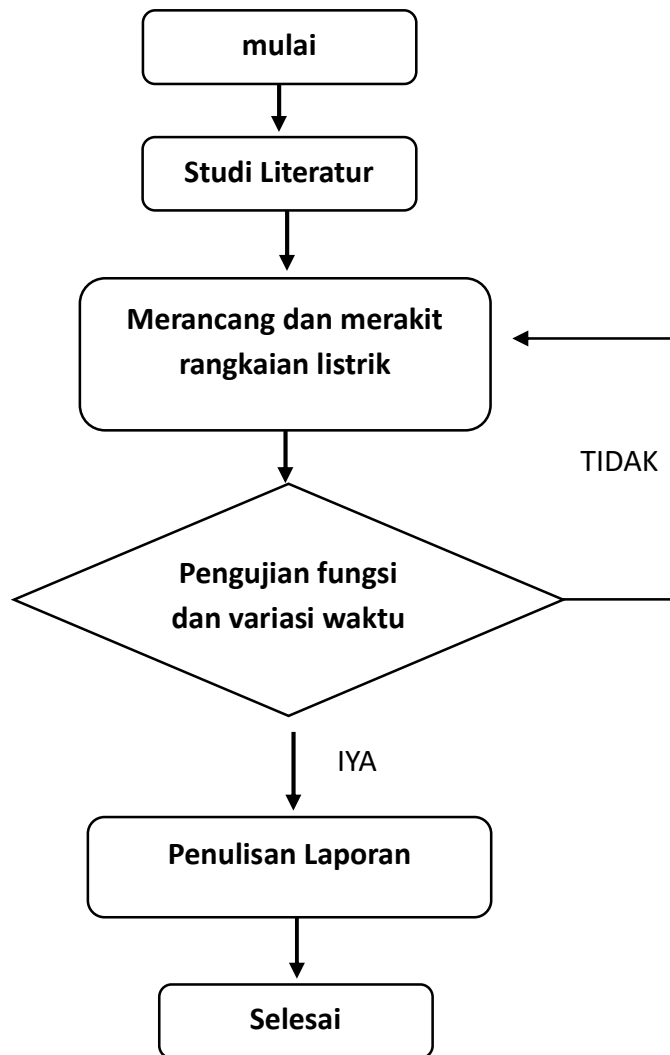
Penelitian terkait menunjukkan bahwa pelumatan yang tepat meningkatkan akurasi pengukuran rendemen minyak dan mengurangi variabilitas hasil analisis.

2.2.8 Pengaruh Kecepatan Putaran terhadap Homogenitas

Durasi pelumatan merupakan faktor krusial yang mempengaruhi tingkat homogenitas dan efektivitas preparasi sampel. Penelitian oleh Sitepu dkk. (2021) menunjukkan bahwa variasi lama ekstraksi pada serat mesokarp kelapa sawit memberikan pengaruh terhadap kadar minyak yang diperoleh, dengan waktu optimal pada rentang tertentu . Hal ini sejalan dengan temuan bahwa waktu reaksi yang diatur pada perangkat homogenizer berkecepatan tinggi secara signifikan mempengaruhi konversi dan efisiensi proses karena meningkatkan kontak antar-reaktan[18]

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3. 1 Diagram alir

3.2 Prosedur Penelitian

A. mulai

Pada tahap ini peneliti mempersiapkan segala sesuatu yang diperlukan, menetapkan tujuan penelitian, menentukan ruang lingkup, serta memastikan bahwa semua alat dan bahan yang akan digunakan sudah siap. Tahap mulai berfungsi sebagai titik awal yang menandai bahwa proses kerja akan segera berjalan secara sistematis sesuai diagram alir yang telah disusun.

B. Studi Literatur.

Pada tahap ini peneliti secara mendalam mencari, membaca, dan menganalisis berbagai sumber referensi seperti jurnal ilmiah, buku teks, artikel, maupun dokumen teknis terkait rangkaian listrik. Tujuan studi literatur adalah untuk memahami teori dasar, prinsip kerja komponen, metode perancangan, serta teknik pengujian yang relevan. Hasil dari studi literatur menjadi landasan penting agar perancangan rangkaian yang akan dilakukan memiliki dasar ilmiah yang kuat dan tidak dilakukan secara sembarangan.

C. Merancang dan merakit rangkaian listrik.

Pada tahap ini peneliti mulai merancang skema rangkaian berdasarkan hasil studi literatur yang telah diperoleh. Perancangan mencakup pemilihan komponen, perhitungan nilai-nilai listrik, penyusunan diagram rangkaian, serta perencanaan tata letak. Setelah rancangan selesai, dilanjutkan dengan proses perakitan secara fisik, yaitu memasang komponen-komponen sesuai skema hingga membentuk rangkaian yang utuh dan siap untuk diuji. Ketelitian pada tahap ini sangat penting agar rangkaian dapat berfungsi sesuai harapan.

D. Pengujian fungsi dan variasi waktu.

Pada tahap pengujian, rangkaian diuji apakah dapat bekerja sesuai fungsi yang dirancang, sekaligus diuji terhadap berbagai kondisi waktu untuk melihat kestabilan dan performanya. Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian belum berfungsi dengan baik atau tidak memenuhi kriteria yang ditetapkan (hasil TIDAK), maka proses harus kembali ke tahap merancang dan merakit rangkaian listrik untuk dilakukan perbaikan, modifikasi, atau perakitan ulang. Sebaliknya, jika hasil pengujian dinyatakan berhasil dan memenuhi semua persyaratan (hasil IYA), maka proses dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya tanpa harus mengulang perancangan.

E. Penulisan Laporan.

Pada tahap ini seluruh data hasil pengujian, dokumentasi rangkaian, analisis performa, serta kesimpulan penelitian disusun secara sistematis dan lengkap. Penulisan laporan mencakup latar belakang, metode, hasil, pembahasan, dan kesimpulan, sehingga kegiatan yang telah dilakukan dapat terdokumentasi dengan baik dan siap untuk dipresentasikan atau dievaluasi.

F. Selesai

Akhir dari seluruh alur penelitian adalah tahap Selesai, yang menandakan bahwa semua tahapan telah dilaksanakan dengan baik sesuai diagram alir, dokumen laporan akhir telah diselesaikan, dan seluruh hasil penelitian telah berhasil didokumentasikan secara lengkap untuk dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas alat utama dan alat bantu yang digunakan selama proses perancangan, pembuatan, dan pengujian alat. Selain itu digunakan beberapa alat bantu sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Alat Penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Obeng set	Memasang baut pada terminal komponen
2	Tang	Mengupas dan memotong kabel
3	Tespen	Mengecek ada tidaknya tegangan pada arangkaian
4	Tang Krimping	Menekan skun agar menempel kuat diujung kabel
5	Bor	Membuat lubang pada panel box
6	Multimeter	Mengecek kontinuitas kabel dan tidak adanya hubung singkat pada rangkaian

3.3.1 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi material konstruksi dan bahan uji, sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Bahan Penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	Motor Listrik	mengubah energi listrik menjadi energi mekanik
2	MCB 3 & 1 Phase	sebagai perangkat pengaman otomatis yang memutus aliran listrik saat terjadi gangguan
3	Kontaktor Magnet	Sakelar Otomatis utama
4	<i>Timer</i>	Pengatur durasi waktu
5	Kabel	Penghantar arus listrik
6	Emergency Stop	Pemutus arus darurat
7	Panel Box	Pelindung Komponen
8	Skun kabel	Penyambung Ujung Kabel
9	Inverter	Mengatur kecepatan putaran motor listrik dengan mengubah frekuensi

3.4 Perancangan Rangkaian Listrik

Rangkaian Listrik merupakan rangkaian kontrol otomatis berbasis *timer* untuk mengoperasikan motor listrik 2,2 kW pada mesin Mini Wet Disintegrator.

3.4.1 Fungsi Rangkaian Listrik

Rangkaian listrik yang dirancang pada penelitian ini memiliki fungsi utama sebagai sistem kendali otomatis untuk mengoperasikan motor listrik 3 fasa berdaya 2,2 kW pada mesin *Mini Wet Disintegrator*. Sistem ini dirancang untuk menjamin proses pelumatan *mesokarp* kelapa sawit berlangsung secara presisi, aman, dan efisien sesuai dengan variasi durasi

yang telah ditentukan. Secara spesifik, rangkaian listrik ini berfungsi untuk:

a. Pengendalian Operasi Motor

Rangkaian kontrol memungkinkan motor listrik dihidupkan dan dimatikan secara otomatis melalui sistem timer digital. Ketika tombol start ditekan, kontaktor magnet akan mengaktifkan motor dan secara bersamaan timer mulai menghitung mundur sesuai durasi yang telah diatur (5, 10, atau 15 menit). Setelah waktu yang ditentukan tercapai, timer akan secara otomatis memutuskan aliran listrik ke kontaktor sehingga motor berhenti beroperasi tanpa campur tangan operator. Sistem ini meminimalisir kesalahan manusia (human error) yang sering terjadi pada pengoperasian manual.

b. Pengaturan Kecepatan Putaran

Melalui inverter yang terintegrasi dalam rangkaian, sistem mampu mengatur kecepatan putaran motor pada tiga variasi yang telah ditentukan, yaitu 750 RPM (frekuensi 21,4 Hz), 1000 RPM (frekuensi 29 Hz), dan 1450 RPM (frekuensi 41 Hz). Pengaturan kecepatan ini penting untuk mengoptimalkan proses pelumatan sesuai dengan karakteristik sampel mesokarp yang diolah. Inverter juga menyediakan fitur soft start yang mengurangi lonjakan arus saat motor mulai beroperasi, sehingga memperpanjang umur pakai komponen kelistrikan.

c. Perlindungan dan Keamanan Sistem

Rangkaian listrik dilengkapi dengan beberapa sistem pengaman yang berfungsi melindungi peralatan dan operator. MCB 3 fasa berfungsi sebagai pengaman utama terhadap arus lebih dan hubung singkat pada rangkaian daya, sementara MCB 1 fasa melindungi rangkaian kontrol.

Emergency stop menyediakan opsi keputusan darurat yang dapat diaktifkan kapan saja oleh operator jika terjadi kondisi berbahaya selama proses berlangsung. Kombinasi sistem pengaman ini memastikan operasi mesin berjalan dengan tingkat keamanan yang tinggi.

d. Pemantauan Parameter Operasi

Rangkaian listrik memungkinkan dilakukannya pengukuran parameter kelistrikan secara real-time, meliputi arus pada masing-masing fasa (R, S, T), tegangan antar fasa (RS, ST, RT), dan frekuensi suplai. Data ini sangat penting untuk mengevaluasi kinerja motor dan mendeteksi adanya anomali operasional yang dapat mempengaruhi kualitas hasil pelumatan. Dengan fungsi-fungsi tersebut, rangkaian listrik yang dirancang tidak hanya berperan sebagai sistem penggerak, tetapi juga sebagai sistem kendali terpadu yang menjamin konsistensi, presisi, dan keandalan proses preparasi sampel untuk pengujian kadar minyak.

3.4.2 Tahapan Perancangan

Perancangan rangkaian listrik dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan yang saling terkait, dimulai dari perencanaan skematik hingga implementasi fisik dan pengujian fungsional. Berikut adalah tahapan perancangan yang telah dilaksanakan:

a. Studi Literatur dan Analisis Kebutuhan

Tahap awal perancangan dimulai dengan studi literatur mendalam mengenai sistem kontrol motor listrik 3 fasa, prinsip kerja inverter, aplikasi timer digital dalam sistem otomasi, serta standar keselamatan kelistrikan industri. Berdasarkan kajian pustaka, ditetapkan spesifikasi kebutuhan sistem yang mencakup:

- Kapasitas motor 2,2 kW dengan tegangan kerja 380 VAC 3 fasa
- Sistem kontrol otomatis berbasis timer dengan tiga variasi durasi

- Kemampuan pengaturan kecepatan melalui inverter
- Sistem pengaman yang memenuhi standar kelistrikan industri
- Kemudahan operasi dan perawatan

b. Perancangan Diagram Skematik

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, dirancang diagram skematik rangkaian yang terbagi menjadi dua bagian utama: rangkaian daya dan rangkaian kontrol.

Rangkaian Daya dirancang untuk menyalurkan energi listrik dari sumber ke motor melalui jalur: MCB 3 fasa → Kontaktor (K-M1) → Inverter (input R,S,T) → Motor (output U,V,W). Jalur ini dirancang menggunakan kabel berukuran 2,5 mm² yang sesuai untuk kapasitas arus motor 2,2 kW.

Rangkaian Kontrol dirancang untuk mengatur operasi kontaktor dan timer dengan sumber tegangan 220 VAC yang diambil dari fasa L3 dan netral. Rangkaian ini mencakup jalur kontrol yang terdiri dari: MCB 1 fasa → Emergency Stop (NC) → Tombol Start (NO) → Koil Kontaktor dan Timer (paralel) → Kontak bantu kontaktor (self-holding). Skema ini memastikan motor dapat dihidupkan dan dimatikan secara otomatis sesuai durasi yang ditentukan.

c. Pemilihan dan Pengadaan Komponen

Setelah diagram skematik selesai, dilakukan pemilihan komponen yang sesuai dengan spesifikasi teknis yang dibutuhkan. Komponen-komponen yang dipilih antara lain:

- MCB 3 Fasa 6 Ampere sebagai pengaman rangkaian daya
- MCB 1 Fasa 2 Ampere sebagai pengaman rangkaian kontrol
- Kontaktor Magnet 9 Ampere dengan koil 220 VAC untuk menghubungkan daya ke motor
- Timer Digital dengan rentang pengaturan 0-999 menit dan akurasi $\pm 0,1$ detik
- Inverter 2,2 kW dengan input 3 fasa 380 VAC dan output adjustable
- Emergency Stop tipe push-pull dengan kontak NC
- Panel Box berbahan metal dengan ukuran 40×50×20 cm
- Kabel NYY 2,5 mm² untuk rangkaian daya dan Kabel NYA 1,5 mm² untuk rangkaian kontrol

d. Perakitan Rangkaian

Proses perakitan dimulai dengan pemasangan komponen-komponen ke dalam panel box sesuai dengan tata letak yang telah direncanakan. Komponen ditempatkan secara strategis dengan mempertimbangkan:

- Jarak aman antara komponen untuk sirkulasi udara dan mencegah hubungan pendek
- Pemisahan antara rangkaian daya dan rangkaian kontrol untuk mengurangi interferensi
- Kemudahan akses untuk operasi dan perawatan

Setelah komponen terpasang, dilakukan proses penyambungan kabel sesuai dengan diagram skematik. Setiap sambungan kabel menggunakan skun yang dikrimping untuk memastikan koneksi yang kuat dan tahan lama. Kabel-kabel diberi tanda (labeling) untuk memudahkan

identifikasi dan perawatan di masa mendatang. Setelah semua kabel terpasang, dilakukan pengecekan kontinuitas dan tidak adanya hubungan pendek menggunakan multimeter digital.

3.5 Pengujian Peforma

Pengujian dilakukan dengan menjalankan motor listrik pada beberapa tingkat beban. Pada setiap tingkat beban, motor dioperasikan secara terus-menerus selama tiga interval waktu yang berbeda, yaitu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Setiap interval waktu, data yang diambil meliputi arus (ampere), tegangan (volt), RPM, dan Frekuensi. Pengambilan data dilakukan setelah motor mencapai kondisi stabil pada masing-masing waktu operasi agar hasil pengukuran mewakili performa aktual.

Selain parameter kinerja motor listrik, pada setiap tingkat beban dan interval waktu pengoperasian juga dilakukan pengambilan sampel mesokarp untuk mengetahui hasil proses pelumatan. Mesokarp yang telah dipisahkan dari brondolan kemudian dilumat menggunakan mesin Miniwet Disintegrator hingga diperoleh hasil pelumatan yang lebih homogen. Hasil pelumatan selanjutnya disaring menggunakan saringan mesh 100 untuk memisahkan ampas dan cairan hasil pelumatan. Setelah proses penyaringan selesai, ampas dan cairan yang diperoleh kemudian ditimbang secara terpisah untuk mengetahui massa masing-masing hasil penyaringan. Data hasil penimbangan tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter dalam mengevaluasi pengaruh tingkat beban dan waktu operasi mesin terhadap hasil proses pelumatan mesokarp.

3.5.1 Prosedur Pengujian Performa Kelistrikan

Pengujian performa kelistrikan dilakukan untuk mengevaluasi karakteristik operasi motor listrik pada berbagai variasi kecepatan dan durasi. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Alat Ukur:

- a. Multimeter digital untuk mengukur tegangan antar fasa (RS, ST, RT) dan Arus pada masing masing (R,S,T)
 - b. Tachometer digital untuk mengukur kecepatan putaran aktual motor
2. Pengaturan Inverter:
- a. Atur frekuensi output untuk mencapai kecepatan target: 21,4 Hz (750 RPM), 29 Hz (1000 RPM), dan 41 Hz (1450 RPM).
 - b. Lakukan kalibrasi tachometer untuk memastikan kecepatan aktual sesuai target.

3.5.2 Prosedur Analisis Hasil Pelumatan

Evaluasi hasil pelumatan dilakukan untuk menganalisis tingkat homogenitas sampel berdasarkan massa ampas dan volume cairan yang dihasilkan. Prosedur:

Evaluasi hasil pelumatan dilakukan untuk menganalisis tingkat homogenitas sampel berdasarkan massa ampas dan volume cairan yang dihasilkan. Prosedur:

1. Pemisahan Ampas dan Cairan:
 - a. Setelah proses pelumatan selesai, hasil pelumatan (campuran mesokarp dan air) disaring menggunakan saringan mesh 100.
 - b. Biarkan proses penyaringan berlangsung selama 10 menit untuk memastikan pemisahan optimal.
2. Pengukuran Massa Ampas:
 - a. Timbang massa ampas yang tertahan di saringan menggunakan timbangan digital.
 - b. Catat hasil penimbangan untuk setiap variasi kecepatan dan durasi.

3. Pengukuran Volume Cairan:

- a. Ukur volume cairan yang lolos saringan menggunakan gelas ukur.
- b. Catat hasil pengukuran untuk setiap variasi.

3.6 Variabel Penelitian

A. Variabel Bebas

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan industri kelapa sawit akan metode preparasi sampel mesokarp yang cepat, seragam, dan efisien untuk pengujian kadar minyak laboratorium. Melalui perancangan sistem kontrol otomatis berbasis timer pada Mini Wet Disintegrator berdaya 2,2 kW, proses penghancuran struktur serat buah sawit dapat dikendalikan secara presisi guna meminimalisir kesalahan manual, meningkatkan homogenitas sampel, serta mendukung keandalan data pengujian mutu minyak sawit nasional.

B. Variabel Terikat

Variabel bebas dalam penelitian ini merupakan faktor yang secara sengaja divariasikan oleh peneliti untuk mengamati pengaruhnya terhadap performa mesin mini wet disintegrator. Variabel bebas tersebut meliputi variasi waktu operasi mesin selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit, variasi kecepatan pada kecepatan 750 RPM, 1000 RPM, 1450 RPM. serta parameter sistem kelistrikan yang mencakup tegangan input, arus listrik, dan konfigurasi rangkaian. Ketiga faktor ini dipilih karena diyakini memberikan pengaruh langsung terhadap kinerja mesin selama proses pengujian berlangsung.

C. Variabel Kendali

Variabel kontrol merupakan faktor yang dijaga tetap konstan selama penelitian agar tidak memberikan pengaruh tambahan terhadap hasil pengujian. Variabel kontrol dalam studi ini mencakup jenis dan spesifikasi motor listrik yang digunakan, sumber tegangan listrik yang sama, kondisi bahan baku yang diolah (termasuk kadar air, ukuran awal, dan jenis material), suhu serta kelembaban lingkungan ruang pengujian, dan metode pengukuran beserta instrumen yang digunakan seperti tachometer, wattmeter, dan amperemeter. Dengan menjaga variabel-variabel tersebut tetap stabil, hasil pengujian performa mesin mini wet disintegrator dapat dibandingkan secara objektif dan akurat.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Sampel

Proses persiapan sampel merupakan tahapan awal sebelum dilakukan analisis lebih lanjut. Sampel awal yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Tandan Buah Segar (TBS) kelapa sawit yang dipanen dari kebun praktik Krajan. Setelah proses pemanenan, TBS dibawa ke tempat persiapan sampel untuk dilakukan penanganan awal. Pada tahap ini, Brondolan dicacah untuk memisahkan daging buah (mesokarp) dari biji (kernel). Kemudian hasil cacahan dimasukkan ke dalam mesin mini wet Disintegrator untuk dilakukan proses pelumatan.



Gambar 4. 1 Persiapan sampel

4.1.1 Pembuatan Preperasi Sampel Menggunakan Mini wet Disintegrator

Setelah Mesokarp dipisahkan dari kernel, kemudian Mesokarp dimasukkan ke dalam mesin mini wet Disintegrator untuk dilakukan proses pelumatan. Proses pelumatan bertujuan untuk menghancurkan dan menghomogenkan bagian sampel sehingga diperoleh material yang lebih seragam serta memudahkan proses pengolahan dan analisis pada tahapan berikutnya



Gambar 4. 2 Persiapan Sampel

4.2 Hasil dan Pembuatan Sistem kontrol Mesin Miniwet Disintegrator

4.2.1 Analisis Perancangan Rangkaian Kontrol

Berdasarkan hasil perancangan dan perakitan rangkaian kontrol, sistem yang dikembangkan memiliki beberapa keunggulan:

1. Presisi Durasi Operasi: Dengan menggunakan timer digital, durasi operasi dapat diatur dengan akurasi tinggi ($\pm 0,1$ detik). Hal ini memungkinkan pelumatan dilakukan dengan durasi yang konsisten untuk setiap pengujian, sehingga mengurangi variabilitas hasil yang disebabkan oleh perbedaan durasi operasi.
2. Pengaturan Kecepatan Fleksibel: Inverter memungkinkan pengaturan kecepatan motor secara kontinyu. Hal ini penting untuk mengoptimalkan proses pelumatan sesuai dengan karakteristik sampel. *Soft start* yang disediakan inverter juga mengurangi lonjakan arus saat start, yang dapat memperpanjang umur motor dan komponen lainnya .
3. Keamanan Operasi: Kombinasi MCB, Emergency Stop, dan pengaman termal pada inverter memberikan perlindungan

menyeluruh terhadap risiko kelistrikan. MCB melindungi dari arus lebih dan hubung singkat, sementara Emergency Stop memberikan opsi pemutusan darurat yang cepat.

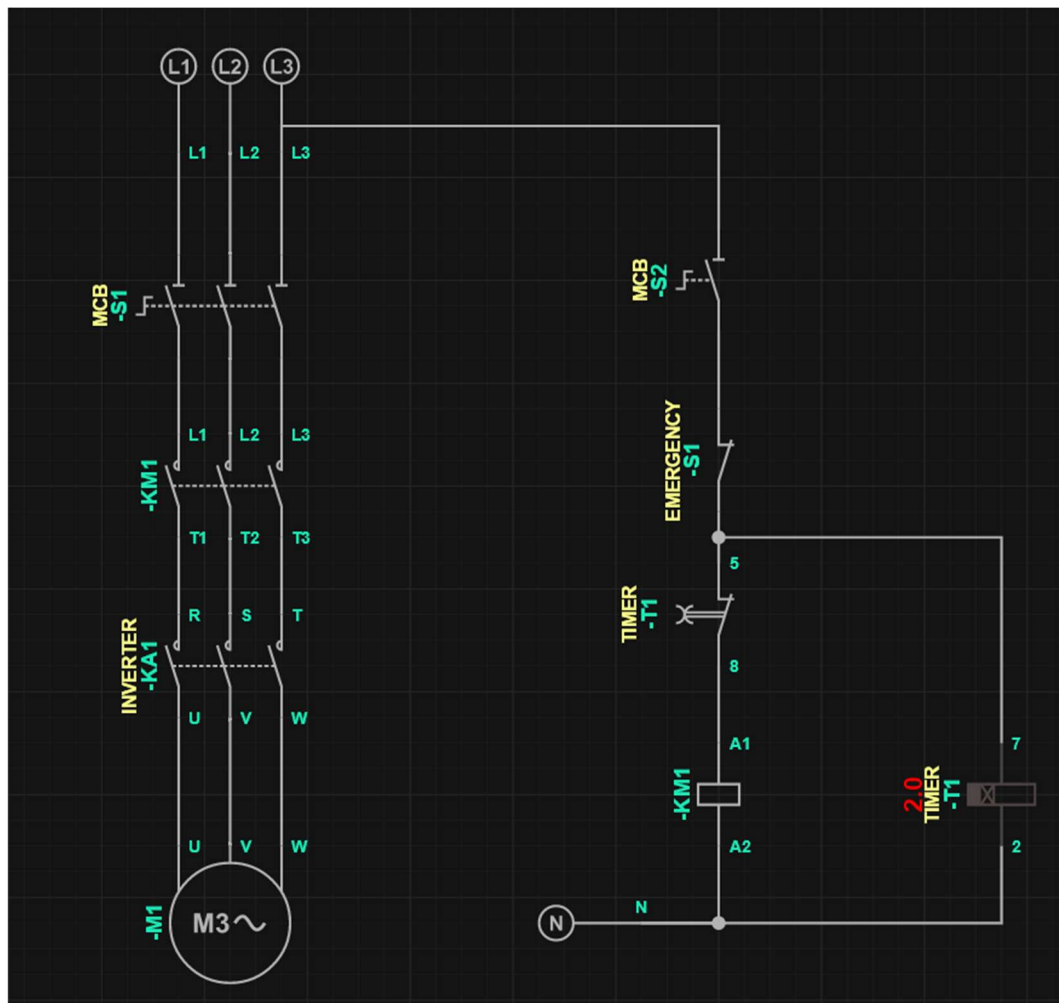
4. Kemudahan Operasi: Dengan sistem kontrol otomatis, operator hanya perlu mengatur parameter dan menekan tombol start. Proses pelumatan berlangsung otomatis tanpa pengawasan terus-menerus, sehingga menghemat waktu dan tenaga kerja.

Berdasarkan analisis ini, sistem kontrol yang dirancang berhasil memenuhi hipotesis penelitian bahwa penerapan sistem kendali otomatis akan menghasilkan durasi pelumatan yang lebih konsisten dan presisi dibandingkan kontrol manual.

4.2.2 Rangkain Kontrol

Perancangan rangkaian kontrol pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan rekayasa sistem kontrol otomatis. Proses perancangan diawali dengan studi literatur terkait rangkaian kontrol motor listrik, sistem timer, dan aplikasi kontaktor pada peralatan industri. Berdasarkan tinjauan tersebut, dirancang sebuah rangkaian kontrol yang mengintegrasikan komponen utama yaitu MCB, Emergency Stop, Kontaktor Magnet, Timer, dan Inverter untuk mengoperasikan motor listrik 2,2 kW.

Rangkaian yang dirancang diharapkan mampu bekerja secara andal, aman, dan memberikan kontrol yang presisi terhadap durasi operasi motor, sehingga mendukung tercapainya tujuan penelitian dalam menghasilkan sampel mesokarp yang homogen untuk pengujian kadar minyak.



Gambar 4. 3 Rangkaian Daya dan Kontrol

A. Rangkaian Daya (Power Circuit)

Rangkaian daya berfungsi untuk menyalurkan energi listrik dari sumber ke motor penggerak. Jalur daya dimulai dari sumber listrik 3 fasa (L1, L2, L3) yang masuk melalui MCB (*Miniature Circuit Breaker*) 3 fasa sebagai pengaman utama terhadap arus lebih dan hubung singkat. Dari MCB, arus mengalir menuju kontaktor utama (K-M1) yang berfungsi sebagai sakelar elektromagnetik untuk menghubungkan atau memutuskan daya ke motor. Ketika kontaktor aktif (ON), daya dialirkan ke input inverter pada terminal R, S, T. Inverter kemudian mengolah daya dan mengeluarkannya melalui

terminal U, V, W menuju motor listrik 3 fasa (M3). Motor inilah yang menggerakkan pisau *disintegrator* untuk melakukan proses pelumatan *mesokarp*.

B. Rangkaian Kontrol (Control Circuit)

Rangkaian kontrol berfungsi untuk mengatur operasi kontaktor utama sehingga motor dapat dihidupkan, dimatikan, dan diatur durasi operasinya secara otomatis. Sumber tegangan untuk rangkaian kontrol diambil dari salah satu fasa (L3) dan netral, yang kemudian dilewatkan melalui MCB 1 fasa sebagai pengaman rangkaian kontrol.

1. Sumber Tegangan Kontrol:

Tegangan 220 V dialirkan ke terminal A1 dan A2 kontaktor (K-M1) melalui rangkaian kontrol yang terdiri dari:

- Kontak *Emergency Stop* (tombol darurat)
- Tombol Start (S1)
- Kontak bantu kontaktor untuk fungsi *self-holding*
- Kontak *timer* untuk penghentian otomatis

2. Fungsi Timer

Timer dihubungkan secara paralel dengan koil kontaktor. Setelah timer mencapai waktu yang telah ditentukan (5, 10, atau 15 menit), kontak *timer* akan membuka dan memutus aliran arus ke koil kontaktor, sehingga kontaktor mati dan motor berhenti secara otomatis.

3. Fungsi Emergency Stop:

Tombol *Emergency Stop* terhubung secara seri (NC - *Normally Closed*) pada jalur kontrol. Jika tombol ini ditekan, rangkaian kontrol terputus dan motor berhenti seketika.

C. Pengaturan Kecepatan dengan Inverter

Inverter pada rangkaian ini berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran motor dengan mengubah frekuensi suplai. Parameter yang diatur pada inverter meliputi:

1. Frekuensi Output: Diatur pada nilai 21,4 Hz untuk menghasilkan kecepatan 750 RPM, 29 Hz untuk 1000 RPM, dan 41 Hz untuk 1450 RPM. Pengaturan ini sesuai dengan persamaan kecepatan sinkron motor induksi $N_s = 120f/p$, di mana p adalah jumlah kutub motor (4 kutub).
2. V/f Control: Inverter menerapkan kontrol tegangan/frekuensi untuk menjaga rasio V/f tetap konstan, sehingga torsi motor tetap optimal pada berbagai kecepatan.
3. Soft Start: Inverter juga menyediakan fungsi *soft start* yang mengurangi lonjakan arus saat motor mulai beroperasi, sehingga melindungi motor dan komponen lainnya dari kerusakan.

4.2.3 Komponen Sistem Kontrol

1. Kontaktor



Gambar 4. 4 Kontaktör

Berfungsi sebagai saklar elektromagnetik yang digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan arus listrik berdaya tinggi ke motor.

2. MCB



Gambar 4. 5 MCB 3 Phase



Gambar 4. 6 MCB 1 Phase

Berfungsi sebagai pengaman (proteksi) terhadap arus lebih (overcurrent) dan arus hubung singkat (short circuit).

3. Emergency Stop



Gambar 4. 7 Emergency Stop

Berfungsi sebagai tombol pengaman darurat untuk memutus seluruh sistem kontrol secara cepat dan langsung.

4. Inverter



Gambar 4. 8 Inverter

Berfungsi untuk mengatur kecepatan putaran motor listrik dengan mengubah frekuensi dan tegangan yang disuplai ke motor.

4.2.4 Metode Pengujian

Pengujian performa *Mini Wet Disintegrator* dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi waktu operasi dan variasi kecepatan putaran terhadap kualitas hasil pelumatan *mesokarp* kelapa sawit. Metode pengujian dirancang dengan mengacu pada prinsip-prinsip pengujian homogenitas material dan pengaruh parameter operasi terhadap kualitas hasil penghancuran

A. Variasi Waktu Pelumatan

Pengujian variasi waktu dilakukan untuk menganalisis pengaruh durasi proses pelumatan terhadap tingkat homogenitas dan distribusi ukuran partikel *mesokarp* kelapa sawit. Metode ini mengacu pada penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa durasi pelumatan berpengaruh signifikan terhadap pelepasan minyak dan homogenitas sampel.

1. Persiapan Sampel:

Mesokarp kelapa sawit segar ditimbang sebanyak 200 gram untuk setiap kali pengujian. Sampel dimasukkan

ke dalam ruang disintegrator bersama dengan air sebanyak 1 liter untuk mendukung proses pelumatan basah.

2. Variasi Durasi

Pengujian dilakukan dengan tiga variasi durasi waktu:

- Durasi 5 menit
- Durasi 10 menit
- Durasi 15 menit

Pemilihan rentang waktu ini didasarkan pada penelitian Owolarafe et al. (2008) yang menunjukkan bahwa variasi durasi digestion (3, 5, dan 10 menit) berpengaruh signifikan terhadap rendemen minyak

B. Variasi Kecepatan Putaran (RPM)

Pengujian variasi kecepatan putaran dilakukan untuk menganalisis pengaruh kecepatan rotasi pisau disintegrator terhadap efisiensi pelumatan dan kualitas sampel yang dihasilkan. Metode ini didasarkan pada penelitian yang menunjukkan bahwa kecepatan putaran merupakan parameter kritis yang mempengaruhi homogenitas campuran dan kualitas hasil penghancuran

1. Variasi Kecepatan

Pengujian dilakukan dengan tiga variasi kecepatan putaran motor:

- 750 RPM: Kecepatan rendah
- 1000 RPM: Kecepatan sedang
- 1450 RPM: Kecepatan tinggi (kecepatan nominal motor)

Pemilihan rentang kecepatan ini berdasarkan penelitian Sudah et al. (2002) yang menunjukkan bahwa variasi kecepatan putaran mempengaruhi homogenitas campuran secara kompleks, di mana terdapat kecepatan optimal yang menghasilkan homogenitas terbaik

4.3 Hasil Analisis Data sistem kontrol listrik dan uji performa

Setelah sampel dan air dimasukkan ke dalam Wadah Mini Wet Disintegrator, motor dijalankan pada kecepatan yang telah ditentukan (750, 1000, atau 1450 RPM). Selama proses berlangsung, parameter kelistrikan (arus, tegangan, frekuensi) dicatat setiap interval waktu tertentu. Setelah durasi yang ditentukan tercapai, timer akan secara otomatis mematikan motor. Hasil pelumatan kemudian dikeluarkan dan disaring menggunakan saringan mesh 100 untuk memisahkan ampas dan cairan. Kedua fraksi ini kemudian ditimbang untuk analisis lebih lanjut.

4.3.1 Pengujian durasi waktu terhadap RPM

1. Pengujian durasi waktu terhadap RPM 750

Tabel 4. 1 Pengujian Durasi Waktu Terhadap RPM 750

Durasi (Menit)	RPM	Arus (A)			Tegangan (V)			Frekuensi
		R	S	T	RS	ST	RT	
5	750	1.40	1.45	1.46	408	413	415	21,4
10	750	1.40	1.45	1.46	408	413	415	21,4
15	750	1.40	1.45	1.46	408	413	415	21,4

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.1, pada kecepatan 750 RPM seluruh parameter kelistrikan menunjukkan kondisi stabil pada durasi operasi 5, 10, dan 15 menit. Arus fasa R, S, dan T masing-masing sebesar 1,40 A, 1,45 A, dan 1,46 A, sedangkan tegangan RS, ST, dan RT masing-masing sebesar 408 V, 413 V, dan 415 V. Frekuensi juga tetap sebesar 21,4 Hz selama pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa motor listrik 2,2 kW beroperasi secara

stabil tanpa fluktuasi kelistrikan yang signifikan selama proses pelumatan menggunakan *Mini Wet Disintegrator*.

2. Pengujian durasi waktu terhadap RPM 1000

Tabel 4. 2 Pengujian durasi waktu terhadap RPM 1000

Durasi (Menit)	RPM	Arus (A)			Tegangan			Frekuensi
		R	S	T	RS	ST	RT	
5	1000	1.78	1.90	1.68	404	409	411	29
10	1000	1.78	1.90	1.68	404	409	411	29
15	1000	1.78	1.90	1.68	404	409	411	29

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.2, pada kecepatan 1000 RPM seluruh parameter kelistrikan menunjukkan kondisi stabil pada durasi operasi 5, 10, dan 15 menit. Arus fasa R, S, dan T masing-masing sebesar 1,78 A, 1,90 A, dan 1,68 A, yang lebih tinggi dibandingkan pada 750 RPM. Tegangan RS, ST, dan RT masing-masing sebesar 404 V, 409 V, dan 411 V, sedangkan frekuensi tetap sebesar 29 Hz. Tidak terdapat perubahan nilai selama durasi pengujian, sehingga dapat disimpulkan bahwa motor beroperasi dengan beban yang stabil dan sistem kontrol mampu menjaga kestabilan parameter kelistrikan selama pengoperasian *Mini Wet Disintegrator*.

3. Pengujian durasi waktu terhadap RPM 1450

Tabel 4. 3 Pengujian durasi waktu terhadap RPM 1450

Durasi (Menit)	RPM	Arus (A)			Tegangan			Frekuensi
		R	S	T	RS	ST	RT	
5	1450	2.03	2.00	1.84	411	416	418	41
10	1450	2.03	2.00	1.84	411	416	418	41
15	1450	2.03	2.00	1.84	411	416	418	41

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3, pada kecepatan 1450 RPM seluruh parameter kelistrikan menunjukkan kondisi stabil selama 5, 10, dan 15 menit. Arus fasa R, S, dan T masing-masing sebesar 2,03 A, 2,00 A, dan 1,84 A, yang lebih tinggi dibandingkan pengujian pada 750 dan 1000 RPM. Tegangan RS, ST, dan RT masing-masing sebesar 411 V, 416 V, dan 418 V, dengan frekuensi 41 Hz. Seluruh nilai tetap konstan selama pengujian, sehingga menunjukkan bahwa motor 2,2 kW dan sistem kontrol berbasis timer mampu beroperasi secara stabil dan terkendali pada kecepatan nominal untuk mendukung proses pelumatan *mesokarp*.

4.3.2 . Analisis Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran terhadap Parameter Kelistrikan Motor

Pengujian karakteristik motor Listrik dilakukan pada tiga variasi kecepatan putar (RPM), yaitu 750 RPM, 1000 RPM, dan 1450 RPM. Parameter yang diukur meliputi arus listrik pada masing-masing fasa (R, S, T), tegangan antar fasa (RS, ST, RT), serta frekuensi suplai. Data hasil pengukuran disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran

RPM	Arus (A)			Tegangan (V)			Frekuensi
	R	S	T	RS	ST	RT	
750	1,40	1,45	1,46	408	413	415	21,4
1000	1,78	1,90	1,68	404	409	411	29,0
1450	2,03	2,00	1,84	411	416	418	41,0

Peningkatan frekuensi yang disetel pada inverter menyebabkan kenaikan arus pada ketiga fasa secara konsisten. Saat inverter diatur pada frekuensi 21,4 Hz menghasilkan kecepatan 750 RPM, arus yang mengalir berkisar antara 1,4 A hingga 1,46 A. Ketika frekuensi dinaikkan menjadi 29 Hz kecepatan mencapai 1000 RPM, arus meningkat menjadi sekitar 1,68 A hingga 1,9 A. Pada pengaturan frekuensi 41 Hz menghasilkan 1450 RPM, arus mencapai kisaran 1,84 A hingga 2,03 A. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi yang diatur oleh inverter, semakin besar pula arus yang ditarik oleh motor.

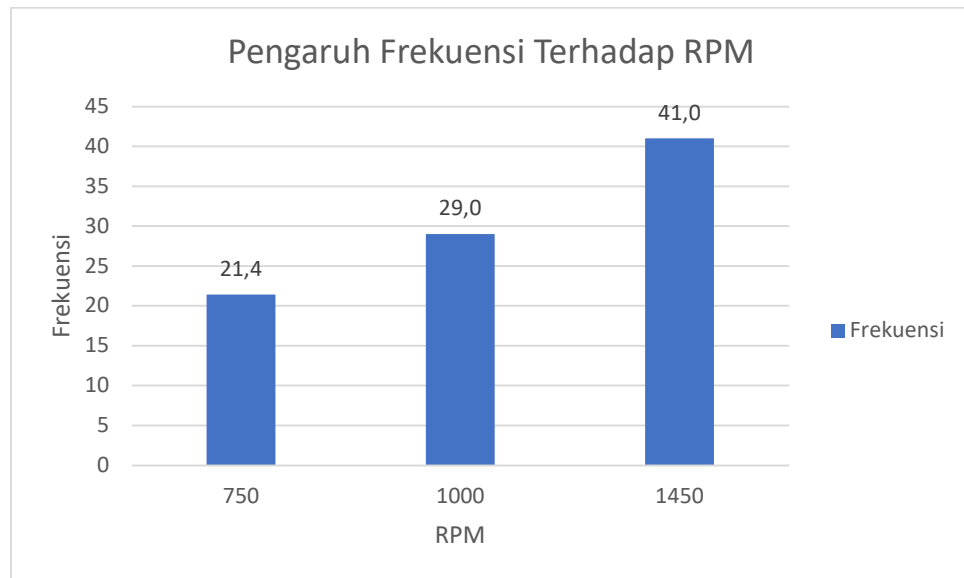
Sementara itu, tegangan antar fasa yang terukur pada RS, ST, dan RT menunjukkan nilai yang relatif stabil di seluruh variasi frekuensi, yaitu berkisar antara 404 V hingga 418 V.

Hubungan ini membuktikan bahwa kecepatan putaran motor berbanding lurus dengan frekuensi yang diatur oleh inverter, sesuai dengan prinsip dasar pengendalian kecepatan pada motor induksi.

Secara keseluruhan, data hasil pengukuran menunjukkan bahwa pengaturan frekuensi oleh inverter secara langsung memengaruhi kecepatan putaran motor, yang selanjutnya berdampak pada kenaikan arus, sementara tegangan antar fasa tetap stabil. Hal ini membuktikan bahwa inverter berfungsi dengan baik dalam mengendalikan kecepatan motor melalui pengaturan frekuensi.

1. Pengaruh Frekuensi terhadap RPM

Tabel 4. 5 Pengaruh Frekuensi Terhadap RPM



Dari diagram terlihat bahwa semakin tinggi frekuensi yang diatur, semakin cepat pula putaran motor. Pada frekuensi 21,4 Hz, motor berputar pada kecepatan 750 RPM. Ketika frekuensi dinaikkan menjadi 29 Hz, kecepatan putaran meningkat menjadi 1000 RPM. Kemudian pada frekuensi 41 Hz, kecepatan putaran mencapai 1450 RPM.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.5, diketahui bahwa frekuensi yang diatur pada inverter berbanding lurus dengan kecepatan putaran motor. Pada frekuensi 21,4 Hz, motor berputar pada 750 RPM; pada 29 Hz, kecepatan mencapai 1000 RPM; dan pada 41 Hz, kecepatan mencapai 1450 RPM.

Hubungan ini sesuai dengan teori motor induksi yang dinyatakan dalam persamaan:

$$N_s = \frac{120 \times f}{p}$$

Di mana:

N_s = Kecepatan sinkron (RPM)

f = Frekuensi suplai (Hz)

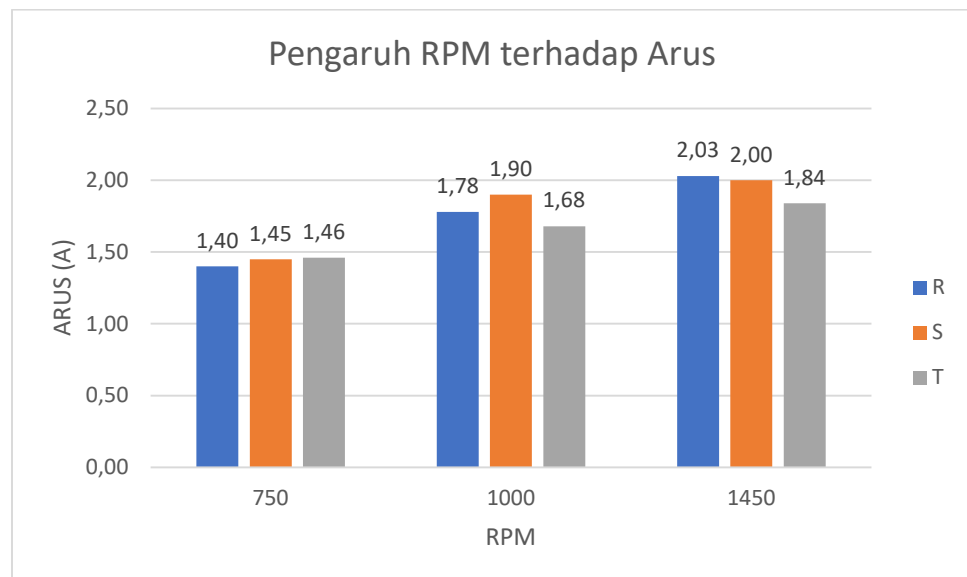
p = Jumlah kutub motor

Dari persamaan ini, terlihat bahwa kecepatan motor berbanding lurus dengan frekuensi suplai. Oleh karena itu, dengan mengatur frekuensi melalui inverter, kecepatan putaran motor dapat divariasikan sesuai kebutuhan operasional.

$N_s = 120f/p$. Dengan jumlah kutub motor yang tetap ($p = 4$), kecepatan sinkron berbanding lurus dengan frekuensi. Perbedaan antara kecepatan sinkron teoritis dengan kecepatan aktual yang terukur merupakan akibat dari *slip* yang terjadi pada motor induksi.

2. Pengaruh RPM terhadap Arus

Tabel 4. 6 Pengaruh RPM terhadap Arus



Dari diagram terlihat bahwa semakin tinggi RPM, semakin besar arus yang mengalir. Pada 750 RPM, arus berkisar antara 1,40 A hingga 1,46 A. Saat RPM naik menjadi 1000, arus meningkat menjadi sekitar

1,68 A hingga 1,90 A. Pada RPM tertinggi 1450, arus mencapai 1,84 A hingga 2,03 A.

Kenaikan arus ini terjadi karena motor membutuhkan daya lebih besar untuk berputar lebih cepat. Semakin cepat putaran motor, semakin besar beban yang ditangani, sehingga motor menarik arus yang lebih besar.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi RPM, semakin besar arus yang dikonsumsi motor.

3. Pengaruh RPM terhadap Tegangan

Tabel 4. 7 Pengaruh RPM terhadap Tegangan

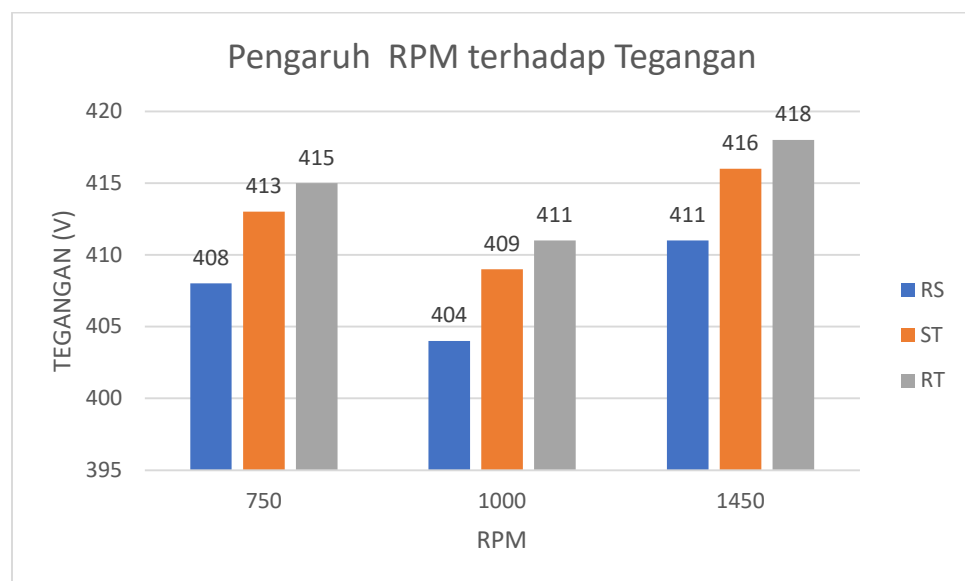


Diagram batang pada Gambar 4.7 menunjukkan pengaruh kecepatan putaran (RPM) terhadap tegangan antar fasa motor, yaitu RS, ST, dan RT. Pengujian dilakukan pada tiga kecepatan yang sama: 750 RPM, 1000 RPM, dan 1450 RPM.

Berbeda dengan arus, tegangan antar fasa cenderung stabil pada semua variasi RPM. Pada 750 RPM, tegangan berkisar antara 408 V hingga 415 V. Pada 1000 RPM, tegangan sedikit turun menjadi 404 V

hingga 411 V. Pada 1450 RPM, tegangan kembali naik menjadi 411 V hingga 418 V.

Meskipun RPM berubah, tegangan hanya berfluktuasi kecil antara 404 V hingga 418 V. Perubahan ini tidak signifikan dan masih dalam batas aman. Hal ini menunjukkan bahwa inverter mampu menjaga tegangan tetap stabil meskipun kecepatan motor diubah.

4.3.3 Pengujian uji performas hasil

1. Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 750

Tabel 4. 8 Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 750

Durasi (Menit)	RPM	sampel sebelum		sampel sesudah	
		brondolan (gram)	air (gram)	Ampas (gram)	Cairan (gram)
5	750	200	1000	122	993,3
10	750	200	1000	103,7	1035,1
15	750	200	1000	100,2	964,2

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.8, pada kecepatan 750 RPM digunakan 200 gram *brondolan* dan 1 liter air dengan variasi waktu 5, 10, dan 15 menit. Massa ampas yang dihasilkan masing-masing sebesar 122 gram, 103,7 gram, dan 100,2 gram, sedangkan volume cairan sebesar 993,3 gr, 1035,1 gr, dan 964,2 gr. Penurunan massa ampas menunjukkan bahwa semakin lama proses pelumatan, semakin banyak serat *mesokarp* yang terurai menjadi partikel halus dan bercampur dengan air. Fluktuasi volume cairan dipengaruhi oleh penyerapan air oleh partikel *mesokarp* selama proses pelumatan.

2. Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 1000

Tabel 4. 9 Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 1000

Durasi (Menit)	RPM	sampel sebelum		sampel sesudah	
		brondolan (gram)	air (gram)	Ampas (gram)	Cairan (gram)
5	1000	200	1000	190,3	955,8
10	1000	200	1000	204,7	945,8
15	1000	200	1000	229	846,9

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.9, pada kecepatan 1000 RPM massa ampas meningkat seiring bertambahnya durasi pelumatan. Massa ampas pada 5, 10, dan 15 menit masing-masing sebesar 190,3 gram, 204,7 gram, dan 229 gram, sedangkan volume cairan menurun dari 955,8 gram menjadi 945,8 gram dan 846,9 gram. Peningkatan massa ampas dan penurunan volume cairan menunjukkan bahwa proses pelumatan pada 1000 RPM menghasilkan partikel *mesokarp* yang lebih halus dan memiliki kemampuan menyerap air lebih tinggi, sehingga lebih banyak air tertahan dalam ampas setelah penyaringan.

3. Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 1450

Tabel 4. 10 Pengujian durasi waktu terhadap hasil ampas dan cairan RPM 1450

Durasi (Menit)	RPM	sampel sebelum		sampel sesudah	
		brondolan (gram)	air (gram)	Ampas (gram)	Cairan (gram)
5	1450	200	1000	181,5	912,7
10	1450	200	1000	173,3	948,6
15	1450	200	1000	176,9	954,2

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 6, pada kecepatan 1450 RPM massa ampas pada durasi 5, 10, dan 15 menit masing-masing sebesar 181,5 gram, 173,3 gram, dan 176,9 gram, sedangkan volume cairan sebesar 912,7 gram, 948,6 gram, dan 954,2 gram. Perubahan massa ampas dan volume cairan relatif kecil, menunjukkan bahwa proses pelumatan telah mencapai kondisi yang stabil. Hasil ini mengindikasikan bahwa pada 1450 RPM, homogenisasi *mesokarp* dapat tercapai dalam waktu relatif singkat. Dengan demikian, kecepatan 1450 RPM selama 5 menit dapat dipertimbangkan sebagai kondisi operasi yang efektif dan efisien karena menghasilkan pelumatan yang optimal dengan waktu operasi yang lebih singkat.

4.4 Analisis Losis

Analisis kehilangan (losses) dalam proses pelumatan mesokarp menggunakan Mini Wet Disintegrator sangat penting untuk mengevaluasi efisiensi alat. Kehilangan (losses) didefinisikan sebagai selisih antara massa total bahan yang dimasukkan ke dalam alat dengan massa total bahan yang dapat dikumpulkan kembali setelah proses pelumatan dan penyaringan. Massa total bahan (umpan) terdiri dari massa sampel brondolan (200 gram) dan massa air (1.000 gram), sehingga total massa umpan adalah 1.200 gram. Massa total produk (output) adalah penjumlahan dari massa ampas dan massa cairan yang berhasil dikumpulkan. Nilai kehilangan (losses) ini dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Losses (gram)} = (\text{Massa Brondolan} + \text{Massa Air}) - (\text{Massa Ampas} + \text{Massa Cairan})$$

4.4.1 Persentase kehilangan losses terhadap waktu dan RPM

Massa total bahan umpan terdiri dari massa sampel brondolan sebesar 200 gram dan massa air sebanyak 1.000 gram (1 liter), sehingga total massa umpan adalah 1.200 gram untuk setiap kali pengujian. Setelah proses pelumatan selesai, hasil pelumatan disaring menggunakan saringan *mesh* 100 untuk memisahkan ampas dan cairan. Massa ampas

dan cairan ditimbang menggunakan timbangan digital. Dengan rumus sebagai berikut:

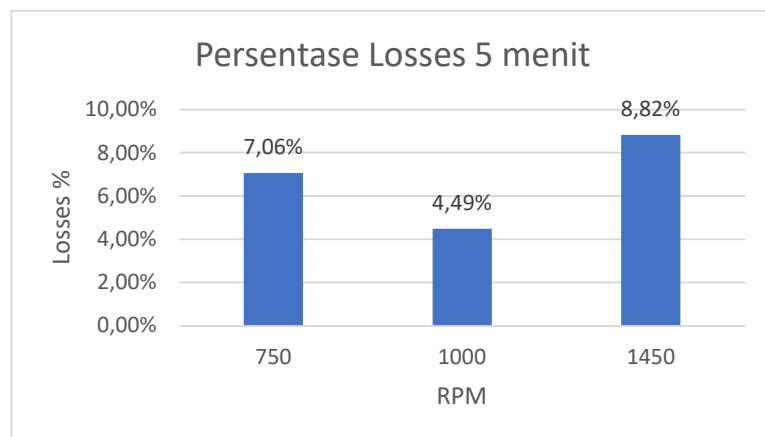
$$\text{Persentase Losses (\%)} = (\text{Losses} / \text{Total Massa Umpan}) \times 100\%$$

a) persentase Losses terhadap waktu 5 menit

Tabel 4. 11 Losses Terhadap Waktu 5 Menit

Durasi (Menit)	RPM	Campuran Awal (Gram)	Hasil (Gram)	Losses (Gram)	Persentase Losses
5	750	1200	1115,3	84,7	7,06%
5	1000	1200	1146,1	53,9	4,49%
5	1450	1200	1094,2	105,8	8,82%

Tabel 4. 12 Persentase Losses 5 Menit



Pada kecepatan putar 750 RPM, diperoleh hasil akhir sebesar 1115,3 grm, dengan losses sebesar 84,7 unit atau setara dengan persentase losses sebesar 7,06%. Ketika kecepatan putar ditingkatkan menjadi 1000 RPM, terjadi penurunan losses yang cukup signifikan, yaitu menjadi 53,9 gram

atau 4,49%. Hal ini menunjukkan bahwa pada rentang kecepatan tersebut, peningkatan RPM justru mampu menekan angka kehilangan.

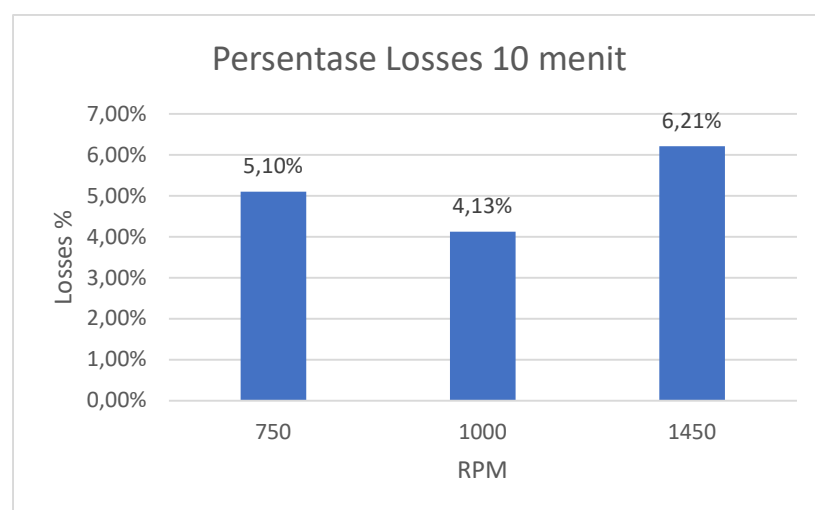
Namun, pada kecepatan putar 1450 RPM, terjadi peningkatan losses kembali menjadi 105,8 gram atau 8,82%. Fenomena ini mengindikasikan bahwa terdapat titik optimal pada kecepatan putar tertentu (dalam hal ini sekitar 1000 RPM) yang memberikan efisiensi terbaik, sementara kecepatan yang terlalu tinggi justru dapat menyebabkan peningkatan losses.

b) .Persentase Losses terhadap waktu 10 Menit

Tabel 4. 13 Losses Terhadap Waktu 10 Menit

Durasi (Menit)	RPM	Campuran Awal (Gram)	Hasil (Gram)	Losses (Gram)	Persentase Losses
10	750	1200	1138,8	61,2	5,10%
10	1000	1200	1150,5	49,5	4,13%
10	1450	1200	1125,5	74,5	6,21%

Tabel 4. 14 Persentase Losses 10 Menit



Pada kecepatan putar 750 RPM, diperoleh hasil akhir sebesar 1138,8 unit, dengan losses sebesar 61,2 gram atau 5,10%. Angka ini lebih rendah dibandingkan losses pada durasi 5 menit di RPM yang sama (7,06%), yang mengindikasikan bahwa penambahan waktu proses justru membantu mengurangi kehilangan pada putaran rendah.

Ketika kecepatan ditingkatkan menjadi 1000 RPM, losses turun menjadi 49,5 gram atau 4,13%, yang merupakan nilai terendah di antara ketiga variasi RPM pada durasi 10 menit. Hal ini kembali menegaskan bahwa kecepatan putar 1000 RPM memberikan efisiensi terbaik, dengan tingkat kehilangan yang paling kecil.

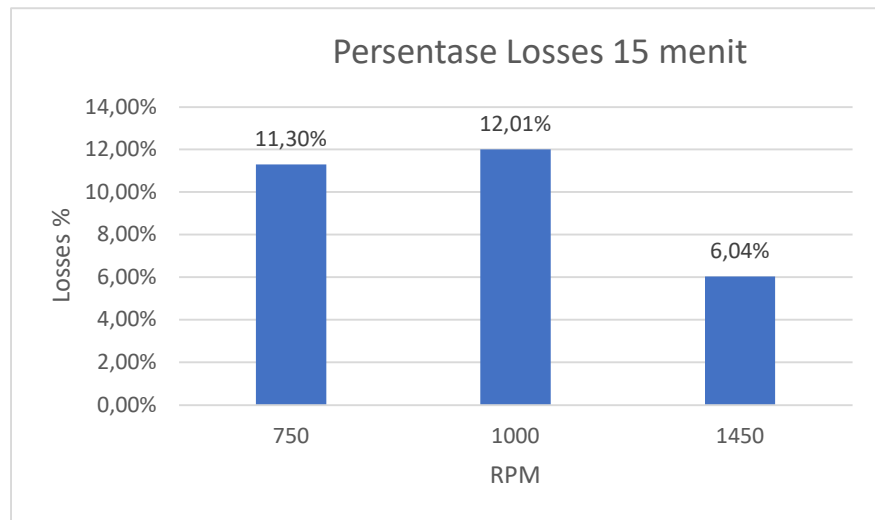
Namun, pada kecepatan putar 1450 RPM, losses kembali meningkat menjadi 74,5 gram atau 6,21%. Meskipun angka ini masih lebih rendah dibandingkan losses pada RPM yang sama di durasi 5 menit (8,82%), namun tetap menunjukkan bahwa kecepatan yang terlalu tinggi kurang optimal dan cenderung meningkatkan kehilangan.

c) Persentase losses terhadap waktu 15 menit

Tabel 4. 15 Losses Terhadap Waktu 15 Menit

Durasi (Menit)	RPM	Campuran Awal (Gram)	Hasil (Gram)	Losses (Gram)	Persentase Losses
15	750	1200	1064,4	135,6	11,30%
15	1000	1200	1055,9	144,1	12,01%
15	1450	1200	1127,5	72,5	6,04%

Tabel 4. 16 Persentase Losses 15 Menit



Pada kecepatan putar 750 RPM, diperoleh hasil akhir sebesar 1064,4 gram, dengan losses sebesar 135,6 gram atau 11,30%. Angka ini merupakan yang tertinggi di antara ketiga variasi RPM pada durasi 15 menit, dan juga lebih tinggi dibandingkan losses pada durasi 5 dan 10 menit di RPM yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa pada putaran rendah, perpanjangan waktu proses justru memperbesar kehilangan secara signifikan.

Ketika kecepatan ditingkatkan menjadi 1000 RPM, losses justru meningkat menjadi 144,1 gram atau 12,01%, yang merupakan nilai tertinggi secara keseluruhan dalam tabel ini. Fenomena ini sangat berbeda dengan durasi sebelumnya, di mana RPM 1000 selalu menjadi titik terbaik. Pada durasi 15 menit, RPM 1000 justru menghasilkan losses terbesar, yang mengindikasikan bahwa kombinasi waktu lama dan kecepatan menengah tidak lagi efisien. Namun, pada kecepatan putar 1450 RPM, terjadi penurunan losses yang sangat tajam menjadi hanya 72,5 gram atau 6,04%. Angka ini merupakan yang terendah pada durasi 15 menit, dan bahkan lebih baik dibandingkan sebagian

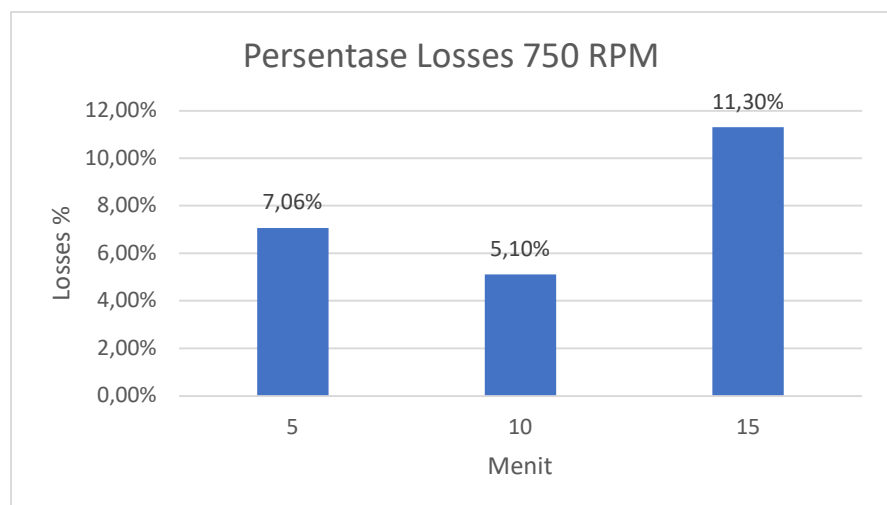
besar hasil pada durasi 5 dan 10 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pada durasi proses yang lebih panjang, kecepatan putar tinggi justru mampu menekan losses secara efektif.

d) Persentase Losses terhadap RPM 750

Tabel 4. 17 Losses Terhadap RPM 750

Durasi (Menit)	RPM	Campuran Awal (Gram)	Hasil (Gram)	Losses (Gram)	Persentase Losses
5	750	1200	1115,3	84,7	7,06%
10	750	1200	1138,8	61,2	5,10%
15	750	1200	1064,4	135,6	11,30%

Tabel 4. 18 Persentase Losses 750 RPM



Pada durasi 5 menit, diperoleh hasil akhir sebesar 1115,3 unit dengan losses sebesar 84,7 gram, yang setara dengan persentase losses 7,06%. Ketika durasi diperpanjang menjadi 10 menit, terjadi penurunan losses yang cukup berarti, yaitu menjadi 61,2 gram atau 5,10%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan waktu dari 5 ke 10 menit justru mampu menekan angka kehilangan, yang mungkin disebabkan oleh proses yang lebih

sempurna atau kestabilan campuran yang meningkat seiring waktu.

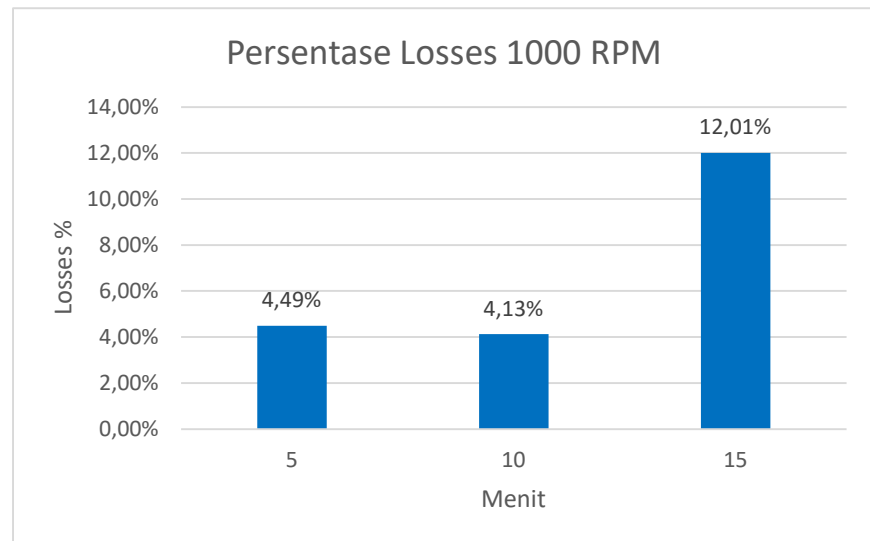
Namun, ketika durasi dilanjutkan hingga 15 menit, terjadi lonjakan losses yang sangat signifikan menjadi 135,6 gram atau 11,30%. Angka ini merupakan yang tertinggi di antara ketiga variasi durasi, bahkan melampaui losses pada durasi 5 menit. Fenomena ini mengindikasikan bahwa proses yang berlangsung terlalu lama justru dapat merugikan, mungkin karena terjadinya penguapan berlebih, degradasi bahan, atau efek mekanis lain yang meningkatkan kehilangan massa.

e) Persentase Losses Terhadap RPM

Tabel 4. 19 Losses Terhadap RPM 1000

Durasi (Menit)	RPM	Campuran Awal (Gram)	Hasil (Gram)	Losses (Gram)	Persentase Losses
5	1000	1200	1146,1	53,9	4,49%
10	1000	1200	1150,5	49,5	4,13%
15	1000	1200	1055,9	144,1	12,01%

Tabel 4. 20 Persentase Losses 1000 RPM



Pada durasi 5 menit, diperoleh hasil akhir sebesar 1146,1 unit dengan losses sebesar 53,9 gram, yang setara dengan persentase losses 4,49%. Angka ini merupakan salah satu yang terendah di antara seluruh percobaan, menunjukkan bahwa pada kecepatan putar 1000 RPM, proses singkat sudah mampu memberikan hasil yang cukup efisien.

Ketika durasi diperpanjang menjadi 10 menit, terjadi penurunan losses yang kecil namun tetap terukur, yaitu menjadi 49,5 gram atau 4,13%. Ini adalah nilai losses terendah yang tercatat pada seluruh rangkaian percobaan untuk RPM 1000, sekaligus mengindikasikan bahwa perpanjangan waktu dari 5 ke 10 menit masih memberikan perbaikan efisiensi meskipun tidak terlalu besar.

Namun, yang sangat mencolok adalah ketika durasi dilanjutkan hingga 15 menit, terjadi lonjakan losses yang sangat drastis menjadi 144,1 gram atau 12,01%. Angka ini merupakan peningkatan hampir tiga kali lipat dibandingkan durasi 10 menit, dan menjadi nilai losses tertinggi untuk variasi RPM 1000. Fenomena ini menunjukkan adanya titik kritis di mana proses

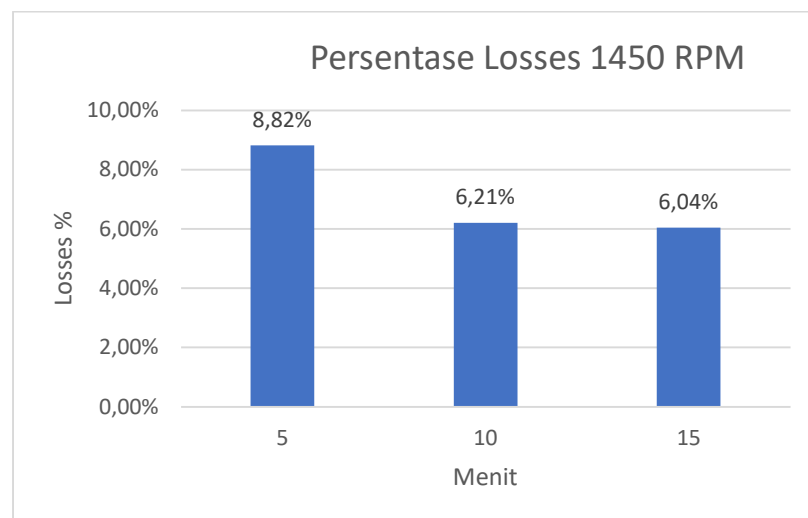
yang berlangsung terlalu lama justru menyebabkan kehilangan massa yang sangat besar, kemungkinan akibat penguapan berlebih, kerusakan material, atau ketidakstabilan campuran yang semakin parah seiring waktu.

f) Persentase Losses Terhadap RPM

Tabel 4. 21 Losses Terhadap RPM 1450

Durasi (Menit)	RPM	Campuran Awal (Gram)	Hasil (Gram)	Losses (Gram)	Persentase Losses
5	1450	1200	1094,2	105,8	8,82%
10	1450	1200	1125,5	74,5	6,21%
15	1450	1200	1127,5	72,5	6,04%

Tabel 4. 22 Persentase Losses 1450 RPM



Pada durasi 5 menit, diperoleh hasil akhir sebesar 1094,2 unit dengan losses sebesar 105,8 gram, yang setara dengan persentase losses 8,82%. Angka ini merupakan yang tertinggi di antara ketiga variasi durasi pada RPM 1450, menunjukkan bahwa proses singkat dengan kecepatan putar tinggi kurang efisien dan menghasilkan kehilangan yang cukup besar.

Ketika durasi diperpanjang menjadi 10 menit, terjadi penurunan losses yang signifikan menjadi 74,5 gram atau 6,21%. Penurunan ini cukup drastis, hampir 2,6 persen poin, yang mengindikasikan bahwa penambahan waktu sangat bermanfaat dalam menekan losses pada kecepatan putar tinggi.

Pada durasi 15 menit, losses kembali turun meskipun tidak terlalu besar, yaitu menjadi 72,5 gram atau 6,04%. Angka ini merupakan nilai terendah untuk variasi RPM 1450, sekaligus menunjukkan bahwa perpanjangan waktu hingga 15 menit masih memberikan perbaikan efisiensi, meskipun perbaikannya relatif kecil dibandingkan peningkatan dari 5 ke 10 menit.

Secara keseluruhan, data pada RPM 1450 menunjukkan tren yang berbeda dengan RPM 1000. Pada kecepatan putar tinggi ini, durasi proses yang lebih panjang justru menguntungkan, dengan losses yang terus menurun seiring bertambahnya waktu. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh efek sentrifugal yang lebih kuat pada RPM tinggi, di mana waktu tambahan memungkinkan pemisahan atau proses berlangsung lebih sempurna tanpa menyebabkan degradasi berlebih. Dengan demikian, untuk kondisi operasi pada kecepatan putar 1450 RPM, durasi 15 menit merupakan pilihan terbaik karena menghasilkan losses paling rendah.

BAB V

PENUTUPAN DAN KESIMPULAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian rancang bangun dan uji kinerja Mini Wet Disintegrator untuk pelumatan mesokarp kelapa sawit sebagai preparasi sampel pengujian kadar minyak, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem kontrol otomatis berbasis timer telah berhasil dirancang dan dirakit dengan mengintegrasikan komponen MCB 3 fasa dan 1 fasa, kontaktor magnet, emergency stop, timer digital, dan inverter. Rangkaian kontrol bekerja secara presisi dalam mengatur durasi operasi motor listrik 2,2 kW, sehingga proses pelumatan mesokarp berlangsung secara otomatis dengan durasi yang tepat (5, 10, dan 15 menit), meminimalisir deviasi hasil pengujian yang disebabkan oleh kesalahan operator.
2. Uji kinerja kelistrikan menunjukkan bahwa motor listrik beroperasi secara stabil pada seluruh variasi kecepatan dan durasi. Peningkatan kecepatan putaran dari 750 RPM ke 1450 RPM menyebabkan kenaikan arus listrik dari rata-rata 1,44 A menjadi 1,96 A, sementara tegangan antar fasa relatif stabil pada kisaran 404-418 V. Hubungan frekuensi terhadap RPM mengikuti persamaan $N_s = 120f/p$, dengan nilai slip yang konstan pada setiap variasi.
3. Pengaruh variasi durasi pelumatan menunjukkan bahwa semakin lama waktu operasi, semakin halus partikel mesokarp yang dihasilkan. Pada kecepatan 750 RPM, massa ampas menurun dari 122 gram (5 menit) menjadi 100,2 gram (15 menit), mengindikasikan semakin banyak serat yang terurai. Pada kecepatan 1000 RPM, massa ampas justru meningkat dari 190,3 gram menjadi 229 gram, menunjukkan partikel lebih halus dan menyerap lebih banyak air.
4. Kondisi operasi optimal diperoleh pada kecepatan 1450 RPM dengan durasi 5 menit, menghasilkan massa ampas 181,5 gram dan volume cairan 912,7 gr. Kondisi ini menunjukkan efektivitas pelumatan yang baik dengan

5. waktu operasi yang singkat, sehingga mendukung efisiensi proses preparasi sampel untuk pengujian kadar minyak
6. Hipotesis penelitian terbukti bahwa sistem kontrol otomatis berbasis timer menghasilkan durasi pelumatan yang lebih konsisten dan presisi dibandingkan kontrol manual. Mini Wet Disintegrator juga menunjukkan unjuk kerja yang efektif dalam melumatkan mesokarp dengan konsumsi daya yang sesuai karakteristik motor 2,2 kW.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Pengembangan sistem monitoring berupa layar display digital untuk menampilkan parameter operasi secara real-time seperti RPM aktual, arus, tegangan, dan suhu motor, sehingga memudahkan pengawasan dan pengambilan data selama proses berlangsung.
2. Pengujian lebih lanjut dengan variasi kecepatan putaran yang lebih beragam (misalnya 500 RPM, 1200 RPM, dan 1700 RPM) untuk mengetahui titik optimal kinerja mesin dalam menghasilkan sampel yang homogen dengan konsumsi daya minimal.
3. Analisis hubungan langsung antara hasil pelumatan (tingkat homogenitas) dengan kadar minyak yang diekstraksi melalui uji laboratorium menggunakan metode Soxhlet, untuk mengetahui korelasi kuantitatif antara parameter operasi mesin dengan kualitas sampel.
4. Uji ketahanan komponen dalam jangka panjang (durability test) untuk mengetahui umur pakai pisau disintegrator dan komponen kelistrikan pada kondisi operasi kontinyu, sehingga dapat ditentukan jadwal perawatan preventif yang tepat

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rahmawati, “Keragaman Genetik Varietas Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.),” *J. Kridatama Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 01, pp. 35–40, Feb. 2023, doi: 10.53863/KST.V5I01.677.
- [2] F. Murgianto, E. Edyson, A. Ardiyanto, S. K. Putra, and L. Prabowo, “Potential Content of Palm Oil at Various Levels of Loose Fruit in Oil Palm Circle,” *J. Agro Ind. Perkeb.*, pp. 91–98, Oct. 2021, doi: 10.25181/JAIP.V9I2.2161.
- [3] R. A. Sirait, “PENGARUH KEMATANGAN BUAH TERHADAP FFA DAN BESARNYA KANDUNGAN MINYAK DI DALAMNYA DI PABRIK KELAPA SAWIT,” 2023.
- [4] A. Rahmawati, K. Putranto, H. Hendrawan, and E. Wahyudin, “Pengaruh Jangka Waktu Perebusan terhadap Rendemen dan Beberapa Karakteristik Minyak Kelapa Sawit,” *AGRITEKH (Jurnal Agribisnis dan Teknol. Pangan)*, vol. 3, no. 2, pp. 57–64, 2023, doi: 10.32627/agritekh.v3i2.647.
- [5] I. U. Onyenanu, C. J. Nwadiuto, C. V. Okeke, and A. M. Okafor, “Development of a Mathematical Model for Palm Fruit Digester Design: Integrating Dimensional Analysis and Process Optimization,” *Int. J. Appl. Nat. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 15–26, 2024, doi: 10.61424/ijans.v2i2.144.
- [6] A. A. Offiong, A. Offiong, P. T. Aondona, and A. P. Ihom, “ISRG PUBLISHERS DESIGN AND PRODUCTION OF A VERTICAL PALM FRUIT DIGESTER”, doi: 10.5281/zenodo.18647850.
- [7] M. H. Wondi, N. I. N. Haris, R. Shamsudin, R. Yunus, M. Mohd Ali, and A. H. Iswardi, “Development and testing of an oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) fruit digester process for kernel free in crude palm oil production,”

Ind. Crops Prod., vol. 208, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.indcrop.2023.117755.

- [8] O. K. Owolarafe, E. A. Taiwo, and O. O. Oke, “Effect of processing conditions on yield and quality of hydraulically expressed palm oil,” *Int. Agrophysics*, vol. 22, no. 4, pp. 349–352, 2008.
- [9] nur hidayat Yayat, “Universiti putra malaysia fundamental study of oil palm fruit digestion process yayat nurhidayat fk 2014 107,” 2014.
- [10] H. Silvamany and J. Md Jahim, “ENHANCEMENT OF PALM OIL EXTRACTION USING CELL WALL DEGRADING ENZYME FORMULATION (Peningkatan Pengekstrakan Minyak Kelapa Sawit Melalui Penggunaan Enzim Degradasi Dinding Sel),” *Malaysian J. Anal. Sci.*, vol. 19, pp. 77–87, 2015.
- [11] N. I. A. A. Nordin *et al.*, “Modification of Oil Palm Mesocarp Fiber Characteristics Using Superheated Steam Treatment,” *Mol. 2013, Vol. 18, Pages 9132-9146*, vol. 18, no. 8, pp. 9132–9146, Jul. 2013, doi: 10.3390/MOLECULES18089132.
- [12] T. Sakai *et al.*, “Chemistry in the GG Tau A Disk: Constraints from H₂ D + , N₂ H + , and DCO + High Angular Resolution ALMA Observations Parashmoni Kashyap, Liton Majumdar, Anne Dutrey *et al.*-An ALMA Survey of DCN/H₁₃ CN and DCO + /H₁₃ CO + in Protoplanetary Disks Eng...”, doi: 10.1088/1757-899X/1195/1/012061.
- [13] M. H. Hussin, R. Diyanilla, T. S. Hamidon, and L. Suryanegara, “Overview of Pretreatment Methods Employed on Oil Palm Biomass in Producing Value-added Products: A Review,” 2020.
- [14] D. LALU ISHADI, “PENGATURAN KECEPATAN MOTOR INDUKSI TIGA FASABERBASIS TEKNIK MODULASI CARRIER BASED PULSEWIDTH MODULATION (CBPWM) DENGAN KENDALIKONTROLLER FUZZY LOGIC,” 2024.
- [15] W. Pangaribuan, B. Dwi Waluyo, S. Annisa, B. Zulkarnain, M. Aulia, and

- R. Sembiring, “Design and Implementation of a High-Performance SPWM-Based Three-Phase Inverter for Induction Motor Drives,” Mar. 2026, doi: 10.4108/EAI.16-9-2025.2361035.
- [16] PAHAN, “Jurnal Rekayasa, Teknologi Proses Dan Sains Kimia Ptki Medan Steam Calculations Required in the Process of Plustering Palm Oil Fruit in the Digester Unit,” *Reprokimia*, vol. 9211, no. 06, p. 2022, 2012.
- [17] D. G. Simorangkir, “Pengaruh Lama Perendaman dan Pengupasan Mesokarp Terhadap Persentase Keberhasilan Proses Pembuatan Benih Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.),” 2024, Accessed: Jun. 20, 2026. [Online]. Available: <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/25012>
- [18] E. K. Sitepu *et al.*, “Homogenizer-intensified room temperature biodiesel production using heterogeneous palm bunch ash catalyst,” *South African J. Chem. Eng.*, vol. 40, pp. 240–245, Apr. 2022, doi: 10.1016/J.SAJCE.2022.03.007

LAMPIRAN



