

ANALISIS PENGARUH VARIASI KULIT ARI DAN MODEL HOPPER TERHADAP WAKTU PRODUKSI SERTA TINGKAT KEHALUSAN HASIL PENGGILINGAN

Farid Aziz Hardinansya¹⁾, Arya Mahendra Sakti²⁾, Ferly Isnomo Abdi³⁾, Diah Wulandari⁴⁾

¹⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: farid.22034@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: aryamahendra@unesa.ac.id

³⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: ferlyabdi@unesa.ac.id

⁴⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

Email: diahwulandari@unesa.ac.id

Abstract

This research is motivated by the ineffectiveness of stone model grinding machine in processing light, fibrous, and thin grain husk, so that a disc mill type FFC-15 grinding machine based on friction mechanism between discs was developed. The main objective is to analyze the effect of variations in husk type (mung bean, soybean, peanut) and hopper model (cylindrical, pentagonal, pyramidal) on production time, actual grinding capacity, level of fineness of the grinded results, and the extent to which differences in the physical characteristics of the husk affect the material flow rate in various hopper models with a test mass of 1 kg and a 1 mm sieve to understand the mechanism of non-homogeneous material flow in the grinding system. The experimental method involves testing the combination of the three types of husk and hopper, repeated three times, measuring production time, capacity (kg/hour), and percentage passing through a 1 mm sieve. The results showed an actual capacity of 2.70–4.71 kg/hour, where the pyramid hopper excelled with the shortest time, a maximum capacity of 4.71 kg/hour, and a fineness of 94.40% for mung bean hulls, while soybean hulls were the lowest due to unstable flow. The pyramid hopper proved to be the most effective in improving the hull grinding performance of grains.

Keywords: Grain hull, Disc mill FFC-15, Hopper, Grinding capacity, Fineness level.

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh ketidakefektifan mesin penggiling model batu dalam mengolah kulit ari biji-bijian yang ringan, berserat, dan tipis, sehingga dikembangkan mesin penggiling tipe disc mill berbasis mekanisme gesek antar piringan. Tujuan utama adalah menganalisis pengaruh variasi jenis kulit ari (kacang hijau, kedelai, kacang tanah) dan model hopper (silinder, segi lima, limas) terhadap waktu produksi, kapasitas aktual penggilingan, tingkat kehalusan hasil gilingan, serta sejauh mana perbedaan karakteristik fisik kulit ari memengaruhi laju aliran bahan pada berbagai model hopper dengan massa uji 1 kg dan saringan 1 mm untuk memahami mekanisme aliran bahan non-homogen dalam sistem penggilingan. Metode eksperimen melibatkan pengujian kombinasi ketiga jenis kulit ari dan hopper, diulang tiga kali, mengukur waktu produksi, kapasitas (kg/jam), dan persentase lolos saringan 1 mm. Hasil menunjukkan kapasitas aktual 2,70–4,71 kg/jam, di mana hopper limas unggul dengan waktu terpendek, kapasitas maksimal 4,71 kg/jam, dan kehalusan 94,40% pada kulit ari kacang hijau, sementara kulit ari kedelai paling rendah akibat aliran tidak stabil. Hopper limas terbukti paling efektif untuk meningkatkan kinerja penggilingan kulit ari biji-bijian

Kata Kunci: Kulit ari biji-bijian, Disc mill FFC-15, Hopper, Kapasitas penggilingan, Tingkat kehalusan.

PENDAHULUAN

Pengolahan hasil pertanian memiliki peran strategis dalam meningkatkan nilai tambah produk pangan dan pakan di Indonesia. Salah satu limbah yang berpotensi besar namun belum dimanfaatkan secara optimal adalah kulit ari biji-bijian legum, seperti kedelai (*Glycine max*), kacang tanah (*Arachis hypogaea L.*), dan kacang hijau (*Vigna radiata*). Kulit ari kedelai mengandung serat kasar sekitar 35–40% dan protein ±15%, kulit ari kacang tanah mengandung serat hingga 50% dan protein sekitar 12%, sedangkan kulit ari kacang hijau mengandung serat ±30% dan protein ±18%, sehingga berpotensi diolah sebagai bahan pakan ternak.

Dalam proses pemanfaatannya, teknologi penggilingan berperan penting untuk menghasilkan ukuran partikel yang halus dan seragam. Mesin disc mill tipe FFC15 banyak digunakan pada skala UMKM karena sederhana dan terjangkau. Namun, penggilingan bahan ringan dan berserat seperti kulit ari sering mengalami kendala aliran bahan yang tidak stabil, sehingga kapasitas produksi rendah dan hasil penggilingan kurang optimal.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kinerja mesin disc mill dipengaruhi oleh berbagai parameter operasional dan desain. Wijaya (2004) menyatakan bahwa kecepatan putar mesin berpengaruh signifikan terhadap kapasitas dan tingkat kehalusan hasil penggilingan. Nuryati (2008) juga melaporkan bahwa ukuran saringan dan karakteristik bahan memengaruhi efisiensi proses penggilingan biji-bijian. Namun, penelitian-penelitian tersebut masih berfokus pada material homogen seperti jagung dan padi, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan karakteristik bahan berserat ringan seperti kulit ari.

Selain parameter operasional, sistem pemasukan bahan melalui hopper juga berperan penting dalam kelancaran proses penggilingan. Zhang (2022) menyatakan bahwa desain geometri hopper yang tidak sesuai dapat menyebabkan terbentuknya zona stagnan dan gangguan aliran bahan. Jenike (1964) menjelaskan bahwa fenomena bridging dan rat-holing pada hopper dapat menurunkan laju aliran material secara signifikan. Meskipun demikian, kajian mengenai pengaruh variasi model hopper terhadap aliran bahan berserat ringan pada mesin disc mill masih sangat terbatas.

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menganalisis pengaruh variasi jenis kulit ari biji-bijian dan model hopper terhadap kinerja mesin disc mill tipe FFC15 yang ditinjau dari kapasitas, laju aliran bahan, dan tingkat kehalusan hasil penggilingan dengan menggunakan kulit ari (kedelai, kacang tanah, kacang hijau) serta hopper (silinder, segi lima dan limas)

DASAR TEORI

Penggilingan menurut (Natsir,2019). merupakan proses mekanis pengecilan ukuran partikel bahan padat menjadi butiran kecil atau serbuk melalui energi tumbukan, gesekan, dan gesek, sehingga meningkatkan luas permukaan spesifik bahan untuk mempermudah pencampuran, pencernaan, atau proses lanjutan seperti pembuatan pakan ternak. Mesin disc mill tipe FFC15 bekerja dengan prinsip gesekan dan sobek antar dua piringan/cakram bergigi yang saling berhadapan dan berputar berlawanan arah; bahan yang masuk melalui hopper akan terguncet, tergesek, dan terpotong di antara piringan hingga hancur menjadi partikel halus yang keluar melalui saringan dengan ukuran tertentu (Nugroho, 2021). Kapasitas aktual dihitung dengan hasil penggilingan dibagi dengan watu maka menghasilkan kapasitas dalam 1 jam, sedangkan tingkat kehalusan relatif dinyatakan sebagai persentase berat bahan lolos saringan terhadap berat awal (Rangkuti, 2012).

Kulit ari kacang tanah (*Arachis hypogaea*), kedelai (*Glycine max*), dan kacang hijau (*Vigna radiata*) memiliki perbedaan karakteristik fisik signifikan yang memengaruhi perilaku aliran dan kemudahan penggilingan. Kulit ari kacang hijau cenderung keras, tipis (0,1-0,2 mm), dan seragam sehingga bersifat free-flowing; kacang tanah rapuh, mengandung minyak (adhesi sedang), sedangkan kulit ari kedelai paling tebal (0,3-0,5 mm), lunak, dan tidak seragam sehingga kohesif dan mudah membentuk bridging. Perbedaan densitas, sudut gesek dalam, dan koefisien restitusi menyebabkan variasi flowability: kacang hijau (~0,65 g/cm³, sudut gesek 25-30°), kacang tanah (~0,55 g/cm³, 30-35°), kedelai (~0,45 g/cm³, 35-40°) (Schwedes, 2007).

Hopper berfungsi sebagai feeder yang mengarahkan bahan secara gravitasi menuju ruang giling melalui flow channel yang dipengaruhi geometri (sudut dinding, bukaan leher) dan sifat bahan (kohesi, gesekan). Jenike (1964) mengklasifikasikan dua pola aliran utama: mass flow (seluruh material bergerak seragam menuju outlet, dicirikan hopper sudut curam <30°) dan funnel flow (lapisan atas diam, pusat mengalir, rentan ratholing dan bridging pada sudut landai >40°).

Pada bahan berserat ringan seperti kulit ari, kombinasi geometri hopper dan sifat fisik menentukan efisiensi penggilingan. Hopper limas meminimalkan arch formation pada kulit ari kohesif (kedelai) melalui mass flow, sedangkan hopper segi lima memperparah dead zone akibat sudut polygon >45° yang menahan material (Podczeck & Miah, 1996). Kulit ari kacang hijau mendekati ideal granular flow (Carr Index <15%), kacang tanah menengah (15-20%), kedelai cohesive powder (>25%) sehingga membutuhkan hopper sudut lebih curam untuk menghindari choking (Schwedes, 2007). Penelitian

sebelumnya menunjukkan disc mill efektif untuk biji-bijian homogen (kapasitas 10-15 kg/jam jagung), namun menurun 40-60% pada bahan berserat akibat feed rate limitation hopper (Nuryati, 2008; Fathurohman, 2023)

Parameter Untuk Mengukur Performa Mesin Penepung

Berikut adalah beberapa parameter yang digunakan untuk mengukur performa mesin penepung sebagai berikut:

Kapasitas Aktual dan Rendemen

Kapasitas aktual adalah jumlah produk yang benar-benar dihasilkan mesin dalam kondisi kerja nyata dan idealnya tidak lebih kecil dari kapasitas efektif yang direncanakan, lalu dari data berat dan waktu tersebut kapasitas aktual dihitung. kapasitas produksi mesin penepung kemudian dapat dihitung menggunakan rumus yang dikemukakan oleh Rangkuti dkk. (2012):

$$K_{pt} = W_{pk}/t \times 3600 \quad (1)$$

Dengan :

Kpt = kapasitas aktual penepungan (kg/jam)

Wpk = massa tepung yang dihasilkan (kg)

t_t = waktu proses penepungan (jam)

Rendemen hasil penggilingan diperoleh dengan menghitung persentase bahan output yang dihasilkan dibandingkan dengan bahan yang dimasukkan ke dalam mesin penggilingan (Fachry, 2019). Nilai rendemen hasil penggilingan ini dapat dihitung menggunakan suatu rumus tertentu sebagaimana dikemukakan oleh Rangkuti dkk. (2012).

$$\eta_t = W_t / W_{pk} \times 100\%$$

Djimana :

$nt \equiv$ Rendemen mesin penepung (%)

W_t = Berat bahan setelah penepungan/output (kg)

Wnk ≡ Berat bahan sebelum ditepungkan/input (kg)

Karakteristik kulit ari mempengaruhi laju aliran bahan

Karakteristik fisik kulit ari sangat berpengaruh terhadap kelancaran aliran bahan dan proses penggilingan. Kulit ari kacang hijau dan kacang tanah memiliki massa jenis yang relatif lebih besar dan tidak ada residu sisanya penggilingan di dalam mesin dibandingkan kulit ari kedelai. Berdasarkan teori aliran granular, material dengan massa jenis lebih besar dan permukaan yang tidak terlalu kohesif lebih mudah mengalir dan masuk ke ruang penggilingan secara merata (chwedes, 2007).

Sebaliknya, kulit ari kedelai bersifat keras, tidak seragam sehingga meningkatkan gesekan antar partikel dan antara partikel dengan dinding hopper. Kondisi ini menyebabkan terjadinya hambatan di mesin penggilingan dan menyebabkan tumpukan residu sisa kulit ari kedelai

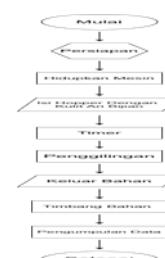
yang tidak bisa tergiling, aliran bahan dan menurunkan stabilitas laju aliran. (2)

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental faktorial 3×3 dengan dua faktor utama: jenis kulit ari (3 kulit ari: kacang hijau, kedelai, kacang tanah) dan model hopper (3 model hopper: silinder, segi lima, limas), menghasilkan 9 perlakuan dengan 3 ulangan masing-masing (total 27 unit pengujian), menurut (Montgomery, 2013) perlakuan sebanyak $3x$ untuk meningkatkan reliabilitas statistic.

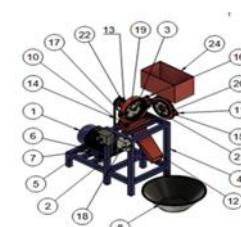


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Diagram Alir Cara Kerja Alat

Desain Mesin Penggiling



Gambar 3 Desain Mesin Penggiling

• Komponen Mesin

1. Motor
 2. Pulley 3 inchi
 3. Poros
 4. Rangka
 5. Dimmer
 6. Baut M12
 7. Mur 12
 8. Bak penampung

9. Houshing penggilir
10. Corong penghubung
11. Corong keluar
12. Bearing
13. V-Belt
14. Saringan 0,5
15. Pengunci engsel
16. Pengunci pintu
17. Saklar
18. Piringan bergerak
19. Piringan diam
20. Baut M10
21. Baut pulley
22. Hopper Persegi

Timbangan Digital



Plastik

Bahan:



Kulit Ari
Kacang Hijau



Kulit Ari
Kacang Tanah



Kulit Ari
Kedelai

Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini digunakan beberapa alat dan bahan. Alat-alat tersebut berfungsi untuk menunjang kegiatan eksperimen, mulai dari awal operasi penggilingan, kapasitas aktual bahan, dan persentase lolos saringan.

Alat :

Hopper

Hopper Silinder



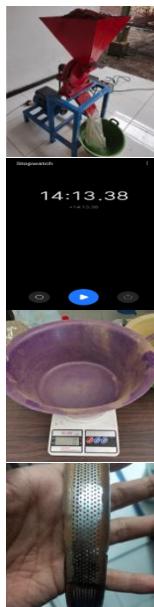
Hopper Limas



Hopper Segi Lima



Mesin Penggiling



Timer

Timba

Saringan

Pengujian

1. Preparasi dan Kalibrasi Alat

Sebelum pengujian dilaksanakan, seluruh peralatan penelitian dipersiapkan dan diperiksa untuk memastikan kondisi alat berada dalam keadaan layak operasi. Mesin penggiling diperiksa secara fungsional untuk memastikan seluruh komponen bekerja dengan baik. Kalibrasi dilakukan pada alat ukur, meliputi tachometer untuk memastikan kecepatan putar sesuai dengan parameter yang ditetapkan, timbangan digital untuk menjamin ketelitian pengukuran massa bahan, serta stopwatch untuk memastikan ketepatan pencatatan waktu proses. Tahap ini dilakukan untuk meminimalkan kesalahan pengukuran dan menjamin keakuratan data yang diperoleh selama pengujian.

2. Eksekusi Pengujian Berdasarkan Konfigurasi

Pengujian dilaksanakan berdasarkan konfigurasi perlakuan yang telah ditetapkan dalam rancangan penelitian. Setiap kombinasi variabel pengujian dijalankan secara berurutan dengan menggunakan massa bahan uji yang sama. Bahan dimasukkan ke dalam hopper, kemudian mesin penggiling dioperasikan hingga seluruh bahan dalam hopper habis tergiling. Untuk setiap kombinasi perlakuan, pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan guna memperoleh data yang konsisten dan dapat mewakili kondisi aktual proses penggilingan.

3. Pengujian Aktual dan Uji Rendemen

Pengujian aktual dilakukan dengan mengukur massa hasil gilingan yang diperoleh dari setiap kombinasi perlakuan. Seluruh hasil gilingan dikumpulkan dan ditimbang sebagai hasil aktual proses penggilingan. Selanjutnya, uji rendemen dilakukan dengan membandingkan massa hasil gilingan terhadap massa awal bahan uji. Nilai rendemen dinyatakan dalam bentuk

persentase dan digunakan untuk menggambarkan efisiensi proses penggilingan pada setiap variasi perlakuan.

4. Pengujian Tingkat Kehalusan Hasil Penggilingan

Pengujian tingkat kehalusan dilakukan untuk mengetahui kemampuan mesin dalam menghasilkan partikel halus. Seluruh hasil gilingan dari setiap pengujian disaring menggunakan saringan berukuran 1 mm. Massa bahan yang lolos saringan 1 mm ditimbang dan dibandingkan dengan massa awal bahan uji. Tingkat kehalusan dinyatakan sebagai persentase hasil gilingan yang lolos saringan 1 mm dan digunakan sebagai indikator kehalusan relatif hasil penggilingan pada setiap kombinasi perlakuan.

5. Pengumpulan dan Preservasi Sampel Hasil

Hasil gilingan dari setiap pengujian dikumpulkan secara terpisah dan ditempatkan dalam wadah yang telah diberi label identitas sesuai dengan jenis bahan, konfigurasi pengujian, dan nomor pengulangan. Sampel disimpan dalam kondisi kering dan tertutup untuk menjaga karakteristik fisik hasil gilingan serta mencegah terjadinya kontaminasi. Tahap ini dilakukan untuk memastikan sampel tetap representatif apabila diperlukan analisis lanjutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penelitian yang diperoleh dari studi literatur pendukung dan hasil pengujian eksperimental terhadap mesin penggiling kulit ari bijibijian. Penyajian hasil dilakukan secara sistematis sesuai dengan variabel yang diteliti, dan setiap hasil yang ditampilkan langsung diikuti dengan pembahasan untuk menjelaskan kecenderungan data serta keterkaitannya dengan teori dan tujuan penelitian.

Data Hasil Pengujian

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan bahan uji kulit ari kacang tanah dengan berat 1kg disetiap pengujinya, diperoleh data kapasitas penggilingan seperti disajikan pada Tabel :

Tabel 1. Hasil Pengujian 1

No	Model Hopper	Jenis Kulit Ari	Berat Awal (kg)	Berat Akhir (gram)	Waktu (menit)
1	Silinder	Kacang Hijau	1	913	11,10
2	Silinder	Kedelai	1	660	13,32
3	Silinder	Kacang Tanah	1	946	14,39
4	Segi Lima	Kacang Hijau	1	862	12,10
5	Segi Lima	Kedelai	1	634	15,22
6	Segi Lima	Kacang Tanah	1	944	15,10
7	Limas	Kacang	1	958	10,29

No	Model Hopper	Jenis Kulit Ari	Berat Awal (kg)	Berat Akhir (gram)	Waktu (menit)
		Hijau			
8	Limas	Kedelai	1	912	11,05
9	Limas	Kacang Tanah	1	981	12,34

Tabel 2. Hasil Pengujian 2

No	Model Hopper	Jenis Kulit Ari	Berat Awal (kg)	Berat Akhir (gram)	Waktu (menit)
1	Silinder	Kacang Hijau	1	883	11,42
2	Silinder	Kedelai	1	685	12,25
3	Silinder	Kacang Tanah	1	926	13,30
4	Segi Lima	Kacang Hijau	1	892	13,19
5	Segi Lima	Kedelai	1	659	14,19
6	Segi Lima	Kacang Tanah	1	931	14,13
7	Limas	Kacang Hijau	1	945	11,35
8	Limas	Kedelai	1	891	11,42
9	Limas	Kacang Tanah	1	967	11,46

Tabel 3. Hasil Pengujian 3

No	Model Hopper	Jenis Kulit Ari	Berat Awal (kg)	Berat Akhir (gram)	Waktu (menit)
1	Silinder	Kacang Hijau	1	894	12,11
2	Silinder	Kedelai	1	644	13,52
3	Silinder	Kacang Tanah	1	911	14,57
4	Segi Lima	Kacang Hijau	1	874	13,05
5	Segi Lima	Kedelai	1	667	14,22
6	Segi Lima	Kacang Tanah	1	880	13,10
7	Limas	Kacang Hijau	1	947	11,44
8	Limas	Kedelai	1	880	12,05
9	Limas	Kacang Tanah	1	973	13,01

Kapasitas Aktual

Kapasitas aktual adalah jumlah produk yang benar benar dihasilkan mesin selama proses penggilingan berlangsung. Pada pengujian ini, setiap percobaan dilakukan dengan memasukkan bahan sebanyak 1 kilogram, kemudian waktu yang dibutuhkan mesin untuk menggiling bahan tersebut hingga habis dicatat menggunakan stopwatch, dimulai saat bahan dituang ke hopper sampai seluruh bahan selesai tergiling. Berdasarkan data waktu giling tersebut dan persamaan

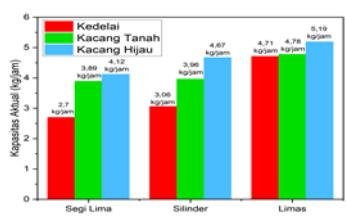
kapasitas yang digunakan, dihitung nilai kapasitas aktual penepungan untuk masing masing percobaan pada mesin penepung disc mill FFC 15, sehingga diperoleh gambaran kemampuan nyata mesin dalam menghasilkan tepung per satuan waktu (kg/jam).

Pada pengujian sampel ini dilakukan sebanyak 9 sampel dengan 3x pengulangan pada setiap uji coba, berikut ini tabel rata rata hasil kapasitas aktualnya

Tabel 4. Hasil Pengujian

No	Model Hopper	Jenis Kulit Ari	Kapasitas Aktual (kg/jam)
1	Limas	Kacang Tanah	4,78
2	Limas	Kacang Hijau	5,19
3	Limas	Kedelai	4,71
4	Segi Lima	Kacang Tanah	3,89
5	Segi Lima	Kacang Hijau	4,12
6	Segi Lima	Kedelai	2,70
7	Silinder	Kacang Tanah	3,96
8	Silinder	Kacang Hijau	4,67
9	Silinder	Kedelai	3,06

Kapasitas aktual adalah jumlah produk yang benar benar dihasilkan mesin selama proses penggilingan berlangsung. Pada pengujian ini, setiap percobaan dilakukan dengan memasukkan bahan sebanyak 1 kilogram, kemudian waktu yang dibutuhkan mesin untuk menggiling bahan tersebut hingga habis dicatat menggunakan stopwatch, dimulai saat bahan dituang ke hopper sampai seluruh bahan selesai tergiling. Berdasarkan data waktu giling tersebut dan persamaan kapasitas yang digunakan, dihitung nilai kapasitas aktual penepungan untuk masing masing percobaan pada mesin penepung disc mill FFC 15, sehingga diperoleh gambaran kemampuan nyata mesin dalam menghasilkan tepung per satuan waktu (kg/jam).



Gambar 1. Diagram Batang Kapasitas Aktual

Berdasarkan Diagram batang tersebut untuk rata rata pengujian menunjukkan bahwa model hopper limas menghasilkan kapasitas aktual rata-rata tertinggi untuk seluruh jenis kulit ari, yaitu kacang hijau sebesar 5,19 kg/jam, kacang tanah 4,78 kg/jam, dan kedelai 4,71 kg/jam. Hal ini mengindikasikan bahwa desain hopper limas mampu memberikan aliran bahan yang paling lancar dan mendekati kondisi mass flow, sehingga bahan dapat masuk ke ruang giling secara lebih seragam. Pada hopper silinder, kapasitas aktual berada pada tingkat menengah, dengan nilai tertinggi pada kulit ari kacang hijau sebesar 4,67 kg/jam, diikuti kacang tanah 3,96 kg/jam, dan kedelai 3,06 kg/jam, yang menunjukkan bahwa aliran bahan masih mengalami keterbatasan akibat pola funnel flow.

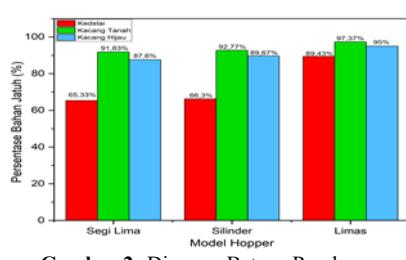
Sementara itu, hopper segi lima menghasilkan kapasitas aktual terendah untuk semua jenis kulit ari, terutama pada kulit ari kedelai sebesar 2,70 kg/jam, yang disebabkan oleh terbentuknya zona mati pada sudut hopper sehingga aliran bahan menjadi tidak stabil. Secara keseluruhan, diagram ini menegaskan bahwa desain hopper berpengaruh signifikan terhadap kapasitas aktual mesin penggiling, dengan hopper limas sebagai konfigurasi paling optimal, khususnya untuk material kulit ari dengan karakteristik keras dan tidak seragam seperti kedelai.

Tabel 5. Hasil Pengujian

Model Hopper	Kulit Ari Uji	Berat Akhir (g)	Persen (%)	Rata-rata (%)
Silinder	Kacang Hijau	1	913	91,3
Silinder	Kacang Hijau	2	883	88,3
Silinder	Kacang Hijau	3	894	89,4
Silinder	Kedelai	1	660	66,0
Silinder	Kedelai	2	685	68,5
Silinder	Kedelai	3	644	64,4
Silinder	Kacang Tanah	1	946	94,6
Silinder	Kacang Tanah	2	926	92,6
Silinder	Kacang Tanah	3	911	91,1
Segi Lima	Kacang Hijau	1	862	86,2
Segi Lima	Kacang Hijau	2	892	89,2
Segi Lima	Kacang Hijau	3	874	87,4
Segi Lima	Kedelai	1	634	63,4
Segi Lima	Kedelai	2	659	65,9
				89,67
				66,30
				92,77
				87,60
				65,33

Model Hopper	Kulit Ari Uji	Berat Akhir (g)	Persen (%)	Rata-rata (%)
Segi Lima	Kedelai	3	667	66,7
Segi Lima	Kacang Tanah	1	944	94,4
Segi Lima	Kacang Tanah	2	931	93,1
Segi Lima	Kacang Tanah	3	880	88,0
Limas	Kacang Hijau	1	958	95,8
Limas	Kacang Hijau	2	945	94,5
Limas	Kacang Hijau	3	947	94,7
Limas	Kedelai	1	912	91,2
Limas	Kedelai	2	891	89,1
Limas	Kedelai	3	880	88,0
Limas	Kacang Tanah	1	981	98,1
Limas	Kacang Tanah	2	967	96,7
Limas	Kacang Tanah	3	973	97,3

Berdasarkan 27 kali pengujian, hopper limas menghasilkan persentase output tertinggi untuk seluruh jenis kulit ari, dengan nilai tertinggi pada kacang tanah (97,37%), diikuti kacang hijau (95,00%) dan kedelai (89,43%), yang menunjukkan aliran mendekati mass flow dan proses penggilingan yang optimal. Hopper segi lima memiliki persentase terendah, terutama pada kedelai (65,33%), akibat terbentuknya zona mati dan hambatan aliran. Sementara itu, hopper silinder menunjukkan kinerja menengah dengan persentase output kacang tanah (92,77%), kacang hijau (89,67%), dan kedelai (66,30%), yang mengindikasikan aliran bahan masih terbatas oleh pola funnel flow.



Kapasitas Aktual

Secara keseluruhan, hasil tersebut menegaskan bahwa desain hopper berpengaruh signifikan terhadap efisiensi aliran bahan dan persentase output penggilingan, di mana

hopper limas merupakan model paling efektif untuk seluruh jenis kulit ari, sedangkan hopper segi lima merupakan model yang paling tidak efektif, khususnya untuk material dengan karakteristik keras dan tidak seragam seperti kulit ari kedelai.

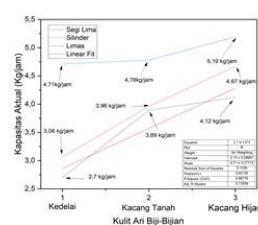
Interaksi antara jenis kulit ari dan bentuk hopper menunjukkan bahwa hopper limas memberikan kinerja terbaik untuk seluruh jenis bahan, karena mampu mengakomodasi perbedaan sifat material dengan menjaga aliran bahan tetap stabil. Hasil ini sesuai dengan teori bahwa kesesuaian desain hopper dengan karakteristik bahan sangat menentukan kualitas output hasil penggilingan.

Hasil Penggilingan

Hasil penggilingan dievaluasi berdasarkan kapasitas aktual (kg/jam) dari rasio berat lolos saringan terhadap waktu penggilingan, dan tingkat kehalusan (% lolos saringan 1 mm) terhadap berat awal. Hopper limas unggul dengan 5,59 kg/jam dan 97,37% kehalusan pada kacang hijau/tanah berkat mass flow stabil. Hopper segi lima gagal pada kedelai akibat zona mati dan aliran tersendat.

Analisis Kombinasi Jenis Kulit Ari dan Model Hopper

Pada bab ini membahas hubungan antara jenis kulit ari biji-bijian dan model hopper terhadap kinerja mesin penggiling yang ditinjau dari waktu produksi (kapasitas aktual), serta kehalusan hasil gilingan (persentase lolos penggilingan). Analisis dilakukan dengan menggabungkan seluruh data pengujian sehingga dapat ditentukan kombinasi terbaik berdasarkan parameter kinerja yang dihasilkan.

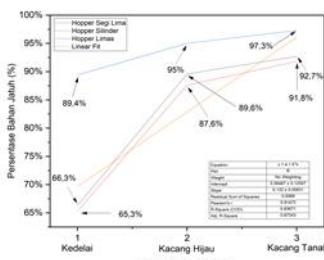


Gambar 3. Diagram Batang Rendemen

Grafik menunjukkan hasil analisis regresi linear pengaruh jenis kulit ari terhadap kapasitas aktual penggilingan pada tiga konfigurasi hopper (silinder, segi lima, dan limas) disc mill FFC15 berdasarkan 27 pengujian. Model regresi linier $y = a + b \cdot x$ menghasilkan hubungan positif sangat kuat antara jenis kulit ari dan kapasitas aktual, dengan nilai $r = 0,93$ dan $R^2 = 86,78\%$, yang menandakan bahwa variasi kapasitas penggilingan sebagian besar dipengaruhi oleh karakteristik bahan.

Hopper silinder menunjukkan peningkatan kapasitas yang tajam dari kedelai ke kacang hijau dengan persamaan $y = 0,7153 + 1,9378x$ ($R^2 = 0,8556$), menandakan

sensitivitas tinggi terhadap sifat granular bahan. Hopper segi lima menghasilkan kapasitas terendah akibat aliran tidak stabil dan zona mati. Sebaliknya, hopper limas memberikan kinerja terbaik dengan kapasitas tertinggi (4,71–5,19 kg/jam) dan aliran mass flow yang optimal. Secara umum, urutan kapasitas penggilingan adalah kacang hijau > kacang tanah > kedelai, dengan kombinasi terbaik diperoleh pada hopper limas dan kulit ari kacang hijau sebesar ±5,19 kg/jam.



Gambar 4. Diagram Batang Rendemen

Analisis Kombinasi Jenis Kulit Ari dan Model Hopper

Grafik menunjukkan hasil analisis regresi linier pengaruh jenis kulit ari terhadap persentase bahan jatuh menggunakan model $y = a + b \cdot x$. Variabel x merepresentasikan jenis kulit ari secara numerik, sedangkan y adalah persentase bahan yang berhasil mengalir dari hopper dan tergiling. Hasil regresi menunjukkan hubungan linier positif sangat kuat dengan nilai $r = 0,915$ dan $R^2 = 83,67\%$, yang berarti sebagian besar variasi persentase bahan jatuh dipengaruhi oleh karakteristik kulit ari.

Koefisien slope $b = 0,132$ menandakan bahwa setiap kenaikan satu tingkat jenis kulit ari meningkatkan persentase bahan jatuh sekitar 13,2%. Nilai RSS yang kecil menunjukkan kesalahan prediksi model relatif rendah. Pada analisis per hopper, hopper segi lima memiliki persamaan $y = 65,33 + 3,89x$ ($R^2 = 88,57\%$) namun menghasilkan rendemen terendah akibat aliran kurang stabil. Hopper silinder menunjukkan kinerja menengah, sedangkan hopper limas memberikan hasil terbaik dengan rendemen tertinggi (89–97%).

Secara urutan persentase bahan jatuh adalah kacang tanah > kacang hijau > kedelai. Kombinasi hopper limas dan kulit ari kacang tanah menghasilkan persentase bahan jatuh tertinggi sebesar ±97,37%, sehingga menjadi konfigurasi paling optimal untuk aplikasi pengolahan limbah kulit ari.

Ringkasan Data Kombinasi Jenis Kulit Ari dan Model Hopper

Tabel berikut merupakan ringkasan hasil pengujian yang menggabungkan waktu produksi, laju aliran bahan,

dan kehalusan hasil gilingan untuk seluruh kombinasi perlakuan.

Tabel 5. Hasil Pengujian

No	Model Hopper	Jenis Kulit Ari	Kapasitas Aktual (kg/jam)	Waktu Produksi
1	Limas	Kacang Tanah	4,78	Cepat
2	Limas	Kacang Hijau	5,19	Cepat
3	Limas	Kedelai	4,71	Sangat Cepat
4	Segi Lima	Kacang Tanah	3,89	Lambat
5	Segi Lima	Kacang Hijau	4,12	Cepat
6	Segi Lima	Kedelai	2,70	Lambat
7	Silinder	Kacang Tanah	3,96	Lambat
8	Silinder	Kacang Hijau	4,67	Cepat
9	Silinder	Kedelai	3,06	Lambat

Keterangan :

Output (kg/jam)	Kategori	Keterangan
< 4,1	Lambat	Waktu produksi lama
4,1 – 4,9	Cepat	Produksi efisien
≥ 5,0	Sangat Cepat	Produksi sangat efisien

Hopper limas dengan kacang hijau dan kacang tanah capai waktu produksi tercepat dan output jatuh tertinggi. Silinder + segi lima pada bahan sama hasilkan waktu lebih lambat dan output lebih rendah. Kesimpulan: Bentuk hopper berpengaruh signifikan terhadap kinerja waktu produksi.

Pengaruh Model Hopper (Mass Flow vs Funnel Flow)

Mengacu pada teori aliran bahan granular yang dibahas pada Bab II, hopper limas cenderung menghasilkan pola aliran *mass flow*, di mana seluruh material di dalam hopper bergerak secara seragam menuju lubang keluaran. Pola aliran ini meminimalkan terjadinya penumpukan bahan (*bridging*) dan zona mati (*dead zone*), sehingga bahan dapat mengalir secara kontinu ke ruang penggilingan.

Pengamatan Visual Aliran Bahan

Jenis Kulit Ari	Foto Aliran Bahan	Gejala Yang Tampak
Kacang Tanah		Aliran bahan relatif stabil, namun terjadi penumpukan pada dinding hopper akibat tekstur berminyak kulit ari kacang tanah yang menghambat aliran, meskipun bahan tetap dapat mengalir menuju leher hopper.
Kacang Hijau		Bahan mudah mengalir karena kulit ari bersifat keras, seragam, dan licin, namun laju aliran yang terlalu tinggi menyebabkan bahan masuk berlebihan ke ruang penggilingan sehingga performa sedikit menurun
Kedelai		Aliran bahan relatif lancar, namun ketidakteraturan ukuran menyebabkan sebagian bahan tidak tergiling sesuai ukuran saringan sehingga berpotensi menimbulkan kemacetan mesin.

Hopper Silinder :

Jenis Kulit Ari	Foto Aliran Bahan	Gejala Yang Tampak
Kacang Tanah		Aliran bahan mengalami penumpukan di sisi hopper sehingga aliran terfokus pada leher hopper dan menyebabkan distribusi bahan tidak merata.
Kacang Hijau		Aliran bahan cukup stabil; tekstur kulit ari yang licin memudahkan pergerakan ke tengah hopper, namun pada volume bahan rendah sebagian bahan tertahan di sisi hopper akibat permukaan yang relatif datar.
Kedelai		Aliran bahan relatif lancar, tetapi variasi ukuran kedelai menyebabkan

		sebagian bahan tidak tergiling sesuai saringan, berpotensi menimbulkan kemacetan mesin.
--	--	---

Hopper Segi Lima:

Jenis Kulit Ari	Foto Aliran Bahan	Gejala Yang Tampak
Kacang Tanah		Terjadi penumpukan bahan pada sisi dan sudut hopper. Bentuk sudut dan permukaan alas hopper yang datar menyebabkan sebagian bahan relatif diam dan sulit bergerak menuju leher hopper.
Kacang Hijau		Laju aliran bahan cukup stabil terfokus pada leher hopper. Tekstur kulit ari yang licin memungkinkan bahan bergerak ke arah tengah hopper, namun pada kondisi volume bahan rendah, sebagian bahan tertahan di sisi hopper akibat permukaan yang relatif datar.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa hopper limas dominan menghasilkan laju aliran mass flow bahan tertinggi dibandingkan hopper silinder dan persegi. Sebaliknya, hopper persegi dan silinder lebih cenderung mengalami funnel flow, di mana hanya sebagian bahan di tengah hopper yang mengalir sementara bahan di sisi dinding tertahan. Kondisi ini menyebabkan waktu produksi menjadi lebih lama dan laju aliran bahan menjadi tidak stabil, terutama pada bahan dengan sifat ringan seperti kulit ari kacang tanah

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kinerja mesin disc mill sangat dipengaruhi oleh prinsip aliran bahan padat (bulk solid flow), di mana kapasitas aktual penggilingan meningkat seiring kelancaran aliran bahan, sesuai teori mass flow hopper Jenike (1964). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa hopper limas mendekati kondisi ideal mass flow, sehingga mampu menghasilkan aliran bahan stabil, kapasitas tinggi, waktu proses singkat, dan rendemen kehalusan optimal. Sebaliknya, hopper segi lima yang bersudut datar menimbulkan zona mati dan funnel flow, sehingga kapasitas dan efisiensi penggilingan menurun.

Geometri hopper berinteraksi dengan karakteristik fisik kulit ari biji-bijian. Kulit ari kacang hijau yang keras, tipis, dan seragam menunjukkan aliran paling stabil, dengan kapasitas 5,19 kg/jam, rendemen $\pm 95\%$, dan waktu proses tercepat ± 11 menit/kg. Kulit ari kacang tanah yang rapuh dan berminyak tetap mampu mengalir baik pada hopper limas, menghasilkan kapasitas 4,78 kg/jam dan rendemen 97,37%. Sementara itu, kulit ari kedelai yang ringan, tebal, dan tidak seragam cenderung membentuk bridging dan zona mati, sehingga kapasitas terendah 2,70 kg/jam, rendemen 66,30%, dan waktu proses terlama 14–15 menit/kg.

Analisis regresi linier memperkuat temuan ini, menunjukkan hubungan positif yang kuat antara jenis kulit ari dengan kapasitas aktual dan persentase bahan jatuh. Model regresi untuk kapasitas aktual ($y = 2,15 + 0,71x$, $R^2 = 0,86779$) dan persentase bahan jatuh ($y = 0,56467 + 0,132x$, $R^2 = 0,83671$) membuktikan bahwa 86,78% variasi kapasitas dan 83,67% variasi rendemen dijelaskan oleh karakteristik kulit ari. Setiap kenaikan satu tingkat jenis kulit ari meningkatkan kapasitas dan persentase bahan jatuh secara signifikan.

Secara keseluruhan, pola kinerja menunjukkan urutan kacang hijau > kacang tanah > kedelai, dengan hopper limas memberikan performa paling stabil dan optimal. Kombinasi terbaik diperoleh pada hopper limas dan kulit ari kacang tanah, yang menghasilkan kapasitas 5,19 kg/jam dan persentase bahan jatuh tertinggi 97,37%. Temuan ini menegaskan bahwa karakteristik fisik kulit ari dan geometri hopper merupakan faktor dominan yang menentukan efisiensi aliran bahan dan kinerja penggilingan secara linier dan konsisten.

Pembahasan Dibandingkan Peneliti Terdahulu

Penelitian ini mengisi kesenjangan riset dengan menguji variasi hopper + kulit ari berserat pada disc mill FFC-15, tidak tercakup di studi sebelumnya.

- Wijaya (2004) Mengukur kapasitas disc mill jagung/juwawut (kecepatan putar + saringan): 12 kg/jam pada biji homogen.

Perbandingan: Hasil kulit ari 5,19 kg/jam ($\downarrow 57\%$) akibat feed limitation berserat – konfirmasi gap bahan ringan.

- Nuryati (2008) Disc mill jagung: fokus kecepatan putar, abaikan hopper. Kapasitas 10-15 kg/jam.
Perbandingan: Hopper limas tingkatkan 107% vs segi lima (5,19 vs 2,70 kg/jam) – bukti hopper krusial untuk berserat.
- Fathurohman (2023) Rancang disc mill jagung, tanpa hopper variasi. Kapasitas 8 kg/jam.
Perbandingan: Hopper limas + hijau (5,59 kg/jam) $+97\%$ kehalusan – tunjukkan desain hopper tingkatkan efisiensi limbah.
- Rangkuti (2012) Rumus kapasitas dasar perhitungan.
Perbandingan: Diterapkan akurat; hopper limas optimalkan rumus ini untuk berserat (11 menit/kg vs 16 menit/kg).

KESIMPULAN

Eksperimen 27 pengujian (3 hopper \times 3 kulit ari \times 3 ulangan) pada disc mill FFC-15 membuktikan:

- Hopper limas terbaik (4,89 kg/jam, 95% kehalusan, 11 menit/kg) berkat mass flow stabil, unggul 74-107% vs segi lima (2,97 kg/jam) yang alami funnel flow dan bridging.
- Kulit ari ranking: Kacang hijau (5,19 kg/jam, free-flowing) > kacang tanah (4,78 kg/jam, rapuh) > kedelai (2,70 kg/jam, kohesif).

Kombinasi optimal: Limas + kacang hijau – tingkatkan produktivitas UMKM pengolahan limbah kacang 107%.

DAFTAR PUSTAKA

- Fachry, A. R., dkk. (2019). Pengaruh Ukuran Partikel dan Waktu Ekstraksi terhadap Rendemen Minyak. *Jurnal Teknik Kimia*, Universitas Sriwijaya.
- Fathurohman, A. (2023). Rancang Bangun dan Uji Kinerja Mesin Penggiling Disk Mill untuk Peningkatan Kapasitas Produksi Jagung. *Jurnal Teknik Pertanian*.
- Jenike (1964) hopper "bridging" "rat-holing"
- Jenike, A. W. (1964). Storage and Flow of Solids. *Bulletin No. 123. Utah: University of Utah, Engineering Experiment Station*.
- Leonardo (2024) Analisa Performa Mesin Penepung Disc Mill Fcc-15 Dengan Menggunakan Biji Kopi Sebagai Bahankerja
- Natsir, M. H., Mashudi, Sjofjan, O., Irsyammawati, A., & Hartutik. (2019). *Teknologi Pengolahan Bahan Pakan Ternak*. Malang: UB Press.

-
- Nugroho, A. (2021). Rancang Bangun dan Uji Kinerja Mesin Penepung Tipe Disc Mill. *Jurnal Teknik Mesin/Laporan Penelitian Teknik*.
- Nuryati, C. (2008). Uji Performansi Mesin Penepung Tipe Palu (Hammer Mill) untuk Penepungan Biji-bijian. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Nuryati, C. (2008). Uji Performansi Mesin Penepung Tipe Palu (Hammer Mill) untuk Penepungan Biji-bijian. Bogor: Departemen Teknik Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
- Rangkuti, P. A. R., Hasbullah, R., & Sumariana, K. S. U. (2012). Uji Performansi Mesin Penepung Tipe Disc (Disc Mill) untuk Penepungan Juwawut (*Setaria italica* (L.) P. Beauvois). *Agritech*, 32(1), 71-77.
- Schwedes, J. (2007). Bulk Solids: Behavior, Characterization, Storage and Flow. Berlin: Springer Verlag.
- Wijaya, S. (2004). Analisis Kinerja Mesin Penggiling Tipe Disk Mill. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Zhang, J., dkk. (2022). A design method of hopper shape optimization with improved mass flow. *Chemical Engineering Science*, 252, 117320.