

SIFAT FISIK BERAS MEMBRAMO, SUPERWIN, DAN CIMELATI

Mustofa

Program Studi Mesin dan Peralatan Pertanian, Politeknik Gorontalo
Email: mustofa@poligon.ac.id
Indonesia

ABSTRAK

Penentuan sifat fisik beras dimaksudkan agar proses penanganan dan teknologi pengolahannya dapat dilakukan dengan tepat. Hal ini bertujuan untuk menghasilkan kualitas beras yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan menganalisis sifat-sifat fisik beberapa jenis beras. Sifat-sifat itu diantaranya geometri, luas permukaan, volume, densitas, densitas curah, porositas, dan sudut tenang. Geometri dan volume bahan ditentukan berdasarkan pengukuran panjang (L), lebar (W), dan ketebalan (T) menggunakan jangka sorong digital dengan ketelitian 0.01 mm. Densitas, densitas curah, dan porositas beras ditentukan berdasarkan massa dan volumenya. Sementara sudut tenang ditentukan berdasarkan ketinggian (h) tumpukan beras dan diameternya (D). Hasil penelitian menunjukkan bahwa geometri beras Membramo, Superwin, dan Cimelati tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Nilai luas permukaan rata-rata beras Cimelati lebih besar dibandingkan beras Membramo dan Superwin, begitu juga dengan volumenya. Luas permukaan dan volume rata-rata beras Cimelati masing-masing adalah 23.89 mm² dan 13.41 mm³. Sedangkan, densitas individu dan curah yang paling besar dimiliki oleh beras Superwin, masing-masing sebesar 1.42 gr/cm³ dan 0.80 gr/cm³. Selain itu, porositas dan sudut tenang yang paling rendah masing-masing dimiliki oleh beras Superwin dan Cimelati, yakni 40.69% dan 26.59%.

Kata kunci: beras, sifat fisik, geometri, porositas, sudut tenang.

ABSTRACT

The determination of rice's physical properties is intended so that the handling process and processing technology can be carried out properly. This study aims to determine and analyze the physical properties of several types of rice. These properties include geometry, surface area, volume, density, bulk density, porosity, and repose angle. Geometry and volume of material were determined based on measuring length (L), width (W), and thickness (T) using a digital caliper with an accuracy of 0.01 mm. Density, bulk density and porosity of rice were determined based on its mass and volume. While, the angle of repose is determined based on the height (h) of the rice pile, and the diameter (D) is known. The results show that the geometry of Membramo, Super win, and Cimelati does not have a significant difference. The average surface area value of Cimelati rice is greater than that of Membramo and Super win rice, and its volume. The average of surface area and volume of Cimelati rice were 23.89 mm² and 13.41 mm³, respectively. Meanwhile, Super win rice has the largest individual and bulk densities, 1.42 gr/cm³ and 0.80 gr/cm³, respectively. Super win and Cimelati rice have the lowest porosity and repose angle, namely 40.69% and 26.59%.

Keywords: rice, physical properties, geometry, porosity, angle of repose.

1. PENDAHULUAN

Beras merupakan salah satu jenis makanan pokok secara umum. Fungsi ini menjadikan beras sebagai makanan pokok yang paling sering dikonsumsi. Terkadang sebagian orang menganggap bahwa tidak lengkap jika belum mengonsumsi nasi, sekalipun berbagai jenis makanan telah dikonsumsi. Data statistik Bulan September 2018 diketahui bahwa kategori padi-padian (beras) memiliki tingkat partisipasi tertinggi dibandingkan dengan komoditas lain, yakni sekitar 97.09%. Masyarakat di pedesaan memiliki tingkat konsumsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan masyarakat perkotaan GKG (Badan Pusat Statistik, 2018a).

Semakin tinggi konsumsi beras mendorong pemerintah untuk memproduksi padi dalam jumlah

yang besar. Tercatat sejak Januari hingga September 2018 Indonesia memproduksi padi sebesar 49.65 juta ton Gabah Kering Giling (GKG). Dalam jumlah tersebut Provinsi Jawa Timur merupakan produksi padi tertinggi, yakni 10.54 juta ton GKG disusul Jawa Barat dan Jawa Tengah. Sedangkan Provinsi Gorontalo menempati posisi ke-25 dengan produksi padi sebesar 241948 ton GKG (Badan Pusat Statistik, 2018b). Produksi padi di Gorontalo dari tahun 2014 hingga 2018 mengalami peningkatan dengan persentase pertumbuhan 2018 terhadap 2017 sebesar 0.02% (Kementerian Pertanian RI, 2019) dan persentase peningkatan produksi tahun 2015-2016 sebesar 11% (Sulaiman, dkk., 2018).

Seiring dengan peningkatan produksi beras harus diimbangi dengan peningkatan kualitasnya. Kualitas beras bergantung pada sifat-sifat dari beras itu sendiri. Beberapa sifat yang penting dalam menentukan kualitas beras adalah sifat fisiknya, seperti ukuran dan bentuk (kebundaran, aspek rasio, rasio kelangsingan), luas permukaan, volume, massa, densitas individual, densitas curah, porositas, dan sudut tenang (*angle of repose*). Sifat-sifat ini sangat penting berkaitan dengan operasi-operasi dalam industri makanan (Singh dan Heldman, 2009). Sifat-sifat ini juga dibutuhkan dalam perancangan proses untuk memperkirakan sifat-sifat yang lain dan penentuan kualitas serta karakterisasi produk pangan. Pada operasi-operasi industri berkaitan penanganan dan pengolahan bahan makanan membutuh sifat-sifat fisik seperti ukuran, bentuk, volume, luas permukaan, kepadatan, dan porositas (Rao, dkk., 2014). Sudut tenang (*angle of repose*) sangat penting berkaitan dengan desain proses, penyimpanan, dan sistem pengangkutan bahan (Sahin dan Sumnu, 2006). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan menganalisis sifat-sifat fisik beberapa jenis beras.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama dua bulan di Laboratorium Mesin Umum Program Studi Mesin dan Peralatan Pertanian dimulai dari pengambilan sampel, penentuan dan pengukuran sifat fisik, perhitungan hingga analisis data.

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beberapa jenis beras yang umum dijual di Pasar Sentral Gorontalo. Jenis-jenis beras yang merupakan objek penelitian adalah Membramo, Cimelati, dan Superwin.

2.3. Alat

Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain jangka sorong digital dengan ketelitian 0.01 mm, dua jenis timbangan digital masing-masing dengan ketelitian 0.01 dan 0.1 gr, gelas ukur 50 mL, dan tabung silinder untuk menentukan sudut tenang.

2.4. Metode

Beberapa sifat fisik yang ditentukan antara lain geometri, luas permukaan, volume, densitas, densitas curah, porositas, dan sudut tenang.

2.4.1. Geometri

Geometri beras yang menjadi objek kajian antara lain *slenderness* (rasio kelangsingan), diameter ekuivalen, dimensi rata-rata geometri, *sphericity*, aspek rasio dan eksentrisitas. Rasio kelangsingan, diameter ekuivalen, dimensi rata-rata geometri, dan *sphericity* masing-masing ditentukan berdasarkan persamaan (1-4) (Mohsenin, 1986):

$$Sl = \frac{L}{W} \quad (1)$$

$$D_p = \left(L \frac{(W + T)^2}{4} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2)$$

$$D_e = (LWT)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$$\Phi = \frac{(LWT)^{\frac{1}{3}}}{L} \quad (4)$$

dimana,

Sl : rasio kelangsingan

D_p : diameter ekuivalen (mm)

D_e : dimensi rata-rata geometri

Φ : kebundaran (*sphericity*)

L : panjang (mm)

W : lebar (mm)

T : ketebalan (mm)

Selain persamaan (1-4), sifat beras yang merupakan parameter untuk menggambarkan bentuk dari beras tersebut dapat diekspresikan melalui aspek rasio yang dirumuskan dengan persamaan (5) (Maduako & Faborode, 1990) :

$$R_a = \frac{W}{L} \quad (5)$$

Sifat eksentrisitas (E) suatu bahan dapat ditentukan berdasarkan persamaan (6) (Maurer dan Eaton, 1971). Eksentrisitas merupakan ukuran kelonjongan dari suatu bahan. Semakin besar nilai eksentrisitasnya maka bahan tersebut semakin lonjong.

$$E = \frac{\sqrt{L^2 - \left(\frac{W + T}{2}\right)^2}}{L} \quad (6)$$

2.4.2. Luas Permukaan

Luas permukaan suatu bahan ditentukan dengan dua persamaan yang berbeda, yakni persamaan (7) (Jain & Bal, 1997) dan persamaan (8) (McCabe, dkk., 2005):

$$S = \frac{\pi B L^2}{(2L - B)}, \text{ dengan } B = \sqrt{WT} \quad (7)$$

$$S_a = \pi D_e^2 \quad (8)$$

S dan S_a merupakan luas permukaan (mm^2) suatu bahan yang diukur berdasarkan persamaan yang berbeda.

2.4.3. Volume

Volume suatu bahan dapat ditentukan melalui persamaan (9) (Jain & Bal, 1997):

$$V = 0.25 \left[\left(\frac{\pi}{6} \right) L(W + T)^2 \right] \quad (9)$$

2.4.4. Densitas dan Densitas Curah

Densitas suatu bahan merupakan perbandingan massa dengan volumenya. Sedangkan densitas curah adalah massa curah dari suatu bahan dengan volume wadah yang terisi bahan dengan massa yang diketahui. Densitas bahan ditentukan berdasarkan persamaan (10) (Mohsenin, 1986 dan Figura & Teixeira, 2007):

$$\rho_t = \frac{m_t}{V_t} \quad (10)$$

dimana ρ_t , m_t , dan V_t masing-masing adalah densitas bahan (g.cm^{-3}), massa bahan (g), dan volume bahan (cm^3).

Sedangkan densitas curah ditentukan berdasarkan persamaan (11) (Sundaram, 2014):

$$\rho_b = \frac{w}{v} \quad (11)$$

dimana ρ_b , w , dan v masing-masing adalah densitas curah bahan (g.cm^{-3}), massa curah bahan (g), dan volume curah (cm^3)

2.4.5. Porositas

Porositas merupakan ukuran pori (ruang kosong) dalam suatu tumpukan bahan pertanian. Porositas ditentukan berdasar densitas bahan dan densitas curah dari bahan tersebut yang diekspresikan melalui persamaan (12) (Jain & Bal, 1997):

$$\varepsilon = \frac{(\rho_t - \rho_b)}{\rho_t} \times 100 \quad (12)$$

dimana ε adalah porositas (%).

2.4.6. Sudut Tenang

Sudut tenang dari suatu bahan adalah sudut kemiringan ketika bahan ditumpahkan di atas permukaan datar sehingga akan menghasilkan tumpukan seperti gunung (Gambar 1).

Penentuan sudut tenang suatu bahan ditentukan berdasarkan persamaan (13) (Palilo, dkk, 2018):

Tabel 1. Sifat Fisik Beras Membarmo, Superwin, dan Cimelati

Sifat Fisik	N ^{*)}	Membramo			Superwin			Cimelati		
		a ^{**)}	b ^{***)}	Rata-rata	a	b	Rata-rata	a	b	Rata-rata
Panjang, L (mm)	100	5.92	7.39	6.70	5.92	7.23	6.72	5.85	7.54	6.69
Lebar, W (mm)	100	1.76	2.43	2.17	1.68	2.46	2.13	1.77	2.44	2.15
Ketebalan, T (mm)	100	1.45	1.99	1.70	1.43	1.95	1.72	1.59	1.97	1.76
Rasio kelangsingan, Sl	100	2.68	3.80	3.09	2.70	3.82	3.17	2.57	3.88	3.13
Diameter ekuivalen, Dp (mm)	100	2.63	3.17	2.93	2.60	3.19	2.92	2.63	3.29	2.94
Dimensi rata-rata geometri (De)	100	2.63	3.17	2.91	2.60	3.17	2.90	2.62	3.28	2.93
Kebundaran, Φ	100	0.40	0.47	0.44	0.39	0.48	0.43	0.40	0.48	0.44
Aspek rasio, Ra	100	0.26	0.37	0.32	0.26	0.37	0.32	0.26	0.39	0.32
Kelonjongan, E	100	0.95	0.97	0.96	0.94	0.97	0.96	0.94	0.97	0.96
Luas permukaan, S (mm^2)	100	19.17	27.74	23.62	19.12	27.77	23.54	19.17	29.67	23.89
Luas permukaan, Sa (mm^2)	100	21.73	31.46	26.69	21.21	31.56	26.55	21.62	33.69	27.05
Massa, m (g)	100	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
Volume, V (mm^3)	100	9.57	16.71	13.21	9.19	16.96	13.07	9.48	18.61	13.41
Densitas, ρ_t (g/cm^3)	100	1.10	1.95	1.38	1.20	1.50	1.42	1.13	1.69	1.38
Densitas curah, ρ_b (g/cm^3)	10	0.75	0.83	0.79	0.78	0.85	0.80	0.78	0.81	0.79
Porositas, ε (%)	10	29.63	60.59	43.23	34.08	46.57	40.69	36.04	49.35	44.39
Sudut tenang, ϕ (°)	10	24.98	31.84	28.04	23.78	31.95	27.11	25.17	27.35	26.59

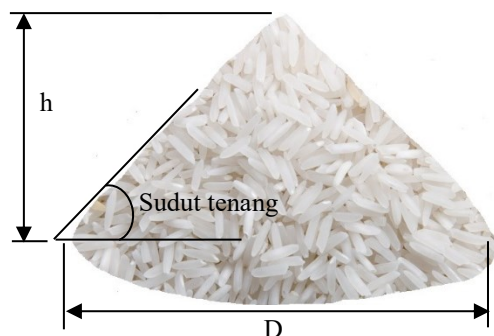
^{*)} N = jumlah pengujian

^{**) a} = nilai terkecil

^{***) b} = nilai terbesar

$$\phi = \tan^{-1} \frac{h}{r} \quad (13)$$

dimana h adalah tinggi tumpukan dan r adalah jari-jari yang merupakan $\frac{1}{2}$ diameter (D).



Gambar 1. Sudut tenang beras

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

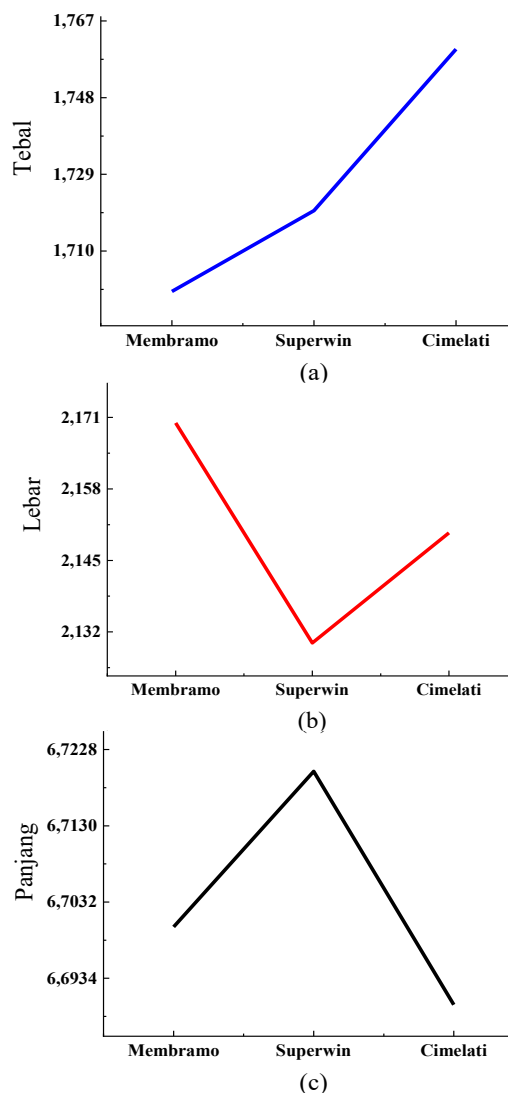
Secara umum, sifat fisik beberapa jenis beras disajikan pada Tabel 1. Berdasarkan data pada Tabel 1 diketahui bahwa sifat fisik beras Membramo, Superwin, maupun Cimelati tidak memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Meskipun demikian, adanya perbedaan ini menunjukkan bahwa dalam proses pengolahannya harus memperhatikan sifat-sifat ini.

3.2. Pembahasan

3.2.1. Geometri

Geometri yang dimaksud adalah bentuk dan ukuran yang berkaitan dengan panjang (L), lebar (W), ketebalan (T), diameter, kebundaran (Φ) dan kelongongan (E). Dua parameter terakhir, kebundaran dan kelongongan, bergantung pada tiga parameter sebelumnya, yakni panjang, lebar, dan ketebalan.

Beras Cimelati memiliki ketebalan rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan beras Membramo dan Superwin (Gambar 2.a), tetapi memiliki panjang rata-rata yang lebih rendah dibandingkan Superwin dan Membramo (Gambar 2.c). Sedangkan beras Membramo lebih tebal dibandingkan dengan Cimelati dan Superwin (Gambar 2.b). Berdasarkan kriteria ini, baik Membramo, Superwin, maupun Cimelati memiliki kebundaran rata-rata yang perbedaannya tidak signifikan, yakni berkisar antara 0.43-0.44, bahkan memiliki sifat kelongongan (eksentrisitas) yang sama, yakni 0.96. Nilai ini sangat tinggi sehingga dapat dijelaskan bahwa beras Membramo, Superwin, dan Cimelati memiliki bentuk yang sangat lonjong. Hal ini dapat diketahui dari perbedaan yang sangat signifikan antara panjang (L), lebar (W), dan ketebalannya (T).



Gambar 2. Dimensi beras membramo, superwin, dan cimelati: (a) tebal, (b) lebar, dan (c) panjang

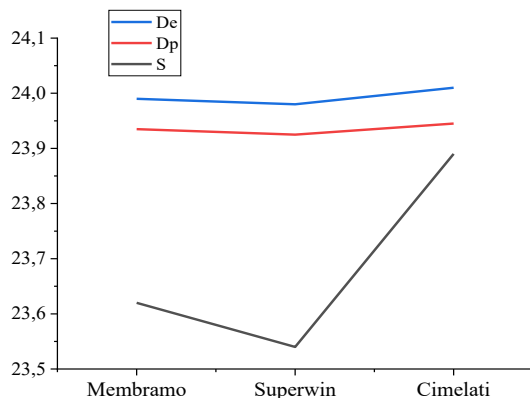
3.2.2. Luas Permukaan

Luas permukaan beras diukur melalui dua persamaan yang berbeda (persamaan 7 dan 8). Hasil perhitungan menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara nilai luas permukaan berdasarkan persamaan 7 dan 8. Luas permukaan rata-rata tertinggi dimiliki oleh beras Cimelati. Selain itu, terdapat indikasi adanya hubungan antara luas permukaan dengan diameter ekuivalen (D_p) dan dimensi rata-rata geometri (D_e), dimana semakin besar nilai D_p dan D_e maka luas permukaannya juga semakin besar (Gambar 3).

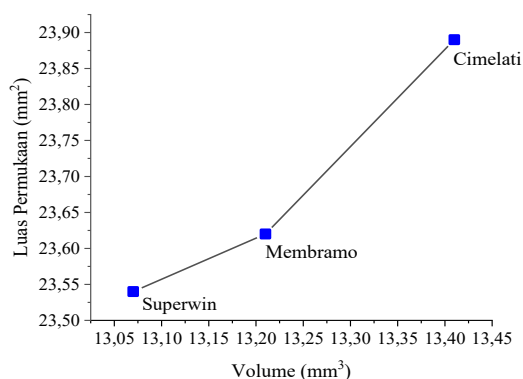
3.2.3. Volume

Berdasarkan Tabel 1, massa beras Membramo, Superwin, dan Cimelati relatif sama. Dengan kata lain, perbedaannya sangat kecil. Secara spesifik massa rata-rata beras Membramo, Superwin, dan Cimelati masing-masing adalah 0.0182, 0.0186, 0.0184 gr. Superwin memiliki massa yang lebih tinggi dibandingkan Cimelati dan Membramo. Parameter lain yang berkaitan dengan sifat fisik adalah volume.

Volume beras ditentukan berdasarkan persamaan 9. Sebagaimana luas permukaan, volume beras Cimelati lebih besar dibandingkan Membramo dan Superwin (Gambar 4). Selain itu, ada kecenderungan bahwa luas permukaan yang besar berpengaruh pada volume yang lebih besar. Artinya, luas permukaan berbanding lurus dengan volumenya.



Gambar 3. Hubungan luas permukaan (S) dengan diameter ekuivalen (D_p) dan dimensi rata-rata geometri (D_e)



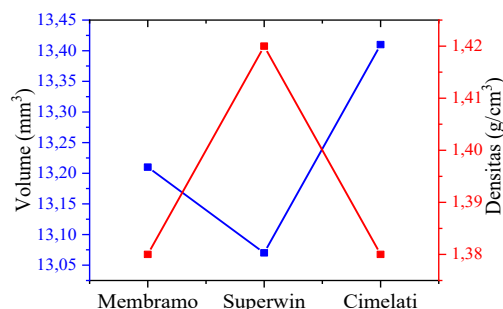
Gambar 4. Hubungan luas permukaan (S) dengan volume (V)

3.2.4. Densitas dan Densitas Curah

Densitas dan densitas curah memiliki nilai yang bergantung pada massa dan volume. Densitas berbanding terbalik dengan volume. Artinya, semakin besar volume maka densitasnya akan semakin kecil. Beras Superwin memiliki volume yang lebih kecil, tetapi densitasnya lebih besar jika dibandingkan dengan Membramo dan Cimelati (Gambar 5).

Densitas rata-rata per biji untuk beras Membramo, Superwin, dan Cimelati masing-masing adalah 1,38, 1,42, dan 1,38 gr/cm^3 . Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa beras memiliki densitas lebih tinggi dibandingkan air. Hal ini terbukti bahwa beras ketika dimasukkan dalam air akan tenggelam. Berbeda halnya dengan densitas curah (*bulk density*). Densitas curah selalu nilainya lebih rendah dibandingkan densitas individu suatu bahan. Hal ini berkaitan dengan porositas eksternal suatu bahan saat dimasukkan ke dalam wadah. Densitas curah rata-rata untuk beras Membramo, Superwin, dan Cimelati

masing-masing adalah 0,79, 0,80, dan 0,79 gr/cm^3 . Nilai-nilai ini sebanding dengan densitas individu suatu bahan, dimana massa memiliki pengaruh pada besar kecilnya densitas suatu bahan. Jika massa suatu bahan besar, maka densitasnya juga besar. Selain itu, besarnya massa individu suatu bahan juga akan mempengaruhi besarnya massa curahnya. Berdasarkan nilai-nilai densitas yang diperoleh, beras Superwin memiliki densitas curah yang lebih besar. Massa suatu bahan tentunya dipengaruhi oleh faktor internal seperti komposisi dan kandungan bahan itu sendiri, termasuk porositas internal.



Gambar 5. Hubungan densitas dengan luas permukaan

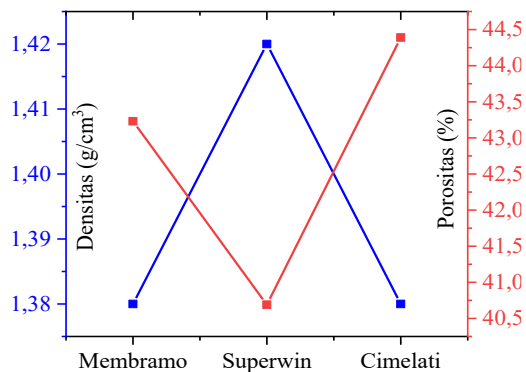
3.2.5. Porositas

Porositas yang dimaksud adalah porositas eksternal atau porositas curah (*bulk porosity*). Porositas ditentukan berdasarkan persamaan (12), dimana sifat ini bergantung pada densitas suatu bahan. Porositas beras Membramo, Superwin, dan Cimelati masing-masing adalah 43,23, 40,69, dan 44,39. Berdasarkan nilai ini dapat diketahui bahwa porositas berbanding terbalik dengan densitas (Gambar 6). Semakin tinggi densitas, maka porositasnya semakin kecil. Artinya, massa suatu bahan memiliki pengaruh pada porositas. Massa yang besar akan menyebabkan pemadatan yang lebih besar saat bahan tersebut dimasukkan ke dalam wadah, sehingga mengurangi ruang kosong pada wadah. Akibatnya, porositasnya kecil. Porositas ini juga dapat direduksi ketika bahan memiliki dimensi yang homogen.

3.2.6. Sudut Tenang

Sudut tenang merupakan salah satu sifat fisik yang dapat digunakan untuk mengkarakterisasi suatu bahan curah. Umumnya sifat ini dimasukkan sebagai dasar dalam desain proses, penyimpanan, dan sistem pendistribusian (Teferra, 2019). Sudut tenang beras Membramo, Superwin, dan Cimelati masing-masing adalah 28,04°, 27,11°, dan 26,59°. Sudut tenang mempengaruhi proses pengangkutan suatu bahan. Bahan dengan sudut tenang yang rendah memiliki kemampuan mudah mengalir dan mudah untuk diangkut berdasarkan gaya gravitasinya atau memerlukan energi yang rendah pada proses tersebut (Teferra, 2019). Berdasarkan nilai sudut tenang yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa

beras Cimelati lebih mudah mengalir atau mudah untuk diangkut berdasarkan gaya gravitasi dibandingkan beras Superwin dan Membramo. Tentunya ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi besaran dari sudut tenang seperti sifat permukaan dari suatu bahan.



Gambar 6. Hubungan densitas dengan porositas

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Sifat fisik yang berkaitan dengan geometri seperti kebundaran dan kelonjongan dari beras Membramo, Superwin, dan Cimelati tidak memiliki perbedaan yang signifikan, bahkan terdapat kemiripan seperti pada aspek kelonjongan, dimana ketiganya memiliki nilai kelonjongan yang sama, yakni 0.96. Nilai luas permukaan yang diperoleh berkisar ± 19.00 - 24.00 mm^2 , dimana beras Cimelati memiliki nilai luas permukaan rata-rata yang lebih besar dibandingkan beras Membramo dan Superwin, begitu juga dengan volumenya. Luas permukaan dan volume rata-rata beras Cimelati masing-masing adalah 23.89 mm^2 dan 13.41 mm^3 .

Densitas individu dan curah yang paling besar dimiliki oleh beras Superwin, masing-masing sebesar 1.42 dan 0.80 gr/cm^3 . Porositas yang paling rendah dimiliki oleh Superwin, yakni 40.69 , sedangkan Cimelati memiliki nilai sudut tenang yang paling rendah, yakni 26.59° .

4.2. Saran

Sifat-sifat suatu bahan tidak terbatas pada yang telah disebutkan. Disana ada beberapa sifat-sifat lain yang memiliki hubungan antara satu dengan yang lain seperti kadar air, kapasitas dan indeks hidrasi, serta kapasitas dan indeks pembengkakan. Oleh karena itu, hendaknya ada penelitian lanjutan yang berkaitan dengan sifat-sifat bahan terutama sifat fisiknya. Dalam proses desain dan perancangan suatu alat dan sistem pengolahan hendaknya didasarkan pada karakteristik bahan, terutama sifat-sifat fisiknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2018a). *Ringkasan Eksekutif Pengeluaran dan Konsumsi Penduduk Indonesia Berdasarkan Hasil Susenas September 2018*. Jakarta: BPS RI. <https://www.bps.go.id/publication.html?Publikasi%5BtahunJudul%5D=&Publikasi%5BkataKunci%5D=padi&yt0=Tampilkan> diakses tanggal 17 Desember 2019.
- Badan Pusat Statistik. (2018b). *Ringkasan Eksekutif Luas Panen dan Produksi Beras 2018*. Jakarta: BPS RI. <https://www.bps.go.id/publication.html?Publikasi%5BtahunJudul%5D=&Publikasi%5BkataKunci%5D=padi&yt0=Tampilkan> diakses tanggal 17 Desember 2019.
- Figura, L.O., & Teixeira, A.A. (2007). *Food Physics: Physical Properties – Measurement and Applications*. New York: Springer-Berlin Heidelberg.
- Jain, R.K., & Bal, S. 1997. Properties of Pearl Millet. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 66(2), 85–91. <https://doi.org/10.1006/jaer.1996.0119>
- Kementerian Pertanian RI. (2019). *Data Lima Tahun Terakhir*. [https://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TPA-TAP-2017\(pdf\)/20-ProdPadi.pdf](https://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TPA-TAP-2017(pdf)/20-ProdPadi.pdf) diakses tanggal 17 Desember 2019.
- Maduako, J.N., & Faborode, M.O. (1990). Some Physical Properties of Cocoa Pods in Relation to Primary Processing. *Ife Journal of Technology*, 2, 1–7.
- Maurer, A.R., dan Eaton, G.W. (1971). Calculation of Potato Tuber Surface Area. *American Potato Journal*, 48(3), 82-87. <https://doi.org/10.1007/BF02861718>
- McCabe WL, Smith JC, & Harriott P. (2005). *Unit Operations of Chemical Engineering*. New York: McGraw-Hill Book Company
- Mohsenin, N.N. (1986). *Physical Properties of Plant and Animal Materials*, 2nd ed. New York: Gordon and Breach Science Publishers.
- Palilo, A. A. S., Majaja, B. A., & Kichonge, B. (2018). Physical and Mechanical Properties of Selected Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivated in Tanzania. *Journal of Engineering*, (1), 1-9. <https://doi.org/10.1155/2018/8134975>
- Rao, M.A., Rizvi, S.S.H., Datta, A.K., dan Ahmed, J. (2014). *Engineering Properties of Foods, Fourth Edition*. New York: CRC Press.
- Sahin, S., dan Sumnu, S.G. (2006). *Physical Properties of Foods*. New York: Springer Science.
- Singh, R.P., & Heldman, D.R. (2009). *Introduction to Food Engineering*, 4th Edition. UK: Academic Press.
- Sulaiman, A.A., dkk. (2018). *Sukses Swasembada*

Indonesia Menjadi Lumbung Pangan Dunia 2045. Jakarta: IAARD Press.
<http://ppid.pertanian.go.id/doc/1/Buku%20Seri/Sukses%20Swasembada%20Indonesia%20Menjadi%20Lumbung%20Pangan%20Dunia%202045.pdf> diakses tanggal 17 Desember 2019.

Sundaram, P. K., Singh, A. K., & Kumar, S. (2014). Studies on Some Engineering Properties of Faba Bean Seeds. *Journal of AgriSearch*, 1(1): 4-8.

Teferra, T.F. (2019). *Engineering Properties of Food Materials*, Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00003-8> diakses tanggal 17 September 2020.