

I. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil rancangan mesin

Hasil rancangan mesin perontok bunga jantan kelapa sawit menghasilkan sebuah mesin dengan sistem kerja utama berupa rotasi *clamp hose* yang bekerja didalam *box perontok* yang menggunakan motor listrik DC 24 V 2.750 rpm sebagai sumber penggerak dan melalui transmisi puli dan *v-belt* untuk merontokkan serbuk sari dari tandan bunga jantan kelapa sawit. Mesin dirancang secara ergonomis agar sesuai dengan antropometri rata-rata masyarakat Indonesia, sehingga operator dapat bekerja dalam posisi nyaman dan aman. Mesin ini dirancang dengan ukuran tinggi rangka utama 120 cm, lebar siku atas 50 cm, dan lebar siku bawah 80 cm. Dimensi ini ditentukan berdasarkan acuan antropometri masyarakat Indonesia, terutama tinggi siku berdiri (95-110 cm) dan jangkauan tangan ke depan (65-75 cm). Dengan tinggi rangka 120 cm, operator dapat memasukkan tandan bunga tanpa membungkuk, sehingga postur kerja tetap netral dan mengurangi risiko kelelahan. Lebar siku atas 50 cm sesuai dengan lebar bahu pengguna sehingga pergerakan di sisi kiri dan kanan tetap leluasa. Untuk hasil rancangan pada penelitian ini dapat dilihat dan diamati pada gambar 17.



Gambar 1. Hasil Rancangan

Adapun spesifikasi hasil rancangan mesin perontok bunga jantan kelapa sawit disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Rancangan Mesin Perontok Bunga Jantan Kelapa Sawit

Komponen	Spesifikasi Teknis	Bahan
Motor listrik DC	24 V, 2.750 rpm, 250 watt	
Sumber Penggerak	Baterai Nd Ns 40 (32B20R), 12 V 38 Ah	Lead-Acid
Sitem Transmisi	Puli 2,5 inci (motor) dan 9 inci (poros beban) dengan v-belt tipe A	Baja & karet sintetis
Clamp Hose	Ø 10 cm, tinggi 15 cm, poros Ø 12 mm	Besi galvanis
Rangka Utama	Tinggi 120 cm, lebar atas 50 cm, lebar bawah 80 cm	Besi galvanis
Box Perontok	Plat besi 5 mm, 30 x 50 cm	Baja karbon
Spring Steel	Pegas daun AISI 1075, panjang 5 cm	Baja pegas
Kapasitas Operasi	± 1-3,5 kg tandan jantan per proses	Bunga jantan kelapa sawit
Rpm Mesin Perontok	Motoran (Beban) 656,4 rpm dan (Tanpa Beban) 794,8 rpm. Clamp hose (Beban) 180,6 rpm dan (Tanpa Beban) 220,7 rpm	-

Rancangan ini menggabungkan prinsip rotasi dan gaya gesek untuk merontokkan serbuk sari dari tandan bunga jantan kelapa sawit. *Clamp hose* berputar searah gaya torsi yang ditransmisikan dari motor listrik DC. Puli 2,5 inci dan 9 inci digunakan untuk meningkatkan torsi dan menurunkan kecepatan putaran, agar proses perontokkan berjalan efektif tanpa merusak serbuk sari.

4.1.1 Rangka Utama

Rangka utama merupakan penopang seluruh komponen mesin, dirancang dengan tinggi 120 cm, lebar atas 50 cm, dan lebar

bawah 80 cm. Bahan yang digunakan adalah besi *galvanis* karena memiliki kekuatan mekanis yang baik dan kuat. Dimensi ini juga disesuaikan dengan data antropometri masyarakat Indonesia sehingga nyaman dioperasikan oleh pengguna. Untuk rangka utama pada perancangan ini dapat dilihat pada gambar 18



Gambar 2. Rangka Utama

4.1.2 Motor listrik DC dan Baterai

Motor listrik DC berfungsi sebagai penggerak utama mesin yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik berupa gerak rotasi. Motor yang digunakan memiliki spesifikasi motor DC 24 V, 2.750 rpm, dan daya 250 watt. Pemilihan motor dengan spesifikasi ini bertujuan agar proses perontokkan berjalan stabil tanpa merusak bunga jantan. Motor jenis ini juga hemat energi dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan emisi gas buang. Untuk pemilihan baterai digunakan baterai NS 40 (32B20R) dengan spesifikasi 12 V 18 Ah. Motor listrik dan baterai yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 19 dan 20



Gambar 3. Motor listrik DC



Gambar 4. Baterai

4.1.3 Box Perontok

Box perontok berfungsi sebagai ruang proses perontokan, tempat bunga jantan dipisahkan dari tandannya melalui gaya gesek dan benturan di dalam box perontok ini. Box dibuat dari plat besi tebal 5 mm berukuran 50×30 cm, sehingga cukup kuat menahan gaya tumbukan dari bunga jantan tanpa mengalami deformasi. Bahan baja karbon dipilih karena murah, mudah dibentuk, dan memiliki kekakuan yang baik. Hasil rancangan box perontok dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 5. *Box Perontok*

4.1.4 *Clamp Hose*

Komponen ini berfungsi sebagai penjepit dan pemegang tandan bunga jantan selama proses perontokan. *Clamp hose* berbentuk tabung dengan diameter 10 cm dan tinggi 12 cm, terhubung ke poros berdiameter 12 mm. Bahan besi *galvanis* digunakan karena kuat terhadap tekanan mekanis dan tahan terhadap korosi akibat kontak dengan serbuk bunga dan udara lembap. Hasil rancangan *clamp hose* pada penelitian ini dapat diamati dan dilihat pada gambar 22.



Gambar 6. *Clamp Hose*

4.1.5 *Puli Dan V-Belt*

Komponen puli dan *v-belt* merupakan bagian utama dari sistem transmisi daya pada mesin perontok bunga jantan kelapa sawit. Sistem ini berfungsi untuk mentransfer energi mekanik dari motor listrik DC ke poros perontok (*clamp hose*) dengan efisiensi tinggi serta menjaga stabilitas putaran selama proses kerja.

Dalam rancangan ini digunakan dua buah puli dengan ukuran yang berbeda, yaitu puli berdiameter 2,5 inci yang terpasang pada poros motor listrik DC sebagai puli penggerak (*driver pulley*), dan puli berdiameter 9 inci yang terpasang pada poros *clamp hose* sebagai puli yang digerakkan (*driven pulley*). Kedua puli tersebut dihubungkan oleh sabuk *v-belt* tipe A yang terbuat dari bahan karet sintetis dan serat penguat (*reinforced rubber*). Penggunaan *v-belt* tipe A dipilih karena memiliki kemampuan transmisi daya yang baik melalui gesekan tinggi sehingga meminimalkan terjadinya selip. Tipe ini sesuai untuk beban kerja menengah, termasuk penggunaan pada motor listrik DC 2-5 watt, serta bersifat fleksibel dan mudah diganti dibandingkan mekanisme transmisi seperti rantai atau *gearbox* (Nugroho, 2022). Selain itu, menurut Ashariyanto *et al.*, (2023), *v-belt* tipe A menghasilkan getaran dan kebisingan yang lebih rendah, sehingga meningkatkan kenyamanan operator. Material karet sintetis dengan lapisan serat nilon pada *v-belt* juga membuat tahan terhadap panas dan gesekan selama pengoperasian.

Perbedaan ukuran puli menciptakan rasio transmisi 2,5 : 9, artinya kecepatan putar dari motor listrik DC diturunkan tiga kali pada poros *clamp hose*. Rasio ini sengaja dirancang untuk menghasilkan torsi yang lebih besar karena proses perontokkan bunga jantan membutuhkan gaya putar tinggi untuk melepaskan bunga dari tangkainya, bukan kecepatan tinggi. Hal ini sejalan dengan pendapat Bagus *et al.*, (2022) untuk meningkatkan torsi poros dapat dilakukan reduksi putaran yang sampai pada poros dari motor penggerak. Selain itu, sistem transmisi dengan puli dan *v-belt* juga memberikan kelebihan pada aspek keamanan dan perawatan, karena ketika terjadi kelebihan beban (*overload*), sabuk akan slip secara alami sehingga mencegah kerusakan pada motor atau poros (Muhammad *et al.*, 2024). Desain sederhana ini juga memungkinkan operator mengganti sabuk dengan mudah di lapangan tanpa memerlukan alat khusus. Untuk puli dan *v-belt* pada penelitian ini dapat diamati dan dilihat pada gambar 23.



Gambar 7. Puli dan *V-Belt*

4.1.6 *Spring Steel*

Spring steel digunakan sebagai peredam getaran dan penopang *box* perontok. Komponen ini berfungsi menyerap energi tumbukan yang dihasilkan saat proses perontokkan sehingga getaran mesin lebih stabil. Bahan baja pegas dipilih karena memiliki sifat elastisitas dan daya tahan terhadap beban berulang yang tinggi.

Spring steel yang digunakan yaitu sebanyak 4 buah pada rancangan mesin perontok ini, dengan material baja yang kuat dan tahan lama, dengan panjang 5 cm. *Spring steel* ini diletakkan diantara *base* dan rangka utama yang dimana akan dapat meredam getaran dan membuat gerakan ayun yang dapat meningkatkan efisiensi pada saat proses perontokkan. Untuk posisi dan rancangan *spring steel* yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 24.



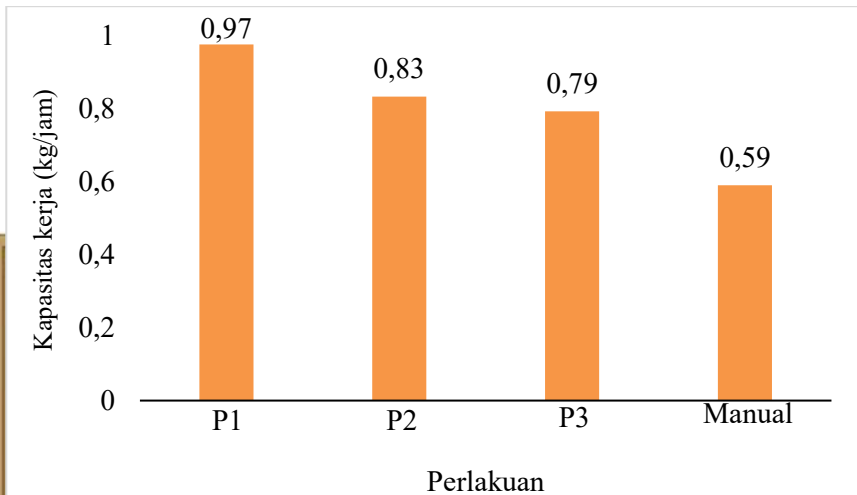
Gambar 8. *Spring Steel*

4.2 Analisis Teknis

Pengujian mesin perontok bunga jantan kelapa sawit dilakukan sebanyak tiga kali ulangan dengan waktu pengujian 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Parameter yang diamati meliputi kapasitas kerja, rendemen, persentase kerusakan hasil, tingkat kebisingan, dan frekuensi putar. Pengujian mesin perontok bunga jantan kelapa sawit ini dilakukan di Kecamatan Kandis, Kabupaten Siak, Provinsi Riau. Adapun hasil pengamatan dari penelitian ini dapat dilihat pada uraian dibawah ini.

4.2.1 Kapasitas Kerja

Kapasitas kerja merupakan salah satu parameter utama untuk menilai kinerja fungsional mesin perontok bunga jantan kelapa sawit. Kapasitas kerja menunjukkan kemampuan mesin dalam merontokkan bunga jantan (tandan *anthesis*) dalam satuan waktu tertentu (kg/jam). Kapasitas kerja merupakan kemampuan maksimum yang dapat dilakukan seseorang dalam melaksanakan aktivitas kerja berdasarkan kondisi fisiologis tubuh, terutama pada pekerjaan yang melibatkan aktivitas fisik seperti mengangkat beban atau mengoperasikan mesin (Santoso, 2006). Parameter ini menggambarkan tingkat produktivitas alat dibandingkan dengan cara manual yang umumnya memiliki kapasitas lebih rendah. Selain aspek teknis, kapasitas kerja juga berhubungan dengan kompetensi dan efektivitas kerja sumber daya manusia yang mengoperasikan alat dan juga kapasitas kerja individu atau operator merupakan kemampuan seseorang dalam menggunakan potensi yang dimilikinya untuk mencapai target kerja yang diharapkan (Dwi *et al.*, 2023). Untuk hasil grafik dari kapasitas kerja (kg/jam) pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 25.



Gambar 9. Grafik Rata-rata Kapasitas Kerja Mesin

Berdasarkan grafik kapasitas kerja mesin perontok bunga jantan kelapa sawit menunjukkan perbedaan nilai yang cukup signifikan antara metode manual dan dengan menggunakan mesin perontok bunga jantan kelapa sawit. Pada metode manual, kapasitas kerja yang diperoleh hanya sebesar 0,59 kg/jam, yang menggambarkan bahwa proses perontokan secara tradisional membutuhkan waktu yang relatif lama serta sangat bergantung pada kemampuan fisik dan ketelitian operator. Aktivitas perontokan manual memerlukan tenaga yang berulang dan intens, sehingga operator cepat mengalami kelelahan dan produktivitas cenderung menurun seiring durasi kerja. Selain itu, proses manual kerap menimbulkan kehilangan sebagian bunga karena tidak seluruh bonggol dapat dirontokkan secara merata. Sementara itu, kapasitas kerja pada penggunaan mesin perontok dengan 3 perlakuan yang dilakukan memberikan peningkatan kapasitas kerja yang cukup besar dengan nilai mencapai yang 0,97 kg/jam pada perlakuan 1, perlakuan 2 dengan nilai 0,83 kg/jam dan untuk perlakuan 3 dengan nilai 0,79 kg/jam. Nilai ini hampir dua kali lebih tinggi dibandingkan metode manual, menunjukkan bahwa mesin mampu mempercepat proses perontokan dengan lebih

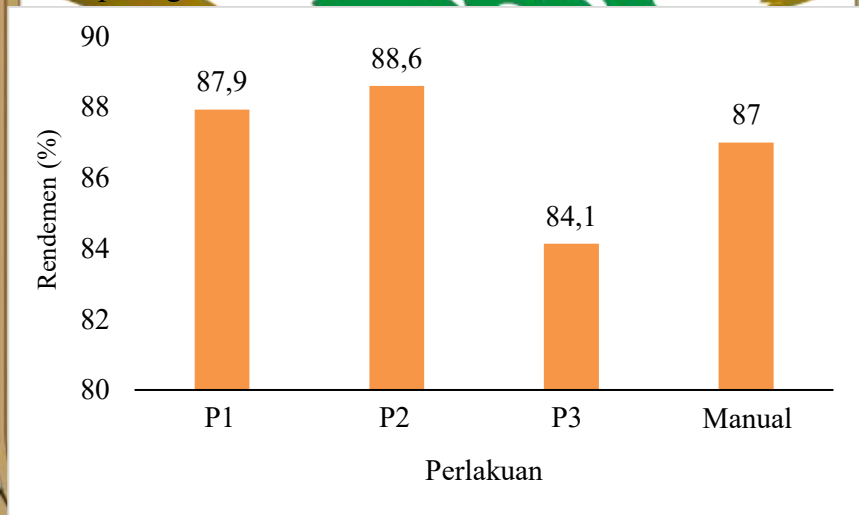
efisien. Keunggulan mesin terletak pada kestabilan putaran, mekanisme penjepit dan perontok yang bekerja secara konsisten, serta minimnya pengaruh kelelahan operator terhadap hasil kerja. Operator hanya perlu memasukkan bahan dan mengawasi proses, sehingga beban fisik menjadi lebih ringan dan produktivitas lebih terjaga. Perbedaan kapasitas kerja tersebut membuktikan bahwa penggunaan mesin perontok lebih efektif dalam meningkatkan kecepatan dan jumlah hasil perontokan dalam satuan waktu. Selain memberikan hasil yang lebih konsisten, mesin juga membantu mengurangi potensi kehilangan bunga dan meningkatkan efektivitas tenaga kerja. Dengan demikian, mesin perontok sangat direkomendasikan untuk digunakan pada skala kegiatan yang membutuhkan produktivitas lebih tinggi dan durasi kerja yang lebih panjang dibandingkan metode manual.

Berdasarkan hasil analisis statistik menggunakan uji F, diperoleh nilai $f = 2,150$ dengan nilai signifikansi $(p) = 0,198$. Karena nilai signifikansi lebih besar dari $0,05$ ($p > 0,05$), Meskipun secara numerik kapasitas kerja metode mesin menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan metode manual, hasil uji statistik menunjukkan bahwa perbedaan tersebut belum cukup kuat secara signifikan. Salah satu penyebabnya adalah variasi data yang besar pada kelompok serta jumlah sampel yang relatif sedikit. Dengan demikian, berdasarkan hasil uji statistik tersebut dapat disimpulkan bahwa perbedaan kapasitas kerja antara metode manual dan mesin tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$). Namun secara praktis di lapangan, penggunaan mesin tetap memberikan nilai kapasitas kerja yang lebih tinggi dan proses kerja yang lebih efisien. Hasil ini dapat diinterpretasikan bahwa peningkatan kapasitas kerja menggunakan mesin memang ada, tetapi data variabilitas ulangan yang besar menyebabkan pengaruh tersebut belum signifikan secara statistik pada jumlah sampel yang digunakan. Hal ini sejalan dengan pendapat Manurung & Wiraguna, (2025) penggunaan alat mekanis mampu mempercepat proses kerja dan menurunkan beban fisik operator, sehingga produktivitas meningkat secara signifikan.

Kondisi tersebut berkontribusi langsung terhadap peningkatan produktivitas secara signifikan.

4.2.2 Rendemen

Rendemen merupakan perbandingan antara berat bunga jantan yang berhasil dirontokkan terhadap berat bahan awal sebelum perontokkan, yang dinyatakan dalam persen. Nilai rendemen menunjukkan tingkat efisiensi mesin dalam merontokkan bunga jantan dari tandannya (Febrianton, 2023). Untuk grafik dari rendemen pada penelitian ini dapat diamati dan dilihat pada gambar 26.



Gambar 10. Grafik Rata-rata Rendemen

Hasil pengukuran rendemen menunjukkan bahwa metode manual menghasilkan rendemen sebesar 87%, sedangkan penggunaan mesin perontok menghasilkan rendemen sebesar 87,9% untuk perlakuan 1, perlakuan 2 dengan nilai 88,6%, dan perlakuan 3 dengan nilai 84,1%. Hasil pengukuran rendemen menunjukkan bahwa metode manual menghasilkan rendemen sebesar 87%, sedangkan penggunaan mesin perontok memberikan rendemen yang relatif sebanding, bahkan cenderung lebih tinggi pada beberapa perlakuan. Pada perlakuan 1, rendemen yang diperoleh sebesar 87,9%, meningkat menjadi 88,6% pada

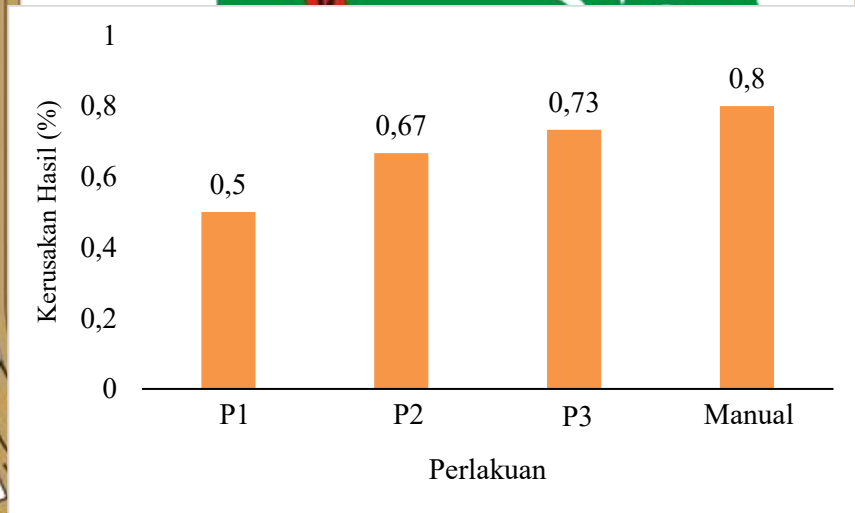
perlakuan 2, namun menurun menjadi 84,1% pada perlakuan 3. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan mesin perontok mampu mempertahankan bahkan meningkatkan rendemen dibandingkan metode manual. Peningkatan rendemen pada perlakuan 1 dan 2 diduga disebabkan oleh proses perontokan yang lebih merata dan konsisten, sehingga bunga jantan dapat terlepas secara optimal dari tangkainya dengan kehilangan hasil yang minimal. Namun, penurunan rendemen pada perlakuan 3 mengindikasikan adanya faktor operasional yang memengaruhi kinerja mesin, seperti perbedaan kondisi bahan, durasi perontokan, atau pengaturan kecepatan putar. Kondisi tersebut dapat menyebabkan sebagian bunga tidak terontok sempurna atau mengalami kehilangan selama proses berlangsung. Dengan demikian, mesin perontok dapat dikatakan mampu mempertahankan kualitas rendemen yang baik sekaligus meningkatkan efisiensi proses perontokan secara keseluruhan. Perbedaan nilai rendemen antar perlakuan dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti kecepatan putaran poros, waktu perontokkan, serta kondisi fisik bunga jantan (tingkat kekeringan dan ukuran) (Busrah, 2018). Semakin optimal kecepatan dan lama waktu perontokkan, maka gaya sentrifugal yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga serbuk bunga jantan lebih mudah terlepas dari tandan dan menghasilkan rendemen yang lebih tinggi. Namun, apabila kecepatan atau durasi perontokkan terlalu tinggi, maka sebagian bunga jantan dapat mengalami kerusakan, yang mengakibatkan penurunan rendemen seperti yang terlihat pada perlakuan ketiga (Febriantoni, 2023).

Berdasarkan uji statistik menunjukkan bahwa nilai F hitung sebesar 1,011 dengan nilai signifikansi ($Sig.$ = 0,418). Nilai signifikansi ini jauh lebih besar dari batas $\alpha = 0,05$, sehingga keputusan statistik adalah gagal menolak H_0 . Artinya, tidak terdapat perbedaan rendemen yang signifikan antara metode perontokan manual dan metode menggunakan mesin. Rendemen manual sebesar 87% dan rendemen mesin sebesar 86,9% memiliki

selisih yang sangat kecil yaitu hanya 0,1%, sehingga perbedaan tersebut tidak berdampak signifikan secara statistik maupun teknis. Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan mesin perontok mampu menghasilkan persentase rendemen yang hampir sama dengan metode manual, sehingga dari sisi kualitas *output* mesin dapat diandalkan dan tidak menurunkan hasil perontokan.

4.2.3 Persentase Kerusakan Hasil

Persentase kerusakan hasil menggambarkan seberapa besar bunga jantan atau serbuk sari yang rusak akibat tekanan mekanis selama proses perontokan (Ikada *et al.*, 2024). Nilai ini penting untuk menilai kualitas hasil dan kelayakan *pollen* untuk digunakan dalam penyerbukan buatan. Untuk grafik persentase kerusakan hasil penelitian ini dapat dilihat pada gambar 27.



Gambar 11. Grafik Rata-rata Persentase Kerusakan Hasil

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa persentase kerusakan bunga jantan kelapa sawit yang diproses menggunakan mesin perontok sebesar 0,5% pada perlakuan 1, pada perlakuan 2 didapatkan hasil 0,67% dan pada perlakuan 3 didapatkan hasil 0,73%, sedangkan kerusakan pada proses manual sebesar 0,8%. Nilai ini menunjukkan bahwa tingkat kerusakan yang terjadi pada kedua metode relatif rendah dan masih berada dalam kategori aman

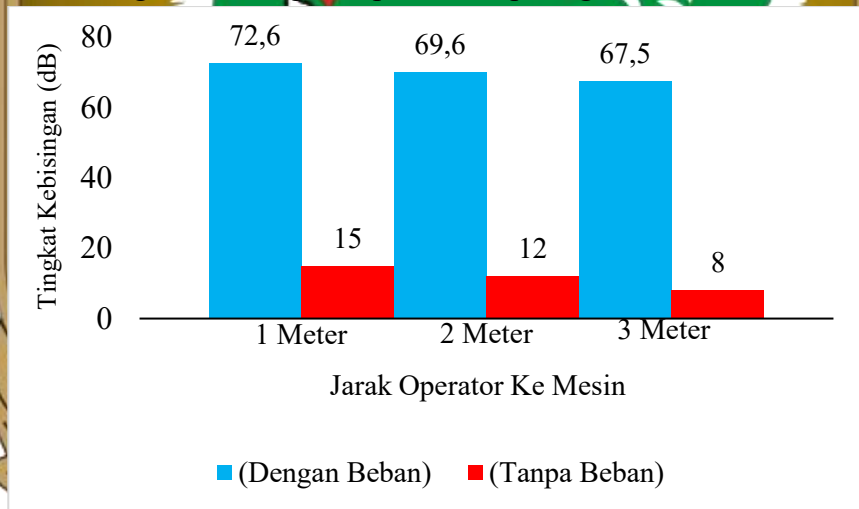
untuk proses perontokan. Persentase kerusakan yang lebih rendah pada penggunaan mesin menunjukkan bahwa rancangan mesin perontok bekerja secara lebih konsisten dan stabil dalam menjaga keutuhan bunga jantan. Mekanisme penjepit (*clamp hose*) dan kecepatan putar yang terkontrol membuat beban tarik pada bunga jantan lebih merata. Hal ini mengurangi peluang robek atau rontok berlebihan yang menyebabkan kerusakan bunga. Sebaliknya, proses manual memiliki tingkat kerusakan sedikit lebih tinggi karena sangat bergantung pada keterampilan dan konsistensi operator. Variasi gaya tarik dan tekanan pada saat perontokan manual dapat menyebabkan ketidakteraturan beban yang diterima bunga, sehingga peluang terjadinya kerusakan sedikit lebih besar. Selain itu, penggunaan mesin juga mengurangi kelelahan operator serta meningkatkan efisiensi kerja dalam skala operasional. Secara teknis, rendahnya kerusakan pada penggunaan mesin menegaskan bahwa desain mekanis mesin perontok meliputi rasio transmisi, putaran *clamp hose*, dan mekanisme perontokan sudah sesuai untuk karakteristik bunga jantan kelapa sawit. Dengan demikian, penggunaan mesin dapat dikatakan lebih efisien, stabil, dan layak diterapkan di lapangan, terutama untuk meningkatkan produktivitas tanpa mengorbankan kualitas hasil.

Berdasarkan hasil uji statistik, nilai F hitung sebesar 0,336 dengan nilai signifikansi ($\text{Sig.} = 0,727$). Nilai signifikansi tersebut lebih besar dari taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, sehingga keputusan statistik adalah gagal menolak H_0 . Artinya, tidak terdapat perbedaan kerusakan yang signifikan antara metode perontokan pada ketiga kelompok yang diuji. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa baik metode manual maupun metode mesin menghasilkan tingkat kerusakan yang relatif serupa. Walaupun secara deskriptif kerusakan dengan mesin sebesar 0,5% dengan rata-rata sedikit lebih rendah dibandingkan proses manual 0,8%, perbedaan tersebut tidak cukup besar untuk menjadi signifikan secara statistik berdasarkan uji statistik. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa penggunaan mesin perontok tidak meningkatkan persentase

kerusakan, dan bahkan cenderung lebih stabil dibandingkan metode manual. Stabilitas ini mencerminkan bahwa desain dan mekanisme mesin bekerja dengan baik dalam menjaga integritas bunga jantan selama proses perontokan.

4.2.4 Tingkat Kebisingan

Tingkat kebisingan merupakan salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kinerja dan kenyamanan penggunaan mesin perontok bunga jantan kelapa sawit. Kebisingan yang ditimbulkan mesin selama beroperasi dapat memengaruhi kenyamanan operator, efisiensi kerja, serta potensi risiko gangguan pendengaran apabila melampaui batas aman. Oleh karena itu, pengukuran tingkat kebisingan diperlukan untuk memastikan bahwa mesin dapat digunakan secara aman dalam durasi kerja yang panjang. Grafik tingkat kebisingan dapat dilihat pada gambar 28.



Gambar 12. Grafik Rata-rata Tingkat Kebisingan

Berdasarkan dari Gambar 28. Pada mesin perontok bunga jantan kelapa sawit dengan jarak 1,2, dan 3 meter dengan mesin tanpa beban dan dengan beban terlihat bahwa tingkat kebisingan mesin mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak dari sumber suara, baik pada kondisi tanpa beban maupun dengan beban. Hal ini sesuai dengan prinsip peredaman gelombang suara

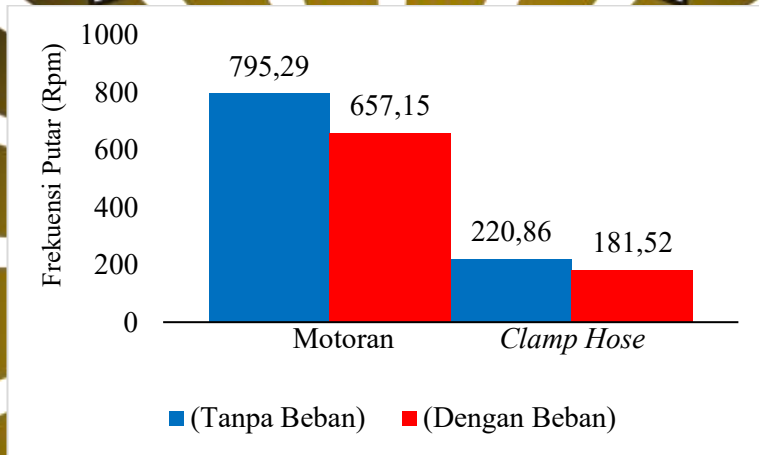
di udara, dimana intensitas bunyi akan berkurang sebanding dengan kuadrat jarak dari sumbernya (hukum *invers kuadrat*). Pada kondisi dengan beban, tingkat kebisingan tertinggi tercatat pada jarak 1 meter sebesar 72,61 dB, sedangkan pada jarak 3 meter menurun menjadi 67,5 dB. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh posisi pengukuran dari mesin, semakin kecil tingkat suara yang diterima. Sedangkan pada kondisi tanpa beban, tingkat kebisingan mesin menurun cukup signifikan menjadi 15 dB pada jarak 1 meter, dan terus berkurang hingga 8 dB pada jarak 3 meter. Nilai ini relatif rendah dibandingkan kondisi tanpa beban, yang menunjukkan bahwa pada saat mesin tidak diberi beban kerja, getaran dan putaran motor menjadi lebih stabil, sehingga suara yang dihasilkan cenderung lebih halus dan tidak berfluktuasi tajam. Secara keseluruhan, beban kerja mesin memengaruhi stabilitas suara dan tingkat kebisingan yang dihasilkan. Selain itu, Lubis (2023) menegaskan bahwa kebisingan alsintan bersifat bervariasi tergantung jarak pengukuran, dimana intensitas bunyi semakin berkurang pada jarak yang lebih jauh dari sumber suara.

Hasil pengukuran tingkat kebisingan ini menunjukkan bahwa tingkat kebisingan mesin perontok bunga jantan kelapa sawit masih berada dibawah ambang batas aman, sehingga tidak menimbulkan risiko gangguan pendengaran bagi operator. Secara teknis jarak aman operator saat mengoperasikan mesin perontok adalah lebih dari 1 meter untuk menghindari paparan langsung suara mesin. Tingkat kebisingan di bawah 85 dB(A) masih berada dalam kategori aman menurut NIOSH, sehingga tidak menimbulkan risiko gangguan pendengaran pada durasi kerja 8 jam. Hal ini juga sejalan dengan regulasi nasional Permenaker No. 5/2018 dan Kepmenaker 51/MEN/1999 yang menetapkan 85 dB sebagai Nilai Ambang Batas paparan kebisingan di lingkungan kerja (Ghina, 2023).

4.2.5 Frekuensi Putar

Frekuensi putar menggambarkan kecepatan rotasi poros perontok selama proses berlangsung. Pengukuran dilakukan

menggunakan tachometer digital pada kondisi tanpa beban dan berbeban. Pengukuran ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar mesin terhadap hasil perontokkan. Menurut Suhendra *et al.*, (2023) bahwa kecepatan putar berpengaruh terhadap kapasitas perontokkan dan persentase kerusakan hasil. Untuk grafik tingkat kebisingan pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 29.



Gambar 13. Grafik Rata-rata Frekuensi Putar

Berdasarkan Gambar 29. Terlihat bahwa frekuensi putar pada kondisi tanpa beban lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi dengan beban baik pada poros motor maupun *clamp hose*. Pada poros motor, kecepatan putar motor tanpa beban 795,29 rpm, sedangkan ketika diberi beban turun menjadi 220,86 rpm. Pada poros *clamp hose*, terjadi penurunan karena menggunakan puli 2,5 dan 9 inci dimana dengan beban menjadi 181,52 rpm dan jika tanpa beban 657,15 rpm. Penurunan frekuensi putar ini terjadi karena adanya gaya tahan (beban) dari bahan bunga jantan kelapa sawit yang harus dirontokkan. Ketika beban masuk ke *clamp hose*, sebagian energi mekanik motor digunakan untuk mengatasi gaya gesekan dan gaya inersia bunga jantan, sehingga kecepatan putar menurun. Hubungan antara putaran poros motor dan *clamp hose* juga menunjukkan kesesuaian dengan rasio transmisi puli dan v-

belt yang digunakan. Dari data yang diperoleh, kecepatan putar *clamp hose* sekitar 27-28% dari kecepatan motor, menunjukkan bahwa rasio diameter puli telah berfungsi sesuai perancangan, yaitu memperbesar torsi pada poros perontok sehingga proses perontokkan lebih efisien. Selain itu, kestabilan nilai frekuensi putar pada setiap pengulangan menunjukkan bahwa sistem transmisi bekerja dengan baik dan tidak terjadi slip berlebihan pada sabuk *v-belt*. Hal ini menandakan bahwa tegangan sabuk dan penjajaran antar puli sudah optimal, sehingga energi dari motor tersalurkan secara efisien ke poros perontok.

4.3 Analisis Ekonomi

Analisis ekonomi dilakukan untuk mengetahui tingkat kelayakan dan efisiensi penggunaan mesin perontok bunga jantan kelapa sawit dari sisi biaya dan manfaat yang dihasilkan. Tujuan utama analisis ini adalah membandingkan antara biaya pembuatan mesin dengan manfaat ekonomi yang diperoleh, baik berupa penghematan tenaga kerja maupun peningkatan kapasitas kerja. Nilai analisis ekonomi pada mesin perontok bunga jantan kelapa sawit dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Analisis Ekonomi Mesin Perontok Bunga Jantan Kelapa Sawit

Parameter	Satuan	P1	P2	P3
Biaya Pokok	Rp/kg	18.135	16.955	19.994
Biaya Tetap	Rp/tahun	762.900	762.900	762.900
Biaya Tidak Tetap	Rp/jam	13.053	13.053	13.053
<i>Break Even Point</i>	Kg/tahun	296	276	326
Kapasitas Kerja Mesin	Kg/jam	0,86	0,92	0,78

4.3.1 Biaya Pokok

Biaya pokok merupakan seluruh biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan satu satuan produk, dalam hal ini satu kilogram bunga jantan kelapa sawit yang berhasil dirontokkan.

Biaya pokok pada mesin perontok bunga jantan kelapa sawit terdiri atas biaya tetap dan biaya tidak tetap. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa nilai biaya pokok berbeda pada setiap perlakuan, meskipun mesin dan komponen biaya yang digunakan sama. Perbedaan nilai biaya pokok antar perlakuan disebabkan oleh perbedaan kapasitas kerja mesin. Perlakuan 2 menghasilkan biaya pokok paling rendah yaitu sebesar Rp 16.955/kg, diikuti oleh perlakuan 1 sebesar Rp 18.135/kg, dan perlakuan 3 sebesar Rp 19.994/kg. Semakin tinggi kapasitas kerja yang dihasilkan pada suatu perlakuan, semakin kecil biaya pokok per kilogram produk, karena biaya operasional per jam dapat ditanggung oleh volume produksi yang lebih besar.

Menurut Perkasa *et al.*, (2014) semakin rendah nilai biaya pokok per satuan produk, semakin tinggi efisiensi suatu alat atau mesin pertanian karena beban biaya tetap dan variabel dapat ditanggung oleh volume produksi yang lebih besar. Hasil ini juga sejalan dengan penelitian Muhlis, (2020) yang menyatakan bahwa komponen dominan dalam biaya pokok mesin pertanian sederhana adalah biaya tenaga kerja langsung, sementara komponen energi dan perawatan hanya berkontribusi kecil terhadap total biaya. Dengan demikian, peningkatan efisiensi kerja operator serta peningkatan kapasitas mesin akan secara langsung menurunkan biaya pokok per kilogram hasil.

1. Biaya Tetap

Biaya tetap merupakan biaya yang tidak dipengaruhi oleh jumlah produksi atau lama waktu pengoperasian mesin. Pada penelitian ini, biaya tetap terdiri atas biaya penyusutan dan biaya bunga modal. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya tetap mesin perontok bunga jantan kelapa sawit sebesar Rp 762.900/tahun atau Rp 2.543/jam. Nilai biaya tetap ini sama untuk ketiga perlakuan karena berasal dari investasi awal mesin yang sama serta umur ekonomis yang sama. Meskipun nilainya sama secara nominal, kontribusi biaya tetap terhadap biaya pokok berbeda pada setiap perlakuan. Perlakuan dengan kapasitas kerja

lebih tinggi memiliki biaya tetap per satuan hasil yang lebih kecil, karena biaya tetap tersebut terdistribusi pada jumlah produksi yang lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan mesin secara optimal dapat menurunkan beban biaya tetap per kilogram produk. Menurut Akram *et al.*, (2024), biaya tetap pada alat pertanian meliputi depresiasi, bunga modal, dan asuransi yang tidak bergantung pada tingkat pemakaian mesin. Biaya tetap akan semakin kecil per unit apabila jam kerja dan volume produksi meningkat. Oleh karena itu, optimalisasi waktu operasi dan perpanjangan umur ekonomis mesin menjadi strategi penting untuk menurunkan biaya tetap per satuan produk. Dengan nilai biaya tetap yang relatif kecil, beban modal mesin ini tergolong ringan, sehingga risiko ekonomi investasi rendah apabila alat dimanfaatkan secara kontinu.

2. Biaya Tidak Tetap

Biaya tidak tetap merupakan biaya yang berubah seiring dengan waktu operasi mesin. Biaya tidak tetap pada penelitian ini meliputi biaya operator, biaya perbaikan dan perawatan, serta biaya listrik. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya tidak tetap sebesar Rp 13.053/jam dan nilainya sama untuk ketiga perlakuan. Menurut Lapisa *et al.*, (2024), biaya variabel pada alat pertanian terdiri atas bahan bakar, tenaga kerja, pelumas, dan biaya perawatan yang meningkat proporsional terhadap waktu operasi mesin. Dalam hal ini, komponen biaya tidak tetap terbesar berasal dari biaya operator, sedangkan biaya listrik memberikan kontribusi paling kecil terhadap total biaya operasional. Meskipun biaya tidak tetap per jam sama, biaya tidak tetap per kilogram produk berbeda antar perlakuan akibat perbedaan kapasitas kerja. Perlakuan dengan kapasitas kerja tertinggi menghasilkan biaya tidak tetap per kilogram yang lebih rendah, sehingga lebih efisien secara ekonomi.

4.3.2 Break Even Point (BEP) atau Titik Impas

Break even point (BEP) merupakan jumlah produksi minimum yang harus dicapai agar total penerimaan sama dengan total biaya yang dikeluarkan. Nilai BEP digunakan sebagai

indikator kelayakan ekonomi suatu alat atau mesin. Semakin rendah nilai BEP, semakin cepat alat tersebut mencapai titik impas dan mulai memberikan keuntungan. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai BEP mesin perontok bunga jantan kelapa sawit berbeda pada setiap perlakuan. Perlakuan 2 memiliki nilai BEP terendah yaitu sebesar 276 kg/tahun, diikuti oleh perlakuan 1 sebesar 296 kg/tahun, dan perlakuan 3 sebesar 326 kg/tahun. Perbedaan nilai BEP ini disebabkan oleh perbedaan kapasitas kerja mesin pada masing-masing perlakuan. Menurut Perhimpunan *et al.*, (2018) *Break Even Point* merupakan parameter kelayakan investasi mesin pertanian untuk mengetahui seberapa besar kapasitas produksi yang dibutuhkan agar usaha tidak merugi. Nilai BEP yang rendah menandakan bahwa alat memiliki efisiensi ekonomi yang tinggi dan waktu pengembalian modal yang cepat. Dengan demikian, perlakuan dengan kapasitas kerja lebih tinggi membutuhkan jumlah produksi yang lebih kecil untuk menutup biaya tetap tahunan, sehingga nilai BEP menjadi lebih rendah. Sebaliknya, perlakuan dengan kapasitas kerja lebih rendah membutuhkan jumlah produksi yang lebih besar untuk mencapai titik impas. Dengan demikian, perlakuan 2 dapat dikatakan paling layak secara ekonomi karena memiliki biaya pokok terendah dan nilai BEP paling kecil, sehingga lebih efisien dan cepat mencapai kondisi impas dalam penerapan operasional.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian mesin perontok bunga jantan kelapa sawit, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Mesin perontok bunga jantan kelapa sawit berhasil dirancang menggunakan motor listrik DC 24V 2.750 rpm dengan sistem transmisi *pulley* dan *v-belt*. Desain mesin dibuat dengan mempertimbangkan aspek ergonomi sehingga mudah dan nyaman digunakan oleh operator.
2. Hasil pengujian analisis teknis menunjukkan bahwa mesin mampu bekerja dengan baik, ditunjukkan oleh kapasitas kerja mesin dengan 3 perlakuan didapatkan hasil 0,97 kg/jam pada perlakuan 1, 0,83 kg/jam pada perlakuan 2, 0,79 kg/jam untuk perlakuan 3, dengan nilai rendemen mesin sebesar 87,9% untuk perlakuan 1, perlakuan 2 dengan nilai 88,6%, dan perlakuan 3 dengan nilai 84,1%. persentase kerusakan hasil 0,5%, frekuensi putar poros motor tanpa beban 795,29 rpm, frekuensi putar dengan beban 220,86 rpm, frekuensi putar poros *clamp hose* tanpa beban 657,15 rpm, sedangkan dengan beban 181,52 rpm, tingkat kebisingan 72,6 dB (di bawah ambang batas aman <85 dB) Secara keseluruhan, mesin mampu merontokkan bunga jantan dengan efektif, efisien, dan aman digunakan.
3. Hasil perhitungan analisis ekonomi menunjukkan bahwa kinerja ekonomi mesin perontok bunga jantan kelapa sawit berbeda pada setiap perlakuan. Perlakuan 1 menghasilkan biaya pokok sebesar Rp 18.135/kg dengan nilai *break even point* (BEP) sebesar 296 kg/tahun. Perlakuan 2 memiliki biaya pokok paling rendah yaitu Rp 16.955/kg dan nilai BEP terendah sebesar 276 kg/tahun, sehingga merupakan perlakuan paling efisien dan layak secara ekonomi. Sementara itu, perlakuan 3 menghasilkan biaya pokok tertinggi sebesar Rp 19.994/kg dengan nilai BEP sebesar 326 kg/tahun. Nilai BEP yang relatif rendah pada ketiga

perlakuan menunjukkan bahwa mesin perontok bunga jantan kelapa sawit layak secara ekonomi dan berpotensi memberikan keuntungan apabila dioperasikan secara rutin dan berkelanjutan.

5.2. Saran

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi kecepatan putar dan desain *clamp hose* untuk memperoleh rendemen yang lebih tinggi dan menekan persentase kerusakan hasil.
2. Disarankan untuk menambahkan penutup atau sistem peredam tambahan pada bagian tertentu guna mengurangi kebisingan dan meningkatkan kenyamanan operator.
3. Pengujian lebih lanjut dengan jumlah sampel yang lebih besar dan kondisi lapangan yang berbeda perlu dilakukan untuk mengetahui performa mesin secara lebih menyeluruh.
4. Mesin dapat dikembangkan dengan penambahan sistem kontrol kecepatan atau otomasi sederhana, sehingga pengoperasian menjadi lebih fleksibel dan efisien.
5. Perlu dilakukan analisis umur pakai komponen dan biaya perawatan agar kelayakan ekonomi mesin dapat dievaluasi dalam jangka panjang.

