



Optimasi Kecepatan Putar dalam Peningkatan Mutu Biji Kemiri pada Mesin Pemecah Cangkang Biji Kemiri (*Aleurites moluccana willd.*)

Optimization of Rotating Speed in Improving the Quality of Candlenut in Candlenut Seed Shell Breaking Machine (Aleurites Moluccana Willd.)

Agus Sutejo^{1*}, Rahmatul Fajri¹, lilis Sucahyo¹

¹Jurusan Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas, Teknologi Pertanian, IPB University

*Corresponding Author: agussu@apps.ipb.ac.id

Abstract. Postharvest handling of candlenut in the traditional way is less effective and efficient. A worker is only able to break as much as 9–10 kg of candlenut/day and this also causes high work fatigue, besides that many kernels are broken and destroyed (percentage of intact round kernels is only 40–60 %) so the price of candlenut becomes cheaper. Therefore, a candlenut crushing machine is needed with an optimum rotational speed that able to provide optimal and consistent energy to candlenuts crushing result. The candlenut material was dried at 90 °C for 3 and 4 hours, then put it in ice water at 5 °C for 15 minutes. It was drained for 20 minutes and a drop test was carried out to find the optimum energy and rotational speed in cracking the candlenut. The result of rotational speed are set up on the candlenut shell breaking machine. Optimum solving result obtained of 490,5 Joules. Equivalent to candlenut dropped from a height of 5 meters with a rotating speed of 337,88 rpm.

Keywords: Candlenut, Post Harvest, Rotational Speed.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Indonesia ditumbuhi oleh banyak sekali tumbuhan yang bermanfaat bagi manusia. Salah satu tumbuhan yang memberikan manfaat didalam kehidupan manusia adalah tanaman kemiri. Tanaman kemiri (*Aleurites moluccana Willd.*) adalah salah satu pohon serbaguna yang berasal dari daerah kepulauan Maluku dan Malaysia yang telah dibudidayakan secara luas di dunia (Deptan 2006). Tanaman kemiri telah tersebar luas hampir di seluruh wilayah nusantara, ditanam untuk tujuan

komersial maupun subsisten penunjang kehidupan masyarakat sehari-hari terutama bagi masyarakat Indonesia bagian timur (Krisnawati dkk 2011). Kemiri sering dimanfaatkan dalam penggunaan bumbu dapur masakan, kemiri berkhasiat untuk meningkatkan sistem pencernaan, meringankan infeksi jamur, mengurangi resiko penyakit jantung, mengatasi insomnia/ susah tidur, menjaga kesehatan tulang dan sendi, dan lain lain. Kemiri memiliki sebutan yang berbeda-beda di beberapa daerah di Indonesia, di Pulau Sumatera kemiri disebut kereh, kemili, kembiri, tanoan, kemiling atau buwa kare. Di Pulau Jawa disebut midi, pidekan, miri, kemiri atau muncang (Sunda) sedangkan di Pulau Sulawesi disebut wiau, lana, boyau, bontalo, dudulaa atau saketa (Paimin 1997).

Tumbuhan kemiri dalam perkembangan dan pertumbuhannya mulai berbuah sesuai dengan asal bibit yang ditanam. Bibit kemiri yang berasal dari biji maka akan berbuah pada umur 3 sampai 4 tahun, bila berasal dari bibit vegetatif akan berbuah pada umur 2 tahun. Panen buah dapat dilakukan 2–3 kali dalam setahun (Deptan 2006). Produksi kemiri per hektar dapat mencapai 2 ton biji atau 0,5 sampai 0,8 ton daging biji hasil kupasan. Produksi pohon kemiri dewasa yang tumbuh baik dapat mencapai 200 kg biji kupasan per pohon (Paimin 1997). Setelah berumur diatas 50 tahun produksi tanaman kemiri mulai menurun (Sunanto 1994).

Penanganan pascapanen kemiri ditingkat petani umumnya masih dilakukan secara tradisional dimana pemecahan biji kemiri masih menggunakan alat pemecah sederhana. Cara tradisional kurang efektif dan efisien karena seorang pekerja hanya mampu memecah kemiri 9–10 kg kemiri/hari dan hal ini juga menimbulkan kelelahan kerja yang tinggi, disamping itu banyak inti yang pecah dan hancur (persentase inti bulat utuh hanya 40–60%) sehingga harga kemiri menjadi lebih murah (Darmawan dan Kurniadi 2007). Sementara itu untuk mendapatkan inti kemiri yang baik dan berkualitas harus disertai dengan penanganan pascapanen yang baik dan benar.

Hal yang perlu diperhatikan dalam proses pasca panen kemiri adalah bagaimana menghasilkan dan mempertahankan biji kemiri agar berkualitas tinggi setelah proses pemecahan. Sedikit saja kelalaian dalam penanganannya dapat mengakibatkan daging biji hancur dan terkontaminasi cendawan. Operasi pascapanen harus dikelola secara bijaksana khususnya dalam hal pemecahan biji kemiri dalam upaya menjaga kualitas kemiri agar tetap baik. Hadirnya mesin pemecah cangkang biji kemiri diharapkan bisa menjadi solusi dalam hal menjaga kualitas hasil pemecahan biji kemiri. Hasil pemecahan biji kemiri setelah dikeringkan dengan suhu dan waktu tertentu dipengaruhi oleh besarnya energi yang diberikan terhadap cangkang biji kemiri oleh mesin pemecah cangkang biji kemiri. Energi optimum yang diberikan untuk memecah cangkang biji kemiri juga harus konsisten. Oleh karena itu, dibutuhkan optimalisasi kecepatan putar pada mesin pemecah cangkang biji kemiri agar mampu memberikan energi yang optimal dan konsisten untuk menghasilkan hasil pemecahan kemiri yang berkualitas tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Hasil pemecahan biji kemiri setelah dikeringkan dengan suhu dan waktu tertentu dipengaruhi oleh besarnya energi yang diberikan terhadap pemecahan cangkang biji kemiri. Energi optimum yang diberikan untuk pemecahan cangkang biji kemiri juga harus konsisten, tujuannya untuk menjaga kualitas hasil pemecahan yang seragam dan berkualitas tinggi. Metode tradisional atau konvensional masih memiliki kekurangan. Cara tersebut kurang efektif dan efisien karena seorang pekerja hanya mampu memecah kemiri 9–10 kg kemiri/hari dan hal ini juga menimbulkan kelelahan kerja yang tinggi, banyak inti yang pecah dan hancur (persentase inti bulat utuh hanya 40–60%) sehingga harga kemiri menjadi lebih murah. Selain itu, pekerja tidak bisa memberikan energi yang konsisten untuk memecah cangkang biji kemiri. Sehingga hasil pemecahan tidak seragam dan optimal. Oleh karena itu, dibutuhkan mesin pemecah cangkang biji kemiri yang mampu memberikan kecepatan putar optimum guna menghasilkan mutu hasil pemecahan kemiri

yang berkualitas tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah melakukan analisis kecepatan putar yang optimum pada mesin pemecah cangkang biji kemiri guna meningkatkan mutu hasil pemecahan cangkang biji kemiri. Penelitian ini bermanfaat untuk membantu petani dan pengusaha kemiri dalam proses penanganan pascapanen kemiri terutama saat pemecahan kemiri dengan menggunakan mesin pemecah cangkang biji kemiri. Mengetahui besar kecepatan putar optimum yang harus dihasilkan oleh mesin pemecah cangkang biji kemiri agar mendapatkan energi yang presisi dan konsisten serta mutu pemecahan kemiri terbaik. Hasil penelitian ini juga bisa dijadikan sebagai landasan atau acuan dalam proses pembuatan mesin pemecah cangkang biji kemiri agar mampu memberikan energi optimum sesuai dengan kebutuhan energi pada saat pemecahan cangkang biji kemiri.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini mulai dilaksanakan pada bulan Juli 2021 hingga bulan Maret 2022. Persiapan dan perlakuan bahan serta pengujian mesin pemecah biji kemiri dilakukan di Laboratorium Manufaktur, Teknik Mesin dan Biosistem IPB.

2.2. Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini adalah mesin pemecah cangkang biji kemiri yang digerakan dengan menggunakan motor listrik. Adapun alat bantu yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat tulis, *stopwatch*, baskom, cawan, *Heat gun*, *Thermometer*, *speed control motor*, *Tachometer* dan prototipe mesin pemecah kemiri. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kemiri (*Alleurites mellucana willd.*) yang diperoleh dari petani kemiri di Kota Padang Sidempuan, Sumatera Utara. Biji kemiri yang diteliti merupakan biji kemiri yang sudah matang, yaitu kemiri yang tingkat kematangannya telah mencapai 75% dan dipanen saat berusia 20 minggu dihitung sejak awal pembuahan sampai jatuh ke tanah dan sudah bersih dari kulit buahnya. Berukuran homogen berdiameter 2 cm dengan berat rata rata 10 gram per biji. Bahan lainnya yaitu air dan es batu untuk perendaman kemiri.

2.3. Prosedur Kerja

Prosedur kerja dalam penelitian ini digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3.1 Persiapan bahan kemiri

Kemiri yang akan dijadikan sebagai objek penelitian adalah kemiri dari spesies *Aleurites moluccana wild.* yang berkembang biak di daerah Padangsidempuan, Sumatera utara. Di panen pada tingkat kematangan 75% dan saat diolah sudah dipisah antara kulit dan cangkangnya. Kemiri yang akan disiapkan sebanyak 10 biji per masing- masing percobaan.

2.3.2 Pengeringan kemiri

Bahan kemiri yang telah disiapkan kemudian dikeringkan dengan menggunakan *Heatgun* pada suhu 90 °C dengan masing- masing variasi durasi pemanasan selama 3 dan 4 jam. Pengeringan ini bertujuan untuk menjadikan biji inti kemiri mudah lepas dari cangkangnya.

2.3.3 Pendinginan kemiri

Setelah pengeringan, kemiri langsung dimasukan ke dalam air es dengan suhu 5 °C selama 15 menit. Pendinginan ini bertujuan untuk memberikan efek kejutan pada kemiri setelah dipanaskan sehingga membuat cangkang kemiri menjadi lebih rapuh.

2.3.4 Pengeringan kemiri

Kemiri yang telah didinginkan dengan menggunakan air es kemudian langsung di keringkan pada

udara terbuka selama 20 menit. Pengeringan ini bertujuan untuk menjadikan kemiri tidak basah atau bebas dari air yang menempel sehingga tidak mempengaruhi massa kemiri saat dilakukan uji jatuh. Selama proses pengeringan ini, dilakukan persiapan alat bantu pengambilan data jatuh bebas dari kemiri berupa meteran.

2.3.5 Uji jatuh

Kemiri yang telah dikeringkan, langsung dilakukan uji jatuh dengan masing-masing variasi ketinggian 4, 5 dan 6 meter dari permukaan lantai. Uji jatuh dilakukan untuk mengetahui besaran energi dan kecepatan optimum yang dihasilkan untuk memecahkan biji kemiri yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu.

2.4. Analisis Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh benda pada arah vertikal dari ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal (Giancoli 2001). Galileo menyatakan bahwa untuk gerak jatuh bebas semua benda akan jatuh dengan percepatan yang sama jika tidak ada udara dan hambatan lainnya (Young 2002). Percepatan konstan untuk gerak jatuh bebas adalah percepatan akibat gravitasi bumi. Berdasarkan teori, peristiwa gerak jatuh bebas dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi, sehingga nilai percepatan benda pada saat mengalami gerak jatuh bebas adalah mendekati nilai percepatan gravitasi bumi.

Menurut Ristiawan (2018), Gerak jatuh bebas (GJB) adalah sebuah gerak benda yang jatuh dari suatu ketinggian tanpa adanya kecepatan awal. Gerak jatuh dipelajari oleh para ilmuwan dengan hati-hati dan teliti. Dalam keadaan hambatan hampa udara didapatkan bahwa semua benda tidak peduli ukuran dan beratnya, pada setiap titik dipermukaan bumi jatuh dengan percepatan yang sama. Jika jarak yang ditempuh adalah kecil bila dibandingkan dengan jari-jari bumi, maka percepatan selama jatuh adalah tetap. Pengaruh dari hambatan udara dan berkurangnya percepatan dengan ketinggian akan diabaikan. Gerak yang ideal ini disebut “jatuh bebas” (Ristiawan 2018)

Sebenarnya gerak jatuh bebas sering disamakan dengan gerak lurus berubah beraturan (GLBB), yang membedakan antara keduanya adalah arah lintasannya. Pada GLBB, lintasannya berupa *horizontal*, namun GJB berupa *vertical*. Selain itu perbedaannya ialah GJB pasti memiliki nilai kecepatan awal 0 m/s namun GLBB belum tentu nilainya 0 m/s. Terminologi jatuh bebas digunakan untuk benda yang jatuh tanpa memiliki kecepatan awal akibat suatu gaya. Untuk menganalisis gerakan ini, maka dapat dilihat bahwa gerakan hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Bukan massa benda. Benda yang jatuh, semakin dekat ke permukaan bumi, kecepatannya akan semakin bertambah. Persamaan gerak yang digunakan untuk menganalisis gerakan ini adalah persamaan gerak untuk gerak lurus berubah beraturan. Dimana percepatan a , diganti menjadi g . Sehingga secara sederhana persamaan GLBB sebelumnya dapat diubah menjadi sebagai berikut:

$$v_2 = v_1 \pm gt \quad (1)$$

$$y_2 = y_1 + v_1t \pm \frac{1}{2}gt^2 \quad (2)$$

$$v_2^2 = v_1^2 \pm 2gy ; y = y_2 - y_1 \quad (3)$$

dimana v_2 adalah kecepatan benda pada waktu tertentu (m/s), v_1 = Kecepatan awal benda (m/s), t adalah waktu (sekon), g adalah gaya gravitasi (m/s^2), y_1 adalah posisi vertikal benda mula-mula (m), dan y_2 adalah posisi vertikal benda pada waktu tertentu (m).

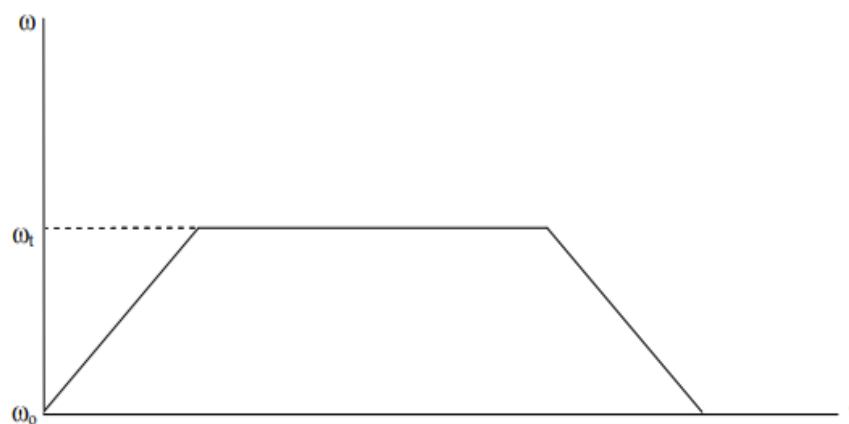
Analisis lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan benda untuk sampai ke permukaan dan kecepatan benda saat sampai ke tanah. Waktu (t) yang diperlukan oleh

benda untuk mencapai ketinggian (h) tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini (Sutarno 2013).

$$y_2 = y_1 + v_1 t \pm \frac{1}{2} g t^2 \quad (4)$$

2.5. Analisis Kecepatan Sudut

Kecepatan sudut erat kaitannya dengan gerak melingkar, yaitu gerak benda yang bergerak pada lintasan yang berbentuk lingkaran. Sama halnya dengan gerak linier, gerak melingkar juga terbagi menjadi dua, yaitu gerak melingkar beraturan dan gerak melingkar berubah beraturan. Gerak melingkar beraturan biasanya berlangsung dengan didahului oleh gerak melingkar berubah beraturan yang dipercepat dan diakhiri dengan gerak melingkar berubah beraturan yang diperlambat. Pada keadaan awal benda yang mula-mula diam mulai bergerak melingkar dipercepat beraturan hingga mencapai kelajuan sudut tertentu yang dipertahankan selama terjadi gerak melingkar beraturan. Ketika bendanya hendak berhenti maka terjadilah gerak melingkar diperlambat beraturan (Sutarno 2013).



Gambar 2. Hubungan kecepatan sudut terhadap waktu pada gerak melingkar

Benda dari keadaan diam bergerak melingkar dipercepat beraturan kemudian mempertahankan kelajuan sudut pada ω konstan sebagai gerak melingkar beraturan ditunjukkan dengan garis lurus mendatar dan bergerak melingkar diperlambat beraturan hingga akhirnya berhenti.

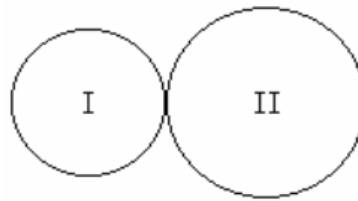
Kelajuan tangensial (besar dari kecepatan tangensial) atau sering disebut dengan kelajuan linier dirumuskan dengan:

$$v = \omega r \quad (5)$$

dimana v adalah kecepatan linier (m/s), ω adalah kecepatan sudut (rad/s), dan r adalah jari-jari (m).

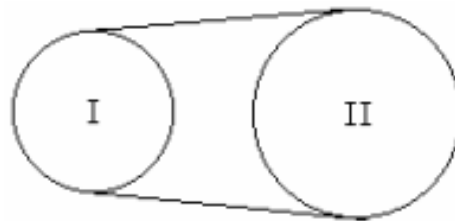
2.6. Analisis Sistem Gerak Melingkar pada Susunan Roda

Pemindahan gerak pada gerak melingkar biasanya terbagi menjadi tiga, yaitu sistem persinggungan langsung, sistem serantai atau setali dan sistem sesumbu. Pemindahan gerak pada sistem persinggungan langsung yaitu melalui persinggungan roda yang satu dengan roda yang lain. Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuan sudutnya tidak sama.



Gambar 3. Sistem persinggungan langsung ($v_1 = v_2$ tetapi $\omega_1 \neq \omega_2$)

Pemindahan gerak pada sistem tak setali langsung yaitu pemindahan gerak dengan menggunakan ban penghubung atau rantai dari motor ke bagian atau komponen yang ingin di gerakan. Pada sistem ini kelajuan liniernya sama, sedangkan kelajuan sudutnya tidak sama.



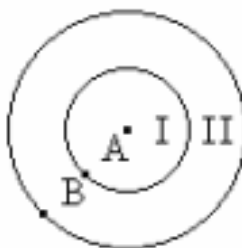
Gambar 4. Sistem persinggungan tak setali langsung ($v_1 = v_2$ tetapi $\omega_1 \neq \omega_2$)

Pada sistem persinggungan tak setali langsung ini, dapat di cari besarnya kecepatan putar masing-masing roda yang saling terhubung dengan puli menggunakan persamaan:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \quad (6)$$

dimana n_1 adalah kecepatan putar roda pertama (rpm), n_2 adalah kecepatan putar roda kedua (rpm), d_1 adalah diameter roda pertama (m), dan d_2 adalah diameter roda kedua (m).

Sistem sesumbu terjadi jika roda-roda yang bergerak dan yang digerakan tersusun dalam satu poros. Pada sistem ini, semua titik yang terletak pada satu jari mempunyai kecepatan sudut (sudut) yang sama namun kecepatan liniernya berbeda.

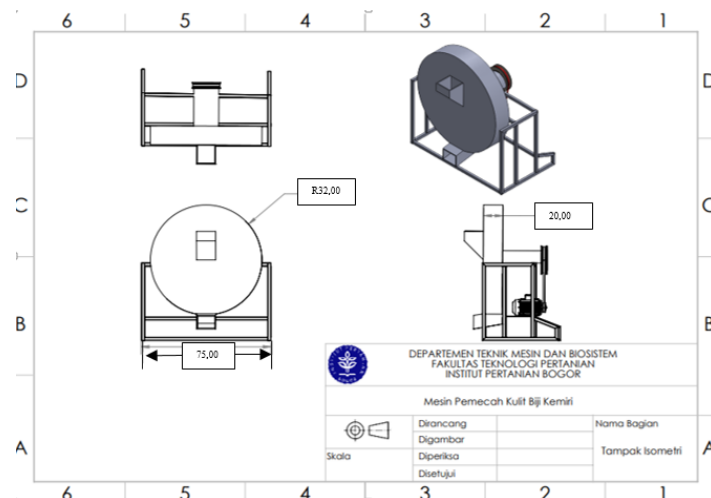


Gambar 5. Sistem gerak sesumbu (Co-Axle) ($\omega_1 = \omega_2$ tetapi $v_1 \neq v_2$)

2.7. Prinsip dan Mekanisme Pemecahan pada Mesin Pemecah Cangking Biji Kemiri

Pemecahan kemiri pada penelitian ini menggunakan mesin pemecah cangking biji kemiri. Pada bagian bawah mesin terdapat motor listrik yang berfungsi sebagai sumber penggerak mesin pemecah cangking biji kemiri. Motor listrik ini memiliki daya sebesar 0,5 hp (*Horse Power*) yang mampu menghasilkan kecepatan putar maksimal sebesar 1400 rpm. Daya dari motor listrik dipindahkan ke bagian impeller/ pelontar dengan menggunakan transmisi sabuk dan puli. impeller/

pelontar yang berada di dalam mesin harus menghasilkan kecepatan putar sebesar hasil perhitungan kecepatan sudut dari hasil uji jatuh pemecahan biji kemiri.



Gambar 6. Desain isometri mesin pemecah cangkang biji kemiri



Gambar 7. Prototipe mesin pemecah cangkang biji kemiri

Pemecahan cangkang biji kemiri pada mesin pemecah cangkang biji kemiri menggunakan prinsip benturan atau momentum antara kemiri dengan dinding pemecah pada mesin pemecah cangkang biji kemiri. Biji kemiri dengan massa tertentu bergerak dengan kecepatan tertentu mengenai bagian pemecah cangkang kemiri yang terbuat dari plat baja sehingga mengakibatkan terjadinya momentum.

Biji kemiri yang akan diolah dengan menggunakan mesin pemecah cangkang biji kemiri merupakan biji kemiri yang telah dikenai perlakuan awal sesuai dengan hasil perlakuan optimum bahan pada percobaan awal persiapan bahan kemiri untuk uji jatuh. Sebelum proses pemecahan dilakukan, mesin kemiri dinyalakan dan kecepatannya diatur dengan menggunakan alat bantu *Speed motor control* sesuai dengan kecepatan putar yang diperoleh berdasarkan hasil perhitungan pada uji jatuh saat percobaan awal. Setelah diatur dengan kecepatan tertentu, mesin kemiri dibiarkan menyala selama lebih kurang 5 menit untuk menstabilkan kecepatannya. Kemudian biji kemiri yang telah dikenai perlakuan awal langsung dimasukkan ke dalam *hooper* pada bagian

tengah depan mesin. Kemiri yang masuk ke dalam mesin pemecah melalui *hooper* akan langsung terlontar oleh *blade* pelontar ke arah dinding pemecah sesuai dengan kecepatan putar mesin yang mengakibatkan terjadinya benturan antara kemiri dan dinding pemecah. Hasil pecahan cangkang beserta biji inti kemiri keluar dari bagian bawah mesin.

Percobaan dengan menggunakan mesin pemecah cangkang biji kemiri ini dilakukan sebanyak tiga variasi kecepatan sesuai dengan hasil hitungan kecepatan pada percobaan awal uji jatuh. Pada masing-masing variasi kecepatan, dilakukan 4 kali pengulangan masing-masing 30 biji kemiri per pengulangan. Berikut adalah tabel rancangan pengambilan data mesin pemecah cangkang kemiri.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Persiapan Bahan dan Perlakuan Awal Bahan Kemiri

Persiapan awal pada proses pemecahan cangkang biji kemiri dilakukan untuk mendapatkan perlakuan yang paling optimum terhadap bahan kemiri sebelum dimasukkan ke dalam mesin pemecah cangkang biji kemiri. Pada proses ini didapat hasil perlakuan optimum terhadap kemiri serta diperoleh besaran kecepatan linier optimum yang dibutuhkan dari hasil proses tersebut. Besaran kecepatan linier optimum yang diperoleh, kemudian dikonversi menjadi kecepatan sudut. Kecepatan sudut kemudian dikonversi lagi menjadi kecepatan putar yang kemudian kecepatan putar inilah yang dijadikan sebagai acuan kecepatan putar pada mesin pemecah cangkang biji kemiri dalam proses pemecahan cangkang biji kemiri. Proses persiapan awal ini diawali dengan penyiapan bahan biji kemiri sebanyak sepuluh biji per masing-masing percobaan. Kemudian biji kemiri yang sudah disiapkan tersebut dipanaskan dengan menggunakan pemanas *Heat gun*. Pemanasan dilakukan masing-masing selama 3 dan 4 jam pada suhu 90 °C.

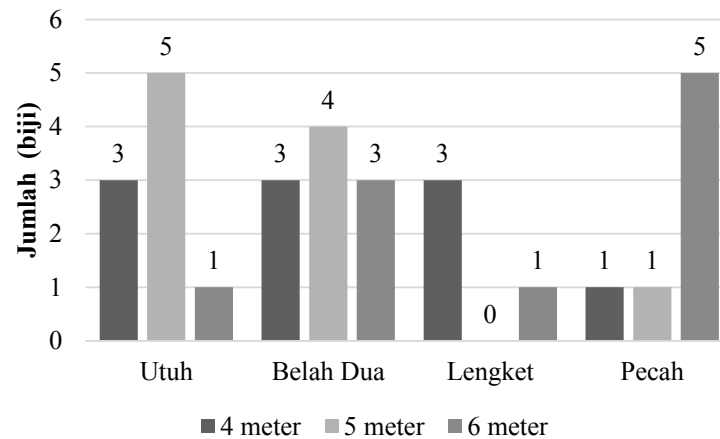
Proses pemanasan kemiri dilakukan untuk mencegah biji inti kemiri menempel dengan kulit cangkang kemiri sehingga pada saat pemecahan, bagian dalam biji inti kemiri tidak ikut terlepas atau pecah bersama cangkang kemiri yang pecah.

Dengan dilakukan proses pemanasan, biji kemiri mengalami penciutan dan terpisah dari kulit cangkang akibat berkurangnya kadar air pada biji kemiri saat proses pemanasan. Penciutan biji kemiri ini mengakibatkan mudahnya cangkang dan biji kemiri untuk dipisahkan saat proses pemecahan, sehingga biji utuh hasil pemecahan kemiri yang dihasilkan lebih banyak.

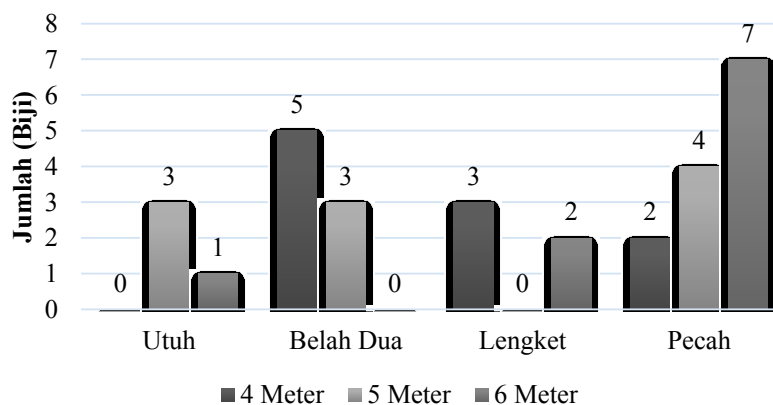
Proses pemanasan dilakukan pada suhu 90 °C selama masing-masing 3 dan 4 jam. Berikut adalah tabel dan grafik hasil pemanasan pada masing-masing percobaan berdasarkan lama/ durasi pemanasan.

Tabel 1. Hasil perlakuan bahan kemiri dan uji jatuh kemiri

Ketinggian jatuh (Meter)	Lama pemanasan (jam)							
	3				4			
	Utuh	Belah Dua	Lengket	Pecah	Utuh	Belah Dua	Lengket	Pecah
4	3	3	3	1	0	5	3	2
5	5	4	0	1	3	3	0	4
6	1	3	1	5	1	0	2	7



Gambar 8. Grafik hasil uji gaya gravitasi dengan durasi pemanasan selama 3 jam



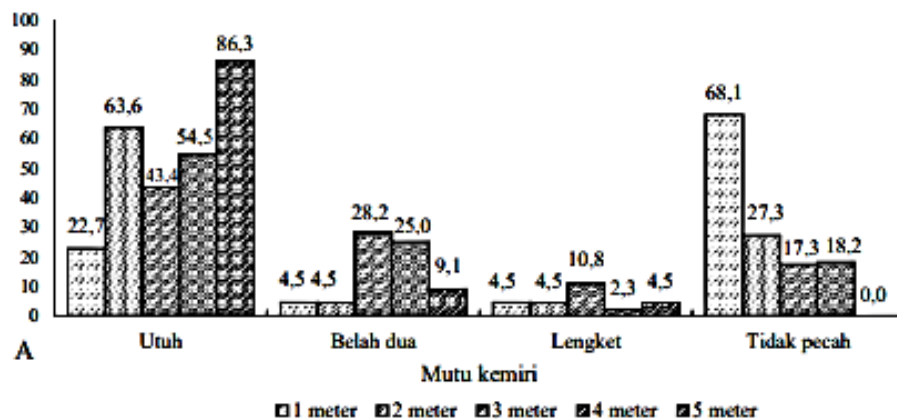
Gambar 9. Grafik hasil uji gaya gravitasi dengan durasi pemanasan selama 4 jam

Berdasarkan data hasil penelitian pada gambar (grafik 1), pada ketinggian jatuh 6 meter durasi pemanasan 3 jam diperoleh hasil pemecahan berupa 1 biji utuh, 3 biji belah dua, 1 biji lengket dan 5 biji hancur. Sedangkan pada durasi pemanasan 4 jam dengan ketinggian jatuh yang sama (grafik 2), diperoleh hasil berupa 1 biji utuh, 2 biji lengket dan 7 biji hancur. Pada ketinggian jatuh 5 meter dengan durasi pemanasan 4 jam diperoleh hasil berupa 5 biji utuh, 4 belah dua dan 1 biji hancur. Sedangkan untuk durasi pemanasan selama 3 jam pada ketinggian yang sama diperoleh hasil berupa 3 biji utuh, 3 biji belah dua dan 4 biji hancur diperoleh dengan durasi pemanasan 4 jam. Kemudian pada durasi pemanasan 3 jam di ketinggian jatuh 4 meter diperoleh hasil berupa 3 biji utuh, 3 biji belah dua, 3 biji lengket dan 1 biji hancur. Hasil berupa 5 biji belah dua, 3 biji lengket dan 2 biji hancur diperoleh pada durasi pemanasan selama 4 jam yang dijatuhkan dari ketinggian 4 meter. Dari data hasil percobaan diatas, dapat disimpulkan bahwa pada suhu tetap yaitu sebesar 90 °C semakin lama durasi waktu pemanasan biji kemiri, maka biji kemiri akan mengalami perubahan struktur yang mengakibatkan kemiri menjadi getas. Sesuai dengan literatur Suherdiman (2021) yang menyatakan bahwa pengeringan yang terlalu lama akan menyebabkan kadar air kemiri terlalu rendah. Kadar air yang terlalu rendah ini menyebabkan inti kemiri terlalu getas dan mudah hancur pada saat dilakukan proses pemecahan.

3.2. Uji Jatuh

Uji Jatuh biji kemiri dilakukan pada tiga variasi ketinggian yang berbeda. Masing-masing

ketinggian diberikan dua perlakuan durasi atau lama pemanasan. Ketinggian 4, 5 dan 6 meter dipilih untuk ketinggian uji jatuh ini dengan masing-masing durasi pemanasan selama 3 dan 4 jam. Dari total 10 biji kemiri pada masing-masing percobaan uji jatuh, terdapat 3 biji inti kemiri yang utuh setelah dijatuhkan dari ketinggian 4 meter; 5 biji inti utuh setelah dijatuhkan dari ketinggian 5 meter dan 1 biji inti utuh setelah dijatuhkan dari ketinggian 6 meter. Berdasarkan data tersebut, dapat disimpulkan bahwa hasil optimum pemecahan biji kemiri didapat pada ketinggian jatuh 5 meter. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Suherdian (2021) seperti yang ditampilkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik hasil Uji jatuh biji kemiri (Suherdian 2021)

dimana pemecahan dengan penjatuhan kemiri dari ketinggian 5 meter dipilih sebagai perlakuan pemecahan terbaik (Suherdian 2021).

3.3. Analisis Kecepatan Linier

Besarnya kecepatan linier dari hasil uji jatuh ini dihitung dengan menggunakan persamaan gerak lurus berubah beraturan pada benda jatuh bebas. Kecepatan linier akhir kemiri v_2 adalah kecepatan kemiri sesaat saat menyentuh lantai setelah dijatuhkan dari ketinggian tertentu yang didapat dari akar hasil perkalian dua dikalikan dengan besaran gravitasi ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$) dan ketinggian jatuh kemiri ($h = \text{meter}$). Kemiri dijatuhkan dari ketinggian 4, 5 dan 6 meter, sehingga didapat hasil kecepatan linier akhir kemiri sesaat menyentuh lantai sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil perhitungan kecepatan linier, kecepatan sudut, kecepatan putar dan energi pemecahan

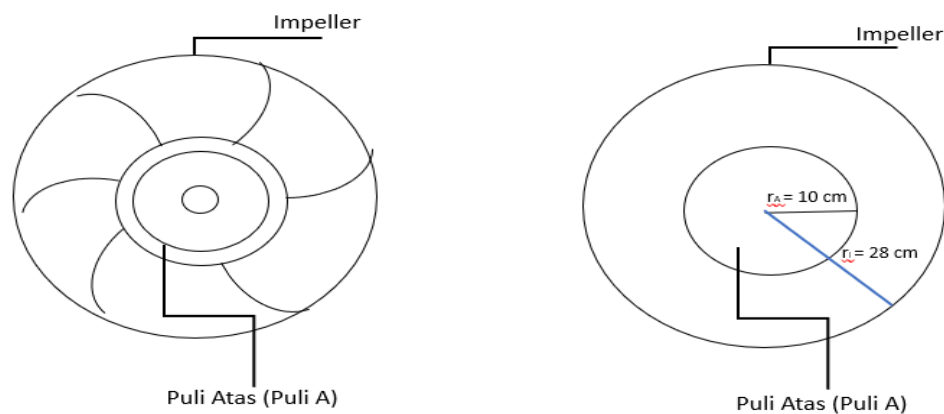
Ketinggian (m)	Kecepatan linier akhir (m s^{-1})	Kecepatan sudut (rad s^{-1})	Kecepatan putar (rpm)	Energi (Joule)
4	8,85	31,60	301,97	392,4
5	9,90	35,38	337,88	490,5
6	10,84	38,71	369,96	588,6

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel diperoleh nilai kecepatan linier akhir kemiri yang dijatuhkan dari ketinggian 4 meter adalah sebesar 8,85 m/s. Kecepatan linier akhir kemiri sebesar 9,90 m/s didapat dari ketinggian jatuh 5 meter dan kecepatan linier akhir kemiri sebesar 10,84 m/s didapat dari ketinggian jatuh 6 meter. Berdasarkan hasil perhitungan dan literatur Suherdian

(2021), nilai kecepatan optimum pemecahan cangkang biji kemiri didapat saat kemiri dijatuhkan dari ketinggian 5 meter. Kecepatan linier akhir yang didapat pada ketinggian 5 meter adalah sebesar 9,90 m/s.

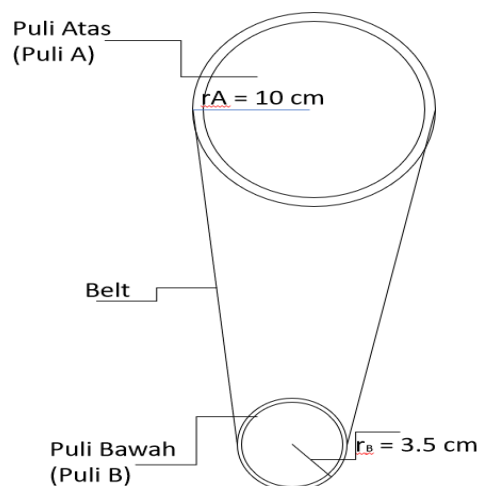
Kecepatan putar diperoleh dari konversi kecepatan linier (m/s) menjadi kecepatan putar (Lampiran 3). Berdasarkan data hasil perhitungan (Tabel 7) diperoleh nilai kecepatan putar yang dijatuhkan dari ketinggian 4 meter sebesar 301,97 rpm, kemudian diperoleh nilai kecepatan putar yang di jatuhkan dari ketinggian 5 meter sebesar 337,88 rpm dan nilai kecepatan putar dari ketinggian jatuh 6 meter sebesar 369,96 rpm. Hasil perhitungan kecepatan putar ini dijadikan sebagai nilai acuan untuk menentukan besarnya kecepatan putar yang harus dihasilkan oleh mesin pemecah cangkang biji kemiri untuk memecahkan cangkang biji kemiri.

Berdasarkan rancangan dan prototipe mesin yang telah dibuat (Gambar 8 dan 9). Bagian sumbu *Impeller* dan puli bagian atas memiliki sistem gerak melingkar sesumbu, dimana antara puli dan impeller memiliki kecepatan sudut yang sama untuk setiap titik ($\omega_1 = \omega_2$).



Gambar 11. Susunan sistem gerak sesumbu *impeller* dan puli atas (puli A)

Sedangkan antara puli bagian atas dan puli bagian bawah (puli pada motor listrik) memiliki system gerak tak setali langsung yang dihubungkan dengan belt sehingga kedua puli memiliki laju/ kecepatan linier sama.



Gambar 12. Susunan sistem gerak tak setali langsung antara puli atas (puli A) dan puli bawah (puli B)

Berdasarkan hubungan kecepatan sudut (Gambar 11) dimana kecepatan putar *impeller* harus berputar dengan kecepatan putar masing-masing sebesar 301,97 rpm 337,88 rpm dan 369,96 rpm. Impeller dan puli bagian atas (puli A) tersusun sesumbu satu sama lain sehingga memiliki nilai kecepatan putar yang sama. Sedangkan puli atas (puli A) dan puli bawah (puli B) terhubung tak setali langsung (Gambar 14) dimana nilai kecepatan putar didapat dengan melakukan perhitungan (Lampiran 4). Kecepatan putar puli B merupakan kecepatan yang harus dihasilkan oleh motor listrik untuk memutar *impeller* pelontar mesin pemecah biji kemiri agar hasil pemecahan biji kemiri yang dihasilkan optimal. Selain itu nilai kecepatan putar puli B juga menjadi indikator kesesuaian antara kecepatan putar yang harus dihasilkan oleh motor listrik dengan rentang kecepatan putar pada spesifikasi motor listrik yang digunakan. Berikut tabel hasil perhitungan kecepatan putar impeller, puli A dan puli B.

Tabel 3. Hasil perhitungan kecepatan putar antar puli

Ketinggian (m)	Kecepatan putar <i>Impeller</i> (rpm)	Kecepatan putar puli A (rpm)	Kecepatan putar puli B (rpm)
4	301,97	301,97	862,77
5	337,88	337,88	965,87
6	369,96	369,96	1056,26

Diperoleh nilai kecepatan putar n (*rotation per minute*) pada puli B untuk ketinggian jatuh 4 meter sebesar 862,77 rpm, ketinggian 5 meter sebesar 965,87 rpm dan ketinggian 6 meter sebesar 1056,26 rpm (Tabel 3). Nilai kecepatan putar maksimum yang mampu dihasilkan oleh motor listrik adalah sebesar 1400 rpm. Nilai kecepatan putar puli B hasil perhitungan memiliki nilai yang lebih kecil dari nilai putaran maksimum pada spesifikasi motor, sehingga nilai kecepatan putar hasil perhitungan uji jatuh bisa diterapkan pada mesin pemecah cangkang biji kemiri.

Setelah dilakukan beberapa perhitungan terhadap hasil uji jatuh (uji gaya gravitasi) pada kemiri yang kemudian didapat besar kecepatan putar (dalam *rotation per minute*) pada puli A sebesar 301,97 rpm, 337,88 rpm dan 369,96 rpm, dilakukan pengujian terhadap kemiri dan mesin pemecah cangkang biji kemiri dengan kecepatan puli A dijadikan sebagai nilai acuan pengaturan kecepatan putar pada mesin pemecah cangkang biji kemiri. Kecepatan putar puli B tidak dipilih sebagai nilai acuan kecepatan pengujian mesin untuk menghindari terjadinya pengurangan kecepatan putar dari puli B ke puli A akibat gesekan antara puli dan belt. Alat bantu pengatur arus listrik berupa *speed control motor* digunakan pada motor listrik sumber penggerak mesin untuk mengatur besarnya kecepatan putar yang dihasilkan. Alat pengukur besar putaran (*Tachometer*) digunakan untuk mengukur besar putaran pada puli A yang dihasilkan oleh motor listrik pada puli B.

Setelah dilakukan beberapa kali pengaturan (*Set up*) kecepatan putar dengan bantuan alat *speed control motor* pada motor listrik dengan acuan kecepatan target pada puli A masing-masing sebesar 301,97 rpm, 337,88 rpm dan 369,96 rpm, didapat tiga besaran kecepatan putar masing-masing 400 rpm, 388 rpm dan 268 rpm. Ketiga kecepatan putar yang dihasilkan pada puli A hasil pembacaan alat *Tachometer* ini memiliki nilai yang berbeda dengan nilai acuan kecepatan putar awal hasil perhitungan yang seharusnya digunakan pada saat pengujian. Pengaturan (*set up*) ulang pada motor listrik dilakukan kembali untuk memastikan nilai kecepatan yang dihasilkan, kemudian diperoleh hasil nilai stabil pada kecepatan putar yang sama, yaitu 400 rpm, 338 rpm, dan 268 rpm. Akhirnya ketiga nilai kecepatan putar tersebut dijadikan sebagai kecepatan putar untuk pengujian mesin. Berikut adalah tabel hasil pengujian kemiri dan mesin pemecah biji kemiri dengan tiga variasi kecepatan putar.

Tabel 4. Hasil pengujian kemiri dan mesin pemecah biji kemiri dengan tiga variasi kecepatan putar.

Percobaan kecepatan (rpm)	Pengulangan	Hasil				
		Tidak pecah	Biji utuh	Belah dua	Lengket	hancur
400	1	0	0	8	2	20
	2	0	0	2	6	22
	3	0	0	6	5	19
	4	0	0	5	2	23
338	1	0	3	4	3	20
	2	2	2	11	7	8
	3	0	7	5	5	8
	4	1	6	6	4	13
268	1	0	0	11	3	16
	2	0	0	10	3	17
	3	0	0	11	11	8
	4	0	1	13	8	8

Berdasarkan data hasil percobaan pada Tabel 5, didapat lima kriteria hasil pemecahan biji kemiri pada setiap percobaan. Kelima kriteria tersebut adalah biji tidak pecah, utuh, belah dua, lengket dan hancur.

Biji kemiri tidak pecah adalah kemiri yang cangkangnya masih utuh dan/ tidak pecah setelah pemecahan (Suherdian 2021). Pada percobaan di atas, dihasilkan 3 biji kemiri dengan cangkang yang tidak pecah setelah dilakukan percobaan pada kecepatan putar 338 rpm. Sedangkan pada kecepatan 400 rpm dan 268 rpm, tidak dihasilkan biji kemiri dengan cangkang yang utuh. Pecah cangkang pada percobaan kecepatan 400 rpm terjadi dikarenakan nilai kecepatan putarnya lebih besar dari pada kecepatan optimum. Sehingga semua cangkang biji kemiri yang diuji dengan kecepatan putar 400 rpm tidak ada yang tidak pecah. Selain itu, pecah cangkang pada kecepatan 400 rpm juga terjadi disebabkan adanya benturan berulang antar sesama biji kemiri setelah biji kemiri terhempas dari dinding pemecah. Hal yang sama juga terjadi pada percobaan dengan kecepatan 268 rpm. Walaupun kecepatan putarnya lebih kecil dibanding kecepatan optimum, terjadinya benturan berulang disebabkan kondisi impeller mesin yang masih berputar. Sehingga benturan berikutnya terjadi setelah benturan pertama antara kemiri dengan dinding pemecah. Benturan berulang pada biji kemiri juga disebabkan oleh faktor masuknya kemiri ke dalam mesin pemecah melalui *hooper* secara bersamaan. Biji kemiri yang seharusnya tidak pecah saat membentur dinding pemecah mengalami pecah cangkang disebabkan adanya benturan berulang ketika membentur biji kemiri lain dan juga dinding pemecah setelah benturan pertama pada dinding pemecah.

Kriteria hasil pemecahan biji kemiri berikutnya adalah biji utuh, menurut Razak (2015) inti utuh merupakan inti hasil pemecahan yang utuh, tidak lengket pada cangkang, tidak pecah sebagian dan tidak hancur. Besarnya gaya dan energi kinetik untuk menghasilkan inti utuh optimum pada pemecahan kemiri adalah sebesar 0,9644 N dan 0,4776 Joule, setara dengan gaya dan energi kinetik yang dihasilkan pada kemiri yang dijatuhkan dari ketinggian lima meter (Suherdian 2021). Jumlah biji utuh paling banyak terjadi pada percobaan kecepatan putar 338 rpm. Hal ini sudah sesuai dengan analisis perhitungan yang dilakukan sebelumnya. Walaupun nilai kecepatan hasil perhitungan yang sebenarnya adalah sebesar 337,85 rpm, namun kecepatan putar 338 rpm ini

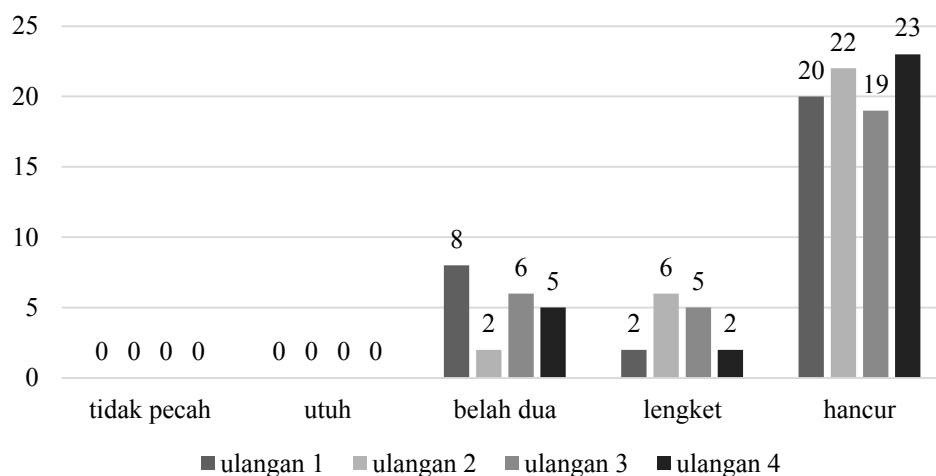
dipilih karena dianggap nilai yang paling mendekati nilai kecepatan acuan hasil perhitungan (Tabel 9). Pada percobaan dengan kecepatan 338 rpm diperoleh hasil biji utuh akibat pemecahan total sebanyak 18 biji. Hal ini dikarenakan nilai momentum, gaya dan energi pada kecepatan 338 rpm memiliki nilai yang paling optimum dibanding nilai kecepatan yang lainnya. Jumlah ini merupakan jumlah yang paling besar untuk semua perlakuan dibandingkan dengan kedua perlakuan kecepatan putar lainnya. Total 1 biji utuh dihasilkan pada kecepatan putar 268 rpm. Sedangkan pada kecepatan putar 400 rpm tidak dihasilkan biji utuh sama sekali. Tidak adanya hasil biji utuh pada kecepatan 400 rpm diakibatkan oleh adanya benturan berulang antar kemiri. Selain itu, juga diakibatkan oleh besar kecepatan putar yang melebihi kecepatan optimum. Sehingga menghasilkan benturan yang lebih besar dari benturan optimum.

Biji inti belah dua menurut Razak (2015) adalah inti hasil pecahan yang pecah menjadi dua bagian (terbelah dua) dan tidak lengket pada cangkang kemiri. Pada percobaan yang telah dilakukan, terdapat total 21 biji belah dua hasil pemecahan pada kecepatan 400 rpm. Total 26 biji belah dua pada kecepatan 388 rpm dan total 45 biji belah dua pada kecepatan 268 rpm. Berdasarkan nilai hasil percobaan, semakin besar kecepatan putar, semakin sedikit biji belah dua yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan semakin besar kecepatan putar maka benturan yang dihasilkan juga semakin besar. Sebaliknya semakin kecil kecepatan putar maka benturan yang dihasilkan semakin kecil. Benturan yang lebih kecil dialami oleh biji kemiri dengan kecepatan putar yang kecil. Sehingga akibat yang ditimbulkan oleh benturan yang terjadi antara biji kemiri dan dinding pemecah tidak sampai membuat biji kemiri hancur, tetapi hanya terbelah dua.

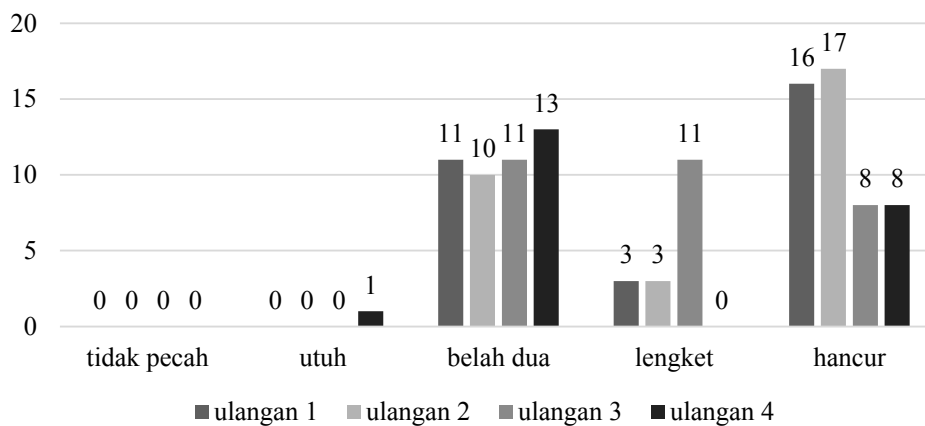
Sebaliknya hal yang berbeda terjadi pada hasil pemecahan biji inti lengket, dimana semakin besar kecepatan putar maka semakin kecil biji inti lengket yang dihasilkan. Biji inti lengket merupakan inti kemiri yang setelah pemecahan masih melekat pada cangkang (Razak 2015). Hal tersebut dilihat dari hasil percobaan di ketiga kecepatan putar. Pada percobaan dengan menggunakan kecepatan putar 400 rpm dihasilkan 15 biji lengket. Kemudian pada percobaan kecepatan putar 338 rpm dihasilkan 19 biji lengket dan pada percobaan kecepatan putar 268 rpm dihasilkan 25 biji lengket. Benturan antara biji kemiri dan dinding pemecah yang dihasilkan oleh kecepatan putar yang lebih kecil dibanding kecepatan putar optimum tidak mampu memisahkan antara biji dan cangkang kemiri. Sehingga masih terdapat biji kemiri lengket setelah pemecahan. Sebaliknya kecepatan putar yang lebih tinggi dari kecepatan putar optimum menyebabkan adanya benturan yang lebih besar antara biji kemiri dan dinding pemecah, sehingga dengan momentum yang lebih besar tersebut dihasilkan biji kemiri dengan inti lengket yang lebih sedikit.

Biji kemiri lebih banyak hancur akibat benturan yang terjadi antara kemiri dan dinding pemecah diakibatkan kecepatan putar yang lebih tinggi dari kecepatan putar optimum. Menurut Razak (2015), biji inti hancur merupakan inti hasil pecahan yang terpecah lebih dari dua bagian dengan bentuk yang tidak teratur dan tidak lengket pada cangkang. Pada percobaan dengan menggunakan kecepatan 400 rpm dihasilkan biji hancur sebanyak 84 biji. Hal ini dikarenakan kecepatan putar mesin pemecah yang tinggi, sehingga biji kemiri terlepas dari pelontar/ impeller dengan kecepatan tinggi dan mengenai dinding pemecah dengan kecepatan yang tinggi. Akibatnya benturan yang dialami oleh kemiri dan dinding pemecah menjadi lebih besar. Menurut Suherdian (2021) berdasarkan pengukuran akibat gaya gerak jatuh bebas dengan rata-rata massa kemiri 9,74 g, momentum optimum pada pemecahan cangkang biji kemiri agar hasil pemecahan optimum adalah sebesar 0,0964 kg m/s setara dengan penjatuhan kemiri pada ketinggian lima meter. Artinya kecepatan serta momentum yang ditimbulkan pada kecepatan putar 400 rpm lebih besar sehingga terjadi *crack* yang berlebihan pada cangkang kemiri. Kemudian pada percobaan dengan menggunakan kecepatan putar 338 rpm dan kecepatan putar 268 rpm dihasilkan biji hancur yang sama sebanyak 49 biji. Berdasarkan hasil percobaan di atas, semakin besar kecepatan putar yang digunakan maka semakin besar potensi terjadinya hasil biji hancur setelah pemecahan. Selain

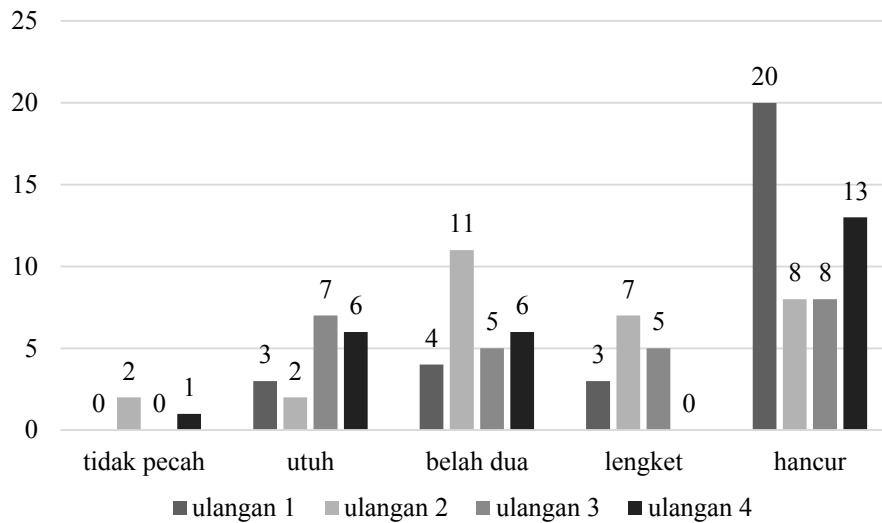
pengaruh kecepatan dan benturan yang dihasilkan oleh kecepatan tersebut, banyaknya biji kemiri yang hancur setelah proses pemecahan diakibatkan adanya benturan berulang antar kemiri setelah benturan pertama dengan dinding pemecah. Total biji hancur dari ketiga variasi kecepatan putar mencapai 51,27%. Sebaiknya dilakukan penjatuhan secara teratur pada masing-masing kemiri disaat proses pemecahan biji kemiri untuk mencegah terjadinya benturan berulang pada kemiri. Perancangan mesin baru menggunakan prinsip gaya jatuh gravitasi dengan pemberian kecepatan awal dan pergiliran penjatuhan kemiri juga merupakan salah satu solusi untuk mengurangi benturan berulang antar kemiri dalam peningkatan produktivitas dan mutu hasil pemecahan kemiri. Gambar 13 bBerikut adalah gambar diagram hasil percobaan pemecahan biji kemiri pada masing-masing kecepatan putar.



Gambar 13 Grafik hasil uji pemecahan cangkang biji kemiri dengan kecepatan 400 rpm



Gambar 14. Grafik hasil uji pemecahan cangkang biji kemiri dengan kecepatan 278 rpm



Gambar 15. Grafik hasil uji pemecahan cangkang biji kemiri dengan kecepatan 388 rpms

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Pemecahan cangkang biji kemiri dengan menggunakan mesin pemecah cangkang biji kemiri berdasarkan optimasi kecepatan putar telah berhasil dilakukan. Hasil terbanyak biji utuh setelah pemecahan dihasilkan pada percobaan dengan menggunakan kecepatan putar 338 rpm. Hal ini telah sesuai dengan hasil perhitungan kecepatan optimum pemecahan kemiri dimana berdasarkan hasil percobaan gaya jatuh bebas biji kemiri, dihasilkan biji utuh maksimum pada percobaan penjatuhan kemiri dari ketinggian 5 meter yaitu setara dengan kemiri yang dipecahkan dengan menggunakan kecepatan sudut sebesar 337,88 rpm atau 338 rpm. Namun hasil percobaan ini belum memperoleh hasil yang maksimal dikarenakan adanya faktor benturan berulang antar sesama kemiri dan dinding pemecah setelah benturan pertama dengan dinding pemecah yang mengakibatkan banyaknya biji kemiri yang hancur. Total biji hancur dari ketiga variasi kecepatan sudut mencapai 51,27%.

4.3. Saran

Sebaiknya dilakukan penjatuhan secara teratur pada masing-masing kemiri disaat proses pemecahan biji kemiri untuk mencegah terjadinya benturan berulang pada kemiri. Perancangan mesin baru menggunakan prinsip gaya jatuh gravitasi dengan pemberian kecepatan awal juga merupakan salah satu solusi untuk mengurangi benturan berulang antar kemiri serta meningkatkan produktivitas dan mutu hasil pemecahan kemiri.

Daftar Pustaka

- Alonso, Marcelo, Edward J, Finn. 1992. *Dasar-dasar Fisika Universitas*. Jakarta. Penerbit Erlangga.
- Argo BD, Sumardi HS, Asdin. 2018. Pengaruh metode pengeringan terhadap karakteristik kupasan kemiri (*Aleurites moluccana*.L Willd). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosististem*. 4(2):103–109.
- Bonisoli E, Delprete C, Sesana R, Tamburro A, Tornincasa S. 2015. Testing and simulation of the three bending anisotropic behaviour of hazelnut shells. *Journal of Biosystems Engineering*. 129(1):134-141.
- Braga GC, Couto SM, Hara T, Neto JTPA. 1999. Mechanical behaviour of macadamia nut under

- compression loading. *Journal of Agricultural Engineering*. 72(1):239-245
- [BSN] Badan Standardisasi Nasional. 1998. *SNI 01-1684-1998*. Kemiri. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Darmawan S, Kurniadi R. 2007. Studi pengusaha kemiri di Flores NTT dan Lombok NTB. *Info Sosial Ekonomi*. 7(2):117-129.
- [Deptan] Departemen Pertanian. 2006. *Pedoman Budidaya Kemiri (Aleurites moluccana Willd)*. Jakarta (ID): Direktorat jenderal perkebunan
- Delprete C, Sesana R. 2014. Mechanical characterization of kernel and shell of hazelnut: Proposal of an experimental procedure. *Journal of Food Engineering*. 124(1):28-34.
- Desriani, et al. [tahun terbit tidak diketahui]. Pembuatan set eksperimen gerak jatuh bebas berbasis mikrokontroler dengan tampilan pc. *Jurnal Saintek*. (1): 84-95
- Elevitch CR, Manner HI. 2006. *Aleurites Moluccana (kukui.) Species Profiles for Pacific Island Agroforestry*. Hawai (HI): Permanent Agriculture Resources (PAR)
- Giancolli, Douglas C. 2001. *Fisika Jilid 2 Edisi ke-5*. Jakarta : Erlangga.
- Karaj S, Muller J. 2009. Determination of physical, mechanical and chemical properties of seeds and kernels of *Jathropa curcas* L. *Journal of Industrial Crops and Products*. 32(1):129-138
- Ketaren S. 2008. *Minyak dan Lemak Pangan*. Cetakan Pertama. Jakarta (ID): Universitas Indonesia Press
- Koyuncu MA, Ekinci K, Savran E. 2004. Cracking characteristic of walnut. *Journal of Biosystems Engineering*. 87(3):305-311.
- Krisnawati H, Kallio M, Kannien M. 2011. *Aleurites Moluccana (L.) Willd. Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*. Bogor (ID) : Cifor
- Ladean A. 2009. *Perancangan Pembuatan Mesin Pemecah Kemiri dengan Kapasitas 20 Kg per Jam* [skripsi]. Medan (ID): Universitas Sumatera Utara.
- Mohsenin NN. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials, Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties*. Second revised and updated edition. New York (NY): Gordon and Breach Science Publishers
- Nawawi G. 2001. *Daya dan Transmisi Alat dan Mesin Pertanian*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional
- Paimin FR. 1997. *Kemiri Budidaya dan Prospek Bisnis*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Pliestic S, Dobricevic N, Filipovic D, Gospodaric Z. 2006. Physical properties of filbert nut and kernel. *Journal of Biosystems Engineering*. 93(2):173-178.
- Razak A. 2015. Nut Cracking Efficiency in Ripple Mill [Disertasi]. Penang (MY): Universitas Sains Malaysia
- Ristiawan A. 2018. Analisis Gerak Jatuh Bebas dengan Metode *Video Based Laboratory (VBL)* Menggunakan Software Tracker, *Jurnal of Teaching and Learning Physics*. 3(2): 26-30
- Sayogo H, Hari M. 2013. Perencanaan Mekanisme Mesin Pengupas Kulit Ari Kelapa. *Jurnal Teknik Mesin*. 1(2): 362-366.
- Sinaga R. 2016. Analisis Gaya Tumbukan Pemecah Biji Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.) Sistem Riple Mill [tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Sinaga R, Wulandani D. 2016. Karakteristik Fisik dan Mekanik Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.). *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 4(1).
- Suherdian G P I. 2020. Mutu Pemecahan Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.) Pada Berbagai Suhu Dan Waktu Pengeringan [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Sunanto H. 1994. *Budidaya Kemiri Komoditas Ekspor*. Yogyakarta (ID): Kanisius.
- Sutarno. 2013. *Fisika untuk Universitas* (Sutarno (ed.); 1st ed.). Graha Ilmu.
- Vursavus K, Ozguven F. 2005. Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (*Pinus Pineae*) nuts. *Journal of Food Engineering*.

- Vursavus K, Ozguven F. 2005. Some physical, mechanical and aerodynamic properties of pine (Pinus Pinea) nuts. *Journal of Food Engineering*. 68(1):191-196
- Young & freedman. (2002). *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh*. Jakarta: Erlangga.
- Zarma T A, Galadima A A, Maruf A A. 2019. Review of Motor for Electrical Vehicles. *Journal of Scientific Research and Report*