

KAJIAN SIFAT-SIFAT FISIK BUAH DAN BIJI KAKAO (*Theobroma cocoa* L.)

Andasuryani¹⁾, Nurluthfi Putra²⁾, Sandra Malin Sutan³⁾

¹⁾ Dosen Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Univ. Andalas

E-mail: andasuryani@fateta.unand.ac.id

²⁾ Alumni Mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Univ. Andalas

³⁾ Dosen Program Studi Ilmu Keteknikan Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Univ. Brawijaya

E-mail: sandra.msutan@ub.ac.id

ABSTRAK

Sifat-sifat fisik dari buah dan biji-bijian sangat diperlukan untuk desain peralatan penanganan, transportasi, proses dan penyimpanan. Rata-rata dimensi mayor, intermediet dan minor dari biji kakao dari 100 biji kakao adalah 22,38 mm, 13,18 mm dan 7,14 mm. Diameter ekivalen dan *sphericity* dari biji kakao dengan menggunakan diameter aritmetika, geometri, dan kuadrat berturut-turut adalah $13,50 \pm 0,93$ dan $0,57 \pm 0,04$. Volume, luas permukaan, *bulk density*, *true density*, porositas, *angle of friction* dan *angle of repose* dari biji kakao berturut-turut $168,63 \text{ mm}^3$, $63,48 \text{ mm}^2$, $0,42 \text{ g/cm}^3$, $1,0014 \text{ g/cm}^3$, 35° , dan $56,26\%$. Variasi kadar air bahan berpengaruh terhadap dimensi aksial, luas permukaan dan volume biji kakao. Diameter ekivalen, *sphericity*, volume dan luas permukaan buah kakao berturut-turut $10,63 \text{ cm}$, $0,64$, $394,43 \text{ cm}^3$ dan $285,34 \text{ cm}^2$. Nilai *sphericity* yang kecil dari 1 menunjukkan bahwa buah kakao berbentuk oblong dengan ukuran dimensi minor 49,75 % dari dimensi mayor.

Katakunci: biji kakao, *density*, diameter ekivalen, sifat-sifat fisik, *sphericity*

PENDAHULUAN

Tanaman kakao (*Theobroma cacao* L.) merupakan tanaman perkebunan yang sudah lama dikenal di Indonesia sejak tahun 1560. Akan tetapi, baru pada tahun 1951 menjadi komoditi penting dan mempunyai prospek cerah untuk dikembangkan. Tanaman kakao termasuk famili *sterculiaceae* yang tumbuh baik pada iklim yang suhunya teratur dan cukup lembab. Hasil utama dari tanaman kakao adalah biji kakao. Biji kakao dapat diolah menjadi berbagai produk pangan, yang tentu saja sebelum dapat dikonsumsi, biji kakao tersebut akan mengalami berbagai tahapan atau proses pengolahan.

Aremu dan Fowowe (2000) menyatakan bahwa semua kegiatan proses dan penanganan pasca panen seperti ekstraksi, pencucian, pengirisan, penghancuran, pengupasan yang dilakukan secara manual akan digantikan oleh alat, peralatan dan mesin untuk proses-proses tersebut. Bagaimanapun juga, sebelum mendisain dan fabrikasi dari mesin-mesin ini, diperlukan pertimbangan beberapa sifat fisik dari biji-bijian. Selanjutnya, Asoegwu (1995); Asoegwu dan Maduik (1999); Aviara *et al.*, (1999); Gupta dan Nachiket (1999), menyatakan bahwa sifat-sifat fisik juga dibutuhkan untuk disain dan analisis peralatan dan sistem untuk penanganan, prosesing dan penyimpanan.

Teknik prosesing dan penanganan yang baik dari biji kacang Afrika membutuhkan keakuratan sifat-sifat fisik seperti bentuk, ukuran, porositas, luas permukaan, *bulk density* (Alabandan, 1996). Berat, volume, densitas biji – bijian, diameter mayor, intermediet, minor dan rata-rata (aritmetika, geometrik, kuadrat dan ekivalen) dapat digunakan untuk mengkarakteristikkan biji kacang (Carman, 1996; Dutta *et al.*, 1988; Deshpande *et al.*, 1993; Aviara *et al.*, 1999; Suthar dan Das, 1996).

Tabatabaefar *et al.*, (2002) menyatakan bahwa perlunya studi sifat fisik (indikator kualitas biji) dari *Iranian pea* untuk disain dan konstruksi ayakan dan mesin grading. Informasi ukuran yang berhubungan dengan berat bahan adalah penting untuk grading, keseragaman dan pengemasan di dalam kotak-kotak standar atau karton (Singh *et al.*, 2004) dan di dalam pemisahan ayakan dan operasi penggilingan (Wilhelm *et al.*, 2004). Nelson (2002) menentukan koefisien volume (rasio volume terukur terhadap dimensi orthogonal produk) dan digunakan untuk memperkirakan volume dan *density* biji dari data dimensi biji dan berat biji. *Bulk density*, densitas biji-bijian dan porositas berguna dalam penyimpanan, transportasi dan sistem pemisahan (Kachru *et al.*, 1994; Oh *et al.*, 2001; Ureña *et al.*, 2002).

Densitas berguna dalam konversi matematika dari masa biji terhadap volume dan mempengaruhi teksturnya. Selain itu, juga bermanfaat pada operasi pindah panas. *Bulk density* dapat mengidentifikasi derajat perkecambahan selama pertumbuhan dan selanjutnya indikator kualitas dan prediksi didalam sifat mudah pecah dan kekerasan, penepungan dan kualitas pemanggangan (*baking kualitas*) (Chang, 1988). Data kecambah dan *bulk density* telah digunakan di dalam penentuan sifat dielektrik biji-bijian (Nelson dan You, 1989) dan untuk menentukan fraksi volume yang digunakan di dalam persamaan campuran dielektrik (Nelson, 1992).

Porositas dengan kata lain membiarkan fluida seperti udara dan cairan untuk mengalir melewati massa partikel dalam aerasi, pengeringan, pemanasan, pendinginan, dan operasi penyulingan. Ukuran biji-bijian dinyatakan oleh diameter ekivalen dan *sphericity* diperlukan untuk menggambarkan bentuk biji-bijian. Luas

permukaan berhubungan dengan ukuran dan porositas juga tergantung pada bentuk biji, yang bermanfaat dalam perhitungan laju pemanasan, pendinginan, pembekuan dan pengeringan dan di dalam disain penukar panas (*heat exchanger*), evaporator, pengeringan dan peralatan filtrasi. Disamping itu juga digunakan untuk memperkirakan jumlah lilin atau kertas pembungkus yang dipakai untuk buah-buahan (Asoegwu *et al.*, 2006).

Sphericity didefinisikan sebagai ratio luas permukaan dari benda bulat yang mempunyai volume sama dari partikel terhadap luas permukaan partikel. *Sphericity* dari biji-bijian yang berbeda akan bervariasi secara luas. *Bulk density* dari biji-bijian dapat ditentukan dengan mengukur berat dari volume biji-bijian yang telah diketahui dengan mengisi sebuah silinder. Perbandingan massa terhadap volume bahan tanpa ruang kosong dikenal dengan istilah *true density*. Teknik yang sederhana untuk mengukur *true density* adalah dengan metode perpindahan cairan. Porositas didefinisikan sebagai persentase volume dari ruang antar biji-bijian terhadap total volume dari biji-bijian. Persentase kosong dari biji-bijian yang berbeda sering dibutuhkan dalam pengeringan, aliran udara, dan aliran panas biji-bijian. Porositas tergantung pada bentuk, dimensi dan kekasaran permukaan biji-bijian. Sifat *angle of repose* dan *friction* dari biji-bijian memegang peranan yang penting dalam disain *hopper*, saluran untuk meluncurkan barang-barang ke bawah, pengeringan, kotak penyimpanan dan beberapa peralatan untuk aliran biji-bijian. Koefisien *friction* antara biji-bijian adalah sama dengan sudut tangen dari gesekan internal bahan. Koefisien *friction* tergantung pada bentuk biji, karakteristik permukaan dan kandungan air (Chakraverty dan Singh, 2001). Densitas dan *specific gravity* digunakan untuk perhitungan *diffusitas thermal* dan bilangan *Reynold* (Chakraverty dan Singh, 2001).

Data sifat-sifat fisik dari bahan pertanian mempengaruhi bagaimana bahan tersebut diproses, ditangani, disimpan, dikonsumsi, dan sangat dibutuhkan di dalam disain alat tanam, alat panen dan operasi pasca panen seperti pembersihan, pengangkutan dan penyimpanan (Kotwaliwale *et al.*, 2004 ; Masoumi dan Tabil, 2003; Wilhem *et al.*, 2004). Pertanian modern menggunakan teknik dan peralatan mekanis, thermal, listrik dan optis. Sifat bahan pertanian penting dalam disain mesin, struktur, proses dan kontrol. Sifat tersebut juga penting untuk analisis efisiensi mesin, pengembangan produk baru dan evaluasi mutu produk (Mohsenin, 1986). Variasi dari sifat fisik biji-bijian adalah tergantung pada kandungan air dan keberadaannya sangat penting dalam disain peralatan tanam, panen, operasi penanganan, transportasi, penyimpanan dan prosesing. Walaupun saat sekarang sudah banyak aplikasi teknologi alat/mesin pengolahan kakao akan tetapi pengetahuan sifat produk ini masih terbatas. Informasi sifat fisik biji kakao dan ketergantungan pada kadar air belum ada di dalam literatur.

Penelitian ini dilaksanakan dengan tujuan untuk mengidentifikasi sifat-sifat fisik buah dan biji kakao yang meliputi diameter ekuivalen, *sphericity*, volume dan luas permukaan, *bulk* dan *true density*, porositas, *angle of friction* dan *angle of repose*. Manfaat penelitian ini adalah dapat memberikan rekomendasi yang baik untuk disain alat/mesin pengolahan kakao dan penyimpanannya.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah kakao dan biji kakao varietas *forastero*, triplek, *stainless steel*, papan, paku, plastik polyetilen. Alat-alat yang digunakan *vernier caliper*, timbangan digital Kern PCB 200-2, gelas ukur, tabung, alat pengukur kadar air, lemari pendingin.

Tahapan Penelitian

Persiapan Bahan

Biji kakao yang diteliti adalah biji kakao yang telah difermentasi dan telah dikeringkan. Biji kakao tersebut dibersihkan dari bahan-bahan asing dan biji yang rusak, selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik polyetilen dan disimpan pada ruang pendingin pada suhu 5⁰ C selama 72 jam untuk keseragaman kadar air. Sebelum pengukuran, biji kakao tersebut dikeluarkan dari ruang pendingin dan dibiarkan pada suhu 25 - 27⁰ C selama 3 jam. Untuk pengukuran sifat fisik buah kakao digunakan buah kakao yang baru dipanen.

Pengukuran Sifat-Sifat Fisik Biji Kakao

Pengukuran sifat-sifat fisik produk (kakao) dilakukan dengan tiga kali ulangan. Beberapa parameter pengukuran sifat-sifat fisik biji kakao adalah sebagai berikut:

a. Ukuran dan Bentuk

Sampel diambil secara random sebanyak 100 biji yang digunakan untuk menentukan diameter ekuivalen (*De*) dan *sphericity* (Ψ) biji kakao. Diameter ekuivalen akan menggambarkan ukuran biji sedangkan *sphericity* menggambarkan bentuk biji. Masing-masing biji diukur dimensi aksialnya yang terdiri dari dimensi mayor (*L*), dimensi intermediat (*W*) dan dimensi minor (*T*)-nya dengan menggunakan *vernier caliper digital* (ketelitian 0.01 mm). Karena ukuran biji berperan penting dalam penanganan, prosesing dan penyimpanan, maka ukuran biji diklasifikasikan ke dalam kelompok kecil (< 20 mm), sedang (20 -25 mm) dan besar (> 25 mm). Kelompok

ini didasarkan pada dimensi mayor (panjang) dan dianalisis distribusi frekuensinya. Nilai diameter ekuivalen dapat dihitung dengan persamaan berikut (Ciro, 1997):

$$D_e = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3} \dots\dots\dots(1)$$

$$F_1 = \frac{L+W+T}{3} \dots\dots\dots(2)$$

$$F_2 = (LWT)^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots(3)$$

$$F_3 = \left(\frac{LW+LT+WT}{3} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

- De = Diameter ekuivalen (mm)
- F1 = Diameter rata-rata aritmetika (mm)
- F2 = Diameter rata-rata geometri (mm)
- F3 = Diameter rata-rata kuadrat (mm)
- L = Dimensi mayor (mm)
- W = Dimensi intermediet (mm)
- T = Dimensi minor (mm)

Sphericity (Ψ) biji dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Mohsenin, 1986; Gupta dan Das, 1997):

$$\Psi = \frac{F_2}{L} \dots\dots\dots(5)$$

b. Volume (V) dan luas permukaan (S)

Volume dan luas permukaan biji kakao dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Jain dan Bal, 1997):

$$V = \frac{\pi B^2 L^2}{6(2L-B)} \dots\dots\dots(6)$$

$$S = \frac{\pi B L^2}{2L-B} \dots\dots\dots(7)$$

$$B = (WT)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(8)$$

L = dimensi mayor (mm)

W = dimensi intermediet (mm)

T = dimensi minor (mm)

c. Bulk dan True Density

Bulk density adalah ratio massa sampel terhadap volume. *Bulk density* ditentukan dengan mengisi penuh tabung yang telah diketahui volumenya, kemudian diukur bobot sampel. *Bulk density* dihitung dengan persamaan berikut: (Ratnaningsih dan Ginting, 2006)

$$\rho_b = \frac{w}{v} \dots\dots\dots(9)$$

True density dapat dihitung dengan persamaan berikut: (Mohsenin,1986)

$$v_{sg} = \frac{c-b}{\rho_a} \dots\dots\dots(10)$$

$$\rho_t = \frac{a}{v_{sg}} \dots\dots\dots(11)$$

dimana :

ρ_b = bulk density (g/cm^3)

w = massa sampel (g)

v = volume yang ditempati (cm^3)

v_{sg} = volume bahan diukur dengan metode specific gravity (cm^3)

a = massa bahan diudara (g)

b = massa air + massa wadah (g)

c = massa air + massa wadah + massa bahan (g)

ρ_a = densitas air (g/cm^3)

ρ_b = true density (g/cm^3)

d. Porositas (P)

Porositas (P) merupakan fungsi dari *bulk density* dan *true density*. Porositas dihitung dengan persamaan berikut (Joshi *et al.*, 1993; Despande *et al.*, 1993; Suthar & Das, 1996 ; Jha, 1999 dan Nelson, 2002).

$$P = \left(1 - \frac{\rho_b}{\rho_t}\right) \times 100 \% \quad \dots\dots\dots(12)$$

P = porositas (%)

ρ_b = bulk density (g/cm^3)

ρ_t = true density (g/cm^3)

e. Angle of friction

Angle of friction merupakan sudut yang terbentuk saat biji mulai meluncur pada permukaan gesekan. Permukaan gesekan yang akan digunakan adalah papan triplek, plat besi, dan *stainless steel*. Material ini merupakan material yang digunakan untuk transportasi, penyimpanan, operasi penanganan dan box pengeringan. Silinder dengan ukuran diameter 50 mm dan tinggi 50 mm yang terbuka kedua sisinya diisi dengan biji dan ditempatkan pada permukaan gesekan. Silinder perlahan-lahan diangkat untuk mencegah kontak dengan permukaan gesekan. Sudut pada saat biji mulai meluncur dicatat sebagai *angle of friction* (Dutta *et al.*, 1998; Joshi *et al.*, 1993; Sing & Goswami, 1996; Suthar & Das, 1996).

f. Angle of repose

Angle of repose diperoleh dengan menggunakan kotak papan triplek yang sisi depannya dapat diangkat. Ukuran box adalah dimensi 300 mm x 300 mm x 300 mm. Kotak diisi dengan biji selanjutnya sisi depan kotak di angkat dengan cepat dan biji dibiarkan mengalir keluar dengan sudut kemiringan alaminya. *Angle of repose* dihitung dari mengukur jarak dari ujung kotak ke titik tengah kemiringan dan mengukur jarak dari ujung kotak ke titik tengah horizontal (Sing & Goswami, 1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Ukuran dan Bentuk

Distribusi ukuran dan bentuk biji kakao diperlihatkan pada Tabel 1. Berdasarkan dimensi mayor (panjang), sekitar 79 % dari biji kakao berukuran sedang (antara 20 – 25 mm), 12 % berukuran kecil (< 20 mm) dan 9 % berukuran besar (> 25 mm). Ukuran rata-rata adalah 22,38 mm, 13,18 mm dan 7,14 mm dengan koefisien variasinya 8,55 %, 9,41 % dan 16,92 berturut-turut untuk dimensi mayor, intermediate dan minor. Seperti yang dilaporkan oleh Oje dan Ugbor (1991), bahwa biji dengan dimensi mayor terbesar belum tentu mempunyai dimensi intermediat dan minor yang besar juga. Ini kemungkinan disebabkan oleh bentuk dan ukuran biji. Secara umum, biji kakao pada kelompok ukuran sedang mempunyai dimensi minor terbesar dengan ukuran rata-rata $7,25 \pm 1,21$. Ukuran biji kakao dinyatakan dalam diameter ekivalennya. Semakin besar ukuran biji, maka diameter ekivalennya akan meningkat. Nilai diameter ekivalen biji kakao berkisar 11,56 – 16,12 mm dengan nilai rata-rata $13,52 \pm 1,19$.

Nilai sphericity dari biji kakao berkisar 0,47 – 0,67 dengan nilai rata-rata $0,56 \pm 0,04$. Terlihat bahwa nilai sphericity meningkat dengan menurunnya ukuran biji dimana nilai sphericity tertinggi terdapat pada kelompok ukuran kecil ($0,60 \pm 0,03$) (Tabel 1). Hal serupa yang dinyatakan oleh Asoegwu *et al.*, (2006) bahwa nilai *sphericity* akan meningkat dengan menurunnya ukuran biji. Distribusi frekuensi *sphericity* memperlihatkan negatif skewness (-0,129) dan kurtosis (-0,367). Nilai *sphericity* yang rendah ($0,56 \pm 0,04$.) memperlihatkan bentuk biji kakao yang tidak bulat (*sphericity* mendekati 1, bahan berbentuk bulat) akan tetapi berbentuk *flat* dan tidak dapat mengelinding dengan dimensi tebal sekitar 27% dari dimensi panjang. Bentuk yang *flat* akan membantu biji-bijian meluncur, yang merupakan suatu sifat yang dibutuhkan dalam disain *hopper* dan peralatan penyimpanan lainnya.

Tabel 1. Ukuran dan Bentuk Biji Kakao

No.	Parameter	Ukuran Biji		
		Kecil (<20 mm)	Sedang (20 – 25 mm)	Besar (>25 mm)
1	Dimensi Mayor (L), mm			
	Persentase, %	12	79	9
2	Dimensi Aksial			
	Kisaran			
	Mayor (L), mm	18,86 – 19,87	20,01 – 24,92	25,24 - 27,66
	Intermediate (W),	10,49 – 14,77	10,39 – 16,35	13,62 – 15,70
	Minor (T), mm	5,45 – 8,20	4,95 – 10,32	4,94 – 9,45
	Ukuran rata-rata			
	Mayor (L), mm	$19,53 \pm 0,38$	$22,40 \pm 1,35$	$25,99 \pm 0,79$
	Intermediate (W),	$12,36 \pm 1,19$	$13,15 \pm 1,17$	$14,57 \pm 0,78$
	Minor (T), mm	$6,76 \pm 0,90$	$7,25 \pm 1,21$	$6,72 \pm 1,47$
3	Diameter ekivalen			
	Diameter rata-rata aritmetika	12,10 – 13,82	12,79 – 16,37	14,92 – 16,85
	Diameter rata-rata geometri	11,03 – 12,89	11,06 – 15,53	12,17 – 15,42
	Diameter rata-rata kuadrat	11,54 – 13,31	11,96 – 15,95	13,68 – 16,09
	Diameter Ekivalen	11,56 – 13,31	11,94 – 15,95	13,59 – 16,12
	Ukuran rata-rata			
	Diameter rata-rata aritmetika	$12,88 \pm 0,54$	$14,26 \pm 0,76$	$15,76 \pm 0,64$
	Diameter rata-rata geometri	$11,74 \pm 0,65$	$12,82 \pm 0,84$	$13,58 \pm 1,00$
	Diameter rata-rata kuadrat	$12,33 \pm 0,59$	$13,55 \pm 0,77$	$14,72 \pm 0,75$
	Diameter Ekivalen	$12,32 \pm 0,59$	$13,54 \pm 0,78$	$14,69 \pm 0,78$
4	Sphericity			
	Kisaran	0,56 – 0,66	0,49 – 0,67	0,47 – 0,58
	Rata-rata	$0,60 \pm 0,03$	$0,57 \pm 0,04$	$0,52 \pm 0,04$

Distribusi frekuensi (Tabel 2) memperlihatkan positif skewness untuk ketiga dimensi aksialnya, dengan nilai berturut-turut 0,327; 0,335, dan 0,275. Begitu pula dengan nilai diameter ekivalennya juga memperlihatkan *skewness* dan *kurtosis* positif.

Tabel 2. Pengujian Skewness dan Kurtosis untuk pengukuran parameter

No	Parameter	Skewness	Kurtosis
1	Dimensi mayor	0,327	-0,423
2	Dimensi intermediat	0,335	-0,361
3	Dimensi minor	0,275	0,128
4	Diameter rata-rata aritmetika	0,278	-0,134
5	Diameter rata-rata geometri	0,335	0,213
6	Diameter rata-rata kuadrat	0,306	0,035
7	Diameter ekivalen	0,298	0,058
8	<i>Sphericity</i>	-0,129	-0,367
9	Volume	0,906	1,728
10	Luas permukaan	0,559	0,688

Standar error skewness = 0,241 Standar error kurtosis = 0,478

b. Volume (V) dan luas permukaan (S)

Distribusi volume dan luas permukaan biji kakao dapat dilihat pada Tabel 3. Semakin besar volume dan luas permukaan biji kakao, maka semakin besar pula kelompok ukuran biji kakao. Rata-rata volume biji kakao berkisar dari 559,23 - 825,40 mm³ dan rata-rata luas permukaan biji kakao berkisar dari 365,47 - 497,02 mm². Volume dan luas permukaan biji kakao sangat dipengaruhi oleh dimensi aksial biji kakao. Distribusi frekuensi volume biji kakao (Tabel 2) memperlihatkan *skewnees* (0,906) dan *kurtosis* (1,728) yang positif, begitu pula halnya dengan luas permukaan yang mempunyai *skewnees* (0,559) dan *kurtosis* (0,688).

Tabel 3. Volume dan luas permukaan biji kakao

No.	Parameter	Ukuran Biji		
		Kecil (<20 mm)	Sedang (20 - 25 mm)	Besar (>25 mm)
1	Volume, mm ³	452,27 - 764,21	437,30 - 1356,46	564,64 - 1234,97
2	Luas permukaan, mm ²	321,99 - 439,23	327,57 - 638,28	403,51 - 629,33
Ukuran rata-rata				
1	Volume, mm ³	559,23 ± 108,41	717,20 ± 157,86	825,40 ± 207,88
2	Luas permukaan, mm ²	365,47 ± 40,59	438,16 ± 56,48	497,02 ± 69,46

c. True, Bulk Density dan Porositas

True density merupakan sifat yang digunakan dalam proses pemisahan dari bahan yang lebih ringan sedangkan nilai *bulk density* diperlukan dalam proses penyimpanan. *True density* biji kakao berkisar dari 0,982 - 1,033 g/cm³ dengan nilai rata-rata 1,0014 ± 0,01 g/cm³. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai *true density* biji kacang (1,102 g/cm³) dan biji bunga matahari (1,023 g/cm³) (Nelson, 2002). Sementara itu *bulk density* biji kakao berkisar dari 0,410 - 0,427 g/cm³ dengan nilai rata-rata 0,420 ± 0,01 g/cm³. Rata-rata porositas biji kakao 56,25 %. Nilai ini mendekati nilai porositas biji yang berbentuk flat (Joshi *et al.*, 1993).

d. Angle of Friction dan Angle of Refose

Angle of friction atau sudut peluncuran diperlukan oleh biji-bijian ketika mengalir sehingga nilai ini sangat dibutuhkan dalam desain hopper, media transportasi dan penyimpanan. Rata-rata nilai *angle of friction* dari biji kakao pada permukaan gesek stainless steel (29,33 ± 0,58), plat besi (24,67 ± 0,58) dan triplex (23,33 ± 0,58). Kehalusan dan kekasaran permukaan gesek akan mempengaruhi bahan meluncur di atasnya. Rata-rata *angle of refose* biji kakao adalah 35⁰, nilai ini lebih tinggi dari *angle of refose* biji coriander (24,91⁰ - 30,70⁰).

e. Hubungan kadar air terhadap dimensi aksial biji kakao

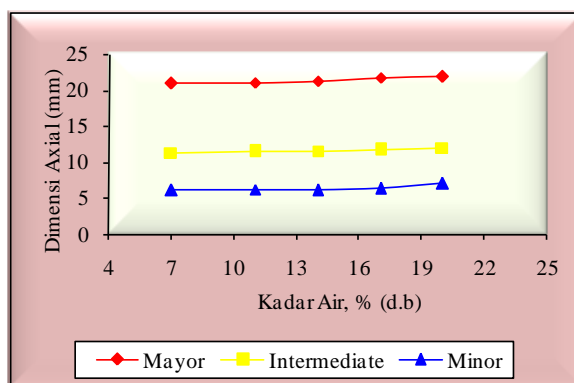
Dimensi aksial biji kakao pada berbagai kadar air dapat dilihat pada Gambar 1. Semua dimensi aksial biji kakao secara signifikan berkorelasi dengan kadar air. Dimensi mayor, intermediate dan minor akan menurun seiring dengan menurunnya kadar air bahan. Perubahan dimensi ini karena berkurangnya kandungan air pada bahan. Hubungan antara dimensi aksial dapat dinyatakan dalam persamaan regresi berikut:

$$L = 0,004x^2 - 0,0263x + 20,867 \quad R^2 = 0,9618$$

$$W = 0,0027x^2 - 0,0255x + 11,573 \quad R^2 = 0,9915$$

$$T = 0,0074x^2 - 0,01372x + 6,6649 \quad R^2 = 0,9406$$

dengan L = dimensi mayor (mm), W = dimensi intermediat (mm), T = dimensi minor (mm), dan x = kadar air (d.b) (%).



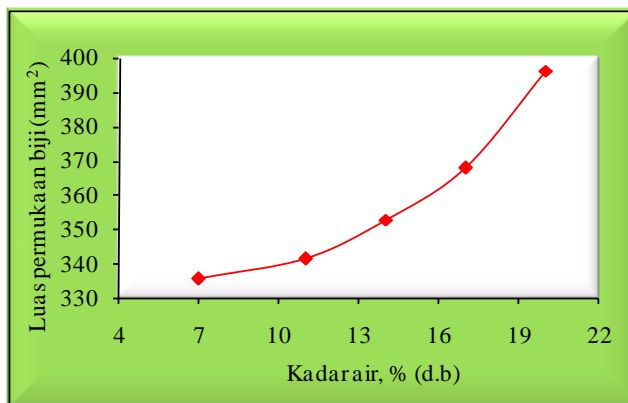
Gambar 1. Hubungan Kadar Air dengan Dimensi Aksial Biji Kakao

f. Hubungan kadar air terhadap luas permukaan biji kakao

Luas permukaan biji kakao pada berbagai kadar air dapat dilihat pada Gambar 2. Luas permukaan secara polynomial meningkat dengan meningkatnya kadar air biji kakao. Penelitian sebelumnya juga memperlihatkan hasil yang sama (Shepherd dan Bhardwaj (1986), Baryeh (2001), dan Baryeh (2002)) untuk biji bayam, bambara nuts dan biji millet. Variasi luas permukaan dengan kadar air dari biji kakao dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$L = 0,3803x^2 - 5,6979x + 357,07 \quad R^2 = 0,9968$$

dengan L = Luas = mm² dan x = kadar air (d.b) (%)



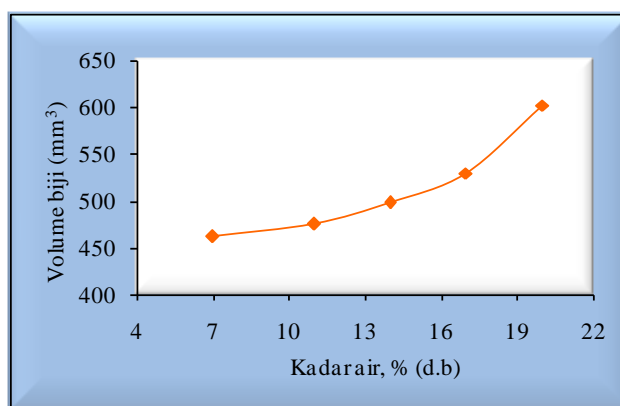
Gambar 2. Hubungan Kadar Air dengan Luas Permukaan Biji Kakao

g. Hubungan kadar air terhadap volume biji kakao

Volume biji kakao pada berbagai kadar air dapat dilihat pada Gambar 3. Volume biji kakao secara polynomial meningkat dengan meningkatnya kadar air biji kakao. Variasi luas permukaan dengan kadar air dari biji kakao dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$V = 0,9723x^2 - 15,9030x + 527,31 \quad R^2 = 0,9905$$

dengan V= volume = mm³ dan x = kadar air (d.b) (%)



Gambar 3. Hubungan Kadar Air dengan Volume Biji Kakao

h. Sifat Fisik Buah Kakao

Buah kakao memiliki dimensi mayor (panjang) 13,75 – 20,50 cm dengan panjang rata-rata 16,38 ± 3,01 cm, sementara itu dimensi intermediate dengan dimensi minor hampir mendekati ukuran yang sama. Buah coklat berbentuk oblong karena dimensi minor sekitar 49,75 % dari dimensi mayor dengan *sphericity* 0,64 ± 0,07. Volume dan luas permukaan buah kakao dipengaruhi oleh dimensi aksial buah kakao, semakin besar ukuran dimensi aksial buah kakao maka semakin besar volume dan luas permukaan buah kakao.

Tabel 4. Sifat Fisik Buah Kakao

No.	Parameter	Rata-rata	Kisaran
1	Dimensi mayor, cm	16.38 ± 3.01	13.75 – 20.50
2	Dimensi intermediate, cm	8.36 ± 0.54	7.80 – 9.20
3	Dimensi minor, cm	8.15 ± 0.50	7.80 – 9.00
4	Diameter rata-rata aritmetika, cm	10.96 ± 1.10	10.10 - 12.65
5	Diameter rata-rata geometri, cm	10.34 ± 0.80	9.71 - 11.78
6	Diameter rata-rata kuadrat, cm	10.60 ± 0.91	9.88 - 12.14
7	Diameter ekivalen, cm	10.63 ± 0.93	9.96 - 12.19
8	Sphericity	0.64 ± 0.07	0.53 - 0.73
9	Volume, cm ³	394.43 ± 83.45	332.53 - 556.49
10	Luas permukaan, cm ²	285.34 ± 45.42	249.48 - 366.94

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dimensi mayor, intermediate dan minor dari biji kakao rata-ratanya adalah 22,38 mm, 13,18 mm dan 7,14 mm.
2. *Sphericity* biji kakao kecil dari 1, sehingga biji kakao sulit untuk menggelinding.
3. *True density* biji kakao adalah 1,0014 g/cm³, yang memperlihatkan bahwa biji kakao tidak mengapung di dalam air. Sifat ini dibutuhkan dalam proses pemisahan.
4. *Bulk density*, porositas, volume, luas permukaan berturut-turut sebagai berikut 0,42 g/cm³; 56,26%; 168,63 mm³; dan 63,48 mm².
5. Kadar air berpengaruh terhadap dimensi aksial, luas permukaan dan volume biji kakao
6. Diameter ekivalen, *sphericity*, volume dan luas permukaan buah kakao berturut-turut 10,63 cm; 0,64; 394,43cm³ dan 285,34cm². Nilai *sphericity* yang kecil dari 1 menunjukkan bahwa buah kakao berbentuk oblong dengan ukuran dimensi minor 49,75 % dari dimensi mayor.

DAFTAR PUSTAKA

- Aremu AK dan SO Fowowe. 2000. Development and performance evaluation of a manually operated plantain-slicing machine. *Proc. Nigerian Institution of Agric. Engineers* 22: 30-35.
- Asoegwu S, O Ohanyere, Kanu dan C Iwueke. 2006. Physical Properties of African Oil Bean Seed (*Pentaclethra macrophylla*). *Agricultural Engineering International: the CIGRE journal*. Vol. VIII.
- Asoegwu SN 1995. Some physical properties and cracking energy of conophor nuts at different moisture contents. *Int. Agrophysics* 9: 131 – 142.
- Asoegwu SN dan JO Maduike. 1999. Some physical properties and cracking energy of *Irvingia gabonensis* (ogbono) nuts. *Proc. Nigerian Institution of Agric. Engineers* 21:131 – 137.
- Aviara NA, MI Gwandzang, dan MA Haque. 1999. Physical properties of guna seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*: 73(2): 105 – 111.
- Carman K. 1996. Some physical properties of lentil seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*: 63: 89 – 98
- Chakraverty, Amalendu dan Singh R.Paul. 2001. *Postharvest Technology : cereal, pulses, fruits and vegetables*. Science Publishers, Inc.,Enfield,NH,USA.
- Chang CS. 1988. Measuring density and porosity of grain kernels using a gas pycnometer. *Cereal Chemistry*. 65 (1): 13 – 15.
- Ciro VHJ. 1997. *Estudio Dinámico de la Café para el Desarrollo de la Cosecha Mecánica por Vibración* Thesis B. Sc. (Agricultural Engineering). Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.
- Coşkuner, Yalcin dan K Erşan. 2007. Physical properties of coriander seed (*Coriandrum sativum* L.). Departement of food Engineering, Univ. of Mersin Turkey.
- Deshpande SO, S Bal dan TP Ojha. 1993. Physical properties of soybean. *Journal of Agricultural Engineering Research*: 56: 89 – 98.

- Dutta SK, VK Nema, dan R.K Bhardwaji.1988. Physical properties of grain. *Journal of Agricultural Engineering Research*: 39: 2159 – 268.
- Gupta RK dan K Nachiket. 1999. Bio engineering properties of oilseeds. In: *Processing and Storage of Oilseeds for Food Uses*. Central Institute of Agric. Engng (CIAE), Bhopal, India, C3-1 to C3-11.
- Jain RK dan S Bal. 1997. Properties of pearl millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66, 85–91.
- Jha NS. 1999. Physical and hygroscopic properties of makhana. *Journal of Agricultural Engineering Research*: 72:145-150.
- Joshi DC, SK Das dan RK Mukherjee. 1993. Physical properties of pumpkin seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*: 54:219 – 229.
- Kachru RP, RK Gupta dan A Alam. 1994. *Physico-Chemical Constituents and Engineering Properties of Food Crops*. Jodhpur Scientific Publishers
- Keay RWJ. 1989. *Nigerian Trees*. Claredon Press, UK. 281 pp.
- Kotwaliwale N, GH Brusewitz dan PR Weckler. 2004. Physical characteristics of pecan components: effect of cultivar and relative humidity. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 47 (1): 227 – 231.
- Masoumi AA dan L Tabil. 2003. Physical properties of chickpea (*C. arietinum*) cultivars. Paper No. 036058 for 2003 ASAE Annual Meeting, Las Vegas, Nevada, USA 27 – 30 July 2003. ASAE St Joseph MI USA
- Mohsenin NN. 1986. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. 2nd Edition. Gordon and Breach Science Publishers. New York.N.Y.
- Nelson SO. 1992. Correlating dielectric property of solids and particulate samples through mixture relationships. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 35 (2): 625 – 629.
- Oh I H, SH Jo dan KS Rhim. 2001. A new method for determining apparent density and void fraction in a tobacco column, *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 44 (3): 651 - 654
- Ratnasingsih dan E Ginting. 2006. Beberapa Sifat Fisik Biji 17 Genotipe Kacang Hijau (*Vigna Radiata*). Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian. Bogor 20-30 November 2006.
- Singh KK, BS Reddy, AC Varshney dan S Mangraj. 2004. Physical and functional properties of orange and sweet lemon. *Applied Engineering in Agriculture*. 26 (6): 821 – 823.
- Suthar SH dan SK Das. 1996. Some physical properties of Karingda (*Citrullus lanatus* Thumb Mansf) seeds. *Journal of Agricultural Engineering Research*: 65:15 – 22. Tabatabaeefar, A. H. Aghagoolzadeh and H. Mobli. 2002. The design and development of a chickpea second sieving and grading machine. Paper No 021175. 2002 ASAE Annual International Meeting/CIGR XVth World Congress. Chicago. Illinois, USA 28 - 31 July 2002.
- Tjiptrosoepomo, G. 1988. Taksonomi Tumbuhan (*Spermatophyta*). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ureña MO, MG Galván dan AA Teixeira. 2002. Measurement of aggregate true particle density to estimate grain mixture composition. *Trans. American Society of Agricultural Engineers*. 45 (5): 1925 – 1928.
- Wilhelm LR, D A Suter dan GH. 2004. Physical Properties of Food Materials. Chapter 2. In *Food and Process Engineering Technology*. P. 23 – 52. St Joseph,
- Zapfack L, M Ngobo, N Tchamon, S Weise dan A Gallason. 1999. Plant diversity and non-timber forest products of short fallows in southern Cameroon. In *International Institute for Tropical Agriculture Project 1 1999. Shallow Fallow Systems*. P. 46 – 49.