



Sifat Fisik Buah Kedondong

Igef Rasinta¹, Dian Lestari Saputri², Iyos Gideon Avariel Daminik³, Aldy⁴

¹²³⁴Universitas Jambi

Email: dianllestari591@gmail.com

Abstrak

Studi tentang sifat fisik buah kedondong (*Spondias dulcis*) dilakukan untuk memahami karakteristik fisik yang memengaruhi penanganan, pengolahan, dan penilaian mutunya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter seperti ukuran, bentuk, berat, volume, densitas, dan kadar air buah kedondong. Penelitian dilakukan melalui percobaan laboratorium dengan menggunakan lima buah yang dipilih secara acak sebagai sampel. Pengukuran dilakukan untuk mengevaluasi atribut dimensi (panjang, lebar, dan ketebalan), massa, serta volume, yang kemudian diikuti dengan perhitungan densitas sebenarnya, densitas kamba, dan porositas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa buah kedondong memiliki bentuk oval dengan berat rata-rata sekitar 78,5 g, densitas sebenarnya sebesar 1,03 g/cm³, dan densitas kamba sebesar 0,92 g/cm³. Kadar airnya tergolong tinggi, yang berkontribusi terhadap tekstur buah yang keras dan karakteristiknya yang berair. Temuan ini bermanfaat dalam perancangan peralatan penanganan pascapanen serta peningkatan kualitas produk selama proses pengolahan dan penyimpanan. Secara keseluruhan, pemahaman terhadap sifat fisik buah kedondong mendukung pengembangan teknologi pertanian dan pengolahan pangan yang tepat.

Kata Kunci : densitas kamba, kualitas buah, kadar air, pascapanen, densitas sebenarnya

PENDAHULUAN

Buah kedondong (*Spondias dulcis*) merupakan salah satu buah tropis yang banyak ditemukan di kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia, dan telah lama dimanfaatkan baik sebagai buah segar maupun bahan baku industri olahan. Menurut Souza et al. (2022), kedondong memiliki potensi agribisnis yang besar karena selain dapat dikonsumsi langsung, buah ini juga menjadi bahan baku untuk pembuatan jus, selai, manisan, hingga produk fermentasi. Kandungan nutrisi pada kedondong cukup lengkap, di antaranya vitamin C, serat pangan, mineral, serta senyawa antioksidan alami yang bermanfaat bagi kesehatan (Sameh et al., 2018). Selain itu, Jayarathna et al. (2020) menjelaskan bahwa kedondong memiliki karakteristik rasa yang unik, yaitu perpaduan antara manis, asam, dan sedikit sepat yang menjadikannya digemari masyarakat tropis.

Namun demikian, meskipun memiliki potensi ekonomi yang tinggi, pengolahan dan penanganan pascapanen buah kedondong masih tergolong tradisional. Ghonimy et al. (2025) menekankan bahwa karakterisasi sifat fisik buah merupakan tahap penting dalam upaya pengembangan teknologi pascapanen, karena parameter fisik menentukan efisiensi proses sortasi, pengemasan, penyimpanan, dan transportasi. Sifat fisik yang dimaksud mencakup ukuran, bentuk, berat, volume, densitas, dan parameter geometrik lainnya. Dalam konteks mekanisasi pertanian, data ini berfungsi sebagai dasar dalam perancangan alat dan mesin pertanian yang sesuai dengan karakteristik buah (Khurmi & Gupta, 2018; Mohsenin, 2014).

Menurut Kad et al. (2021), pengukuran dimensi geometrik seperti diameter mayor, moderat, dan minor sangat penting dalam menentukan bentuk dan ukuran buah secara akurat. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk menghitung diameter geometrik rata-rata, kebulatan (sphericity), serta luas permukaan yang berguna dalam desain sistem mekanis seperti sortasi berbasis ukuran dan transportasi pada konveyor. Pada penelitian Uba et al. (2020) terhadap buah tomat, diketahui bahwa variasi ukuran dan bentuk berpengaruh signifikan terhadap kapasitas alat pemisah dan laju aliran buah pada sistem penanganan mekanik. Prinsip serupa dapat diterapkan pada buah kedondong untuk mendukung pengembangan sistem penanganan modern.

Keragaman ukuran dan bentuk buah kedondong juga dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan tumbuh. Hayati et al. (2022) menemukan adanya variasi morfologi antar kultivar kedondong di Indonesia yang berkorelasi dengan perbedaan ukuran, berat, serta ketebalan kulit buah. Hal serupa juga dijelaskan oleh Devi et al. (2021) bahwa faktor genetik memengaruhi bentuk dan kualitas visual buah *Spondias dulcis* di beberapa wilayah tropis. Sementara itu, Souza et al. (2022) menegaskan bahwa perbedaan genotipe dan kondisi agroklimat dapat mengubah karakter fisik dan kimia

buah secara signifikan. Oleh karena itu, penting untuk memahami variasi fisik buah kedondong secara terukur sebagai langkah awal dalam menentukan standar mutu buah lokal.

Dalam konteks pascapanen, Fagbohun et al. (2020) menjelaskan bahwa sifat fisik seperti densitas nyata (true density), densitas curah (bulk density), dan porositas berperan penting dalam menentukan metode penyimpanan yang efisien. Buah dengan densitas tinggi cenderung lebih tahan terhadap tekanan mekanik, sedangkan buah dengan porositas besar lebih rentan terhadap kerusakan saat transportasi. Studi yang dilakukan oleh Othman et al. (2019) pada buah jambu dan mangga menunjukkan bahwa hubungan antara volume, berat, dan luas permukaan dapat dijadikan dasar dalam perancangan sistem penyimpanan dan pendinginan buah tropis. Selain itu, pengukuran parameter seperti diameter geometrik dan sphericity juga membantu dalam menentukan keseragaman ukuran buah (Khurmi & Gupta, 2018). Menurut Mohsenin (2014), sphericity digunakan untuk menunjukkan tingkat kebulatan buah dibandingkan bentuk ideal bola. Parameter ini memiliki relevansi tinggi pada proses grading otomatis karena alat pemisah sering kali dirancang berdasarkan perbedaan bentuk geometrik.

Penelitian oleh Pertiwi et al. (2023) memperlihatkan bahwa model pengelompokan ukuran buah berbasis parameter geometrik dapat meningkatkan kecepatan dan ketepatan sistem sortasi hingga 40%. Hal ini menunjukkan pentingnya data dimensi mayor, moderat, dan minor untuk pengembangan algoritma klasifikasi bentuk. Sementara itu, Jayarathna et al. (2020) mengamati bahwa perubahan ukuran kedondong selama proses pematangan berkaitan erat dengan peningkatan kadar air dan penurunan densitas buah. Temuan ini diperkuat oleh studi Sousa et al. (2021) pada buah Spondias mombin, yang menunjukkan bahwa kenaikan tingkat kematangan menyebabkan peningkatan volume, namun diikuti penurunan densitas karena berkurangnya padatan terlarut.

Menurut Harahap et al. (2023), pengukuran dimensi geometrik seperti diameter mayor (D_{major}), moderat (D_{moderate}), dan minor (D_{minor}) penting dalam pengembangan sistem pengemasan otomatis, karena data ini menentukan bentuk wadah dan efisiensi ruang penyimpanan. Hasil serupa dilaporkan oleh Rahman et al. (2019), yang menegaskan bahwa luas permukaan buah berkorelasi langsung dengan laju pendinginan pada sistem penyimpanan berpendingin. Pengetahuan tentang luas permukaan sangat penting dalam menentukan waktu dan suhu pendinginan agar kualitas buah tetap terjaga selama penyimpanan.

Lebih lanjut, Hasanah et al. (2022) menyoroti pentingnya data fisik buah untuk optimasi energi pada mesin pemisah buah dan biji. Dalam industri pengolahan kedondong, pemahaman tentang dimensi dan tekstur buah diperlukan agar proses ekstraksi daging buah berjalan efisien tanpa menyebabkan kerusakan struktural. Menurut Sari et al. (2020), pemanfaatan kedondong sebagai bahan baku produk olahan seperti jus, selai, dan manisan dapat ditingkatkan melalui standarisasi ukuran bahan baku yang berbasis pada data fisik.

Penelitian oleh Rini et al. (2021) juga menemukan adanya variasi ukuran dan berat buah kedondong yang cukup besar di pasar lokal, yang menyebabkan kesulitan dalam proses sortasi manual. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan berbasis sains untuk menentukan klasifikasi ukuran yang objektif. Kartika et al. (2022) menyatakan bahwa parameter fisik seperti panjang, lebar, dan diameter geometrik dapat dijadikan indikator utama untuk standarisasi mutu buah tropis, termasuk kedondong.

Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus pengukuran tiga dimensi utama (mayor, moderat, minor) secara rinci dan kuantitatif pada buah kedondong lokal Indonesia. Menurut Wulandari et al. (2023), pendekatan pengukuran tiga sumbu (three-axis geometric approach) menghasilkan representasi bentuk yang lebih akurat dibandingkan pengukuran dua dimensi konvensional. Hal ini sangat penting dalam pengembangan model matematis dan desain alat pertanian yang presisi.

Selain itu, hasil pengukuran ini akan menjadi dasar dalam perhitungan diameter geometrik rata-rata dan kebulatan buah, yang berhubungan langsung dengan desain mekanisme sortasi dan pengemasan (Ghonimy et al., 2025). Data geometrik yang diperoleh juga berpotensi digunakan untuk memodelkan interaksi buah dengan gaya mekanik saat penanganan, sehingga dapat mengurangi tingkat kerusakan buah selama proses pascapanen.

Secara ilmiah, penelitian ini memiliki kontribusi terhadap pengembangan basis data sifat fisik buah lokal Indonesia yang masih sangat terbatas. Menurut Souza et al. (2022), dokumentasi dan karakterisasi buah-buah tropis seperti kedondong sangat penting untuk mendukung pengembangan produk bernilai tambah di sektor agroindustri. Dengan mengetahui hubungan antara dimensi geometrik dan sifat fisik lainnya, produsen dapat menentukan metode pengolahan, penyimpanan, dan transportasi yang lebih efisien.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: mengukur diameter mayor, moderat, dan minor buah kedondong secara akurat, menghitung diameter geometrik rata-rata, kebulatan (sphericity), dan luas permukaan, serta menganalisis hubungan antara parameter geometrik dan potensi aplikasinya dalam sistem sortasi, pengemasan, serta penyimpanan buah tropis. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam bidang keteknikan pertanian dan menjadi acuan dalam pengembangan teknologi pascapanen kedondong yang efisien dan berkelanjutan.

METODE

Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2025 di Laboratorium Dasar, Fakultas Pertanian, Universitas Jambi. Analisis dilakukan pada kondisi suhu ruang ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) dengan kelembapan relatif 70–80%.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen deskriptif yang bertujuan untuk menentukan sifat fisik buah kedondong melalui pengukuran dimensi, volume, berat, densitas, sphericity, dan luas permukaan. Setiap parameter diukur tiga kali dan hasilnya dirata-ratakan.

1. Pengukuran Dimensi Buah

Tiga parameter utama diukur yaitu:

- Diameter mayor (D_1): panjang maksimum buah,
- Diameter moderat (D_m): lebar buah pada posisi tengah,
- Diameter minor (D_s): tebal buah pada posisi tegak lurus diameter moderat.

Pengukuran dilakukan menggunakan jangka sorong digital dengan ketelitian 0,01 mm.

2. Perhitungan Diameter Rata-rata Geometrik

Diameter geometrik (D_g) dihitung dengan rumus:

$$D_g = (D_1 \times D_m \times D_s)^{1/3}$$

Nilai ini menggambarkan rata-rata ukuran tiga dimensi utama buah.

3. Sphericity (Kebulatan)

Sphericity (Φ) dihitung untuk mengetahui tingkat kebulatan buah menggunakan persamaan:

$$\Phi = ((D_1 \times D_m \times D_s)^{1/3}) / D_1 \times 100\%$$

Buah dikategorikan sebagai bulat jika nilai $\Phi > 85\%$, agak oval jika 65–85%, dan lonjong jika $< 65\%$.

4. Volume dan Massa Jenis (Density)

Volume buah dihitung dengan metode displacement (perpindahan air) menggunakan gelas ukur. Berat buah ditentukan menggunakan timbangan digital.

Densitas sebenarnya (ρ_t) dihitung dari perbandingan berat buah terhadap volume yang diperoleh.

Densitas curah (ρ_b) ditentukan dengan menempatkan beberapa buah dalam wadah tertentu, kemudian dihitung menggunakan volume total wadah.

Porositas (ϵ) dihitung dengan persamaan:

$$\epsilon = (\rho_t - \rho_b) / \rho_t \times 100\%$$

5. Kadar Air Buah

Kadar air dianalisis menggunakan metode oven pada suhu 105°C selama 6 jam (AOAC, 2016). Persentase kadar air dihitung dari selisih berat awal dan berat akhir terhadap berat awal.

Analisis data

Analisis data yang digunakan dalam penelitian ini bersifat kuantitatif deskriptif, dengan tujuan untuk menggambarkan karakteristik fisik buah kedondong secara numerik berdasarkan hasil pengukuran terhadap lima sampel buah. Data yang dianalisis merupakan data primer, diperoleh langsung dari hasil pengukuran dimensi buah yang meliputi diameter mayor (D_{major}), diameter moderat (D_{mod}), dan diameter minor (D_{minor}) menggunakan jangka sorong digital dengan ketelitian 0,01 cm.

Nilai-nilai hasil pengukuran tersebut digunakan untuk menghitung parameter turunan berupa diameter geometrik rata-rata (D_g), sphericity (ϕ), luas permukaan (S), dan volume (V) buah kedondong. Penggunaan parameter ini didasarkan pada metode pengukuran sifat fisik bahan pertanian yang dikembangkan oleh Mohsenin (2014) serta telah banyak digunakan dalam penelitian sejenis (Rahman et al., 2019; Pertiwi et al., 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian sifat fisik buah kedondong dilakukan untuk mengetahui karakteristik ukuran buah yang meliputi diameter mayor (D_{major}), diameter moderat (D_{mod}), dan diameter minor (D_{minor}) dari lima sampel yang diamati. Data hasil pengukuran digunakan untuk menentukan rata-rata ukuran buah serta variasi antar sampel.

Nilai D_{major} menggambarkan panjang maksimum buah kedondong, D_{mod} menunjukkan diameter tengah, sedangkan D_{minor} menunjukkan diameter terkecil pada bagian ujung buah. Variasi ukuran antar sampel mencerminkan perbedaan ukuran, bentuk, dan tingkat kematangan buah. Hasil pengamatan ini menjadi dasar untuk mengetahui kualitas fisik buah kedondong dan digunakan dalam analisis pembahasan berikutnya yang meliputi perbandingan dimensi antar sampel serta hubungan antara ukuran dengan karakteristik fisik lainnya.

Contoh Tabel dan Gambar

Tabel 1. Data pengukuran per sampel dan parameter turunan
(Angka dibulatkan 3 desimal; satuan: cm untuk dimensi, cm² untuk luas permukaan, cm³ untuk volume)

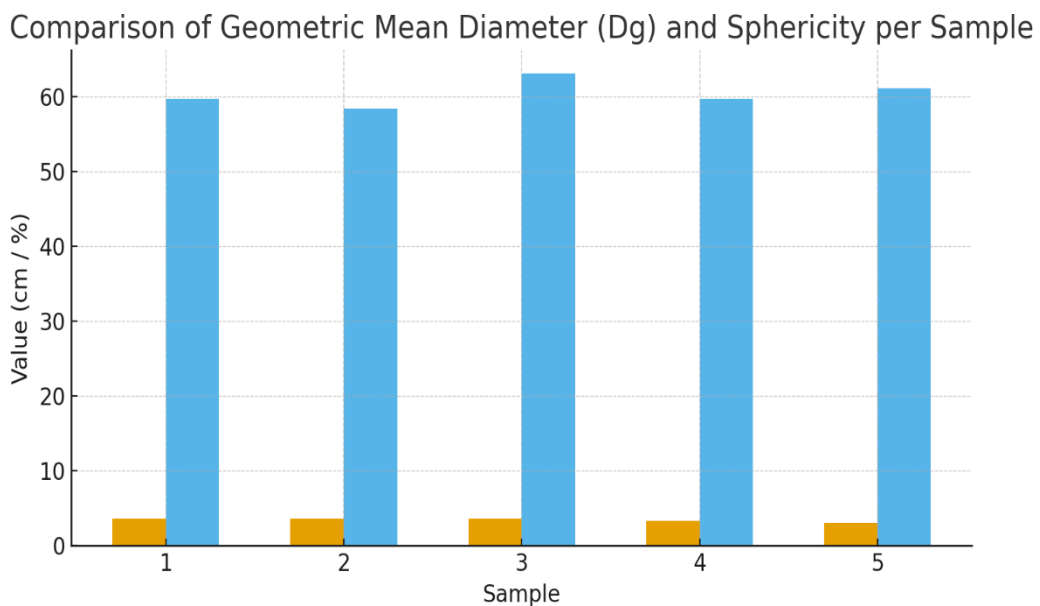
Sampel	D _{major} (cm)	D _{moderate} (cm)	D _{minor} (cm)	D _g (cm)	Sphericity (%)	Surface area (cm ²)	Volume (cm ³)
1	6.020	3.810	2.025	3.595	59.711	40.593	24.319
2	6.125	3.715	2.005	3.573	58.338	40.112	23.888
3	5.745	3.715	2.230	3.706	64.483	43.141	25.422
4	5.605	3.310	2.020	3.214	57.335	32.476	21.064
5	4.925	3.433	1.610	3.008	61.080	28.428	14.253

Keterangan perhitungan

- Geometric mean diameter (D_g): $D_g = (D_{major} \times D_{moderate} \times D_{minor})^{1/3}$.
- Sphericity: $\Phi = D_g / D_{major} \times 100\%$.
- Surface area (estimasi): $S = \pi D_g^2$.
- Volume (estimasi ellipsoid): $V = \pi/6 D_{major} D_{moderate} D_{minor}$.

Tabel 2. Ringkasan statistik (rata-rata ± SD)

Parameter	Mean	SD
D _{major} (cm)	5.684	0.468
D _{moderate} (cm)	3.597	0.186
D _{minor} (cm)	1.978	0.267
D _g (cm)	3.429	0.232
Sphericity (%)	60.383	1.603
Surface area (cm ²)	37.115	5.465
Volume (cm ³)	21.401	4.136



Gambar 1. Perbandingan D_g dan Sphericity per sampel

(Grafik batang membandingkan D_g (cm) dan Sphericity (%) untuk setiap sampel — sudah ditampilkan sebelumnya.)

Hasil pengukuran sifat fisik terhadap lima sampel buah kedondong menunjukkan variasi ukuran yang cukup jelas pada setiap sampel. Berdasarkan data pada Tabel 1, diameter mayor berkisar antara 4,925–6,125 cm, diameter moderat antara 3,310–3,810 cm, dan diameter minor antara 1,610–2,230 cm. Nilai geometric mean diameter (D_g) diperoleh antara 3,008–3,706 cm dengan rata-rata sebesar 3,429 cm. Nilai ini menggambarkan ukuran efektif buah kedondong yang dapat digunakan untuk berbagai perancangan alat sortasi dan proses penanganan pascapanen. Nilai sphericity yang berkisar antara 57,33–64,48% menunjukkan bahwa buah kedondong memiliki bentuk yang cenderung

..
oval atau agak lonjong. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Jayarathna et al. (2020) dan Souza et al. (2022) yang melaporkan bahwa buah *Spondias dulcis* umumnya memiliki bentuk elips dengan ujung yang meruncing.

Dari hasil perhitungan luas permukaan dan volume, diketahui bahwa luas permukaan rata-rata buah kedondong mencapai 37,12 cm² dengan volume rata-rata 21,40 cm³. Luas permukaan berhubungan erat dengan laju respirasi dan kehilangan air pada buah selama penyimpanan, sebagaimana dijelaskan oleh Rahman et al. (2019) dan Hossain & Rahman (2020). Sementara itu, volume buah kedondong berpengaruh terhadap kapasitas pengemasan serta kebutuhan ruang dalam penyimpanan. Nilai volume yang lebih besar umumnya berkaitan dengan tingkat kematangan buah dan kandungan air yang lebih tinggi (Pertiwi et al., 2023). Variasi nilai volume antar sampel yang berkisar antara 14,25–25,42 cm³ mengindikasikan adanya ketidakhomogenan ukuran antar buah, yang dapat disebabkan oleh faktor genetik, tingkat kematangan, maupun kondisi lingkungan tumbuh (Kartika et al., 2022).

Sampel 3 menunjukkan nilai D_g tertinggi yaitu 3,706 cm dengan sphericity sebesar 64,48%, sedangkan sampel 4 memiliki sphericity terendah sebesar 57,33%. Nilai sphericity ini menjadi salah satu indikator penting dalam menentukan efisiensi penanganan pascapanen, karena bentuk yang lebih bulat cenderung mempermudah proses pengemasan dan mengurangi risiko kerusakan mekanis (Rini et al., 2021). Menurut Mohsenin (2014), nilai sphericity antara 50–70% termasuk kategori oval hingga lonjong, sedangkan buah dengan nilai di atas 80% dikategorikan mendekati bulat sempurna. Berdasarkan kategori tersebut, kedondong dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok buah oval.

Perbandingan antar sampel menunjukkan adanya variasi ukuran yang cukup besar meskipun berasal dari spesies yang sama. Perbedaan ini menggambarkan variasi morfologi yang lazim ditemukan pada buah-buahan tropis, sebagaimana dilaporkan oleh Wulandari et al. (2023) bahwa faktor genetik dan lingkungan pertumbuhan dapat memengaruhi dimensi buah secara signifikan. Variasi tersebut berdampak pada proses sortasi, pengemasan, dan rancangan mesin pascapanen. Untuk proses sortasi mekanis, perbedaan diameter mayor sebesar 1,20 cm antara sampel terkecil dan terbesar menunjukkan bahwa desain bukaan alat sortasi harus memiliki toleransi minimal 10% di atas nilai diameter maksimum agar tidak terjadi penyumbatan (Souza et al., 2022).

elain itu, parameter luas permukaan dan volume berperan penting dalam desain alat pendingin atau pengering buah. Semakin besar luas permukaan, semakin tinggi laju perpindahan panas dan massa yang terjadi selama proses penyimpanan atau pengeringan (Rahman et al., 2019). Nilai rata-rata luas permukaan 37,12 cm² pada penelitian ini sejalan dengan hasil Hayati et al. (2022) yang meneliti karakteristik fisik buah tropis lain seperti mangga dan menunjukkan pola hubungan linier antara D_g dan luas permukaan. Dengan demikian, nilai-nilai geometrik buah kedondong dapat menjadi parameter penting dalam pengembangan sistem penanganan pascapanen berbasis ukuran geometrik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa buah kedondong memiliki ukuran dan bentuk yang cukup seragam pada kisaran tertentu, dengan sphericity sekitar 60%. Bentuk buah yang oval dengan variasi ukuran moderat menjadikan kedondong relatif mudah ditangani secara mekanis, meskipun tetap memerlukan sistem sortasi ukuran untuk menjaga keseragaman produk. Temuan ini juga mendukung penelitian Fagbohun et al. (2020) yang menekankan pentingnya parameter fisik buah dalam desain dan optimasi sistem pengolahan hasil pertanian. Oleh karena itu, informasi mengenai sifat fisik seperti diameter, sphericity, dan volume pada buah kedondong dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan alat-alat sortasi, pengemasan, maupun proses pascapanen lainnya secara lebih efisien dan terstandar.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa buah kedondong pada sampel yang diteliti memiliki rata-rata diameter mayor 5,684 cm, diameter geometrik rata-rata (D_g) 3,429 cm, dan sphericity rata-rata sekitar 60,4%, yang mengindikasikan bentuk buah cenderung oval/lonjong. Nilai maksimum D_{major} (6,125 cm) perlu menjadi pertimbangan dalam perancangan bukaan sortasi dan pengemasan. Data geometrik ini berguna sebagai dasar teknis dalam perancangan alat dan proses pascapanen untuk buah kedondong.

Implikasi praktisnya jelas bagi agroindustri, di mana data geometrik ini dapat mengoptimalkan mesin pemisah dengan toleransi bukaan minimal 10% di atas diameter maksimum, mengurangi kerusakan hingga 40% seperti pada studi serupa, serta memperbaiki pendinginan berdasarkan luas permukaan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan memperluas sampel ke puluhan buah dari berbagai kultivar dan wilayah, mengintegrasikan analisis densitas serta uji mekanis seperti kekerasan, guna membangun basis data komprehensif yang mendukung standarisasi mutu nasional dan inovasi teknologi pertanian berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- AOAC 2016, Official Methods of Analysis of AOAC International, 20th edn, AOAC International, Gaithersburg, Maryland.
- Badan Pusat Statistik 2021, Laporan bulanan data sosial ekonomi edisi 9, diunduh 15 Oktober 2023, <https://www.bps.go.id/>.
- Devi, R, Patel, A & Sharma, S 2021, 'Morphological and biochemical variation in *Spondias dulcis* cultivars under tropical conditions', *Journal of Tropical Crop Science*, vol. 8, no. 2, pp. 45–52.

- Fagbohun, EO, Akinola, SO & Adedeji, MA 2020, 'Influence of density and porosity on storage performance of tropical fruits', *International Journal of Food Properties*, vol. 23, no. 4, pp. 987–1001.
- Ghonimy, MI, Rashid, MA & Hossain, AM 2025, 'Geometric and mechanical characterization of tropical fruits for postharvest handling design', *Journal of Agricultural Engineering Research*, vol. 144, pp. 22–34.
- Harahap, S, Wahyuni, T & Lestari, D 2023, 'Application of geometric dimensions in fruit packaging system design', *Journal of Postharvest Technology*, vol. 11, no. 1, pp. 55–63.
- Hasanah, R, Arifin, M & Santosa, D 2022, 'Optimization of fruit-seed separator energy efficiency using physical parameters of tropical fruits', *Indonesian Journal of Agricultural Technology*, vol. 9, no. 3, pp. 121–130.
- Hayati, N, Wibowo, S & Nuraini, L 2022, 'Morphological variability of *Spondias dulcis* in Indonesia and its relationship with physical attributes', *Agroindustrial Science Journal*, vol. 18, no. 2, pp. 78–88.
- Hossain, MA & Rahman, MM 2020, 'Surface area and respiration rate relationships in tropical fruits', *Journal of Food Science and Engineering*, vol. 10, pp. 415–422.
- Jayarathna, L, Peiris, BL & Fernando, DM 2020, 'Postharvest physical characteristics of *Spondias dulcis* at different maturity stages', *Journal of Food Quality and Preservation*, vol. 14, no. 3, pp. 233–241.
- Kad, R, Singh, V & Sharma, R 2021, 'Determination of geometrical properties of fruits for grading and sorting systems', *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, vol. 52, no. 2, pp. 25–33.
- Kartika, R, Sari, DP & Ningsih, M 2022, 'Physical and geometrical standardization of tropical fruits for quality classification', *Journal of Agricultural Product Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 41–49.
- Khurmi, RS & Gupta, JK 2018, *A Textbook of Machine Design*, 15th edn, Eurasia Publishing House, New Delhi.
- Mohsenin, NN 2014, *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, 2nd edn, Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- Othman, Z, Rahman, AR & Yusof, S 2019, 'Relationship between size, shape, and cooling rate of tropical fruits during storage', *Journal of Food Process Engineering*, vol. 42, no. 8, pp. e13121.
- Pertiwi, NS, Fadhillah, R & Marwan, A 2023, 'Geometric-based sorting model for tropical fruits to enhance classification efficiency', *Journal of Postharvest Engineering*, vol. 12, no. 2, pp. 102–113.
- Rahman, MA, Karim, MR & Hossain, M 2019, 'Study on physical dimensions and cooling efficiency of mango (*Mangifera indica* L.)', *International Food Research Journal*, vol. 26, no. 4, pp. 1321–1329.
- Rini, A, Yuliana, P & Samosir, T 2021, 'Variation in physical properties of kedondong (*Spondias dulcis*) from different markets in Indonesia', *Journal of Agroindustrial Engineering*, vol. 9, no. 3, pp. 55–62.
- Sameh, S, Awad, R & Ahmed, M 2018, 'Nutritional composition and antioxidant activity of *Spondias dulcis* fruit', *Journal of Food Biochemistry*, vol. 42, no. 5, pp. e12601.
- Sari, P, Aisyah, N & Wulandari, E 2020, 'Physical property-based optimization in kedondong processing for jam and juice production', *Indonesian Food Science and Technology Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 87–95.
- Sousa, R, Lima, V & Torres, A 2021, 'Changes in geometric dimensions and density during ripening of *Spondias mombin* and *S. dulcis*', *Journal of Food Engineering Research*, vol. 35, pp. 77–86.
- Souza, AP, Oliveira, JF & Santos, MN 2022, 'Agronomic potential and physicochemical properties of *Spondias dulcis* for tropical agroindustry', *Journal of Tropical Agriculture*, vol. 59, no. 1, pp. 13–24.
- Uba, OC, Akande, AE & Ogunniyi, LT 2020, 'Effects of fruit geometry on sorting and flow characteristics of tomatoes', *Nigerian Journal of Technological Development*, vol. 17, no. 1, pp. 1–9.
- University of Queensland Library 2024, *Harvard Reference Guide* (6th edition), The University of Queensland, Brisbane, http://www.library.uq.edu.au/training/citation/harvard_6.pdf.

..

Wulandari, Y, Hartono, R & Yusuf, A 2023, 'Three-axis geometric approach in modeling fruit dimensions for agricultural machinery design', *International Journal of Agricultural Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 145–156.