RANCANG BANGUN DAN UJI KINERJA MESIN PENGGILING SEKAM PADI METODE *HAMMER MILL*: PENGARUH JUMLAH MATA PISAU DAN UKURAN SARINGAN

Design Construction and Performance Test of a Rice Husk Grinding Machine Using the Hammer Mill Method: Effect of Blade Count and Screen Size

Mas Wisnu Aninditya*, Cinta Ananda Putri Avrilia, Jati Nurcholis
Program Studi Teknologi Mekanisasi Pertanian, Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia
*Email: maswisnua@gmail.com

ABSTRAK

Sekam padi merupakan produk samping penggilingan padi yang berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan pakan ternak melalui proses penggilingan menjadi dedak. Pengolahan secara konvensional dinilai tidak efisien, sehingga diperlukan mesin penggiling yang tepat guna. Penelitian ini bertujuan merancang, membangun, dan menguji kinerja mesin penggiling sekam padi menggunakan metode *hammer mill*, dengan fokus pada pengaruh jumlah mata pisau dan ukuran saringan terhadap kualitas serta kapasitas hasil penggilingan. Mesin dirancang menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* untuk simulasi *stress analysis* dan *strain analysis*, kemudian diwujudkan melalui proses manufaktur dan perakitan. Pengujian kinerja dilakukan dalam tiga ulangan dengan bahan baku sekam padi sebanyak 1 kg per ulangan menggunakan motor bensin Honda GX 160 berdaya 5,5 HP. Proses optimasi mesin menunjukkan bahwa penggantian saringan dari ukuran 4 mm menjadi 2 mm serta penambahan jumlah mata pisau dari 36 buah menjadi 67 buah dengan jarak antara 25 mm (susunan *zig-zag*) secara signifikan meningkatkan kehalusan produk. Hasil uji kinerja akhir menunjukkan rata-rata kapasitas penepungan sebesar 2,93 kg/jam, rendemen penepungan 68,8%, susut massa 31,1%, dan konsumsi bahan bakar 1 liter/jam. Simulasi struktural mengindikasikan bahwa komponen *hammer* berada dalam batas aman, sementara rangka memerlukan penguatan pada titik-titik sambungan kritis.
Kata Kunci**:** sekam padi; hammer mill; jumlah mata pisau; ukuran saringan; uji kinerja

ABSTRACT

Rice husk is a by-product of rice milling that has potential use as animal feed ingredient through a grinding process into meal. Conventional processing is considered inefficient, thus requiring an appropriate grinding machine. This study aimed to design, construct, and evaluate the performance of a rice husk grinding machine using the hammer mill method, focusing on the effect of blade count and screen size on the quality and capacity of the grinding output. The machine was designed using SolidWorks software for stress analysis and strain analysis simulations, and subsequently realized through manufacturing and assembly processes. Performance testing was conducted in three replications with 1 kg of rice husk per replication, powered by a Honda GX 160 gasoline engine rated at 5.5 HP. Machine optimization showed that replacing the screen from 4 mm to 2 mm and increasing the blade count from 36 to 67 blades with 25 mm spacing in a zig-zag arrangement significantly improved product fineness. Final performance test results showed a mean milling capacity of 2.93 kg/h, milling yield of 68.8%, mass loss of 31.1%, and fuel consumption of 1 liter/h. Structural simulation indicated that the hammer components were within safe limits, while the frame required reinforcement at critical joint points.
Kata Kunci: blade count; hammer mill; performance test; rice husk; screen size

PENDAHULUAN

Sekam padi merupakan lapisan pelindung biji padi yang terpisah selama proses penggilingan. Komoditas ini mewakili sekitar 20–30% dari total bobot gabah dan selama ini dipandang sebagai limbah yang belum termanfaatkan secara optimal (Bhakti *et al.*, 2019). Padahal, setelah mengalami proses penepungan lebih lanjut, sekam padi dapat dikonversi menjadi dedak yang memiliki nilai nutrisi bagi ternak, mengingat kandungan serat kasarnya yang tinggi dan potensi fermentasi menggunakan probiotik

untuk meningkatkan kualitas pakan (Priyadi *et al.*, 2023). Selulosa (58,85%), hemiselulosa (18,03%), dan lignin (20,90%) merupakan penyusun utama sekam, sementara kandungan air, protein kasar, lemak, dan abu turut menentukan sifat fisik bahan selama penggilingan (Cengristitama dan Insan, 2020).

Pengolahan sekam padi secara manual menggunakan parang atau alat sederhana terbukti tidak efisien, membutuhkan waktu lama, dan menghasilkan produk yang tidak seragam. Kebutuhan akan solusi mekanis telah mendorong pengembangan berbagai jenis mesin penggiling, di antaranya *hammer mill* dan *disc mill*. *Hammer mill* bekerja dengan mekanisme tumbukan berkecepatan tinggi dan dikenal efektif untuk bahan berserat seperti sekam padi (Nugroho *et al.*, 2021; Sutejo *et al.*, 2023). Kapasitas dan kualitas hasil penggilingan pada mesin tipe ini sangat dipengaruhi oleh konfigurasi mata pisau, ukuran saringan, serta kecepatan putar poros (Baidilah *et al.*, 2021; Kismanti dan Nurdin, 2023).

Penelitian terdahulu oleh Santoso *et al.* (2021) pada mesin pencacah limbah pertanian menunjukkan bahwa modifikasi konfigurasi mata pisau secara nyata meningkatkan kapasitas efektif alat hingga 78,9% dan menurunkan suhu operasi mesin. Hal serupa dilaporkan oleh Hamarung dan Jasman (2019) bahwa kemiringan dan jumlah pisau pencacah berpengaruh signifikan terhadap efisiensi kerja mesin. Sementara itu, penelitian oleh Suudi *et al.* (2019) menegaskan peran penting desain ruang penggilingan dan konfigurasi bilah terhadap keseragaman ukuran partikel. Kajian oleh Zhang *et al.* (2017) pada mesin penghancur jerami mengindikasikan bahwa ukuran lubang saringan merupakan variabel penentu terhadap nilai rendemen dan granulometri produk akhir.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji aspek rancang bangun mesin *hammer mill* secara umum, kajian spesifik yang mengintegrasikan proses perancangan berbasis simulasi CAD, optimasi jumlah mata pisau, dan pemilihan ukuran saringan untuk penggilingan sekam padi masih terbatas. Penelitian ini bertujuan untuk (1) merancang dan membangun mesin penggiling sekam padi metode *hammer mill* berbasis simulasi *SolidWorks*; (2) melakukan optimasi konfigurasi jumlah mata pisau dan ukuran saringan; serta (3) mengevaluasi kinerja mesin yang dihasilkan secara kuantitatif berdasarkan parameter kapasitas penepungan, rendemen, susut massa, dan konsumsi bahan bakar.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi gerinda tangan dan gerinda duduk untuk pemotongan dan penghalusan material, mesin las elektroda untuk perakitan rangka dan komponen, bor tangan dan bor duduk untuk pelubangan mata pisau, *spray gun* untuk pengecatan, serta laptop dengan perangkat lunak *SolidWorks* untuk desain dan simulasi. Instrumen pengukuran mencakup meteran, penggaris siku, dan alat tulis. Bahan utama konstruksi meliputi besi siku 40×40×4 mm dan 30×30×3 mm untuk rangka, plat eser 1,6 mm untuk *hopper* dan ruang penggilingan, plat strip 30 mm untuk mata pisau *hammer*, besi as berdiameter 23 mm untuk poros, besi beton 12 mm untuk piringan, serta *pulley* 8 inci dan *v-belt* A79 sebagai komponen transmisi. Penggerak menggunakan motor bensin Honda GX 160 berkapasitas 5,5 HP dengan kecepatan 3.600 rpm. Saringan berlubang 4 mm dan 2 mm digunakan dalam tahap optimasi.

B. Prosedur Penelitian

1. Studi Literatur dan Identifikasi Kebutuhan

Tahap awal berupa kajian pustaka mengenai prinsip kerja *hammer mill*, karakteristik fisik sekam padi, dan penelitian-penelitian relevan yang telah dipublikasikan. Identifikasi kebutuhan teknis mencakup kapasitas kerja yang diinginkan, dimensi mesin, kondisi operasional lapangan, dan keterbatasan proses manufaktur.

2. Perancangan dan Simulasi

Perancangan dilakukan dalam dua tahap: (a) pembuatan sketsa manual untuk visualisasi konsep awal, dan (b) pemodelan 3D menggunakan *SolidWorks*. Simulasi *stress analysis* dan *strain analysis* berbasis Metode Elemen Hingga (FEA) dilakukan pada komponen kritis, yaitu rangka dan *hammer*, untuk memverifikasi keamanan struktur sebelum proses fabrikasi. Perhitungan teknik meliputi dimensi poros, kebutuhan daya motor, serta spesifikasi sistem transmisi (Andriani *et al.*, 2021; Siregar, 2020).

3. Manufaktur dan Perakitan

Proses manufaktur dimulai dari pemotongan bahan baku sesuai gambar kerja menggunakan gerinda, dilanjutkan pengelasan rangka besi siku, pembuatan piringan dan mata pisau *hammer* dari plat strip, fabrikasi *hopper in* dan *hopper out* dari plat eser, serta pemasangan saringan di dasar ruang

tumbuk. Perakitan *assembly* dilakukan secara bertahap, diikuti penghalusan permukaan menggunakan gerinda, pengecatan dasar dengan cat epoxy, dan pengecatan akhir dengan cat emco.

4. Pengujian Kinerja

Pengujian dilakukan dalam tiga ulangan, masing-masing menggunakan bahan baku sekam padi sebanyak 1 kg. Parameter uji kinerja yang diukur mengacu pada persamaan yang dikembangkan oleh Junaidin *et al.* (2021), Sugandi *et al.* (2012), dan Shinta *et al.* (2023), sebagai berikut:

Kapasitas Penepungan (Kpt):
$$Kpt = (Wpk / t) \times 3600 \quad (1)$$
Rendemen Penepungan (η):
$$\eta = (Wt / Wpk) \times 100\% \quad (2)$$
Susut Massa (L):
$$L = [(Wpk - Wt) / Wpk] \times 100\% \quad (3)$$
Konsumsi Bahan Bakar (Kbb):
$$Kbb = Kb / t \quad (4)$$
Keterangan: Kpt = kapasitas penepungan (kg/jam); Wpk = berat bahan masuk (kg); t = waktu (jam); Wt = berat hasil (kg); L = susut massa (%); Kbb = konsumsi bahan bakar (liter/jam); Kb = volume bahan bakar yang dikonsumsi (liter).

5. Analisis Data

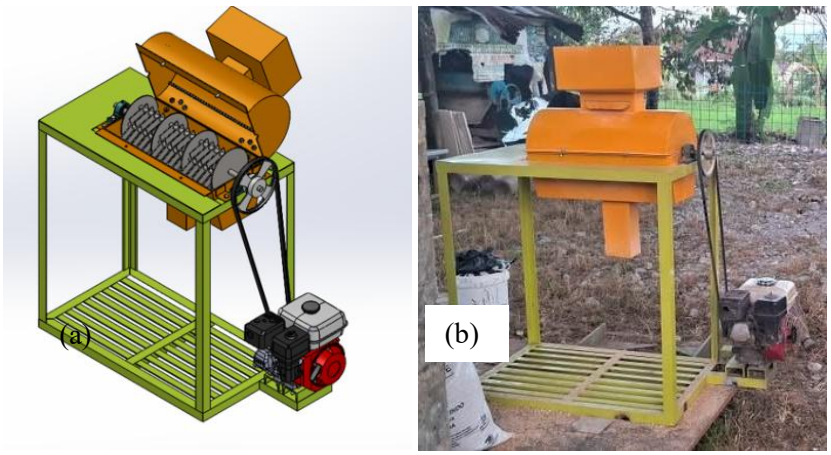
Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif terhadap seluruh parameter uji kinerja. Nilai rata-rata dari tiga ulangan dihitung untuk setiap parameter dan dibandingkan antar kondisi pengujian guna mengevaluasi pengaruh perubahan konfigurasi (jumlah mata pisau dan ukuran saringan) terhadap kinerja mesin (Kusnandar, 2014; Susila, 2016).

HASIL DAN PEMBAHASAN

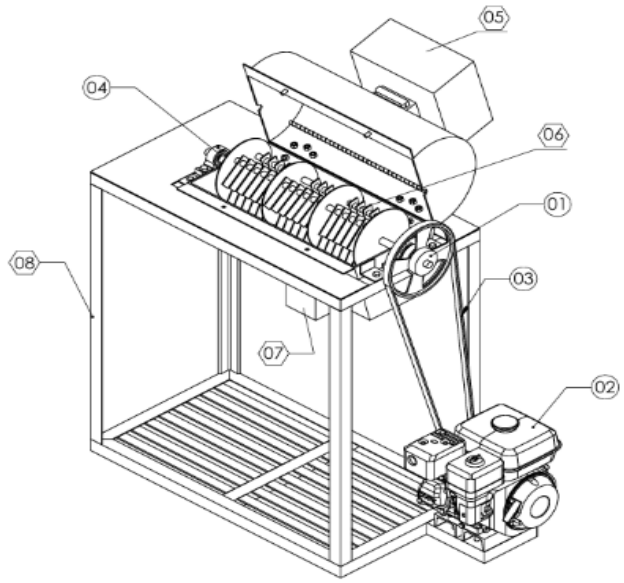
A. Desain dan Komponen Mesin

Mesin penggiling sekam padi yang dirancang memiliki dimensi panjang 900 mm, lebar 550 mm, dan tinggi 940 mm. Rancangan ini mengintegrasikan lima komponen utama: (1) *hopper in* berukuran 300×250×150 mm sebagai tempat masuk bahan; (2) *hammer* dengan poros besi berdiameter 23 mm dan panjang 800 mm; (3) saringan berlubang yang dipasang di dasar ruang tumbuk; (4) *hopper out* berukuran 100×150 mm sebagai saluran keluar produk; dan (5) rangka utama dari besi siku 40×40×4 mm yang menopang seluruh komponen. Sistem transmisi menggunakan *pulley* berdiameter 8 inci dan *v-belt* tipe A79 untuk meneruskan daya dari motor Honda GX 160.

Hasil rancangan mesin secara keseluruhan ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2, yang memperlihatkan desain 3D hasil pemodelan SolidWorks, bagian-bagian komponen utama mesin, serta realisasi fisik mesin yang telah difabrikasi.



Gambar 1. (a) Desain dan (b) Realisasi Mesin Penggiling Sekam Padi Metode Hammer Mill



Keterangan komponen alat:
1. *Pulley* 8 inch
2. Motor penggerak Honda GX 160 (5,5 HP)
3. *V-belt* A79
4. *Pillow Block*
5. *Hopper in* (saluran masuk bahan)
6. Hammer/mata pisau (susunan zig-zag)
7. *Hopper out* (saluran keluar produk 100×150 mm)
8. Rangka utama (besi siku 40×40×4 mm)

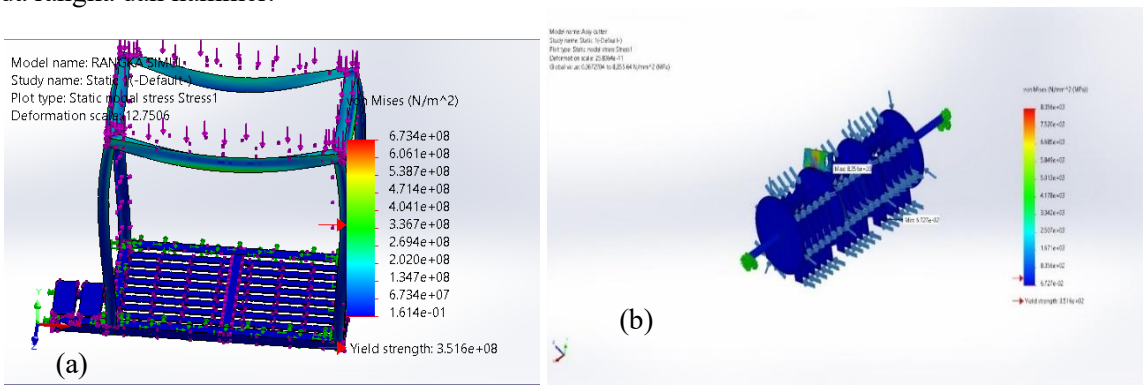
Gambar 2. Bagian-bagian mesin Penggiling Sekam Padi Metode Hammer Mill

B. Hasil Simulasi Struktural

1. Stress Analysis

Simulasi analisis tegangan statis berbasis FEA pada komponen rangka menunjukkan nilai tegangan *Von Mises* maksimum sebesar 673 MPa, yang melebihi batas luluh material besi siku yang sebesar 351,6 MPa. Distribusi tegangan tertinggi teridentifikasi pada bagian atas rangka dan titik-titik sambungan las, sebagaimana ditunjukkan oleh gradasi warna merah pada peta tegangan. Kondisi ini mengindikasikan potensi deformasi plastis apabila mesin dioperasikan pada beban penuh, sehingga diperlukan penguatan berupa penambahan penyangga atau perbesaran dimensi penampang pada zona kritis (Andriani *et al.*, 2021).

Sebaliknya, komponen *hammer* menunjukkan distribusi tegangan yang jauh lebih aman. Nilai tegangan maksimum pada komponen ini hanya mencapai 83,26 MPa, yang masih sangat jauh di bawah batas leleh material baja paduan sebesar 351,5 MPa. Konsentrasi tegangan terbesar ditemukan di sekitar lubang pengikat dan ujung bilah yang berkontak langsung dengan sekam, namun tidak melampaui ambang kritis. Dengan demikian, komponen *hammer* dinyatakan aman secara struktural dalam kondisi operasi yang telah disimulasikan. Perbandingan distribusi tegangan pada kedua komponen secara visual disajikan pada Gambar 3, yang memperlihatkan peta kontur tegangan Von Mises hasil simulasi FEA pada rangka dan hammer.



Gambar 3. Hasil Stress Analysis: (a) Rangka; (b) Hammer

2. Strain Analysis

Analisis regangan pada rangka menghasilkan nilai regangan bervariasi antara $4{,}5\times10^{-4}$ hingga lebih dari $1{,}0\times10^{-3}$, yang masih berada dalam batas elastisitas material baja. Kondisi ini menunjukkan bahwa sekalipun terjadi deformasi saat pembebanan, struktur masih mampu kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Meskipun demikian, konsentrasi regangan pada area sambungan perlu

diantisipasi melalui perkuatan desain (Shokrani *et al.*, 2012). Pada komponen *hammer*, nilai regangan maksimum tercatat sebesar 1,82%, dengan distribusi terbesar di sekitar bilah pemukul. Nilai ini masih dalam kategori aman dan tidak mengindikasikan deformasi permanen, sehingga komponen dapat dioperasikan sesuai kondisi yang telah dianalisis.

C. Proses Optimasi Mesin

Proses optimasi dilakukan melalui tiga iterasi uji coba sebelum pengujian kinerja final. Pada uji coba pertama, mesin dioperasikan menggunakan konfigurasi awal dengan 36 mata pisau *hammer* berjarak 54 mm dan saringan berukuran 4 mm. Hasil menunjukkan bahwa produk gilingan masih terlalu kasar dan belum memenuhi standar kehalusan yang diinginkan untuk dedak ternak. Ukuran lubang saringan diidentifikasi sebagai faktor pembatas utama, karena saringan menentukan batas maksimum partikel yang dapat lolos ke *hopper out* (Zhang *et al.*, 2017).

Pada uji coba kedua, saringan diganti menjadi ukuran lubang 2 mm. Kehalusan produk meningkat, namun masih belum optimal. Analisis lebih lanjut mengarahkan pada penambahan jumlah mata pisau sebagai solusi berikutnya, berdasarkan prinsip bahwa semakin rapat jarak antar pisau dan semakin banyak bilah aktif, intensitas tumbukan per satuan waktu meningkat, yang berimplikasi pada kehalusan partikel yang lebih tinggi (Kismanti dan Nurdin, 2023; Hamarung dan Jasman, 2019). Jumlah mata pisau ditingkatkan dari 36 menjadi 67 buah, dengan jarak antar pisau dipersempit dari 54 mm menjadi 25 mm, dan disusun dalam pola *zig-zag* pada empat sisi poros untuk distribusi tumbukan yang lebih merata.

Pada uji coba ketiga, kombinasi saringan 2 mm dan 67 mata pisau berhasil menghasilkan dedak dengan tingkat kehalusan yang sesuai target. Temuan ini sejalan dengan penelitian Santoso *et al.* (2021) pada mesin pencacah yang menunjukkan bahwa modifikasi konfigurasi bilah secara langsung meningkatkan kapasitas dan efisiensi kerja mesin. Prinsip serupa dilaporkan oleh Arfiyanto (2012) yang menyatakan bahwa berkurangnya beban putar akibat optimasi komponen gerak berdampak positif terhadap kecepatan rotasi dan kapasitas olah alat. Perubahan konfigurasi hammer dan saringan pada setiap tahap iterasi optimasi ditampilkan secara visual pada Gambar 4, yang merekam evolusi desain dari konfigurasi awal (36 pisau, saringan 4 mm) hingga konfigurasi optimal (67 pisau susunan zig-zag, saringan 2 mm).



Gambar 4. Evolusi Konfigurasi Hammer dan Saringan Selama Proses Optimasi

D. Hasil Uji Kinerja

Pengujian kinerja final dilakukan dalam tiga ulangan pada konfigurasi optimal (67 mata pisau, saringan 2 mm). Tabel 1 merangkum data hasil pengujian mentah, sedangkan Tabel 2 menyajikan nilai-nilai parameter kinerja yang dihitung.

Tabel 1. Data Mentah Hasil Pengujian Mesin Penggiling Sekam Padi

Parameter	Ulangan 1	Ulangan 2	Ulangan 3	Rata-rata
Bahan masuk (kg)	1	1	1	1
Produk hasil gilingan (kg)	0,865	0,575	0,625	0,688
Waktu penggilingan (menit)	18,030	20,070	25,000	21,030
Konsumsi bahan bakar (ml)	350	400	300	350
Putaran mesin (RPM)	3000	3000	3000	3000
Sekam sisa dalam ruang giling (kg)	0,115	0,350	0,310	0,258

Tabel 2. Parameter Kinerja Mesin Penggiling Sekam Padi

Ulangan	Kpt (kg/jam)	η (%)	L (%)	Kbb (liter/jam)
1	3,33	86,5	13,5	1,1
2	3,00	57,5	42,5	1,3
3	2,40	62,5	37,5	0,7
Rata-rata	2,93	68,8	31,1	1,0

1. Kapasitas Penepungan

Rata-rata kapasitas penepungan yang diperoleh sebesar 2,93 kg/jam, dengan nilai tertinggi pada ulangan pertama (3,33 kg/jam) dan terendah pada ulangan ketiga (2,40 kg/jam). Meskipun jumlah bahan masuk dan putaran mesin dijaga konstan pada setiap ulangan (masing-masing 1 kg dan 3.000 rpm), variasi kapasitas antar ulangan ini dapat dijelaskan oleh beberapa faktor teknis. Pertama, perbedaan durasi penggilingan antar ulangan (18,03–25,00 menit) mencerminkan variasi tingkat kepadatan bahan saat pemasukan ke hopper in; sekam yang dimasukkan dengan kepadatan lebih tinggi cenderung memperlambat aliran material dan memperpanjang durasi proses. Kedua, mekanisme feeding yang dilakukan secara manual menyebabkan laju umpan tidak seragam antar ulangan, sehingga intensitas beban impak pada hammer berbeda-beda meskipun putaran mesin sama. Ketiga, akumulasi panas pada komponen rotasi seiring berjalannya durasi operasi dapat menurunkan efisiensi mekanis secara bertahap, yang ditunjukkan oleh durasi terpanjang dan kapasitas terendah pada ulangan ketiga (Santoso dan Egra, 2018). Dengan demikian, variasi hasil yang diperoleh bukan disebabkan oleh perubahan kondisi mesin, melainkan oleh sifat fisik bahan dan konsistensi perlakuan selama pengujian. Perbedaan kualitas produk sebelum dan sesudah proses optimasi pisau secara visual dapat diamati pada Gambar 4, yang menunjukkan perbandingan hasil gilingan dari konfigurasi awal dan konfigurasi optimal.



Gambar 4. (a) Hasil sebelum dioptimalisasi dan (b) setelah optimalisasi pisau

Hasil ini lebih rendah dibandingkan kapasitas mesin *hammer mill* komersial skala kecil yang umumnya berada pada kisaran 5–15 kg/jam (Sutejo *et al.*, 2023). Namun, mempertimbangkan bahwa mesin ini merupakan prototipe pertama dengan motor berkapasitas 5,5 HP dan dimensi yang relatif kompak, kapasitas yang diperoleh masih dapat diterima untuk skala usaha mikro dan kecil (Baidilah *et al.*, 2021). Peningkatan kapasitas dimungkinkan melalui optimasi lebih lanjut, antara lain dengan

penambahan daya motor penggerak atau peningkatan diameter *pulley* untuk memperbesar rasio transmisi (Nugroho *et al.*, 2021).

2. Rendemen Penepungan

Nilai rendemen penepungan rata-rata sebesar 68,8% menunjukkan bahwa sekitar 31,2% bahan masuk tidak berhasil keluar sebagai produk melalui saringan. Variasi rendemen antar ulangan cukup signifikan, yaitu 86,5% pada ulangan pertama, 57,5% pada ulangan kedua, dan 62,5% pada ulangan ketiga. Meskipun bahan masuk dan putaran mesin sama pada setiap ulangan, perbedaan ini disebabkan oleh variasi massa sekam yang tersisa di dalam ruang giling (0,115 kg; 0,350 kg; dan 0,310 kg). Retensi bahan yang lebih tinggi pada ulangan kedua dan ketiga dapat dikaitkan dengan kondisi ruang giling yang sudah mengalami pemanasan (warm-up effect) dan akumulasi partikel pada dinding chamber, sehingga partikel halus lebih mudah menempel dan sulit lolos melalui saringan 2 mm. Selain itu, variasi kepadatan bahan saat dimasukkan ke hopper turut mempengaruhi distribusi partikel di dalam ruang tumbuk. Sebagian besar massa yang hilang teridentifikasi berada di dalam ruang giling (rata-rata 0,258 kg per ulangan) dalam bentuk partikel yang belum cukup halus untuk melewati lubang saringan 2 mm, atau menempel pada dinding ruang tumbuk. Sebagaimana dinyatakan oleh Zhang *et al.* (2017), rendemen yang rendah merupakan indikator dari banyaknya bahan yang tertahan di dalam alat, dan berbanding terbalik dengan efisiensi pemisahan. Nilai rendemen yang diperoleh pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan mesin pencacah yang dilaporkan Santoso *et al.* (2021) yang mencapai 91,4–96,5%, namun hal ini dapat dijelaskan oleh perbedaan sifat bahan, di mana sekam padi memiliki struktur silika yang jauh lebih keras dan abrasif dibandingkan rumput.

3. Susut Massa Penepungan

Rata-rata susut massa sebesar 31,1% merupakan nilai komplementer dari rendemen penepungan. Variasi susut massa antar ulangan cukup besar, yaitu 13,5% pada ulangan pertama, 42,5% pada ulangan kedua, dan 37,5% pada ulangan ketiga. Pola variasi ini berbanding terbalik dengan nilai rendemen, sehingga faktor penyebabnya serupa: retensi bahan di dalam ruang giling yang lebih tinggi pada ulangan kedua dan ketiga. Secara mekanis, susut massa yang lebih besar pada ulangan kedua dan ketiga dapat dikaitkan dengan kondisi permukaan dinding chamber dan saringan yang mulai terlapisi partikel halus sekam, sehingga meningkatkan adhesi dan menghambat pengeluaran produk. Susut massa yang cukup tinggi ini perlu menjadi perhatian dalam pengembangan mesin selanjutnya. Shinta *et al.* (2023) menyatakan bahwa susut massa pada penepungan dipengaruhi oleh kebocoran pada sambungan hopper, akumulasi bahan di ruang giling, dan sifat higroskopis bahan yang berpengaruh terhadap perubahan massa. Solusi teknis yang dapat diterapkan meliputi penambahan penggosok (impeller) di dalam ruang tumbuk untuk memfasilitasi pengeluaran partikel halus, serta penyempurnaan sistem penutup dan sambungan ruang penggilingan untuk mengurangi kebocoran.

4. Konsumsi Bahan Bakar

Rata-rata konsumsi bahan bakar sebesar 1,0 liter/jam. Variasi konsumsi antar ulangan cukup mencolok, yaitu 1,1 liter/jam pada ulangan pertama, 1,3 liter/jam pada ulangan kedua, dan 0,7 liter/jam pada ulangan ketiga. Meskipun putaran mesin dijaga pada 3.000 rpm dan bahan masuk sama, perbedaan ini dapat dijelaskan oleh variasi durasi operasi dan pola pembebanan mesin. Konsumsi bahan bakar lebih tinggi pada ulangan kedua (durasi 20,07 menit) dibandingkan ulangan pertama (18,03 menit) karena mesin beroperasi lebih lama. Sebaliknya, ulangan ketiga memiliki durasi terpanjang (25,00 menit) namun konsumsi bahan bakar per satuan waktu terendah (0,7 liter/jam), yang mengindikasikan bahwa pada kondisi ini motor beroperasi pada beban yang lebih ringan akibat akumulasi panas yang menurunkan gesekan internal. Variasi konsumsi antara ulangan (0,7–1,3 liter/jam) berkorelasi dengan perbedaan durasi operasi, yang mengindikasikan bahwa konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh beban kerja mesin. Hasil ini sesuai dengan spesifikasi motor Honda GX 160 yang dalam kondisi beban parsial mengkonsumsi bahan bakar sekitar 1,0–1,5 liter/jam. Optimasi konsumsi bahan bakar dapat dicapai dengan memastikan input bahan yang berkelanjutan (*continuous feeding*) agar motor beroperasi pada kondisi beban optimal tanpa lonjakan beban yang tidak perlu (Susila, 2016).

E. Perbandingan dengan Penelitian Terkait

Mesin yang dikembangkan dalam penelitian ini menunjukkan kinerja yang sebanding dengan beberapa studi perancangan mesin penggiling dan pencacah skala kecil yang telah dipublikasikan. Dibandingkan dengan mesin pencacah limbah pertanian yang dikaji oleh Santoso *et al.* (2021), kapasitas mesin *hammer mill* sekam padi pada penelitian ini memang lebih rendah (2,93 vs 16,35 kg/jam). Namun, perbedaan ini dapat dijelaskan oleh perbedaan fundamental pada sifat fisik bahan: sekam padi jauh lebih keras dan abrasif dibandingkan rumput sebagai akibat kandungan silika yang tinggi (Cengristitama dan Insan, 2020), sehingga membutuhkan energi tumbukan yang lebih besar per satuan massa.

Studi oleh Sutejo *et al.* (2023) pada mesin penepung palu untuk tanaman hotong melaporkan efisiensi antara 70–85%, yang lebih tinggi dari penelitian ini (68,8%). Kesenjangan ini mengarahkan pada perlunya peningkatan desain ruang tumbuk dan sistem saringan agar bahan yang tersisa di dalam mesin dapat diminimasi. Kismanti dan Nurdin (2023) juga melaporkan bahwa variasi dimensi *pulley* secara signifikan memengaruhi kapasitas penepungan pada mesin tipe *disc mill*, yang mengimplikasikan bahwa eksplorasi rasio transmisi yang lebih optimal berpotensi meningkatkan kinerja mesin yang dikembangkan dalam penelitian ini.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancang bangun dan uji kinerja mesin penggiling sekam padi metode hammer mill, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Mesin penggiling sekam padi berhasil dirancang menggunakan SolidWorks dengan dimensi 900×550×940 mm, mengintegrasikan hopper in, hammer 67 mata pisau susunan zig-zag, saringan 2 mm, hopper out, dan rangka besi siku yang digerakkan motor Honda GX 160. Simulasi struktural mengkonfirmasi komponen hammer aman dari risiko kegagalan dengan tegangan maksimum 83,26 MPa, jauh di bawah batas luluh 351,5 MPa.
2. Kombinasi optimal yang menghasilkan dedak dengan kehalusan memadai adalah penggunaan saringan 2 mm dan 67 mata pisau dengan jarak 25 mm susunan zig-zag.
3. Kinerja mesin pada konfigurasi optimal menghasilkan kapasitas penepungan rata-rata 2,93 kg/jam, rendemen penepungan 68,8%, susut massa 31,1%, dan konsumsi bahan bakar 1,0 liter/jam, sehingga layak diaplikasikan pada skala usaha mikro dan kecil untuk produksi pakan ternak berbasis sekam padi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI) atas dukungan fasilitas dan sumber daya penelitian, serta kepada CV. Ultra Tanggap Konstiti, Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, atas ketersediaan tempat dan dukungan teknis selama proses manufaktur dan pengujian mesin berlangsung.

DAFTAR PUSTAKA

Andriani, A., Syahputra, T., & Nugroho, B. (2021). Rancang Bangun Mesin Penggiling Berbasis Simulasi CAD. Jurnal Teknologi Pertanian Terapan, 5(2), 45–53. https://doi.org/10.

Arfiyanto, M. (2012). Perancangan Mesin Pencacah Rumput Pakan Ternak [Proyek Akhir]. Universitas Negeri Yogyakarta.

Baidilah, A., Kardiman, & Suci, F. C. (2021). Rancang Bangun Mesin Penggiling Sekam Padi Menjadi Bahan Pakan Ternak (Dedak). Jurnal Teknik Mesin, 9(1), 22–30.

Bhakti, C. P., Ghafur, A. L., Setiawan, R. A., & Widodo, A. (2019). Pelatihan dan Pemanfaatan Sekam Padi Menjadi Briket Bioarang di Desa Kemranggon. Jurnal Pemberdayaan: Publikasi Hasil Pengabdian kepada Masyarakat, 3(2), 115–122.

Cengristitama & Insan, V. D. (2020). Pemanfaatan Limbah Sekam Padi dan Minyak Jelantah untuk Pembuatan Bioplastik. TEDC, 14(1), 15–22.

Ghatge, D. A., Birje, C., & Yadav, P. S. (2017). Use of Shearing Operation for MS Bar Cutting by Pneumatic Bar Cutting Machine. Young Engineers Journal, 11(11.3), 10–18.

Hamarung, M. A. & Jasman, J. (2019). Pengaruh Kemiringan dan Jumlah Pisau Pencacah terhadap Kinerja Mesin Pencacah Rumput untuk Kompos. Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material, 3(2), 53–59.

Junaidin, Syarief, A. M., & Soplanit, R. (2021). Uji Kinerja Mesin Penepung Tipe Hammer Mill pada Berbagai Komoditas. Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, 9(1), 12–20.

Kismanti, S. T. & Nurdin, M. F. (2023). Rancang Bangun Mesin Penepung Tipe Disc Mill FFC-15 pada Biji Jagung. Jurnal Bearings, 5(1), 74–82.

Kusnandar, V. (2014). Prinsip Dasar Evaluasi Kinerja Mesin Pertanian. Penebar Swadaya.

Nugroho, A. A., Syarifudin, & Usman, M. K. (2021). Pengaruh Variasi Dimensi Puli terhadap Kapasitas Penepungan Mesin Disc Mill Tipe FFC-15. Jurnal Politeknik Harapan Bersama, 10(2), 1–8.

Priyadi, R., Sunarya, Y., Juhaeni, A. H., & Azhari, S. C. (2023). Pelatihan Pengolahan Sekam Padi Menjadi Dedak serta Fermentasi Menggunakan M-Bio. JPAI: Jurnal Pertanian dan Agribisnis Indonesia, 5(1), 24–31.

Santoso, D., Waris, A., Apriliansyah, Sirait, S., & Murtilaksono, A. (2021). Desain dan Uji Kinerja Mata Pisau Modifikasi pada Mesin Pencacah Limbah Pertanian. Jurnal Teknologi Pertanian Andalas, 25(2), 205–214. https://doi.org/10.25077/jpa.25.2.205-214.2021

Santoso, D. & Egra, S. (2018). Pengaruh Metode Pengeringan terhadap Karakteristik Biji Kopi Arabika dan Robusta. Rona Teknik Pertanian, 11(2), 50–56.

Shinta, R. A., Purwantana, B., & Haryanto, T. A. P. (2023). Uji Kinerja Mesin Penepung Sekam Padi Tipe Hammer Mill Skala Kecil. Agritech: Jurnal Teknologi Pertanian, 43(1), 41–50. https://doi.org/10.22146/agritech.xxxxx

Shokrani, A., Dhokia, V., & Newman, S. T. (2012). Environmentally Conscious Machining of Difficult-to-Machine Materials with Regard to Cutting Fluids. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 57, 83–101. https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2012.02.002

Siregar, D. (2020). Sistem Manufaktur dan Manajemen Produksi (Edisi Revisi). Politeknik LP3I.

Sugandi, W. K., Romdhani, A., & Radite, P. A. S. (2012). Modifikasi dan Uji Teknis Mesin Penepung Tipe Hammer Mill. Jurnal Keteknikan Pertanian, 26(2), 135–142.

Suudi, A., Tanti, N., Akmal, J., Hasymi, Z., & Budiyanto, P. (2019). Perancangan Mesin Penghancur Sekam Padi dengan Poros Penggerak Horizontal. Jurnal Teknik Mesin Indonesia, 14(1), 25–31.

Susila, I. K. (2016). Evaluasi dan Verifikasi Kinerja Mesin Pertanian: Buku Ajar Mekanisasi Pertanian. Universitas Udayana.

Sutejo, A., Kurniasari, R. S., & Wicaksono, D. D. (2023). Uji Performansi Mesin Penepung Tipe Palu (Hammer Mill) untuk Penepung Hotong (Setaria italica L.). Journal of Agricultural Biosystem Engineering, 4(2), 254–261.

Zhang, Z., He, J., Li, H., Wang, Q., Ju, J., & Yan, X. (2017). Design and Experiment on Straw Chopper cum Spreader with Adjustable Spreading Device. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 48(9), 72–80.