

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk menganalisis kinerja mesin *husker* dalam proses pengupasan kulit padi. Penelitian tersebut umumnya berfokus pada pengaruh parameter operasi seperti kecepatan putaran poros, tekanan *rubber roll*, dan celah antar roll terhadap kualitas beras pecah kulit, tingkat beras patah, serta efisiensi energi mesin.

Penelitian mengenai mesin pengupas padi (*husker*) telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efisiensi proses pengupasan gabah serta kualitas beras yang dihasilkan. Beberapa penelitian sebelumnya yang relevan dengan penelitian ini antara lain sebagai berikut.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa parameter operasi mesin *husker* seperti kecepatan putaran poros, tekanan *rubber roll*, celah roll, serta karakteristik gabah memiliki pengaruh penting terhadap efisiensi pengupasan dan kualitas beras. Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji optimasi kombinasi RPM poros dan tekanan *rubber roll* pada mesin *husker* tipe CAH-5000 menggunakan metode *Response Surface Methodology (RSM)* masih sangat terbatas

Tabel 2.1 Gap Penelitian

No	Peneliti	Tahun	Fokus Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Prabhakaran et al.	2017	Analisis parameter operasi mesin husker terhadap keausan rubber roll	Eksperimen	Kecepatan roll dan tekanan mempengaruhi kualitas pengupasan	Belum menganalisis optimasi parameter secara statistic
2	Setyarini et al.	2020	Karakteristik material rubber roll	Eksperimen material	Material rubber mempengaruhi ketahanan dan performa roll	Tidak membahas parameter operasi mesin

Novelty atau kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan optimasi *multi-respon* untuk menentukan kombinasi parameter operasi mesin *husker* tipe CAH-5000. Penelitian tidak hanya menilai pengaruh RPM atau tekanan *rubber roll* secara terpisah, tetapi menganalisis interaksi antara RPM poros utama, RPM poros bergerak, dan tekanan *rubber roll* terhadap *husking ratio*, *broken rice*, dan konsumsi energi secara simultan. Dengan demikian, penelitian ini menghasilkan model prediktif dan rekomendasi operasional yang lebih aplikatif untuk penggilingan padi skala menengah

2.2. Prinsip Kerja Mesin Pengupas Rol Karet

Di antara berbagai teknologi pengupasan yang tersedia, mesin pengupas tipe rol karet (*rubber roll husker*) diakui sebagai

sistem yang paling efisien dalam meminimalkan tekanan mekanis langsung pada biji padi. Prinsip kerja utama dari mekanisme ini didasarkan pada aplikasi gaya geser (*shearing force*) yang dihasilkan oleh interaksi dinamis antara dua silinder karet yang berputar secara sinkron namun dengan kecepatan linear yang berbeda (Ito et al., 2024). Ketika gabah masuk ke celah di antara kedua rol, sekam akan terkoyak akibat regangan mekanis dari perbedaan deformasi permukaan karet (Qin et al., 2022). Pemodelan numerik menggunakan *Discrete Element Method (DEM)* menegaskan bahwa karakteristik aliran gabah dan distribusi gaya kontak di dalam ruang pengupasan sangat dipengaruhi oleh elastisitas material karet dan geometri celah operasional (Li et al., 2022).

Dengan demikian, pemilihan dan perawatan *rubber roll* menjadi aspek penting dalam pengoperasian mesin *husker*. *Rubber roll* perlu diperiksa secara berkala untuk memastikan tidak terjadi keausan berlebihan, perubahan bentuk, atau penurunan daya cengkeram pada permukaannya. Penggantian *rubber roll* perlu dilakukan apabila permukaan sudah aus atau tidak lagi mampu menghasilkan pengupasan yang stabil. Selain itu, pengaturan tekanan dan *clearance* juga harus disesuaikan dengan kondisi *rubber roll* serta karakteristik gabah yang diproses



Gambar 2.1 Mesin Husker tipe CAH 5000

Sumber : (Capture)



Gambar 2.2 Rubber Roll

Sumber : (Prabhakaran *et al.*, 2017)

Sebagian besar penelitian dilakukan pada skala laboratorium atau kapasitas kecil, sedangkan penelitian ini difokuskan pada mesin *husker* tipe CAH-5000 dengan kapasitas 3–4 ton/jam (skala menengah) yang lebih relevan dengan kondisi industri nyata.

Penelitian sebelumnya umumnya hanya fokus pada *husking ratio*, sedangkan penelitian ini menganalisis beberapa indikator kinerja secara bersamaan, yaitu:

1. *Husking ratio*
2. *Broken rice*
3. Konsumsi energi sehingga menghasilkan evaluasi performa mesin yang lebih menyeluruh.

2.3. Pengaruh (RPM) terhadap Pengupasan

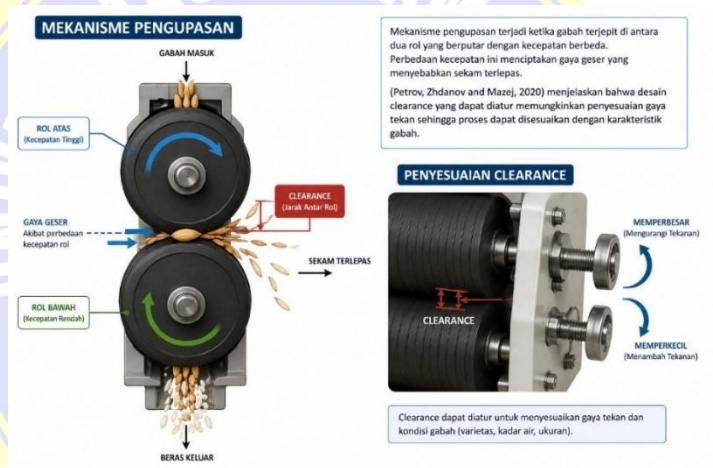
Variabel kecepatan putar (*Rotational Per Minute / RPM*) pada rol utama dan rol pembantu memegang kendali penuh atas laju regangan geser yang dialami oleh gabah. Perbedaan kecepatan linear yang optimal antara kedua rol sangat diperlukan untuk memastikan sekam terkelupas dengan sempurna (Chen et al., 2022). Peningkatan RPM pada batas tertentu dapat menaikkan kapasitas input dan efisiensi pengupasan secara linear. namun, kecepatan putar yang eksekif akan meningkatkan frekuensi tumbukan kinetik antar-biji di dalam ruang *husker* (Wang et al., 2023). Tumbukan berkecepatan tinggi ini berisiko melampaui batas kekuatan tekan batas (*ultimate compressive strength*) dari struktur beras pecah kulit, yang pada akhirnya memicu fenomena retak mikro dan kerusakan makro (Nguyen et al., 2023). Pendekatan modern berbasis komputasi cerdas kini banyak diterapkan untuk memprediksi fluktuasi RPM terbaik guna menjaga kestabilan performa mesin pengupas (Patel and Patel, 2025).

Secara matematis menurut Satankar, Tiwari and K., 2019; Petrov, Zhdanov and Mazej, 2020; Setyarini *et al.*, 2020 Husking Ratio dapat di hitung dengan persamaan :

$$\text{Husking Ratio (\%)} = \frac{\text{Berat Gabah Terkupas}}{\text{Berat Total Gabah Masuk}} \times 100 \% \dots\dots\dots 2.1$$

Sumber : (Satankar, Tiwari and K., 2019; Petrov, Zhdanov and Mazej, 2020; Setyarini *et al.*, 2020)

Secara keseluruhan, mekanisme pengupasan dengan *clearance* yang dapat diatur memungkinkan proses *husking* menjadi lebih adaptif, presisi, dan efisien, karena setiap variable kecepatan rol, gaya gesek, gaya tekan, dan celah antar rol dapat disesuaikan untuk mencapai pengupasan optimal. Gambar 3.5 memperlihatkan hubungan antara rol atas, rol bawah, gaya geser, dan pengaturan *clearance*, yang menjadi dasar untuk operasi mesin yang efektif pada skala industri maupun skala menengah.



Gambar 2.3 Mekanisme pengupasan

Sumber (Zubair *et al.*, 2016; Petrov, Zhdanov and Mazej, 2020)

2.4. Pengaruh Tekanan dengan *Broken ratio*

Selain faktor kecepatan, besarnya gaya tekan operasional yang diaplikasikan melalui penyesuaian celah (*clearance*) antar-rol merupakan penentu utama kualitas fisik beras hasil

pengupasan. Tekanan kontak yang terlalu tinggi akan memampatkan biji padi secara ekstrem selama melewati ruang pengupasan, yang secara drastis meningkatkan persentase beras patah (*broken rice*) dan menurunkan mutu penggilingan secara keseluruhan (Bautista and Siebenmorgen, 2023; Zhao et al., 2023). Sebaliknya, jika tekanan terlalu rendah akibat celah yang terlalu longgar, gaya geser yang dihasilkan tidak akan mampu mengatasi kekuatan ikatan struktural sekam, sehingga menurunkan efisiensi pengupasan dan menyisakan fraksi gabah tak terkelupas yang tinggi (Silva et al., 2024). Pengaturan kombinasi celah dan tekanan kontak yang optimal menggunakan metode respons permukaan (*Response Surface Methodology*) terbukti mampu meminimalkan tingkat kerusakan mekanis ini (Zhang et al., 2022). Penurunan tekanan yang presisi juga berkontribusi langsung pada pengurangan pola retakan internal pada struktur endosperma (Sharma et al., 2023).

Secara mekanis, terbentuknya *broken rice* disebabkan oleh gaya tekan dan gaya geser yang bekerja pada gabah saat berada di antara dua *rubber roll*. Gaya yang terlalu besar, baik akibat tekanan yang tinggi maupun perbedaan kecepatan putar yang terlalu ekstrem, dapat menyebabkan retakan pada endosperma yang kemudian berkembang menjadi patahan. Selain itu, kondisi gabah seperti kadar air yang rendah, adanya retakan awal (*fissures*), serta ukuran dan varietas gabah juga

berkontribusi terhadap tingkat kerusakan yang terjadi selama proses pengupasan.

$$BR(\%) = \frac{\text{Berat beras patah}}{\text{Total Beras}} \times 100 \dots\dots\dots 2.2$$

2.5. Konsumsi Energi

Konsumsi energi merupakan salah satu indikator penting dalam mengevaluasi kinerja mesin *husker*, khususnya dalam konteks efisiensi operasional dan keberlanjutan proses penggilingan padi. Parameter ini menunjukkan jumlah energi listrik yang digunakan oleh mesin untuk mengolah sejumlah gabah tertentu. Dalam industri penggilingan padi skala menengah, pengendalian konsumsi energi menjadi sangat krusial karena berhubungan langsung dengan biaya operasional serta efisiensi produksi secara keseluruhan.

Secara umum, konsumsi energi pada mesin *husker* dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, antara lain kecepatan putar poros utama, kecepatan poros bergerak, tekanan *rubber roll*, serta beban kerja mesin. Peningkatan kecepatan putar cenderung meningkatkan kebutuhan energi karena meningkatnya gaya gesek dan gaya inersia dalam sistem. Demikian pula, tekanan *rubber roll* yang tinggi akan meningkatkan gaya kontak antar permukaan, sehingga membutuhkan energi yang lebih besar untuk mempertahankan putaran sistem. Oleh karena itu, konsumsi energi memiliki hubungan yang erat dengan parameter operasi dan harus dikontrol secara optimal.

$$E(\text{kWh/ton}) = \frac{\text{Energi Terpakai}}{\text{Berat Gabah}} \times 100 \dots\dots\dots 2.3$$

2.6 Analisis (ANOVA) dalam (RSM)

Analisis Varians atau *Analysis of Variance* (ANOVA) merupakan metode statistik yang digunakan untuk mengevaluasi signifikansi suatu model serta mengidentifikasi pengaruh variabel bebas terhadap variabel respon. Dalam konteks *Response Surface Methodology* (RSM), ANOVA berperan penting sebagai alat untuk menguji apakah model regresi yang dibangun mampu merepresentasikan hubungan antara variabel secara signifikan.

Pada metode RSM, model matematis yang diperoleh dari hasil regresi perlu diuji kelayakannya. Pengujian ini dilakukan menggunakan ANOVA dengan cara membandingkan variasi yang dijelaskan oleh model dengan variasi yang disebabkan oleh kesalahan (*error*). Jika variasi yang dijelaskan oleh model lebih dominan, maka model tersebut dinyatakan signifikan dan layak digunakan untuk analisis lebih lanjut.

2.6.1. Fungsi ANOVA dalam RSM

Dalam penerapan RSM, ANOVA memiliki beberapa fungsi utama, yaitu:

1. Menguji signifikansi model RSM

ANOVA digunakan untuk mengetahui apakah model regresi yang dihasilkan memiliki hubungan yang nyata

antara variabel bebas dan variabel respon. Model dikatakan signifikan apabila nilai *p-value* lebih kecil dari tingkat signifikansi yang ditetapkan (umumnya 0,05). Hal ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan untuk memprediksi respon secara akurat.

2. Menentukan variabel yang berpengaruh

ANOVA juga digunakan untuk mengidentifikasi variabel bebas yang memiliki pengaruh signifikan terhadap respon. Dalam model RSM, variabel yang diuji meliputi:

1. Pengaruh utama (misalnya kecepatan putar dan tekanan rol)
2. Pengaruh interaksi antar variabel
3. Pengaruh kuadratik (non-linear)

Variabel dengan nilai *p-value* < 0,05 dinyatakan berpengaruh signifikan terhadap respon, sedangkan variabel dengan *p-value* > 0,05 dianggap tidak signifikan.

3. Menguji interaksi antar variable

Selain pengaruh individu, ANOVA mampu menunjukkan apakah terdapat interaksi antara variabel bebas. Interaksi ini sangat penting dalam RSM karena sering kali kombinasi variabel memberikan pengaruh yang lebih

besar dibandingkan pengaruh masing-masing variabel secara terpisah.

4. Menilai kesesuaian model (goodness of fit)

ANOVA menyediakan parameter statistik seperti koefisien determinasi (R^2) yang menunjukkan seberapa baik model dapat menjelaskan variasi data. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi.

2.6.2. Parameter Penting dalam ANOVA

Beberapa parameter utama yang digunakan dalam analisis ANOVA antara lain:

1. *F-value*

Menunjukkan perbandingan antara variasi model dengan variasi *error*. Semakin besar nilai F , maka pengaruh variabel semakin signifikan.

2. *p-value*

Digunakan untuk menentukan signifikansi statistik. Jika:

- $p\text{-value} < 0,05 \rightarrow$ signifikan
- $p\text{-value} > 0,05 \rightarrow$ tidak signifikan

3. Koefisien determinasi (R^2)

Menunjukkan tingkat kemampuan model dalam menjelaskan variasi data.

1. dapat digunakan dalam proses optimasi

Fungsi pendekatan yang digunakan adalah model polinomial orde dua (*kuadratik*) yang dirumuskan secara matematis sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \dots 2.4$$

Di mana:

- Y = Variabel respons terprediksi (Efisiensi Pengupasan atau Persentase Beras Patah).
- X_i, X_j = Variabel independen/bebas (X_1 untuk RPM, X_2 untuk Celah *Clearance*).
- β_0 = Konstanta intersep (titik potong).
- β_i = Koefisien regresi linier (efek utama).
- β_{ii} = Koefisien regresi kuadratik (efek kelengkungan kurva).
- β_{ij} = Koefisien regresi interaksi (efek silang antara RPM dan Celah).
- ε = *Error* residual eksperimental.

2.6.3 Prinsip Dasar Perhitungan ANOVA

Nilai **F-value** (F-hitung) adalah rasio yang membandingkan seberapa besar variasi data yang bisa dijelaskan oleh model matematika Anda dibandingkan dengan variasi yang disebabkan oleh *error* (galat/kesalahan acak).

Rumus dasarnya adalah:

$$MS = SS/df \dots\dots\dots 2.5$$

2.7. Kinematika Kecepatan Linear dan Kecepatan Relatif

Secara konseptual, semakin kecil nilai Δv yang terjadi pada celah antar-rol, semakin moderat pula laju regangan geser (*shear rate*) yang dialami oleh permukaan gabah. Pada nilai Δv yang terlalu rendah, gaya geser yang dihasilkan cenderung tidak cukup kuat untuk mengoyak sekam secara sempurna, sehingga efisiensi pengupasan menurun. Sebaliknya, pada nilai Δv yang berlebihan, energi kinetik gesekan dapat melampaui kapasitas pelindung sekam dan langsung membebani endosperma beras, sehingga memicu retak *mikro* dan meningkatkan persentase beras patah.

Sama seperti landasan perhitungan sebelumnya, kecepatan linear (v) dan kecepatan relatif/selisih kecepatan (Δv) diturunkan menggunakan asumsi diameter silinder karet standar untuk mesin *husker* tipe CAH-5000, yaitu **D = 0,254 meter** (10 inci).

Formulasi matematis yang digunakan adalah:

$$v_1 = \frac{\pi \cdot D \cdot N_1}{60} \dots\dots\dots 2.6$$

$$v_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot N_2}{60} \dots\dots\dots 2.7$$

$$\Delta v = v_1 - v_2 \dots\dots\dots 2.8$$

2.8 Proporsi Gabah Sisa (Persentase)

$$\text{Proporsi Gabah Sisa (\%)} = \left(\frac{W_{\text{sisa}}}{W_t} \right) \times 100\% \dots\dots\dots 2.9$$

Keterangan:

- W_{sisa} = Massa gabah yang masih utuh (belum terkelupas sekamnya) setelah melewati mesin *husker* (kg atau gram). Angka ini didapat dari hasil penimbangan aktual setelah proses penyortiran keluaran.
- W_t = Total massa gabah awal yang dimasukkan (di-umpankan) ke dalam *hopper* sebelum proses pengupasan dimulai (kg atau gram).

