

**PENDUGAAN FUNGSI KEPEKATAN NONPARAMETRIK
KECEPATAN TERMINAL FRAKSI AMPAS PRES MINYAK SAWIT¹**

(Nonparametric Density Estimation for Terminal Velocity
of Palm Oil Press Cake)

Oleh

**Diwan Prima Ariana, Khairil Anwar Notodiputro, Aunuddin,
Purboyo Guritno²**

ABSTRACT

Press cake produced during oil palm fruit pressing is mainly composed by fibers and nuts. The pneumatic depericarper is usually used to separate fibers and nuts. The degree of separation between fibers and nuts is affected mainly by air velocity. The terminal velocities of these fractions were theoretically calculated. The optimum air velocity was then determined by using terminal velocity density function of those fractions.

There were significantly different in density function of fibers and nuts. Thus, it is possible to separate these fractions optimally. The optimal air velocity was found to be 9.63 to 12.34 m/s with confidence coefficient 0.95.

PENDAHULUAN

Pabrik kelapa sawit menghasilkan dua produk utama yaitu minyak sawit dan inti sawit. Ekstraksi minyak sawit dari daging buah dilakukan di unit pengepres, kemudian minyak akan dimurnikan sedangkan ampas presan (*press cake*) yang sebagian besar terdiri dari serat dan biji akan dipisahkan. Serat yang telah terpisah dari biji dimanfaatkan sebagai bahan bakar ketel uap sedangkan biji akan diproses lagi sampai didapatkan produk akhir berupa inti sawit.

Proses pemisahan ampas pres dilakukan di unit depericarper. Cara kerjanya adalah dengan mengumpulkan ampas pres ke dalam kolom pemisah vertikal yang didalamnya mengalir udara ke arah atas pada kecepatan tertentu. Karena adanya perbedaan kecepatan terminal dari fraksi-fraksi ampas pres ini, fraksi-fraksi ini akan terpisah menjadi dua bagian. Fraksi serat diharapkan terisap lebih jauh keatas sedangkan biji akan jatuh ke *polishing drum*. Fraksi-fraksi lain yang jumlahnya relatif kecil adalah cangkang dan inti. Fraksi cangkang diharapkan terhisap bersama serat, sedangkan inti jatuh bersama biji. Derajat pemisahan yang baik sangat tergantung kepada kecepatan udara ini.

¹ Sebagian dari tesis S2 penulis pertama pada Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Penelitian dibiayai oleh Asosiasi Penelitian dan Pengembangan Perkebunan Indonesia.

² Berturut-turut Staf Peneliti Pusat Penelitian Kelapa Sawit, Medan dan Komisi Pembimbing di Program Pascasarjana IPB.

Faktor yang penting dalam merancang deperikarper tipe pneumatik adalah kecepatan terminal fraksi-fraksi ampas pres yang akan dipisahkan antar sesamanya, sehingga dapat ditentukan kecepatan aliran udara yang optimum sehingga didapat derajat pemisahan yang baik. Kecepatan terminal adalah kecepatan maksimum dicapai suatu benda yang sedang jatuh bebas dengan resultante gaya sama dengan nol atau benda tidak lagi mengalami percepatan (Mohsenin, 1980).

Proses pemisahan ampas pres banyak yang belum optimum terutama di pabrik-pabrik kelapa sawit tua yang dirancang untuk bahan tanaman berbeda dengan bahan tanaman yang banyak ditanam sekarang. Untuk mengetahui kecepatan aliran udara yang optimum sebetulnya bisa dilakukan dengan cara mencoba berbagai kecepatan aliran udara dan dilihat masing-masing derajat pemisahannya. Tetapi kebijaksanaan operasional pabrik menyebabkan hal ini tidak mungkin dilakukan karena percobaan seperti ini akan mengganggu proses yang sedang berjalan dan akan membutuhkan biaya yang mahal. Alternatif lain yang dapat ditempuh adalah dengan melihat bentuk fungsi kepekatan terminal masing-masing fraksi ampas pres.

Tujuan penelitian ini adalah menduga fungsi kepekatan kecepatan terminal masing-masing fraksi ampas pres serta menentukan kecepatan aliran udara pemisahan yang memberikan derajat pemisahan yang terbaik.

METODOLOGI

Ampas pres yang terdiri dari fraksi serat, biji utuh, biji pecah, inti utuh, inti pecah, cangkang besar dan cangkang kecil diambil dari pabrik kelapa sawit Adolina, PT. Perkebunan VI, Sumatera Utara.

Pengambilan contoh dilakukan setiap hari operasi pabrik dalam seminggu. Contoh diambil dari ujung *cake breaker conveyor* sebelum masuk ke kolom pemisahan deperikarper dengan cara menghentikan jalannya *cake breaker conveyor* sesaat (sekitar 20 detik). Saat pengambilan contoh adalah sekitar 4 jam setelah mulai beroperasinya pabrik. Dari setiap contoh ampas pres harian diambil 80 individu masing-masing fraksi secara acak untuk diukur berat serta dimensinya sehingga untuk masing-masing peubah yang diukur akan didapatkan jumlah pengamatan (n) sama dengan 480. Selain itu diukur juga komposisi berat fraksi ampas pres serta kecepatan udara di kolom pemisahan deperikarper.

Ketika menghitung kecepatan terminal, biji dan inti diasumsikan berbentuk bola dengan diameter d_b yang merupakan rata-rata geometrik dari pengukuran pada tiga sumbu yang saling tegak lurus, yaitu $d_b = (d_1 d_2 d_3)^{1/3}$. Cangkang diasumsikan berbentuk piringan dengan diameter d_p yang merupakan rata-rata geometrik dari pengukuran dua sumbu terbesar yang saling tegak lurus, yaitu $d_p = (d_1 d_2)^{1/2}$. Serat diasumsikan berbentuk silinder dengan panjang l dan diameter d_s yang merupakan rata-rata aritmetik dari pengukuran diameter di kedua ujungnya dan tengah serat, yaitu $d_s = (d_1 + d_2 + d_3) / 3$.

Prosedur menghitung kecepatan terminal adalah :

..

1. Hitung CN_R^2 dengan persamaan (1) atau (2) bola dan piringan:

$$CN_R^2 = \frac{8mg\rho_f}{\pi\eta^2} \quad (1)$$

silinder :

$$CN_R^2 = \frac{2mgd\rho_f}{l\eta^2} \quad (2)$$

dimana,

C = koefisien seret,

N_R = bilangan Reynold,

m = massa (kg),

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s^2),

ρ_p = massa jenis udara (1.147 kg/m^3 pada 25°C),

η = viskositas absolut udara ($1.85 \times 10^{-5} \text{ NS/m}^2$ pada 25°C),

d = rata-rata diameter serat (m),

l = panjang serat (m)

2. Dari plot CN_R^2 vs N_R (lihat Henderson dan Perry, 1976 atau Mohsenin, 1980), cari nilai N_R yang bersesuaian dengan CN_{R2} dari hasil langkah ke 1.
3. Hitung kecepatan terminal V_t dengan persamaan (3)

$$V_t = \frac{\eta N_R}{d\rho_p} \quad (3)$$

dimana d untuk bentuk bola, piringan dan silinder masing-masing adalah d_b , d_p dan d_s .

Untuk menduga fungsi kepekatan kecepatan terminal digunakan metode nonparametrik dengan menggunakan kernel, yaitu :

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K \frac{x - X_i}{h} \quad (4)$$

dimana,

x = kecepatan terminal,

X_i = data kecepatan terminal ke-i,

n = jumlah pengamatan,

h = lebar jendela,

$K(\cdot)$ = fungsi kernel.

Lebar jendela h merupakan parameter pemulus (*smoothing parameter*) yang sangat mempengaruhi bentuk penduga kepekatan yang dihasilkan (Izenman, 1991). Jika h

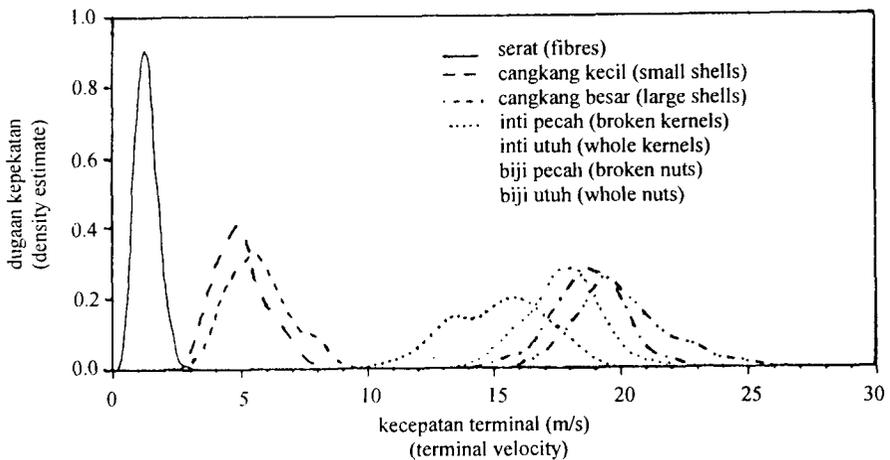
terlalu kecil didapat dugaan dengan banyak tonjolan dan hasilnya ialah dugaan yang terlalu kasar, sedangkan jika h terlalu besar didapat dugaan yang terlalu mulus (Silverman, 1986).

Untuk kernel Gaussian, yaitu $K(t) = 1/\sqrt{2\pi} \exp(-1/2t^2)$, Silverman (1986) menyarankan nilai h yang resisten terhadap asumsi kenormalan yaitu $h = 0.9An^{-1/5}$ dengan A sebagai min (simpangan baku, jarak antar kuartil/1.34).

Menurut logika, jika kecepatan terminal benda lebih besar dari kecepatan udara maka benda akan jatuh, sebaliknya jika kecepatan terminal benda lebih kecil dari kecepatan udara maka benda akan terisap ke atas. Berdasarkan logika tersebut dan dugaan fungsi kecepatan terminal maka kecepatan udara optimum yang dapat memisahkan fraksi serat dari fraksi biji dengan baik dapat diduga. Untuk menduga selang kepercayaan kecepatan udara optimum digunakan metode *bootstrap*. Jumlah percobaan ulang yang disarankan untuk menduga selang kepercayaan adalah minimal 1000 (Efron, 1992).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dugaan fungsi kecepatan peluang kecepatan terminal setiap fraksi ampas pres disajikan pada Gambar 1. Terlihat bahwa urutan kecepatan terminal fraksi-fraksi ampas pres dari yang terkecil ke yang terbesar adalah serat, cangkang kecil, cangkang besar, inti pecah, inti utuh, biji pecah dan biji utuh.



Gambar 1. Dugaan fungsi kecepatan kecepatan terminal

Figure 1. Density estimate of terminal velocity

Bentuk dugaan fungsi kepekatan peluang kecepatan terminal secara umum cenderung setangkup dengan satu modulus kecuali inti pecah yang memiliki dua modulus. Kecenderungan setangkup ini didukung juga oleh jarak median dengan kuartil 1 dan kuartil 3 yang hampir sama (lihat Tabel 1).

Dari ketujuh fraksi ampas pres terlihat ada tiga kelompok fraksi yaitu : (1) serat, (2) cangkang kecil dan cangkang besar, dan (3) inti pecah, inti utuh, biji pecah dan biji utuh. 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 terminal ini menguntungkan bagi proses pemisahan dengan cara pneumatik.

Dilihat dari Gambar 1 dan statistik yang disajikan pada Tabel 1 terlihat bahwa nilai minimum kecepatan terminal inti pecah (9.40) berada di bawah nilai maksimum kecepatan terminal cangkang besar (10.82) yang mengindikasikan adanya sedikit tumpang tindih fungsi kepekatan peluang di kelompok 2 dan 3.

Fungsi kepekatan peluang serat (kelompok 1) dan biji utuh (kelompok 3) terpisah cukup jauh sehingga memungkinkan pemisahan dengan cara pneumatik yang maksimum bagi kedua fraksi tersebut. Serat dan biji utuh adalah fraksi yang utama dalam ampas pres, sedangkan fraksi lain timbul akibat proses pres. Jika mesin pres terlalu kuat tekanannya akan menyebabkan biji pecah sehingga akan timbul fraksi cangkang dan inti. Tekanan mesin pres diatur sedemikian sehingga minyak yang terkandung dalam serat dapat diekstraksi sebanyak mungkin tetapi jika memungkinkan timbulnya biji pecah ditekan serendah mungkin.

Tabel 1. Statistik kecepatan terminal (m/dt)
Table 1. Statistik of terminal velocity (m/s)

Fraksi Fractions	Rataan Means	Simpangan baku Standard deviation	Min	K1	Me	K3	Mak	Me-K1	K3-Me
Serat Fibres	1.35	0.43	0.42	1.04	1.32	1.63	2.96	0.28	0.31
Cangkang kecil Small shells	4.98	1.02	2.73	4.25	4.90	5.57	8.08	0.65	0.67
Cangkang besar Large shells	5.72	1.26	2.25	4.78	5.62	6.42	10.82	0.84	0.80
Inti pecah Broken kernels	15.16	1.93	9.40	13.64	15.35	16.52	21.08	1.71	1.17
Inti utuh Whole kernels	17.72	1.44	13.86	16.79	17.77	18.67	22.01	0.98	0.90
Biji pecah Broken nuts	18.72	1.48	13.33	17.76	18.76	19.65	23.90	1.00	0.89
Biji utuh whole nuts	20.04	1.88	12.42	18.90	19.75	21.09	25.80	0.85	1.34

Keterangan/Note : Min = Minimum (**minimum**), K1 = Kuartil 1 (**1st quartile**),
 Me = Median (**median**), K3 = Kuartil 3 (**3rd quartile**),
 Mak = Maksimum (**maximum**).

Hasil pengukuran komposisi berat fraksi ampas pres disajikan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 terlihat bahwa sekitar 83 persen dari berat ampas pres adalah serat dan biji utuh. Cangkang, yang merupakan 5 persen dari berat ampas pres, biasanya dimanfaatkan sebagai bahan bakar ketel uap bersama-sama dengan serat, sedangkan inti dikumpulkan sebagai bahan baku pabrik minyak inti. Jadi di dalam proses pemisahan ini, kelompok 1 (serat) dan kelompok 2 (cangkang besar dan cangkang kecil) menjadi satu kelompok yaitu kelompok fraksi-fraksi yang terhisap ke atas untuk selanjutnya diumpankan ke ketel uap, sedangkan kelompok 3 yaitu inti utuh, inti pecah, biji utuh dan biji pecah merupakan kelompok fraksi yang jatuh ke “polishing drum”.

Tabel 2. Komposisi berat fraksi ampas pres (%)
Table 2. Weight composition of press cake fractions (%)

Fraksi Fractions	Persen berat Percentage of Weight
Serat Fibres	49.63
Biji utuh Whole nuts	33.55
Biji pecah Broken nuts	8.17
Inti utuh Whole kernels	1.00
Inti pecah Broken kernels	2.33
Cangkang besar Large shells	1.22
Cangkang kecil Small shells	4.06

Sekali lagi, menurut logika, 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. Jadi menurut logika tersebut, dugaan fungsi sebaran kumulatif metode kernel mampu menggambarkan hubungan antara kecepatan udara dengan porsi fraksi yang terisap ke atas. Fraksi yang terisap ke atas pada kecepatan udara x adalah :

$$\hat{F}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C\left(\frac{x-X_i}{h}\right) \quad (5)$$

dimana,

X_i = data kecepatan terminal ke- i ,

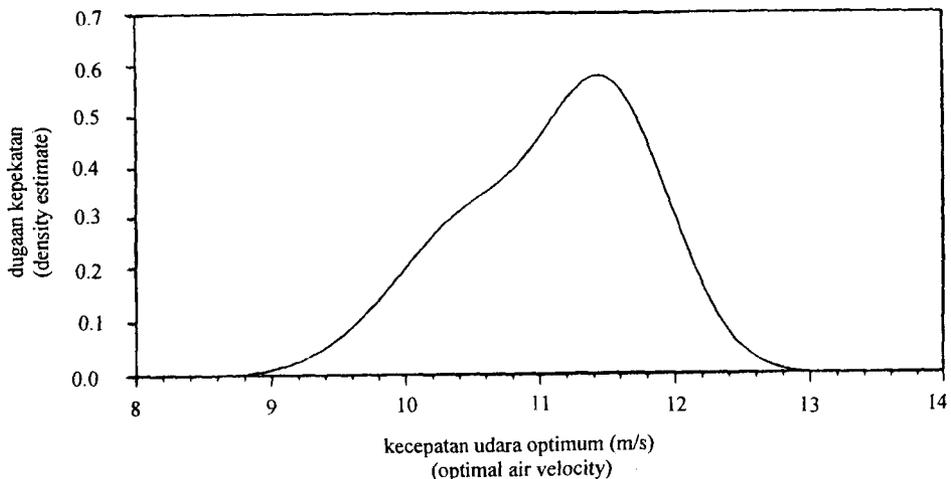
n = jumlah pengamatan,

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 $p(t) = t(1.5976 + 0.070566t^2)$ (Rade dan Bertil, 1990).

Walaupun fungsi kecepatan kecepatan terminal fraksi serat dan biji utuh terpisah jauh, persoalan penentuan kecepatan aliran udara pemisahan yang optimum menjadi tidak begitu sederhana dengan adanya fraksi-fraksi ikutan berupa cangkang dan inti. Dengan mempertimbangkan komposisi berat fraksi inti pecah yang relatif kecil dan kenyataan bahwa proses pemecahan biji yang efektif adalah bila fraksi yang masuk ke mesin pemecah biji adalah murni biji tidak ada fraksi lain, maka kecepatan aliran udara optimum ditetapkan sebagai kecepatan udara terendah dimana 100.00 persen cangkang besar ikut terisap bersama serat dan cangkang kecil.



Gambar 2. Dugaan fungsi kepadatan kecepatan udara optimum

Figure 2. Density estimate of optimal air velocity

Dengan aturan yang telah ditetapkan tadi, nilai dugaan kecepatan udara optimum ini adalah merupakan dugaan titik. Dari persamaan (5) jika X_1 adalah data kecepatan terminal cangkang besar, maka didapat dugaan kecepatan udara optimum yaitu 11.46 m/dt. Untuk mendapatkan selang kepercayaan parameter kecepatan udara optimum, dapat digunakan metode *bootstrap* dengan percontohan ulang sebanyak 1000 kali, seperti telah disebutkan dimuka.

Dugaan fungsi kepekatan kecepatan udara optimum dari hasil *bootstrap* disajikan pada Gambar 2. Gambar tersebut memperlihatkan sebaran kecepatan udara optimum yang agak miring, cenderung menjulur (*skewed*) ke kiri. Nilai modus sebaran itu adalah sekitar 11.4, suatu nilai yang hampir sama dengan hasil dugaan kecepatan udara optimum dari data asal.

Karena sebarannya tidak setangkup maka selang kepercayaan kecepatan udara optimum dicari dengan berbagai kemungkinan peluang ekor kiri dan ekor kanan. Selang terpendek didapat pada peluang ekor kiri 0.03 dan ekor kanan 0.02 dimana batas bawahnya adalah 9.63 sedangkan batas atasnya 12.34. Dari hasil *bootstrap* juga didapat rentang nilai kehilangan inti pecah yaitu 0 - 6 persen.

Kecepatan aliran udara yang sekarang digunakan di deperikarper adalah 13.10 ± 0.60 m/dt. Selang kecepatan tersebut berada di luar selang kepercayaan kecepatan udara optimum. Deperikarper tersebut adalah berasal dari pabrik kelapa sawit tua yang sebenarnya diperuntukan untuk varietas kelapa sawit Dura yang mempunyai ukuran biji yang besar dengan cangkang tebal. Dengan adanya kemajuan di bidang pemuliaan kelapa sawit maka saat ini varietas yang lebih unggul yang lebih banyak ditanam yaitu varietas Tenera mempunyai biji lebih kecil dan cangkang lebih tipis. Adanya perbedaan ukuran biji ini menyebabkan biji-biji varietas Dura akan mempunyai kecepatan terminal lebih besar dibandingkan biji-biji varietas Tenera. Jadi pada kecepatan udara 13.10 meter per detik mungkin akan menghasilkan pemisahan yang baik bagi bahan baku dari varietas Dura tetapi tidak bagi varietas Tenera.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pendugaan fungsi kepekatan peluang kecepatan terminal fraksi-fraksi ampas terlihat jelas adanya perbedaan fungsi kepekatan peluang fraksi serat dengan fraksi biji utuh sehingga memungkinkan ditentukannya kecepatan udara pemisahan yang memberikan derajat pemisahan maksimum.

Dengan menetapkan bahwa serat, cangkang kecil dan cangkang besar semua terisap ke atas, maka selang kepercayaan 95% kecepatan udara pemisahan optimum adalah (9.63 ; 12.34) m/dt.

Dari kenyataan di lapangan bahwa kecepatan udara pemisahan yang dioperasikan adalah 13.10 ± 0.60 m/dt maka perlu adanya koreksi terhadap kecepatan udara ini.

Pendekatan yang dipakai untuk menghitung kecepatan terminal pada penelitian ini adalah pendekatan teoritis. Untuk validasi fungsi kepekatan peluang fraksi-fraksi ampas pres disarankan mengukur langsung peubah kecepatan terminal, baik dengan cara plot

jarak versus waktu maupun dengan membangun model skala kecil deperikarper yang dilengkapi pengatur kecepatan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Efron, B. 1992. Six question raised by the bootstrap. *di dalam* Exploring the limits of bootstrap. John Willey and Sons. New York.
- Henderson, S.M. dan R.L. Perry. 1976. Agricultural process engineering. The AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.
- Izenman, A.J. 1991. Recent developments in nonparametric density estimation. *Journal of the American Statistical Association* 86 (413) : 205-224.
- Mohsenin, N.N. 1980. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Beach Science Publishers. New York.
- Rade, L. dan Bertil W. 1990. Beta - Mathematics handbook. 2nd ed. Studentlitteratur. Sweden.
- Silverman, B.W. 1986. Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London.