

***Reverse engineering prototype mesin pengupas
kuaci bunga matahari otomatis portable***

***Reverse engineering prototype of a portable automatic sunflower
seed peeling machine***

SKRIPSI

Oleh:
Nama: Azrin Karim
NPM: 223030065



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

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

N a m a : Azrin Karim

Nomor Pokok Mahasiswa : 223030065

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

Bandung, 12 Juni 2026

Penulis,



Azrin Karim

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

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

N a m a : Azrin Karim

NPM : 223030065

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 prototipe mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel”

Beserta perangkat yang ada (jika ada). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Pasundan berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan 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, 12 Juni 2026

Yang menyatakan



Azrin Karim

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

Reverse engineering prototipe mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel



Nama: Azrin Karim
NPM: 223030065

Pembimbing Utama

Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Sugiharto, M.T.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

Reverse engineering prototipe mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel



Nama: Azrin Karim
NPM: 223030065

Tanggal sidang skripsi: 29 Juni 2026

Ketua : Dr. Ir. Ade Bagdja, MME.

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

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

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala dengan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul.

“Reverse engineering prototipe mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portabel”

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

Laporan skripsi ini mungkin tidak terselesaikan tanpa bantuan, dukungan, dan bimbingan dari orang-orang di sekitar penulis. Untuk itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang tua, yaitu ibu dan ayah, serta kakak saya yang telah memberikan do'a serta dorongan, secara moral dan materi yang kuat sehingga dapat menyelesaikan laporan ini.

Kepada Bapak Dr. Ir. Ade Bagdja, MME, selaku dosen pembimbing utama. Bapak Dr. Ir. Sugiharto, M.T., selaku dosen pembimbing pendamping. Bapak dan Ibu Dosen Teknik Mesin Universitas Pasundan yang telah memberikan bekal ilmu selama melakukan studi. Semua rekan seperjuangan Teknik Mesin Universitas Pasundan yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada teman-teman mahasiswa Teknik Mesin Angkatan 2022, khususnya kepada Alem Savero dan Fadly Firmansyah Azis, terima kasih telah berjuang bersama-sama, mohon maaf untuk segala kekurangan dan kesalahan penulis.

Kepada orang-orang di luar jurusan teknik mesin, terima kasih sudah mendoakan yang terbaik untuk penulis semoga kalian sukses di mana pun berada, saya senang bisa bertemu dengan kalian.

Kepada kota Bandung dan seluruh kisah yang hidup di dalamnya, tempat penulis menempuh perkuliahan di tanah perantauan. Kota yang bukan sekadar menjadi ruang singgah, melainkan rumah aman dan nyaman untuk penulis.

Terima kasih juga kepada teman-teman beda jurusan yaitu Pinasti Giwangkara dan Safana Putri yang sudah menjadi teman bermain penulis.

Terima kasih juga kepada teman-teman kontrakan Akbar Daya Utama, Muhammad

Athfal, Rodiana, Imam Ahmad, Sabda Bintang, Didal Ammah dan Naufal Gibran terima kasih sudah berjuang bersama.

Akhir kata, semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan sumbangsih pemikiran untuk perkembangan pengetahuan bagi penulis dan pembacanya.

Bandung, 12 Juni 2026

Penulis,



Azrin Karim



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
<i>ABSTRACT</i>.....	XIII
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1. Latar belakang	1
2. Rumusan masalah	2
3. Tujuan.....	2
4. Manfaat.....	2
5. Lingkup masalah.....	3
6. Sistematika penulisan	4
7. Sistematika Penulisan	4
BAB II STUDI LITERATUR	6
1. <i>Reverse Engineering</i>	6
2. Kuaci Bunga Matahari.....	7
3. Mesin Pengupas Kuaci	9
4. Pemilihan material kontruksi mesin	10

A. Stainless Steel.....	10
B. Akrilik	11
C. Filament PLA+.....	12
D. Aluminium	14
E. Plat baja.....	15
5. Konsep sistem pengupasan dan pemisahan mesin kuaci <i>portable</i>	16
6. Metode <i>DFMA</i>	17
A. <i>Desain for manufacture (DFM)</i>	18
B. <i>Desain for assembly (DFA)</i>	19
C. Struktur produk	20
BAB III METODOLOGI.....	22
1. Tahapan Penelitian	22
2. Tempat penelitian	23
3. Objek yang di <i>reverse engineering</i>	24
4. Alat dan Bahan	27
5. Anggaran Biaya	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
1. Model Desain.....	30
2. <i>Design For manufacture (DFM)</i>	31
A. Memilih komponen-komponen struktur mekanik Mesin pengupas kuaci ..	32
B. Waktu pembuatan komponen-komponen mesin pengupas kuaci	37
3. <i>Design for assembly (DFA)</i>	38
A. Bandingkan dengan Penelitian Sebelumnya	39
B. Proses perakitan mesin pengupas kuaci	39
C. Komponen penyusun mesin pengupas kuaci.....	40
D. Spesifikasi mesin pengupas kuaci	41
4. Desain modular.....	42

A.	Pengujian Mesin pengupas kuaci	45
B.	Perhitungan kapasitas pada pengupasan	46
C.	Analisis pengaruh celah pengupasan antara roll dan dinding	47
D.	Perhitungan kapasitas pada pemisahan	48
E.	Dokumentasi pengujian pengupasan dan pemisahan	50
F.	Analisis hasil pengujian	60
G.	Analisis <i>DFMA</i>	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		67
1.	Kesimpulan.....	67
2.	Saran	67
DAFTAR PUSTAKA.....		69
LAMPIRAN.....		73
1.	Foto-foto pengujian	73
2.	Gambar teknik	74
3.	Jadwal rencana kerja.....	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Proses <i>reverse engineering</i> [6].....	6
Gambar 2. Kuaci Matahari [10].	7
Gambar 3. Mesin pengupas kuaci yang di <i>reverse engineering</i> [13].....	9
Gambar 4. <i>Stainless steel 316 L</i> [16].	11
Gambar 5. Akrilik [17].	12
Gambar 6. Filament PLA+ [20].	13
Gambar 7. Alumunium [22].....	14
Gambar 8. Plat baja [23].	15
Gambar 9. Proses <i>DFM</i> [27].	18
Gambar 10. Proses <i>DFA</i> [29].	19
Gambar 11. Diagram alir tahapan penelitian	22
Gambar 12. Lokasi FT Unversitas Pasundan.....	24
Gambar 13. Sistem hopper[13]	24
Gambar 14. Sistem <i>case</i> dinding pengupasan[20]	24
Gambar 15. Sistem pemisah tampak samping	25
Gambar 16. Sistem <i>blower</i>	25
Gambar 17. Bagian pemisah cangkang dan biji kuaci	25
Gambar 18. Bagian pemisah cangkang dan biji kuaci konsep kedua[13].....	26
Gambar 19. Bagian dalam pemisah cangkang dan biji kuaci konsep kedua[13]	26
Gambar 20. Mesin pengupas kuaci	30
Gambar 21 Struktur Produk mesin pengupas kuaci.....	39
Gambar 22. Speifikasi mesin pengupas kuaci.	42
Gambar 23. Desain modular	43
Gambar 24. <i>Case</i> dinding pengupasan yang bisa di atur celahnya.	43
Gambar 25. Tampak kiri dan tampak kanan.	44
Gambar 26. Bagian pengunci.....	45
Gambar 27. Pengujian mesin pengupas kuaci.....	73
Gambar 28. Desain <i>explode</i>	74
Gambar 29. (<i>bill of material</i>) BOM.....	75

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Peralatan yang digunakan	27
Tabel 2. Bahan yang digunakan.....	27
Tabel 3. Anggaran dan biaya	28
Tabel 4. Komponen dan Fungsi Produk.....	31
Tabel 5. Komponen mesin Pengupas kuaci dibuat dengan proses manufaktur	33
Tabel 6. Komponen mesin pengupas kuaci yang terdapat di pasaran.....	35
Tabel 7. waktu dan proses pembuatan komponen mesin pengupas kuaci	37
Tabel 8. Waktu Perakitan Mesin pengupas kuaci	39
Tabel 9 . Komponen Penyusun mesin pengupas kuaci.....	41
Tabel 10. pengujian konfigurasi RPM pengupasan	47
Tabel 11. analisis pengaruh clearance.....	47
Tabel 12. Konfigurasi RPM pemisahan.....	48
Tabel 13. Dokumentasi MK1 MP1-5.....	51
Tabel 14. Dokumentasi MK2 MP1-5.....	53
Tabel 15. Dokumentasi MK3 MP1-5.....	55
Tabel 16. Dokumentasi MK4 MP1-5.....	57
Tabel 17. Dokumentasi MK5 MP1-5.....	59
Tabel 18. Hasil pengujian	61
Tabel 19. Analisis <i>DFMA</i> pada mesin pengupas kuaci.....	64
Tabel 20. Data komponen yang dapat diperbaiki.....	65

ABSTRAK

Kuaci bunga matahari merupakan salah satu produk pangan yang banyak dikonsumsi masyarakat, namun proses pengupasan cangkangnya masih banyak dilakukan secara manual sehingga memerlukan waktu yang lama dan tenaga kerja yang cukup besar. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji kinerja mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable dengan menerapkan metode *Design for Assembly (DFA)* dan *Design for Manufacturing (DFM)*. Metode *DFA* digunakan untuk menyederhanakan proses perakitan dan mengurangi kompleksitas komponen, sedangkan metode *DFM* digunakan untuk menentukan material dan proses manufaktur yang sesuai agar mesin mudah diproduksi dengan biaya yang lebih efisien. Proses penelitian meliputi tahap perancangan, pembuatan, perakitan, serta pengujian kinerja mesin. Pengujian dilakukan sebanyak 25 kali menggunakan kombinasi lima variasi putaran pengupasan (MK1–MK5) dan lima variasi putaran pemisahan (MP1–MP5). Parameter yang diamati meliputi waktu proses, persentase biji utuh, persentase biji pecah, persentase cangkang tertiuip, dan persentase cangkang yang masih tercampur dengan biji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kombinasi parameter terbaik diperoleh pada 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 tercampur dengan biji sebesar 3,28%. Pada kondisi tersebut, waktu pengupasan 150gram biji kuaci adalah 3 menit 34 detik dengan kapasitas pengupasan mencapai sekitar 2,52 kg/jam, sehingga target kapasitas minimum sebesar 1 kg/jam berhasil tercapai. Berdasarkan hasil penelitian, mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable yang dirancang mampu melakukan proses pengupasan dan pemisahan cangkang secara efektif serta memiliki kapasitas yang memenuhi target perancangan. Penerapan metode *DFA* dan *DFM* juga terbukti membantu menghasilkan desain yang lebih sederhana, mudah dirakit, dan mudah diproduksi.

Kata kunci: kuaci bunga matahari, mesin pengupas kuaci, *DFA*, *DFM*, pengupasan, pemisahan cangkang

ABSTRACT

Sunflower seeds are one of the food products widely consumed by the public. However, the shelling process is still commonly performed manually, requiring considerable time and labor. Therefore, this study aims to design, manufacture, and evaluate the performance of a portable automatic sunflower seed shelling machine by applying the Design for Assembly (DFA) and Design for Manufacturing (DFM) methods. The DFA method was used to simplify the assembly process and reduce component complexity, while the DFM method was applied to determine suitable materials and manufacturing processes to achieve efficient and cost-effective production. The research consisted of design, manufacturing, assembly, and performance testing stages. Performance testing was conducted 25 times using a combination of five shelling speed variations (MK1–MK5) and five separation speed variations (MP1–MP5). The observed parameters included processing time, percentage of intact kernels, percentage of broken kernels, percentage of blown-off shells, and percentage of shells mixed with the kernels. The test results showed that the best performance was achieved at the MK5 MP5 parameter combination, with an intact kernel percentage of 67.69%, a broken kernel percentage of 32.31%, a blown-off shell percentage of 96.72%, and a shell-mixed percentage of 3.28%. Under these conditions, the processing time for 150 grams of sunflower seeds was 3 minutes and 34 seconds, resulting in a shelling capacity of approximately 2.52 kg/h, exceeding the minimum design target of 1 kg/h. Based on the results, the designed portable automatic sunflower seed shelling machine is capable of performing shelling and shell separation effectively while achieving the targeted processing capacity. Furthermore, the implementation of DFA and DFM methods proved effective in producing a design that is simpler, easier to assemble, and easier to manufacture.

Keywords: *sunflower seeds, sunflower seed shelling machine, DFA, DFM, shelling process, shell separation.*

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 1liter 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 1liter setara dengan 0,6 kg biji kuaci [3]. Oleh karena itu mesin minimal harus mampu mengolah 1 kg bahan baku perjam 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 – 17gram permenit atau hanya 0.28 gram per detik.

Konsep portable 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 portable 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 diatas pada proses pengupasan maka rumusan masalah dapat di rumuskan sebagai berikut.

- a. Bagaimana membuat *prototype* mesin pengupas kuaci oprasional yang sesuai untuk skala UMKM?
- b. Apakah mesin pengupas kuaci yang dirancang mampu mencapai target kapasitas pengupasan sebesar 1 kg/jam?

3. Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- a. Membuat mesin pengupas kuaci portable untuk skala UMKM.
- b. Menguji kemampuan mesin dalam mencapai target kapasitas pengupasan yang telah ditetapkan, yaitu sebesar 1 kg/jam.

4. Manfaat

Bagian penelitian berisikan uraian manfaat yang dihasilkan dari dilaksanakannya penelitian/skripsi. Manfaat penelitian itu dapat kita bagi menjadi dua yaitu manfaat secara teoritis dan manfaat secara praktis.

Manfaat Teoritis

Manfaat teoritisnya adalah memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang perancangan mesin pertanian dan pengolahan hasil pangan. Kajian mengenai mekanisme pengupasan, pengaruh tekanan, kecepatan putar dan kerusakan biji dapat menjadi dasar pengembangan desain mesin yang lebih optimal. Secara akademis, penelitian ini juga dapat menjadi referensi untuk studi lanjutan terkait inovasi teknologi tepat guna, peningkatan produktivitas UMKM, serta optimalisasi proses pascapanen biji-bijian.

Manfaat Praktis

Manfaat praktis dari pengupasan kuaci pada skala UMKM adalah meningkatkan efisiensi proses produksi melalui pengurangan waktu dan tenaga kerja dibandingkan metode manual. Dengan sistem pengupasan yang lebih terkontrol, pelaku usaha dapat memperoleh hasil kupasan yang lebih seragam, tingkat kerusakan inti yang lebih rendah, serta kapasitas produksi yang lebih tinggi. Hal ini berdampak langsung pada peningkatan nilai jual produk, perluasan peluang pasar, serta peningkatan pendapatan usaha. Selain itu, penggunaan mesin pengupas juga mendukung kebersihan dan konsistensi mutu produk sehingga lebih kompetitif di pasaran.

5. Lingkup masalah

Konsep Dasar Mesin Pengupas Kuaci (MPK) Penelitian mencakup perumusan konsep kerja mesin pengupas kuaci yang terintegrasi, mulai dari proses pemasukan bahan (*input*), mekanisme pengupasan, hingga sistem pemisahan antara biji dan cangkang (*output*). Konsep dirancang untuk skala UMKM dengan mempertimbangkan aspek portabilitas, efisiensi, dan kemudahan operasional.

Fungsi dan Bagian Utama Mesin Penelitian membahas identifikasi serta analisis fungsi dari setiap komponen utama mesin, seperti: *Hopper* (corong pemasukan bahan), Mekanisme pengupas (*roll*), Sistem pemisah (*blower*), Rangka penopang, Sistem transmisi dan motor penggerak, Saluran keluaran biji dan cangkang. Setiap bagian dianalisis berdasarkan perannya dalam mendukung proses pengupasan yang efektif.

Spesifikasi Teknis Mesin Penelitian meliputi penentuan spesifikasi teknis *prototype*, seperti Kapasitas produksi (1 kg/jam), Daya dan putaran motor (18-70 RPM), Dimensi dan berat mesin (kategori *portable*), Material komponen yang bersentuhan dengan pangan (*food grade*), Konsumsi energi. Spesifikasi ditentukan berdasarkan kebutuhan skala usaha kecil dan efisiensi proses.

Cara Kerja dan Sistem Operasi Mesin Penelitian mencakup analisis alur kerja mesin secara keseluruhan, mulai dari proses pemasukan kuaci, proses pengupasan melalui mekanisme gesek/tekan, hingga proses pemisahan menggunakan sistem aliran udara atau penyaringan. Evaluasi dilakukan untuk memastikan sistem bekerja secara kontinu, aman, dan menghasilkan tingkat kerusakan biji yang minimal.

6. Sistematika penulisan

Pentingnya membatasi cakupan topik dalam penelitian adalah untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas. Berikut adalah batasan masalah yang telah dirangkum:

a. Umum

Mesin pengupas kuaci *portable* yang optimal, efisien, dan aplikatif dapat memudahkan proses pengupasan biji bunga matahari pada industri rumah tangga atau UMKM.

b. Khusus

Proses penerjemahan konseptual mesin pengupas kuaci otomatis *portable* berdasarkan desain yang dibuat pada perancangan geometri, pemilihan komponen utama, pembuatan rangka, serta perakitan mekanisme pengupasan dan sistem pemisahan dalam skala purwarupa. menguji kinerja mesin berdasarkan kapasitas produksi, tingkat keberhasilan pengupasan, persentase kerusakan inti biji dan sistem pemisahan cangkang biji kuaci. Realisasi desain dilakukan sebatas untuk membuktikan bahwa konsep kerja dapat diwujudkan dan berfungsi sesuai tujuan awal.

7. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan penelitian ini terdiri dari lima bab, dengan konten masing-masing bab dan daftar pustaka. Bab yang tercantum mencakup Pendahuluan, Studi Literatur, Metodologi Penelitian, Pengolahan Data dan Anggaran yang akan digunakan.

BAB I PENDAHULUAN

Bab pertama membahas latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan masalah dan sistematika penulisan

BAB II STUDI LITERATUR

Pada bab kedua ini, terdapat uraian mengenai tentang teori dasar yang relevan, mencakup topik desain, material yang digunakan, jenis biji kuaci, dan *prototype* mesin pengupas kuaci

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ketiga mencakup tahapan penelitian, peralatan dan bahan yang digunakan, metode pengujian, lokasi penelitian dan anggaran yang telah digunakan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab keempat ini membahas prosedur penelitian dan hasil dari pengujian yang telah dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas penutup dari seluruh laporan yang telah dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini berisikan tentang referensi yang digunakan dalam penelitian.

LAMPIRAN

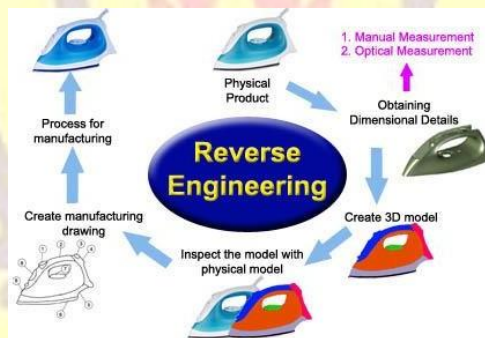
Bagian ini berisikan tentang beberapa penjelasan yang tidak mencakup di laporan.



BAB II STUDI LITERATUR

1. *Reverse Engineering*

Reverse engineering atau rekayasa balik adalah suatu proses teknik yang bertujuan untuk memahami, menganalisis, dan merekonstruksi kembali suatu produk atau sistem yang sudah ada dengan cara membongkar, mempelajari, dan mendokumentasikan struktur, fungsi, serta prinsip kerjanya. Melalui *reverse engineering*, seorang insinyur dapat mengetahui bagaimana suatu produk dibuat, bagaimana komponen komponennya saling berinteraksi, serta bagaimana kinerjanya dapat ditingkatkan. *Reverse engineering* atau rekayasa mundur dalam sebuah proses dalam bidang manufacturing memiliki tujuan untuk mereproduksi atau membuat ulang model yang sudah ada baik komponen, *sub assembly*, atau produk tanpa menggunakan data-data dokumen design atau gambar, kerja yang sudah ada [5].



Gambar 1. Proses *reverse engineering* [6].

Tahapan yang dilakukan dalam *reverse engineering* pertama adalah tahap pencarian informasi dari berbagai macam sumber yaitu literatur buku, jurnal dan internet yang berkaitan dengan kegiatan penelitian. Selanjutnya mengidentifikasi mesin meliputi mekanisme gerak mesin, komponen dan fungsinya dari media online [7]. Secara sederhana, *reverse engineering* adalah proses mempelajari dari hasil jadi bukan mulai dari konsep atau rancangan awal seperti dalam *forward engineering*. Proses ini sering digunakan untuk memperbaiki, meniru, memodifikasi, atau mengembangkan produk baru berdasarkan produk lama yang sudah terbukti berfungsi dengan baik. Misalnya, jika sebuah mesin pengupas kuaci sudah ada namun tidak memiliki data desain atau gambar teknik, maka *reverse engineering* dilakukan dengan cara membongkar mesin tersebut, mengukur dimensi tiap komponen, membuat ulang model 3D, dan menganalisis cara kerjanya [8].

Keterbatasan tenaga kerja dalam industri rumah tangga dan UMKM membuat metode manual semakin tidak relevan untuk memenuhi permintaan pasar. Dengan demikian, inovasi mesin pengupas kuaci otomatis menjadi solusi yang sangat dibutuhkan untuk meningkatkan produktivitas, menjaga kualitas hasil, dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manusia.

2. Kuaci Bunga Matahari

Biji bunga matahari merupakan bahan makanan yang dapat dikonsumsi sebagai snack atau bahan campuran produk makanan. Biji bunga matahari adalah makanan yang sangat baik untuk nilai kecukupan gizi dan sering dianggap sebagai makanan ringan sehat [9]. Salah satu tanaman semusim yang termasuk ke dalam famili Asteraceae (*Compositae*). Tanaman ini dikenal memiliki bunga besar berwarna kuning cerah yang selalu mengikuti arah sinar matahari (heliotropisme). Biji bunga matahari terletak di bagian tengah bunga (kepala bunga atau *disk floret*) yang berbentuk spiral dan tersusun rapat. Setelah bunga matang, biji-biji tersebut dipanen, dikeringkan, lalu diolah menjadi kuaci.



Gambar 2. Kuaci Matahari [10].

Bunga matahari merupakan tanaman yang strategis karena selain dapat digunakan sebagai bahan pangan, juga dapat menghasilkan minyak terutama minyak makan yang menempati posisi terbesar ketiga dunia setelah kedelai dan kelapa sawit [11]. Karakteristik kuaci merupakan dasar utama dalam perancangan mesin pengupas karena sifat fisik dan mekaniknya secara langsung menentukan parameter kerja mesin. Variasi dimensi panjang dan lebar biji menunjukkan bahwa ukuran kuaci dalam satu populasi tidak seragam. Perbedaan ukuran ini harus diperhitungkan dalam menentukan celah antar *roll* pengupas agar biji dapat masuk dan tertekan secara optimal tanpa lolos begitu saja atau justru hancur karena tekanan berlebih. Jika distribusi ukuran terlalu lebar sementara celah *roll* tetap, maka tingkat keberhasilan pengupasan akan menurun.

Bagian bunga matahari yang banyak dimanfaatkan untuk industri adalah biji yang mengandung banyak nutrisi dan kadar minyak. Biji bunga matahari memiliki 2 potensi biji yaitu oil seed dan non oil seed. Potensi biji bunga matahari dapat diketahui melalui karakter fisik biji bunga matahari yang berkorelasi dengan kadar minyak dan hasil biji bunga matahari[12]. Ketebalan cangkang rata-rata berhubungan dengan kebutuhan gaya tekan yang harus dihasilkan oleh mekanisme pengupasan. Semakin tebal cangkang, semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk meretakannya. Namun gaya tersebut tidak boleh melebihi kekuatan inti biji karena dapat menyebabkan kerusakan. Oleh karena itu, ketebalan cangkang menjadi parameter penting dalam menentukan desain rol, jarak celah, serta pemilihan daya motor.

Kekuatan tekan cangkang merupakan sifat mekanik yang menunjukkan besarnya beban yang diperlukan untuk memecahkan kulit biji. Nilai ini menjadi dasar dalam menghitung kebutuhan torsi dan daya pada sistem penggerak. Apabila kekuatan tekan tidak diketahui secara akurat, perancangan mesin berisiko tidak efisien, baik karena motor terlalu kecil sehingga tidak mampu mengupas secara optimal maupun terlalu besar sehingga boros energi dan meningkatkan kerusakan inti.

Koefisien gesek permukaan biji memengaruhi interaksi antara biji dan permukaan rol pengupas. Jika koefisien gesek rendah, biji cenderung tergelincir dan tidak mengalami tekanan efektif. Sebaliknya, jika terlalu tinggi, biji dapat tersangkut atau mengalami kerusakan berlebih. Oleh sebab itu, karakteristik gesekan ini perlu dipertimbangkan dalam menentukan tekstur dan material rol pengupas agar proses retak cangkang berlangsung terkontrol.

Kadar kelembapan biji juga berpengaruh terhadap perilaku mekanik kuaci saat diberi tekanan. Biji dengan kadar air tinggi cenderung lebih elastis sehingga cangkang tidak mudah retak bersih, sedangkan biji yang terlalu kering menjadi lebih rapuh dan berpotensi menyebabkan inti ikut pecah. Kondisi ini menunjukkan bahwa performa mesin tidak hanya bergantung pada desain mekanis, tetapi juga pada kondisi bahan baku yang diproses.

Secara keseluruhan, karakteristik kuaci menentukan parameter desain utama mesin, seperti gaya tekan, kecepatan putar rol, celah pengupasan, serta kebutuhan daya motor. Pemahaman yang tepat terhadap sifat fisik dan mekanik biji menjadi landasan penting agar prototype yang dirancang mampu bekerja efektif, efisien, dan meminimalkan kerusakan inti biji.

3. Mesin Pengupas Kuaci

Mesin pengupas kuaci bekerja dengan memanfaatkan perbedaan sifat mekanik antara kulit dan inti biji bunga matahari. Kulit bersifat lebih keras dan rapuh, sedangkan inti lebih lunak dan mudah pecah apabila menerima tekanan berlebihan. Karena itu, proses pengupasan pada dasarnya merupakan pengaturan keseimbangan antara tekanan, gesekan, kecepatan putar, serta celah antar-komponen pemecah agar kulit retak tanpa merusak inti. Selain faktor mekanik, kadar air bahan juga sangat berpengaruh, karena biji yang terlalu kering cenderung mudah hancur, sementara biji yang terlalu lembap lebih sulit dikupas secara bersih.



Gambar 3. Mesin pengupas kuaci yang di *reverse engineering* [13].

Adapun target pengupasan pada mesin pengupas kuaci adalah sebagai berikut:

a. Skala kecil

Pada skala kecil, mesin pengupas kuaci umumnya digunakan untuk usaha mikro atau produksi rumah tangga dengan kapasitas sekitar 1 hingga 2 kg per jam, dan dalam beberapa desain dapat mencapai ± 3 kg per jam tergantung daya motor dan sistem pemisahannya. Mesin jenis ini biasanya menggunakan satu tahap pengupasan dengan mekanisme roller bertekstur atau drum gesek yang digerakkan motor listrik berkisar 30–50 RPM. Konstruksinya relatif sederhana agar biaya pembuatan dan perawatan tetap rendah. Namun, karena hanya menggunakan satu tahap pemecahan dan sistem pemisahan yang terbatas, tingkat kerusakan biji bisa meningkat jika tekanan dan kecepatan tidak diatur dengan tepat. Efisiensi pengupasan umumnya berada pada kisaran menengah dan sangat dipengaruhi oleh keseragaman ukuran serta kondisi bahan baku.

b. Skala industri

Pada skala industri, mesin dirancang untuk produksi massal dengan kapasitas jauh lebih besar, biasanya berada pada kisaran 10–15 kg per jam, dan pada sistem besar dapat melebihi 20 kg per jam. Sistem industri umumnya menggunakan beberapa tahap pengupasan (*multi stage*) sehingga beban mekanik pada biji didistribusikan secara bertahap untuk mengurangi kerusakan inti. Selain itu, proses pemisahan kulit dan inti dilakukan menggunakan kombinasi aliran udara (pneumatik) dan ayakan getar agar hasil lebih bersih dan konsisten. Mesin industri juga dilengkapi sistem kontrol untuk mengatur kecepatan dan parameter operasi secara lebih presisi. Meskipun kapasitas dan efisiensinya lebih tinggi, kebutuhan investasi, energi, serta pemeliharaan juga jauh lebih besar dibandingkan mesin skala kecil.

Dengan demikian, perbedaan utama antara kedua skala tersebut terletak pada kapasitas produksi, tingkat kompleksitas sistem, serta konsistensi mutu hasil. Skala kecil lebih sesuai untuk produksi terbatas dengan fleksibilitas tinggi, sedangkan skala industri ditujukan untuk volume besar dengan standar kualitas yang lebih seragam.

4. Pemilihan material konstruksi mesin

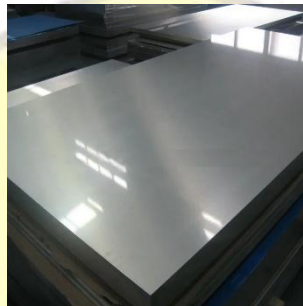
Pemilihan material foodgrade merupakan salah satu hal yang penting dalam menjaga kualitas produk pangan yang sehat dan bebas dari kontaminasi secara kimiawi, biologi, maupun yang lainnya [14]. Material teknik merupakan elemen fundamental dalam proses perancangan suatu produk rekayasa, termasuk dalam pendekatan reverse engineering, yaitu metode rekayasa yang bertujuan memahami prinsip kerja, struktur, dan spesifikasi suatu produk yang telah ada melalui proses pembongkaran, pengamatan, dan analisis teknis. Pemilihan material yang tepat akan memengaruhi kekuatan, keandalan, efisiensi biaya, umur pakai, serta keselamatan penggunaan produk. Secara umum, material teknik dapat diklasifikasikan menjadi logam dan non logam (*polimer*). Masing-masing kelompok material memiliki sifat fisik dan mekanik yang berbeda, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan fungsi dan kondisi kerja komponen.

A. *Stainless Steel*

Penerapan teknologi yang tepat guna dalam industri pangan, dengan fokus pada pemilihan dan penggunaan stainless steel sebagai bahan peralatan pangan. *Stainless steel* dipilih karena kelebihanannya, seperti ketahanan terhadap korosi, tidak bereaksi dengan makanan, dan mudah dibersihkan. Pemilihan material yang tepat ini sangat penting karena dapat

memengaruhi kualitas dan keamanan produk pangan, yang pada akhirnya berdampak pada kesehatan konsumen dan keberlanjutan industri pangan [15].

Stainless steel adalah material logam berbasis besi (*ferro*) yang mengandung unsur kromium minimal sekitar 10,5%. Kandungan kromium ini membentuk lapisan oksida pasif pada permukaan material yang berfungsi melindungi logam dari korosi. Beberapa jenis stainless steel juga mengandung nikel dan molibdenum untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi dan kekuatan mekanik.



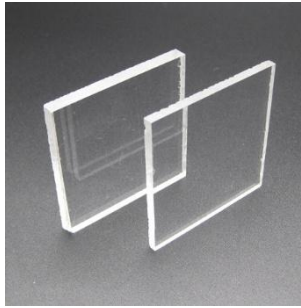
Gambar 4. *Stainless steel 316 L* [16].

Secara mekanik, *stainless steel* memiliki kekuatan tarik dan ketangguhan yang tinggi, sehingga banyak digunakan pada komponen struktural dan peralatan industri. Selain itu, *stainless steel* dikenal memiliki ketahanan yang baik terhadap temperatur tinggi serta lingkungan yang korosif.

Namun demikian, *stainless steel* memiliki massa jenis yang relatif besar dibandingkan material non-logam, sehingga kurang efisien untuk aplikasi yang menuntut bobot ringan. Dari sisi manufaktur, material ini juga cenderung lebih sulit dimesin dan memiliki biaya yang lebih tinggi. Secara umum, stainless steel dipilih sebagai material utama pada beberapa bagian mesin pengupas kuaci karena memiliki sifat kuat, tahan korosi, higienis, mudah dibersihkan, dan mampu mendukung kinerja mesin dalam jangka waktu yang lama.

B. Akrilik

Akrilik merupakan material termoplastik transparan yang banyak digunakan sebagai pengganti kaca karena memiliki bobot yang lebih ringan, mudah dibentuk, serta memiliki tingkat kejernihan yang tinggi. Material ini dikenal dengan nama *Polymethyl Methacrylate* (*PMMA*) dan banyak dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi industri, termasuk pembuatan prototype mesin dan komponen pelindung.



Gambar 5. Akrilik [17].

Akrilik, sebagai bahan yang tahan terhadap deformasi dan memiliki transparansi tinggi, memungkinkan penciptaan produk yang tidak hanya menarik secara visual, tetapi juga tahan lama dan fungsional [18]. Pada *prototype* mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable, akrilik digunakan untuk komponen seperti penutup pelindung, dinding hopper, wadah penampung, maupun bagian yang membutuhkan visibilitas terhadap proses kerja mesin. Sifat transparan akrilik memungkinkan operator mengamati proses pengupasan dan pemisahan kuaci tanpa harus membuka penutup mesin sehingga meningkatkan keamanan dan kemudahan pengoperasian.

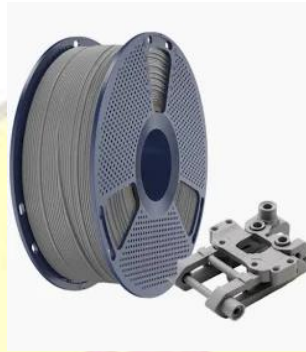
Dari aspek manufaktur, akrilik mudah dipotong, dibor, dibentuk, dan dirakit menggunakan baut maupun perekat khusus. Material ini juga memiliki permukaan yang halus dan tampilan yang menarik sehingga dapat meningkatkan nilai estetika produk. Selain itu, bobotnya yang ringan membantu mengurangi berat keseluruhan mesin sehingga lebih mudah dipindahkan dan digunakan.

Dalam penerapan *Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)*, penggunaan akrilik memberikan keuntungan karena proses pembuatannya relatif sederhana, biaya material cukup ekonomis, serta memungkinkan pembuatan komponen dengan bentuk yang beragam. Komponen akrilik juga mudah dirakit dan diganti apabila mengalami kerusakan, sehingga mendukung efisiensi proses manufaktur dan perakitan. Secara umum, akrilik dipilih sebagai material pada beberapa bagian mesin pengupas kuaci karena memiliki sifat transparan, ringan, mudah diproses, serta mampu memberikan perlindungan dan kemudahan pengamatan terhadap proses kerja mesin.

C. Filament PLA+

Teknologi pencetakan tiga dimensi (3D printing) berkembang pesat dalam berbagai industri, memungkinkan pembuatan objek presisi tinggi dalam waktu singkat [19]. Filamen PLA+ (*Polylactic Acid Plus*) merupakan material termoplastik yang banyak digunakan

dalam teknologi pencetakan tiga dimensi (3D printing). Material ini merupakan pengembangan dari PLA standar dengan penambahan aditif tertentu untuk meningkatkan sifat mekanik, seperti kekuatan, ketangguhan, dan daya tahan terhadap benturan. Dibandingkan dengan PLA biasa, PLA+ memiliki karakteristik yang lebih baik sehingga cocok digunakan untuk pembuatan komponen prototype maupun komponen fungsional yang membutuhkan ketelitian dimensi dan kekuatan yang memadai.



Gambar 6. Filament PLA+ [20].

Dalam pengembangan mesin pengupas kuaci, teknologi 3D printing digunakan untuk mempermudah proses pembuatan beberapa komponen yang memiliki bentuk kompleks. Penggunaan filamen PLA+ dipilih karena material ini mampu menghasilkan komponen dengan tingkat presisi yang baik, mudah diproduksi, serta memiliki biaya manufaktur yang relatif rendah dibandingkan dengan proses permesinan konvensional. Selain itu, PLA+ memungkinkan proses modifikasi desain dilakukan dengan cepat apabila diperlukan perubahan pada tahap pengembangan prototype mesin.

Pada mesin pengupas kuaci, filamen PLA+ digunakan untuk membuat beberapa komponen seperti saluran masuk (*hopper*), saluran keluaran, dudukan komponen, dan bagian lain yang tidak menerima beban besar secara langsung. Pemilihan PLA+ pada komponen-komponen tersebut didasarkan pada kemampuan material dalam mempertahankan bentuk, ketelitian dimensi, serta kemudahan proses pencetakan. Dengan menggunakan metode 3D printing, komponen dapat diproduksi sesuai dengan desain yang telah dirancang tanpa memerlukan proses manufaktur yang rumit.

Selain memberikan kemudahan dalam proses produksi, penggunaan PLA+ juga mendukung penerapan konsep *Design for Manufacturing (DFM)* dan *Design for Assembly (DFA)* pada mesin pengupas kuaci. Melalui teknologi 3D printing, jumlah komponen dapat dikurangi karena beberapa fitur dapat dibuat menjadi satu kesatuan dalam proses

pencetakan. Hal ini dapat mengurangi waktu perakitan, mempermudah proses pembuatan, dan menekan biaya produksi prototype.

D. Aluminium

Aluminium merupakan logam non-ferrous yang banyak digunakan dalam berbagai bidang industri karena memiliki kombinasi sifat yang baik, seperti ringan, tahan korosi, mudah dibentuk, dan memiliki kekuatan yang cukup tinggi. Aluminium (Al) A356 yang memiliki sifat mekanis yang baik telah secara luas dipergunakan di bidang teknik [21]. Aluminium memiliki massa jenis sekitar $2,7 \text{ g/cm}^3$, sehingga beratnya hanya sekitar sepertiga dari berat baja. Sifat ini menjadikan aluminium sebagai material yang ideal untuk aplikasi yang membutuhkan bobot ringan tanpa mengurangi kekuatan struktur secara signifikan.



Gambar 7. Aluminium [22].

Salah satu keunggulan utama aluminium adalah ketahanannya terhadap korosi. Ketahanan tersebut diperoleh dari terbentuknya lapisan oksida aluminium secara alami pada permukaan material ketika terpapar udara. Lapisan oksida ini berfungsi sebagai pelindung yang mencegah terjadinya korosi lebih lanjut, sehingga aluminium dapat digunakan dalam berbagai kondisi lingkungan tanpa memerlukan perlindungan tambahan yang berlebihan.

Aluminium juga memiliki sifat mampu bentuk (*formability*) yang baik sehingga mudah diproses melalui berbagai metode manufaktur, seperti pemotongan, pengeboran, pembengkokan, pengecoran, ekstrusi, dan permesinan. Selain itu, aluminium memiliki konduktivitas termal dan konduktivitas listrik yang cukup tinggi, sehingga sering digunakan pada komponen yang memerlukan kemampuan penghantaran panas atau listrik.

Dalam perancangan mesin, aluminium banyak digunakan sebagai material rangka, dudukan komponen, penutup, dan bagian-bagian struktural lainnya karena mampu mengurangi berat keseluruhan mesin. Penggunaan aluminium pada mesin pengupas kuaci bertujuan untuk menghasilkan konstruksi yang ringan, mudah dipindahkan (*portable*), serta tetap memiliki kekuatan yang memadai untuk menopang komponen-komponen mesin selama proses operasi.

E. Plat baja

Plat baja merupakan material logam yang banyak digunakan dalam bidang konstruksi dan manufaktur karena memiliki kekuatan mekanik yang tinggi, mudah diproses, serta tersedia dalam berbagai ukuran dan ketebalan. Plat baja dibuat melalui proses pengerolan baja menjadi lembaran dengan ketebalan tertentu sehingga dapat digunakan sebagai bahan konstruksi, rangka mesin, penutup, dudukan komponen, maupun berbagai aplikasi teknik lainnya.



Gambar 8. Plat baja [23].

Baja memiliki sifat mekanik yang baik, terutama dalam hal kekuatan tarik, kekuatan tekan, dan ketahanan terhadap beban kejut. Dibandingkan dengan material lain seperti aluminium atau plastik, plat baja memiliki kekakuan yang lebih tinggi sehingga mampu mempertahankan bentuk dan kestabilan struktur ketika menerima beban selama pengoperasian mesin. Oleh karena itu, plat baja sering digunakan sebagai material utama pada bagian rangka dan komponen struktural yang membutuhkan kekuatan tinggi.

Selain memiliki kekuatan yang baik, plat baja juga mudah dikerjakan melalui berbagai proses manufaktur seperti pemotongan, pengeboran, pembengkokan, pengelasan, dan permesinan. Kemudahan proses manufaktur tersebut menjadikan plat baja sebagai material yang ekonomis dan banyak digunakan dalam pembuatan mesin maupun peralatan industri.

Pada mesin pengupas kuaci, plat baja digunakan sebagai bagian struktur yang memerlukan kekuatan dan kekakuan yang tinggi, seperti rangka, dudukan motor, serta komponen penunjang lainnya. Penggunaan plat baja bertujuan untuk menjaga kestabilan konstruksi mesin selama proses pengupasan dan pemisahan berlangsung sehingga getaran yang terjadi dapat diminimalkan.

5. Konsep sistem pengupasan dan pemisahan mesin kuaci *portable*

Konsep sistem pengupasan dan pemisahan pada mesin kuaci portable merupakan inti dari perancangan *prototype*, karena pada tahap inilah prinsip kerja mesin ditentukan secara teknis. Sistem ini harus mampu memecahkan cangkang secara efektif sekaligus memisahkan inti biji dari kulitnya tanpa merusak kualitas hasil kupasan.

Prinsip tekan-retak terkontrol mengacu pada pemberian gaya tekan yang cukup untuk meretakkan cangkang, tetapi tidak melebihi kekuatan inti biji. Cangkang kuaci bersifat lebih rapuh dibanding inti di dalamnya, sehingga desain mesin harus memanfaatkan perbedaan sifat mekanik tersebut. Tekanan yang diberikan harus berada pada rentang optimal: jika terlalu kecil cangkang tidak terbuka, sedangkan jika terlalu besar inti biji akan pecah. Oleh karena itu, kontrol terhadap celah dan gaya tekan menjadi aspek penting dalam sistem pengupasan.

Mekanisme rol berpasangan digunakan sebagai elemen utama dalam menghasilkan tekanan dan gesekan. Dua *roll* yang berputar saling berlawanan arah akan menarik biji masuk ke celah di antaranya dan memberikan tekanan sepanjang lintasan kontak. Mekanisme ini dipilih karena mampu menghasilkan proses pengupasan yang kontinu, relatif stabil, dan mudah dikontrol melalui pengaturan jarak antar rol. Selain itu, sistem *roll* lebih sederhana secara konstruksi dibandingkan mekanisme berbasis pisau atau tumbukan, sehingga lebih sesuai untuk desain *portable* dengan pendekatan *DFMA*.

Integrasi modul pemisahan biji kuaci dilakukan agar proses pengupasan dan pemisahan terjadi dalam satu sistem terpadu. Setelah cangkang retak, inti dan pecahan kulit harus segera dipisahkan untuk mencegah tercampur kembali atau mengganggu proses berikutnya. Modul pemisahan dirancang menyatu dengan unit pengupas agar aliran material tetap efisien dan tidak memerlukan proses tambahan di luar mesin.

Metode gravitasi dan udara digunakan sebagai prinsip dasar pemisahan. Gravitasi memanfaatkan perbedaan massa dan bentuk antara inti dan cangkang, di mana partikel dengan berat dan bentuk tertentu akan jatuh pada jalur berbeda. Sementara itu, aliran udara (*blower*) dapat digunakan untuk meniup pecahan cangkang yang lebih ringan sehingga

terpisah dari inti biji yang lebih berat. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan sistem pemisahan yang sederhana, hemat energi, dan sesuai untuk mesin skala portable.

Optimasi tingkat kemurnian biji bertujuan untuk meningkatkan persentase inti yang bersih dari campuran kulit. Tingkat kemurnian menjadi indikator kualitas hasil pengupasan. Optimalisasi dilakukan dengan menyesuaikan parameter seperti kecepatan putar rol, celah rol, sudut kemiringan saluran pemisahan, serta kekuatan aliran udara. Tujuannya adalah mencapai keseimbangan antara kapasitas produksi dan kualitas hasil tanpa meningkatkan konsumsi energi secara berlebihan.

Secara keseluruhan, konsep sistem pengupasan dan pemisahan ini menggabungkan prinsip mekanik dan aliran material dalam satu desain terpadu. Sistem harus mampu bekerja efektif pada kapasitas yang ditargetkan, mempertahankan kualitas inti biji, serta tetap ringan dan efisien sesuai dengan konsep mesin portable.

6. Metode *DFMA*

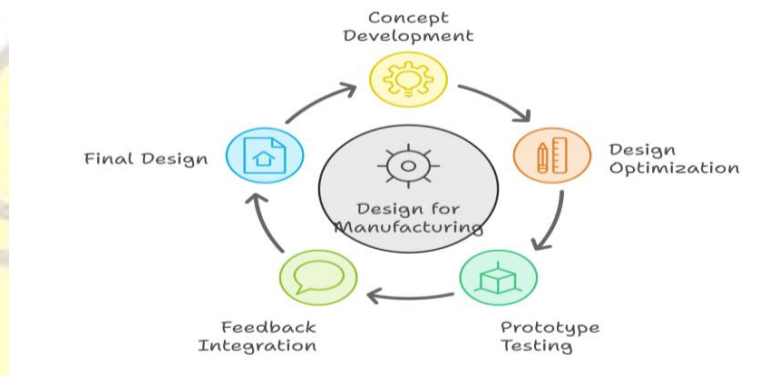
Design for manufacturing and assembly (DFMA) dapat dijelaskan sebagai konsep desain produk atau komponen yang mempermudah proses manufaktur dan perakitan dengan komponen lain menjadi produk yang utuh [24]. Parameter desain dan integrasi *DFMA* pada mesin pengupas kuaci portable berangkat dari prinsip bahwa rancangan tidak hanya harus berfungsi dengan baik, tetapi juga mudah diproduksi dan dirakit secara efisien. Penyederhanaan jumlah komponen berarti setiap bagian yang tidak benar-benar diperlukan harus dieliminasi atau digabungkan fungsinya dengan bagian lain. Dalam konteks mesin pengupas, misalnya,udukan rol sekaligus bisa dirancang sebagai struktur penopang, sehingga tidak perlu komponen tambahan. Pendekatan ini mengurangi kompleksitas, potensi kesalahan perakitan, serta biaya produksi.

Metode *DFMA* merupakan metode yang digunakan untuk menentukan desain produk dengan waktu dan biaya yang terbaik. Secara umum, metode ini juga dapat digunakan dalam pengembangan untuk meningkatkan kualitas dan mengukur peningkatan desain produk [25]. Desain modular unit pengupas dan rangka menekankan pemisahan sistem menjadi beberapa modul fungsional yang berdiri relatif independen, seperti modul pengupasan, modul pemisahan, dan modul penggerak. Dengan modularitas, perakitan menjadi lebih sistematis, perawatan lebih mudah, dan jika terjadi kerusakan, hanya modul tertentu yang perlu diganti tanpa membongkar keseluruhan mesin. Untuk mesin *portable*, pendekatan ini juga membantu dalam aspek transportasi dan kemudahan pembongkaran ulang.

A. Desain for manufacture (DFM)

Design for Manufacturing (DFM) merupakan pendekatan untuk menyederhanakan proses manufaktur sehingga biaya komponen dapat dikurangi. Analisis *DFM* meliputi pemilihan material, bentuk bahan baku, toleransi dimensi, kekerasan permukaan, karakteristik bentuk produk, serta proses manufaktur dan finishing yang digunakan [26]. Penerapan *DFM* dilakukan sejak tahap perancangan agar produk dapat dibuat dengan biaya lebih rendah, waktu produksi lebih singkat, dan kualitas yang tetap terjaga.

Design for Manufacturing (DFM)



Gambar 9. Proses *DFM* [27].

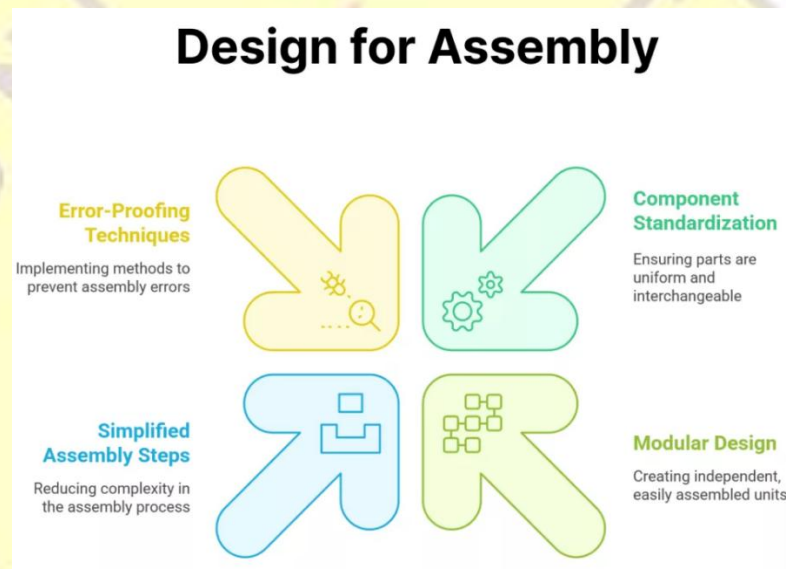
Pada perancangan mesin pengupas kuaci, konsep *DFM* diterapkan melalui pemilihan material dan proses manufaktur yang mudah dikerjakan menggunakan fasilitas bengkel yang tersedia. Komponen hopper dan dinding pengupasan dibuat dari plat yang dipotong dan dilas sehingga proses pembuatannya relatif sederhana. Poros *roll* dibuat menggunakan proses pembubutan karena menghasilkan dimensi yang presisi dan sesuai dengan kebutuhan sistem pengupasan. Sementara itu, beberapa komponen seperti saluran keluaran dibuat menggunakan teknologi 3D printing sehingga bentuk yang kompleks dapat diproduksi dengan cepat tanpa memerlukan cetakan khusus.

Penerapan *DFM* pada mesin pengupas kuaci juga dilakukan dengan mempertimbangkan kemudahan pembuatan setiap komponen. Desain komponen dibuat sesederhana mungkin untuk mengurangi waktu pengerjaan, meminimalkan penggunaan material, serta menekan biaya produksi. Selain itu, pemilihan ukuran dan bentuk komponen disesuaikan dengan kemampuan mesin produksi yang digunakan sehingga proses manufaktur dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

Dengan menerapkan metode *DFM*, proses pembuatan mesin pengupas kuaci menjadi lebih mudah, waktu produksi dapat dipersingkat, biaya manufaktur dapat ditekan, serta kualitas hasil produksi tetap memenuhi kebutuhan perancangan. Oleh karena itu, *DFM* menjadi salah satu aspek penting dalam pengembangan prototype mesin pengupas kuaci yang ekonomis dan mudah diproduksi.

B. Desain for assembly (DFA)

Metode *DFA* merupakan pendekatan yang digunakan dalam menentukan rancangan produk dengan waktu dan biaya yang optimum[28]. Dalam *DFA*, setiap komponen dievaluasi berdasarkan kebutuhan fungsinya sehingga hanya komponen yang benar-benar diperlukan yang dipertahankan. Dengan demikian, proses perakitan menjadi lebih mudah, cepat, dan efisien.



Gambar 10. Proses *DFA* [29].

Pada perancangan mesin pengupas kuaci, penerapan *DFA* dilakukan dengan merancang komponen-komponen yang mudah dirakit dan dilepas. Komponen utama seperti hopper, dinding pengupasan, roll pengupas, saluran keluaran,udukan motor, motor penggerak, dan rangka dirancang agar memiliki posisi pemasangan yang jelas serta meminimalkan kesalahan saat perakitan. Selain itu, jumlah sambungan dan pengikat diupayakan sesedikit mungkin sehingga waktu perakitan dapat dikurangi.

Analisis *DFA* dilakukan dengan mengidentifikasi setiap elemen produk beserta fungsinya, kemudian menentukan urutan perakitan yang paling efisien. Hasil analisis ini digunakan untuk menghitung waktu perakitan total serta mengevaluasi kemudahan proses

assembly. Semakin sedikit jumlah komponen dan semakin sederhana proses pemasangannya, maka nilai efisiensi *DFA* akan semakin baik. Oleh karena itu, penerapan *DFA* pada mesin pengupas kuaci diharapkan dapat menghasilkan desain yang mudah dirakit, mengurangi biaya manufaktur, serta meningkatkan produktivitas dalam proses pembuatan *prototype* maupun produksi.

C. Struktur produk

struktur produk adalah alat yang dipakai penentu jumlah bahan baku yang dibutuhkan untuk membuat produk dengan membedahnya menjadi bagian penyusunnya [30]. Struktur produk dibuat untuk menunjukkan hubungan antara komponen utama dan komponen pendukung sehingga proses perakitan dan analisis produk menjadi lebih mudah dipahami.

Pada mesin pengupas kuaci, struktur produk terdiri dari beberapa bagian utama yang bekerja bersama untuk melakukan proses pengupasan dan pemisahan kuaci. Bagian-bagian tersebut meliputi sistem pengupasan, sistem pemisahan, sistem penggerak, dan rangka mesin.

Level 0

- Mesin Pengupas Kuaci

Level 1

- Sistem Pengupasan
- Sistem Pemisahan
- Sistem Penggerak
- Rangka Mesin

Level 2

Sistem Pengupasan:

- *Hopper* (tempat masuknya kuaci)
- Dinding pengupasan
- Roll pengupas
- Poros roll

Sistem Pemisahan:

- Impeller
- Saluran keluaran
- Rumah pemisahan

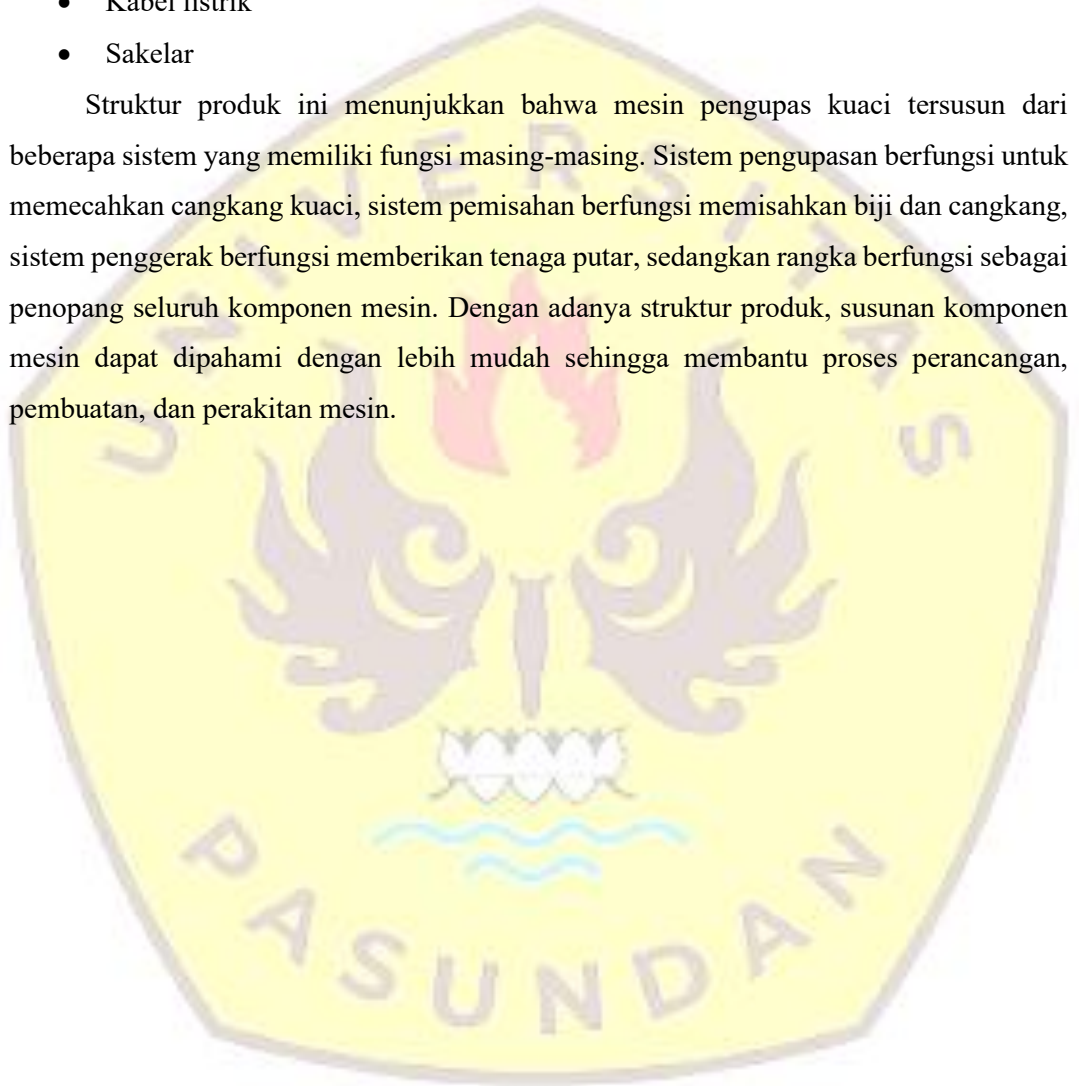
Sistem Penggerak:

- Motor DC
- Dudukan motor
- Penghubung poros

Level 3

- Bearing
- Baut dan mur
- Kabel listrik
- Sakelar

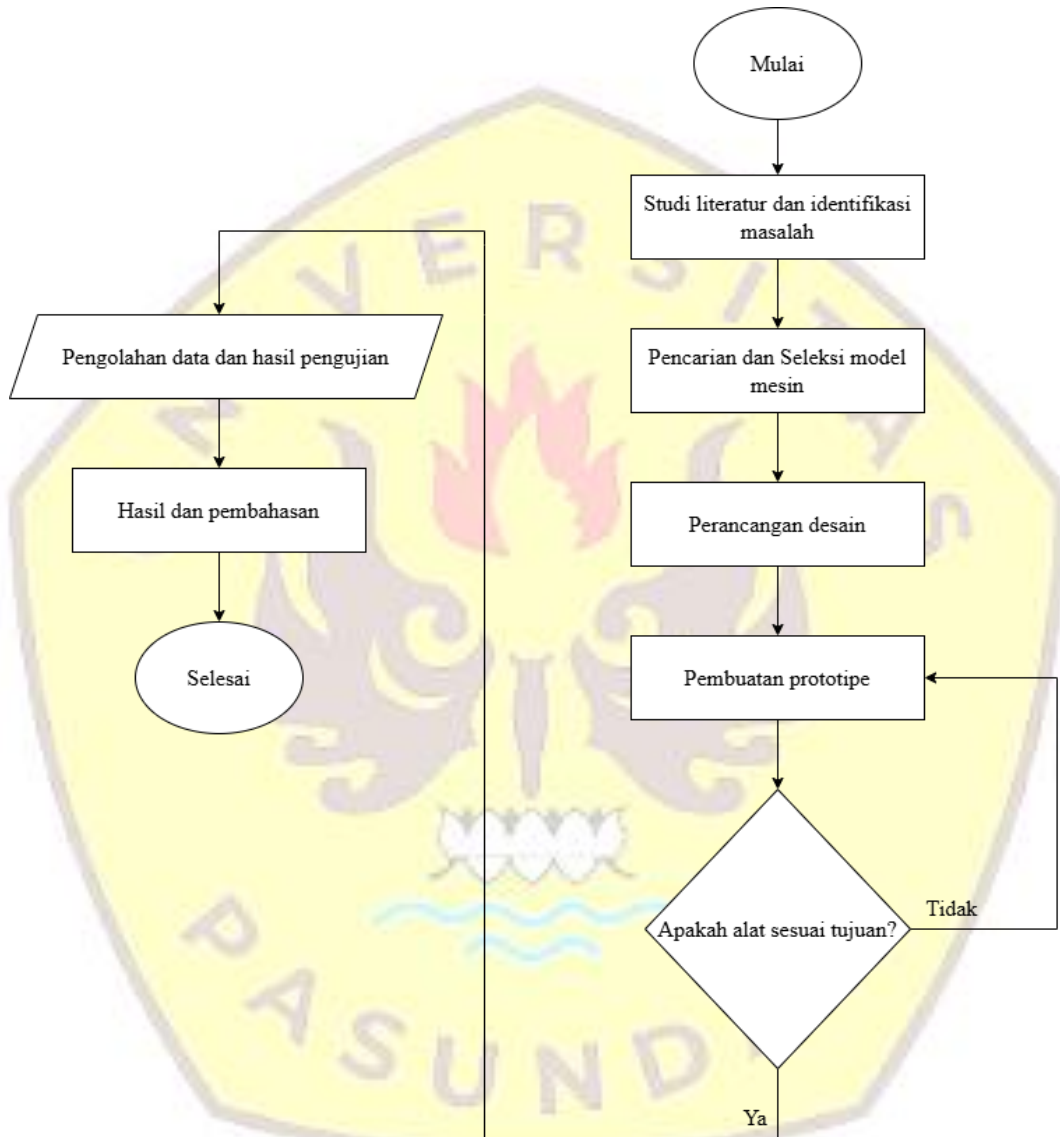
Struktur produk ini menunjukkan bahwa mesin pengupas kuaci tersusun dari beberapa sistem yang memiliki fungsi masing-masing. Sistem pengupasan berfungsi untuk memecahkan cangkang kuaci, sistem pemisahan berfungsi memisahkan biji dan cangkang, sistem penggerak berfungsi memberikan tenaga putar, sedangkan rangka berfungsi sebagai penopang seluruh komponen mesin. Dengan adanya struktur produk, susunan komponen mesin dapat dipahami dengan lebih mudah sehingga membantu proses perancangan, pembuatan, dan perakitan mesin.



BAB III METODOLOGI

1. Tahapan Penelitian

Berikut ini merupakan tahapan penelitian yang dilaksanakan:



Gambar 11. Diagram alir tahapan penelitian

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

a. Mulai

Penelitian diawali dengan tahap mulai, yang menandai dimulainya seluruh rangkaian kegiatan penelitian. Pada tahap ini ditetapkan batasan umum penelitian serta tujuan

yang ingin dicapai agar proses penelitian berjalan terarah dan tidak keluar dari fokus permasalahan.

b. Pencarian dan seleksi model mesin

Tahap ini bertujuan menentukan mesin yang akan dijadikan objek reverse engineering. Proses dilakukan melalui survei dan observasi terhadap beberapa mesin pengupas kuaci yang tersedia di pasaran, internet, atau industri.

c. studi literatur dan identifikasi masalah

Selanjutnya dilakukan studi literatur untuk memahami teori, standar, dan penelitian terdahulu yang relevan, sehingga permasalahan dapat diidentifikasi secara jelas dan memiliki dasar ilmiah.

d. Perancangan desain *prototype*

Berdasarkan permasalahan tersebut, dirancang desain *prototype* yang mencakup konsep kerja, spesifikasi teknis, dan pemilihan material sesuai kebutuhan.

e. Pembuatan *prototype*

Desain yang telah dibuat kemudian direalisasikan melalui pembuatan *prototype* sebagai model kerja. *Prototype* selanjutnya dievaluasi melalui pengujian untuk menilai kesesuaian alat terhadap standar dan kriteria yang ditetapkan. Apabila hasil pengujian belum memenuhi standar, dilakukan perbaikan desain dan pengujian ulang hingga diperoleh hasil yang sesuai.

f. Pengolahan data dan hasil pengujian

Setelah *prototype* dinyatakan memenuhi standar, data hasil pengujian diolah dan dianalisis untuk mengetahui kinerja alat.

g. Hasil dan pembahasan

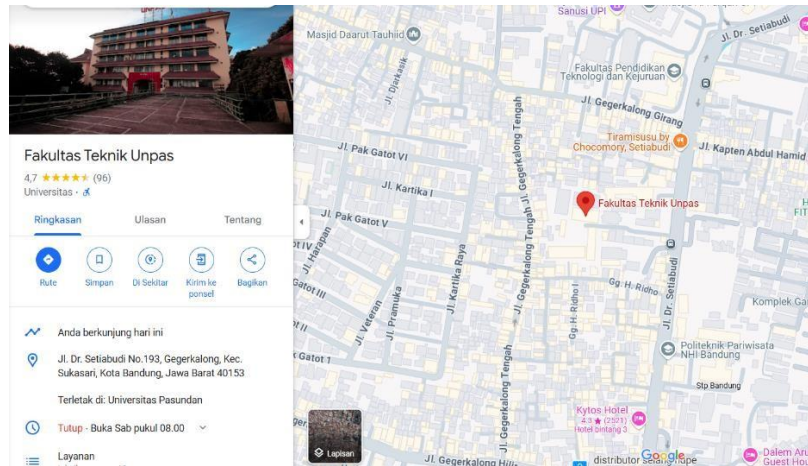
Hasil analisis tersebut kemudian dibahas dengan mengaitkannya pada teori dan literatur yang ada.

h. Selesai

Penelitian diakhiri dengan penarikan hasil dan pembahasan sebagai dasar kesimpulan serta pengembangan lebih lanjut.

2. Tempat penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di Labororia Mesin Fakultas Teknik Universitas Pasundan Jalan Dr. Setiabudi No, 193, Gegerkalong, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40153.



Gambar 12. Lokasi FT Universitas Pasundan

3. Objek yang di *reverse engineering*

Penelitian ini melaksanakan proses pemodelan ulang dengan menerapkan metode *reverse engineering* terhadap sebuah objek atau mesin yang telah ada sebelumnya. Objek yang dikaji dalam penelitian ini adalah mesin pengupas kuaci yang berfungsi memisahkan biji dan cangkangnya, dengan penekanan utama pada sistem pemisahan yang digunakan. Berikut merupakan objek atau mesin yang telah ada sebelumnya:



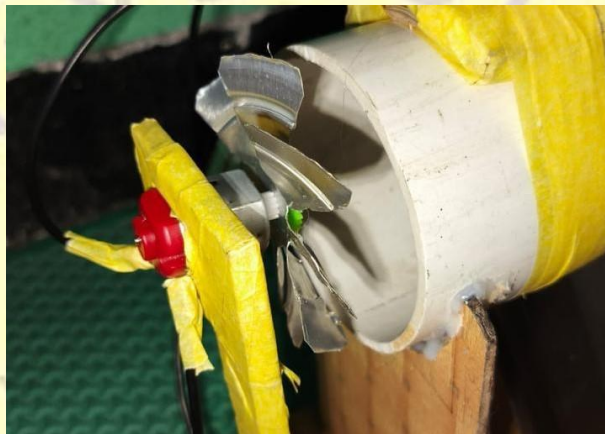
Gambar 13. Sistem hopper[13]



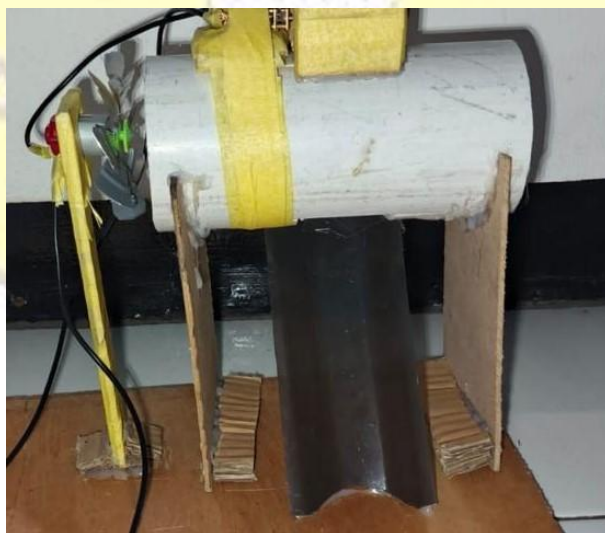
Gambar 14. Sistem *case dinding* pengupasan[20]



Gambar 15. Sistem pemisah tampak samping



Gambar 16. Sistem *blower*



Gambar 17. Bagian pemisah cangkang dan biji kuaci



Gambar 18. Bagian pemisah cangkang dan biji kuaci konsep kedua[13]



Gambar 19. Bagian dalam pemisah cangkang dan biji kuaci konsep kedua[13]

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. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini, dibutuhkan peralatan dan bahan sebagai berikut:

Tabel 1. Peralatan yang digunakan

NO	Peralatan	Jumlah
1	3D printing	1 set
2	Laser cutting	1 set
3	Obeng	1 set
4	Jangka sorong	1 pc
5	Mesin las	1 set
6	Mesin bubut	1 set

Tabel 2. Bahan yang digunakan

No	Bahan	Jumlah
1	Akrilik	1 pc
2	Stainless steel	1 pc
3	Filament ABS	2 pc
4	Baut	34 pc
5	Siku L	11 pc
6	Motor dc	2 pc
7	Dimmer dc 12v 3a	2 pc
8	Power supply	1 pc
9	Jaring alumunium 30cm	1 pc
10	Kipas	1 pc
11	Kabel 2m	2 pc
12	Saklar on/off	1 pc

5. Anggaran Biaya

Rincian biaya yang dikeluarkan untuk membuat prototype mesin pengupas kuaci ini yaitu sebagai berikut.

Tabel 3. Anggara dan biaya

No	Jenis alat dan bahan	Satuan (PCS)	Harga satuan	Harga akhir
1	Filament ABS	2	160.000	320.000
2	Stainless Steel	1	100.000	100.000
3	Plat baja	1	50.000	50.000
4	Akriilik	1	25.000	25.000
5	Motor pengupasan	1	81.000	81.000
6	Motor pemisahan	1	30.000	30.000
7	Power supply	1	45.000	45.000
8	Dimmer	2	17.500	35.000
9	Kabel 2 meter	1	18.000	36.000
10	Saklar on/off	1	11.000	11.000
11	Kuaci	30	17.000	510.000
12	Jariing alumunium 1 meter	1	35.000	35.000
13	Baling baling	1	8000	8000
14	Baut dan mur	40	1000	40.000
15	Klem saluran 101mm	1	6000	6000
16	Poros as alumunium 1 meter	1	60.000	60.000
17	Roll	1	25.000	25.000
18	Kabel motor 1 meter	1	29.000	29.000
19	Motor pengupasan Rpm65 torsi 104	1	81.000	81.000
20	Pilox	1	40.000	40.000
21	Hamplas	1	10.000	10.000

22	Parudan dinding pengupas	2	7000	14.000
	Total			1.591.000

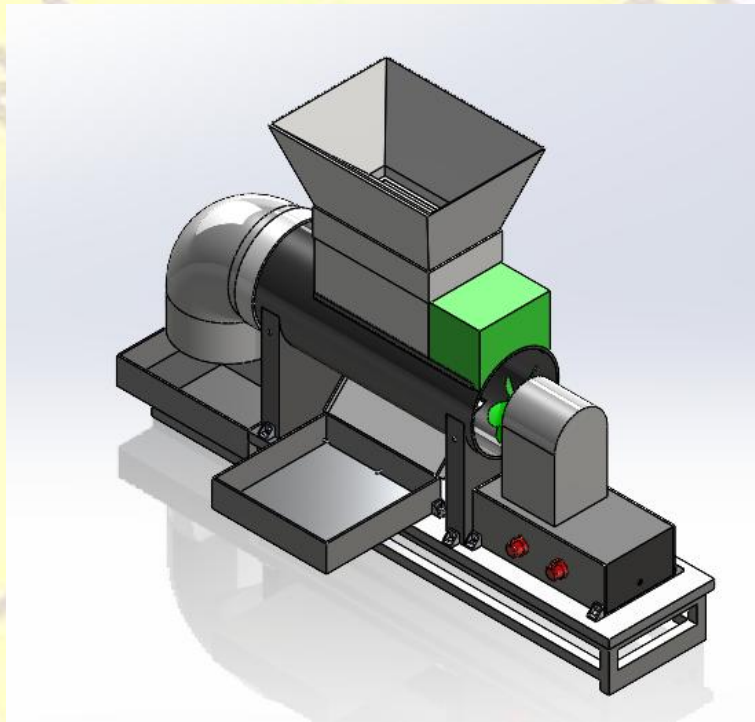


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Model Desain

Mesin pengupas kuaci dirancang untuk melakukan proses pengupasan dan pemisahan kuaci dalam satu sistem. Kuaci dimasukkan melalui *hopper*, kemudian masuk ke ruang pengupasan yang menggunakan *roll* pengupas dan dinding pengupasan untuk memecahkan

cangkang. Proses pengupasan digerakkan oleh motor DC yang kecepatannya dapat diatur menggunakan dimmer. Setelah dikupas, campuran biji dan cangkang masuk ke sistem pemisahan yang memanfaatkan aliran udara dari baling-baling untuk memisahkan cangkang yang ringan dari biji kuaci yang lebih berat.



Gambar 20. Mesin pengupas kuaci

Mesin ini dirancang dengan bentuk yang sederhana, mudah dirakit, dan mudah diproduksi. Selain itu, penggunaan material seperti stainless steel, plat baja, dan komponen hasil 3D printing membuat mesin lebih kuat, ringan, dan ekonomis. Dengan konsep ini, proses pengupasan kuaci menjadi lebih cepat dan efisien dibandingkan pengupasan secara manual.

2. Design For manufacture (DFM)

Design for Manufacturing (DFM) merupakan suatu pendekatan perancangan produk yang bertujuan untuk mempermudah proses manufaktur dengan mempertimbangkan aspek produksi sejak tahap awal perancangan. Konsep *DFM* berfokus pada bagaimana suatu produk dapat diproduksi secara efisien, ekonomis, dan konsisten tanpa mengurangi fungsi serta kualitas produk yang dihasilkan. Untuk memahami cara kerja mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable, perlu dilakukan identifikasi terhadap komponen-komponen penyusunnya beserta fungsi masing-masing komponen. Setiap komponen memiliki peran yang berbeda dalam mendukung proses pengupasan, pemisahan, dan penyaluran hasil pengupasan sehingga mesin dapat beroperasi dengan baik. Adapun komponen-komponen penyusun mesin beserta fungsinya disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Komponen dan Fungsi Produk.

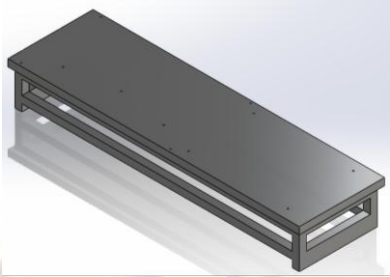
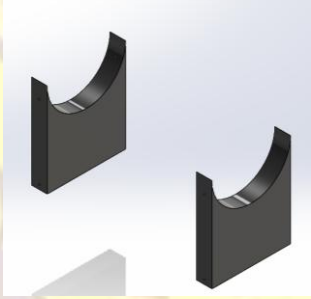
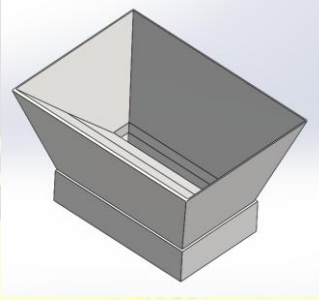
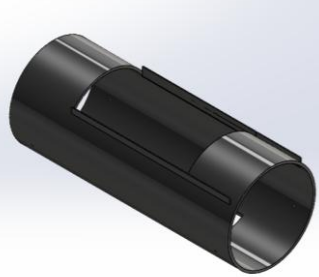
No	Komponen	Fungsi
1	Alas	Menopang seluruh komponen mesin agar stabil saat beroperasi.
2	Dudukan	Sebagai penyangga pada saluran
3	Saluran	Mengarahkan aliran cangkang dan biji kuaci
4	<i>Case power supply</i>	Melindungi power supply dari benturan
5	Tutup case	Menutup dan melindungi komponen yang berada di dalam case.
6	<i>Roll</i>	Menekan dan memecahkan cangkang kuaci melalui proses pengupasan.
7	<i>Case</i>	pelindung mekanisme pengupasan
8	Dinding pengupasan	Tempat untuk menekan dan menghancurkan cangkang kuaci yang berbenturan dengan roll
9	Jalur buang	Menyalurkan hasil pengupasan menuju tahap pemisahan atau penampungan
10	Motor pengupasan	Menggerakkan roll untuk melakukan proses pengupasan cangkang kuaci
11	Potensio	Mengatur kecepatan putaran motor sesuai kebutuhan proses
12	Bak biji	Menampung biji kuaci yang telah terpisah dari cangkangnya

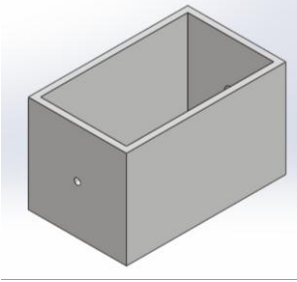
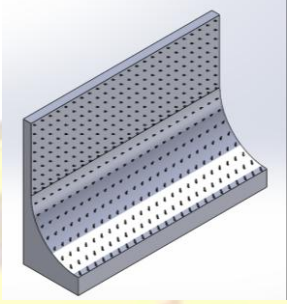
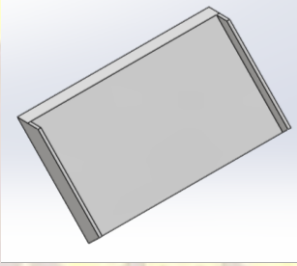
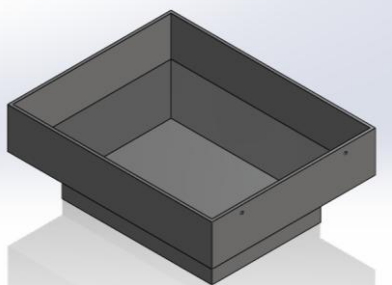
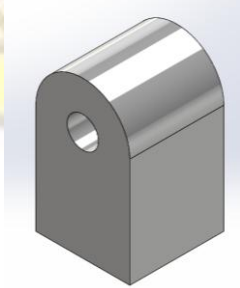
13	<i>Hopper</i>	Tempat memasukkan kuaci sebelum diproses dan mengatur aliran masuk kuaci
14	<i>Case motor</i>	Melindungi motor dari benturan
15	Jalur buang cangkang	Menyalurkan cangkang hasil pengupasan menuju wadah cangkang
16	Wadah cangkang	Menampung cangkang kuaci yang telah terpisah dari bijinya
17	Siku L	Menghubungkan dan memperkuat sambungan antarbagian struktur mesin
18	Skrup	Mengikat dan menyatukan komponen agar dapat dirakit dan dibongkar dengan mudah
19	Dudukan motor	Menopang motor serta menjaga posisi motor tetap stabil selama beroperasi
20	Motor pemisahan	Menggerakkan sistem pemisahan antara biji dan cangkang kuaci
21	Baling – baling	Menghasilkan aliran udara untuk membantu proses pemisahan biji dan cangkang berdasarkan berat jenisnya
22	Akrilik <i>case</i>	Penutup transparan yang melindungi komponen

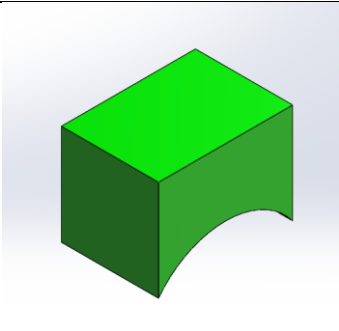
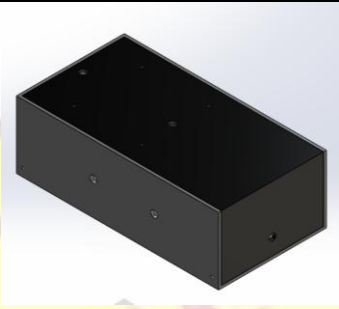
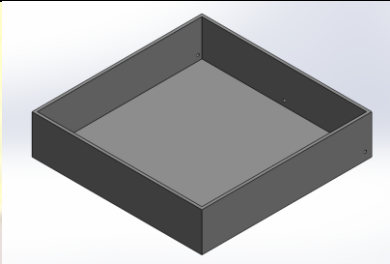
A. Memilih komponen-komponen struktur mekanik Mesin pengupas kuaci

Pemilihan komponen struktur mekanik bertujuan menghasilkan konstruksi mesin yang kokoh, fungsional, dan mudah dirakit sesuai prinsip *DFMA*. Komponen yang digunakan terdiri atas komponen hasil manufaktur dan komponen standar yang tersedia di pasaran. Komponen yang dibuat meliputi alas, dudukan, hopper, saluran, case, dinding pengupasan, jalur buang, jalur buang cangkang, wadah cangkang, dudukan motor, case motor, dan akrilik case. Komponen yang diperoleh di pasaran meliputi motor pengupasan, motor pemisahan, baling-baling, potensio, siku L, skrup, dan *power supply*. Komponen hasil manufaktur dan komponen standar dipilih dengan mempertimbangkan kemudahan pembuatan, perakitan, ketersediaan material, dan biaya produksi. Daftar komponen yang dibuat dan dibeli dapat dilihat pada Tabel 5 dan Tabel 6 berikut.

Tabel 5. Komponen mesin Pengupas kuaci dibuat dengan proses manufaktur

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	Jumlah
1	Alas		Dimensi: 410mm x 62mm x 114mm	1
2	Dudukan		100mm x 120mm x 20mm	2
3	<i>Hopper</i>		132mm x 110mm x 84mm	1
4	Saluran		250mm x 100mm	1

5	Case dinding pengupasan		130mm x 80mm x 71 mm	1
6	Dinding pengupasan		130 mm x 80mm x 40mm	1
7	Jalur buang biji		130 mm x 10mm x 70mm	1
8	Wadah cangkang		110mm x 60mm x 116 mm	1
9	Dudukan motor		60mm x 100mm x 60m	1

10	<i>Case motor</i>		58mm x 60mm x 70mm	1
11	<i>Case power supply</i>		148mm x 76mm x 72mm	1
12	Wadah biji		130mm x 30mm x 130mm	1

Tabel 6. Komponen mesin pengupas kuaci yang terdapat di pasaran.

No	Nama komponen	Gambar komponen	Spesifikasi	jumlahh
1	Motor pengupasan		Dimensi: 60 mm x 25 mm 65 RPM	1

2	Motor pemisahan		Dimensi: 50 mm x 35 mm 17000 RPM	1
3	Baling baling		Dimensi: 80mm	1
4	Baut		Dimensi: 2mm x 15mm	34
5	Power supply		Dimensi: 160mm x 50mm x 110mm	1
6	Dimmer		Dimensi: 67mm x 3mm x 32mm	2

7	Jalur buang cangkang		96mm x 105mm	1
---	----------------------	---	--------------	---

B. Waktu pembuatan komponen-komponen mesin pengupas kuaci

Waktu pembuatan komponen-komponen mesin pengupas kuaci meliputi proses pengukuran, pemotongan, pembentukan, perakitan, dan finishing. Setiap komponen memiliki waktu pengerjaan yang berbeda tergantung tingkat kerumitan bentuk, jenis material, serta proses manufaktur yang digunakan. Komponen utama seperti hopper, dinding pengupasan, poros roll, dan unit pemisahan memerlukan waktu pengerjaan lebih lama dibandingkan komponen standar seperti baut, mur, motor dc dan *power supply* yang diperoleh dari pasaran.

Melalui penerapan metode *DFMA*, waktu pembuatan dapat dikurangi dengan menyederhanakan desain, mengurangi jumlah komponen, dan menggunakan komponen standar. Hal ini membuat proses manufaktur dan perakitan menjadi lebih cepat, efisien, serta menekan biaya produksi keseluruhan mesin.

Tabel 7. waktu dan proses pembuatan komponen mesin pengupas kuaci

No	Komponen	Proses pembuatan/pemesinan	Material	Waktu pembuatan/pemesinan
1	<i>Hopper</i>	Pemotongan dan Pengelasan	Plat baja	5 jam
2	Dinding pengupasan	Pemotongan dan Pengelasan	Stainless steel	5 jam
3	Poros <i>roll</i>	Bubut dan ulir	Alumunium	4 jam 20 menit
4	Saluran	3D printing	Filament ABS	20 jam 15 menit

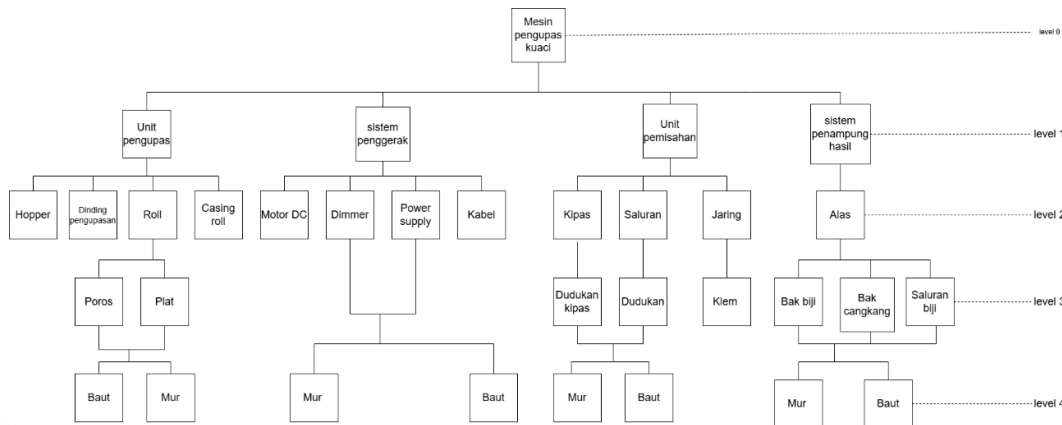
5	Dudukan	3D printing	Filament ABS	4 jam 42 menit
6	Alas	3D printing	Filament ABS	22 jam 15 menit
7	Seluncuran biji	Pemotongan dan Pengelasan	Stainless steel	3 jam 46 menit
8	Bak biji	3D printing	Filament ABS	8 jam 12 menit
9	Bak cangkang	3D printing	Filament ABS	10 jam 30 menit
10	<i>Case power supply</i>	Lasser cutting	Akrilik	4 jam 5 menit
11	Dudukan motor	3D printing	Filament ABS	3 Jam 56 menit
12	<i>Case motor</i>	3D printing	Filament ABS	4 Jam 39 menit
13	Jaring	Pemotongan gunting baja	aluminium	17 menit 12 detik
			Total	94 jam 57 menit 12 detik

3. *Design for assembly (DFA)*

Analisis *Design for Assembly (DFA)* dilakukan untuk mengevaluasi kemudahan proses perakitan mesin pengupas kuaci. Tujuan *DFA* adalah mengurangi jumlah komponen, menyederhanakan proses perakitan, serta meminimalkan waktu dan biaya produksi tanpa mengurangi fungsi mesin. Perancang harus mempertimbangkan apakah struktur produk yang dibuatnya dapat mendukung proses perakitan selanjutnya. Analisis *DFA* akan mendapatkan nilai efisiensi pada perakitan

A. Bandingkan dengan Penelitian Sebelumnya

Design for Assembly dimulai dengan penggambaran struktur produk jam dinding awal. Struktur produk merupakan suatu diagram yang menunjukkan hubungan hierarkis antara part/komponen/sub-assembly yang membentuk suatu produk. Maka, Product Structure Tree adalah diagram (seperti pohon dengan cabang-cabangnya) yang menunjukkan bagaimana suatu produk dibuat dari bagian-bagiannya.



Gambar 21 Struktur Produk mesin pengupas kuaci

Keterangan gambar struktur produk mesin pengupas kuaci:

level 0 = Produk utama

level 1 = Sub sistem utama

level 2 = komponen penyusun sub sistem

level 3 = komponen pendukung

level 4 = Elemen Pengikat/Fastener

B. Proses perakitan mesin pengupas kuaci

Setelah dilakukan penggambaran struktur produk jam dinding awal, maka dibuatlah urutan proses perakitan alat mesin pengupas kuaci. Urutan Proses perakitan alat mesin pengupas kuaci dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Waktu Perakitan Mesin pengupas kuaci.

No	Elemen Kegiatan	Waktu perakitan
1	Pemasangan <i>hopper</i> ke dinding pengupasan	4 detik
2	Pemasangan dudukan ke saluran	2 menit 24 detik

3	Pemasangan pembuangan biji ke bak biji	3 menit 41 detik
4	Pemasangan dudukan motor ke <i>power supply</i>	1 menit 6 detik
5	Pemasangan bak biji ke ke alas	4 menit 58 detik
6	Pemasangan dudukan ke alas	3 menit 13 detik
7	Pemasangan jaring ke saluran	1menit 39 detik
8	Pemasangan <i>power supply</i> ke alas	4 menit 27 detik
9	Pemasangan wadah cangkang ke alas	3 menit 42 detik
10	Pemasangan motor dc pemisahan ke kipas	9 menit 32 detik
11	Pemasangan motor dc pengupasan ke <i>roll</i>	8 menit 48 detik
	Total	45 menit 34 detik

Berdasarkan hasil pengamatan proses perakitan, total waktu yang dibutuhkan untuk merakit mesin pengupas kuaci adalah 64 menit 45 detik. Waktu perakitan terbesar terdapat pada proses pemasangan motor DC pengupasan ke roll selama 17 menit 48 detik dan pemasangan motor DC pemisahan ke kipas selama 15 menit 32 detik. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemasangan komponen penggerak memerlukan ketelitian dan penyesuaian yang lebih kompleks dibandingkan komponen lainnya.

Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa komponen-komponen yang berkaitan dengan sistem penggerak merupakan faktor utama yang memengaruhi lamanya waktu perakitan. Oleh karena itu, penerapan prinsip *Design for Assembly (DFA)* pada bagian tersebut dapat menjadi upaya untuk mengurangi waktu perakitan, seperti dengan menyederhanakan metode pemasangan, mengurangi jumlah pengencang, atau menggunakan desain dudukan yang lebih mudah dirakit. Dengan demikian, efisiensi proses perakitan dan produktivitas pembuatan mesin dapat ditingkatkan.

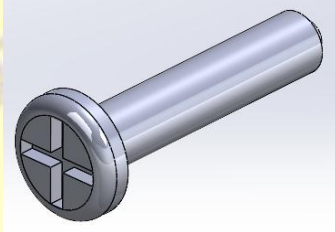
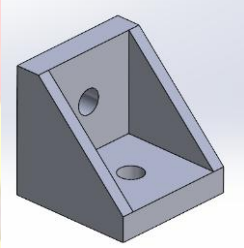
C. Komponen penyusun mesin pengupas kuaci

Mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable tersusun atas beberapa komponen yang saling terintegrasi untuk menghasilkan proses pengupasan dan

pemisahan kuaci secara efektif. Setiap komponen memiliki fungsi tertentu yang mendukung kinerja mesin secara keseluruhan.

Berdasarkan prinsip *DFMA*, komponen-komponen tersebut dikelompokkan ke dalam sistem rangka, sistem pengupas, sistem penggerak, unit pemisahan, dan sistem penampung hasil untuk mempermudah proses manufaktur dan perakitan. Adapun beberapa Komponen penyusun mesin pengupas kuaci dicantumkan pada tabel 9 berikut.

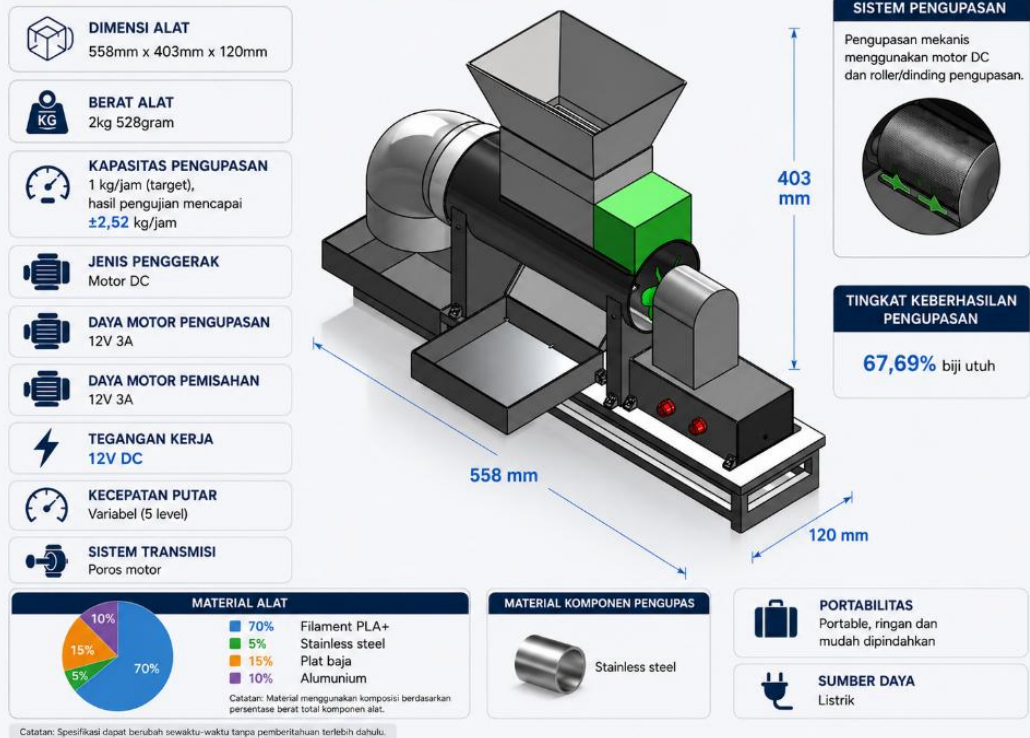
Tabel 9 . Komponen Penyusun mesin pengupas kuaci.

No	Komponen	Gambar komponen	Jumlah
1	Baut		34
2	Siku L		11

D. Spesifikasi mesin pengupas kuaci

Spesifikasi prototype mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable disusun untuk memberikan gambaran mengenai karakteristik dan kemampuan mesin yang telah dirancang. Spesifikasi tersebut mencakup dimensi mesin, material konstruksi, jenis motor penggerak, sistem transmisi, kapasitas pengupasan, serta komponen pendukung lainnya.

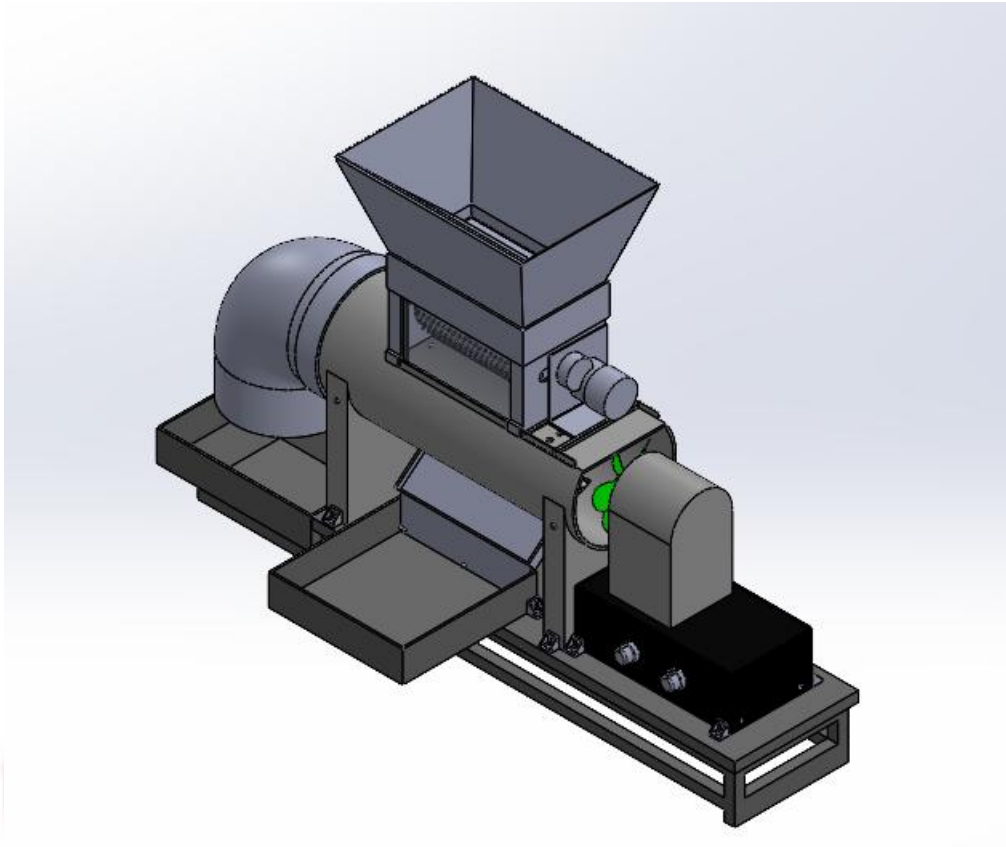
SPESIFIKASI MESIN PENGUPAS BIJI



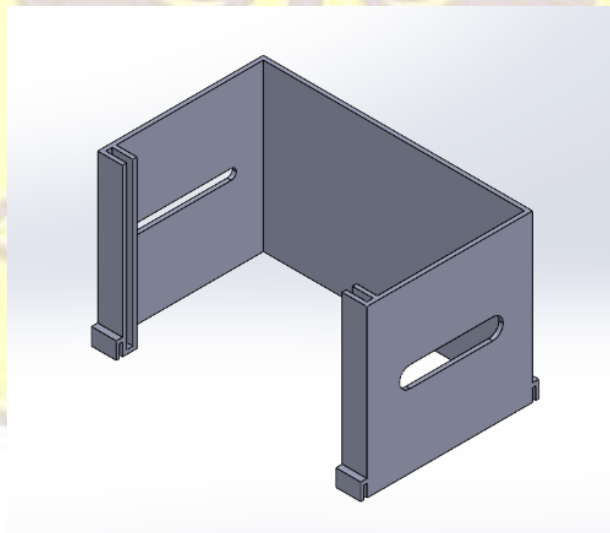
Gambar 22. Spesifikasi mesin pengupas kuaci.

4. Desain modular

Pada rancangan akhir mesin pengupas kuaci dilakukan penambahan fitur pengaturan ukuran celah antara roll pengupas dan dinding pengupasan. Penambahan fitur ini bertujuan untuk memberikan fleksibilitas dalam menyesuaikan jarak celah sesuai dengan ukuran dan karakteristik biji kuaci yang akan diproses. Celah antara roll dan dinding merupakan area utama terjadinya proses pengupasan, di mana biji kuaci mengalami gaya tekan dan gesekan yang menyebabkan cangkang terlepas dari inti biji. Dengan adanya pengaturan ukuran celah, tekanan yang diberikan pada biji dapat dioptimalkan sehingga proses pengupasan menjadi lebih efektif. Celah yang terlalu sempit berpotensi meningkatkan jumlah biji pecah akibat tekanan yang berlebihan, sedangkan celah yang terlalu lebar dapat mengurangi efektivitas pengupasan karena cangkang tidak menerima tekanan yang cukup. Oleh karena itu, pengaturan ukuran celah pada rancangan akhir diharapkan mampu meningkatkan persentase pengupasan, mengurangi kerusakan biji, serta menghasilkan kinerja mesin yang lebih baik dibandingkan rancangan sebelumnya.



Gambar 23. Desain modular



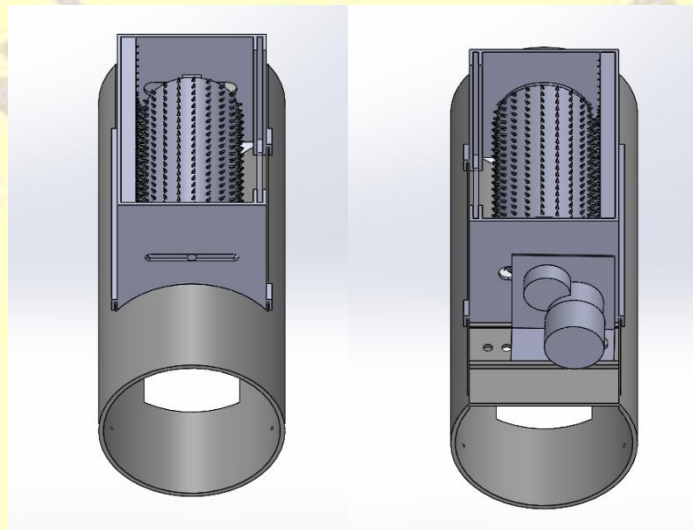
Gambar 24. Case dinding pengupasan yang bisa di atur celahnya.

case dinding pengupasan yang dirancang dengan fitur pengaturan celah (*adjustable gap*). Pada kedua sisi dinding terdapat slot memanjang yang memungkinkan posisi dinding digeser maju atau mundur terhadap *roll* pengupas. Pengaturan ini digunakan untuk

menyesuaikan jarak antara roll dan dinding pengupasan sesuai ukuran kuaci yang akan diproses.

Dengan adanya pengaturan celah, proses pengupasan dapat dilakukan secara lebih optimal. Celah yang terlalu sempit berpotensi menyebabkan biji kuaci pecah, sedangkan celah yang terlalu lebar dapat mengurangi efektivitas pengupasan sehingga cangkang tidak pecah sempurna. Oleh karena itu, mekanisme ini memungkinkan pengguna menentukan jarak yang sesuai untuk memperoleh hasil pengupasan terbaik.

Selain meningkatkan kualitas pengupasan, desain ini juga memberikan fleksibilitas dalam pengujian berbagai variasi celah selama proses penelitian. Dengan demikian, pengaruh jarak antara roll dan dinding pengupasan terhadap persentase pengupasan dan kerusakan biji dapat dianalisis secara lebih akurat.

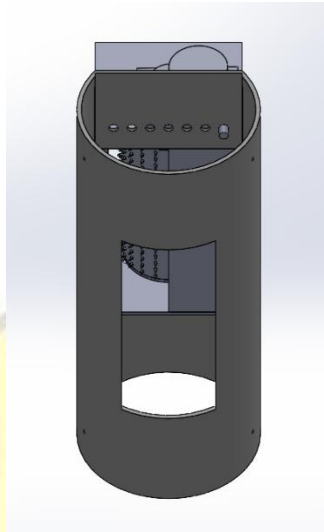


Gambar 25. Tampak kiri dan tampak kanan.

Tampak kiri menunjukkan bagian dalam sistem pengupasan yang terdiri dari roll pengupas dan dinding pengupasan yang dapat diatur celahnya. *Roll* pengupas dipasang pada bagian tengah dan berfungsi sebagai komponen utama yang memberikan gaya tekan serta gesekan pada kuaci. Dinding pengupasan ditempatkan di sekitar *roll* dan dapat digeser untuk mengatur jarak atau celah pengupasan. Pada bagian bawah terdapat saluran yang mengarahkan hasil pengupasan menuju sistem pemisahan.

Tampak kanan memperlihatkan susunan komponen pengupasan secara lebih lengkap, termasuk motor DC pengupasan yang terhubung dengan poros roll. Motor berfungsi menghasilkan putaran yang diteruskan ke *roll* pengupas sehingga proses pemecahan cangkang dapat berlangsung. Selain itu, tampak pula mekanisme pengaturan

posisi dinding pengupasan yang digunakan untuk menyesuaikan celah antara *roll* dan dinding sesuai kebutuhan pengujian.



Gambar 26. Bagian pengunci.

bagian pengunci (locking mechanism) yang digunakan untuk mengatur dan mempertahankan posisi dinding pengupasan. Pada bagian atas terlihat beberapa lubang pengunci yang berfungsi sebagai titik pengaturan posisi dinding. Dengan memilih lubang yang berbeda, jarak atau celah antara *roll* pengupas dan dinding pengupasan dapat diubah sesuai kebutuhan. Mekanisme pengunci ini memungkinkan pengaturan celah dilakukan dengan mudah dan presisi, sehingga variasi jarak pengupasan dapat diterapkan secara konsisten selama pengujian. Setelah posisi yang diinginkan tercapai, pengunci akan menahan dinding pengupasan agar tidak bergeser akibat getaran atau gaya yang timbul saat mesin beroperasi.

A. Pengujian Mesin pengupas kuaci

Pengujian mesin pengupas kuaci dilakukan untuk mengevaluasi kinerja prototype mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan mesin menggunakan sejumlah sampel kuaci dan mengamati hasil pengupasan yang diperoleh. Parameter yang diamati meliputi biji terkupas utuh, cangkang tertiuap, cangkang ikut biji, serta jumlah biji yang mengalami kerusakan selama proses pengupasan. Data hasil pengujian digunakan untuk menentukan kapasitas dan efektivitas kerja mesin serta mengidentifikasi bagian yang masih memerlukan perbaikan atau pengembangan lebih lanjut. Sebelum proses pengujian dilaksanakan, dilakukan beberapa tahap persiapan. Tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

- Menyiapkan 25 bungkus kuaci original mini market kapasitas 150 gram
- Menyiapkan plastik 100 lembar untuk wadah hasil pengupasan
- Menyiapkan Spidol untuk nulis di plastik tersebut
- Menyiapkan stopwatch (HP)
- Menyiapkan Tabel pengujian (Excel)
- Menghitung kuaci yang ada di dalam bungkus
- Mengaktifkan mesin pengupas kuaci
- Memasukkan kuaci kedalam mesin pengupas
- Menghitung biji yang terkupas
- Menimbang cangkang yang terkupas
- Mengamati serta mencatat hasil pemindaian dan
- Mengakhiri proses pengujian

B. Perhitungan kapasitas pada 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.

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

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 10.

Tabel 10. pengujian konfigurasi RPM pengupasan

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.

C. 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 observasi terhadap dimensi dan 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 11 berikut.

Tabel 11. 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.

D. Perhitungan kapasitas pada pemisahan

Perhitungan kapasitas pada sistem pemisahan dilakukan untuk mengetahui persentase hasil pemisahan pada setiap konfigurasi yang diuji. Setiap konfigurasi memiliki keterkaitan dengan kinerja sistem pengupasan, sehingga hasil yang diperoleh perlu dianalisis untuk melihat pengaruhnya terhadap proses pemisahan cangkang dan inti biji. Pada penelitian ini terdapat 25 variasi pengujian yang merupakan hasil keluaran dari alat pengupas kuaci. Setiap pengujian menggunakan sampel kuaci utuh sebanyak 150gram dan dilakukan dalam satu kali percobaan untuk setiap variasi. Dengan demikian, total bahan yang digunakan selama seluruh rangkaian pengujian adalah $150 \text{ gram} \times 25 \text{ percobaan}$, sehingga diperoleh total penggunaan kuaci.

Tabel 12. Konfigurasi RPM pemisahan

NO	Konfigurasi	RPM
1	1	1115,7
2	2	3948,8
3	3	6966,3
4	4	11246
5	5	14930

Tabel tersebut berisi susunan konfigurasi yang digunakan dalam pengujian putaran motor pada sistem pemisahan mesin pengupas kuaci portable. Dalam pengujian ini digunakan baling-baling dengan diameter 80 mm yang dilengkapi dengan 4 buah sudu sebagai bagian dari parameter yang diuji. Nilai kecepatan udara dapat ditentukan berdasarkan persamaan yang ditunjukkan berikut ini.

$$v = \frac{\pi DN}{60}$$

Keterangan:

v = Kecepatan udara (m/s)

D = Diameter baling-baling (m)

N = Putaran (RPM)

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.

Persentase hasil pemisahan dihitung berdasarkan perbandingan massa hasil pemisahan terhadap massa sampel awal yang digunakan pada setiap pengujian. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengarahkan masing-masing fraksi hasil pengupasan menuju wadah penampungan yang sesuai. Persamaan yang digunakan untuk menghitung persentase hasil pemisahan pada cangkang tertiuip atau ikut dengan biji adalah sebagai berikut:

Perhitungan presentase cangkang tertiuip:

$$P_i = \frac{M_i}{M_i + M_{ci}} \times 100\%$$

Keterangan:

P_i = Persentase cangkang tertiuip (%)

M_i = Massa cangkang tertiuip (gram)

M_{ci} = Massa cangkang ikut biji (gram)

Contoh perhitungan

$$\begin{aligned} P_i &= \frac{20}{(20 + 31)} \times 100\% \\ &= 39,22\% \end{aligned}$$

Maka hasil dari persentase cangkang yang tertiuip oleh sistem pemisahan sebesar 39,22%.

Perhitungan presentase cangkang ikut inti biji:

$$P_{ci} = \frac{M_{ci}}{M_{ci} + M_i} \times 100\%$$

Keterangan:

P_{ci} = Persentase cangkang ikut biji (%)

M_i = Massa cangkang tertiuip (gram)

M_{ci} = Massa cangkang ikut biji (gram)

Contoh perhitungan

$$\begin{aligned} Pci &= \frac{31}{(31 + 20)} \times 100\% \\ &= 60,78\% \end{aligned}$$

Setelah melakukan perhitungan pada hasil pengujian kapasitas alat pengupas kuaci pada sistem pemisahan, berikut merupakan tabel dari perhitungan setiap pengujian selama 25 kali, mencakup hasil yaitu cangkang tertius dengan cangkang ikut dengan biji inti.

E. Dokumentasi pengujian pengupasan dan pemisahan

Dokumentasi pengujian pengupasan dan pemisahan merupakan bagian yang berisi rangkaian kegiatan selama proses pengujian prototipe mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable. Dokumentasi ini disusun sebagai bukti bahwa seluruh tahapan penelitian telah dilaksanakan secara sistematis sesuai dengan metode penelitian yang telah direncanakan. Selain itu, dokumentasi juga memberikan gambaran mengenai kondisi mesin, prosedur pelaksanaan pengujian, serta hasil yang diperoleh selama proses pengujian berlangsung.

Pada tahap pengujian pengupasan, dokumentasi menampilkan proses pemasukan kuaci bunga matahari ke dalam hopper, proses pengupasan oleh mekanisme *roll* pengupas, hingga keluaran hasil pengupasan berupa biji dan cangkang. Dokumentasi ini bertujuan untuk memperlihatkan kinerja mesin dalam mengupas kulit kuaci berdasarkan variasi parameter yang digunakan, sehingga dapat diamati efektivitas mekanisme pengupasan serta kualitas hasil yang dihasilkan. Setiap dokumentasi dilengkapi dengan keterangan mengenai kondisi pengujian, parameter yang digunakan, serta hasil yang diperoleh pada masing-masing percobaan.

Dokumentasi juga memperlihatkan kondisi hasil akhir pengujian yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan evaluasi terhadap performa mesin. Dengan adanya dokumentasi ini, hasil penelitian menjadi lebih mudah dipahami, dapat dipertanggungjawabkan, serta memperkuat validitas proses pengujian yang telah dilakukan. Hasil pengujian mekanisme pengupasan dapat dilihat pada tabel 13-17 berikut.

Tabel 13. Dokumentasi MK1 MP1-5

No	Dokumentasi	Keterangan
Grid MK1 MP1		Proses pengupasan telah berlangsung, namun masih menghasilkan biji pecah yang cukup tinggi dan sebagian cangkang belum terpisah dari biji. Hasil pemisahan belum optimal, seluruh cangkang masih tercampur dengan biji kuaci.
Grid MK1 MP2		Proses pengupasan berjalan lebih baik, sebagian besar biji berhasil terkupas dengan tingkat kerusakan yang masih relatif tinggi. Proses pemisahan mulai bekerja, sebagian cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci.
Grid MK1 MP3		Proses pengupasan berlangsung efektif, sebagian besar biji telah terkupas dan pemisahan cangkang mulai menunjukkan hasil yang baik. Kinerja pemisahan meningkat, sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci.

Grid MK1 MP4		Proses pengupasan berjalan dengan baik, biji kuaci berhasil terkupas secara merata dan cangkang dapat dipisahkan dengan sempurna. Proses pemisahan berlangsung sangat baik, seluruh cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci.
Grid MK1 MP5		Proses pengupasan berlangsung paling optimal, menghasilkan persentase biji utuh tertinggi. Proses pemisahan berlangsung optimal, seluruh cangkang berhasil dipisahkan dengan persentase biji utuh tertinggi.

Berdasarkan hasil pengujian Grid MK1 pada variasi MP1–MP5, terlihat adanya peningkatan kinerja mesin seiring dengan perubahan parameter pengujian. Pada MP1, proses pengupasan dan pemisahan masih belum optimal, ditandai dengan tingginya jumlah biji pecah dan cangkang yang masih tercampur dengan biji kuaci. Memasuki MP2 dan MP3, kualitas pengupasan serta efektivitas pemisahan mulai meningkat, dengan semakin banyak biji yang berhasil terkupas dan cangkang yang terpisah. Pada MP4, proses pengupasan berlangsung merata dan pemisahan cangkang berjalan sangat baik. Sementara itu, MP5 memberikan hasil terbaik dengan menghasilkan persentase biji utuh tertinggi serta pemisahan cangkang yang berlangsung secara optimal. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan parameter pengujian pada Grid MK1 berpengaruh positif terhadap kualitas pengupasan dan efektivitas pemisahan kuaci.

Tabel 14. Dokumentasi MK2 MP1-5

No	Dokumentasi	Keterangan
Grid MK2 MP1		Proses pengupasan berlangsung cukup baik dengan persentase biji utuh sebesar 48,92%, namun masih terdapat biji yang pecah selama proses pengupasan. Proses pemisahan belum berlangsung optimal karena seluruh cangkang hasil pengupasan masih tercampur dengan biji kuaci.
Grid MK2 MP2		Proses pengupasan menghasilkan persentase biji utuh yang lebih rendah dibandingkan Grid 1, sehingga jumlah biji pecah masih cukup tinggi. Proses pemisahan mulai bekerja dengan baik, ditandai oleh sebagian cangkang yang berhasil dipisahkan dari campuran hasil pengupasan.
Grid MK2 MP3		Proses pengupasan berjalan lebih efektif dengan peningkatan persentase biji utuh dan penurunan jumlah biji pecah dibandingkan Grid 2. Proses pemisahan mengalami peningkatan, sehingga sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci.

Grid MK2 MP4		Proses pengupasan memberikan hasil terbaik dengan persentase biji utuh tertinggi sebesar 49,54% dan persentase biji pecah terendah sebesar 50,46%. Proses pemisahan berlangsung efektif dengan mayoritas cangkang berhasil dipisahkan dari campuran hasil pengupasan.
Grid MK2 MP5		Proses pengupasan berlangsung cukup baik, namun jumlah biji pecah kembali meningkat sehingga persentase biji utuh menurun dibandingkan Grid 4. Proses pemisahan berlangsung paling optimal, menghasilkan persentase cangkang tertip tertinggi dan jumlah cangkang yang tercampur dengan biji paling sedikit.

Berdasarkan hasil pengujian Grid MK2 pada variasi MP1–MP5, proses pengupasan dan pemisahan menunjukkan peningkatan kinerja pada setiap variasi parameter. Pada MP1, proses pengupasan masih menghasilkan sejumlah biji pecah dan pemisahan cangkang belum berlangsung secara optimal. Seiring peningkatan variasi menuju MP2 dan MP3, kualitas pengupasan semakin baik dengan berkurangnya jumlah biji yang rusak serta meningkatnya efektivitas pemisahan cangkang. Pada MP4, proses pengupasan berlangsung lebih merata dan sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci. Sementara itu, MP5 memberikan hasil terbaik pada Grid MK2 dengan menghasilkan persentase biji utuh yang lebih tinggi dan proses pemisahan cangkang yang berlangsung lebih optimal. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan parameter pengujian pada Grid MK2 berpengaruh positif terhadap kualitas pengupasan dan efektivitas pemisahan kuaci.

Tabel 15. Dokumentasi MK3 MP1-5

No	Dokumentasi		Keterangan
Grid MK3 MP1			Proses pengupasan berlangsung cukup baik, namun masih menghasilkan persentase biji pecah yang tinggi. Proses pemisahan sudah mulai bekerja, namun masih terdapat banyak cangkang yang tercampur dengan biji kuaci.
Grid MK3 MP2			Proses pengupasan menunjukkan peningkatan dengan bertambahnya persentase biji utuh dibandingkan Grid 1. Kinerja pemisahan menurun dibandingkan Grid 1 sehingga cangkang yang ikut bersama biji masih cukup tinggi.
Grid MK3 MP3			Proses pengupasan berlangsung paling efektif dengan persentase biji utuh tertinggi sebesar 46,15%. Proses pemisahan berlangsung sangat baik dengan sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji.

Grid MK3 MP4		Proses pengupasan tetap berjalan baik dengan hasil biji utuh yang relatif tinggi dan tingkat kerusakan biji yang lebih rendah. Proses pemisahan mencapai kondisi terbaik dengan persentase cangkang tertiuip tertinggi dan cangkang tercampur yang sangat sedikit.
Grid MK3 MP5		Proses pengupasan berlangsung cukup baik, namun persentase biji utuh sedikit menurun dibandingkan Grid 3 dan Grid 4. Proses pemisahan tetap berlangsung optimal dengan hampir seluruh cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci.

Berdasarkan hasil pengujian Grid MK3 pada variasi MP1–MP5, kinerja mesin menunjukkan peningkatan secara bertahap pada setiap variasi parameter. Pada MP1, proses pengupasan dan pemisahan masih belum optimal karena masih terdapat biji yang pecah dan sebagian cangkang belum terpisah sempurna. Memasuki MP2 dan MP3, efektivitas pengupasan meningkat dengan berkurangnya jumlah biji yang rusak serta semakin banyak cangkang yang berhasil dipisahkan. Pada MP4, proses pengupasan berlangsung lebih merata dan sistem pemisahan bekerja dengan baik sehingga sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci. Sementara itu, MP5 menghasilkan performa terbaik pada Grid MK3 dengan persentase biji utuh yang paling tinggi serta proses pemisahan cangkang yang berlangsung secara optimal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan parameter pengujian pada Grid MK3 memberikan pengaruh positif terhadap kualitas pengupasan dan efektivitas pemisahan kuaci.

Tabel 16. Dokumentasi MK4 MP1-5

No	Dokumentasi		Keterangan
Grid MK4 MP1			Proses pengupasan berlangsung baik dengan persentase biji utuh yang lebih tinggi dibandingkan biji pecah. Proses pemisahan belum berlangsung karena seluruh cangkang masih tercampur dengan biji kuaci.
Grid MK4 MP2			Proses pengupasan tetap berjalan baik, meskipun persentase biji utuh sedikit menurun dibandingkan Grid 1. Proses pemisahan mulai bekerja dengan sebagian cangkang berhasil dipisahkan dari campuran hasil pengupasan.
Grid MK4 MP3			Proses pengupasan mencapai hasil terbaik dengan persentase biji utuh tertinggi sebesar 67,08%. Proses pemisahan berlangsung sangat baik dengan sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci.

Grid MK4 MP4		Proses pengupasan berlangsung efektif dengan persentase biji utuh yang masih tinggi dan waktu proses yang relatif singkat. Proses pemisahan mencapai kondisi optimal dengan hampir seluruh cangkang berhasil dipisahkan dari biji.
Grid MK4 MP5		Proses pengupasan berjalan stabil dengan hasil biji utuh yang hampir sama dengan Grid 4. Proses pemisahan tetap optimal dengan tingkat pemisahan cangkang yang sama baiknya dengan Grid 4.

Berdasarkan hasil pengujian Grid MK4 pada variasi MP1–MP5, proses pengupasan dan pemisahan menunjukkan peningkatan kinerja pada setiap variasi parameter. Pada MP1, proses pengupasan belum berlangsung secara optimal karena masih terdapat biji yang pecah dan cangkang yang belum terpisah sempurna. Peningkatan kualitas pengupasan mulai terlihat pada MP2 dan MP3, ditandai dengan semakin banyak biji yang berhasil terkupas serta meningkatnya efektivitas pemisahan cangkang. Pada MP4, proses pengupasan berlangsung lebih merata dengan tingkat kerusakan biji yang lebih rendah, sedangkan proses pemisahan mampu memisahkan sebagian besar cangkang dari biji kuaci. Sementara itu, MP5 memberikan hasil terbaik pada Grid MK4 dengan menghasilkan persentase biji utuh yang lebih tinggi dan pemisahan cangkang yang berlangsung paling efektif. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan parameter pada Grid MK4 memberikan pengaruh positif terhadap kualitas pengupasan dan efektivitas pemisahan kuaci.

Tabel 17. Dokumentasi MK5 MP1-5

No	Dokumentasi		Keterangan
Grid MK5 MP1			Proses pengupasan berlangsung baik dengan persentase biji utuh lebih tinggi dibandingkan biji pecah. Proses pemisahan belum berlangsung karena seluruh cangkang masih tercampur dengan biji kuaci.
Grid MK5 MP2			Proses pengupasan masih berlangsung cukup baik, namun persentase biji pecah sedikit lebih tinggi dibandingkan biji utuh. Proses pemisahan mulai bekerja dengan sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari campuran hasil pengupasan.
Grid MK5 MP3			Proses pengupasan berjalan stabil dengan hasil biji utuh dan biji pecah yang relatif seimbang. Proses pemisahan berlangsung sangat baik dengan sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci.

Grid MK5 MP4		Proses pengupasan menunjukkan peningkatan dengan persentase biji utuh yang lebih tinggi dibandingkan biji pecah. Proses pemisahan mendekati kondisi optimal dengan hampir seluruh cangkang berhasil dipisahkan dari biji.
Grid MK5 MP5		Proses pengupasan mencapai hasil terbaik dengan persentase biji utuh tertinggi sebesar 67,69% dan persentase biji pecah terendah sebesar 32,31%. Proses pemisahan mencapai hasil terbaik dengan persentase cangkang tertiuip tertinggi sebesar 96,72% dan cangkang yang ikut biji hanya sebesar 3,28%.

Berdasarkan hasil pengujian Grid MK5 pada variasi MP1–MP5, proses pengupasan dan pemisahan menunjukkan peningkatan kinerja secara bertahap pada setiap variasi parameter. Pada MP1, hasil pengupasan masih belum optimal karena masih ditemukan biji yang pecah dan proses pemisahan cangkang belum berlangsung secara sempurna. Memasuki MP2 dan MP3, kualitas pengupasan semakin meningkat dengan berkurangnya jumlah biji yang rusak serta meningkatnya efektivitas pemisahan cangkang. Pada MP4, proses pengupasan berlangsung lebih merata dan sebagian besar cangkang berhasil dipisahkan dari biji kuaci. Sementara itu, MP5 menghasilkan performa terbaik pada Grid MK5 dengan persentase biji utuh yang paling tinggi dan proses pemisahan cangkang yang paling optimal dibandingkan variasi MP lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan parameter pengujian pada Grid MK5 memberikan pengaruh positif terhadap kualitas pengupasan dan efektivitas pemisahan kuaci.

F. Analisis hasil pengujian

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan sebanyak 25 kali dengan kombinasi lima variasi putaran pengupasan (MK1–MK5) dan lima variasi putaran pemisahan (MP1–MP5),

diperoleh data mengenai waktu proses, persentase biji utuh, persentase biji pecah, persentase cangkang tertiuip, dan persentase cangkang yang masih tercampur dengan biji. Data tersebut digunakan untuk mengevaluasi kinerja mesin pengupas kuaci yang telah dirancang.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan putaran pengupasan dan pemisahan berpengaruh terhadap kualitas hasil pengupasan serta efektivitas pemisahan cangkang. Pada putaran yang lebih rendah (MK1 dan MK2), persentase biji pecah masih relatif tinggi dan proses pemisahan cangkang belum berlangsung secara optimal. Seiring meningkatnya putaran pengupasan dan pemisahan, persentase biji utuh cenderung meningkat dan persentase cangkang yang berhasil dipisahkan juga semakin besar.

Tabel 18. Hasil pengujian

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%

Berdasarkan seluruh kombinasi pengujian, hasil terbaik diperoleh pada variasi MK5 MP5 dengan persentase biji utuh sebesar 67,69%, persentase biji pecah sebesar 32,31%, persentase cangkang tertiuip sebesar 93,72%, dan persentase cangkang yang masih

tercampur dengan biji sebesar 3,28 %. Maka hasil kombinasi rata ratanya yaitu 82,21% menunjukkan bahwa kombinasi putaran tersebut mampu menghasilkan keseimbangan terbaik antara proses pengupasan dan pemisahan cangkang.

Selain kualitas hasil pengupasan, kapasitas mesin juga telah memenuhi target perancangan. Pada kondisi terbaik, mesin mampu mengupas 150gram biji kuaci dalam waktu 3 menit 34 detik sehingga menghasilkan kapasitas sekitar 2,52 kg/jam. Nilai tersebut telah melampaui target kapasitas minimum yang ditetapkan sebesar 1 kg/jam.

G. Analisis *DFMA*

Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) merupakan pendekatan sistematis dalam perancangan produk yang bertujuan untuk mempermudah proses manufaktur dan perakitan dengan tetap memperhatikan fungsi, kualitas, dan biaya produksi. *DFMA* diterapkan dengan mengevaluasi setiap komponen dan proses pada produk untuk mengurangi kompleksitas desain, menyederhanakan proses pembuatan, serta meningkatkan efisiensi perakitan. Pada perancangan Mesin Pengupas Kuaci, prinsip *DFMA* diterapkan mulai dari tahap identifikasi permasalahan desain awal hingga pengembangan desain akhir yang lebih efektif dan mudah diproduksi.

a. Analisis Desain Awal

Pada tahap awal perancangan, mesin pengupas kuaci menggunakan sistem pengupasan dengan celah tetap antara roller dan dinding pengupasan. Desain ini memiliki beberapa kelemahan, yaitu ukuran celah tidak dapat disesuaikan dengan variasi ukuran biji kuaci sehingga proses pengupasan kurang optimal. Selain itu, tingkat kerusakan biji masih cukup tinggi karena tekanan pengupasan tidak dapat diatur sesuai kebutuhan. Konstruksi awal juga belum mempertimbangkan kemudahan perakitan dan perawatan komponen.

b. Penerapan Prinsip *DFMA*

Berdasarkan permasalahan pada desain awal, dilakukan pengembangan desain dengan menerapkan prinsip *DFMA* untuk meningkatkan kinerja mesin, mempermudah proses manufaktur, serta memudahkan perakitan dan perawatan.

c. Modifikasi Fungsi Produk

Pengembangan mesin dilakukan dengan menambahkan sistem pengatur celah antara roller dan dinding pengupasan. Sistem ini memungkinkan pengguna menyesuaikan jarak celah sesuai ukuran biji kuaci yang diproses sehingga proses pengupasan menjadi lebih efektif dan dapat mengurangi jumlah biji yang pecah. Selain itu, mesin dilengkapi dengan sistem

pengaturan kecepatan putar motor yang terdiri dari beberapa level kecepatan untuk menyesuaikan kondisi operasi.

d. Desain Produk yang Lebih Sederhana

Mesin pengupas kuaci dirancang menggunakan jumlah komponen yang lebih sedikit dengan mengintegrasikan beberapa fungsi ke dalam satu komponen. Struktur rangka dibuat sederhana sehingga proses manufaktur dan perakitan menjadi lebih mudah. Komponen-komponen utama seperti *hopper*, *roller*, dinding pengupasan, dan saluran keluaran dirancang agar mudah dipasang maupun dilepas saat proses perawatan.

e. Peningkatan Kualitas Produksi

Penerapan *DFMA* dilakukan dengan memperhatikan toleransi dimensi antar komponen, khususnya pada *roller* dan dinding pengupasan. Pengaturan toleransi yang tepat menghasilkan kesesuaian komponen yang lebih baik sehingga proses pengupasan menjadi lebih stabil dan konsisten. Selain meningkatkan kualitas hasil pengupasan, waktu produksi dan perakitan juga dapat dipersingkat sehingga efisiensi manufaktur meningkat.

f. Peningkatan Pemilihan Material

Material pada mesin dipilih berdasarkan kebutuhan kekuatan, ketahanan aus, dan kemudahan manufaktur. Komponen pengupas menggunakan stainless steel karena memiliki ketahanan korosi dan ketahanan aus yang baik akibat kontak langsung dengan biji kuaci. Struktur rangka menggunakan kombinasi plat baja dan aluminium untuk menjaga kekuatan sekaligus mengurangi berat alat. Sementara itu, beberapa komponen non-struktural dibuat menggunakan material PLA+ hasil proses pencetakan 3D karena mudah diproduksi, ringan, dan memiliki biaya manufaktur yang lebih rendah. Pemilihan material tersebut menghasilkan mesin yang kuat, ringan, dan mudah diproduksi dengan berat total sekitar 2,53 kg.

g. Peningkatan Kemudahan Perakitan dan Perawatan

Mesin dirancang secara modular sehingga setiap komponen utama dapat dilepas dan diganti tanpa harus membongkar keseluruhan sistem. Pendekatan ini mempermudah proses perawatan, pembersihan, dan penggantian komponen yang mengalami keausan. Dengan demikian, waktu perawatan dapat dikurangi dan umur pakai mesin menjadi lebih panjang.

Tabel 19. Analisis *DFMA* pada mesin pengupas kuaci

Analisis total	Value
Jumlah komponen	22
Total waktu perakitan (s)	2614 detik
Total biaya	1.591.000
Total berat	2,53 kg
DFA indeks	3,06%

Dengan persamaan berikut, nilai *DFA Index* bisa diperoleh:

$$E_m = \frac{N_{min} \times t_a \times 100}{t_m}$$

$$E_m = \frac{20 \times 4 \times 100}{2614}$$

$$E_m = 3,06\%$$

Keterangan:

N_{min} = Jumlah minimum teoritis bagian

T_a = Waktu normal perakitan 1 komponen (4 detik)

T_m = Estimasi waktu yang dibutuhkan untuk merakit 1 produk

Setelah seluruh data komponen Mesin Pengupas Kuaci dianalisis menggunakan metode *Design for Manufacturing and Assembly (DFMA)*, dilakukan identifikasi terhadap komponen-komponen yang berpotensi untuk disederhanakan dan dioptimalkan. Berdasarkan hasil analisis, mesin pengupas kuaci memiliki 22 jenis komponen dengan jumlah komponen minimum teoritis (N_{min}) sebanyak 20 komponen. Perbandingan antara jumlah komponen minimum teoritis dengan jumlah total komponen menunjukkan bahwa sebagian besar komponen pada mesin telah memiliki fungsi yang spesifik, meskipun masih terdapat beberapa komponen pendukung yang berpotensi disederhanakan melalui penggabungan fungsi atau perubahan metode penyambungan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa total waktu perakitan yang diperlukan untuk merakit mesin pengupas kuaci adalah 2614 detik atau sekitar 43 menit 34 detik. Waktu tersebut merupakan akumulasi seluruh proses perakitan setiap komponen mulai dari pemasangan struktur utama, sistem pengupasan, sistem pemisahan, hingga pemasangan komponen kelistrikan dan pelindung mesin.

Selain itu, mesin pengupas kuaci memiliki berat total sekitar 2,53 kg, sehingga termasuk ke dalam kategori mesin berukuran relatif ringan dan mudah dipindahkan. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode *DFMA*, diperoleh nilai indeks kemudahan perakitan (*DFA Index*) sebesar 2,30. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses perakitan masih memerlukan waktu yang relatif panjang dibandingkan jumlah komponen minimum teoritis yang dimiliki. Hal ini dipengaruhi oleh masih banyaknya sambungan mekanis seperti penggunaan skrup dan siku L serta beberapa tahapan pemasangan yang memerlukan proses penyesuaian posisi komponen sebelum dilakukan pengencangan.

Tabel 20. Data komponen yang dapat diperbaiki

Nama komponen	Jumlah
<i>Roller</i> pengupas	1
Dinding pengupasan	2
Saluran keluaran	1
Jalur buang biji	1
Baut	34
Siku L	11

Komponen yang dimuat dalam Tabel 20 memiliki ketidaksesuaian yang mengharuskan dilakukannya perbaikan. *Roller* pengupas dan dinding pengupasan yang berfungsi mengupas kuaci dinilai kurang efektif. Disarankan roller dan dinding yang dapat diatur celahnya agar kuaci tidak hancur dan tidak terkupas akibat celah yang terlalu dekat dan lebar. Saluran keluaran yang dinilai kurang efektif karena masih banyak cangkang kuaci dan biji kuaci yang menyangkut pada saluran keluaran, disarankan mengganti material pada saluran keluaran. Jalur buang biji juga dinilai kurang efektif karena masih ada biji kuaci yang keluar dari bak biji, disarankan menambahkan dinding pada jalur buang kuaci agar kuaci tidak keluar dari bak biji. Baut dan siku L dinilai kurang efektif untuk

menyambungkan komponen, disarankan untuk mengurangi atau mengganti sistem mekanis penyambungan dengan menggunakan sistem interlocking.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kesimpulan

Pada penelitian ini berhasil dirancang dan dibuat mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable. Penerapan metode Design for Manufacturing and Assembly (DFMA) menghasilkan desain yang lebih sederhana, mudah dirakit, dan mudah diproduksi melalui penyederhanaan komponen, pengaturan urutan perakitan, serta pemilihan material dan proses manufaktur yang sesuai. Mesin terdiri atas komponen utama berupa hopper, ruang pengupasan, saluran keluaran, sistem pemisah cangkang, motor penggerak, rangka, dan komponen pendukung lainnya yang bekerja secara terintegrasi.

Pengujian dilakukan sebanyak 25 kali dengan kombinasi 5 variasi putaran pengupasan (MK1–MK5) dan 5 variasi putaran pemisahan (MP1–MP5). Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan putaran berpengaruh terhadap kualitas pengupasan dan efektivitas pemisahan. Kombinasi MK5–MP5 memberikan hasil terbaik dengan persentase biji utuh 67,69%, biji pecah 32,31%, cangkang tertiuap 96,72%, dan cangkang yang masih tercampur 3,28%.

Berdasarkan analisis DFMA, mesin memiliki 22 jenis komponen dengan jumlah komponen minimum teoritis (N_{min}) sebanyak 20 komponen. Total waktu perakitan sebesar 2614 detik (43 menit 34 detik) menghasilkan DFA Index sebesar 3,06%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa desain masih memiliki peluang untuk ditingkatkan melalui penyederhanaan desain, pengurangan komponen penyambung, dan integrasi beberapa komponen tanpa mengurangi fungsi utama mesin. Penerapan DFMA memberikan acuan untuk meningkatkan efisiensi manufaktur, perakitan, dan kemudahan perawatan pada pengembangan mesin selanjutnya.

2. Saran

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian mesin pengupas kuaci bunga matahari otomatis portable, beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan roll dan dinding pengupas dapat dikembangkan lebih lanjut, baik dari segi geometri maupun tekstur permukaannya. untuk menghasilkan distribusi gaya tekan dan gaya gesek yang lebih merata. Pengembangan tersebut diharapkan mampu

meningkatkan persentase biji utuh dan mengurangi tingkat kerusakan inti selama proses pengupasan.

- b. Sistem pemisahan cangkang dapat disempurnakan dengan pengaturan aliran udara yang lebih stabil agar proses pemisahan cangkang dan biji menjadi lebih efektif.
- c. Sistem pengupasan dapat disempurnakan dengan pengatur celah antara roll dan dinding pengupasan agar proses pengupasan dapat meningkat.
- d. penelitian selanjutnya disarankan membuat prototype mesin pengupas kuaci tanpa menggunakan baut dan mur (bisa menggunakan sistem interlocking) untuk mengurangi waktu perakitan.



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] Springer nature, "Reverse engineering: a review & evaluation of non contact based systems." Accessed: Jul. 28, 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] IxDF Blog, "Reverse-engineering conceptual definition - heading back to where we started." Accessed: Jul. 28, 2026. [Online]. Available: <https://www.interactiondesign.org/literature/article/reverse-engineering-conceptual-definition-headingback-to-where-we-started>
- [5] Hakim Luqman, Rusnaldy, and Paryanto, "Reverse engineering pada komponen otomatis dengan metode photometry," *Jurnal Teknik Mesin Universitas Diponegoro*. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/37759/29223>
- [6] Jayaganesh Subburaj, "What is reverse engineering and how does it work," Karpagam Insitute of technology. Accessed: Jul. 28, 2026. [Online]. Available: <https://karpagamtech.ac.in/reverse-engineering-jayaganesh-subburaj/>
- [7] Ma'sum Ali Ahmad and Budijono Prijo Agung, "Perancangan mesin pemecah telur otomatis menggunakan metode reverse engineering berbasis media online," *Jurnal Teknik Mesin*. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/31444/28525>
- [8] Patria Garda, Kusnayat Agus, and Febriyanti Erna, "Pengembangan alat pemisah kulit ari kedelai menggunakan metode reverse engineering," *e-Proceeding of Engineering*. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://repositori.telkomuniversity.ac.id/pustaka/163300/pengembangan-alat-pemisah-kulit-ari-kedelai-menggunakan-metode-reverse-engineering.html>

- [9] Ramadhani Tafdhila Stevia, Hamidah Siti, and Lastariwati Badraningsih, "Pannacotta biji bunga matahari (helianthus annuus l) bagi vegetarian," Home Economics Journal. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://doi.org/10.21831/hej.v3i2.24618>
- [10] S. M. A. M.K.S, "5 Manfaat biji bunga matahari (kuaci) bagi kesehatan tubuh," honestdocs. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.honestdocs.id/manfaat-biji-bunga-matahari>
- [11] Martinsyah Hersi Rachmad, Jamsari, and Ramadhan Nugraha, "Karakterisasi biji Lima aksesori bunga matahari di dataran tinggi alahan panjang sumatera barat," Jurnal Agronida. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://doi.org/10.30997/jag.v8i1.4862>
- [12] Wahyuningtyas Diah and Ardiarini Rahmi Noer, "Korelasi antara karakter fisik biji dengan hasil dan kadar minyak bunga matahari (helianthus annuus l)," Jurnal Produksi Tanaman. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: https://www.academia.edu/125210158/Korelasi_Antara_Karakter_Fisik_Biji_Dengan_Hasil_Dan_Kadar_Minyak_Bunga_Matahari_Helianthus_annuus_L
- [13] BigWR, "Make a kwaci peeler, super high efficiency ! you can make it at home," You tube. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: <https://youtu.be/T4f9HTY4ILE?t=2>
- [14] Fauziyah Aini Nur, Nugraha Edra Reva, and Yulistiani Ratna, "Pengembangan penggiling daging dengan bahan stainless steel food grade dalam meningkatkan daya saing produk kaldu UMKM," Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan,. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://doi.org/10.31764/jpmb.v6i3.10438>
- [15] Fitrah Aqdar Muhammad, Taufiq Muhammad, and Utami Hardyanti Hermin, "Pengenalan teknologi tepat guna: pemilihan bahan stainless steeldalam pembuatan alat panganuntuk meningkatkan keamanan dan kualitas produk," Akselerasi: Jurnal Pengabdi Masyarakat. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://doi.org/10.70210/ajpm.v2i2.82>
- [16] SMS Perkasa, "Plat stainless SS316L," PT. Sumber Makmur Surya Perkasa. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.smsperkasa.com/produk/plat-stainless-ss316l>

- [17] GB Bond, "Akrilik," GB Bond. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: <https://acrylicgbbond.com/tentang/>
- [18] C. Pasaribu, R. Utami, and S. M. Arviansyah, "Daya tarik estetika dan ketahanan dalam desain produk akrilik di kreasi group," *Jurnal Penelitian Inovatif*, vol. 5, no. 4, pp. 2861–2874, Nov. 2025, doi: 10.54082/jupin.1826.
- [19] J. Baru, M. Lindo, S. Mansyur, and M. Malik, "Perancangan alat daur ulang limbah filament 3D printing jenis PLA/PLA+ sebagai bahan baku produksi objek 3D." [Online]. Available: <https://ejournal.up45.ac.id/index.php/jtim>
- [20] Esun, "Sun filamen ink for 3D printer use PLA+ 1.75mm silver 1kg 1pc," monotaro. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: https://www.monotaro.id/items/s039423504.html?utm_source=google&utm_medium=pla&utm
- [21] Y. Amalia, S. Sudaryanto, F. A. Mardhatila, R. Kristiardi, and Y. J. Kuncoro, "Paduan aluminium berdasarkan sifat mekanik," *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, vol. 8, no. 3, pp. 722–732, Aug. 2022, doi: 10.35326/pencerah.v8i3.2479.
- [22] RRSJA, "Keunggulan as aluminium untuk kebutuhan industri," RR Sentosa Jaya Alum. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: <https://www.rrsentosajaya.com/2025/09/30/keunggulan-as-aluminium-untuk-kebutuhan-industri/>
- [23] GNEE, "Apa kegunaan pelat baja tahan karat?," Professional Exported Steel Supplier. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: <https://id.coldrolledsteels.com/info/what-are-the-uses-of-stainless-steel-plates-98391057.html>
- [24] Sitepu Anastasya and Brilioneristen, "Penerapan design for manufacturing and assembly (DFMA) pada jam dinding," Talenta Publisher. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://doi.org/10.32734/ee.v6i1.1803>
- [25] Fauzi Nazarudin Emil Moh and Suryadi Akmal, "Pengembangan produk wastafel portable secara manual dengan metode design for manufacture and assembly (DFMA)," *Juminten : Jurnal Manajemen Industri dan Teknologi*. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <http://juminten.upnjatim.ac.id/index.php/juminten>

- [26] A. Andrew, P. D. Karningsih, D. S. Dewi, I. M. L. Batan, and A. Wahjudi, "Redesigning medical devices with design for manufacturing and assembly (DFMA)," *Indonesian Journal of Innovation Studies*, vol. 27, no. 1, Jan. 2026, doi: 10.21070/ijins.v27i1.1915.
- [27] Sigma us, "Design for manufacturing (DFM): a guide to optimizing product development," *Lean Six Sigma Training Certification*, Oct. 2024, Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://www.6sigma.us/six-sigma-in-focus/design-for-manufacturing-dfm/>
- [28] M. Rizki Firdaus, A. Suryadi, and U. Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Jl Rungkut Madya Surabaya, "Pengembangan produk alat pengemas padi kering dengan metode design for assembly (DFA)," 2021. Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://juminten.upnjatim.ac.id/index.php/juminten/article/view/326/292>
- [29] Sigma us, "Design for assembly: the cornerstone of modern manufacturing efficiency," *Lean Six Sigma Training Certification*. Accessed: Jul. 28, 2026. [Online]. Available: <https://www.6sigma.us/manufacturing/design-for-assembly-dfa/>
- [30] T. Hidayah, N. Erzed, and P. Setiawati, "Perancangan aplikasi Perencanaan kebutuhan Material mentah dalam manajemen produksi menggunakan pohon struktur produk," vol. 10, no. 2, 2025, Accessed: Jul. 31, 2026. [Online]. Available: <https://ejournal.catursakti.ac.id/index.php/simtek/article/view/1680/393>

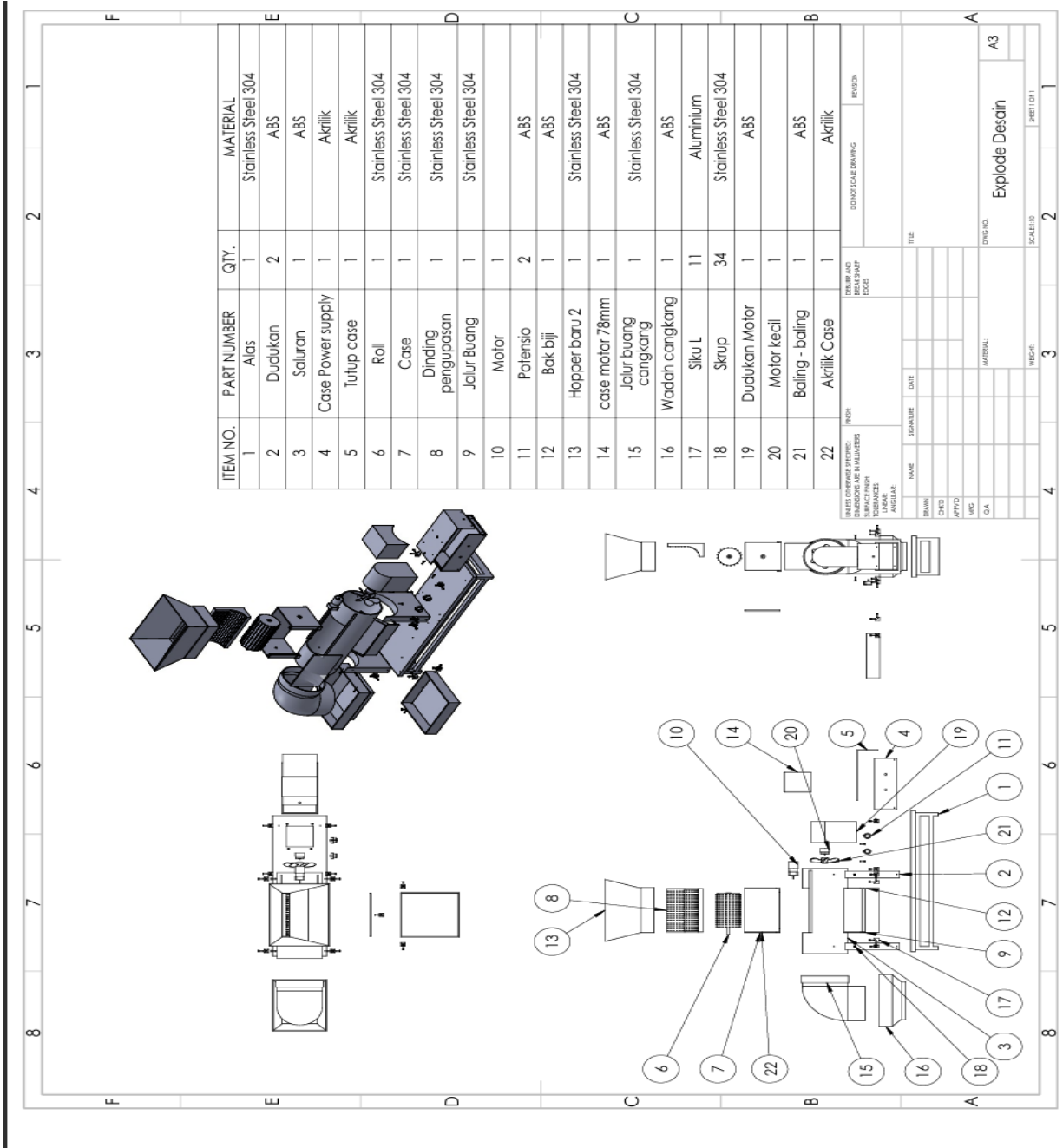
LAMPIRAN

1. Foto-foto pengujian

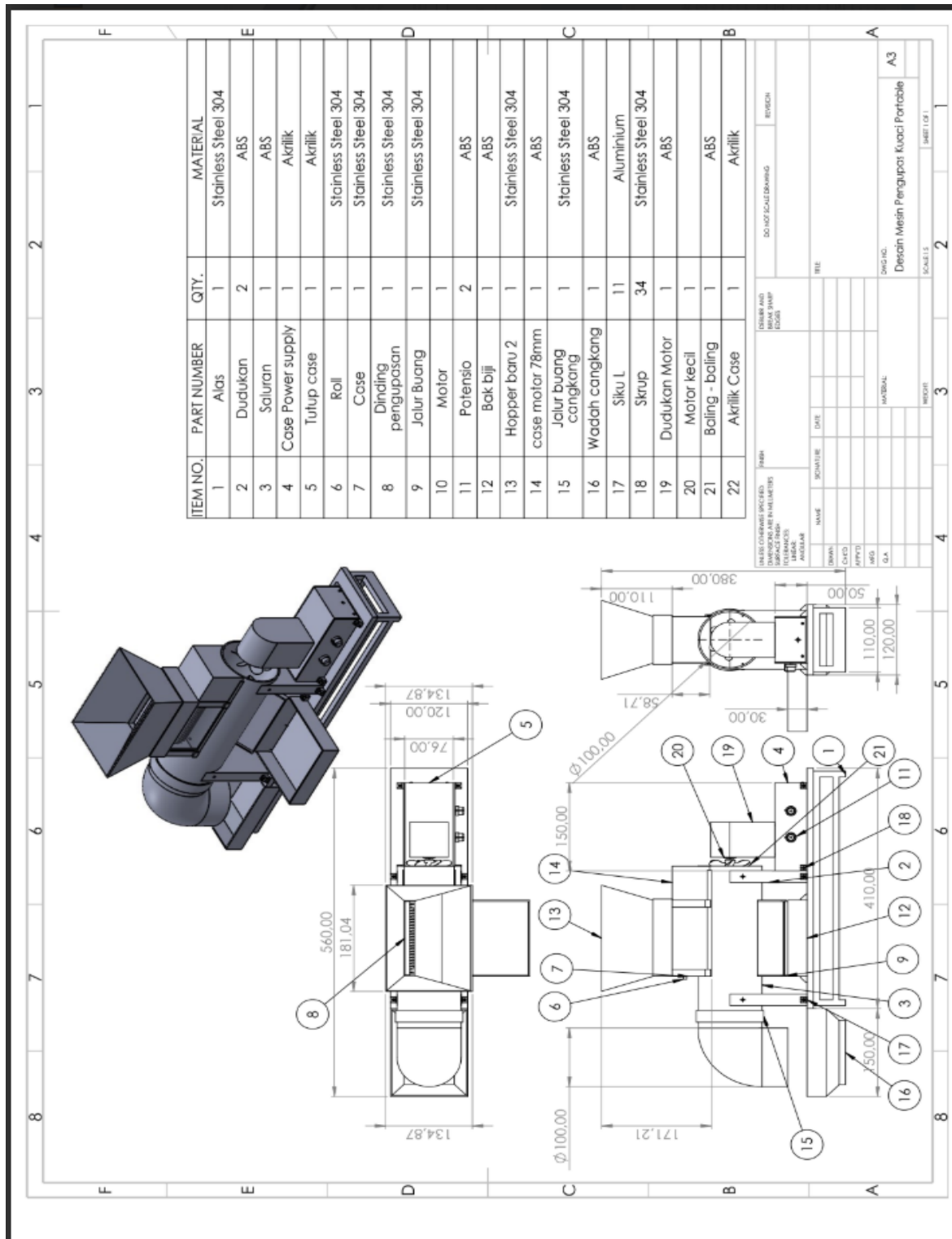


Gambar 27. Pengujian mesin pengupas kuaci

2. Gambar teknik



Gambar 28. Desain *explode*



Gambar 29. (bill of material) BOM

3. Jadwal rencana kerja

Jadwal rencana kerja *DFM*

No	Kegiatan	Mei							Juni							
		Tanggal														
		21	22	23	24	25	26	29	1	2	3	4	5	6	9	
1	Melakukan 3D printing Dudukan															
2	Melakukan 3D printing Saluran															
3	Melakukan 3D printing Bak biji															
4	Melakukan 3D printing Case motor															
5	Melakukan 3D printing Wadah cangkang															
6	Melakukan 3D printing Dudukan motor															
7	Melakukan 3D printing alas															
8	Melakukan Laser cutting case power supply															
9	Melakukan Laser cutting tutup case															
10	Melakukan Laser cutting dinding pengupasan															
11	pembuatan jalur buang cangkang															
12	Melakukan pengelasan jalur buang biji															
13	Melakukan pengelasan dinding roll															
14	melakukan pengelasan hopper															
15	pembuatan roll															
16	Pembuatan case															
17	Pembuatan adaptor roll															
18	melakukan pengeboran dan ulir pada adaptor roll															

Jadwal rencana kerja *DFA*

No	Kegiatan	Juni	
		Tanggal	
		10	11
1	Melakukan proses assembly pada semua komponen		
2	Melakukan proses assembly pada Motor dc pengupasan		
3	Melakukan proses assembly pada motor dc pemisahan		
4	Melakukan pengujian		