

***Reverse engineering desain mesin pengupas kuaci
bunga matahari otomatis portabel pada bagian
proses pengupasan***

***Reverse engineering design of a portable automatic sunflower seed
shelling machine in the shelling process section***

SKRIPSI

Oleh:

Nama: Alem Savero

NPM: 223030060



**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS PASUNDAN
BANDUNG
2026**

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Alem Savero

Nomor Pokok Mahasiswa : 223030060

Program Studi : Teknik Mesin FT UNPAS

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Dalam Skripsi yang saya kerjakan ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan/ditulis oleh orang lain untuk memperoleh gelar dari suatu perguruan tinggi,
2. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu/dikutip/disitasi dalam naskah ini dan disebutkan dalam referensi,
3. Naskah laporan skripsi yang ditulis bukan dilakukan secara *copy paste* dari karya orang lain dan mengganti beberapa kata yang tidak perlu.
4. Naskah laporan skripsi bukan hasil plagiarisme.

Apabila dikemudian hari terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka saya sanggup menerima hukuman/sanksi apapun sesuai peraturan yang berlaku.

Bandung, 13 Juli 2026

Penulis,



Alem Savero

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini, sebagai sivitas akademik Universitas Pasundan, saya:

N a m a: Alem Savero

NPM: 223030060

Program Studi: Teknik Mesin FT UNPAS

Jenis Karya: Skripsi

Menyatakan bahwa sebagai pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, saya menyetujui memberikan kepada Universitas Pasundan Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Reverse engineering desain mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel pada bagian proses pengupasan”.

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pakalan data (database), merawat, dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Bandung, 13 Juli 2026

Yang menyatakan,



Alem Savero

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Reverse engineering desain mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel pada bagian proses pengupasan



Nama: Alem Savero
NPM: 223030060

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Reverse engineering desain mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel pada bagian proses pengupasan



Nama: Alem Savero
NPM: 223030060

Tanggal sidang skripsi: 29 Juni 2026

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Sekretaris : Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Rachmad Hartono, M.T.

Anggota : Dr. Ir. Endang Achdi, M.T.

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala, Tuhan Yang Maha Esa, atas limpahan rahmat, karunia, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul:

“Reverse engineering desain mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel pada bagian proses pengupasan”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan program sarjana di Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan.

Proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai tantangan, baik dalam pengumpulan data, penyusunan teori, maupun analisis hasil penelitian. Namun, berkat doa, dukungan, serta bimbingan dari berbagai pihak, karya ini akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis dengan tulus menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya.

Ucapan terima kasih pertama penulis sampaikan kepada kedua orang tua tercinta, Ayah dan Ibu, atas doa, kasih sayang, dukungan moral maupun material, serta pengorbanan yang tiada henti. Segala jerih payah dan doa yang diberikan menjadi sumber motivasi terbesar dalam penyelesaian studi ini.

Penghargaan setinggi-tingginya juga penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Ir. Ade Bagdja, M.M.E. selaku dosen pembimbing satu, yang dengan penuh kesabaran telah memberikan arahan, bimbingan, dan masukan yang sangat berarti. Berkat perhatian dan ketelitian beliau, skripsi ini dapat terselesaikan sesuai dengan kaidah akademik yang berlaku. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Ketua Program Studi sekaligus pembimbing kedua, Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T, seluruh dosen, serta staf administrasi Fakultas Teknik Universitas Pasundan, yang telah membekali penulis dengan ilmu, pengalaman, dan layanan terbaik selama menempuh pendidikan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2022, khususnya Azrin Karim, Fadly Firmansyah Aziz. Selalu berjuang bersama-sama dalam menyelesaikan tugas akhir dan selama masa perkuliahan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan Paguyuban Shopee Mesin, yang selalu berjuang bersama di jalanan maupun di lingkungan kampus selama masa perkuliahan.

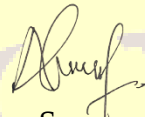
Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan sekaligus sahabat kumaha aing yang berada di Bandung, khususnya Alif, Inzhagi, Daffa, Hafiz, yang selalu memberikan masukan dan mendengarkan keluh kesah penulis.

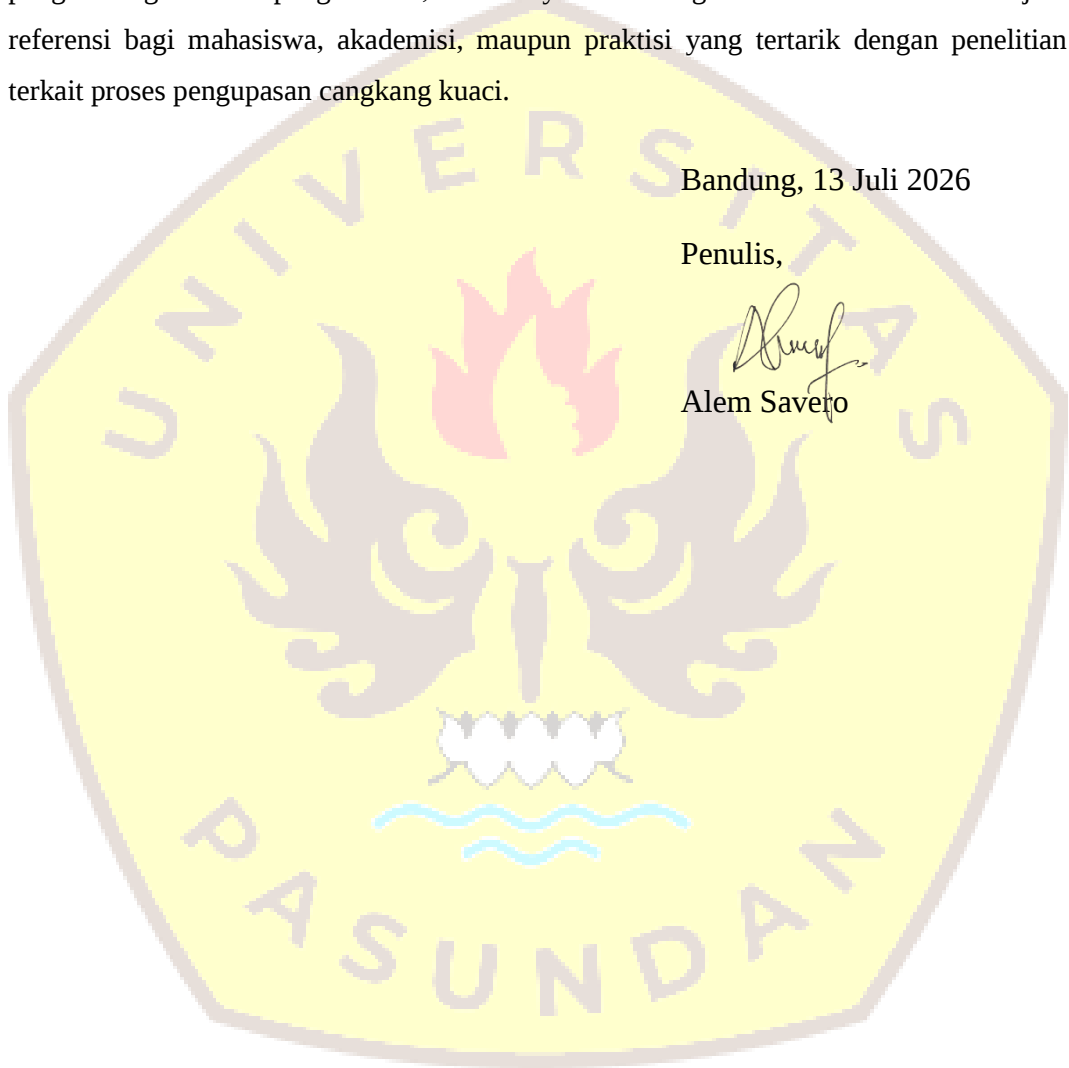
Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan sekaligus sahabat yang berada di Batam. Selalu mendukung dan berjuang bersama-sama.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang teknik mesin serta menjadi referensi bagi mahasiswa, akademisi, maupun praktisi yang tertarik dengan penelitian terkait proses pengupasan cangkang kuaci.

Bandung, 13 Juli 2026

Penulis,


Alem Savero



DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN	I
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	II
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	III
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....	IV
KATA PENGANTAR.....	V
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	X
DAFTAR TABEL	XI
ABSTRAK	XII
ABSTRACT	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah.....	2
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Lingkup masalah.....	3
6. Batasan masalah	4
7. Sistematika penulisan	5
BAB II STUDI LITERATUR	6
1. <i>Reverse engineering</i>	6
A. <i>Reverse engineering</i> dalam rekayasa mekanik.....	7
B. Aplikasi <i>reverse engineering</i> pada mesin pengupas kuaci	8
2. Karakteristik fisik dan mekanik biji kuaci.....	8

A.	Karakteristik fisik	9
a.	Ukuran dan bentuk biji	9
b.	Ketebalan cangkang	10
c.	Kadar air	11
B.	Karakteristik mekanik	11
a.	Kekuatan tekan cangkang	12
b.	Modulus elastisitas	12
c.	Ketangguhan	13
3.	Mesin pengupas kuaci	13
A.	Mesin pengupas kuaci skala kecil	14
B.	Mesin pengupas kuaci skala industri	15
C.	Mesin pengupas kuaci skala menengah	16
4.	Sistem pengupasan	17
A.	Parameter mekanis pengupasan	19
B.	Kinerja pengupasan	20
5.	Material <i>food grade</i> pada mesin pengupas kuaci	21
A.	Stainless Steel 304	21
B.	Plastik <i>food grade</i>	22
BAB III METODOLOGI		23
1.	Tahapan penelitian	23
2.	Tempat penelitian	25
3.	Objek <i>reverse engineering</i>	26
4.	Pengujian yang dilakukan	27
A.	Desain mekanisme pengupasan	27
B.	Desain roll pengupasan	28
C.	Desain dinding pengupasan	29
D.	Parameter desain mekanisme pengupasan	29

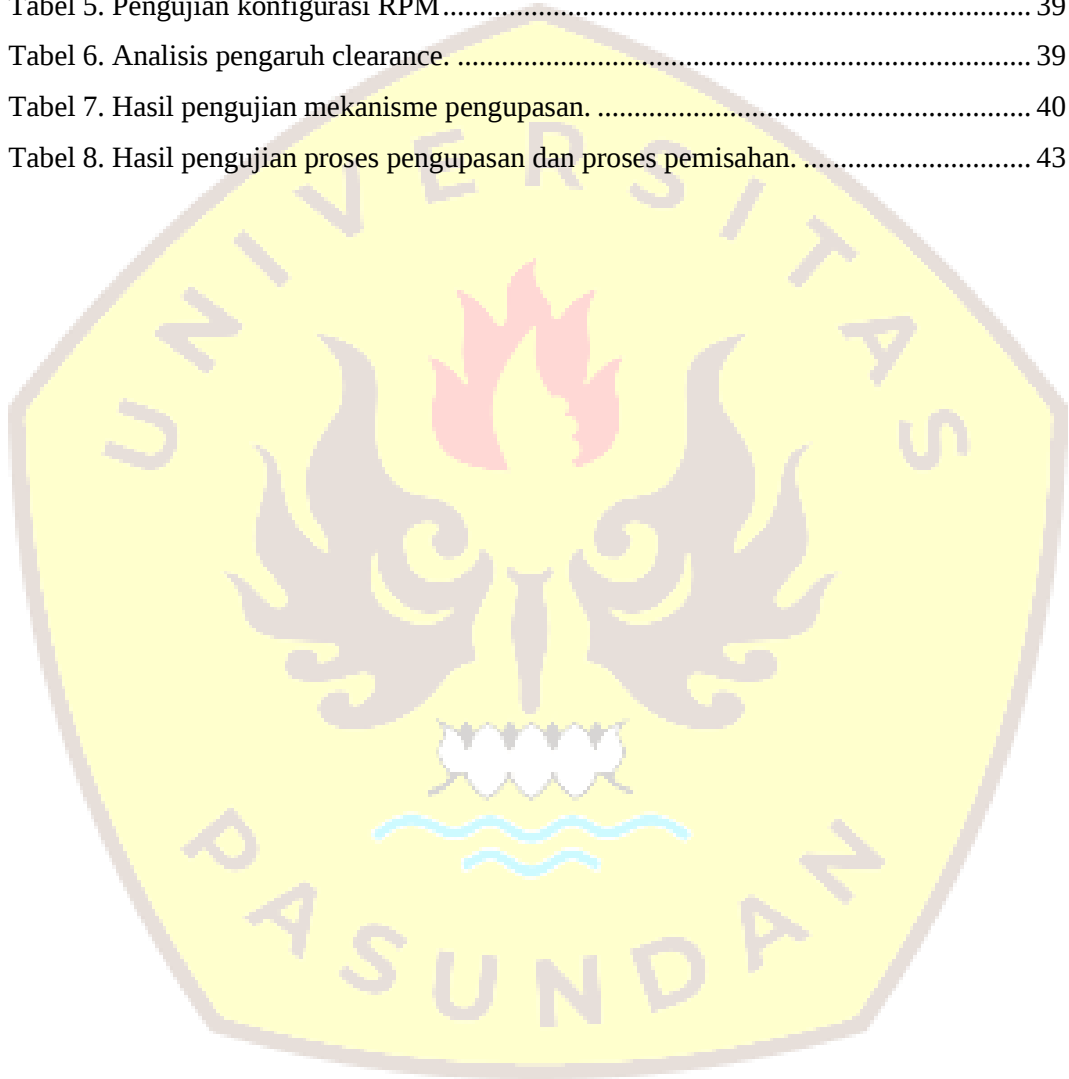
5. Alat ukur dan bahan yang digunakan	30
6. Metode pengolahan data hasil pengukuran/pengujian.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	32
1. Hasil pengembangan desain mekanisme pengupasan	32
A. Desain pada <i>hopper</i> pengupasan	32
B. Desain pada roll pengupasan	33
C. Desain pada dinding pengupasan	34
2. Analisis mekanisme pengupasan	34
A. Analisis proses pengupasan cangkang kuaci biji bunga matahari.....	35
B. Analisis pengaruh arah jatuh cangkang biji kuaci bunga matahari	37
C. Analisis parameter sistem pengupasan	38
D. Analisis pengaruh celah pengupasan antara roll dan dinding.....	39
E. Hasil pengujian mekanisme pengupasan.....	40
3. Analisis pengaruh putaran roll terhadap hasil pengupasan.....	41
4. Pembahasan hasil pengupasan	42
5. Pengujian pada sistem pengupasan dan pemisahan.....	43
6. Analisis hasil pengujian sistem pengupasan dan pemisahan	45
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
1. Kesimpulan.....	47
2. Saran	48
DAFTAR PUSTAKA.....	49
LAMPIRAN.....	53
1. Foto-foto pengujian	53
2. Gambar teknik	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses <i>reverse engineering</i> [5].	6
Gambar 2. Langkah-langkah proses <i>reverse engineering</i> untuk komponen mekanik [8].	8
Gambar 3. Kuaci biji bunga matahari [10].	9
Gambar 4. Mesin pengupas kuaci skala kecil [20].	15
Gambar 5. Mesin pengupas kuaci skala industri [21].	16
Gambar 6. Gambar sistem pengupasan [23].	18
Gambar 7. Stainless steel 304 [26].	22
Gambar 8. Material plastik <i>food grade</i> [28].	22
Gambar 9. Diagram alir tahapan penelitian.	23
Gambar 10. Lokasi penelitian.	25
Gambar 11. Objek yang akan dilakukan <i>reverse engineering</i> [29], [30].	26
Gambar 12. Dinding permukaan halus dan permukaan kasar.	28
Gambar 13. Desain roll pengupasan.	28
Gambar 14. Desain dinding pengupasan.	29
Gambar 15. Komponen desain mekanisme pengupasan.	30
Gambar 16. Desain mekanisme pengupasan.	32
Gambar 17. Desain <i>hopper</i> pengupasan.	33
Gambar 18. Desain roll pengupasan.	33
Gambar 19. Desain dinding pengupasan.	34
Gambar 20. Mekanisme pengupasan.	34
Gambar 21. Skematik mekanisme pengupasan.	35
Gambar 22. Desain arah proses pengupasan.	37
Gambar 23. Hasil pengujian	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter desain mekanisme pengupasan.	30
Tabel 2. Alat ukur yang digunakan.	30
Tabel 3. Bahan yang digunakan.	30
Tabel 4. Proses mekanisme pengupasan pada cangkang biji kuaci.	36
Tabel 5. Pengujian konfigurasi RPM.....	39
Tabel 6. Analisis pengaruh clearance.	39
Tabel 7. Hasil pengujian mekanisme pengupasan.	40
Tabel 8. Hasil pengujian proses pengupasan dan proses pemisahan.	43



ABSTRAK

Kuaci biji bunga matahari merupakan salah satu produk pangan yang banyak dikonsumsi, namun proses pengupasan cangkangnya masih menjadi kendala pada skala rumah tangga dan UMKM karena umumnya dilakukan secara manual atau menggunakan peralatan yang kurang efisien. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan *reverse engineering* dan pengembangan desain mekanisme pengupasan pada mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel, serta menganalisis pengaruh parameter operasional terhadap efektivitas proses pengupasan. Metode penelitian dilakukan melalui observasi mesin yang ada, analisis karakteristik kuaci, perancangan komponen menggunakan perangkat lunak SolidWorks, serta evaluasi kinerja mekanisme pengupasan berdasarkan variasi putaran roll dan konfigurasi desain. Mekanisme pengupasan dirancang menggunakan kombinasi roll pengupas bertekstur dan dinding pengupas lengkung untuk menghasilkan gaya tekan dan gesek yang mampu memecahkan cangkang tanpa merusak inti biji. Hasil penelitian menunjukkan bahwa putaran roll berpengaruh signifikan terhadap kualitas hasil pengupasan. Pada putaran rendah, proses pengupasan belum berlangsung optimal sehingga masih banyak kuaci yang tidak terkupas sempurna. Sebaliknya, putaran yang terlalu tinggi meningkatkan risiko kerusakan inti biji akibat gaya gesek yang berlebihan. Kondisi optimum diperoleh pada putaran roll sebesar 50,4 rpm yang menghasilkan keseimbangan terbaik antara tingkat keberhasilan pengupasan dan keutuhan inti biji. Dengan demikian, desain mekanisme yang dikembangkan mampu meningkatkan efektivitas proses pengupasan kuaci dan berpotensi diterapkan pada mesin pengupas kuaci skala UMKM.

Kata kunci: biji bunga matahari, mesin pengupas kuaci, mekanisme pengupasan, putaran roll, UMKM, *reverse engineering*.

ABSTRACT

Sunflower seeds (kuaci) are widely consumed as a snack product; however, the shelling process remains a challenge, particularly for household-scale and small-to-medium enterprises (SMEs), as it is often performed manually or with inefficient equipment. This study aims to conduct a reverse engineering analysis and develop a shelling mechanism design for a portable automatic sunflower seed shelling machine, as well as evaluate the effect of operational parameters on shelling performance. The research method involved observing existing machines, analyzing sunflower seed characteristics, designing components using SolidWorks software, and evaluating the performance of the shelling mechanism based on variations in roll speed and design configuration. The shelling mechanism was designed using a combination of a textured shelling roll and a curved shelling wall to generate compressive and frictional forces capable of cracking the shell while minimizing damage to the kernel. The results indicate that roll speed has a significant influence on shelling quality. At low rotational speeds, the shelling process is not optimal, resulting in a high proportion of unshelled seeds. Conversely, excessively high speeds increase the risk of kernel damage due to excessive frictional forces. The optimum operating condition was achieved at a roll speed of 50.4 rpm, which provided the best balance between shelling efficiency and kernel integrity. Therefore, the developed shelling mechanism design is capable of improving the effectiveness of the sunflower seed shelling process and has the potential to be applied in SME-scale sunflower seed processing machines.

Keywords: reverse engineering, roll speed, sunflower seed shelling machine, sunflower seeds, shelling mechanism, SMEs.

BAB I PENDAHULUAN

1. Latar belakang

Kuaci adalah produk pangan berbasis biji-bijian yang telah lama dikenal dan dikonsumsi secara luas oleh masyarakat. Jenis kuaci yang paling umum dijumpai adalah kuaci biji bunga matahari, kuaci biji semangka dan biji labu [1]. Namun, jenis kuaci yang paling banyak dikonsumsi adalah kuaci biji bunga matahari. Secara empiris, proses pengupasan kuaci bunga matahari biasanya dengan cara memanfaatkan tekanan gigi atau jari tangan untuk membuka lapisan inti biji. Namun, cara tersebut tidak praktis dan tidak efisien untuk para UMKM yang menjual inti biji kuaci matahari secara massal. Hal itu karena proses pengupasan cangkang kuaci secara manual yang memakan waktu, melelahkan pekerja dan berpotensi besar merusak inti biji kuaci.

Berdasarkan permasalahan tersebut, muncul gagasan untuk membuat mesin pengupas kuaci matahari otomatis untuk mendukung kebutuhan skala rumah tangga maupun UMKM. Mesin pengupas kuaci matahari yang dirancang bangun pada penelitian ini juga didesain secara portabel dan dapat dibongkar pasang agar memudahkan pelaku UMKM memindahkan mesin secara bebas. Penelitian ini menggunakan teori *reverse engineering* sebagai landasan konseptual. *Reverse engineering* dipahami sebagai proses sistematis untuk memahami, menganalisis, dan merekonstruksi suatu produk yang telah ada dengan tujuan memperoleh pemahaman mendalam mengenai fungsi, struktur, dan prinsip kerjanya [2]. Dalam konteks penelitian ini, indikator *reverse engineering* diwujudkan melalui beberapa tahapan konseptual, yaitu identifikasi fungsi utama dan fungsi pendukung mesin referensi, pembongkaran dan dokumentasi komponen, pengukuran dimensi aktual setiap komponen, pembuatan ulang model CAD, serta analisis perbandingan antara desain awal dan desain hasil modifikasi.

Pada penelitian ini, proses produksi untuk skala rumah tangga menetapkan target produksi 1 liter per jam dengan berat bersih. Secara teknis 1 liter adalah satuan volume, sehingga perlu dikonversi ke satuan massa agar dapat dihitung dalam perancangan mesin. Dengan asumsi massa jenis biji kuaci kupas berada pada kisaran 0,55–0,65 kg/L, maka 1 liter setara dengan 0,6 kg biji kuaci [3]. Oleh karena itu mesin minimal harus mampu mengolah 1 kg bahan baku per jam dengan tingkat kerusakan biji yang rendah dan efisiensi pengupasan yang memadai. Pada proses produksi dengan kapasitas 1 kg/jam biji kuaci yang diperoleh sekitar 16–17 gram per menit atau hanya 0,28 gram per detik.

Konsep portabel pada mesin pengupas kuaci tidak hanya berukuran kecil, tapi juga mudah dipindahkan karena bobotnya ringan dan desainnya praktis. Mesin pengupas kuaci ini dirancang dengan konsumsi daya rendah, misalnya menggunakan motor listrik skala kecil. Rangka mesin pengupas kuaci dibuat tetap kokoh agar mesin stabil pada saat proses pengupasan [4]. Selain itu, sistem transmisi dirancang efisien supaya proses pengupasan tetap maksimal meskipun menggunakan daya kecil, kemudahan dalam perawatan dan pembongkaran sehingga mesin mudah dibersihkan, diperbaiki dan dirawat. Secara konsep desain mekanisme pengupasan dan parameter operasional dapat mempengaruhi tingkat keberhasilan dalam pengupasan cangkang, sistem pemisahan mempengaruhi hasil dari kemurnian pengupasan, desain struktur portabel mempengaruhi mobilitas dan efisiensi pengupasan, seluruh aspek tersebut dapat menentukan kinerja keseluruhan mesin dari segi efektivitas, efisiensi, dan kemudahan operasional.

2. Rumusan masalah

Berdasarkan latar belakang di atas dan fokus penelitian pada proses pengupasan, maka rumusan masalah dapat disusun sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang spesifikasi komponen dan parameter operasional yang sesuai untuk skala UMKM?
- b. Bagaimana kinerja mesin yang dirancang ditinjau dari tingkat keberhasilan pengupasan dan kerusakan biji?

3. Tujuan

Tujuan dari penelitian *reverse engineering* desain mesin pengupas kuaci biji bunga matahari otomatis portabel pada bagian proses pengupasan adalah sebagai berikut:

- a. Merancang konsep dan mekanisme kerja mesin pengupas cangkang biji kuaci bunga matahari skala UMKM.
- b. Melakukan perhitungan terhadap komponen utama (rol pengupas, sistem transmisi, dan motor penggerak) dan menganalisis pengaruh parameter operasional terhadap efektivitas proses pengupasan.

4. Manfaat

Manfaat teoritis

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan kajian teknik mesin, khususnya dalam penerapan *metode reverse*

engineering untuk menganalisis dan mengembangkan desain mesin pengupas kuaci berskala kecil. Hasil kajian ini menyajikan pemahaman konseptual yang lebih jelas mengenai prinsip kerja, mekanisme pengupasan, serta pendekatan analisis desain pada mesin pengolahan pangan, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai referensi ilmiah dan pijakan awal bagi penelitian selanjutnya yang membahas topik sejenis.

Manfaat praktis

Secara praktis, penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar teknis yang aplikatif dalam pengembangan desain mesin pengupas kuaci biji bunga matahari portabel, terutama pada bagian pengupas sebagai komponen utama proses kerja mesin. Pendekatan desain berbasis *reverse engineering* yang dipadukan dengan pemilihan material yang sesuai untuk aplikasi pangan diharapkan dapat memberikan acuan bagi perancang, mahasiswa, maupun pelaku usaha kecil dalam merancang atau memodifikasi mesin pengupas kuaci yang lebih layak secara teknis, aman digunakan untuk bahan pangan, serta relevan dengan kebutuhan skala kecil.

5. Lingkup masalah

Perumusan konsep dasar Mesin Pengupas Kuaci (MPK) dalam penelitian ini menitik beratkan pada perancangan suatu sistem mekanis yang terintegrasi secara menyeluruh, mulai dari tahap awal hingga akhir proses. Alur kerja mesin diawali dengan pemasukan bahan baku berupa kuaci ke dalam sistem, kemudian dilanjutkan dengan proses pengupasan cangkang melalui mekanisme mekanis tertentu, dan diakhiri dengan proses pemisahan antara inti biji dan cangkangnya. Setiap tahapan dirancang agar saling terhubung dan bekerja secara berkesinambungan, sehingga mesin mampu menghasilkan proses yang stabil dan efektif. Konsep ini secara khusus ditujukan untuk memenuhi kebutuhan skala UMKM, dengan mempertimbangkan aspek portabilitas, efisiensi operasional, serta kemudahan penggunaan, sehingga mesin tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga relevan secara praktis.

Selain itu, penelitian ini mengkaji fungsi dan peran masing-masing komponen utama yang membentuk sistem mesin. *Hopper* berfungsi sebagai media pemasukan bahan ke dalam sistem, sedangkan mekanisme pengupas, seperti roll atau rotor, berperan menghasilkan gaya mekanis untuk memecahkan cangkang kuaci. Sistem pemisahan, yang dapat berupa blower atau ayakan, digunakan untuk memisahkan inti biji dari cangkangnya setelah proses pengupasan. Rangka utama berfungsi sebagai struktur penopang seluruh komponen mesin, sementara sistem transmisi dan motor penggerak bertugas menghasilkan

dan menyalurkan energi mekanis yang diperlukan. Saluran keluaran kemudian mengarahkan hasil akhir ke jalur yang terpisah antara inti biji dan limbah cangkang. Setiap komponen dianalisis berdasarkan kontribusinya dalam mendukung proses pengupasan agar berlangsung secara optimal, stabil, dan terkendali.

Penelitian ini juga mencakup penentuan spesifikasi teknis prototipe mesin sebagai dasar untuk memastikan kesesuaian antara rancangan dan kebutuhan operasional. Parameter yang diperhatikan meliputi kapasitas produksi dalam satuan kilogram per jam, kebutuhan daya dan kecepatan putaran motor, dimensi dan berat mesin yang disesuaikan dengan konsep portabel, pemilihan material *food grade* untuk menjamin keamanan pangan, serta tingkat konsumsi energi selama proses berlangsung. Spesifikasi tersebut ditetapkan dengan mempertimbangkan kebutuhan usaha skala kecil, sehingga mesin yang dirancang tidak hanya produktif, tetapi juga efisien dan ekonomis dalam penggunaannya.

Penelitian ini menganalisis prinsip kerja dan sistem operasi mesin secara menyeluruh untuk memastikan setiap tahapan proses berjalan secara sistematis. Proses dimulai dari pemasukan kuaci melalui *hopper*, dilanjutkan dengan proses pengupasan yang memanfaatkan gaya gesek atau gaya tekan untuk memecahkan cangkang, kemudian diakhiri dengan proses pemisahan menggunakan aliran udara atau sistem penyaringan. Evaluasi terhadap alur kerja ini dilakukan untuk memastikan mesin mampu beroperasi secara kontinu, aman, dan andal, serta meminimalkan kerusakan pada inti biji. Hal ini menjadi aspek krusial, karena keberhasilan mesin tidak hanya diukur dari kemampuannya mengupas cangkang, tetapi dari kemampuannya menjaga integritas dan kualitas inti yang dihasilkan.

6. Batasan masalah

Laporan penulisan skripsi ini memerlukan lingkup penelitian agar laporan tersebut menjadi lebih fokus dan terarah. Beberapa batasan masalah yang akan dibahas yaitu:

- a. Mesin pengupas kuaci portabel yang optimal dan aplikatif dapat memudahkan proses pengupasan biji bunga matahari pada skala rumah tangga atau UMKM.
- b. Pengembangan desain mekanisme pengupasan dan fungsi mekanik pada mesin pengupas kuaci bunga matahari portabel otomatis.
- c. Pemilihan material yang umum digunakan untuk aplikasi pangan (*food grade*) dengan mempertimbangkan kelayakan teknis dan kemudahan manufaktur skala kecil.

7. Sistematika penulisan

Sistematika penulisan bertujuan supaya lebih terarahnya penulisan serta untuk menghindari suatu pembahasan berulang dan mempermudah bagi pembaca dalam memahami sistematika penulisan proposal usulan penelitian terdiri atas 5 (lima) bab dan daftar pustaka, yaitu

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitian

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bab ini penulis menjabarkan kajian pustaka dan landasan teori yang berkaitan dengan tema dari penelitian

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini Metodologi, tempat penelitian, pengujian yang dilakukan, alat ukur dan bahan yang digunakan, dan metode pengolahan data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas hasil pengembangan desain pengupasan kuaci, analisis mekanisme pengupasan, analisis pengaruh putaran roll terhadap hasil pengupasan, dan pembahasan hasil.

BAB V PENUTUP

Pada bab penutup menjelaskan sebuah kesimpulan dan saran pada penelitian ini

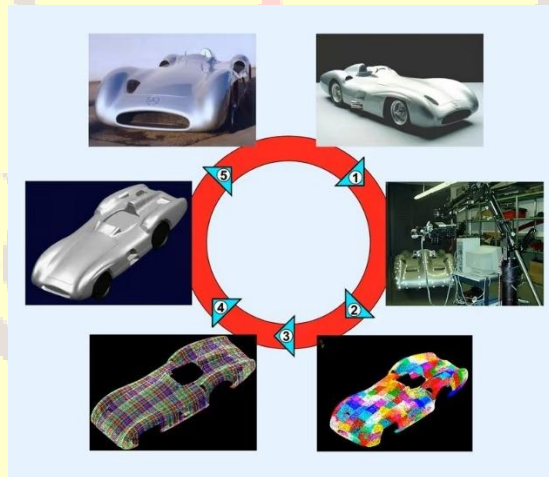
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II STUDI LITERATUR

1. *Reverse engineering*

Reverse engineering adalah suatu pendekatan sistematis untuk menelusuri kembali informasi desain dari sebuah produk yang telah selesai dibuat. Proses ini dilakukan melalui identifikasi komponen, pengukuran dimensi, analisis struktur, hingga evaluasi fungsi setiap bagian penyusunnya. Jika pada *forward engineering* perancangan dimulai dari ide konseptual lalu berkembang menuju produk akhir, maka *reverse engineering* justru bergerak sebaliknya. Perancangan dimulai dari objek fisik yang sudah ada, kemudian ditarik kembali ke model konseptual dan rancangan awalnya [5]. Proses *reverse engineering* dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Proses *reverse engineering* [5].

Secara leksikal, *reverse engineering* diartikan sebagai proses membongkar dan menganalisis suatu perangkat atau sistem untuk memahami bagaimana dan dengan prinsip apa sistem tersebut dibuat. Dalam konteks rekayasa teknik, proses ini tidak berhenti pada pembongkaran fisik, tetapi juga mencakup ekstraksi data geometri, identifikasi material, penentuan toleransi, serta pemetaan hubungan antar-komponen. Hasil akhirnya dapat berupa dokumentasi teknis yang lengkap atau model desain ulang yang setara maupun lebih baik dari produk awal. Pada dasarnya, *reverse engineering* memiliki beberapa tujuan utama, yaitu:

- Memahami prinsip kerja suatu sistem secara menyeluruh.
- Mengidentifikasi konfigurasi serta fungsi setiap komponen.
- Melakukan reproduksi atau perancangan ulang (*redesign*).

- d. Meningkatkan performa maupun efisiensi sistem yang dianalisis.

Dalam bidang teknik mesin, pendekatan ini menjadi sangat relevan ketika dokumentasi teknis tidak tersedia, tidak lengkap, atau ketika suatu sistem perlu dikembangkan tanpa akses terhadap desain aslinya. Dengan demikian, *reverse engineering* bukan sekadar aktivitas meniru, melainkan proses analitis yang menuntut ketelitian, pemahaman mekanisme, dan kemampuan interpretasi teknis yang kuat.

A. *Reverse engineering* dalam rekayasa mekanik

Dalam ranah rekayasa mekanik, *reverse engineering* tidak terbatas pada penyalinan bentuk atau dimensi semata. Pendekatan ini juga menelaah karakteristik material, sistem transmisi daya, mekanisme gerak, hingga interaksi gaya yang bekerja di dalam sistem [6]. Dengan kata lain, yang direkonstruksi bukan hanya “apa bentuknya”, tetapi juga “bagaimana ia bekerja” dan “mengapa ia mampu bekerja seperti itu”. Menurut W. Wang, proses *reverse engineering* dalam konteks manufaktur terdiri atas tiga tahapan utama [6], yaitu:

- a. *Data Acquisition* – tahap pengumpulan data geometri melalui pengukuran langsung, pemindaian 3D (*3D scanning*), maupun observasi detail terhadap komponen,
- b. *Data Processing* – hasil pengukuran kemudian diolah dan dikonversi menjadi model CAD atau model matematis yang merepresentasikan struktur produk, dan
- c. *Model Reconstruction* – tahap rekonstruksi desain dalam bentuk gambar teknik, model parametrik, serta analisis rekayasa untuk memastikan kesesuaian fungsi dan performa.

Pada sistem mekanik sederhana, seperti mesin pengupas, implementasi *reverse engineering* umumnya mencakup beberapa aspek krusial identifikasi mekanisme transmisi daya (misalnya pulley, belt, gear, dan poros), analisis distribusi gaya dan torsi, penentuan jenis material komponen, serta evaluasi sistem kerja yang meliputi proses *feeding*, *crushing*, dan *separation*.

Pendekatan ini selaras dengan metode pengembangan produk berbasis *redesign* dan *product improvement* [7]. Artinya, *reverse engineering* tidak berhenti pada reproduksi desain, tetapi berpotensi menjadi pijakan untuk peningkatan kinerja, efisiensi, maupun keandalan sistem yang dianalisis. Langkah-langkah proses *reverse engineering* untuk komponen mekanik dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Langkah-langkah proses *reverse engineering* untuk komponen mekanik [8].

B. Aplikasi *reverse engineering* pada mesin pengupas kuaci

Reverse engineering pada produk mekanik pada prinsipnya dapat dilakukan untuk kepentingan penelitian, pendidikan, maupun pengembangan internal, selama tidak melanggar paten atau hak kekayaan intelektual yang masih berlaku [7]. Artinya, aktivitas pembongkaran, pengukuran, dan analisis teknis diperbolehkan sepanjang tidak memasuki ranah komersialisasi yang melanggar perlindungan hukum atas desain tersebut.

Dalam konteks akademik, *reverse engineering* yang bertujuan untuk memahami mekanisme kerja, menyusun model analitis, atau mengembangkan alternatif desain termasuk dalam kategori yang sah secara hukum. Batasannya menjadi jelas ketika hasil analisis tersebut diarahkan pada produksi massal atau replikasi komersial dari produk yang masih dilindungi paten. Pada titik itu, aktivitas teknis berubah menjadi persoalan hukum.

Dengan demikian, *reverse engineering* dalam penelitian bukanlah praktik yang problematik, melainkan metode ilmiah yang legitim, selama dijalankan dalam koridor etika dan regulasi kekayaan intelektual yang berlaku.

2. Karakteristik fisik dan mekanik biji kuaci

Karakteristik fisik dan mekanik biji kuaci adalah fondasi utama dalam merancang proses pengupasan secara mekanis. Pada dasarnya, pengupasan adalah proses kegagalan struktur yang sengaja diarahkan pada cangkang. Artinya, mekanisme tidak sekadar “menekan” biji, tetapi harus mampu menciptakan retakan terkontrol pada kulit luar tanpa merusak inti di dalamnya [9]. Karena itu, pemahaman sifat material bukan pelengkap teori, melainkan titik awal dari seluruh perancangan. Gambar kuaci biji bunga matahari dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Kuaci biji bunga matahari [10].

A. Karakteristik fisik

Karakteristik fisik mencakup aspek dimensi dan kondisi geometris biji kuaci yang secara langsung memengaruhi perilakunya saat mengalami kontak mekanis. Parameter ini tidak berkaitan dengan kekuatan material, melainkan dengan bentuk dan ukuran nyata biji yang menentukan bagaimana biji berinteraksi dengan komponen pengupas [11].

Secara umum, karakteristik fisik meliputi ukuran (panjang, lebar, dan ketebalan), bentuk, serta kondisi permukaan biji. Ukuran biji menentukan besar celah kerja dan konfigurasi ruang pengupasan. Perbedaan ukuran yang signifikan dapat menyebabkan distribusi gaya tidak merata, sehingga sebagian biji mungkin tidak terkupas, sementara sebagian lainnya justru rusak. Bentuk biji yang cenderung lonjong juga memengaruhi orientasi saat masuk ke dalam mekanisme. Orientasi yang tidak stabil dapat menyebabkan tekanan tidak bekerja tepat pada cangkang, melainkan pada inti, sehingga meningkatkan risiko kerusakan.

Selain itu, kondisi fisik seperti keseragaman ukuran dan kebersihan permukaan turut berpengaruh terhadap konsistensi proses. Biji dengan variasi dimensi yang terlalu besar akan menyulitkan pengaturan celah tetap pada sistem rol atau mekanisme tekan lainnya. Oleh karena itu, analisis karakteristik fisik menjadi langkah awal untuk menentukan dimensi elemen pengupas dan memastikan distribusi gaya bekerja secara terkendali. Karakteristik fisik mencakup beberapa aspek berikut:

a. Ukuran dan bentuk biji

Ukuran biji kuaci umumnya dinyatakan dalam parameter panjang, lebar, dan ketebalan. Penelitian menunjukkan bahwa panjang biji bunga matahari berkisar antara 12,54–12,91 mm, lebar 5,57–5,93 mm, dan ketebalan 4–6 mm, tergantung pada kadar air dan varietasnya [12]. Ukuran biji yang meliputi panjang, lebar, dan ketebalan menjadi parameter awal

dalam menentukan dimensi ruang kerja serta pengaturan celah pada mekanisme pengupas. Besarnya celah harus disesuaikan dengan rentang ukuran biji agar tekanan yang diberikan dapat bekerja secara efektif. Apabila variasi ukuran terlalu lebar sementara celah dibuat tetap, distribusi gaya menjadi tidak konsisten. Celah yang terlalu sempit dapat menyebabkan biji berukuran besar mengalami pecah total, termasuk pada bagian inti. Sebaliknya, celah yang terlalu longgar memungkinkan biji berukuran kecil melewati mekanisme tanpa mengalami retakan pada cangkang. Kondisi ini menunjukkan bahwa presisi pengaturan celah sangat bergantung pada keseragaman ukuran bahan baku.

Selain ukuran, bentuk biji juga berpengaruh terhadap respons mekanisnya. Biji kuaci yang cenderung lonjong memiliki kecenderungan orientasi tertentu ketika memasuki ruang pengupasan [13]. Jika orientasi ini tidak stabil atau berubah-ubah, gaya tekan dapat terdistribusi tidak tepat pada cangkang, melainkan langsung mengenai inti. Akibatnya, risiko kerusakan inti meningkat meskipun gaya yang diberikan sebenarnya sudah dirancang untuk memecahkan kulit luar saja. Dengan demikian, ukuran dan bentuk biji tidak hanya menentukan konfigurasi mekanisme, tetapi juga memengaruhi efektivitas dan keamanan proses pengupasan secara keseluruhan [14].

b. Ketebalan cangkang

Ketebalan cangkang merupakan parameter yang secara langsung menentukan besarnya tegangan yang diperlukan untuk memicu retakan. Semakin tebal lapisan cangkang, semakin besar gaya tekan yang harus diberikan agar tegangan internalnya melampaui batas kekuatan material dan terjadi *fracture*. Dengan kata lain, ketebalan cangkang berbanding lurus dengan kebutuhan energi mekanis dalam proses pengupasan.

Namun, peningkatan gaya tekan tidak dapat dilakukan tanpa pertimbangan. Tekanan yang terlalu tinggi memang dapat memastikan cangkang retak, tetapi pada saat yang sama juga meningkatkan risiko kerusakan pada inti biji. Inti memiliki batas kekuatan tersendiri yang umumnya lebih rendah dibandingkan cangkang dalam konteks deformasi tekan terlokalisasi. Jika gaya yang diberikan melampaui batas tersebut, inti dapat pecah atau hancur.

Mekanisme harus dirancang untuk menghasilkan gaya yang cukup besar untuk melampaui kekuatan cangkang, tetapi tetap berada di bawah ambang kerusakan inti. Keseimbangan ini menjadi tantangan utama dalam menentukan spesifikasi celah, distribusi tekanan, dan kebutuhan torsi motor. Tanpa pemahaman terhadap ketebalan cangkang,

proses pengupasan berisiko menjadi tidak terkontrol baik dalam bentuk kegagalan kupas maupun kerusakan produk.

c. Kadar air

Kadar air merupakan faktor yang secara signifikan memengaruhi respons mekanik biji terhadap gaya tekan dan gesek. Perubahan kandungan air di dalam struktur biji akan mengubah sifat kerapuhan, elastisitas, serta ketahanan terhadap retak. Dengan demikian, kadar air tidak hanya memengaruhi kualitas bahan, tetapi juga perilaku mekanisnya saat diproses [15].

Pada kadar air rendah, cangkang cenderung menjadi lebih rapuh sehingga retakan lebih mudah terbentuk ketika diberi tekanan. Kondisi ini dapat menguntungkan dari sisi kemudahan pengupasan. Namun, inti biji juga mengalami penurunan ketangguhan, sehingga lebih rentan terhadap pecah atau hancur jika gaya yang diberikan tidak terkontrol. Sebaliknya, pada kadar air yang lebih tinggi, cangkang menjadi lebih ulet dan mampu menyerap energi lebih besar sebelum retak. Akibatnya, diperlukan gaya atau energi mekanis yang lebih tinggi untuk menghasilkan *fracture*, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kebutuhan daya mesin.

Dengan demikian, kadar air bukan sekadar variabel tambahan dalam proses pengupasan, melainkan faktor penentu dalam menentukan kebutuhan gaya tekan, efisiensi energi, serta tingkat kerusakan inti. Tanpa mempertimbangkan kadar air, parameter operasional yang telah dirancang dengan cermat dapat menjadi tidak optimal atau bahkan menghasilkan performa yang tidak konsisten.

B. Karakteristik mekanik

Karakteristik mekanik merujuk pada bagaimana material biji kuaci merespons gaya eksternal yang diberikan selama proses pengupasan. Jika karakteristik fisik berbicara tentang ukuran dan bentuk, maka karakteristik mekanik berbicara tentang kekuatan, kekakuan, dan ketahanan material saat menerima tekanan, gesekan, atau deformasi.

Dalam konteks pengupasan, respons ini menjadi sangat krusial karena proses yang terjadi bukan sekadar penekanan biasa, melainkan kegagalan material yang harus dikendalikan. Cangkang harus mencapai kondisi retak, sementara inti harus tetap berada dalam batas aman deformasi. Respons mekanik inilah yang menentukan apakah gaya yang diberikan akan menghasilkan retakan terarah pada cangkang atau justru menyebabkan kerusakan menyeluruh pada biji.

Dengan memahami karakteristik mekanik seperti kekuatan tekan, modulus elastisitas, dan ketangguhan perancang dapat memperkirakan besarnya gaya dan energi yang dibutuhkan. Tanpa pemahaman ini, mekanisme pengupasan berisiko bekerja secara tidak terkontrol, karena tidak ada acuan yang jelas mengenai batas aman dan batas kegagalan material. Karakteristik mekanik mencakup beberapa aspek berikut:

a. Kekuatan tekan cangkang

Kekuatan tekan cangkang adalah batas maksimum tegangan yang mampu ditahan oleh struktur kulit luar biji sebelum mengalami retak atau kegagalan material (*fracture*). Parameter ini merepresentasikan ambang kritis yang harus dilampaui agar proses pengupasan dapat terjadi. Dengan kata lain, selama tegangan yang diberikan masih berada di bawah nilai kekuatan tekan cangkang, struktur kulit akan tetap utuh dan tidak terjadi pemisahan [15].

Dalam konteks perancangan mekanisme pengupasan, gaya tekan yang diterapkan harus cukup untuk melampaui kekuatan tekan tersebut sehingga retakan dapat terbentuk secara terkendali. Namun, gaya tersebut tidak boleh diberikan secara berlebihan. Jika tekanan terlalu tinggi, energi yang tersalurkan tidak hanya merusak cangkang, tetapi juga dapat menghancurkan inti biji. Oleh karena itu, kekuatan tekan cangkang menjadi parameter kunci dalam menentukan batas bawah dan batas atas gaya operasi mesin.

b. Modulus elastisitas

Modulus elastisitas adalah proses untuk menentukan tingkat kekakuan suatu material ketika mengalami deformasi akibat gaya yang diberikan. Parameter ini menggambarkan seberapa besar perubahan bentuk yang terjadi sebelum material kembali ke kondisi semula atau sebelum mencapai batas retaknya. Material dengan modulus elastisitas tinggi cenderung kaku; deformasi yang terjadi relatif kecil meskipun menerima gaya yang cukup besar. Sebaliknya, material dengan modulus rendah lebih lentur dan mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum retak [16].

Dalam proses pengupasan kuaci, perbedaan modulus elastisitas antara cangkang dan inti menjadi aspek yang sangat penting. Jika cangkang memiliki sifat lebih kaku dibandingkan inti, maka tekanan yang diberikan akan lebih cepat menghasilkan konsentrasi tegangan pada lapisan luar. Sementara itu, inti yang lebih lentur dapat menyerap sebagian deformasi tanpa langsung mengalami kerusakan. Perbedaan respons inilah yang memungkinkan proses pengupasan berlangsung secara selektif retak terjadi pada cangkang, bukan pada inti.

c. Ketangguhan

Ketangguhan adalah kemampuan material untuk menyerap energi sebelum mengalami retak atau kegagalan. Berbeda dengan kekuatan tekan yang hanya menunjukkan batas tegangan maksimum, ketangguhan berkaitan dengan total energi yang dapat diserap selama proses deformasi hingga terjadi patah.

Cangkang yang memiliki ketangguhan tinggi membutuhkan energi lebih besar untuk mengalami retakan. Artinya, mekanisme pengupasan harus mampu menyalurkan energi yang cukup agar retak dapat terjadi. Sebaliknya, cangkang yang lebih rapuh akan retak dengan energi yang lebih kecil, tetapi kondisi ini juga dapat meningkatkan risiko pecahan yang tidak terkendali.

Dalam konteks desain mesin, ketangguhan menentukan seberapa besar energi mekanis baik dari tekanan maupun gesekan yang harus disediakan. Jika energi yang diberikan terlalu kecil, pengupasan tidak akan terjadi secara efektif. Jika terlalu besar, energi berlebih dapat merambat ke inti dan menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap ketangguhan material menjadi kunci dalam menjaga keseimbangan antara efektivitas pengupasan dan perlindungan kualitas inti biji [17].

3. Mesin pengupas kuaci

Mesin pengupas kuaci adalah perangkat mekanis yang dirancang untuk memisahkan cangkang (kulit luar) biji bunga matahari dari inti bijinya secara cepat dan efisien dalam skala produksi. Mesin pengupas kuaci dapat dikelompokkan ke dalam dua kategori utama berdasarkan kapasitas dan orientasi penggunaannya. Klasifikasi ini bertumpu pada skala operasional; pertama, mesin yang dirancang untuk produksi skala kecil; kedua, mesin yang dikembangkan untuk kapasitas produksi yang lebih besar [18].

Perbedaan keduanya tidak semata-mata terletak pada jumlah output yang dihasilkan. Skala produksi berimplikasi langsung pada pendekatan desain, kompleksitas mekanisme, konfigurasi sistem transmisi, serta strategi pemisahan antara inti dan kulit. Pada mesin skala kecil, sistem biasanya lebih sederhana, komponen lebih sedikit, dan kontrol proses relatif minimal. Sebaliknya, mesin berkapasitas besar cenderung memiliki mekanisme yang lebih kompleks, sistem pengaturan yang lebih presisi, serta tuntutan efisiensi yang lebih tinggi untuk menjaga konsistensi kualitas hasil kupasan.

Dengan demikian, klasifikasi berdasarkan kapasitas bukan hanya soal kuantitas produksi, melainkan mencerminkan perbedaan mendasar dalam filosofi desain dan strategi operasional yang diterapkan pada masing-masing tipe mesin.

A. Mesin pengupas kuaci skala kecil

Mesin pengupas kuaci berkapasitas kecil umumnya dirancang untuk memenuhi kebutuhan industri rumahan yang tidak menuntut volume produksi tinggi. Orientasi desainnya lebih menekankan kesederhanaan konstruksi, kemudahan perawatan, serta biaya pembuatan yang relatif rendah. Mekanisme pemecah yang digunakan biasanya berupa roll dengan tujuan meretakkan cangkang tanpa merusak inti di dalamnya. Tahap pemecahan ini menjadi fondasi proses selanjutnya, karena kualitas retakan sangat menentukan keberhasilan pemisahan.

Prinsip kerjanya bertumpu pada perbedaan sifat mekanik antara cangkang dan inti. Ketika kuaci dimasukkan ke dalam celah lalu ditekan, kedua sisi permukaan alat memberikan tekanan langsung pada cangkang. Karena cangkang lebih rapuh dibanding inti, retakan terjadi terlebih dahulu pada lapisan luar, sementara inti terdorong keluar melalui bagian bawah. Secara konseptual, mekanismenya sangat mendasar: gaya tekan terkontrol digunakan untuk memicu kegagalan struktur pada material yang lebih lemah tanpa menghancurkan bagian yang lebih kuat.

Namun, proses ini berlangsung satu per satu. Kapasitasnya rendah dan sepenuhnya ditentukan oleh kecepatan serta konsistensi pengguna. Tekanan yang terlalu besar dapat merusak inti, sedangkan tekanan yang kurang memadai membuat cangkang tidak terbelah sempurna. Variabilitas hasil hampir tak terhindarkan karena tidak ada sistem pengatur gaya atau pembatas celah yang presisi.

Keunggulan utama alat ini terletak pada kesederhanaannya: ringkas, portabel, tidak membutuhkan energi listrik, serta berbiaya rendah. Akan tetapi, dari perspektif produktivitas dan konsistensi kualitas, performanya jauh di bawah mesin bermotor. Dengan demikian, alat manual ini merepresentasikan bentuk paling elementer dari mekanisme pengupasan efektif untuk kebutuhan personal atau skala sangat kecil, tetapi terbatas ketika tuntutan efisiensi dan volume produksi meningkat [19].

Permasalahan yang kerap muncul pada mesin skala kecil meliputi efisiensi pemisahan yang rendah, tingginya kehilangan inti akibat terbawa limbah cangkang, serta ketergantungan pada penyortiran manual untuk memperbaiki hasil akhir. Peningkatan kecepatan blower sering dianggap sebagai solusi cepat untuk memperbaiki pemisahan.

Dengan demikian, tantangan utama mesin skala kecil bukan semata pada tahap pemecahan, melainkan pada integrasi sistem pemisahan yang mampu bekerja selektif tanpa mengorbankan kualitas hasil. Gambar mesin pengupas kuaci skala kecil dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Mesin pengupas kuaci skala kecil [20].

B. Mesin pengupas kuaci skala industri

Mesin pengupas kuaci skala industri merupakan sistem mekanis berkapasitas besar yang dirancang untuk bekerja secara kontinu, stabil, dan efisien dalam volume produksi tinggi. Mesin ini digunakan untuk fasilitas pengolahan pangan dengan kapasitas puluhan hingga ratusan kilogram per jam, bahkan dapat mencapai skala ton per hari bergantung pada konfigurasi lini produksinya. Fokus utamanya bukan hanya kuantitas, tetapi juga konsistensi mutu hasil kupasan.

Secara operasional, mesin industri memanfaatkan kombinasi gaya tekan, gesek, dan tumbukan terkontrol yang dihasilkan oleh silinder atau roll berputar. Biji dimasukkan melalui *hopper* otomatis, lalu dialirkan menuju ruang pengupasan yang berisi pasangan roll atau drum abrasif. Di dalam ruang ini, biji menerima tegangan mekanis yang dirancang cukup untuk meretakkan cangkang tanpa merusak inti. Pengaturan kecepatan putar dan celah antar-roll dilakukan secara presisi melalui sistem transmisi dan pengendali kecepatan, sehingga proses tetap stabil meskipun beban bahan berubah.

Tahap berikutnya adalah pemisahan. Campuran inti dan cangkang diarahkan ke sistem yang umumnya menggabungkan ayakan bergetar dan aliran udara dari blower. Perbedaan massa jenis antara inti dan kulit dimanfaatkan sebagai dasar pemisahan: serpihan cangkang yang lebih ringan terangkat oleh aliran udara, sedangkan inti yang lebih

berat jatuh ke jalur keluaran terpisah. Pada beberapa konfigurasi, biji yang belum terkupas sempurna akan disirkulasikan kembali ke ruang pengupasan untuk diproses ulang, sehingga meningkatkan efisiensi total sistem.

Dari sisi konstruksi, mesin ini biasanya menggunakan rangka baja berkekuatan tinggi, motor listrik berdaya besar, bearing dengan ketahanan beban tinggi, serta mekanisme penyetelan celah yang akurat. Keunggulan utamanya terletak pada kapasitas produksi yang besar, konsistensi hasil, dan efisiensi waktu kerja. Namun, performa tersebut datang dengan konsekuensi: investasi awal yang tinggi, konsumsi energi yang signifikan, serta kebutuhan perawatan rutin untuk menjaga presisi dan keandalan sistem [21].

Dengan desain yang terintegrasi dan tingkat otomasi yang tinggi, mesin pengupas kuaci industri mampu menghasilkan inti dalam jumlah besar dengan tingkat kerusakan relatif rendah dan mutu yang lebih seragam dibandingkan sistem skala kecil. Gambar mesin pengupas kuaci skala industri dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Mesin pengupas kuaci skala industri [21].

C. Mesin pengupas kuaci skala menengah

Mesin pengupas kuaci skala menengah merupakan adaptasi dari mesin pengupas kuaci dari skala industri ke versi portabel pada dasarnya merupakan proses penyederhanaan terkontrol. Prinsip kerja utama pemecahan cangkang melalui kombinasi gaya tekan dan gesek, lalu pemisahan inti dan kulit tetap dipertahankan. Pada mesin pengupas kuaci skala menengah ini ada beberapa perubahan pada skala, konfigurasi, dan tingkat kompleksitas sistem. Mesin industri dirancang untuk kapasitas besar, konstruksi masif, dan operasi kontinu. Sebaliknya, versi portabel harus menjawab keterbatasan ruang, daya listrik, serta kebutuhan mobilitas. Karena itu, fokus adaptasi terletak pada reduksi dimensi, penyederhanaan komponen, dan peningkatan efisiensi energi.

Pada mesin industri, ruang pengupasan sering terdiri atas silinder berdiameter besar atau beberapa tahap roll yang terintegrasi dengan sistem pemisahan. Dalam versi portabel, konfigurasi ini biasanya diringkas menjadi satu unit roll atau satu silinder pengupas berdimensi lebih kecil. Motor berdaya besar digantikan oleh motor listrik berdaya rendah atau motor DC yang lebih hemat energi. Sistem transmisi pun dibuat lebih sederhana umumnya cukup menggunakan pulley dan belt tanpa gearbox kompleks [22]. Rangka baja berat diganti dengan struktur yang lebih ringan namun tetap memiliki kekakuan memadai untuk menjaga stabilitas selama operasi.

Sistem pemisahan juga mengalami rasionalisasi. Jika pada mesin industri digunakan kombinasi ayakan bertingkat dan blower berkapasitas besar, maka pada versi portabel cukup diterapkan ayakan tunggal atau blower kecil berdaya rendah. Dalam beberapa desain, ruang pengupasan dan pemisahan bahkan digabungkan dalam satu kompartemen untuk menghemat ruang dan menyederhanakan aliran material.

Tantangan utama dalam proses adaptasi ini adalah menjaga keseimbangan antara efektivitas pengupasan dan keterbatasan ukuran. Penyederhanaan yang berlebihan berisiko meningkatkan kerusakan inti atau menurunkan efisiensi kupasan. Selain itu, karena dimensi sistem lebih kecil, pengaturan celah roll dan kecepatan putar menjadi jauh lebih sensitif terhadap variasi ukuran dan kadar air bahan baku. Oleh sebab itu, desain portabel perlu menyediakan mekanisme penyetelan yang mudah dan presisi agar tetap adaptif terhadap perubahan kondisi operasi.

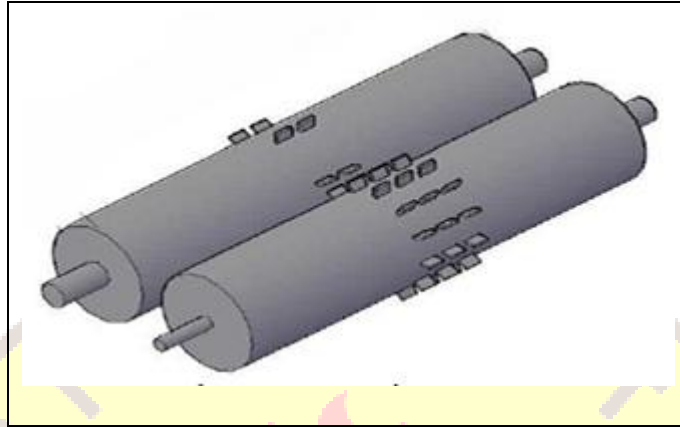
Dengan demikian, adaptasi dari skala industri ke portabel bukan sekadar “mengecilkan” mesin. Proses ini menuntut optimalisasi ulang keseluruhan sistem menata ulang energi, gaya, dan aliran material agar tetap fungsional, efisien, dan relevan untuk kebutuhan produksi skala kecil hingga menengah.

4. Sistem pengupasan

Sistem pengupasan adalah mekanisme inti dalam mesin pengupas kuaci yang berfungsi memecahkan cangkang tanpa merusak inti biji. Secara teknis, sistem ini dirancang untuk menghasilkan tegangan mekanik yang cukup untuk menyebabkan retak pada cangkang (*fracture*), namun tetap berada di bawah batas kekuatan inti. Dengan demikian, keberhasilan proses sangat ditentukan oleh kemampuan sistem dalam mengendalikan besar gaya serta distribusinya secara tepat [23].

Beberapa tipe mekanisme pengupasan umum digunakan dalam praktik. Sistem roll merupakan yang paling banyak diterapkan, yaitu menggunakan dua silinder berputar

dengan jarak celah tertentu. Ketika kuaci melewati celah tersebut, biji mengalami gaya tekan dan geser yang menyebabkan cangkang retak. Jarak antar-roll (*clearance*) menjadi parameter utama karena secara langsung memengaruhi besarnya gaya yang diterima biji. Gambar sistem pengupasan dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Gambar sistem pengupasan [23].

Selain sistem roll, terdapat sistem silinder abrasif. Pada mekanisme ini, kuaci mengalami gesekan dan tumbukan ringan di dalam ruang berputar hingga cangkang pecah. Terdapat pula sistem plat tekan yang konstruksinya lebih sederhana dan umumnya digunakan pada alat manual atau mesin berkapasitas kecil. Masing-masing sistem memiliki karakteristik gaya yang berbeda sehingga berdampak pada kualitas hasil pengupasan.

Kinerja sistem pengupasan dipengaruhi oleh beberapa variabel penting, antara lain kecepatan putaran, tekanan atau jarak antar-komponen, tingkat kekasaran permukaan pengupas, serta kondisi bahan seperti ukuran dan kadar air kuaci. Kecepatan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan risiko kerusakan inti akibat tumbukan berlebih, sedangkan tekanan yang terlalu kecil menyebabkan sebagian biji tidak terkupas [24]. Oleh karena itu, sistem yang baik perlu dilengkapi mekanisme penyetelan agar dapat menyesuaikan dengan variasi bahan baku.

Secara konseptual, sistem pengupasan tidak hanya berfungsi memecahkan cangkang, tetapi mengendalikan kegagalan material secara selektif. Desain yang efektif adalah desain yang mampu mencapai tingkat pengupasan tinggi dengan persentase kerusakan inti yang rendah serta penggunaan energi yang efisien.

A. Parameter mekanis pengupasan

Parameter mekanis pengupasan merupakan variabel fisik yang secara langsung menentukan keberhasilan proses pemecahan cangkang tanpa merusak inti. Parameter-parameter ini mengontrol besarnya tegangan yang bekerja pada biji selama proses berlangsung. Ketidaktepatan dalam satu variabel saja dapat mengubah hasil secara signifikan, baik dalam bentuk inti yang pecah maupun cangkang yang tidak terkelupas sempurna. Berikut adalah parameter utama dalam sistem pengupasan kuaci:

a. Gaya tekan

Gaya tekan merupakan faktor utama yang memicu retaknya cangkang. Besarnya gaya harus melampaui kekuatan patah cangkang, tetapi tetap berada di bawah batas ketahanan inti. Gaya yang berlebihan menyebabkan inti pecah, sedangkan gaya yang terlalu kecil membuat proses pengupasan tidak efektif.

b. Jarak celah (*Clearance*)

Jarak antar-roll atau antara roll dan dinding ruang pengupasan menentukan distribusi tekanan pada biji. Celah yang terlalu sempit meningkatkan risiko tekanan berlebih, sementara celah yang terlalu lebar mengurangi efektivitas retakan. Oleh karena itu, clearance menjadi parameter penyetelan yang sangat krusial dalam desain.

c. Kecepatan putaran (RPM)

Kecepatan putar memengaruhi gaya dinamis, gesekan, dan intensitas tumbukan. RPM yang tinggi meningkatkan energi kinetik sehingga proses menjadi lebih agresif, namun risiko kerusakan inti juga meningkat. Sebaliknya, RPM rendah lebih aman bagi inti tetapi dapat menurunkan tingkat pengupasan.

d. Koefisien gesek permukaan

Kekasaran permukaan roll atau silinder menentukan besarnya gaya geser yang bekerja pada cangkang. Permukaan yang terlalu halus kurang efektif menghasilkan retakan, sedangkan permukaan yang terlalu kasar berpotensi merusak inti.

e. Torsi dan daya motor

Torsi berperan dalam menjaga kestabilan putaran saat sistem menerima beban. Jika torsi tidak mencukupi, putaran akan menurun ketika jumlah bahan meningkat, sehingga proses menjadi tidak konsisten. Daya motor harus disesuaikan agar sistem mampu bekerja stabil tanpa pemborosan energi.

f. Kadar air dan ukuran biji (Parameter material)

Walaupun bukan parameter mesin secara langsung, kondisi bahan sangat menentukan respons terhadap gaya mekanis. Kadar air rendah cenderung membuat

cangkang lebih rapuh, namun pada saat yang sama dapat meningkatkan risiko retaknya inti. Variasi ukuran biji juga memengaruhi distribusi tekanan selama proses berlangsung.

Secara keseluruhan, parameter-parameter ini saling berkaitan dan tidak dapat dioptimalkan secara terpisah. Desain sistem pengupasan yang baik harus mempertimbangkan keseimbangan antarvariabel agar diperoleh tingkat pengupasan tinggi dengan kerusakan inti yang minimal serta penggunaan energi yang efisien [23].

B. Kinerja pengupasan

Kinerja pengupasan merupakan indikator yang menunjukkan seberapa efektif dan efisien suatu mesin dalam memisahkan cangkang dari inti kuaci tanpa menyebabkan kerusakan yang berlebihan. Penilaian kinerja tidak dapat disederhanakan hanya pada jumlah biji yang berhasil terkupas [25]. Lebih dari itu, kinerja mencerminkan kualitas hasil, kestabilan proses selama operasi, serta besarnya energi yang dikonsumsi. Dengan kata lain, mesin yang “cepat” belum tentu “baik” apabila kualitas inti menurun atau energi yang dibutuhkan terlalu besar. Secara umum, evaluasi kinerja pengupasan dilakukan melalui beberapa indikator utama berikut:

a. Persentase tingkat pengupasan (*Peeling efficiency*)

Parameter ini menunjukkan persentase biji yang berhasil terkelupas dibandingkan total bahan yang diproses. Nilai yang tinggi menandakan efektivitas sistem dalam memecahkan cangkang secara konsisten.

b. Persentase kerusakan inti (*Kernel breakage rate*)

Indikator ini menggambarkan jumlah inti yang pecah atau hancur selama proses berlangsung. Nilainya harus dijaga serendah mungkin karena kerusakan inti secara langsung menurunkan mutu dan nilai ekonomis produk.

c. Kapasitas produksi (*Throughput*)

Kapasitas produksi menyatakan jumlah bahan yang dapat diproses dalam satuan waktu, misalnya kilogram per jam. Nilai ini merepresentasikan produktivitas sistem, namun tetap harus dianalisis bersama tingkat kerusakan inti dan efisiensi pemisahan agar tidak menyesatkan.

d. Efisiensi pemisahan

Parameter ini menunjukkan kemampuan sistem dalam memisahkan inti dari cangkang setelah proses pemecahan. Pemisahan yang kurang efektif akan menghasilkan campuran yang tidak murni dan berpotensi memerlukan proses tambahan.

e. Konsumsi energi

Efisiensi energi diukur dari besarnya energi yang digunakan untuk mencapai tingkat pengupasan tertentu. Mesin yang mampu menghasilkan pengupasan tinggi dengan energi minimal dinilai lebih efisien secara operasional.

Secara keseluruhan, kinerja pengupasan adalah hasil dari keseimbangan berbagai indikator tersebut. Mesin yang ideal bukan hanya mampu mengupas dalam jumlah besar, tetapi juga menjaga kualitas inti, memisahkan secara bersih, serta bekerja dengan konsumsi energi yang rasional.

5. Material *food grade* pada mesin pengupas kuaci

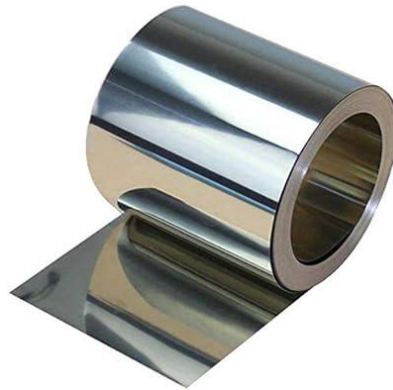
Material *food grade* adalah bahan yang aman untuk kontak langsung dengan pangan. Kriteria utamanya meliputi tidak bereaksi secara kimia dengan produk, tidak mengubah rasa maupun aroma, serta mudah dibersihkan dan disanitasi. Dalam konteks mesin pengupas kuaci, pemilihan material menjadi aspek krusial karena inti biji yang telah terkelupas umumnya langsung dikonsumsi atau diproses lebih lanjut [21]. Kesalahan dalam pemilihan bahan bukan hanya persoalan teknis, tetapi juga menyangkut keamanan pangan. Berikut adalah material yang umum digunakan:

A. Stainless Steel 304

Stainless Steel 304 merupakan pilihan utama untuk komponen yang bersentuhan langsung dengan produk, seperti *hopper*, ruang pengupasan, saluran keluaran, dan ayakan. Material ini dipilih karena memiliki ketahanan korosi yang baik, tidak bereaksi dengan bahan pangan, serta memiliki permukaan halus yang memudahkan pembersihan. Selain itu, ketahanannya terhadap kelembapan menjadikannya stabil dalam lingkungan produksi pangan. Karakteristik utama pada stainless steel 304 adalah:

- a. Tahan terhadap korosi
- b. Tidak bereaksi dengan bahan pangan
- c. Permukaan halus sehingga mudah dibersihkan
- d. Tahan terhadap kelembapan

Pada lingkungan produksi dengan kadar garam tinggi atau proses pencucian yang intensif, Stainless Steel 316 lebih disarankan karena memiliki ketahanan korosi yang lebih baik. Material stainless steel 304 dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Stainless steel 304 [26].

B. Plastik *food grade*

Untuk komponen ringan seperti corong tambahan, pelindung, atau penutup, plastik *food grade* dapat digunakan. Jenis yang umum dipakai antara lain HDPE (*High-Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*) [27]. Material ini memiliki keunggulan berupa bobot ringan, tidak berkarat, dan biaya relatif lebih rendah. Namun demikian, plastik tidak ideal untuk bagian yang menerima beban mekanis tinggi atau tekanan besar, karena kekuatan dan ketahanannya terhadap deformasi lebih rendah dibanding logam. Namun, material ini tidak direkomendasikan untuk bagian yang menerima beban mekanis tinggi atau gaya tekan besar karena kekuatan strukturnya terbatas dibanding logam. Material plastik *food grade* dapat dilihat pada gambar 8.

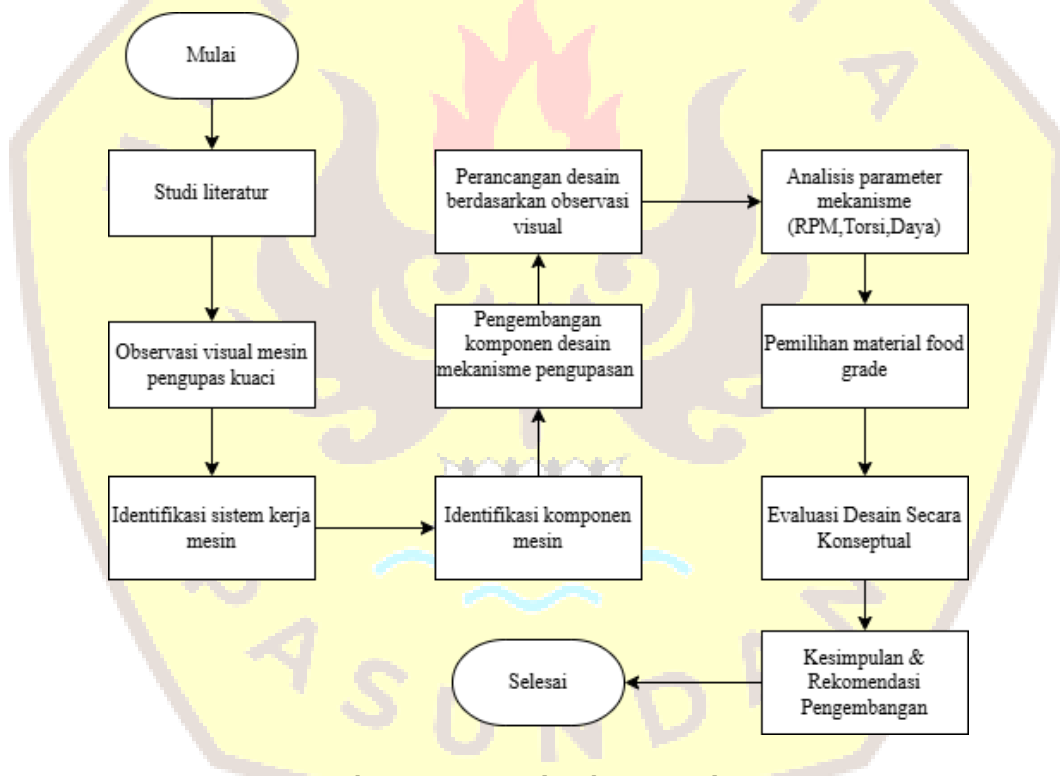


Gambar 8. Material plastik *food grade* [28].

BAB III METODOLOGI

1. Tahapan penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan agar dapat dilaksanakan secara teratur dan sistematis. Tahapan-tahapan penelitian yang dilaksanakan meliputi studi literatur, observasi visual mesin pengupas kuaci, identifikasi sistem kerja mesin, perancangan desain berdasarkan observasi visual, pengembangan komponen desain mekanisme pengupasan, analisis parameter mekanisme (RPM, Torsi, Daya), pemilihan material *food grade*, evaluasi desain secara konseptual, kesimpulan dan rekomendasi pengembangan dan selesai. Diagram alir tahapan penelitian dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir tahapan penelitian.

Tahapan penelitian yang digambarkan menggunakan diagram alir di atas, dijelaskan dalam poin-poin berikut:

- A. Studi literatur adalah proses peninjauan dari berbagai jenis sumber, seperti artikel, jurnal ilmiah, buku referensi, standar teknis, hasil peneliti terdahulu dan publikasi lainnya. Studi literatur bertujuan untuk memahami suatu topik dari penelitian sebelumnya.

- B. Observasi visual mesin pengupas kuaci adalah proses dilakukan pengamatan langsung terhadap mesin pengupas kuaci yang menjadi objek penelitian. Pengamatan difokuskan pada bentuk, susunan, dan cara kerja mesin tanpa membongkar atau mengukur secara detail. Hasilnya digunakan untuk mengidentifikasi kelebihan dan kelemahan mekanisme yang ada.
- C. Identifikasi sistem kerja mesin adalah proses identifikasi komponen utama yang berperan langsung dalam proses pengupasan, seperti roll atau pelat pengupas, housing, dan jalur aliran kuaci. Setiap komponen dianalisis berdasarkan fungsi mekaniknya dan perannya dalam sistem untuk menentukan potensi pengembangan atau penyempurnaan pada desain baru.
- D. Identifikasi komponen mesin adalah proses mengidentifikasi dan mendokumentasikan setiap komponen utama yang menyusun mesin, seperti rangka, poros, mekanisme pengupas, motor penggerak, serta elemen pendukung lainnya. Setiap komponen tidak hanya dicatat secara fisik, tetapi juga dianalisis berdasarkan fungsinya dalam sistem.
- E. Pengembangan komponen desain mekanisme pengupasan adalah proses mengembangkan desain komponen utama mekanisme pengupasan, seperti rol pengupas, poros, dan dudukan, berdasarkan hasil pemodelan CAD dan analisis mekanis. Pengembangan dilakukan dengan memperbaiki bentuk, ukuran, posisi, dan hubungan antar komponen agar mekanisme dapat memecahkan cangkang kuaci secara efektif tanpa merusak inti biji. Hasil dari tahap ini adalah desain mekanisme pengupasan yang lebih optimal dan dapat digunakan sebagai dasar untuk pembuatan atau pengembangan mesin selanjutnya.
- F. Perancangan desain berdasarkan observasi visual adalah proses rekonstruksi mesin yang dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap bentuk, susunan, dan hubungan antar komponen tanpa pembongkaran atau pengukuran detail. Pada tahap ini, dilakukan identifikasi geometri komponen, konfigurasi sistem, serta prinsip kerja mekanisme pengupasan. Informasi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menggambar ulang dan membuat model menggunakan perangkat lunak CAD.
- G. Analisis parameter mekanisme (RPM, Torsi, Daya) adalah proses menganalisis karakteristik mekanis mesin berdasarkan model yang telah dibuat, meliputi perkiraan putaran poros, gaya yang bekerja selama proses pengupasan, serta prinsip kerja mekanismenya. Analisis ini penting untuk memastikan bahwa setiap komponen dapat bekerja sesuai fungsinya dan mampu menghasilkan proses pengupasan yang efektif dan andal.

- H. Pemilihan material *food grade* adalah proses pemilihan material yang bertujuan menentukan material yang aman untuk pengaplikasian produk pangan, khususnya pada komponen yang bersentuhan langsung dengan kuaci. Pemilihan material *food grade* didasarkan pada sifat mekanik, ketahanan aus, kemudahan pembersihan, serta kesesuaian dengan standar pangan. Tahapan ini menjadi faktor pembeda pada desain awal berbasis prototipe sederhana dan desain yang lebih layak secara teknis.
- I. Evaluasi desain secara konseptual adalah proses evaluasi desain yang dilakukan untuk menilai kesesuaian desain dengan tujuan penelitian. Evaluasi mencakup fungsi mekanisme pengupasan, kelayakan mekanik, kemudahan perakitan, serta keamanan penggunaan untuk aplikasi pangan. Proses evaluasi bersifat konseptual dan analitis tanpa pengujian eksperimental, sesuai dengan batasan masalah penelitian.
- J. Kesimpulan dan rekomendasi pengembangan ini merangkum seluruh hasil penelitian dalam bentuk kesimpulan yang menjawab rumusan masalah. Selain itu, disusun rekomendasi pengembangan sebagai acuan penelitian lanjutan, seperti pengujian performa, optimasi desain, atau pengembangan menuju prototipe fungsional.

2. Tempat penelitian

Penelitian ini dilakukan di Fakultas Teknik Universitas Pasundan Jalan Dr. Setiabudi No. 193, Gegerkalong, Kec. Sukarsari, Kota Bandung, Jawa Barat 40153. Lokasi penelitian dapat dilihat pada gambar 10.

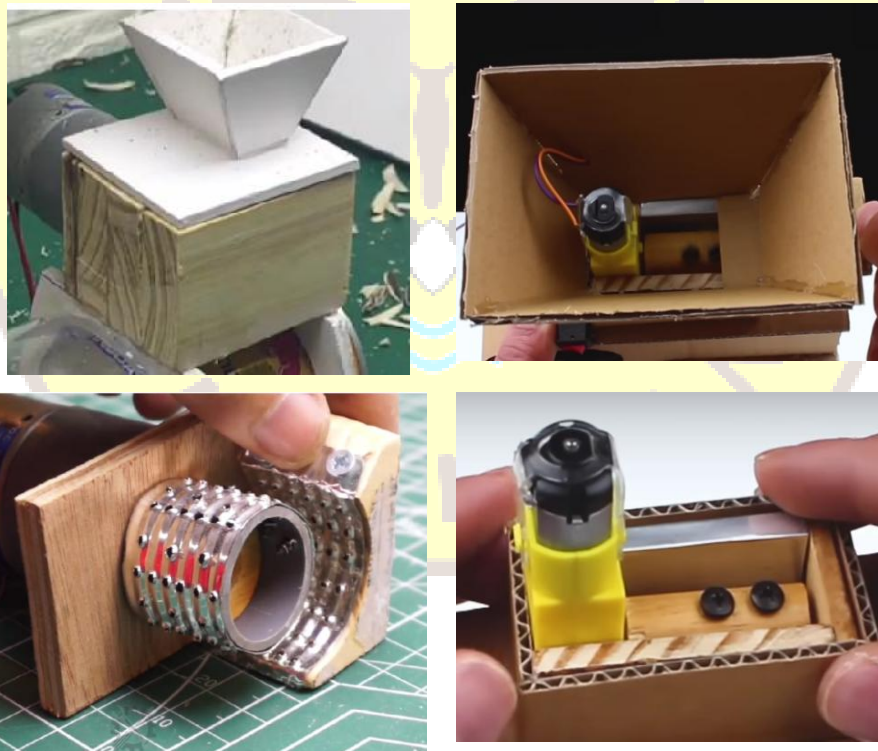


Gambar 10. Lokasi penelitian.

3. Objek *reverse engineering*

Pada penelitian ini objek yang menjadi fokus proses *reverse engineering* adalah mekanisme pengupasan kuaci bunga matahari yang terdapat pada mesin pengupas kuaci. Mekanisme tersebut terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu roll pengupas, dinding pengupas, dan *hopper*. Pemilihan mekanisme ini didasarkan pada perannya yang sangat menentukan keberhasilan proses pengupasan, karena interaksi antar komponen tersebut secara langsung memengaruhi kemampuan mesin dalam memecahkan cangkang serta mempertahankan keutuhan inti biji.

Proses *reverse engineering* dilakukan melalui pengamatan terhadap bentuk, dimensi, konfigurasi, serta hubungan kerja antar komponen yang menyusun mekanisme pengupasan. Selain itu, prinsip kerja mekanisme juga dipelajari untuk memahami bagaimana gaya dan gerakan yang dihasilkan dapat mendukung proses pemecahan cangkang kuaci. Informasi yang diperoleh dari tahap ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan model tiga dimensi, pembuatan gambar teknik, serta analisis kinerja mekanisme pengupasan. Gambar objek yang akan dilakukan *reverse engineering* dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11. Objek yang akan dilakukan *reverse engineering* [29], [30].

Melalui proses *reverse engineering*, karakteristik desain dan cara kerja mekanisme dapat dipahami secara lebih menyeluruh. Pemahaman tersebut menjadi landasan penting untuk mengidentifikasi kelebihan dan keterbatasan desain yang ada, sekaligus memberikan arah dalam pengembangan dan penyempurnaan mekanisme pengupasan agar diperoleh kinerja yang lebih efektif dan menghasilkan kualitas pengupasan yang lebih baik.

4. Pengujian yang dilakukan

Penelitian ini tidak melibatkan pengujian eksperimental secara langsung. Sebagai gantinya, pendekatan yang digunakan bertumpu pada analisis berbasis desain serta evaluasi parameter mekanis yang relevan terhadap kinerja alat.

Data penelitian dihimpun melalui observasi terhadap mesin yang telah dikembangkan. Informasi yang dikumpulkan mencakup dimensi tiap komponen, konfigurasi mekanisme pengupasan, hingga parameter operasional utama seperti kecepatan putar dan kapasitas produksi. Data ini menjadi fondasi untuk memahami bagaimana desain memengaruhi performa sistem secara keseluruhan.

Fokus analisis diarahkan pada mekanisme roll pengupas sebagai elemen kunci dalam proses pemisahan cangkang. Kajian ini menitik beratkan pada interaksi antara gaya tekan dan gaya gesek yang bekerja pada biji kuaci, karena kedua faktor tersebut sangat menentukan keberhasilan proses pengupasan tanpa merusak inti biji.

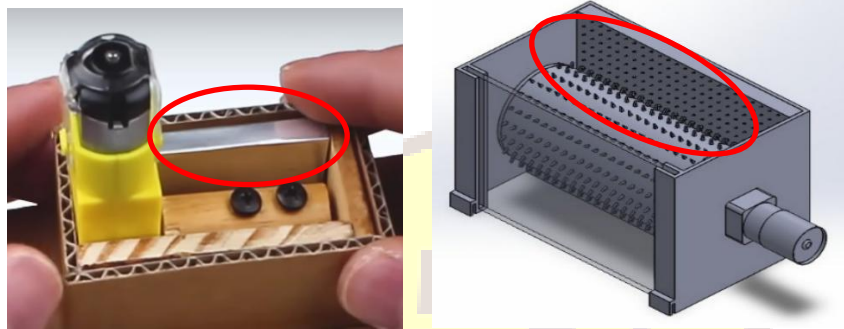
A. Desain mekanisme pengupasan

Desain mekanisme pengupasan pada penelitian ini dibuat menggunakan software SolidWorks berdasarkan hasil observasi pada referensi dari video youtube dan mekanisme pengupasan mesin pembanding serta analisis karakteristik fisik kuaci bunga matahari. Perancangan difokuskan pada sistem roll pengupas dan dinding pengupas yang berperan penting dalam proses pemecahan cangkang tanpa merusak inti biji.

Mekanisme pengupasan bekerja dengan prinsip kombinasi gaya tekan dan gaya gesek, di mana roll memberikan tekanan pada permukaan kuaci, sedangkan dinding pengupas menahan pergerakan kuaci agar tidak mengalami slip selama proses berlangsung.

Pada tahap awal perancangan, ditemukan bahwa permukaan dinding pengupas yang terlalu halus menyebabkan kuaci ikut berputar mengikuti roll sehingga tekanan yang diterima tidak maksimal. Akibatnya, sebagian kuaci keluar dari area pengupasan tanpa mengalami pemecahan cangkang secara optimal. Permasalahan tersebut kemudian diatasi dengan menambahkan tekstur kasar pada permukaan dinding pengupas untuk

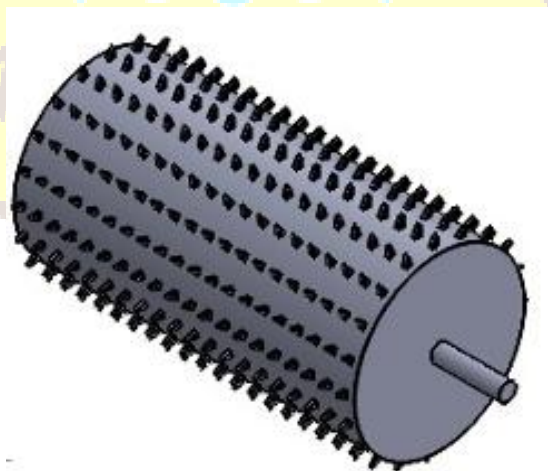
meningkatkan gaya gesek dan memperpanjang kontak kuaci dengan roll. Dengan meningkatnya gaya gesek, tekanan yang dihasilkan roll menjadi lebih efektif sehingga proses pengupasan dapat berlangsung lebih optimal. Gambar dinding permukaan halus dan permukaan kasar dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12. Dinding permukaan halus dan permukaan kasar.

B. Desain roll pengupasan

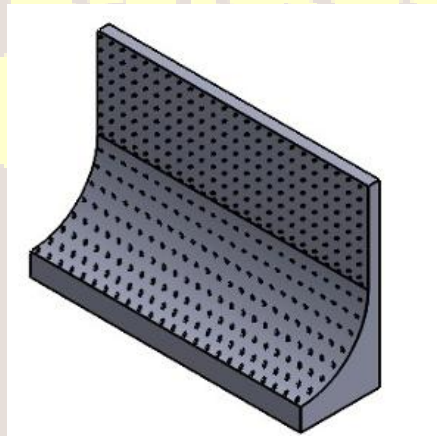
Roll pengupas dirancang dengan diameter 50 mm dan panjang 100 mm sebagai komponen utama yang berperan langsung dalam proses pengupasan. Untuk meningkatkan kinerjanya, permukaan roll dilengkapi tekstur berbentuk duri yang berfungsi memperbesar gaya gesek antara roll dan cangkang kuaci. Adanya tekstur ini membuat kontak antara kuaci dan roll menjadi lebih kuat, sehingga tekanan yang diberikan dapat bekerja lebih efektif dalam memicu retakan pada cangkang dan meningkatkan keberhasilan proses pengupasan. Desain roll pengupasan dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Desain roll pengupasan.

C. Desain dinding pengupasan

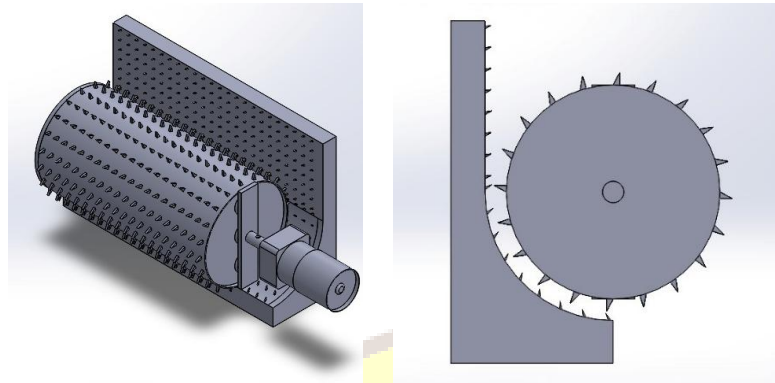
Dinding pengupas dirancang dengan bentuk lengkung untuk menghasilkan distribusi tekanan yang lebih bertahap selama proses pengupasan. Desain ini memungkinkan kuaci mengalami tekanan secara lebih terkendali saat melewati area pengupasan, sehingga risiko kerusakan pada inti biji dapat dikurangi. Selain itu, bentuk lengkung membantu meminimalkan tumbukan langsung yang berpotensi menyebabkan pecah atau rusaknya inti kuaci. Rancangan mekanisme pengupasan yang telah dibuat kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis parameter mekanis serta evaluasi kinerja proses pengupasan untuk memastikan mekanisme dapat bekerja secara efektif sesuai tujuan perancangan. Gambar desain dinding pengupasan dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Desain dinding pengupasan.

D. Parameter desain mekanisme pengupasan

Parameter desain pada mekanisme pengupasan meliputi diameter dan panjang roll, celah pengupasan, tekstur permukaan dinding pengupas yang digunakan untuk mengatur variasi putaran roll. Setiap parameter dirancang untuk mendukung proses pengupasan agar cangkang kuaci dapat pecah secara efektif tanpa merusak inti biji. Gambar komponen desain mekanisme pengupasan dan tabel parameter desain pengupasan dapat dilihat pada gambar 15 dan tabel 1.



Gambar 15. Komponen desain mekanisme pengupasan.

Tabel 1. Parameter desain mekanisme pengupasan.

Parameter	Keterangan
Diameter roll	50 mm
Panjang roll	100 mm
Celah pengupasan	7 mm
Tekstur dinding	Permukaan kasar
Motor penggerak	Motor DC

5. Alat ukur dan bahan yang digunakan

Pada penelitian ini menggunakan beberapa alat ukur dan bahan. Alat ukur dan bahan yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada tabel 2 dan 3 berikut.

Tabel 2. Alat ukur yang digunakan.

No	Alat	Jumlah
1.	Laptop/Komputer	1
2.	SolidWorks	1
3.	Jangka sorong	1
4.	Techometer	1

Tabel 3. Bahan yang digunakan.

	Bahan	
1.	Data mesin hasil observasi	1
2.	Data karakteristik biji kuaci	1

6. Metode pengolahan data hasil pengukuran/pengujian

Data dalam penelitian ini dianalisis melalui kombinasi perhitungan teknik dan pendekatan konseptual, sehingga tidak hanya berhenti pada angka, tetapi juga pada pemahaman secara logis sesuai dengan kondisi kerja mesin.

Tahap perhitungan difokuskan pada penentuan parameter mekanisme utama, seperti kecepatan linier, torsi, presentase biji dan cangkang terkupas. Parameter-parameter ini kemudian dilakukan analisis hubungan antara parameter desain dengan kinerja proses pengupasan, sehingga dapat diketahui apakah desain yang digunakan sudah cukup efektif atau belum.

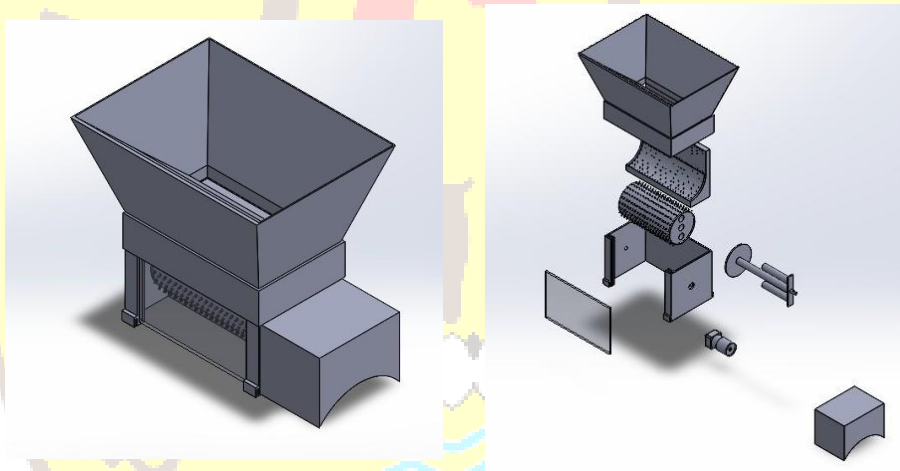
Hasil dari analisis tersebut kemudian dievaluasi untuk melihat kesesuaian desain mekanisme pengupasan. Tahap ini, dapat diketahui bagian mana yang masih kurang optimal, sehingga bisa menjadi dasar untuk melakukan perbaikan agar kinerja mesin menjadi lebih baik.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hasil pengembangan desain mekanisme pengupasan

Berdasarkan hasil evaluasi pengujian awal, dilakukan pengembangan desain pada dinding pengupas dengan menambahkan tekstur permukaan yang lebih kasar. Modifikasi ini bertujuan untuk meningkatkan gaya gesek antara kuaci dan dinding pengupas sehingga kuaci dapat tertahan lebih baik dan tidak mudah mengalami slip selama proses pengupasan.

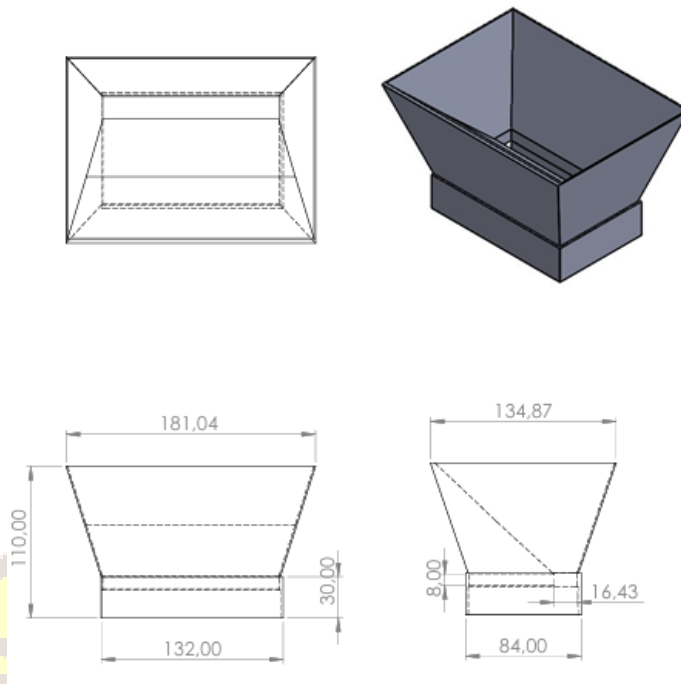
Berdasarkan hasil evaluasi pengujian awal, dilakukan penyesuaian pada area kontak pengupasan serta sistem transmisi pulley untuk menghasilkan variasi putaran roll yang sesuai dengan kebutuhan pengujian. Hasil pengembangan menghasilkan mekanisme pengupasan yang terdiri atas *hopper*, roll pengupas, dinding pengupas, poros roll, rangka penopang, dan sistem transmisi. Gambar desain mekanisme pengupasan dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. Desain mekanisme pengupasan.

A. Desain pada *hopper* pengupasan

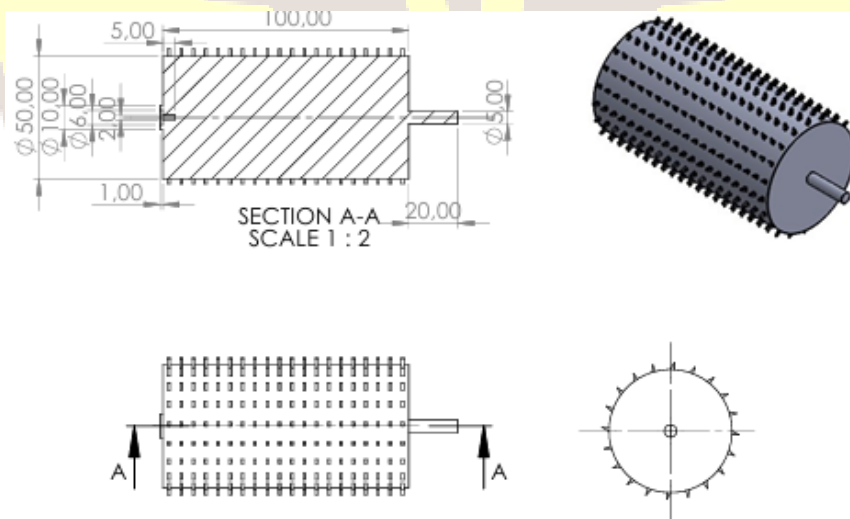
Hopper dirancang berbentuk corong agar aliran kuaci menuju area pengupasan dapat berlangsung secara kontinu. Gambar desain *hopper* pengupasan dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17. Desain *hopper* pengupasan.

B. Desain pada roll pengupasan

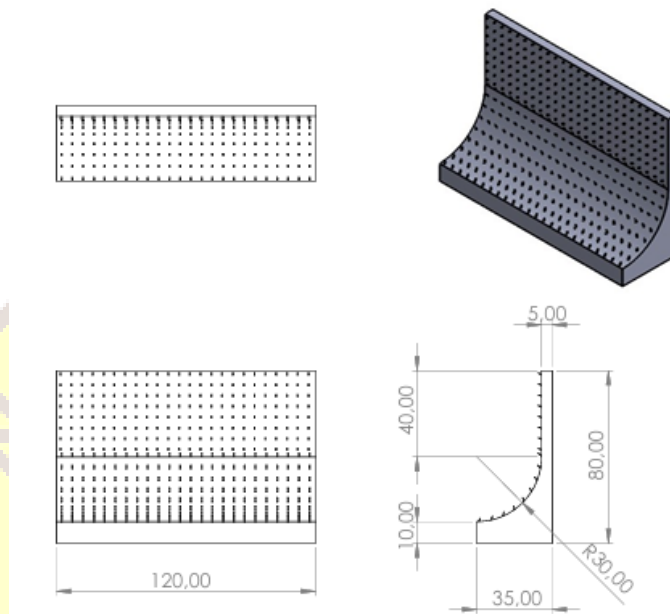
Roll pengupas ditempatkan pada bagian tengah area kerja untuk memberikan tekanan langsung pada cangkang kuaci. Gambar desain roll dapat dilihat pada gambar 18.



Gambar 18. Desain roll pengupasan.

C. Desain pada dinding pengupasan

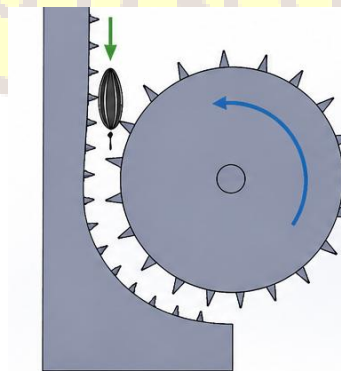
Dinding pengupas diposisikan sejajar dengan roll agar tekanan dan gaya gesek dapat bekerja secara optimal dan merata selama proses pengupasan berlangsung. Gambar desain dinding pengupasan dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 19. Desain dinding pengupasan.

2. Analisis mekanisme pengupasan

Mekanisme pengupasan pada mesin ini bekerja melalui kombinasi gaya tekan dan gaya gesek yang dihasilkan oleh roll pengupas dan dinding pengupas. Saat kuaci memasuki area pengupasan, roll memberikan tekanan pada cangkang, sedangkan dinding pengupas menahan pergerakan kuaci agar tidak ikut berputar bersama roll. Gambar mekanisme pengupasan dapat dilihat pada gambar 20.



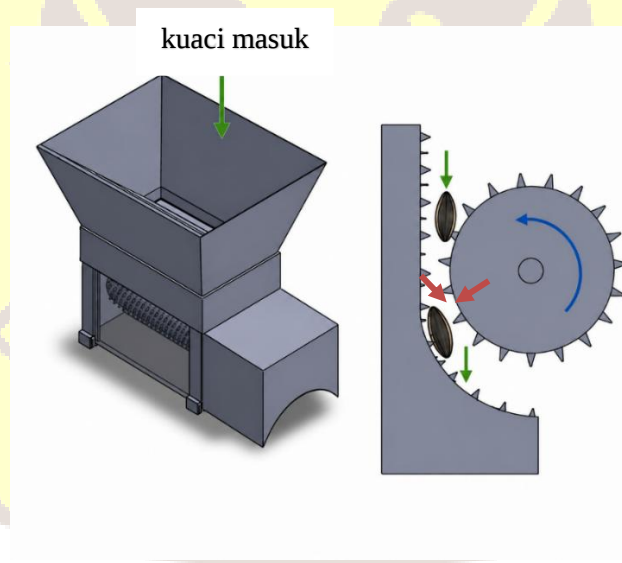
Gambar 20. Mekanisme pengupasan.

Interaksi kedua gaya tersebut menjadi faktor utama yang menentukan keberhasilan proses pengupasan. Apabila gaya gesek terlalu rendah, kuaci cenderung mengalami slip dan mengikuti putaran roll tanpa menerima tekanan yang cukup untuk memecahkan cangkang. Sebaliknya, tekanan atau kecepatan putar roll yang terlalu tinggi dapat menyebabkan inti biji ikut pecah akibat beban yang berlebihan.

Oleh karena itu, diperlukan keseimbangan antara tekstur permukaan dinding pengupas, celah pengupasan, dan putaran roll agar cangkang dapat terkelupas secara efektif dengan tingkat kerusakan inti yang seminimal mungkin.

A. Analisis proses pengupasan cangkang kuaci biji bunga matahari

Pada proses pengupasan, biji kuaci dimasukkan melalui *hopper* pada bagian atas mesin dan diarahkan menuju celah pengupasan yang berada di antara roll bergerigi dan dinding pengupas yang juga memiliki permukaan bertekstur kasar. Roll berputar berlawanan arah jarum jam sehingga biji kuaci yang masuk ke dalam celah akan terjepit di antara kedua permukaan tersebut. Kondisi ini menciptakan kontak mekanis yang menjadi awal terjadinya proses pemecahan cangkang. Gambar skematik mekanisme pengupasan dapat dilihat pada gambar 21.



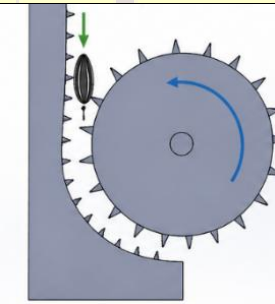
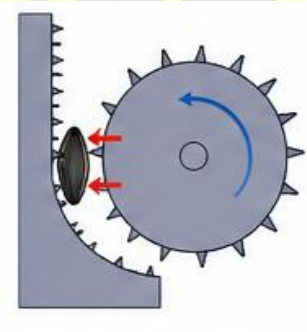
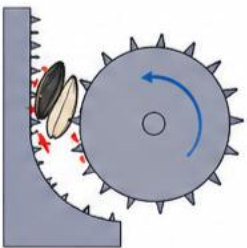
Gambar 21. Skematik mekanisme pengupasan.

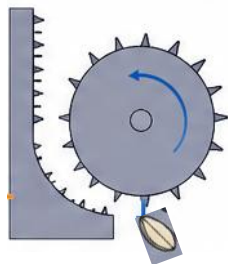
Seiring putaran roll, kuaci terdorong mengikuti lintasan pengupasan menuju bagian bawah dinding pengupas. Selama pergerakan tersebut, cangkang kuaci menerima kombinasi gaya tekan, gaya gesek, dan gaya geser yang bekerja secara terus-menerus. Interaksi ketiga gaya ini menyebabkan cangkang mengalami retak dan terkelupas secara bertahap. Bentuk dinding pengupas yang melengkung turut membantu menghasilkan

distribusi tekanan yang lebih merata sehingga proses pengupasan dapat berlangsung lebih efektif dengan risiko kerusakan inti yang lebih rendah.

Setelah cangkang terpecah, inti kuaci dan pecahan cangkang bergerak menuju bagian bawah ruang pengupasan. Inti kuaci yang telah terkelupas keluar melalui saluran keluaran, sedangkan pecahan cangkang jatuh ke bagian penampungan yang terpisah. Dengan mekanisme tersebut, proses pengupasan dapat berlangsung secara kontinu, dimulai dari masuknya kuaci ke area pengupasan, terjadinya proses penekanan dan gesekan, hingga keluarnya inti kuaci dan pecahan cangkang dari mesin. Berikut proses mekanisme pengupasan pada cangkang biji kuaci bunga matahari dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Proses mekanisme pengupasan pada cangkang biji kuaci.

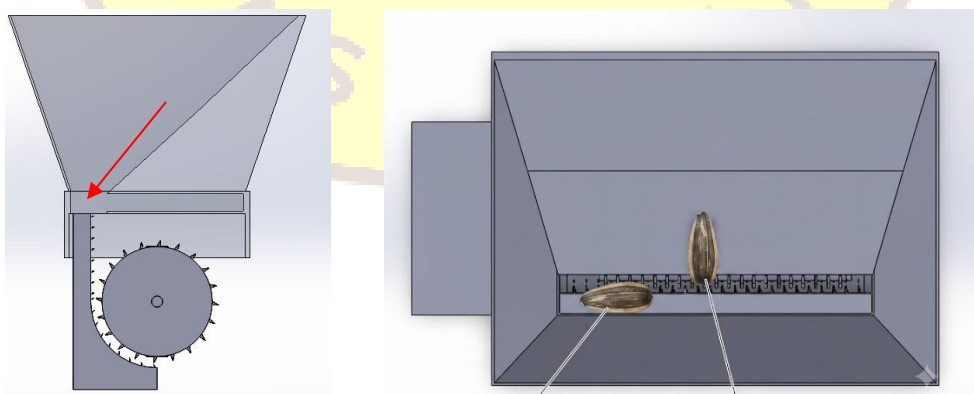
No	Gambar	Keterangan
1		Kuaci masuk dari bagian atas menuju celah antara roll dan dinding yang berpermukaan kasar
2		Roll berputar berlawanan arah jarum jam, kemudian kuaci terjepit di antara roll dan dinding. Putaran roll mendorong cangkang kuaci yang mengakibatkan cangkang kuaci mendapatkan gaya tekan dan gaya gesek pada permukaan dinding dan roll.
3		Gaya gesek dan gaya tekan menyebabkan cangkang kuaci retak dan terkelupas, dan hanya meninggalkan bijinya saja.

4		Biji kuaci dan cangkang yang sudah terkelupas akan terjatuh kebawah dan dilanjutkan pada proses pemisahan.
---	---	--

B. Analisis pengaruh arah jatuh cangkang biji kuaci bunga matahari

Mekanisme pengupasan diawali dengan memasukkan kuaci bunga matahari ke dalam *hopper* yang berfungsi sebagai tempat penampungan sementara sebelum bahan memasuki ruang pengupasan. *Hopper* dirancang berbentuk trapesium agar aliran kuaci dapat memanfaatkan gaya gravitasi sehingga bergerak menuju bagian bawah secara kontinu. Selain itu, bagian bawah *hopper* yang lebih sempit berfungsi mengatur laju aliran kuaci agar bahan masuk ke area pengupasan secara bertahap dan tidak menumpuk dalam jumlah berlebihan.

Setelah keluar dari *hopper*, kuaci terlebih dahulu mengenai permukaan bagian atas dinding sebelum memasuki celah antara roll pengupas dan dinding pengupas. Pada bagian atas dinding berfungsi mengubah arah gerak kuaci sekaligus membantu mengarahkan orientasinya saat memasuki area pengupasan. Keberadaan komponen ini bertujuan agar kuaci memiliki posisi masuk yang lebih stabil sehingga kontak awal dengan roll dan dinding pengupas dapat berlangsung secara lebih konsisten. Gambar desain arah proses pengupasan dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22. Desain arah proses pengupasan.

Selanjutnya, roll pengupas yang berputar menghasilkan gaya gesek yang menarik kuaci masuk ke dalam celah pengupasan, sedangkan dinding pengupas memberikan gaya reaksi yang menahan pergerakan kuaci. Interaksi kedua komponen tersebut menghasilkan gaya tekan pada permukaan cangkang sehingga cangkang mengalami retak dan terlepas dari inti biji. Efektivitas proses ini sangat dipengaruhi oleh orientasi kuaci saat memasuki celah pengupasan.

Pada mekanisme yang dirancang, kuaci diharapkan memasuki area pengupasan dengan orientasi yang mendekati horizontal, yaitu ketika sisi terpanjang kuaci sejajar terhadap permukaan roll. Posisi ini menghasilkan bidang kontak yang lebih luas sehingga gaya tekan dan gaya gesek dapat terdistribusi secara lebih merata pada permukaan cangkang. Sebaliknya, apabila kuaci memasuki celah dalam orientasi vertikal, luas bidang kontak menjadi lebih kecil sehingga gaya cenderung terkonsentrasi pada salah satu bagian kuaci. Kondisi tersebut dapat meningkatkan risiko kerusakan pada inti biji sebelum cangkang terkelupas sepenuhnya. Hal ini mendukung proses pengupasan berlangsung lebih efektif karena distribusi gaya pada cangkang menjadi lebih merata, sehingga peluang menghasilkan biji utuh lebih besar dan risiko kerusakan inti dapat diminimalkan.

C. Analisis parameter sistem pengupasan

Pengujian dilakukan menggunakan beberapa variasi grid pulley untuk menganalisis pengaruh perubahan putaran roll terhadap kinerja proses pengupasan kuaci. Variasi tersebut digunakan untuk menghasilkan kecepatan putar roll yang berbeda, sehingga dapat diketahui kondisi operasi yang paling efektif dalam memecahkan cangkang kuaci. Kecepatan linier roll dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$V: \pi D \left(\frac{N}{60} \right) \quad 1$$

Dimana:

- V : kecepatan linier (m/s)
D : diameter roll (mm)
N : putaran roll (RPM)

Melalui pengujian ini, hubungan antara putaran roll dan hasil pengupasan dapat dievaluasi, baik dari segi tingkat keberhasilan pengupasan maupun kualitas inti biji yang dihasilkan. Pada tahap berikutnya telah dilakukan pengujian sistem pengupasan menggunakan beberapa variasi grid puley dan pengukuran kecepatan putar roll

menggunakan tachometer. Motor dc yang digunakan memiliki spesifikasi motor dengan rpm 65. Data pengujian konfigurasi variasi grid puley dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian konfigurasi RPM

No	Grid	RPM
1	1	8.6
2	2	20.4
3	3	40
4	4	50.4
5	5	65

Hasil yang diperoleh merupakan hasil perhitungan secara teoritis dengan menggunakan suatu persamaan tertentu. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai kecepatan yang berbeda-beda, yang disesuaikan dengan masing-masing konfigurasi yang digunakan dalam pengujian.

D. Analisis pengaruh celah pengupasan antara roll dan dinding

Mekanisme pengupasan yang telah dirancang perlu dianalisis untuk memahami bagaimana setiap komponen berkontribusi terhadap proses pemecahan cangkang kuaci. Analisis ini dilakukan dengan mengkaji interaksi antara roll pengupas, dinding pengupas, dan kuaci selama proses pengupasan berlangsung, sehingga dapat diketahui faktor-faktor yang memengaruhi kinerja mesin.

Salah satu parameter penting dalam mekanisme pengupasan adalah celah pengupasan (*clearance*) antara roll pengupas dan dinding pengupas. Pada penelitian ini, celah pengupasan ditetapkan sebesar 7 mm berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan alat pra-prototype. Pada pengujian dengan menggunakan alat pra-prototype dilakukan pengukuran tebal dari cangkang kuaci biji bunga matahari dengan menentukan nilai karakteristik fisik kuaci yang digunakan. Ukuran celah tersebut dipilih agar kuaci dapat masuk ke area pengupasan dengan baik serta memperoleh kontak yang cukup dengan roll dan dinding pengupas selama proses berlangsung. Analisis pengaruh *clearance* dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Analisis pengaruh clearance.

Clearance	Efektivitas kupas	Resiko kerusakan
6 mm	Sangat tinggi	Tinggi
7 mm	Optimal	Sedang
8 mm	Cukup	Rendah

Pemilihan celah pengupasan sangat memengaruhi kinerja mekanisme. Jika celah yang digunakan terlalu kecil, tekanan yang dihasilkan dapat meningkat dan berpotensi menyebabkan kerusakan pada inti biji. Sebaliknya, apabila celah terlalu besar, kontak antara kuaci dan komponen pengupas menjadi berkurang sehingga proses pemecahan cangkang tidak berlangsung secara optimal. Oleh karena itu, celah 7 mm digunakan sebagai ukuran awal yang dianggap sesuai berdasarkan hasil observasi dengan mencari rata rata tebal pada setiap cangkang biji kuaci.

E. Hasil pengujian mekanisme pengupasan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, variasi grid pengupasan terbukti memberikan pengaruh terhadap kualitas hasil pengupasan kuaci bunga matahari. Pengaruh tersebut terlihat dari perbedaan persentase biji utuh dan biji pecah yang dihasilkan pada setiap variasi grid yang diuji. Semakin sesuai putaran grid dengan karakteristik pengupasan kuaci, semakin baik pula kualitas hasil pengupasan yang diperoleh. Pada pengujian ini menggunakan variasi grid MK (Motor Pisah) untuk mencari nilai persentase kupas dari biji utuh dan biji pecah. Hasil pengujian mekanisme pengupasan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian mekanisme pengupasan.

Pengujian	Waktu pengupasan dan massa sebelum terkupas	Presentase kupas (%)	
		Biji utuh	Biji pecah
MK1	150g/11 menit 31 detik	42.77%	57.23%
MK1	150g/8 menit 12 detik	41.85%	58.15%
MK1	150g/10 menit 3 detik	38.46%	61.54%
MK1	150g/ 8menit 17 detik	40.92%	59.08%
MK1	150g/ 8menit 16 detik	49.23%	50.77%
MK2	150g/ 7menit 21 detik	48.92%	51.08%
MK2	150g/ 4menit 53 detik	39.08%	60.92%
MK2	150g/ 5menit 54 detik	45.85%	54.15%
MK2	150g/ 5menit 44 detik	49.54%	50.46%
MK2	150g/4 menit 56 detik	40.00%	60.00%
MK3	150g/ 1 menit 50 detik	37.23%	62.77%
MK3	150g/ 2 menit 49 detik	41.54%	58.46%
MK3	150g/ 3menit 37 detik	46.15%	53.85%
MK3	150g/ 2 menit 47 detik	44.62%	55.38%
MK3	150g/ 3menit	40.62%	59.38%
MK4	150g/ 3menit 17 detik	61.54%	38.46%
MK4	150g/ 3 menit 34 detik	58.46%	41.54%
MK4	150g/ 3menit 27 detik	67.08%	32.92%
MK4	150g/ 2 menit 56 detik	59.69%	40.31%
MK4	150g/ 3 menit	59.08%	40.92%
MK5	150g/ 2 menit 20 detik	55.38%	44.62%
MK5	150g/ 2 menit 52 detik	49.85%	50.15%
MK5	150g/ 4 menit 20 detik	49.23%	50.77%
MK5	150g/ 4 menit 40 detik	50.77%	49.23%
MK5	150g/ 3 menit 34 detik	67.69%	32.31%

Berdasarkan nilai rata-rata hasil pengujian, variasi MK4 menghasilkan persentase rata-rata biji utuh tertinggi sebesar 61,17%, diikuti oleh MK5 sebesar 54,58%, MK2 sebesar 44,68%, MK1 sebesar 42,65%, dan MK3 sebesar 42,03%. Hasil ini menunjukkan bahwa setiap perubahan geometri grid memberikan respons yang berbeda terhadap proses pemecahan cangkang kuaci.

Tingginya persentase biji utuh pada variasi MK4 mengindikasikan bahwa desain grid tersebut mampu menghasilkan distribusi tekanan dan gaya gesek yang lebih sesuai selama proses pengupasan. Kondisi ini memungkinkan cangkang kuaci pecah secara efektif, sementara inti biji tetap terjaga dari kerusakan yang berlebihan. Dengan kata lain, mekanisme pengupasan pada MK4 mampu mencapai keseimbangan yang lebih baik antara keberhasilan pengupasan dan kualitas hasil yang dihasilkan.

Meskipun persentase biji utuh tertinggi selama pengujian diperoleh pada kombinasi MK5 MP5 sebesar 67,69%, nilai tersebut hanya mewakili satu kondisi pengujian tertentu. Jika ditinjau dari keseluruhan hasil pengujian, variasi MK4 menunjukkan performa yang lebih stabil dan konsisten dalam menghasilkan persentase biji utuh yang tinggi. Oleh karena itu, MK4 dapat dianggap sebagai desain grid pengupasan yang paling optimal pada penelitian ini.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa desain grid pengupasan memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan proses pengupasan kuaci. Pemilihan geometri grid yang tepat dapat meningkatkan efektivitas pemecahan cangkang sekaligus meminimalkan kerusakan pada inti biji, sehingga kualitas hasil pengupasan yang diperoleh menjadi lebih baik.

3. Analisis pengaruh putaran roll terhadap hasil pengupasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan putaran roll tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan kualitas hasil pengupasan. Pada putaran rendah, yaitu 8,6 rpm dan 20,4 rpm, persentase biji utuh yang dihasilkan masih relatif rendah, masing-masing sebesar 42,65% dan 44,68%. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa energi yang ditransmisikan oleh roll belum cukup untuk menghasilkan tekanan yang efektif dalam memecahkan cangkang kuaci.

Kondisi ini menyebabkan sebagian kuaci tidak mengalami pengupasan secara sempurna sehingga kualitas hasil yang diperoleh masih belum optimal. Rendahnya putaran roll juga mengurangi intensitas kontak antara kuaci dengan permukaan pengupas, sehingga proses retak dan pemisahan cangkang berlangsung kurang efektif.

Pada putaran 40 rpm, persentase biji utuh yang diperoleh sebesar 42,03%. Meskipun putaran roller meningkat, kualitas hasil pengupasan belum menunjukkan peningkatan yang berarti. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan kecepatan putar saja belum tentu mampu memperbaiki kinerja pengupasan apabila belum menghasilkan kombinasi tekanan dan gaya gesek yang sesuai dengan karakteristik fisik kuaci.

Performa terbaik diperoleh pada putaran roll 50,4 rpm dengan rata-rata persentase biji utuh mencapai 61,17%. Pada kondisi ini, proses pengupasan berlangsung lebih efektif karena tekanan dan gaya gesek yang dihasilkan roll dan dinding berada pada kisaran yang mampu memecahkan cangkang tanpa memberikan kerusakan yang berlebihan pada inti biji. Hasil tersebut menunjukkan bahwa putaran 50,4 rpm merupakan kondisi operasi yang paling sesuai untuk mekanisme pengupasan yang digunakan pada penelitian ini.

Ketika putaran roll ditingkatkan hingga 65 rpm, persentase biji utuh menurun menjadi 54,58%. Penurunan ini menunjukkan bahwa putaran yang terlalu tinggi dapat menyebabkan gaya tumbukan dan gesekan meningkat secara berlebihan. Akibatnya, sebagian inti biji ikut mengalami kerusakan selama proses pengupasan. Temuan ini memperlihatkan bahwa terdapat batas optimum kecepatan putar roll, di mana peningkatan putaran setelah titik tertentu tidak lagi meningkatkan kualitas pengupasan, melainkan justru berpotensi menurunkannya.

4. Pembahasan hasil pengupasan

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian, putaran roll terbukti menjadi salah satu parameter yang sangat memengaruhi kualitas hasil pengupasan kuaci bunga matahari. Putaran yang terlalu rendah menyebabkan energi dan tekanan yang diberikan pada cangkang belum cukup untuk menghasilkan proses pengupasan yang efektif. Sebaliknya, putaran yang terlalu tinggi cenderung meningkatkan gaya tumbukan dan gesekan, sehingga risiko kerusakan pada inti biji menjadi lebih besar.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa putaran roll sebesar 50,4 rpm memberikan performa terbaik dibandingkan variasi putaran lainnya. Pada kondisi ini diperoleh persentase biji utuh rata-rata sebesar 61,17%, sedangkan persentase biji pecah sebesar 38,83%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa putaran 50,4 rpm mampu menghasilkan kombinasi tekanan dan gaya gesek yang paling sesuai untuk memecahkan cangkang kuaci tanpa menyebabkan kerusakan yang berlebihan pada inti biji.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa putaran roll 50,4 rpm merupakan kondisi operasi yang paling optimal untuk mekanisme pengupasan yang dikembangkan

pada penelitian ini. Pada putaran tersebut, proses pengupasan berlangsung lebih efektif dan menghasilkan kualitas kupasan yang lebih baik dibandingkan variasi putaran lainnya, sehingga mampu memberikan keseimbangan antara tingkat keberhasilan pengupasan dan keutuhan inti biji yang dihasilkan.

5. Pengujian pada sistem pengupasan dan pemisahan

Pengujian dilakukan pada prototipe mesin pengupas kuaci bunga matahari yang telah dilengkapi dengan sistem pengupasan dan sistem pemisahan dalam satu kesatuan mekanisme. Setiap pengujian menggunakan bahan uji sebanyak 150gram dengan variasi putaran roll pengupasan (MK) dan variasi sistem pemisahan (MP). Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja kedua sistem secara bersamaan serta mengetahui kombinasi parameter yang mampu menghasilkan kualitas pengupasan dan pemisahan terbaik.

Parameter yang diamati meliputi waktu proses pengupasan, persentase biji utuh, persentase biji pecah, persentase cangkang yang berhasil tertiuip oleh sistem pemisahan, serta persentase cangkang yang masih tercampur dengan biji. Data tersebut digunakan untuk menilai efektivitas mekanisme dalam mengupas cangkang kuaci sekaligus memisahkan cangkang dari inti biji hasil pengupasan. Tabel hasil pengujian pengupasan dan pemisahan dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Hasil pengujian proses pengupasan dan proses pemisahan.

Pengujian	Waktu pengupasan (g/s)	Presentase kupas (%)		Presentase pisah (%)	
		Biji utuh	Biji pecah	Cangkang tertiuip	Cangkang ikut biji
MK1 MP1	150g/11 menit 31 detik	42.77%	57.23%	0.00%	100.00%
MK1 MP2	150g/8 menit 12 detik	41.85%	58.15%	39.22%	60.78%
MK1 MP3	150g/10 menit 3 detik	38.46%	61.54%	89.33%	10.67%
MK1 MP4	150g/ 8menit 17 detik	40.92%	59.08%	100.00%	0.00%
MK1 MP5	150g/ 8menit 16 detik	49.23%	50.77%	100.00%	0.00%
MK2 MP1	150g/ 7menit 21 detik	48.92%	51.08%	0.00%	100.00%
MK2 MP2	150g/ 4menit 53 detik	39.08%	60.92%	43.18%	56.82%
MK2 MP3	150g/ 5menit 54 detik	45.85%	54.15%	77.08%	22.92%
MK2 MP4	150g/ 5menit 44 detik	49.54%	50.46%	68.75%	31.25%
MK2 MP5	150g/4 menit 56 detik	40.00%	60.00%	85.45%	14.55%
MK3 MP1	150g/ 1 menit 50 detik	37.23%	62.77%	48.81%	51.19%

MK3 MP2	150g/ 2 menit 49 detik	41.54%	58.46%	40.00%	60.00%
MK3 MP3	150g/ 3menit 37 detik	46.15%	53.85%	88.46%	11.54%
MK3 MP4	150g/ 2 menit 47 detik	44.62%	55.38%	97.83%	2.17%
MK3 MP5	150g/ 3menit	40.62%	59.38%	96.00%	4.00%
MK4 MP1	150g/ 3menit 17 detik	61.54%	38.46%	0.00%	100.00%
MK4 MP2	150g/ 3 menit 34 detik	58.46%	41.54%	43.33%	56.67%
MK4 MP3	150g/ 3menit 27 detik	67.08%	32.92%	93.75%	6.25%
MK4 MP4	150g/ 2 menit 56 detik	59.69%	40.31%	94.64%	5.36%
MK4 MP5	150g/ 3 menit	59.08%	40.92%	94.64%	5.36%
MK5 MP1	150g/ 2 menit 20 detik	55.38%	44.62%	0.00%	100.00%
MK5 MP2	150g/ 2 menit 52 detik	49.85%	50.15%	60.66%	39.34%
MK5 MP3	150g/ 4 menit 20 detik	49.23%	50.77%	93.06%	6.94%
MK5 MP4	150g/ 4 menit 40 detik	50.77%	49.23%	96.23%	3.77%
MK5 MP5	150g/ 3 menit 34 detik	67.69%	32.31%	96.72%	3.28%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi putaran roll dan sistem pemisahan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas hasil yang diperoleh. Pada putaran roll yang rendah, proses pengupasan belum berlangsung secara optimal karena energi yang dihasilkan masih belum cukup untuk memecahkan cangkang secara efektif. Sebaliknya, peningkatan putaran yang terlalu tinggi cenderung meningkatkan risiko kerusakan pada inti biji akibat bertambahnya gaya tumbukan dan gesekan selama proses pengupasan berlangsung.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi putaran roll (MK) dan sistem pemisahan (MP) memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kualitas hasil yang diperoleh. Pada putaran roll yang rendah, proses pengupasan belum berlangsung secara optimal karena putaran yang dihasilkan masih belum cukup untuk memecahkan cangkang secara efektif. Sebaliknya, peningkatan putaran yang terlalu tinggi cenderung meningkatkan risiko kerusakan pada inti biji akibat bertambahnya gaya tumbukan dan gesekan selama proses pengupasan berlangsung.

Dari sisi sistem pemisahan, peningkatan variasi MP menunjukkan peningkatan kemampuan dalam memisahkan cangkang dari biji hasil pengupasan. Kondisi ini ditunjukkan oleh meningkatnya persentase cangkang yang berhasil tertiuap dan semakin

kecilnya persentase cangkang yang masih terbawa bersama biji. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa sistem pemisahan mampu bekerja lebih efektif seiring dengan meningkatnya kapasitas aliran udara yang digunakan.

Kinerja terbaik diperoleh pada kombinasi pengujian MK5 MP5. Pada kondisi ini diperoleh persentase biji utuh sebesar 67,69%, persentase biji pecah sebesar 32,31%, persentase cangkang tertiuap sebesar 96,72%, dan persentase cangkang yang masih tercampur dengan biji sebesar 3,28%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi mekanisme pengupasan dan sistem pemisahan mampu bekerja secara optimal dalam menghasilkan inti biji yang tetap utuh sekaligus memisahkan cangkang secara efektif. Dengan demikian, kombinasi MK5 MP5 dapat dinyatakan sebagai kondisi operasi terbaik dari seluruh variasi pengujian yang dilakukan pada penelitian ini.

6. Analisis hasil pengujian sistem pengupasan dan pemisahan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan yang dapat dilihat pada tabel 8 diatas, kualitas hasil akhir mesin pengupas kuaci bunga matahari dipengaruhi oleh kinerja dua subsistem utama, yaitu mekanisme pengupasan dan sistem pemisahan. Mekanisme pengupasan berfungsi memecahkan cangkang kuaci melalui kombinasi gaya tekan dan gaya gesek yang terjadi antara roll dan dinding pengupas. Setelah proses pengupasan berlangsung, sistem pemisahan berperan memisahkan cangkang dari inti biji menggunakan aliran udara yang dihasilkan oleh blower. Oleh karena itu, keberhasilan kerja mesin tidak hanya ditentukan oleh kemampuan mengupas cangkang, tetapi juga oleh kemampuan memisahkan hasil pengupasan secara efektif.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi putaran roll memberikan pengaruh yang nyata terhadap kualitas pengupasan. Pada putaran yang rendah, energi yang diterima kuaci belum cukup untuk menghasilkan tekanan yang efektif sehingga sebagian cangkang tidak terpecah secara sempurna. Sebaliknya, peningkatan putaran roll mampu meningkatkan intensitas kontak antara kuaci dengan komponen pengupas sehingga proses pemecahan cangkang berlangsung lebih baik. Namun, peningkatan putaran tidak selalu menghasilkan kualitas pengupasan yang lebih tinggi. Jika putaran terlalu besar, gaya tumbukan dan gesekan yang terjadi juga meningkat sehingga berpotensi menyebabkan kerusakan pada inti biji.

Selain sistem pengupasan, sistem pemisahan juga memberikan kontribusi yang besar terhadap kualitas hasil akhir. Pengujian menunjukkan bahwa peningkatan variasi MP mampu meningkatkan efektivitas pemisahan cangkang dari biji. Semakin tinggi putaran

blower, semakin besar aliran udara yang dihasilkan sehingga cangkang yang memiliki massa lebih ringan dapat dipisahkan dengan lebih efektif. Kondisi ini ditunjukkan oleh meningkatnya persentase cangkang yang tertiuip dan menurunnya persentase cangkang yang masih tercampur dengan biji hasil pengupasan.

Secara keseluruhan, kombinasi performa terbaik diperoleh pada variasi MK5 MP5 dengan persentase biji utuh sebesar 67,69%, persentase biji pecah sebesar 32,31%, persentase cangkang tertiuip sebesar 96,72%, dan persentase cangkang yang masih ikut bersama biji sebesar 3,28%. Meskipun secara rata-rata kualitas pengupasan terbaik diperoleh pada MK4, kombinasi MK5 MP5 menghasilkan kualitas keluaran akhir yang paling baik setelah mempertimbangkan kinerja sistem pemisahan. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas sistem pemisahan mampu meningkatkan kualitas produk akhir yang dihasilkan oleh mesin secara keseluruhan.

Berdasarkan hasil tersebut dapat dipahami bahwa kinerja mesin pengupas kuaci merupakan hasil interaksi antara mekanisme pengupasan dan sistem pemisahan. Mekanisme pengupasan yang baik belum tentu menghasilkan kualitas produk akhir yang optimal apabila sistem pemisahan tidak mampu memisahkan cangkang dengan baik. Sebaliknya, sistem pemisahan yang efektif tidak dapat bekerja maksimal apabila kualitas pengupasan masih rendah. Oleh karena itu, optimasi kedua sistem secara bersamaan menjadi faktor penting dalam meningkatkan kualitas hasil pengupasan kuaci bunga matahari.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian mekanisme pengupasan kuaci bunga matahari yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- a. Mekanisme pengupasan yang menggunakan kombinasi roll pengupas dan dinding pengupas mampu mengupas cangkang kuaci bunga matahari melalui interaksi gaya tekan dan gaya gesek yang terjadi pada area pengupasan. Mekanisme ini dapat memecahkan cangkang sekaligus mempertahankan sebagian besar inti biji tetap utuh.
- b. Variasi putaran roll terbukti berpengaruh terhadap kualitas hasil pengupasan. Perubahan kecepatan putar roller memengaruhi kemampuan mekanisme dalam memecahkan cangkang kuaci serta tingkat kerusakan yang terjadi pada inti biji selama proses pengupasan.
- c. Pada putaran rendah, yaitu 8,6 rpm dan 20,4 rpm, proses pengupasan belum berlangsung secara optimal karena energi yang dihasilkan roll belum cukup untuk menghasilkan tekanan yang efektif. Akibatnya, masih terdapat kuaci yang tidak terkupas dengan baik sehingga kualitas hasil pengupasan menjadi lebih rendah.
- d. Pada putaran yang lebih tinggi, yaitu 65 rpm, kualitas hasil pengupasan mengalami penurunan. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan putaran roll yang berlebihan dapat meningkatkan gaya tumbukan dan gesekan sehingga menyebabkan kerusakan pada sebagian inti biji.
- e. Putaran roll sebesar 50,4 rpm menghasilkan performa pengupasan terbaik dengan rata-rata persentase biji utuh sebesar 61,17% dan rata-rata persentase biji pecah sebesar 38,83%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada putaran ini tercapai keseimbangan yang baik antara kemampuan memecahkan cangkang dan menjaga keutuhan inti biji. Oleh karena itu, putaran 50,4 rpm dapat dinyatakan sebagai kondisi operasi yang paling optimal untuk mekanisme pengupasan kuaci bunga matahari yang dikembangkan pada penelitian ini.
- f. Kinerja terbaik sistem secara keseluruhan diperoleh pada kombinasi MK5 MP5 dengan putaran roller 65 rpm dan putaran blower 14.930 rpm. Kombinasi tersebut menghasilkan persentase biji utuh sebesar 67,69%, persentase biji

pecah sebesar 32,31%, persentase cangkang tertiuap sebesar 96,72%, dan persentase cangkang ikut biji sebesar 3,28%.

- g. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas produk akhir dipengaruhi oleh kinerja sistem pengupasan dan sistem pemisahan secara bersamaan. Oleh karena itu, kedua sistem perlu bekerja secara efektif untuk menghasilkan kualitas pengupasan dan pemisahan yang optimal.

2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian selanjutnya disarankan untuk dapat merancang mesin pengupas biji bunga matahari untuk skala yang lebih besar dengan durasi pengupasan yang relatif singkat.
- b. Dikarenakan penelitian ini hanya berfokus pada perancangan mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan perancangan mesin pengupas kuaci dengan berbagai jenis kuaci yang sering dikonsumsi.
- c. Penelitian selanjutnya direkomendasikan dapat mengembangkan mesin pengupas kuaci otomatis yang dapat mengupas banyak cangkang kuaci sekaligus secara optimal. Hal itu dikarenakan dalam penelitian ini proses pengupasan cangkang kuaci bunga matahari hanya optimal dengan cara pengupasan secara bertahap (satu persatu).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Cao, Y. Nishiyama, and S. Koide, “*Simulation of intermittent drying of maitake mushroom by a simplified model*,” *Biosyst. Eng.*, vol. 87, no. 3, pp. 325–331, Mar. 2004, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2003.12.003.
- [2] Kevin D. Creehan Ph.D. & Bopaya Bidanda Ph.D., “*Reverse engineering: A review & evaluation of non-contact based systems*.” Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: https://link.springer.com/chapter/10.1007/0-387-23291-5_4
- [3] R. K. Gupta and S. K. Das, “*Physical properties of sunflower seeds*,” *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 66, no. 1, pp. 1–8, Jan. 1997, doi: 10.1006/jaer.1996.0111.
- [4] Ricki Hidayatulloh, “*Pembuatan austenitic stainless steel AISI 316L menggunakan material ferronickel lokal (Manufacture of Austenitic Stainless Steel AISI 316L Using Local Ferronickel Material)*.”
- [5] Georg Wiora, “*Reverse-engineering conceptual definition - heading back to where we started*.” Accessed: Feb. 26, 2026. [Online]. Available: <https://www.interaction-design.org/literature/article/reverse-engineering-conceptual-definition-heading-back-to-where-we-started>
- [6] W. Wang, *Reverse engineering: Technology of reinvention*. CRC Press, 2010. Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=ilONEQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT10&dq=W.+Wang,+Reverse+Engineering:+Technology+of+Reinvention,+Boca+Raton,+FL,+USA:+CRC+Press,+2011.&ots=dbzW465BLZ&sig=Tv8CxLl4GWFstyLtSpzeYRTl5bc&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- [7] Vinesh Raja and Kiran J. Fernandes (Eds.), *Reverse engineering: An industrial perspective*. Scholars Portal, 2019.
- [8] Tom Barrett, “*Step-by-step reverse engineering process for mechanical parts*.” Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: <https://draftings.com.au/reverse-engineering-for-mechanical-parts/>
- [9] R. K. Gupta and S. K. Das, “*Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading*,” *J. Food Eng.*, vol. 46, no. 1, pp. 1–8, Oct. 2000, doi: 10.1016/S0260-8774(00)00061-3.

- [10] S. K. M. DR. Adelia Marisata Safitri, "5 Manfaat biji bunga matahari (kuaci) bagi kesehatan tubuh." Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.honestdocs.id/manfaat-biji-bunga-matahari>
- [11] M. A. Mosallam, A. K. Zaalouk, and R. A. Werby, "Geometric shape and force required to rupture watermelon seed (*Colocynthis citrullus*)," *Misr Journal of Agricultural Engineering*, vol. 28, no. 1, pp. 216–229, Jan. 2011, doi: 10.21608/mjae.2011.105396.
- [12] M. R. Seifi and R. Alimardani, "Moisture-dependent physical properties of sunflower seed (SHF8190)," 2010. [Online]. Available: www.ccsenet.org/mas
- [13] A. N. Muttaqin, U. H. Mihdar, and A. Arfandy, "Pengembangan mesin pemisah kulit polong kacang hijau untuk peningkatan kapasitas dan efisiensi pemisah biji," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 51–57, Nov. 2023, doi: 10.33019/jm.v9i2.4519.
- [14] X. Lin, J. Zhu, P. Huang, L. Tian, and B. Chen, "Design and test of an automatic husking and peeling machine for fresh lotus seeds," *Manufacturing Technology*, vol. 22, no. 3, pp. 319–326, Jul. 2022, doi: 10.21062/mft.2022.036.
- [15] R. K. Gupta and S. K. Das, "Fracture resistance of sunflower seed and kernel to compressive loading," *J. Food Eng.*, vol. 46, no. 1, pp. 1–8, Oct. 2000, doi: 10.1016/S0260-8774(00)00061-3.
- [16] Z. Xin and Z. Lihua, "Article 7 2-28-2017 Part of the food science commons recommended citation recommended citation xin," *Food and Machinery*, vol. 33, no. 2, p. 7, 2017, doi: 10.13652/j.issn.1003-5788.2017.02.007.
- [17] B. Wang, L. Zhang, and L. Zhang, "Mechanical properties of sunflower seeds," 2014. doi: 10.2991/meic-14.2014.160.
- [18] A. N. Muttaqin, U. H. Mihdar, and A. Arfandy, "Pengembangan mesin pemisah kulit polong kacang hijau untuk peningkatan kapasitas dan efisiensi pemisah biji," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 51–57, Nov. 2023, doi: 10.33019/jm.v9i2.4519.
- [19] W. Sitanggang, "Rancang bangun mesin penghancur cangkang sifut kapasitas 100 Kg/Jam." Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: <https://repositori.uma.ac.id/handle/123456789/12056>

- [20] HALOJAJU, “*Alat pengupas kuaci otomatis sunflower seed peeling machine - HA-03 - green.*” Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.jakartanotebook.com/p/halojaju-alat-pengupas-kuaci-otomatis-sunflower-seed-peeling-machine-ha-03-green>
- [21] M. Muchid, I. Epriliati, and E. Siswati, “Kalkulasi volume, kapasitas tampung & produksi mesin pengupas kuaci labu kuning menggunakan motor oriental,” vol. 7, no. 2, p. 2022.
- [22] M. R. Dale and D. Carichner, “*Motor conversion for reduced energy consumption: compressor applications use more energy than applications with newer technologies,*” *IEEE Industry Applications Magazine*, vol. 21, no. 6, pp. 57–59, Nov. 2015, doi: 10.1109/MIAS.2014.2345813.
- [23] P. Putera, A. Intan, F. Mustaqim, and P. Ramadhan, “Rancang bangun mesin pengupas sabut kelapa,” *Agroteknika*, vol. 2, no. 1, pp. 31–40, Jun. 2019, doi: 10.32530/agtk.v2i1.31.
- [24] K. A. M. Ali et al., “*Optimization and prediction of operational parameters for enhanced efficiency of a chickpea peeling machine,*” *Agriculture*, vol. 14, no. 5, p. 780, May 2024, doi: 10.3390/agriculture14050780.
- [25] Dr. T. C. Panda, Dr. M. S. Tomar, V. Bansode, Dr. M. Dwivedi, Dr. R. C. Pradhan, and Dr. D. Seth, “*A review of decorticators for various industrial crops: Design, working principle, and parameters affecting the efficiency,*” *Indian Journal of Agriculture Engineering*, vol. 5, no. 1, pp. 16–22, May 2025, doi: 10.54105/ijae.A1529.05010525.
- [26] Ubuy, “*Durable 304 stainless steel foil strip sheet - Industrial material for precision machinery, mold manufacturing, and hardware parts.*” Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.ubuy.co.id/id/product/79RBM581O-304-stainless-steel-foil-strip-thin-sheet-metal-industrial-material-processing-hardware-accessories-0-5mm-x30mm-x3m?srsId=AfmBOorExxl46vVBsL2lekDQXkxeK2O6fB27yYHB3JD639CHntdKPPd5>
- [27] C. Nerin, “*Plastics and polymers for food packaging manufacturing,*” in *Reference Module in Food Science*, Elsevier, 2016. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.03195-4.

- [28] IPI Plastics, “Tecaform ah acetal.” Accessed: Feb. 27, 2026. [Online]. Available: <https://www.ipiplastics.com/products/tecaform-ah>
- [29] BigWR_永恒跳动的火焰, *Make a Kwaci peeler, Super high efficiency ! You Can Make it at Home*. Accessed: Jun. 24, 2026. [Online Video]. Available: <https://youtu.be/T4f9HTY4ILE?si=6zdLtlU2OZkF3ppO>
- [30] Like Fun, *How to Make a automatic cleaning of sunflower seeds*. Accessed: Jun. 24, 2026. [Online Video]. Available: https://youtu.be/zOd8D2la_w8?si=Go6UqJKUONj5xmgq



LAMPIRAN

1. Foto-foto pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk menentukan presentase dari proses pengupasan dan pemisahan yang dilakukan dalam 25 pengujian yang dapat dilihat pada gambar 21.





Gambar 23. Hasil pengujian

2. Gambar teknik

Gambar teknik yang digunakan untuk pembuatan prototipe. Pada gambar teknik ini terdapat beberapa komponen utama pada proses pengupasan diantaranya adalah roll pengupasan, dinding pengupasan, dan *hopper*. Gambar teknik dapat dilihat pada gambar 22.

