

PENGARUH MODIFIKASI JUMLAH ALUR DAN KECEPATAN PUTAR ROTOR BAR TERHADAP PRODUKTIVITAS DAN HASIL MESIN PEMECAH KEMIRI SISTEM *RIPPLE MILL*

Robert Sinaga¹⁾, Julieta Christy²⁾, Donatus Dahang³⁾, Riduan Sembiring⁴⁾, Swati Sembiring⁵⁾, Seringena Br Karo⁶⁾, Daniel Gea⁷⁾, Relius Buulolo⁸⁾

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾ Dosen Prodi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Quality

⁶⁾ Dosen Prodi Agribisnis Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Quality Berastagi

⁷⁾⁸⁾ Mahasiswa Prodi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Quality

Email : robertsinaga89@gmail.com

Abstrak

Diperlukan pengetahuan lanjutan dalam hal alat dan mesin pemecah kemiri untuk mendapatkan daging biji kemiri utuh yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi rotor bar pada mesin pemecah kemiri dengan sistem *ripple mill*. Metode penelitian yang digunakan adalah rekayasa atau modifikasi baik dalam bentuk proses maupun produk. Jumlah alur pada rotor bar dimodifikasi menjadi 2, 4 dan 6 alur. Kecepatan putar rotor bar divariasikan menjadi 15 rpm, 18,75 dan 25 rpm. Jumlah alur memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kapasitas alat, daging biji utuh, daging biji hancur, daging biji lengket dan biji tidak pecah. Kecepatan putar rotor bar memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kapasitas alat, daging biji kemiri hancur dan daging biji lengket, serta memberikan pengaruh berbeda tidak nyata terhadap daging biji utuh dan daging biji hancur. Interaksi antara jumlah alur dan kecepatan putar rotor bar memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kapasitas alat dan daging biji kemiri lengket, serta memberikan pengaruh berbeda tidak nyata terhadap daging biji utuh, daging biji hancur dan persentase biji yang tidak pecah.

Kata kunci: kemiri utuh, ripple mill, rotor bar

Abstract

Advanced knowledge of candlenut deshelling machine is needed to obtain optimal whole round kernel. The objective of this study was to modify the rotor bar on a candlenut deshelling machine with a ripple mill system. The method was engineering or modification, were made in the form of processes and products. The number of grooves on the rotor bar was modified became 2, 4 and 6. Rotation speed of the rotor bar were varied to 15 rpm, 18.75 and 25 rpm. The number of grooves gave a very significant effect on the capacity of the machine, whole round kernel, broken kernel, sticky kernel and unbroken seeds. The rotational speed of the rotor bar gave a very significant effect on the capacity of the machine, broken kernel, and sticky kernel, and gave an insignificant effect on whole round kernel and broken kernel. Interaction between the number of grooves and the rotational speed of the rotor bar gave a very significant effect on the capacity of the machine and the sticky kernel and insignificant effect on the whole round kernel, crushed kernel and unbroken seeds.

Keywords: whole round candle nut, ripple mill, rotor bar

PENDAHULUAN

Biji kemiri

Penanganan pascapanen kemiri ditingkat petani umumnya masih dilakukan secara tradisional. Padahal untuk mendapatkan biji kemiri yang baik dan berkualitas harus dibarengi dengan penanganan pascapanen yang benar. Hal yang perlu diperhatikan adalah bagaimana mempertahankan kualitas kemiri itu sendiri. Sedikit saja kecerobohan dalam menanganinya dapat mengakibatkan daging kemiri hancur dan terkontaminasi cendawan. Hal ini berakibat akan menurunnya nilai jual kemiri.

Sebuah kemiri terdiri dari daging biji yang berwarna putih dan berminyak, ditutupi tempurung dan dilapisi oleh kulit luar (Tarigan *et al.* 2006). Lapisan biji menempel kuat antara kulit dan daging bijinya sehingga sulit dipisahkan. Rata-rata berat biji adalah 10 gram, dalam satu kilogram terdapat 90 sampai 110 biji kering. Perkiraan produksi benih per pohon per tahun adalah 50 sampai 150 kg biji (Bramasto dan Kurniawati, 2004).



Gambar 1. Biji dan daging biji (kernel) kemiri (Tarigan *et al.*, 2006)

Di Indonesia, tempurung kemiri (*Aleurites moluccana wild*), merupakan hasil samping pengolahan biji kemiri. Limbah pangan ini belum dimanfaatkan secara optimal. Melihat kesamaannya terhadap tempurung kelapa, tempurung kemiri diperkirakan dapat dipergunakan sebagai bahan baku pembuatan arang dan arang aktif. Dalam hal ini sifat kimianya menyerupai tempurung kelapa, teksturnya keras dan diduga memiliki kandungan bahan kayu seperti *lignin*, *selulosa* dan *hemiselulosa* yang tinggi.

Tempurung kemiri dapat terbakar pada udara terbuka sebagaimana tempurung kelapa (Reksowardjo, 1999).

Biji kemiri tergolong buah batu karena berkulit keras menyerupai tempurung dengan permukaan luar kasar berlekuk. Tempurung biji yang merupakan bagian paling keras berwarna coklat kehitaman dengan ketebalan 3 - 5 mm. Biji kemiri memiliki bentuk membulat atau limas, agak gepeng dengan salah satu ujungnya meruncing. Diameter bijinya mencapai 1,5 - 2 cm. Didalamnya terdapat daging biji berwarna putih yang kaku (Paimin, 1997).

Biji kemiri mempunyai kulit biji (tempurung atau cangkang) yang sangat keras. Tempurung ini beratnya dapat mencapai 65% - 75% dari berat biji seluruhnya dan tebal tempurung adalah 3 - 5 mm. Biji kemiri banyak digunakan oleh masyarakat untuk bumbu masak. Biji kemiri juga dapat diambil minyaknya untuk berbagai keperluan bahan industri, misalnya untuk bahan cat, pernis, sabun, obat-obatan dan kosmetik (Sunanto, 1994).

Tempurung gelondongan dikupas untuk diambil daging kemirinya. Kulit yang keras ini dikupas secara manual ataupun secara kimia - mekanis. Pengupasan dengan cara manual tidak dapat menjamin kualitas kemiri yang dihasilkan. Meskipun demikian masih banyak petani yang memilih melakukan pengupasan secara manual karena mudah dilakukan dan tidak memerlukan peralatan yang rumit. Pengupasan secara kimia - mekanis dapat menghasilkan kemiri berkualitas ekspor, baik daging maupun kandungan minyaknya. Namun pengupasan dengan cara ini memerlukan peralatan dan bahan penunjang yang lebih rumit daripada cara manual (Paimin, 1997).

Pemecahan biji kemiri dilakukan dengan cara sederhana menggunakan alat yang berasal dari kulit pelepah lontar atau kelapa bagian luar (tipis)

yang dilipat dimana sekitar 5 cm dari ujung lipatan diikat. Biji kemiri dimasukkan pada lubang pelepah yang ada diujung tersebut kemudian dipukul-pukulkan pada batu. Sebelum dipecahkan, biji kemiri dijemur dahulu selama 3 - 11 hari tergantung panasnya matahari. Pemanasan dilakukan untuk memudahkan pemecahan dan meningkatkan persentase keutuhan kemiri isi. Dengan menggunakan cara ini masyarakat rata-rata mampu memecahkan biji kemiri 9,47 kg/hari (Darmawan dan Kurniadi, 2007).

Pengeringan pendahuluan perlu dilakukan untuk mencegah rusaknya kemiri oleh cendawan atau serangga sebelum diproses lebih lanjut. Dengan menurunnya kadar air maka gelondong kemiri dapat disimpan sampai beberapa tahun sebelum digunakan atau dikupas. Pengeringan gelondong kemiri dapat dilakukan dengan cara penjemuran di panas matahari. Selesai dipanen buah dicurah di lantai penjemuran kemudian diratakan. Bila tak ada lantai penjemuran khusus, penjemuran bisa dilakukan dengan alas tikar, plastik atau karung goni sehingga gelondong tak perlu kena tanah atau kotoran. Penjemuran sebaiknya dilakukan dari jam 08.00 – 16.00 agar diperoleh pemanasan maksimal. Selama penjemuran harus diadakan pembalikan buah agar pengeringannya merata. Dalam keadaan cuaca baik, pengeringan berlangsung 3 – 4 hari (Paimin, 1997).

Daging kemiri diperoleh setelah melepaskan biji dari kulit biji yang keras. Kulit biji dapat dilepaskan dengan memanaskan buah langsung di atas api kemudian segera direndam dalam air dingin atau buah dibanting sehingga pecah, atau dapat juga dengan merebus selama 5 - 6 jam, kemudian ditumbuk. Cara tradisional lainnya ialah dengan menjemur lalu ditumbuk dan menghasilkan minyak yang berwarna pucat. Cara yang lebih mudah yaitu memanaskan dengan oven, kemudian

direndam selama satu malam dalam air dingin dan keesokan harinya biji akan pecah dengan sendirinya. Cara yang paling baik adalah dengan pemanasan 100–0 C, selanjutnya direndam dalam air dingin (Ketaren, 1986).

Pemecahan kulit biji dilakukan dengan menggunakan pengupas sederhana yaitu sebuah kantong karet seukuran biji kemiri yang diikat pada sepotong bambu yang panjangnya 30-40 cm. Biji kemiri yang sudah dijemur dimasukkan ke dalam kantong karet, kemudian dipukulkan pada sebuah batu, sehingga tempurungnya pecah dan daging biji (*kernel*) mudah diambil (Wibowo, 2007).

Di daerah Sulawesi Selatan, petani mengupas biji kemiri dengan kantong rotan yang bentuknya seperti bentuknya biji kemiri. Kantong tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga biji kemiri dapat dimasukkan dengan mudah melalui suatu lubang tetapi tidak mudah lepas. Kantong rotan tersebut diikat pada ujung tangkai kayu atau besi yang panjangnya 30 - 40 cm, kemudian biji kemiri dipukulkan pada batu sehingga tempurungnya pecah terbelah dan inti bijinya mudah diambil. Sedangkan petani di daerah Timor dan Flores mengupas biji kemiri dengan cara direbus terlebih dahulu beberapa jam, kemudian dimasukkan dalam sebuah karung goni dengan jumlah sekitar 2 kg biji kemiri. Karung goni yang berisi biji kemiri itu kemudian dipukulkan pada batu sehingga tempurungnya pecah dan dapat diambil inti bijinya (Sunanto, 1994).

Biji kemiri bahwa umumnya kuat tekanan biji kemiri berbeda-beda tergantung dari tebal cangkang yang menyelimuti daging biji kemiri dan kadar air biji kemiri. Untuk itu perlu dilakukan pemecahan biji kemiri yang sesuai dengan karakteristik biji kemiri, salah satunya adalah dengan menggunakan sebuah alat yang dibuat dari rotan yang membentuk alat

pemecahan biji kemiri (Lestari dkk, 2017).

Selain kadar air, proses lain yang memerlukan perhatian khusus yaitu tahap pemecahan tempurung biji kemiri. Diperlukan pengetahuan tentang gaya maksimal yang dapat diterima oleh biji kemiri agar tempurung dapat retak dan pecah namun tidak merusak inti (daging biji) kemiri. Besarnya gaya optimal sangat diperlukan untuk proses perancangan peralatan/mesin yang diperlukan dalam pemecahan biji kemiri agar dapat dihasilkan daging biji kemiri dalam bentuk bulat utuh (Sinaga, dkk, 2016).

Sebelum mendesain alat dan mesin untuk proses pasca panen maupun dalam pengolahan, sangat penting untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik dari komoditas pertanian (kemiri) tersebut (Sinaga, 2016). Biji kemiri memiliki bentuk membulat atau limas, agak gepeng, pada salah satu ujungnya meruncing, diameter daging biji mencapai 1,5-2 cm (Deptan, 2006).

Diperlukan pengetahuan dasar tentang besarnya energi dan gaya yang dibutuhkan pada proses pemecahan biji kemiri untuk memperoleh daging biji (kernel) kemiri yang berbentuk bulat dan utuh (tidak pecah dua atau hancur) (Sinaga, 2020). Beberapa metode untuk mengetahui gaya pemecahan biji-bijian yaitu dengan menjatuhkan biji dari ketinggian tertentu dan menjatuhkan sebuah benda dari ketinggian tertentu sampai mengenai biji. Hal ini untuk mengetahui besarnya momentum, energi kinetik dan gaya yang dibutuhkan sehingga biji pecah (Mohsenin, 1986).

Mutu hasil kupasan biji kemiri

Persentase berat buah kemiri antara kulit dengan inti adalah 60% berat inti dan 40% berat kulit. Dari persentase ini dapat dilihat kualitas hasil kupasan kemiri yaitu kualitas nomor 1 (inti utuh), kualitas nomor 2 (inti pecah dua), kualitas nomor 3 (inti pecah-

pecah). Kemiri dengan kualitas nomor 1 (inti utuh) dijual dengan harga lebih mahal daripada kemiri kualitas nomor 2 (inti pecah dua) atau kemiri kualitas nomor 3 (inti pecah-pecah) (Sunanto, 1994).

Kemiri terbaik yang mampu menembus pasar ekspor adalah kemiri top atau kemiri prima yang berisikan kernel atau daging biji utuh 100%. Kemudian ada kemiri berkualitas B yang memiliki persen utuh 70 - 80%. Kemiri kualitas B masih mampu menembus pasar ekspor walaupun harganya relatif rendah. Kemiri kualitas C mempunyai persen utuh kurang dari 20% atau bahkan hanya berisikan kernel belah atau pecah saja. Selain faktor keutuhan biji, penampilan dan kondisi biji kemiri juga menentukan layak tidaknya kemiri untuk diekspor. Kemiri layak ekspor harus memenuhi syarat utuh 100% atau minimal 70% utuh. Warna daging kemiri cerah, tidak berjamur dan tidak berbau tengik. Selain itu kadar airnya harus 7 - 13 % dan kadar minyaknya tinggi (Paimin, 1997).

Ripple mill

Berdasarkan banyaknya kebutuhan masyarakat dan industri dalam penggunaan kemiri, dirancang dan dibuat sebuah prototipe pemecah biji kemiri sistem *ripple mill* untuk membantu dan meningkatkan efisiensi proses pemecahan biji kemiri. Dimana dalam sistem ini ada dua bagian yang berperan penting pada *ripple mill* yaitu bagian *stator* yang diam dan bagian *rotor* (mempunyai alur) yang berputar untuk membawa kemiri yang akan dipecahkan.

Ripple mill merupakan pemecah *nut* (biji) untuk memisahkan *kernel* dari cangkangnya, terdapat bagian diam (*stator bar*) dan bagian yang berputar (*rotor bar*) yang memiliki alur-alur pemasukan biji kemiri yang disesuaikan dengan ukuran biji kemiri. Alur-alur ini akan membawa kemiri berputar dan menumbukkan kemiri pada dinding

stator bar yang ditempeli dengan besi bulat sebagai tumpuan untuk menggiling biji kemiri. Kecepatan putaran *rotor* sangat berpengaruh pada hasil pemecahan *nut* yang telah ditumbukkan pada dinding *stator bar* untuk menghasilkan daging biji yang utuh ataupun hancur.

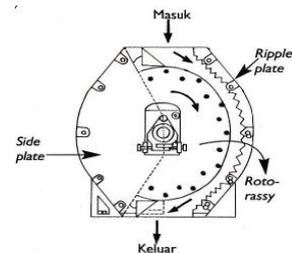
Ripple mill adalah suatu pemecah nut (biji) untuk memisahkan kernel dari cangkangnya. Alat ini terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang diam (*stator bar*) dan bagian yang berputar (*rotor bar*). Pada bagian rotor bar terdapat alur-alur pemasukan biji kemiri yang disesuaikan dengan ukuran biji kemiri. Alur-alur ini akan membawa biji kemiri berputar dan menumbukkan kemiri pada dinding *stator bar* yang ditempeli dengan besi bulat sebagai tumpuan untuk menggiling biji kemiri. Kecepatan putaran rotor sangat berpengaruh pada hasil pemecahan nut yang telah ditumbukkan pada dinding *stator bar* untuk menghasilkan daging biji yang bulat utuh ataupun hancur.

Ripple mill adalah pemecah nut sehingga kernel terpisah dari cangkangnya. *Ripple mill* terdiri dari rotor bar dan *stator bar*. Nut akan masuk ke *ripple mill* di antara rotor dan *stator*, karena putaran, maka nut akan pecah. Hal-hal yang perlu diperhatikan :

1. Jarak antara *stator* dan rotor. Apabila jarak tidak diatur maka nut yang masuk akan tidak terpecahkan karena nut yang berukuran kecil akan memasuki ruang besar pada *ripple mill* dan sebaliknya nut besar memasuki ruang yang kecil sehingga banyak terjadi broken kernel.
2. Kecepatan rotor. Kecepatan putaran berpengaruh terhadap hasil pemecahan nut. Semakin tinggi putaran, semakin tinggi kapasitas, tetapi semakin tinggi pula broken kernel.

Menurut Pahan (2008) hal-hal yang perlu diperhatikan dalam desain dan rancang bangun *ripple mill* yaitu:

1. Jarak antara *stator* dan rotor. Apabila jarak tidak diatur maka *nut* yang masuk akan tidak terpecahkan karena *nut* yang berukuran kecil akan memasuki ruang besar pada *ripple mill* dan sebaliknya *nut* besar memasuki ruang yang kecil sehingga banyak terjadi *broken kernel*.
2. Kecepatan rotor. Kecepatan putaran berpengaruh terhadap hasil pemecahan *nut*. Semakin tinggi putaran, semakin tinggi kapasitas, tetapi semakin tinggi pula *broken kernel*.

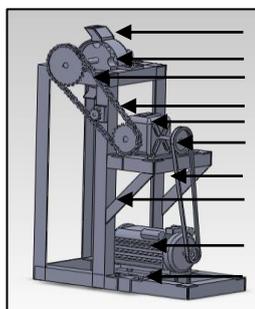


Gambar 2. *Ripple mill* pada pabrik kelapa sawit (Pahan 2008)

Saat ini ada dua jenis pemecah biji pada pabrik kelapa sawit (PKS) yaitu *nut cracker* model rotor vertikal dan *nut cracker* model rotor horizontal (*ripple mill*). Pada *nut cracker* model horizontal, biji seakan dikupas pada suatu *stator* bergerigi ketika rotor berputar menggerakkan biji-bijian tersebut sehingga mengakibatkan biji terpecah (Pahan 2008). *Ripple mill* terdiri atas dua bagian yaitu *rotating rotor* dan *ripple plate*. Mekanisme pemecahan biji berbeda dari *nut cracker*, yaitu menekan biji dengan rotor pada dinding bergerigi dan menyebabkan pecahnya biji. Efisiensi pemecahan biji dipengaruhi kecepatan putar rotor sebagai resultan gaya, jarak antara rotor dan plat bergerigi dan ketajaman gerigi plat disusun sedemikian rupa sehingga berperan sebagai penahan dan pemecah biji (Naibaho 1998).

Dalam proses pemecahan cangkang kemiri dengan menggunakan alat ini ada beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja alat dan mutu hasil kupasan kemiri. Faktor-faktor tersebut antara lain jenis kemiri, lama dan suhu pengeringan, lama pembekuan, lama penyimpanan kemiri, kecepatan putar rotor bar dan jumlah alur yang digunakan pada *ripple mill*.

Pemilihan metode *ripple mill* pada pemecahan biji dikarenakan biji kemiri memiliki tempurung yang keras dan bersifat getas (*brittle*), sehingga alternatif gaya yang dipilih dalam memecah tempurung biji kemiri yaitu kombinasi gaya gesek dan gaya tekan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Sunanto (1994) bahwa gaya gesek yang diberikan tidak dibatasi besarnya karena gaya ini bekerja pada kulit dan tidak merusak daging biji, sedangkan gaya tekan perlu dibatasi atau dijaga agar jangan sampai merusak daging biji kemiri karena arah tekanan ke dalam.



- Keterangan
1. *Hopper*
 2. *Ripple mill*
 3. Sproket
 4. Rantai
 5. *Gear box*
 6. Puli
 7. Sabuk
 8. Rangka
 9. Motor listrik
 10. Baut dan mur

Gambar 3. Desain prototipe pemecah biji kemiri

Bagian-bagian utama pemecah biji kemiri adalah sebagai berikut :

- a) Rangka, berfungsi menopang semua unit pemecah kemiri
- b) *Hopper* berfungsi menampung dan sebagai saluran masuknya biji kemiri untuk dialirkan ke bagian *ripple mill*
- c) Rotor bar berfungsi sebagai bagian pemecah biji kemiri.
- d) Dinding stator berfungsi sebagai bantalan untuk pemecah kemiri.

- e) Motor listrik (elektromotor) berfungsi sebagai sumber daya atau tenaga untuk memutar *ripple mill*.
- f) Sabuk dan puli, transmisi sabuk dan puli berfungsi mentransmisikan daya dari motor listrik ke bagian *gear box*
- g) *Gear box* berfungsi mereduksi kecepatan putaran yang dihasilkan dari motor listrik yang akan ditransmisikan ke bagian *ripple mill*
- h) Rantai dan sproket, berfungsi mentransmisikan tenaga dari *gear box* ke bagian *ripple mill*

Pengupasan tempurung biji kemiri dengan sistem lempar atau menggunakan impeller kurang sesuai dengan sifat biji kemiri yang memiliki daging biji lunak. Penggunaan metode lempar akan menghasilkan daging biji yang baik jika gaya lempar yang diberikan sesuai dengan besarnya gaya tumbukan maksimum yang mampu diterima oleh tempurung biji untuk pecah. Namun jika tempurung biji sudah pecah pada lemparan (tumbukan) pertama dan masih ada benturan kedua atau berikutnya maka akan mengakibatkan daging biji hancur. Prinsip pemecahan biji kemiri membutuhkan hanya sekali tumbukan atau hentakan untuk memecah tempurung biji.

Prototipe instrumentasi pemecah memiliki bagian rangka sebagai penopang semua unit; *hopper* sebagai penampung masuknya biji kemiri, *ripple mill* terdiri dari rotor bermassa 3.5 kg memiliki celah untuk membawa kemiri dan bagian stator sebagai dinding tumbukan kemiri yang dibawa oleh rotor; motor listrik 0.5 HP sebagai sumber daya, sabuk tipe A dan puli untuk transmisi gaya; *gear box* 40:1 untuk mereduksi kecepatan putaran dari motor listrik ke *ripple mill*; sproket dan rantai mentransmisikan gaya dari *gear box* ke rotor.

Pemecah kemiri sistem *ripple mill* terinspirasi dari pemecah biji kelapa sawit model *rotor horizontal* yakni biji akan dikupas pada suatu stator yang bergerigi ketika rotor berputar membawa biji untuk ditekan dan digesek pada *ripple plate*. Pemecahan biji terjadi akibat resultan gaya tekan dan gaya gesek yang diterima oleh biji. Prototipe mesin pemecah kemiri dirancang untuk dapat digunakan sebagai alat uji pemecah biji kemiri.

Pemecahan biji kemiri dilakukan secara kontinyu dengan menggunakan sabuk dan puli untuk mentransmisikan daya dari motor ke *gear box (speed reducer)* dan menggunakan sproket serta rantai untuk mentransmisikan daya dari *gear box* ke bagian *ripple mill*. Alat bekerja secara mekanis yang digerakkan oleh motor listrik untuk mentransmisikan daya ke *ripple mill*. Desain awal pemecah kemiri yang dirancang adalah pemecah kemiri sistem *ripple mill* seperti dalam gambar desain berikut.



Gambar 4. Rangka dan pemecah biji kemiri sistem *ripple mill*

Maka penulis mengadakan penelitian tentang uji kecepatan putar rotor bar dan jumlah alur *ripple mill* pada pemecah ini untuk melihat dan mengamati kinerja alat serta mutu hasil kupasan kemiri yang dihasilkan.

Jumlah alur penampung biji pada mesin pemecah kemiri dengan sistem *ripple mill* sebanyak 2 jalur masih sangat kurang efisien dalam produktivitas mesin, sehingga diperlukan modifikasi jumlah alur pada rotor bar. Oleh karena itu diperlukan

desain dan rancangan yang baru untuk memaksimalkan kinerja mesin pemecah kemiri sistem *ripple mill*.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah mendesain modifikasi rotor bar pada *ripple mill* mesin pemecah kemiri, membuat rancang bangun (pabrikasi) *ripple mill* hasil modifikasi, menghasilkan luaran berupa rotor bar *ripple mill*. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat peningkatan produktivitas kinerja mesin pemecah kemiri.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan selama 3 bulan dari bulan Oktober sampai Desember 2021, mulai pencarian informasi, penyusunan proposal penelitian merancang dan menggambar desain *ripple mill*, mempersiapkan alat dan bahan, mendesain rotor bar pada *ripple mill*, rancang bangun (pabrikasi) *ripple mill*, sampai penyusunan laporan hasil penelitian dan publikasi jurnal. Lokasi penelitian adalah Universitas Quality Medan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah jangka sorong (kaliper) mekanik XP dan jangka sorong digital *Nankai* tingkat ketelitian 0.01 mm, timbangan digital *ae ADAM PW 184* beban maksimal 180 g dan tingkat ketelitian 0.0001 g, kalkulator, prototipe mesin pemecah kemiri, stopwatch, alat tulis, perangkat laptop dengan software *Microsoft Office 2019* dan *Solidwork 2013*, pensil, penggaris, bor listrik, mesin gerinda, gergaji besi.

Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian adalah biji kemiri (*Aleurites molucana*) dari Desa Lan Juhar Kecamatan Tanah Pinem Kabupaten Dairi, roda gigi dengan diameter 3 inci, *ripple mill* dengan jumlah alur 2, 4 dan 6. Sedaangkan untuk memvariasikan kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* digunakan roda gigi 3, 4 dan 5 inci. Penelitian

menggunakan model penelitian rancangan acak lengkap dengan 2 faktor.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan model penelitian Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial yang terdiri dari 2 faktor yaitu kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* (R), dengan tiga taraf perlakuan R1 = 15 rpm, R2 = 18,75 rpm, R3 = 25 rpm. Faktor kedua yaitu jumlah alur pada *ripple mill* (A), dengan tiga taraf perlakuan A1 = 2 alur, A2 = 4 alur dan A3 = 6 alur. Kombinasi perlakuan adalah 3 x 3 = 9, maka jumlah ulangan minimum adalah 3 kali. Kombinasi perlakuan sebagai berikut :

A1R1	A2R1	A3R1
A1R2	A2R2	A3R2
A1R3	A2R3	A3R3

Model Rancangan Penelitian yang dibangun adalah

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Keterangan :

Y_{ijk} = Hasil pengamatan dari faktor jumlah alur pada *ripple mill* (A) pada taraf ke-i dan faktor kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* (R) pada taraf ke-j dan ulangan ke-k

μ = Efek nilai tengah

α_i = Efek dari faktor jumlah alur pada *ripple mill* (A) pada taraf ke-i

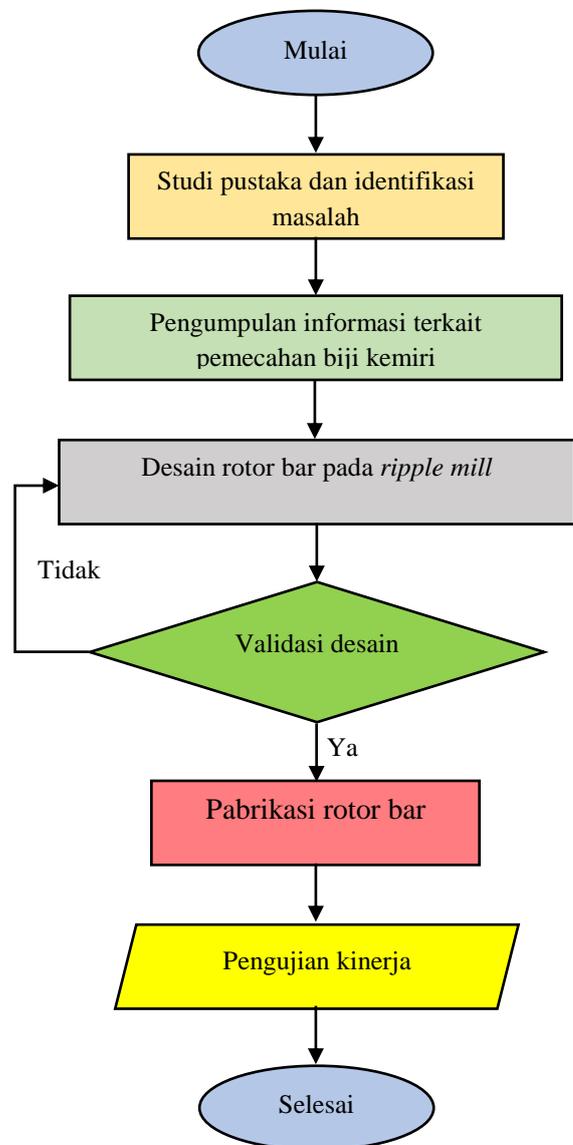
β_j = Efek dari faktor kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* (R) pada taraf ke-j

$(\alpha\beta)_{ij}$ = Efek interaksi dari faktor jumlah alur pada *ripple mill* (A) pada taraf ke-i dengan faktor kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* (R) pada taraf ke-j

ϵ_{ijk} = Efek galat dari faktor jumlah alur pada *ripple mill* (A) pada taraf ke-i dengan faktor kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* (R) pada taraf ke-j dengan ulangan ke-k

Penelitian dilakukan dengan cara pengujian kecepatan putar rotor bar dan jumlah alur *ripple mill* pada pemecah biji kemiri. Selanjutnya dicari data pengamatan pengujian alat. Setelah itu dilakukan pengujian dan pengamatan terhadap parameter yaitu kapasitas efektif alat, mutu hasil kupasan (daging biji kemiri bulat utuh, daging biji hancur, daging biji lengket dan biji kemiri tidak pecah).

DIAGRAM ALIR PENELITIAN



Gambar 5. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran diameter biji kemiri

Diukur diameter biji kemiri sebanyak 50 biji kemiri dan kemudian ditimbang massanya. Diameter biji kemiri pada intersep A berkisar antara 30 sampai 36 mm dengan rata-rata 32.35 mm, intersep B berkisar antara 26 sampai 29 mm dengan rata-rata 27.05 mm dan intersep C berkisar antara 21 mm sampai 23 mm dengan rata-rata 22.23 mm. Diameter intersep A, B dan C masing-masing memiliki panjang berbeda dimana diameter vertikal lebih panjang daripada diameter horizontal dan berbentuk mengecil serta meruncing ke arah ujung bagian atas. Hal ini sesuai dengan pernyataan Carcel et al. (2012) mengatakan diukur dimensi 50 biji cemara pada setiap tingkat kadar air menggunakan mikrometer elektronik Mitutoyo dengan tingkat ketelitian 0.01 mm dan kemudian ditimbang massanya.



Gambar 6. Pengukuran Diameter Kemiri dengan Jangka Sorong

Analisis kebulatan kemiri didasarkan pada sifat isoperimetrik bola, melalui didapatkan nilai kebulatan kemiri berkisar antara 0.87-0.93 dengan rata-rata 0.89. Kemiri tidak memiliki sifat isoperimetrik bola dengan panjang diameter sama pada setiap sisinya. Bentuk bahan semakin mendekati bentuk bola bila nilai kebulatan adalah 1 atau mendekati 1. Hal ini sesuai dengan pernyataan Carcel et al. (2012) bahwa kebulatan adalah perbandingan diameter

rata-rata geometri dengan diameter terpanjang,

Dimensi biji kemiri merupakan acuan dasar modifikasi ukuran celah bagian *rotor bar* pada pemecah kemiri sistem *ripple mill*. Celah rotor dibuat berbentuk setengah lingkaran dengan diameter celah 34.00 mm (intersep A) dan kedalaman celah 23.00 mm (intersep C), kemudian diatur jarak antara puncak *ripple plate* dengan puncak celah rotor 5 – 10 mm agar biji kemiri yang memiliki ukuran yang berbeda dapat masuk ke dalam celah rotor dan dapat dihentakkan pada *ripple plate*. Hal ini didukung penelitian Carcel et al. (2012) yang mengatakan elastisitas akan menurun dengan semakin bertambahnya kadar air. Oleh karena itu penempatan posisi untuk pemecahan kemiri akan dilakukan pada posisi intersep B atau C. Pemilihan posisi ini juga akan mengurangi kemungkinan daging biji kemiri pecah dua (terbelah) atau hancur.

Perancangan modifikasi rotor bar

Pada perancangan pemecah biji kemiri, bagian terpenting adalah *rotating rotor (rotor bar)* dan *stationary ripple plate*. Rotor yang berputar memiliki celah (alur) sebagai tempat penampungan biji. Kombinasi gaya tekan dan gaya gesekan diberikan pada tempurung biji kemiri ketika biji masuk ke celah rotor dan dibawa berputar lalu ditumbukkan pada *ripple plate*.

Dibuat tiga bagian *ripple plate* dimana diameter ukuran *ripple plate* yang ketiga lebih besar daripada bagian yang pertama atau kedua. Hal ini dimaksudkan agar biji kemiri yang berukuran lebih besar akan langsung ditumbukkan pada dinding stator yang pertama, dan jika ukuran biji kemiri lebih kecil dan tidak tertumbuk pada *ripple plate* pertama maka akan ditumbukkan pada kedua atau ketiga.

Penekanan dengan posisi intersep A memiliki kekuatan maksimum

terbesar dalam menahan beban yang diberikan (*rupture force*) sampai tingkat kadar air 8% bk. Hal ini sesuai dengan literatur Bonisoli et al. (2015) yang mengatakan pada tempurung, serat berada sejajar pada sepanjang arah intersep A. Dibutuhkan gaya dua kali lebih besar untuk memotong dengan arah tegak lurus serat, sedangkan deformasi adalah 30% lebih kecil.

Hal ini juga sesuai literatur Bonisoli et al. (2015) bahwa tempurung biji sangat jelas memiliki tahanan lebih besar pada arah sama dengan serat (A). Penempatan posisi untuk pemecahan tempurung biji dilakukan pada posisi intersep B dan C dimana kekuatan maksimum diterima lebih kecil untuk mencapai titik patahan (*rupture point*).

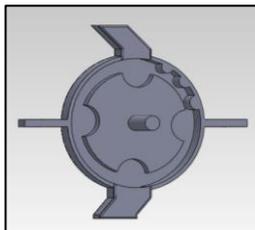
Desain awal rotor bar dengan 2 alur



Gambar 7. Rotor Bar dengan 2 Alur

Desain akhir rotor bar pada pemecah kemiri sistem *ripple mil*

Dalam tahap gambar, desain dan studi literatur maka desain awal rotor bar pada pemecah kemiri sistem *ripple mill* berubah menjadi seperti dalam gambar desain berikut.



Gambar 8. Desain *Ripple mill*

Pabrikasi modifikasi rotor bar

Pemecah kemiri sistem *ripple mill* yang dibuat adalah pemecah kemiri sistem *ripple mill* dengan 4 alur pada rotor bar.



Gambar 9. Peralatan dan proses pabrikasi rotor bar pada *ripple mill*

Dari penelitian yang telah dilakukan secara umum jumlah alur pada *ripple mill* memberikan pengaruh terhadap kapasitas kerja alat, daging biji utuh, daging biji hancur, daging biji lengket dan biji kemiri tidak pecah.



Gambar 10. Rotor bar dengan 2, 4 dan alur disesuaikan dengan diameter biji kemiri



Gambar 11. Roda gigi pada *ripple mill* dengan diameter 3, 4 dan 5 inci

Pengujian pemecah kemiri dengan variasi jumlah alur pada rotor bar

Dari penelitian yang telah dilakukan secara umum jumlah alur pada *ripple mill* memberikan pengaruh terhadap kapasitas kerja alat, inti utuh, inti hancur, inti lengket dan biji kemiri tidak pecah.

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa pada setiap jumlah alur *ripple mill* menunjukkan perbedaan kapasitas alat, inti lengket dan biji kemiri tidak pecah. Kapasitas kerja tertinggi diperoleh pada jumlah alur 6 (A3) dan terendah pada jumlah alur 2 (A1). Untuk inti utuh tertinggi diperoleh pada jumlah alur 4 (A2) dan terendah pada jumlah alur 2 (A1). Untuk inti hancur tertinggi diperoleh pada jumlah alur 6 (A3) dan terendah pada jumlah alur 4 (A2).

Tabel 1. Pengaruh jumlah alur rotor bar pada *ripple mill* terhadap parameter yang diamati.

Jumlah alur	Kapasitas kerja mesin (kg/jam)	Daging biji utuh (gr)	Daging biji hancur (gr)	Daging biji lengket (gr)	Kemiri terlewat (%)
2	28,05	196,89	219,44	320,44	6,67
4	45,08	249,70	191,11	223,33	4,83
6	52,55	250,85	235,22	220,52	15,65

Untuk inti lengket tertinggi diperoleh pada jumlah alur 2 (A1) dan terendah pada jumlah alur 6 (A3). Persentase biji kemiri tidak pecah tertinggi diperoleh pada jumlah alur 6 (A3) dan terendah pada jumlah alur 2 (A1). Jumlah alur pada *ripple mill* yang banyak menyebabkan semakin besarnya kapasitas penampungan biji kemiri yang masuk ke dalam alat sehingga kapasitas kerja alat semakin besar.

Pengujian pemecah kemiri dengan variasi kecepatan putar rotor bar

Kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* memberikan pengaruh terhadap kapasitas kerja alat, inti utuh, inti hancur, inti lengket dan biji tidak pecah (biji kemiri terlewat).

Tabel 2. Pengaruh kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* (R) terhadap parameter yang diamati.

Kecepatan putar rotor bar	Kapasitas kerja alat (kg/jam)	Daging biji utuh (gr)	Daging biji hancur (gr)	Daging biji lengket (gr)	Biji kemiri tidak pecah (%)
R1	45.77	237.22	218.89	290.00	5.83
R2	39.22	222.78	202.78	319.44	16.17
R3	34.74	216.67	211.11	230.00	12.72

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada setiap kecepatan putar rotor bar menunjukkan perbedaan kapasitas kerja alat dan inti utuh. Kapasitas tertinggi diperoleh pada kecepatan putar rotor bar R1 dan terendah diperoleh pada kecepatan putar rotor bar R3. Inti utuh tertinggi diperoleh pada kecepatan putar rotor bar R1 dan terendah diperoleh pada kecepatan putar rotor bar R3. Untuk inti hancur tertinggi diperoleh pada kecepatan putar rotor bar R1 dan terendah pada kecepatan putar rotor bar R2. Untuk inti lengket tertinggi diperoleh pada kecepatan putar rotor bar R2 dan terendah pada kecepatan putar rotor bar R3. Untuk persentase buah tidak pecah tertinggi diperoleh pada kecepatan putar rotor bar R2 dan terendah pada kecepatan putar rotor bar R1. Kecepatan putar rotor bar yang semakin kecil menyebabkan kecepatan putaran yang tinggi sehingga kapasitas kerja alat semakin besar.



Gambar 12. Daging biji kemiri bulat utuh, hancur dan lengket

Untuk daging biji kemiri utuh tertinggi diperoleh pada jumlah alur 4 dan terendah pada jumlah alur 2. Perbedaan daging biji kemiri utuh yang dihasilkan disebabkan oleh perbedaan jumlah alur tempat (ruang) biji kemiri yang akan dipecah. Bagian pada *ripple mill* khususnya pada bagian yang berputar (*rotor bar*) dimana terdapat alur-alur sebagai ruang untuk pemecahan kemiri sangat mempengaruhi daging biji kemiri utuh. Dengan bertambahnya jumlah alur maka semakin banyak ruang bagi biji kemiri untuk dipecahkan sehingga daging biji kemiri utuh yang dihasilkan semakin banyak.

Untuk daging biji kemiri hancur tertinggi diperoleh pada jumlah alur 4 dan terendah pada jumlah alur 2. Perbedaan daging biji kemiri yang hancur ini juga sangat dipengaruhi oleh jarak (kerapatan) antara *rotor bar* (bagian yang berputar) dan *stator bar* (bagian yang diam) pada *ripple mill*, dimana semakin dekat (rapat) jarak antara *rotor bar* dan *stator bar* maka biji kemiri yang berukuran besar (diameter biji kemiri lebih besar dari 3 cm) akan hancur. Hal ini sesuai dengan literatur Anonymous (2010) yang menyatakan *ripple mill* adalah pemecah *nut* sehingga *kernel* terpisah dari cangkangnya. *Ripple mill* terdiri dari *rotor bar* dan *stator bar*. *Nut* akan masuk ke *ripple mill* di antara *rotor* dan *stator*, karena putaran maka *nut* akan pecah. Apabila jarak tidak diatur maka *nut* besar memasuki ruang yang kecil sehingga banyak terjadi *broken kernel*.

Untuk daging biji kemiri lengket tertinggi diperoleh pada jumlah alur 2

dan terendah pada jumlah alur 4. Persentase biji kemiri tidak pecah tertinggi diperoleh pada jumlah alur 4 dan terendah pada jumlah alur 2. Jumlah alur pada *ripple mill* yang banyak menyebabkan semakin besarnya kapasitas penampungan biji kemiri yang masuk ke dalam mesin sehingga kapasitas kerja semakin besar. Hal ini disebabkan karena ruang (alur) bahan yang akan dipecah semakin bertambah dengan bertambahnya jumlah alur pada *ripple mill*, sehingga daging biji kemiri lengket semakin kecil. Dengan bertambahnya jumlah alur maka daging biji lengket semakin kecil pula karena jumlah alur pada *ripple mill* berbanding terbalik dengan daging biji kemiri yang lengket pada cangkang.

Pengaruh interaksi jumlah alur dan kecepatan putar rotor bar terhadap kapasitas kerja

Tabel 3. Uji LSR efek utama pengaruh interaksi jumlah alur (A) dan kecepatan putar rotor bar (R) terhadap kapasitas kerja mesin (kg/jam).

Jarak	LSR		Perlakuan	Rataan	Notasi	
P	0.05	0.01			0.05	0.01
-	-	-	A1R1	28.05	a	A
2	4.55	6.23	A1R2	29.60	a	A
3	4.78	6.54	A1R3	29.92	a	A
4	4.91	6.55	A3R3	35.31	b	B
5	5.01	6.83	A2R1	41.63	bc	BC
6	5.08	6.93	A2R2	42.56	c	C
7	5.13	7.03	A2R1	45.12	c	C
8	5.16	7.10	A3R2	48.51	c	C
9	5.19	7.16	A3R3	68.14	d	D

Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa kapasitas kerja mesin terendah diperoleh dari kombinasi perlakuan jumlah alur adalah 2 alur (A1) dan kecepatan putar rotor bar adalah 15 rpm (R1) yaitu sebesar 28,05 kg/jam. Sedangkan untuk

kapasitas kerja mesin terbesar diperoleh dari kombinasi perlakuan jumlah alur adalah 6 alur dan kecepatan putar rotor bar 25 rpm yaitu sebesar 68,14 kg/ jam. Pada kombinasi perlakuan berikutnya dengan jumlah alur 4 dan kecepatan putar rotor bar 25 rpm, kapasitas kerja mesin sebesar 41,63 kg/jam, sehingga dapat dilihat bahwa ada perbedaan yang sangat nyata untuk perbedaan jumlah alur dan kecepatan putar rotor bar pada terhadap kapasitas kerja mesin.

Kapasitas kerja mesin terendah diperoleh dari interaksi perlakuan A1R1 dikarenakan jumlah alur sebagai ruang (rotor) pemecahan kemiri sedikit yaitu hanya 2 alur sehingga daya tampung untuk memecah kemiri tidak banyak. Disamping itu dengan penggunaan kecepatan putar rotor bar 15 rpm menghasilkan kecepatan putaran 15 rpm membuat alur tempat kemiri dipecah berputar lambat sehingga alur lama kembali pada posisi tepat masuknya bahan dari hopper. Jumlah alur yang sedikit dan kecepatan putaran rotor bar yang lambat membuat kapasitas kerja mesin rendah.

Pada hubungan interaksi jumlah alur (A) dan kecepatan putar rotor bar (R) pada *ripple mill* semakin banyak jumlah alur yang digunakan pada *ripple mill* maka daya muat bahan yang akan dipecah semakin besar sehingga kapasitas kerja semakin tinggi, demikian sebaliknya semakin sedikit jumlah alur yang digunakan maka kapasitas kerja semakin rendah. Semakin kecil kecepatan putar rotor bar yang digunakan pada *ripple mill* mengakibatkan kecepatan putaran semakin besar sehingga kapasitas kerja mesin semakin tinggi, demikian pula sebaliknya semakin besar kecepatan putar rotor bar yang digunakan pada *ripple mill* mengakibatkan kecepatan putaran semakin kecil sehingga kapasitas kerja mesin semakin kecil.

Pengaruh interaksi jumlah alur dan kecepatan putar rotor bar terhadap daging biji lengket

Tabel 4. Uji LSR efek utama pengaruh interaksi jumlah alur (A) dan kecepatan putar rotor bar (R) pada *ripple mill* terhadap daging biji lengket (gr).

Jarak	LSR		Perlakuan	Rataan	Notasi	
	F 0.05	F 0.01			F 0.05	F 0.01
-	-	-	A3R1	203.33	a	A
2	39.63	54.31	A2R3	203.33	a	A
3	41.64	56.98	A2R2	221.67	a	A
4	42.84	57.12	A3R3	226.67	a	A
5	43.64	59.52	A1R3	260.00	a	A
6	44.31	60.45	A3R2	310.00	ab	AB
7	44.71	61.25	A1R1	316.67	b	B
8	44.97	61.92	A2R1	350.00	b	B
9	45.24	62.45	A1R2	426.67	c	C

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa daging biji lengket terendah diperoleh dari kombinasi perlakuan jumlah alur pada *ripple mill* adalah 6 alur (A3) dan kecepatan putar rotor bar adalah 15 rpm (R1) yaitu sebesar 203.33 gr. Sedangkan untuk daging biji lengket terbesar diperoleh dari kombinasi perlakuan jumlah alur pada *ripple mill* adalah 2 alur (A1) dan kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* adalah 18,75 rpm (R2) yaitu sebesar 426.67 gr. Pada kombinasi perlakuan berikutnya dengan jumlah alur 2 (A1) dan kecepatan putar rotor bar 25 rpm (R3) daging biji lengket sebesar 260,00 gr.

Pada hubungan interaksi jumlah alur dan kecepatan putar rotor bar, semakin banyak jumlah alur yang digunakan pada *ripple mill* maka daging biji kemiri yang lengket pada cangkang semakin kecil, demikian pula sebaliknya.

Semakin kecil kecepatan putar rotor bar yang digunakan pada *ripple mill* mengakibatkan kecepatan putaran semakin besar maka daging biji kemiri yang lengket pada cangkang semakin kecil, demikian pula sebaliknya.

Hal lain yang sangat mempengaruhi daging biji kemiri lengket yang dihasilkan adalah proses pengeringan bahan untuk mempermudah melepas daging biji dari cangkangnya. Bila daging biji masih sulit dilepas dari cangkang dengan menggunakan tangan maka digunakan alat bantu lain yaitu batangan besi kecil atau pisau. Hal ini sesuai dengan literatur Darmawan dan Kurniadi (2007) yang menyatakan apabila masih sulit, biji kemiri diambil menggunakan ujung pisau. Sebelum dipecahkan, biji kemiri dijemur dahulu selama 3 - 11 hari tergantung panasnya matahari. Pemanasan dilakukan untuk memudahkan pemecahan dan meningkatkan persentase keutuhan daging biji kemiri.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Telah didesain dan dipabrikasi modifikasi rotor bar pada pemecah kemiri. Jumlah alur rotor bar pada *ripple mill* memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kapasitas kerja alat, daging biji utuh, daging biji hancur, daging biji lengket dan persentase biji tidak pecah. Kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kapasitas kerja alat, daging biji kemiri hancur dan daging biji lengket, serta memberikan pengaruh berbeda tidak nyata terhadap daging biji utuh dan daging biji hancur. Interaksi antara jumlah alur dan kecepatan putar rotor bar pada *ripple mill* memberikan pengaruh berbeda sangat nyata terhadap kapasitas kerja alat dan daging biji kemiri lengket, serta memberikan pengaruh berbeda tidak nyata terhadap daging biji utuh, daging

biji hancur dan persentase biji yang tidak pecah.

Saran

Untuk meminimalkan daging biji kemiri hancur perlu dideasin rotor bar dengan bahan lain, baik aluminium atau kayu yang mempunyai pegas pada alur agar daging biji kemiri yang utuh lebih banyak. Untuk meminimalkan daging biji kemiri yang lengket, perlu dilakukan pengeringan dengan oven untuk menurunkan kadar air biji kemiri sekitar 5-6%.

DAFTAR PUSTAKA

- 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*. 129:134-141.
- Carcel LM, Bon J, Acuna L, Nevares I, Alamo M, Crespo R. 2012. Moisture dependence on mechanical properties of pine nuts from *Pinus pinea* L. *Journal of Food Engineering*. 110:294-297.
- Darmawan, S dan R. Kurniadi, 2007. Studi perusahaan kemiri di Flores NTT dan Lombok NTB. *Info Sosial Ekonomi Vol 7 No. 2 Juni Hal 117-129*
- Ketaren, S., 1986. Pengantar Teknologi Minyak dan Lemak Pangan. UI Press, Jakarta.
- Lestari, I, Elfiana, Martina. 2017. Analisis Kelayakan Usaha Pengolahan Biji Kemiri Di Desa Panggoi Kecamatan Muara Dua Kota Lhoksemawe (Studi Kasus Usaha Ibu Asmiati). *Jurnal S. Pertanian 1 (2) : 125-133 (2017)*.
- Mohsenin, N.N. (1986). *Physical properties of plant and animal materials. Structure, physical characteristics and mechanical properties*. Second revised and

- updated edition. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Pahan I, Y. 2008. *Kelapa sawit manajemen agribisnis dari hulu hingga hilir*. Jakarta (ID): Penebar Swadaya.
- Paimin, F. R., 1997. *Kemiri Budidaya dan Prospek Bisnis*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Sinaga, R., Desrial. Wulandani, D. 2016. Karakteristik Fisik dan Mekanik Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.). *Jurnal Keteknik Pertanian*. Vol 4 No 1 : 97-105 (2016)
- Sinaga, R. 2020. Analisis Gaya Pemecahan Cangkang Biji Kemiri (*Aleurites moluccana* Willd.). *Jurnal Agroteknosains* Vol 4 No. 1 : 35-42 (2020)
- Sunanto, H., 1994. *Budidaya Kemiri Komoditas Ekspor*. Kanisius, Yogyakarta.
- Tarigan E, Prateepchaikul G, Yamsaengsung R, Sirichote A, Tekasakul P. 2006. Sorption isotherms of shelled and unshelled kernels of candlenuts. *Journal of Food Engineering*. 75:447-452.
- Wibowo, S. 2007. *Pengusahaan kemiri (Aleurites moluccana wild) di desa Kuala, Tiga Binanga, Tanah Karo*. *Info Sosial Ekonomi* Vol 7 No. 2 Juni Hal 71-77.