

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai mekanisasi pengolahan kelapa terus berkembang untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi ketergantungan terhadap proses manual. Bello (2020) melakukan evaluasi kinerja beberapa alat pemecah kelapa dan menunjukkan bahwa penggunaan alat mekanis mampu meningkatkan efisiensi proses pemecahan dibandingkan metode konvensional. Sejalan dengan perkembangan tersebut, berbagai teknologi pengolahan kelapa telah dikembangkan dalam bentuk mesin *dehusking*, *deshelling*, dan *shell breaking*. Mesin *dehusking* berfungsi untuk memisahkan sabut dari tempurung menggunakan sistem penusuk, pisau, maupun roller. Selanjutnya mesin *deshelling* digunakan untuk memisahkan tempurung dari daging kelapa melalui proses pengupasan atau pemotongan. Adapun mesin *shell breaking* bekerja dengan prinsip penekanan atau tumbukan untuk menghasilkan retakan pada tempurung kelapa. Perkembangan teknologi tersebut menunjukkan bahwa pendekatan mekanis masih menjadi metode utama yang digunakan dalam proses pengolahan kelapa.

Sejalan dengan perkembangan teknologi tersebut, Supriyadi mengembangkan mesin pemisah daging kelapa dari tempurung yang memanfaatkan mekanisme mekanis untuk menggantikan proses pencungkilan secara manual. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mesin mampu meningkatkan kapasitas produksi dan mengurangi kebutuhan tenaga kerja. Hasil serupa juga ditunjukkan oleh Setiawan dkk. melalui pengembangan mesin pengupas tempurung kelapa yang menggunakan sistem penekanan dan pisau pengupas sehingga proses pemisahan dapat dilakukan dengan waktu yang lebih singkat. Meskipun demikian, alat-alat yang telah dikembangkan tersebut masih mengandalkan gaya mekanis sebagai metode utama pemisahan.

Kebutuhan gaya yang relatif besar pada proses pemisahan tempurung kelapa berkaitan erat dengan karakteristik mekanik tempurung itu sendiri. Kayode dan

Koya (2013) melaporkan bahwa tempurung kelapa memiliki kekuatan mekanik yang cukup tinggi sehingga memerlukan gaya tekan hingga beberapa kilonewton untuk menghasilkan keretakan. Hasil tersebut diperkuat oleh penelitian Gludovatz dkk. (2017) yang menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki struktur multiskala alami yang mampu meningkatkan ketahanan terhadap retak dan benturan. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa tempurung kelapa merupakan material biologis yang memiliki ketahanan mekanik cukup tinggi sehingga proses pemisahannya memerlukan pendekatan yang tepat.

Selain karakteristik mekanik, beberapa penelitian juga mengkaji sifat termal tempurung kelapa. Ismail dkk. (2021) menunjukkan bahwa material berbasis tempurung kelapa memiliki kemampuan menghantarkan panas yang relatif rendah sehingga dapat berfungsi sebagai material isolasi termal. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian Covenant University (2025) yang menunjukkan bahwa limbah pertanian berbasis tempurung kelapa memiliki karakteristik konduktivitas termal yang rendah. Selanjutnya, Chaudhary dkk. (2026) menjelaskan bahwa perlakuan panas dapat menyebabkan perubahan sifat fisik dan termal pada material tempurung kelapa. Hasil yang serupa juga dilaporkan oleh Monir dkk. (2020) yang menunjukkan bahwa pemanasan dapat mengubah karakteristik material berbasis tempurung kelapa melalui proses dekomposisi termal.

Berbeda dengan penelitian yang berfokus pada tempurung, Sandra dkk. (2023) meneliti pengaruh suhu terhadap karakteristik kimia daging kelapa dan menunjukkan bahwa peningkatan suhu dapat menyebabkan perubahan kadar air dan sifat fisik bahan. Hasil tersebut didukung oleh penelitian Gefalro dkk. (2023) yang menunjukkan bahwa perlakuan suhu mampu memengaruhi karakteristik produk kelapa melalui perubahan struktur jaringan dan kandungan air. Temuan-temuan tersebut mengindikasikan bahwa perlakuan termal berpotensi memengaruhi ikatan antara daging kelapa dan tempurung.

Sejalan dengan hasil penelitian tersebut, penulis melakukan pengujian pendahuluan untuk mengamati pengaruh pemanasan terhadap kondisi fisik kelapa. Pengujian dilakukan menggunakan dua metode pemanasan, yaitu pemanasan basah

menggunakan presto dan pemanasan kering menggunakan oven, dengan variasi kondisi kelapa yang berbeda. Hasil pengujian pendahuluan ditunjukkan pada Tabel:

Tabel 2-1 Pemanasan basah 60 menit

Kondisi kelapa sebelum pemanasan	Waktu pemanasan	Kondisi akhir kelapa
Kelapa utuh	60 menit	Daging kelapa masih utuh dan menempel kuat pada tempurung
Kelapa utuh (air kelapa telah dibuang)	60 menit	Daging kelapa masih utuh dan menempel kuat pada tempurung
Kelapa dibelah menjadi dua bagian	60 menit	Daging kelapa mulai melunak, namun masih menempel kuat pada tempurung

Tabel 2-2 Pemanasan kering 60 menit

Kondisi kelapa sebelum pemanasan	Waktu pemanasan	Kondisi akhir kelapa
Kelapa utuh	60 menit	Tempurung retak, namun daging kelapa masih menempel kuat
Kelapa utuh (air kelapa telah dibuang)	60 menit	Tempurung retak dan daging kelapa mulai mudah dilepaskan
Kelapa dibelah menjadi dua bagian	60 menit	Daging kelapa gosong, namun masih menempel kuat pada tempurung

Tabel 2-3 Pemanasan basah 90 menit

Kondisi kelapa sebelum pemanasan	Waktu pemanasan	Kondisi akhir kelapa
Kelapa utuh	90 menit	tempurung retak dan daging menempel kuat pada tempurung
Kelapa utuh (air kelapa telah dibuang)	90 menit	tempurung utuh dan menempel kuat pada tempurung
Kelapa dibelah menjadi dua bagian	90 menit	Daging kelapa mulai melunak, namun masih menempel kuat pada tempurung

Tabel 2-4 Pemanasan kering 90 menit

Kondisi kelapa sebelum pemanasan	Waktu pemanasan	Kondisi akhir kelapa	Kondisi kelapa sebelum pemanasan
1	Kelapa utuh	90 menit	Tempurung retak, namun daging kelapa masih menempel kuat
2	Kelapa utuh (air kelapa telah dibuang)	90 menit	Tempurung retak dan daging kelapa mudah dilepaskan dari tempurung
3	Kelapa dibelah menjadi dua bagian	90 menit	Daging kelapa gosong, namun masih menempel kuat pada tempurung

Berdasarkan hasil pengujian pendahuluan dapat diketahui bahwa metode pemanasan memberikan pengaruh yang berbeda terhadap kondisi kelapa. Pemanasan basah menggunakan presto selama 60 menit belum menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap kemudahan pelepasan daging kelapa, karena seluruh sampel masih menunjukkan ikatan yang kuat antara daging dan tempurung. Namun demikian, kondisi daging kelapa tetap terjaga dan tidak mengalami kerusakan yang berarti.

Berbeda dengan pemanasan basah, pemanasan kering menggunakan oven menunjukkan pengaruh yang lebih nyata terhadap kondisi tempurung dan daging kelapa. Pada beberapa sampel ditemukan terjadinya retakan pada tempurung, khususnya pada kelapa yang airnya telah dibuang. Selain itu, kondisi tersebut juga menunjukkan bahwa daging kelapa menjadi lebih mudah dilepaskan dibandingkan sebelum pemanasan. Hasil ini menunjukkan adanya pengaruh temperatur terhadap ikatan antara daging kelapa dan tempurung.

Temuan tersebut memiliki kesesuaian dengan penelitian Sandra dkk. (2023) dan Gefalro dkk. (2023) yang menyatakan bahwa perlakuan suhu dapat menyebabkan perubahan karakteristik fisik bahan akibat berkurangnya kadar air dan perubahan struktur jaringan. Dengan demikian, hasil pengujian pendahuluan yang dilakukan penulis memperkuat indikasi bahwa perlakuan termal dapat dimanfaatkan sebagai tahapan awal untuk membantu proses pemisahan daging kelapa dari tempurung.

Meskipun demikian, hasil pengujian pendahuluan juga menunjukkan bahwa pemanasan saja belum mampu menghasilkan pemisahan daging kelapa secara sempurna. Pada sebagian besar sampel, daging kelapa masih memerlukan bantuan gaya luar untuk dapat dilepaskan dari tempurung. Kondisi ini menunjukkan bahwa perlakuan termal perlu dikombinasikan dengan mekanisme mekanis agar proses pemisahan dapat berlangsung secara lebih efektif.

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu serta hasil pengujian pendahuluan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa teknologi yang ada saat ini masih didominasi oleh pendekatan mekanis, sedangkan penelitian terkait perlakuan termal umumnya hanya berfokus pada perubahan karakteristik material kelapa. Hingga saat ini belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengintegrasikan perlakuan panas (*thermal*) dan mekanisme penekanan (*mechanical*) dalam satu sistem kerja. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan perancangan alat pemisah daging kelapa dari tempurung dengan mekanisme *thermomechanic*.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Kelapa

Struktur fisik buah kelapa sangat mempengaruhi proses pemisahan daging dan batok. Daging kelapa memiliki kandungan air dan lemak yang tinggi, sedangkan tempurung kelapa memiliki struktur keras dan bersifat isolator panas. Perbedaan karakteristik antara kedua material tersebut menyebabkan respon yang berbeda ketika mengalami perlakuan panas maupun pembebanan mekanik. Berikut tabel penelitian komposisi daging buah kelapa pada berbagai tingkat kematangan oleh Muhammad, A. (2020) sebagai berikut di Tabel 2-5.

Tabel 2-5 Komposisi daging buah kelapa pada berbagai tingkat kematangan

Analisis (dalam 100 gr)	Buah muda	Buah setengah tua	Buah tua
Kalori	68,0 kal	180,0 kal	359,0 kal
Protein	1,0 g	4,0 g	3,4 g
Lemak	0,9 g	13,0 g	34,7 g
Karbohidrat	14,0 g	10,0 g	14,0 g
Kalsium	17,0 mg	8,0 mg	21,0 mg
Fosfor	30,0 mg	35,0 mg	21,0 mg
Besi	1,0 mg	1,0 mg	2,0 mg
Vitamin A	0,0 IU	10,0 IU	0,0 IU
Thiamin	0,0 mg	0,5 mg	0,1 mg
Asam Askorbat	4,0 mg	4,0 mg	2,0 mg
Air	83,3 g	70,0 g	46,9 g
Bagian yang dapat dimakan	53,0 g	53,0 g	53,0 g

Menurut penelitian BALITKA (2011), beberapa varietas kelapa dalam memiliki kandungan lemak daging kelapa berkisar antara 35,52–37,11%. Kandungan lemak yang tinggi ini menjadi salah satu faktor penting dalam proses pemanasan karena lemak akan mulai meleleh pada suhu relatif rendah sehingga mempengaruhi struktur jaringan daging kelapa.

Selain lemak, daging kelapa juga mengandung protein, serat, vitamin, dan air yang cukup tinggi. Penelitian Sandra et al. (2023) menunjukkan bahwa suhu perlakuan pada daging buah kelapa berpengaruh signifikan terhadap karakteristik kimia santan, terutama stabilitas lemak dan protein. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan suhu dapat menyebabkan perubahan struktur internal daging kelapa.

Penelitian Gefalro, Widyasanti, dan Nanda (2023) menunjukkan bahwa proses pengeringan pada suhu 70°C selama 4 jam mampu menurunkan kadar air daging kelapa secara signifikan. Penurunan kadar air tersebut menyebabkan terjadinya penyusutan volume material. Fenomena ini menjadi dasar teoritis bahwa pemanasan dapat menyebabkan kontraksi pada daging kelapa sehingga ikatan antara daging dan tempurung menjadi lebih lemah.

Dengan demikian, karakteristik fisik dan kimia daging kelapa menjadi faktor utama dalam proses pemisahan otomatis daging dari batok setelah perlakuan pemanasan.

2.2.2 Mekanisme Pemisahan Daging Kelapa dan Batok

Prinsip kerja alat yang dirancang menggunakan metode termomekanik. Kelapa terlebih dahulu dipanaskan hingga suhu tertentu sehingga terjadi penyusutan daging kelapa akibat penguapan air dan perubahan struktur jaringan. Setelah proses pemanasan selesai, kelapa ditekan menggunakan mekanisme jaw crusher hingga tempurung pecah. Dengan adanya penyusutan sebelumnya, daging kelapa dapat terlepas dari tempurung dengan lebih mudah. Konduktivitas Termal Tempurung Kelapa.

2.2.3 Perpindahan Panas

Menurut Holman dalam buku *Heat Transfer*, jumlah energi panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur suatu material dapat dihitung berdasarkan massa material, kalor jenis material, dan perubahan temperatur yang dialami material tersebut.

Pada kondisi aktual, proses pemanasan tidak berlangsung secara ideal karena terdapat kehilangan panas ke lingkungan, ketidakseragaman distribusi panas, serta hambatan perpindahan panas antar material. Oleh karena itu digunakan faktor koreksi (β) untuk mendekati kondisi nyata sistem pemanasan. Untuk mengantisipasi kehilangan panas akibat konveksi, radiasi, ketidaksempurnaan isolasi termal, serta ketidakpastian parameter perhitungan, digunakan faktor koreksi termal sebesar 1,2. Nilai tersebut setara dengan cadangan kapasitas 20% dari kebutuhan panas teoritis.

Energi panas yang dibutuhkan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = mc\beta\Delta T \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

- Q = energi panas (J)
- m = massa benda (kg)
- c = kalor jenis (J/kg°C)

- β = safety koreksi
- ΔT = perubahan temperatur ($^{\circ}\text{C}$)

Nilai perubahan temperatur dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta T = T_2 - T_1 \dots \dots \dots (2.2)$$

dengan:

- T_1 = temperatur awal material ($^{\circ}\text{C}$)
- T_2 = temperatur akhir material ($^{\circ}\text{C}$)

Persamaan ini digunakan untuk menghitung kebutuhan energi pemanasan tabung, udara, tempurung kelapa, dan daging kelapa. Setelah itu dalam proses yang melibatkan panas akan ada heatloss yang dapat dihitung dengan:

Ketika kelapa dimasukkan, akan ada heat loss yang terjadi saat tutup dibuka. Maka heater harus bekerja untuk menaikkan kembali suhu ke 170 derajat. Dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = \frac{2\pi kL(T_1 - T_2)}{\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \dots \dots \dots (2.3)$$

Atau:

$$Q = \frac{kA(T_1 - T_2)}{t} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dengan:

Q = heatloss (W)

A = luas (m^2)

t = tebal spesimen (m)

k = konduktivitas thermal isolator (W/mK)

L = panjang tabung (m)

T_1 = suhu dalam tabung ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = suhu luar tabung ($^{\circ}\text{C}$)

r_1 = radius dalam (m)

r_2 = radius luar (m)

Penelitian Ismail et al. (2021) menunjukkan bahwa komposit berbasis tempurung kelapa memiliki nilai konduktivitas termal sekitar 0,071–0,078 W/m·K. Nilai ini menunjukkan bahwa tempurung kelapa merupakan material dengan kemampuan penghantaran panas yang rendah.

Hasil penelitian tersebut diperkuat oleh penelitian Covenant University (2025) yang menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki konduktivitas termal sekitar 0,0680 W/m·K, lebih rendah dibandingkan dengan berbagai limbah pertanian lainnya.

Rendahnya konduktivitas termal tempurung kelapa menyebabkan panas dari elemen pemanas membutuhkan waktu relatif lama untuk menembus hingga ke bagian dalam buah kelapa. Oleh karena itu, proses pemanasan memerlukan durasi tertentu agar panas dapat merata hingga mencapai daging kelapa.

Selain itu, sifat isolator panas dari tempurung menyebabkan kehilangan panas ke lingkungan menjadi cukup besar apabila sistem pemanas tidak dilengkapi dengan isolasi termal. Oleh karena itu, penggunaan material isolasi seperti glasswool atau rockwool pada sistem pemanas menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi energi.

Dalam buku *Heat Transfer*, Holman menjelaskan bahwa perpindahan panas secara konduksi pada suatu material mengikuti Hukum Fourier. Laju perpindahan panas konduksi dinyatakan dengan:

$$Q_{cond} = 2\pi kL \left(\frac{T_1 - T_2}{\frac{r_2}{r_1}} \right) \dots\dots\dots (2.5)$$

Sedangkan konveksi dihitung dengan:

$$Q_{conv} = hA(T_s - T_{\infty}) \dots\dots\dots (2.6)$$

Radiasi dihitung dengan:

$$Q_{rad} = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{sur}^4) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

Q_{cond} = laju perpindahan panas (W)

k = konduktivitas termal material (W/m.K)

L = panjang lintasan perpindahan panas (m)

T_1 = temperatur dalam (°C)

T_2 = temperatur luar (°C)

r_1 = jari jari dalam komponen (m)

r_2 = jari jari luar komponen (m)

h = koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2 \cdot K$)

A = luas permukaan perpindahan panas (m^2)

T_s = temperatur permukaan benda ($^{\circ}C$)

T_{∞} = temperatur fluida yang berada jauh dari permukaan atau temperatur lingkungan ($^{\circ}C$).

ε = emisivitas permukaan material

σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$)

Persamaan ini digunakan untuk menjelaskan proses perpindahan panas dari band heater menuju dinding tabung pemanas, kemudian menuju lingkungan.

2.2.4 Isolasi Termal Ceramic Fiber

Menurut Çengel dan Ghajar dalam buku *Heat and Mass Transfer*, material isolasi digunakan untuk mengurangi kehilangan panas dari sistem pemanasan menuju lingkungan.

Pada penelitian ini digunakan *ceramic fiber* dengan ketebalan 50 mm sebagai lapisan isolasi di bagian luar tabung pemanas. Penggunaan *ceramic fiber* bertujuan untuk:

- Mengurangi kehilangan panas ke lingkungan.
- Mempercepat pencapaian temperatur operasi.
- Menjaga kestabilan temperatur selama proses pemanasan.
- Meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik.

Konduktivitas termal *ceramic fiber* berada pada kisaran 0,07 W/m.K sehingga tergolong sebagai material isolator yang baik.

2.2.5 Gearbox Bevel

Menurut Khurmi dan Gupta dalam buku *Theory of Machines*, gearbox digunakan untuk menurunkan putaran dan meningkatkan torsi pada sistem transmisi daya.

Pada penelitian ini digunakan gearbox bevel karena selain menurunkan putaran dari motor listrik, gearbox juga berfungsi mengubah arah putaran sehingga sesuai dengan tata letak mekanisme jaw crusher yang dirancang.

Rasio reduksi yang digunakan adalah:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

- i = rasio reduksi
- n_1 = putaran input (rpm)
- n_2 = putaran output (rpm)

2.2.6 Motor Listrik

Motor listrik merupakan sumber tenaga utama yang digunakan untuk menggerakkan mekanisme pemecah tempurung kelapa. Motor yang digunakan pada penelitian ini memiliki spesifikasi tegangan 220 V dengan putaran nominal sebesar 2500 rpm.

Daya motor berhubungan dengan torsi dan putaran melalui persamaan berikut.

$$P = T\omega \dots\dots\dots(2.9)$$

Atau:

$$P = \frac{2\pi nT}{60} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

- P = daya (W)
- ω = Kecepatan sudut
- n = putaran poros (rpm)
- T = torsi (N.m)

Persamaan tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan daya motor penggerak.

Dalam proses perancangan mesin, daya hasil perhitungan teoritis umumnya belum dapat langsung digunakan sebagai dasar pemilihan motor listrik. Hal ini disebabkan adanya rugi-rugi mekanis pada sistem transmisi, gesekan antar komponen, serta kemungkinan terjadinya beban kejut selama pengoperasian. Oleh

karena itu digunakan faktor koreksi (service factor) sehingga diperoleh daya rencana yang lebih aman untuk diaplikasikan pada mesin. Daya rencana dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P_d = f_c \times P \dots\dots\dots(2.11)$$

Dengan:

P_d = Daya Rencana (W)

P = Daya Hasil Perhitungan (W)

f_c = Faktor Koreksi

2.2.7 Poros Eksentrik

Menurut Sularso dan Suga dalam buku *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, poros eksentrik merupakan poros yang memiliki titik pusat putar berbeda dengan titik pusat bagian kerja sehingga dapat mengubah gerak putar menjadi gerak translasi bolak-balik.

Pada penelitian ini digunakan poros eksentrik dengan eksentrisitas sebesar 20 mm untuk menggerakkan moving jaw. Hubungan antara eksentrisitas dan langkah gerak dinyatakan dengan:

$$S = 2e \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan:

S = langkah gerak (mm)

e = eksentrisitas (mm)

Dengan eksentrisitas 20 mm diperoleh langkah gerak sebesar 40 mm.

2.2.8 Sifat Mekanis Tempurung Kelapa

Sifat mekanis tempurung kelapa sangat penting dalam perancangan alat pemecah karena menentukan besar gaya yang diperlukan untuk memecahkan batok.

- Gaya Retak Tempurung Kelapa

Kayode dan Koya (2013) meneliti sifat mekanis tempurung kelapa dan melaporkan bahwa gaya tekan rata-rata yang dibutuhkan untuk memecahkan tempurung kelapa pada arah longitudinal adalah sebesar 3,62 kN.

Nilai gaya retak tersebut menjadi dasar utama dalam penentuan gaya desain alat. Dalam perancangan mesin, gaya kerja umumnya dikalikan faktor keamanan untuk mengantisipasi variasi material dan kondisi operasi.

Selain gaya retak, penelitian tersebut juga melaporkan nilai bio-stiffness tempurung kelapa sebesar 1.980,74 kN/m yang menunjukkan bahwa tempurung memiliki kekakuan tinggi.

- Kekuatan Tarik dan Kekakuan Tempurung

Penelitian Fischer et al. (2017) menunjukkan bahwa tempurung kelapa tua memiliki:

- Ultimate Tensile Strength (UTS) sebesar 48,5 MPa
- Young's Modulus sebesar 1,92 GPa
- Fracture Toughness sebesar $3,2 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{\frac{1}{2}}$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki struktur yang kuat, kaku, dan tahan terhadap retak.

Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa kelapa tua memiliki sifat mekanis lebih tinggi dibandingkan kelapa muda. Oleh karena itu, penggunaan data kelapa tua dalam perancangan menghasilkan desain yang lebih konservatif dan aman.

- Tegangan Retak Tempurung Kelapa

Sudaria dan Suministrado (2024) melaporkan bahwa tegangan retak (*cracking stress*) tempurung kelapa merupakan parameter mekanis terbesar dibandingkan tegangan geser, tarik, maupun bending.

Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa parameter cracking stress harus menjadi perhatian utama dalam desain mesin pemecah kelapa.

Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa posisi pembelahan tidak memberikan perbedaan signifikan terhadap kebutuhan daya pemecahan. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam desain mekanisme pemecahan pada alat.

2.2.9 Dasar Pemilihan Konsep Desain Alat

Perancangan alat pemisah daging dan batok kelapa pada penelitian ini didasarkan pada kombinasi perlakuan termal dan pembebanan mekanik. Berdasarkan hasil studi literatur, diketahui bahwa:

- Daging kelapa memiliki kandungan air dan lemak yang tinggi.
- Pemanasan menyebabkan pelelehan lemak dan penguapan air.
- Pengurangan air dan perubahan struktur lemak menyebabkan kontraksi jaringan daging kelapa.
- Tempurung kelapa memiliki konduktivitas termal rendah sehingga memerlukan waktu pemanasan tertentu.
- Tempurung kelapa tetap stabil pada suhu operasi 100–120°C.
- Tempurung kelapa membutuhkan gaya tekan sekitar 3,62 kN untuk retak.
- Metode tekanan memiliki kapasitas dan ergonomi lebih baik dibanding metode tumbukan.

Berdasarkan dasar teori tersebut, konsep alat dirancang menggunakan dua tahapan utama, yaitu:

- Pemanasan kelapa untuk melemahkan ikatan antara daging dan tempurung.
- Pemecahan tempurung menggunakan mekanisme tekanan.

Kombinasi kedua proses tersebut diharapkan mampu menghasilkan pemisahan daging dan tempurung yang lebih cepat, lebih mudah, dan mengurangi kebutuhan pencungkilan manual.

2.2.10 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan teori dan penelitian terdahulu yang telah dipaparkan, maka hipotesis penelitian ini adalah:

- Pemanasan pada suhu tertentu dapat menyebabkan kontraksi pada daging kelapa akibat pengurangan kadar air dan perubahan struktur lemak.
- Kontraksi daging kelapa dapat melemahkan ikatan antara daging dan tempurung.

- Mekanisme tekanan mampu memecahkan tempurung kelapa dengan gaya yang lebih terkontrol dan efektif.
- Kombinasi perlakuan pemanasan dan mekanisme tekanan dapat meningkatkan efektivitas proses pemisahan daging dan batok kelapa.

2.2.11 Tegangan Termal dan Pemuaian

Material yang mengalami kenaikan temperatur akan mengalami pemuaian akibat perubahan energi termal pada material tersebut.

Menurut Halliday dan Resnick dalam buku *Fundamentals of Physics*, pertambahan panjang akibat pemuaian dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan:

- ΔL = pertambahan panjang material
- α = koefisien muai panjang
- L_0 = panjang awal material
- ΔT = perubahan temperatur

Pada penelitian ini, pemanasan menyebabkan kadar air dan kandungan lemak pada daging kelapa berkurang sehingga volume daging kelapa mengalami penyusutan. Penyusutan tersebut menyebabkan daya rekat antara daging kelapa dan batok menjadi lebih lemah.

2.2.12 Material Poros

Poros pada alat pemisah daging dan batok kelapa direncanakan menggunakan material JIS G 4501.

JIS G 4501 adalah standar industri Jepang untuk baja karbon konstruksi mesin atau *Carbon Steel for Machine Structural Use*. Standar ini digunakan untuk material yang dipakai pada komponen mesin seperti poros, roda gigi, baut, pin, dan bagian mekanik lainnya yang membutuhkan kekuatan serta kemampuan pemesinan yang baik. Beberapa grade yang umum:

Standar dan macam	Lambang	Perlakuan panas	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Keterangan
Baja karbon konstruksi mesin (JIS G 4501)	S30C	Penormalan	48	
	S35C	"	52	
	S40C	"	55	
	S45C	"	58	
	S50C	"	62	
	S55C	"	66	
Batang baja yang difinis dingin	S35C-D	—	53	ditarik dingin, digerinda, dibubut, atau gabungan antara hal-hal tersebut
	S45C-D	—	60	
	S55C-D	—	72	

Gambar 2-1 Standar dan tipe baja karbon

Penamaan grade memiliki arti sebagai berikut:

Contoh: S45C

Artinya:

- S = Steel
- 45 = kadar karbon sekitar 0,45%
- C = Carbon steel

Berikut beberapa persamaan yang penting untuk diketahui:

$$\tau_a = \frac{\sigma_u}{S_{f1} \times S_{f2}} \dots \dots \dots (2.14)$$

Dimana:

τ_a = tegangan geser izin (MPa)

σ_u = kekuatan tarik material (MPa)

S_{f1} = safety factor

S_{f2} = safety factor

2.2.13 Poros

Poros merupakan elemen mesin yang berfungsi meneruskan daya dan putaran dari motor menuju mekanisme pemecah kelapa. Selain menerima beban puntir, poros juga dapat menerima beban lentur akibat gaya yang bekerja pada komponen yang terpasang di atasnya. Besarnya momen lentur ditentukan oleh besar

gaya dan jarak gaya terhadap titik tumpuan. Momen lentur dihitung menggunakan persamaan:

$$M = F \times e \dots\dots\dots(2.15)$$

Dengan:

$M = \text{Momen Lentur (N.mm)}$

$F = \text{Gaya yang bekerja (N)}$

$L = \text{eksentrisitas (mm)}$

Akibat adanya momen lentur, pada penampang poros akan timbul tegangan normal. Besarnya tegangan lentur pada poros silinder pejal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3} \dots\dots\dots(2.16)$$

Dengan:

$\sigma = \text{Tegangan Lentur (MPa)}$

$M = \text{Momen Lentur (N.mm)}$

$d = \text{Diameter Poros (mm)}$

Menurut Sularso dan Kiyokatsu Suga dalam buku Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, tegangan geser akibat puntiran pada poros dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan:

- $\tau = \text{tegangan geser (MPa)}$
- $T = \text{torsi (N.mm)}$
- $d = \text{diameter poros (mm)}$

Pada kondisi aktual, poros umumnya menerima kombinasi beban puntir dan beban lentur secara bersamaan. Untuk mengetahui tegangan ekuivalen akibat

kombinasi kedua pembebanan tersebut digunakan kriteria kegagalan Von Mises. Tegangan Von Mises dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana:

σ_v = Tegangan Von Mises (MPa)

σ = Tegangan lentur (MPa)

τ = Tegangan geser (MPa)

Faktor keamanan digunakan untuk mengetahui tingkat keamanan suatu komponen terhadap kegagalan material selama menerima pembebanan. Nilai faktor keamanan diperoleh dengan membandingkan kekuatan luluh material terhadap tegangan ekuivalen yang terjadi pada komponen. Faktor keamanan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_v} \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana:

n = Faktor keamanan

σ_y = Tegangan luluh material (MPa)

σ_v = Tegangan Von Mises (MPa)

Selanjutnya, diameter minimum poros dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$d = \left(16 \frac{T}{\pi \cdot \tau_{izin}} \right)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan:

- d = diameter poros
- T = torsi
- τ_{izin} = tegangan geser izin material

Persamaan tersebut digunakan untuk menentukan ukuran poros agar mampu menahan beban puntir yang bekerja pada mekanisme penekan kelapa.

2.2.14 Mekanisme Eksentrik

Mekanisme eksentrik digunakan untuk mengubah gerakan putar poros menjadi gerakan translasi pada pelat penekan (*moving jaw*).

Menurut Khurmi dan Gupta dalam buku *Theory of Machines*, hubungan antara gaya tekan dan torsi eksentrik dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$T = F \cdot e \dots \dots \dots (2.21)$$

Keterangan:

- T = torsi ($N \cdot m$)
- F = gaya tekan (N)
- e = eksentrisitas poros (m)

Mekanisme eksentrik dipilih karena mampu menghasilkan gaya tekan besar pada putaran rendah sehingga sesuai untuk proses pemecahan tempurung kelapa.

2.2.15 Mekanisme Jaw Crusher

Mekanisme *jaw crusher* merupakan mekanisme pemecahan material menggunakan dua pelat penjepit, yaitu *fixed jaw* dan *moving jaw*. Pada alat ini, tempurung kelapa ditempatkan di antara kedua pelat tersebut kemudian diberikan gaya tekan hingga tempurung retak dan terbelah.

Pada bagian permukaan pelat direncanakan terdapat sirip pendek yang berfungsi menjaga posisi kelapa agar tidak terdorong keluar ketika proses penekanan berlangsung.

Karena sistem bekerja pada putaran rendah sekitar 60 rpm, maka mekanisme pegas tidak digunakan. Gerakan kembali pelat penekan diperoleh langsung dari putaran eksentrik poros.

2.2.16 Gaya Retak Tempurung Kelapa

Berdasarkan penelitian Kayode dan Koya (2013), gaya tekan rata-rata yang dibutuhkan untuk memecahkan tempurung kelapa adalah sebesar 3,62 kN.

Menurut Sularso dan Kiyokatsu Suga dalam buku *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, faktor keamanan digunakan untuk mengantisipasi beban berlebih dan ketidakpastian selama proses kerja mesin. Gaya desain dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$F_d = F \cdot SF \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

- F_d = gaya desain
- F = gaya retak tempurung kelapa
- SF = faktor keamanan

2.2.17 Gearbox

Gearbox merupakan komponen transmisi yang berfungsi untuk menurunkan putaran motor listrik sekaligus meningkatkan torsi yang diteruskan ke mekanisme kerja. Pada sistem pemecah tempurung kelapa, penggunaan gearbox diperlukan karena motor listrik umumnya memiliki putaran tinggi, sedangkan mekanisme poros eksentrik membutuhkan putaran yang lebih rendah dengan torsi yang lebih besar agar mampu menghasilkan gaya tekan yang cukup untuk memecahkan tempurung kelapa.

Prinsip kerja gearbox adalah mentransmisikan daya melalui pasangan roda gigi dengan perbandingan rasio tertentu (*gear ratio*). Penurunan putaran akan berbanding lurus dengan peningkatan torsi, dengan mengabaikan rugi-rugi mekanis pada sistem. Hubungan antara putaran masukan dan putaran keluaran dapat dinyatakan sebagai:

$$i = \frac{N_{in}}{N_{out}} \dots\dots\dots(2.23)$$

dengan:

- i = rasio reduksi gearbox
- N_{in} = putaran poros masuk (rpm)

- N_{out} = putaran poros keluar (rpm)

Sedangkan hubungan antara torsi masukan dan keluaran dapat dituliskan sebagai:

$$T_{out} = T_{in} \times i \times \eta \dots \dots \dots (2.24)$$

dengan:

- T_{out} = torsi keluaran (N·m)
- T_{in} = torsi masukan (N·m)
- i = rasio reduksi
- η = efisiensi gearbox

2.2.18 Bearing

Bearing atau bantalan berfungsi menopang poros agar dapat berputar dengan gesekan yang kecil.

Menurut Sularso dan Kiyokatsu Suga dalam buku *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, pemilihan bearing harus disesuaikan dengan diameter poros dan beban kerja yang diterima poros.

Pemilihan bearing pada penelitian ini dilakukan berdasarkan diameter poros hasil perhitungan perancangan. Jenis bearing yang direncanakan digunakan adalah pillow block bearing karena:

- mudah dipasang
- mampu menahan beban radial
- umum digunakan pada sistem poros horizontal
- memiliki perawatan yang relatif mudah.

2.2.19 Rangka

Rangka mesin berfungsi sebagai penopang seluruh komponen alat sehingga harus mampu menahan beban statis maupun dinamis selama proses kerja mesin.

2.2.20 Material dan Sistem Ruang Pemanas

Ruang pemanas kita memiliki bentuk tabung untuk menyesuaikan dengan bentuk kelapa dan heater. Berikut rumus dasar yang penting diketahui dari suatu tabung:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} L \dots \dots \dots (2.25)$$

Persamaan diatas digunakan untuk menghitung volume dalam tabung, berikut rumus untuk mencari volume besi dari tabung.

$$V = \pi dtL \dots \dots \dots (2.26)$$

dengan:

V = volume tabung (m³)

D = diameter tabung (m)

T = tebal tabung (m)

L = panjang tabung (m)

Material yang direkomendasikan untuk ruang pemanas adalah stainless steel 304 karena memiliki:

- ketahanan korosi yang baik,
- tahan terhadap temperatur tinggi,
- aman untuk bahan pangan,
- mudah dibersihkan.

Berbicara soal material penting untuk diketahui persamaan tentang massa jenis sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \dots \dots \dots (2.27)$$

Dengan:

- $\rho = \text{massa jenis } (Kg/m^3)$
- $m = \text{massa } (Kg)$
- $V = \text{volume } (m^3)$

Dimensi ruang pemanas direncanakan:

- diameter tabung = 300 mm,
- panjang tabung = 1000 mm,
- tebal plat = 2,5 mm.

Ruang pemanas dirancang untuk menampung sekitar 7–8 buah kelapa dalam satu kali proses pemanasan.

Untuk menjaga kestabilan temperatur dan meningkatkan efisiensi energi, bagian luar tabung pemanas dilapisi menggunakan rockwool sebagai material isolasi termal.

2.2.21 Heater

Heater merupakan suatu perangkat yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui prinsip pemanasan resistif (*Joule heating*). Ketika arus listrik mengalir melalui elemen yang memiliki hambatan listrik, energi listrik akan dikonversi menjadi kalor sehingga dapat dimanfaatkan untuk memanaskan suatu media, baik berupa padatan, cairan, maupun gas. Oleh karena itu, heater banyak digunakan pada berbagai aplikasi industri yang memerlukan pengendalian temperatur, seperti proses pengeringan, pemanasan fluida, sterilisasi, dan perlakuan panas material.

Besarnya daya listrik yang dihasilkan oleh heater dipengaruhi oleh tegangan listrik, arus listrik, dan hambatan elemen pemanas. Hubungan ketiga besaran tersebut dapat dijelaskan menggunakan Hukum Ohm dan persamaan daya listrik. Daya listrik heater dapat dihitung menggunakan Persamaan:

$$P = V.I \dots\dots\dots(2.28)$$

Kita juga bisa mencari daya yang diperlukan untuk pemenuhan kebutuhan dari suatu system dalam interval waktu tertentu dengan persamaan:

$$P = \frac{Q}{t} \dots\dots\dots(2.29)$$

Kemudian kita juga bisa mencari daya dengan factor keselamatan operasional dengan menambahkan *variable* efisiensi heater dengan menggunakan persamaan:

$$P_{aktual} = \frac{P}{\eta} \dots\dots\dots(2.30)$$

Dimana:

P = daya listrik (W)

V = tegangan Listrik (V)

I = arus listrik (A)

Q = kalor yang diperlukan (joule)

t = waktu (detik)

η = efisiensi (%)

2.2.22 Parameter Operasi Pemanasan

Berdasarkan hasil pengujian awal, metode pemanasan kering menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan metode pemanasan basah.

Pada pemanasan kering, tempurung kelapa mengalami retak dan daya rekat antara daging kelapa dengan batok menjadi lebih lemah dibandingkan dengan pemanasan basah.

Parameter operasi pemanasan yang direncanakan pada alat ini yaitu:

- Temperatur pemanasan 130–170°C,
- Waktu pemanasan 60–120 menit.

Pemanasan dilakukan menggunakan band heater yang dipasang pada bagian luar tabung pemanas.

2.2.23 Analisis Data Pengujian

Analisis data pengujian dilakukan untuk mengetahui hubungan antarvariabel dan tingkat konsistensi hasil pengujian pada alat pemanas. Data yang diperoleh selama pengujian tidak hanya digunakan untuk menentukan nilai perpindahan panas, tetapi juga dianalisis secara statistik untuk mengetahui hubungan antara temperatur lingkungan dengan heat loss serta keberulangan hasil pengukuran. Analisis hubungan antarvariabel dilakukan menggunakan regresi linier dan koefisien determinasi, sedangkan konsistensi hasil pengujian dianalisis menggunakan simpangan baku dan koefisien variasi.

- Regresi linier dan koefisien determinasi

Regresi linier digunakan untuk mengetahui hubungan matematis antara variabel bebas dan variabel terikat. Pada penelitian ini, temperatur lingkungan digunakan sebagai variabel bebas (X), sedangkan heat loss digunakan sebagai variabel terikat (Y). Hasil analisis regresi menghasilkan persamaan yang dapat digunakan untuk menggambarkan kecenderungan perubahan heat loss terhadap perubahan temperatur lingkungan. Tingkat kemampuan model regresi dalam menjelaskan variasi data selanjutnya dinilai menggunakan koefisien determinasi (R^2). Dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Y = a + bX \dots \dots \dots (2.31)$$

$$b = \frac{n\sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n\sum X^2 - (\sum X)^2} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$a = \bar{Y} - b\bar{X} \dots \dots \dots (2.33)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2} \dots \dots \dots (2.34)$$

Dimana:

Y = variabel terikat

$\bar{Y}$ = rata rata variabel terikat

$\hat{Y}$ = perkiraan variabel terikat dengan rumus regresi

X = variabel bebas

$\bar{X}$ = rata rata variabel bebas

a = nilai Y ketika $X = 0$

b = perubahan Y setiap kenaikan 1 X

n = jumlah variabel

- Analisis repeatability

Repeatability digunakan untuk mengetahui tingkat konsistensi hasil pengujian ketika pengukuran dilakukan secara berulang pada kondisi pengujian yang sama. Analisis repeatability diperlukan untuk mengetahui tingkat penyebaran data hasil pengukuran terhadap nilai rata-rata. Pada penelitian ini, repeatability dianalisis menggunakan simpangan baku dan koefisien variasi. Nilai koefisien variasi yang semakin kecil menunjukkan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat keberulangan yang semakin baik. Dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.35)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.36)$$

Dimana:

CV = koefisien variasi (%)

s = simpangan baku

x_i = nilai hasil pengukuran

$\bar{x}$ = nilai rata – rata hasil pengukuran

n = jumlah pengukuran

2.2.24 Analisis Kinerja Isolasi Thermal

Isolasi termal digunakan untuk mengurangi perpindahan panas dari sistem pemanas menuju lingkungan sehingga energi panas yang diberikan dapat dimanfaatkan secara lebih efektif. Pada penelitian ini, kinerja isolasi termal dievaluasi dengan membandingkan kondisi sistem tanpa isolasi dan sistem dengan isolasi rockwool. Perbandingan dilakukan berdasarkan konsumsi energi listrik, waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur operasi, kebutuhan energi untuk menaikkan temperatur, serta efektivitas penggunaan energi. Parameter tersebut digunakan untuk mengetahui pengaruh pemasangan isolasi terhadap kinerja termal sistem pemanas. Berikut beberapa yang harus di analisis:

- Daya yang dipakai selama waktu tertentu

Analisis ini penting untuk mengetahui penggunaan energi oleh alat pemisah daging kelapa dari batoknya, dicari menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \dots \dots \dots (2.37)$$

Dimana:

$E = \text{energi yang digunakan}$

$P = \text{daya (W)}$

$t = \text{waktu}$

- Efisiensi energi

Besaran energi per kenaikan temperatur digunakan untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dibutuhkan sistem untuk menaikkan temperatur sebesar 1°C. Nilai ini digunakan untuk membandingkan kebutuhan energi antara sistem tanpa isolasi dan sistem dengan isolasi. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\eta = \frac{E_{\text{tanpa}} - E_{\text{rockwool}}}{E_{\text{tanpa}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.38)$$

Dengan:

$\eta = \text{efisiensi (\%)}$

$E = \text{energi (W)}$

- Efisiensi waktu

Efisiensi waktu digunakan untuk mengetahui persentase pengurangan waktu pemanasan setelah pemasangan isolasi termal. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\eta = \frac{t_{\text{tanpa}} - t_{\text{rockwool}}}{t_{\text{tanpa}}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.39)$$

Dengan:

$t = \text{waktu}$

- Energi yang diperlukan untuk menaikkan 1°C

Besaran energi per kenaikan temperatur digunakan untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dibutuhkan sistem untuk menaikkan temperatur sebesar 1°C. Nilai ini digunakan untuk membandingkan kebutuhan energi antara sistem tanpa isolasi dan sistem dengan isolasi. Dihitung dengan persamaan:

$$E_{1^\circ\text{C}} = \frac{E}{\Delta T} \dots \dots \dots (2.40)$$

Dimana:

$\Delta T = \text{Perbedaan suhu}$

- Efektivitas energi

Efektivitas penggunaan energi menunjukkan kemampuan sistem dalam menghasilkan kenaikan temperatur dari setiap satu satuan energi listrik yang diberikan. Persamaan yang digunakan adalah:

$$\varepsilon = \frac{\Delta T}{E} \dots\dots\dots(2.41)$$

Dengan:

$$\varepsilon = \text{Efektivitas energi}$$

- Biaya operasional

Biaya operasional ini penting untuk diketahui sebagai pembanding dengan alat atau metode lain untuk mencari cara yang paling murah. Data ini bisa didapat dengan menggunakan persamaan:

$$E = P \times t \dots\dots\dots(2.42)$$

Dimana:

$$E = \text{energi yang digunakan (kWh)}$$

$$P = \text{daya yang digunakan (kW)}$$

$$t = \text{waktu (Jam)}$$