OPTIMALISASI KECEPATAN UDARA PADA DEPERIKARPER UNTUK MEMISAHKAN SERAT DAN BIJI Elaeis guineensis Jacq.

Diwan Prima Ariana dan Purboyo Guritno

ABSTRAK

Deperikarper di pabrik kelapa sawit berfungsi untuk memisahkan fraksifraksi ampas pres ke dalam dua kelompok yaitu (1) serat dan cangkang dan (2) biji dan inti dengan menggunakan sistem pneumatik. Salah satu faktor yang mempengaruhi keandalan sistem pneumatik adalah kecepatan udara di kolom pemisahan pada deperikarper. Kecepatan terminal yang bergerak ke bawah dengan arah berlawanan dengan kecepatan udara adalah karakteristik aerodinamika terpenting dalam proses pemisahan. Karakteristik aerodinamika masing-masing komponen dari material perlu diketahui dalam sistem pemisahan pneumatik.

Dalam penelitian ini, contoh ampas pres diambil dari ujung cake breaker conveyor sebelum memasuki kolom pemisah, lalu dimensi dan berat masing-masing komponen ampas pres dianalisis secara individu. Kecepatan terminal fraksi-fraksi ampas pres dihitung secara teoritis berdasarkan data dimensi dan berat. Selanjutnya kecepatan udara optimum ditentukan dengan menduga fungsi sebaran kecepatan terminal. Selang kecepatan udara optimum pada deperikarper adalah (9.63; 12.34) pada tingkat kepercayaan 0.95.

Kata kunci : Elaeis guineensis Jacq., pneumatik, pemisahan, kecepatan

PENDAHULUAN

Dalam proses ekstraksi minyak sawit dari daging buah dengan menggunakan mesin pres, sejumlah serat dan biji akan dihasilkan. Campuran serat dan biji biasa disebut ampas pres. Selanjutnya dengan menggunakan deperikarper, serat dan biji dipisahkan. Serat digunakan sebagai bahan bakar ketel uap sedangkan biji diproses lebih lanjut sampai didapat inti sawit.

Sistem pemisahan ampas pres dengan cara pneumatik umum digunakan di pabrik-pabrik kelapa sawit. Prinsip dasar pemisahan secara pneumatik adalah memanfaatkan perbedaan suatu karakteristik aerodinamika, yaitu kecepatan terminal komponen ampas pres. Di dalam deperikarper, ampas pres diumpankan ke dalam kolom pemisah dimana udara dengan kecepatan tertentu dialirkan ke atas. Serat akan bergerak ke atas sedangkan biji akan jatuh ke *polishing drum* (7).

Dalam deperikarper, kecepatan udara bergerak ke atas berlawanan arah dengan kecepatan terminal material. Dari hasil pengamatan di beberapa pabrik kelapa sawit, selama pemisahan komponen ampas pres, sebagian biji dan inti utuh terikut ke atas bersama serat. Hal ini disebabkan oleh kecepatan udara deperikarper lebih tinggi dari yang seharusnya. Kehilangan biji akan mengurangi perolehan inti. Kecepatan terminal material sangat memegang peranan dalam proses pemisahan dengan menggunakan sistem pneumatik. Di bawah ini diuraikan teori penentuan kecepatan terminal material dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

Kecepatan terminal

Benda jatuh bebas akan mencapai kecepatan terminal Vt konstan, yaitu kecepatan pada saat gaya gravitasi F_g sama dengan gaya seret F_r yang arahnya ke atas. Jika aliran udara digunakan untuk memisahkan suatu produk, pengetahuan mengenai kecepatan terminal semua partikel yang terlibat akan menentukan kisaran kecepatan aliran udara untuk pemisahan yang baik. Oleh karena itu kecepatan terminal digunakan sebagai karakteristik aerodinamika yang penting dalam aplikasi seperti pemisahan pneumatik (6).

Kecepatan terminal proporsional dengan berat partikel dan berbanding terbalik dengan luas proyeksi. Kecepatan terminal akan naik dengan naiknya berat partikel dan turunnya luas proyeksi. Bilangan Reynold, dimensi dan orientasi partikel dari material adalah faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan terminal.

Bilangan Reynold

Bilangan Reynold adalah bilangan tak berdimensi yang mengkarakterisasi aliran fluida dalam suatu pipa atau di sekitar suatu rintangan seperti partikel (2). Bilangan Reynold merupakan suatu indeks bagi jenis aliran apakah aliran termasuk laminar atau turbulen. Berdasarkan aliran di sekitar benda, maka aliran dibagi menjadi laminar (NR ≤ 2), intermediate (2 >N_R>500) dan turbulen (N_R ≥ 500) (3). Pada aliran laminar, partikel-partikel fluida bergerak searah, sedangkan pada aliran turbulen, partikel- partikel fluida bergerak secara acak.

Dimensi

Biji, serat dan fraksi ampas pres

lainnya mempunyai bentuk yang tidak beraturan dan spesifikasi lengkap untuk menggambarkan bentuknya secara teoritis membutuhkan tak terhingga pengukuran. Untuk memudahkan, pengukuran dari beberapa sumbu yang saling tegak lurus adalah cukup (6). Untuk biji berbentuk tidak beraturan dapat dianalisis dengan mengasumsikan bentuk bola dengan diameternya adalah rerata geometris dari pengukuran tiga sumbu yang saling tegak lurus.

Orientasi partikel

Di dalam aliran laminar, partikel akan bergerak dengan orientasi sesuai ketika dijatuhkan, sedangkan dalam aliran turbulen, tahanan partikel secara teoritis diasumsikan bernilai terbesar dan berorientasi dengan luasan proyeksi terbesar. Hasil kajian aerodinamika terhadap beberapa biji-bijian, ditemukan bahwa biji- bijian tersebut bergerak dengan orientasi acak dan berputar pada sumbu vertikal dengan dimensi terbesar pada bidang horisontal. Putaran tersebut menyebabkan tahanan geser bertambah besar dan kecepatan terminal bertambah kecil (6).

Pemisahan yang baik diperlukan agar kehilangan biji dan inti utuh minimum. Kecepatan udara optimum dapat diketahui dengan cara mencoba berbagai kecepatan udara dan dilihat masingmasing derajat pemisahannya. Akan tetapi, cara tersebut tidak dapat dilakukan karena akan mengganggu proses yang sedang berjalan dan akan membutuhkan biaya yang mahal. Pendekatan teoritis dapat dilakukan untuk mendapatkan kecepatan udara optimum.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kecepatan udara teoritis, yaitu kecepatan udara yang memberikan pemisahan ampas pres yang optimum.

BAHAN DAN METODE

Percobaan dilaksanakan di kebun Adolina, PT. Perkebunan VI, Sumatera Utara dan laboratorium teknologi pasca panen, Pusat Penelitian Kelapa Sawit pada bulan Juni sampai dengan September 1994. Contoh ampas pres diambil dari ujung cake breaker conveyor sebelum masuk ke kolom pemisah deperikarper setiap hari selama 6 hari. Contoh ampas pres lalu dipisah-pisahkan ke dalam tujuh kelompok yaitu serat, biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, cangkang besar dan cangkang kecil. Masing-masing kelompok lalu ditimbang. Dari masing-masing kelompok diambil 80 individu secara acak untuk diukur berat serta dimensinya sehingga ada 480 contoh untuk masing-masing komponen. Pengukuran dimensi biji, inti dan cangkang adalah diameter pada tiga sumbu saling tegak lurus dan untuk serat adalah diameter di kedua ujung dan tengah serat, dan panjang serat. Untuk

mendapatkan satu ukuran diameter, tiga pengukuran pada serat dirata-ratakan. Contoh juga diambil dari *fiber cyclone*. Contoh ini juga dipisah-pisahkan ke dalam tujuh kelompok untuk ditimbang komposisi beratnya. Kecepatan udara yang dioperasikan pada deperikarper diukur di dalam kolom pemisah dengan menggunakan anemometer digital. Titik-titik pengambilan contoh serta pengukuran kecepatan udara disajikan pada Gambar 1.

Dalam menghitung kecepatan terminal, biji dan inti diasumsikan berbentuk bola dengan diameter db yang merupakan rata-rata geometris dari pengukuran pada tiga sumbu yang saling tegak lurus, yaitu db = $(d_1d_2d_3)^{1/3}$. Cangkang diasumsikan berbentuk piringan dengan diameter dp yang merupakan rerata geometris dari pengukuran dua sumbu terbesar yang saling tegak lurus, yaitu dp = $(d_1d_2)^{1/2}$. Serat diasumsikan berbentuk silinder dengan panjang 1 dan





diameter d_s yang merupakan rerata aritmatik dari pengukuran diameter di kedua ujung-nya dan tengah serat, yaitu $d_s = -(d_1+d_2+d_3)/3$.

Pada keadaan setimbang, kecepatan terminal benda dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (1) sebagai berikut :

$$W_t = \left[\frac{W(\rho_p - \rho_f)}{\rho_p \rho_f AC}\right]^{\frac{1}{2}} \tag{1}$$

dimana, V_t = kecepatan terminal (m/detik), W = berat partikel (N), ρ_p = massa jenis benda (kg/m³), ρ_f = massa jenis udara (kg/m³), A = luas proyeksi normal terhadap arah gerakan (m²), C = koefisien seret

Dalam perhitungan praktis kecepatan terminal, ρ_p jauh lebih besar dari ρ_f , sehingga suku $(\rho_p - \rho_f)/\rho_p$ pada persamaan (1) nilainya mendekati satu, sehingga kecepatan terminal adalah fungsi dari berat, luas proyeksi, koefisien seret benda dan massa jenis udara.

Bilangan Reynold merupakan rasio gaya inersia dengan gaya gesek yang bekerja pada masing-masing elemen fluida, diekspresikan sebagai berikut :

$$N_R = \frac{V \, d \, \rho_f}{\eta} \tag{2}$$

dimana, N_R = bilangan Reynold, V= kecepatan relatif antara udara dan benda (m/detik), d = dimensi efektif benda (m), ρ_f = massa jenis udara (kg/m³), η = viskositas absolut udara (Ns/m2)

Prosedur menghitung kecepatan terminal adalah (3) :

1. Hitung CNR2 dengan persamaan (3) atau (4) bola dan piringan :

$$CN_R^2 = \frac{8 m g \rho f}{\pi n^2}$$
(3)

silinder :

$$CN R^{2} = \frac{2 m g.d \rho f}{l \eta^{2}}$$
(4)

dimana, C = koefisien seret, N_R = bilangan Reynold, m = massa (kg), g = percepatan gravitasi (9.81 m/s²), ρf = massa jenis udara (1.147 kg/m³ pada 25°C), η = viskositas absolut udara (1.85 x 10⁻⁵ Ns/m² pada 25°C), d = rerata diameter serat (m), l = panjang serat (m).

- Dari plot CN_{R2 vs NR} (lihat Gambar
 cari nilai N_R yang bersesuaian dengan CN_{R2} dari hasil langkah 1.
- Hitung kecepatan terminal Vt dengan persamaan (5) yang diturunkan dari persamaan (1) dan (2) dimana d untuk bentuk bola, piringan dan silinder masing-masing adalah db, dp dan ds.

$$V_t = \frac{\eta N_R}{d \rho_f} \tag{5}$$

Fungsi kepekatan kecepatan terminal diduga dengan metode nonparametrik menggunakan kernel, yaitu dengan persamaan (6) berikut :

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{(nh)} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x-X_i}{h}\right)$$
(6)

dimana, $\hat{f}(\cdot) =$ fungsi kepekatan kecepatan terminal, x = kecepatan terminal, X_i = data kecepatan terminal ke-i, n = jumlah pengamatan, h = lebar jendela, K(\cdot) = fungsi kernel.



Gambar 2. Bilangan Reynold, N_R versus CN_R^2 untuk bola, piringan dan silinder Figure 2. Reynold's number, N_R versus CN_R^2 for sphere, disc, and cylinder

Lebar jendela h merupakan parameter pemulus (smoothing parameter) yang sangat mempengaruhi bentuk fungsi \hat{f} sebagai penduga fungsi kepekatan f (4). Jika h terlalu kecil didapat dugaan dengan banyak tonjolan dan hasilnya ialah dugaan yang terlalu kasar, sedangkan jika h terlalu besar didapat dugaan yang terlalu mulus (9).

Untuk menduga selang kepercayaan kecepatan udara optimum digunakan metode bootstrap. Jumlah percontohan ulang (resampling) yang disarankan untuk menduga selang kepercayaan adalah minimal 1000 (1).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dimensi dan berat

Hasil pengakuran dimensi dan berat untuk komponen ampas pres disajikan pada Tabel 1.

Luas proyeksi untuk biji, inti dan cangkang adalah $A = \frac{1}{4}\pi$ (diameter rerata)², sedangkan untuk serat A = diameter rerata x panjang. Berat dan luas proyeksi serat maupun biji terlihat berbeda. Hal ini menguntungkan bagi proses pemisahan pneumatik karena kecepatan terminal adalah fungsi dari berat dan luas proyeksi.

Selain serat dan biji utuh, ampas pres juga mengandung komponen inti dan cangkang. Tabel 2 memperlihatkan komposisi berat komponen ampas pres.

Sekitar 83 % dari berat ampas pres adalah serat dan biji utuh. Komponen lain seperti biji pecah, inti dan cangkang timbul akibat proses pres. Jika mesin pres terlalu kuat tekanannya akan menyebabkan biji pecah sehingga timbul fraksi cangkang dan inti.

Tabel 1. Dimensi dan berat komponen ampas pres

Komponen Component	Diameter besar (mm) Major diameter (mm)	Diameter pertengahan (mm) Intermediate diameter (mm)	Diameter kecil (mm) Minor diameter (mm)	Panjang (mm) Length (mm)	Berat (gram) Weight (gram)	Diameter rerata (mm) Average diameter (mm)	Luas proyeksi (mm ²) Projected area (mm ²)
Serat Fiber	0.2	0.2	0.1	37	0.002	0.2	6.3
Biji utuh Whole nut	20.5	15.6	12.7	td	2.246	15.8	202.2
Biji pecah Broken nut	18.2	14.3	11.2	td	1.503	14.2	162.1
Inti utuh Whole kernel	13.6	11.2	8.2	td	0.722	10.7	91.6
Inti pecah Broken kernel	12.1	9.0	5.6	td	0.348	8.4	58.2
Cangkang kecil Small shell	8.7	5.9	1.3	td	0.058	7.0	40.1
Cangkang besar Large shell	13.5	10.1	1.4	td	0.231	11.6	109.7

Table 1. Dimension and weight of cake components

td : tidak diukur (not measured)

Tabel 2. Komposisi berat komponen ampas pres

 Table 2.
 Weight composition of cake components

Komponen Component	Persentase berat (%) Weight percentage (%)		
Serat (Fiber)	49.63		
Biji utuh (Whole nut)	33.55		
Biji pecah (Broken nut)	8.17		
Inti utuh (Whole kernel)	1.00		
Inti pecah (Broken kernel)	2.33		
Cangkang kecil (Small shell)	4.06		
Cangkang besar (Large shell)	1.22		

Tekanan mesin pres diatur sedemikian sehingga minyak yang terkandung dalam serat dapat diekstraksi sebanyak mungkin tetapi timbulnya biji pecah ditekan serendah mungkin.

Bilangan Reynold dan koefisien serat

Bilangan Reynold dan koefisien serat untuk masing-masing fraksi ampas pres disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan bilangan Reynold teoritis, maka aliran udara di sekitar serat adalah intermediate sedangkan untuk fraksifraksi yang lain aliran udaranya termasuk turbulen. Koefisien serat fraksi biji dan inti relatif sama yaitu 0.4. Hasil ini mendekati hasil penelitian Lapple (5) yaitu 0.44 untuk bilangan Reynold 500-200.000.

Table 5. Reynold's number and drag coefficient of cake components					
Komponen Component	Bilangan Reynold Reynold's number	Koefisien seret Drag coefficient			
Serat	15.24	3.32			
Fiber					
Biji utuh	19862.51	0.45			
Whole mut					
Biji pecah	16598.01	0.44			
Broken nut					
Inti utuh	11821.10	0.42			
Whole kernel					
Inti pecah	8062.39	0.40			
Broken kernel					
Cangkang kecil	2167.08	0.94			
Small shell					
Cangkang besar Large shell	4141.95	0.98			

Tabel 3. Bilangan Reynold dan koefisien serat

komponen ampas pres

Kecepatan terminal

Menurut Tsuchiya (10), untuk mempelajari kemungkinan pemisahan biji-bijian dengan memanfaatkan sifat aerodinamika perlu diketahui distribusi ukuran biji-bijian. Dimensi dan berat masing-masing komponen ampas pres mempunyai fungsi sebaran tertentu demikian juga dengan kecepatan terminal. Hasil pendugaan fungsi kepekatan kecepatan terminal disajikan pada Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat adanya pengelompokkan kecepatan terminal menjadi 3 kelompok komponen yaitu : (1) serat, (2) cangkang kecil dan cangkang besar, dan (3) inti pecah, inti untuh, biji pecah dan biji utuh. Batas kelompok 1 dan 2 adalah pada kecepatan terminal sekitar 2 5 meter per detik dan batas kelompok 2 dan 3 adalah pada kecepatan terminal sekitar 10 meter per detik. Di dalam kelompok 2 dan 3 masing-masing terjadi tumpang tindih fungsi kepekatan peluang, yaitu cangkang kecil dengan cangkang besar di kelompok 2 dan inti pecah, inti utuh, biji pecah dan biji utuh di kelompok 3. Adanya pengelompokan kecepatan ter-





minal ini menguntungkan bagi proses pemisahan dengan cara pneumatik.

Kecepatan udara pemisahan

Secara teoritis, jika kecepatan terminal benda lebih kecil dari kecepatan udara maka benda akan terisap ke atas dan sebaliknya jika kecepatan terminal benda lebih besar dari kecepatan udara maka benda akan jatuh. Berdasarkan teori tersebut, dugaan fungsi sebaran kumulatif metode kernel bisa menggambarkan hubungan antara kecepatan udara dengan porsi komponen ampas pres yang terisap ke atas. Porsi komponen ampas pres yang terisap ke atas pada kecepatan udara x adalah :

$$\hat{F}(x) = \frac{1}{n} \sum_{1=i}^{n} C\left(\frac{x-X_i}{h}\right)$$
(7)

dimana, $\hat{F}(\cdot) = \text{porsi komponen ampas}$ pres yang terisap ke atas, x = kecepatan udara, X_i =data kecepatan terminal ke-i, n = jumlah pengamatan, h = lebar jendela, C(\cdot) = fungsi sebaran kumulatif kernel

Fungsi sebaran kumulatif yang digunakan adalah Gaussian yang didekati dengan rumus $C(t) = 1/(1 + e^{-p(t)})$, dimana $p(t) = t(1.5976 + 0.070566t^2)$ (8).

Walaupun fungsi kepekatan kecepatan terminal fraksi serat dan biji utuh terpisah jauh, persoalan penentuan kecepatan aliran udara pemisahan yang optimum menjadi tidak begitu sederhana dengan adanya komponen cangkang dan inti yang harus dipertimbangkan. Dari Gambar 3 dapat terlihat bahwa ada dua pilihan dalam menentukan kecepatan udara. Pilihan 1 adalah sebagian cangkang jatuh bersama biji dan inti. Pilihan 2 adalah sebagian inti pecah terisap ke atas bersama serat dan cangkang. Jika pilihan 1 diambil, biji dan inti akan terkontaminasi oleh cangkang sehingga akan menimbulkan kesulitan dalam proses pemecahan biji. Oleh karena itu pilihan 2 diambil karena jumlah inti pecah yang sangat sedikit. Pemilihan kecepatan udara didasarkan pada keadaan dimana semua serat, cangkang kecil dan besar serta sebagian kecil inti utuh terisap ke atas.

Besarnya kecepatan udara didapat dengan menggunakan persamaan (7). Hasil perhitungan kecepatan udara dicantumkan pada Tabel 4. Tabel 4 memperlihatkan persentase komponen ampas pres yang terisap ke atas pada kecepatan udara tertentu. Pada kecepatan 11.46 m/detik semua serat, cangkang kecil dan besar, dan sebagian kecil inti pecah terisap ke atas sedangkan biji utuh dan pecah, inti utuh dan sebagian besar inti pecah jatuh.

Metode bootstrap dengan percontohan ulang sebanyak 1000 kali digunakan untuk mencari selang kepercayaan kecepatan udara optimum. Dugaan fungsi kepekatan kecepatan udara optimum dari hasil bootstrap disajikan pada Gambar 4. Terlihat bahwa sebaran kecepatan udara optimum agak miring, cenderung menjulur ke kiri. Karena sebarannya tidak setangkup maka selang kepercayaan kecepatan udara optimum dicari dengan berbagai kemungkinan peluang ekor kiri dan kanan. Selang terpendek didapat pada peluang ekor kiri 0.03 dan ekor kanan 0.02 dimana batasnya adalah 9.63 -12.34 meter/detik.

Optimalisasi kecepatan udara pada deperikarper





Tabel 4.	Persentase	komponen	ampas pro	es yang teri	isap ke atas	dengan ir	nterval 0.	01 m	l/s

Kec. udara (m/s) Air velocity(m/s)	Serat Fiber	Cangkang kecil Small shell	Cangkang besar Large shell	Inti pecah Broken kernel	Inti utuh Whole kernel	Biji pecah Broken nut	Biji utuh Whole nut
8.00	100.00	99.61	94.18	0.00	0.00 .	0.00	. 0.00
8.01	100.00	99.62	94.27	0.00	0.00	0.00	0.00
9.00	100.00	100.00	98.94	0.08	0.00	0.00	0.00
9.01	100.00	100.00	98.95	0.09	0.00	0.00	0.00
10.00	100.00	100.00	99.69	0.55	0.00	0.00	0.00
10.01	100.00	100.00	99.69	0.56	0.00	0.00	0.00
11.44	100.00	100.00	99.99	3.26	0.00	0.00	0.00
11.45	100.00	100.00	99.99	3.29	0.00	0.00	0.00
11.46	100.00	100.00	100.00	3.33	0.00	0.00	0.00
11.47	100.00	100.00	100.00	3.36	0.00	0.00	0.00
11.56	100.00	100.00	100.00	3.70	0.00	0.00	0.00
11.57	100.00	100.00	100.00	3.74	0.00	0.00	0.01
11.58	100.00	100.00	100.00	3.78	0.00	0.00	0.01
13.10	100.00	100.00	100.00	16.67	0.01	0.06	0.20

Table 4. Percentage of cake components moving upward with 0.01 m/s interval

Kecepatan aliran udara yang sekarang dioperasikan di deperikarper adalah 13.10 m/detik. Metode bootstrap dipakai menguji kecepatan udara 13.10 meter per detik untuk memperkirakan porsi komponen ampas pres yang terisap ke atas. Hasil pengujian ini disajikan pada Tabel 5, terlihat bahwa persentase berat masing-masing komponen ampas pres di fiber cyclone yang dihitung dengan metode bootstrap dibandingkan dengan hasil pengamatan adalah hampir sama. Perbedaan yang kecil disebabkan perhitungan teoritis kecepatan terminal mengasumsikan bahwa partikel bergerak dengan orientasi tetap pada luasan proyeksi terbesar. Hasil kajian karakteristik aerodinamika menemukan bahwa partikel bergerak dengan orientasi acak dan berputar sehingga menyebabkan tahanan geser lebih besar dan kecepatan terminal lebih kecil (6).

Tabel 5.	Persentase berat komponen ampas pres	
	di fiber cyclone	

Table 5.	Weight percentage of cake components in	1
	fiber cyclone	

Komponen Component	Bootstrap	Pengamatan Observations
Serat Fiber	89.93	83.50
Biji utuh Whole nut	0.60	0.50
Biji pecah Broken nut	0.10	0.17
Inti utuh Whole kernel	0.00	0.00
Inti pecah Broken kernel	1.00	2.07
Cangkang kecil Small shell	7.36	10.33
Cangkang besar Large shell	2.21	3.48

Deperikarper yang ada aslinya dirancang untuk material Dura yang mempunyai ukuran biji yang besar dengan cangkang tebal. Dengan adanya material baru, Tenera, yang mempunyai biji yang lebih kecil dengan cangkang yang lebih tipis, kecepatan terminal Dura lebih besar daripada kecepatan terminal Tenera. Berdasarkan pengamatan, kecepatan udara 13.10 m/detik menyebabkan sebagian biji utuh, biji pecah dan inti pecah terisap bersama sama dengan serat dan cangkang.

KESIMPULAN

Pendugaan fungsi kepekatan kecepatan terminal fraksi-fraksi ampas pres menghasilkan 3 kelompok kecepatan terminal yaitu (1) serat, (2) cangkang dan (3) biji dan inti. Adanya pengelompokan ini menguntungkan bagi proses pemisahan pneumatik sehingga memungkinkan ditentukannya kecepatan udara pemisahan yang optimum.

Dengan mempertimbangkan bahwa semua serat, cangkang kecil dan besar, dan sebagian kecil inti pecah terisap ke atas, maka kecepatan udara pemisahan optimum teoritis adalah 9.63 sampai 12.34 m/detik pada selang kepercayaan 95 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada manajer dan staf Pabrik Kelapa Sawit Adolina, PT Perkebunan VI atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA REFERENCES

- EFRON, B. 1981. Nonparametric estimates of standard error : the jackknife, the bootstrap, and other resampling methods. Biometrika, 68: 589-599.
- HAWK, A.L., D.B. BROOKER and J.J. CASSIDY. 1966. Aerodynamic characteristics of selected farm grains. Transaction of the ASAE 9(1): 48-51.
- HENDERSON, S.M. and R.L. PERRY. 1976. Agricultural process engineering. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut. 442 p.
- IZENMAN, A.J. 1991. Recent developments in nonparametric density estimation. Journal of the American Statistical Association 86(413): 205-224.

- LAPPLE, C.E. and C.B. SHEPPERD. 1940. Calculation of particle trajectories. Industrial and Engineering Chemistry 32(5): 605-617.
- MOHSENIN, N.N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Beach Science Publishers. New York. 742 p.
- PORIM. 1985. Palm oil factory process handbook, Part 1. Palm Oil Research Institute of Malaysia. 109 p.
- RADE, L. and W. BERTIL. 1990. Beta Mathematics handbook. 2nd ed. Studentlitteratur. Sweden. 494 p.
- SILVERMAN, B.W. 1978. Choosing the window width when estimating a density. Biometrika, 65: 1-11.
- TSUCHIYA, M., J. KAMIDE and K. ISCHIWATA. 1981. Study on the separation of unhulled and brown rice by winnowing. J. Soc. Agr. Machinery 43(3): 433-442.

Air velocity optimalization of depericarper for Elaeis guineensis Jacq. shell and nut separation

Diwan Prima Ariana and Purboyo Guritno

Abstract

The function of depericarper in a palm oil mill is to separate pneumatically the cake components into two groups, i.e. (1) fiber and shell, and (2) nut and kernel. One of the factors affecting the performance of pneumatic system is air velocity in the separating column of depericarper. Terminal velocity moving downward at the opposite direction with the air velocity is the most important aerodynamic characteristics in separation process. Aerodynamic characteristics of each material component have to be identified in pneumatic separation system.

In this investigation, the cake samples were taken from the edge of the cake breaker conveyor before entering the separating column, then the dimension and weight of each cake components were analyzed individually. The terminal velocity of cake components was calculated theoretically based on the individual dimension and weight. The optimal air velocity was then determined by estimating the density function of the terminal velocity. The optimal air velocity was in the range of 9.63 to 12.34 m/sec with confidence coefficient of 0.95.

Key words : Elaeis guineensis Jacq., pneumatic handling, separating, velocity

INTRODUCTION

In the extraction of oil from digested palm fruit using screwpress, pressed fiber and nut are produced. The mixing of pressed fiber and nut is commonly called cake. Fiber and nut are then separated by depericarper. Fiber is

used for boiler fuel and nut is processed further until the palm kernel is recovered.

The separation of the cake using pneumatic system is widely used in palm oil mills. The basic principle of pneumatic separation is based on the difference in an aerodynamic characteristic of the material, i.e. the terminal velocity of the cake components. In the depericarper the cake is fed into a vertical separation column, where an upward flow of air is passing at certain velocity. The pressed fiber will move upward and the nut will drop into the polishing drum (7).

In the depericarper, the air velocity moves upward at the opposite direction with the terminal velocity of the material. It is observed in many palm oil mills that during the separation of cake components, some nuts and whole kernels are carried along with the pressed fiber. This is due to the operating air velocity of depericarper is higher than it is required. The loss of nuts will decrease the kernel recovery. Terminal velocity of the material plays an important role in the optimum separation using pneumatic system. Theory of the terminal velocity determination and factors affecting the terminal velocity are given as follows.

Terminal velocity

In a free fall, an object will attain a constant terminal velocity, V_t , at which the net gravitational force, F_g , equals the resisting upward drag force, F_r . When air stream is used for separating of a product, knowledge of terminal velocity of all particles in the product would define the range of air velocities to obtain good separation. The terminal velocity has been used as an important aerodynamic characteristic of materials in such application as pneumatic separation (2).

Terminal velocity is proportional to the weight of particle and is inversely proportional to the projected area of particle. The terminal velocity will increase as the weight of particle increases and the projected area decreases. Reynold's number, dimension, and particle orientation of the materials are factors affecting the terminal velocity.

Reynold's number

Reynold's number, a dimensionless number that characterizes fluid flow through a pipe or around an obstacle such as a particle (2). The Reynold's number is an index of flow regime, that is, it provides a benchmark to determine wether the flow is laminar or turbulent. Laminar flows exist for Reynold's number <2 and turbulent flows for those >500. Within boundaries of 2 to 500 Reynold's number there is an intermediate flow (3). In laminar flow, fluid particles move in parallel paths, whereas in turbulent flow, fluid particles move randomly.

Dimension

Nut, fiber and the other components of cake are irregular in shape and a complete specification of their form theoretically requires an infinite number of measurement. From a practical point of view, measurement of several mutually perpendicular axes is sufficient (6). The assumption of sphericity for irregular shape materials like a nut can be used with diameter taken is geometric mean of measurements in three perpendicular axes.

Particle orientation

In laminar flow, a particle will generally retain its initial orientation while in the turbulent flow, the particle will theoretically assume a position of maximum resistance and it is oriented with largest projected area.

In aerodynamic studies of agricultural grains, the grains have random orientation and actually rotating about vertical axis with the longest dimension tending toward the horizontal plane. The rotation result in a higher drag and lower terminal velocity (6).

A good separation is required to attain the minimum loss of nuts and whole kernels. Optimum air velocity can be known by an experiment with various air velocity setting and observed each of separation degrees. Unfortunately, such an experiment is difficult to proceed because of process disturbance and high cost. Theoretical approach is used to obtain the optimum operating air velocity.

The objective of this research is to obtain a theoretical air velocity in order to optimize cake components separation in the depericarper.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in Adolina Estate, PT. Perkebunan VI, North Sumatra and post harvest technology laboratory, Indonesian Oil Palm Research Institute on June through September 1994. The cake samples were daily taken during 6 days from the edge of the cake breaker conveyor before entering the separating column. The samples were then divided into seven different components, i.e. fiber, whole nut, broken nut, whole kernel, broken kernel, large shell, and small shell. Each component was weighed. From each component, 80 individual samples were randomly taken for weight and dimension measurement. Therefore, there were 480 samples for each component. The dimension measurements were diameters in three perpendicular axes for nut, kernel and shell and diameters of both edges and midle of fiber and length of fiber. To get a single diameter presentation, three diameter measurements of fiber were averaged. Samples were also taken at the fiber cyclone. These samples were similarly divided into seven different components for weight measurement. The operating air velocity of the depericarper was also measured in the separating column of depericarper using digital vane anemometer. The location of sampling points and air velocity measurement are presented in Figure 1.

In terminal velocity calculation, nut and kernel was assumed to be sphere, with dimension, db, which was geometric mean of three perpendicular axes, i.e. $d_b=(d_1d_2d_3)^{1/3}$. The shell with dimension dp, was assumed to be disc-like having geometric mean of two perpendicular axes, i.e. $d_p=(d_1d_2)^{1/2}$

The fiber with diameter d_s , was assumed to be cylindrical with arithmetic mean of three observations, i.e. $d_s=(d_1+d_2+d_3)/3$.

At a steady state condition, the terminal velocity of material is presented in the form of equation (1) as follow:

$$V_{t} = \left[\frac{W\left(\rho_{p} - \rho_{f}\right)}{\rho_{p}\rho_{p}AC}\right]^{\frac{1}{2}}$$
(1)

where, V_t = terminal velocity (m/s), W=weight of particle (N), ρ_P = density

of particle (kg/m^3) , $\rho f = density of air (kg/m^3)$, $A = projected area of the particle normal to the motion <math>(m^2)$, C = drag coefficient

In practical calculation of terminal velocity, p is much greater than f, so that the term (p - f)/p in equation (1) is approximately unity. Therefore, the terminal velocity is the function of weight, projected area, drag coefficient of particle and density of fluid.

Reynold's number is proportion to the ratio of inertial forces to frictional forces acting on each element of the fluid. It is expressed as :

$$N_R = \frac{V d\rho_f}{\eta} \tag{2}$$

where, N_R = Reynolds number, V = relative velocity between air and object (m/s), d = effective dimension of the object (m), ρ_f = density of air (kg/m³), η = absolute viscosity of air (Ns/m²)

The procedure of terminal velocity calculation was given as follows (3):

 Calculate CN_{R2} with equation (3) or (4). Sphere and disc :

$$CN_R^2 = \frac{8mg \rho_f}{\pi \eta^2}$$
(3)

Cylinder :

$$CN_R^2 = \frac{2 m g d \rho_f}{l \eta^2}$$
(4)

where, C = drag coefficient, N_R = Reynolds number, m = mass (kg), g = gravitational acceleration (9.81 m/s²), ρ_f =density of air (1.147 kg/m³ at 25°C), η = absolut viscosity of air (1.85 x 10⁻⁵ Ns/m² at 25°C), d = average diameter of fiber (m), 1 = fiber length (m).

- From CN_{R2} versus NR plot (see Figure 2), find N_R which relates to CN_{R2} from step 1.
- Calculate terminal velocity, Vt, with equation (5) derived from equations (1) and (2) :

$$V_t = \frac{\eta N_R}{d\rho_f} \tag{5}$$

where d for sphere, disc and cylinder is d_b , d_p dan d_s , respectively.

To estimate the density function of terminal velocity, the nonparametric method using kernel were used. The formula of the density function estimation of terminal velocity is :

$$\hat{f}(\mathbf{x}) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{\mathbf{x} - X_i}{h}\right)$$
(6)

where, $\hat{f}(\cdot) = \text{density function of termi-}$ nal velocity, x = terminal velocity, X_i = i-th terminal velocity data, n = number of observation, h = window width, K(\cdot)=kernel function.

The window width, h, is the smoothing parameter that determines the performance of \hat{f} as an estimator f (4). If h is chosen too small the function estimate is too rough, spurious fine structure becomes visible, while if h is too large the function estimate is too smooth (9).

Bootstrap method was used to estimate the confidence interval of optimum air velocity. The number of resampling suggested for estimating a confidence interval is minimally 1000 (1).

RESULTS AND DISCUSSION

Dimension and weight

Table 1 shows dimension and

weight for each cake component. Projected area of nut, kernel and shell is $A=\frac{1}{4\pi}$ (average diameter)², while fiber is A = average diameter x length. There were differences in weight and projected area of fiber and nut. These differences are advantageous for pneumatic separation process because the terminal velocity is the function of weight and projected area.

Besides fiber and whole nut, the cake contains kernel and shell. The weight percentage of cake components is shown in Table 2. About 83 % in weight of cake were fiber and whole nut. The other components such as broken nut, kernel, and shell appeared because of screwpress setting. If the pressure of screwpress was too high more broken nut was produced so that the shell and kernel appeared. The pressure of screwpress is adjusted for maximum oil extraction with an acceptable amount of broken nut in cake.

Reynold's number and drag coefficient

Reynold's number and drag coefficient of cake component is shown in Table 3. Based on that theoretical Reynold's number, the air flow around fiber is in intermediate region, while the others are in turbulent region. Drag coefficient of nut and kernel is 0.4. It is agree with the result of Lapple experiment (5), i.e. 0.44 for 500-200.000 Reynold number.

Terminal velocity

According to Tsuchiya (10) the size distribution of grain has to be known in studying grain separation using aerodynamic characteristic. Dimension and weight of each cake components have distribution function as well as the terminal velocities. The result of the density estimation of terminal velocity using kernel method is shown in Figure 3. There were three groups of terminal velocity, i.e. (1) fiber, (2) small and large shell, and (3) whole kernel, broken kernel, whole nut, and broken nut. The terminal velocity border of group one and two was about 2.5 m/sec and the border of group two and three was about 10 m/sec. In group two there was any density function overlapping between small and large shell, the same goes for group three, i.e. among broken kernel, whole kernel, broken nut and whole nut. The grouping of terminal velocity is useful condition for pneumatic separation.

Separation of air velocity

Theoretically, if the terminal velocity of a particle is less than air velocity, the particle will move upward, inversely, the particle will drop. Based on the theory, the cumulative distribution function estimation can describe the relation between air velocity and portion of cake components that moves upward. The portion of cake components that moves upward at given air velocity is :

$$\hat{F}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} C\left(\frac{x - X_i}{h}\right)$$
(7)

where, \hat{F} ()=portion of cake components move upward, x = air velocity, Xi=i-th terminal velocity data, n=number of observation, h=window widht, C()=kernel cumulative distribution function.

The cumulative distribution function used was Gaussian which was ap-

proximated by $C(t) = 1/(1 + e^{-p(t)})$, where $p(t) = t(1.5976 + 0.070566t^2)$ (8).

Although the terminal velocity density functions of fiber and whole nut were far apart, the problem of determination separation air velocity is not so simple because any other components (shell and nut) must be considered. By observing Figure 3, there were two choices in determinating air velocity. Choice 1 was that part of shell would drop along with nut and kernel. Choice 2 was part of broken kernel would move upward along with fiber and shell. If the choice 1 is selected, the nut and kernel will contaminated with shell. Thus, the nut cracker cannot performed properly. Choice 2 was selected because the amount of broken kernel was very small. The air velocity selection was based on all fibers, small and large shells, and small part of broken kernels that moved upward.

The magnitude of the air velocity is governed by equation (7). The result of air velocity calculation is presented in Table 4. Table 4 shows the percentage of cake components moving upward at given air velocity. At the air velocity of 11.46 m/sec all portion of fibers, small and large shells, and small portion of broken kernels moved upward, while the whole and broken nuts, whole kernels, and large portion of broken kernels would drop.

Bootstrap method with 1000 resampling was used to find a confidence interval of optimum air velocity. The optimum air velocity density function is shown in Figure 4. The optimum air velocity was a little skew to the right. Because the distribution was not symmetric, the confidence interval was searched with the various left and right tail probability. The shortest intervals

72

were reached at 0.03 left and 0.02 right probabilities where the limit was 9.63 to 12.34 m/sec.

The operating air velocity of existing depericarper was operated at 13.10 m/sec. The bootstrap was also used to validate the air velocity of 13.10 m/sec to estimate the portion of cake components move upward. The validation results are presented in Table 5. Table 5 shows that the weight percentage of each cake component calculated by bootstrap in fiber cyclone compared to the actual observation is almost the same. The small deviation is caused by the theoretical calculation assuming that the particles move at the constant orientation with maximum projected area. A study of aerodynamic characteristic found that the particles move with random orientation and rotate resulting in higher drag force and lower terminal velocity (6).

The existing depericarper was originally designed for Dura material that has a large size of nut with thick shell. With the new introduction of Tenera material having smaller size of nut with tinier shell than that of Dura, the terminal velocity of Dura is higher than that of Tenera. Based on the observation, the air velocity of 13.10 m/s caused a portion of whole nuts, broken nuts, and broken kernels were disposed along with fibers and shells.

CONCLUSIONS

The density function estimation of terminal velocity of cake components gave three different groups, i.e. (1) fibers, (2) shells and (3) nuts and kernels. The grouping of terminal velocity is useful conditions for pneumatic separation process, so that the determination of optimum separating air velocity becomes possible.

Considering all fibers, small and large shells, and small portion of broken kernels move upward, theoretical optimum air velocity of depericarper is 9.63 to 12.34 m/sec at 95 % confidence interval.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank the palm oil mill manager and staff of Adolina estate, PT. Perkebunan VI for helping this experiment.