



Penentuan sifat termal cabai puyang (*Piper retrofractum* vahl.) kering pada tiga tahap kematangan

La Choviya Hawa^{1*}, Addieny Sugesti², Yusuf Wibisono², Siti Asmaniyah Mardiyani³

¹Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

²Program Studi Teknologi Bioproses, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

³Program Studi Agroteknologi, Universitas Islam Malang, Malang, Indonesia

Article history

Diterima:

10 November 2020

Diperbaiki:

12 Januari 2021

Disetujui:

17 Mei 2021

Keyword

Cabai;

Thermal Conductivity;

Thermal Diffusivity;

Specific Heat;

Phytochemical

Properties

ABSTRACT

Dried cabya (*Piper retrofractum* Vahl.) is commonly used in making various types of herbs, spices, and cosmetic raw materials that require heating processes so that they require information on the value of thermal conductivity (k), thermal diffusivity (α), and specific heat (C_p). The thermal properties of dried cabya are affected by different phytochemical compositions at each maturity stage of the fruit. This study aims to determine and analyze the thermal properties and phytochemical content of dried cabya in three stages of green, orange and red maturity. Measurement of thermal diffusivity in this study uses the principle of one-dimensional unsteady-state conduction heat flow using a vertical thermal diffusivity test. The value of thermal conductivity is determined indirectly by a calculation method based on the value of thermal diffusivity, specific heat, and density of the material. The thermal conductivity values of green, orange, and red paste cabya are 0.241 ± 0.016 , 0.298 ± 0.005 , and 0.344 ± 0.025 W/m°C. Reducing sugar levels in dried green, orange, and red cabya are 2.32 ± 0.16 , 4.07 ± 0.13 , and 6.44 ± 0.13 %, piperine levels are 2.42 ± 0.01 , 1.97 ± 0.06 , and 1.54 ± 0.05 %, and antioxidant levels are 87.15, 75.26, and 63.38 mg/mL. Based on the results of the study, red dried cabya have higher values of α , C_p , and k compared to orange and green because they contain higher levels of water and reducing sugars. However, red dried cabya have piperin and antioxidant levels which are getting lower.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

* Penulis korespondensi

Email : la_choviya@ub.ac.id

DOI 10.21107/agrointek.v16i1.8996

PENDAHULUAN

Cabai puyang (*Piper retrofractum* Vahl.) kering mengandung komponen fitokimia yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan berbagai jenis jamu, bumbu, dan bahan baku kosmetik yang memerlukan proses pemanasan, diantaranya adalah dengan cara ekstraksi dan pasteurisasi. Menurut Yuliantari *et al.* (2017), dalam proses ekstraksi perlu memerhatikan suhu dan waktu ekstraksi agar dapat menghasilkan senyawa ekstrak yang optimal. Yuliatmoko dan Febria (2018) juga mengemukakan bahwa dalam pembuatan minuman sari buah cabai puyang kering memerlukan proses pasteurisasi dengan suhu dan waktu tertentu. Oleh sebab itu, untuk menghasilkan produk olahan dari cabai puyang kering dengan kualitas baik diperlukan model pemanasan yang tepat.

Model pemanasan memerlukan informasi sifat termal meliputi nilai konduktivitas termal (k), difusivitas termal (α), dan panas spesifik (C_p) yang diperlukan sebagai data untuk pemodelan, simulasi, dan optimasi operasi yang melibatkan perpindahan panas selama penanganan, pemrosesan, dan distribusi produk. Sifat termal dari sebagian besar buah dan sayuran secara signifikan dipengaruhi oleh komposisi fitokimia dari buah dan sayuran tersebut (Ekpunobi *et al.*, 2014). Komposisi fitokimia utama pada cabai puyang adalah kandungan gula pereduksi (glukosa dan fruktosa), piperin, dan antioksidan yang berbeda pada setiap tahap kematangan buah yang berwarna hijau, oranye, dan merah (Takahashi *et al.*, 2018).

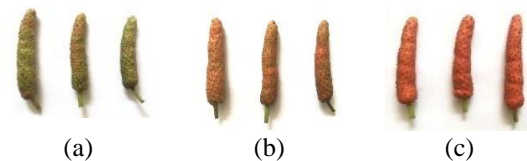
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan dan menganalisis sifat termal dan kandungan fitokimia cabai puyang kering pada tiga tahap kematangan berwarna hijau, oranye, dan merah. Pengukuran difusivitas termal dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan prinsip aliran panas konduksi *unsteady-state* melalui teknik pemanasan menggunakan alat uji difusivitas termal vertikal. Nilai difusivitas termal ditentukan secara langsung dengan metode numerik *implicit finite difference* menggunakan model matematika Crank-Nicolson. Metode tersebut digunakan karena pengukuran difusivitas termal dalam penelitian ini menggunakan bahan yang homogen dan dilakukan berdasarkan prinsip aliran panas satu dimensi menggunakan persamaan Fourier

(Leniger, dan Beverloo, 1975) kemudian didiskritisasi dengan metode *implicit finite difference* menggunakan model matematika Crank-Nicolson untuk mengetahui persamaan penentuan nilai difusivitas termal pada titik dan waktu tertentu.

METODE

Rancangan Penelitian

Penentuan tahap kematangan dilakukan berdasarkan parameter warna buah (hijau, oranye, dan merah) dan umur panen dari waktu pembungaan buah (60, 65, dan 70 hari). Buah cabai puyang segar dipanen oleh petani sesuai dengan kriteria yang ditentukan lalu dilakukan proses pemilihan dan pengelompokan buah berdasarkan ukuran dan warna yang seragam sebagai sampel penelitian. Sampel tersebut kemudian diuji menggunakan *color reader* untuk mengetahui rata-rata nilai L^*a^*b pada masing-masing tahap kematangan buah. Pengelompokan tiga tahap kematangan sampel cabai puyang berdasarkan parameter warna buah ditampilkan pada gambar 1.



Gambar 1 Tahap kematangan cabai puyang: (a) hijau (b) oranye (c) merah

Kemudian setelah proses penentuan tahap kematangan, sampel dikeringkan menggunakan *tray dryer* dengan suhu 70°C selama 18 jam (Hawa *et al.*, 2014; 2018) dan dilakukan pengujian sifat fitokimia. Proses pembuatan pasta dimulai dengan menghaluskan sampel kering menggunakan blender bumbu selama 1 menit untuk membentuk bubuk cabai puyang. Bubuk cabai puyang diayak menggunakan ayakan 40 mesh untuk menyeragamkan ukuran partikel. Hasil ayakan ditambahkan air dengan perbandingan bubuk dan air masing-masing adalah 1 : 2 dan diblender selama 1 menit sehingga membentuk sampel yang lebih homogen. Sampel berbentuk pasta ini yang digunakan sebagai bahan uji dalam penentuan sifat termal untuk memperkecil rongga antar partikel pada tabung uji dalam pengukuran difusivitas termal sehingga perambatan panas lebih baik. Rincian metode pengujian sampel ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Metode pengujian

Parameter Uji	Metode	Kondisi Sampel	Total Ulangan
L*a*b	<i>Color reader</i>	Segar	3
Gula pereduksi	Somogyi-Nelson	Kering	3
Antioksidan	DPPH	Kering	1
Piperin	SNI 005:2013	Kering	3
Densitas	<i>Bulk density</i>	Pasta	3
Panas spesifik	Persamaan Siebel	Pasta	3
Difusivitas termal	Numerik <i>implicit finite difference</i> Crank-Nicolson	Pasta	3
Konduktivitas termal	Kalkulasi	Pasta	3

Tabel 2 Nilai L*a*b cabai puyang segar

Rentang Warna	Hijau	Oranye	Merah
L*	31,39 – 33,98	35,14 – 37,54	38,03 – 38,81
a*	4,85 – 5,21	14,35 – 16,47	28,91 – 30,36
b	35,03 – 35,87	36,69 – 38,80	40,22 – 43,04
Rerata Warna	Hijau	Oranye	Merah
L*	32,36 ± 1,41	36,48 ± 1,23	38,51 ± 0,42
a*	5,08 ± 0,20	15,68 ± 1,16	29,4 ± 0,83
b	35,32 ± 0,47	37,63 ± 1,07	41,92 ± 1,5

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah *tray dryer* (55 cm × 50 cm × 45 cm) (Hawa *et al.*, 2019), alat ukur difusivitas termal, Oven Heraeus tipe T 5053, *GENESYS™ 10S UV-Vis Spectrophotometer*, *digital linear shaker SK-L330-Pro LCD*, blender bumbu merk Philips HR-2115, *hand refractometer*, *beaker glass*, gelas ukur 50 mL, gelas ukur 10 mL, *plastic wrap*, cawan *aluminium foil*, spatula *stainless*, *stopwatch*, ayakan 40 mesh, kertas saring *Whatman* 0,45 µm, corong gelas, erlenmeyer 100 mL, pipet tetes, tabung reaksi, neraca digital, dan *Microsoft Excel 2016*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah buah cabai puyang berwarna hijau, oranye, dan merah yang memiliki umur panen dari waktu pembungaan buah yaitu 60, 65, dan 70 hari dan memiliki nilai L*a*b dari hasil pengujian

menggunakan *color reader* seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.

Buah cabai puyang berbentuk bulat panjang (*conical*) yang diperoleh dari petani di Pasuruan Jawa Timur dengan panjang 3 – 4 cm dan massa 1,5 – 2 gram. Bahan lain yang digunakan adalah air (H₂O) untuk membantu homogenisasi dalam pembuatan pasta cabai puyang, akuades untuk membersihkan *hand refractometer*, dan *ethanol proanalysis* sebagai pelarut yang digunakan pada ekstraksi termal dalam pengujian kadar piperin.

Metode Analisis

Pengujian kadar gula pereduksi dilakukan menggunakan metode Somogyi-Nelson (Alkayyis dan Susanti, 2016), kadar antioksidan dilakukan dengan menggunakan metode 1.1-Difenil-2-Pikrilhidrazil (DPPH) (Katrin dan Bendra, 2015), dan kadar piperin dilakukan dengan metode SNI 005:2013 menggunakan

Spektrofotometer UV-Vis (Shintawati *et al.*, 2018).



Gambar 2 Alat ukur difusivitas termal

Pengukuran nilai difusivitas termal menggunakan prinsip aliran panas konduksi *unsteady-state* dalam satu dimensi melalui teknik pemanasan menggunakan alat uji difusivitas termal vertikal dengan pengaturan suhu 70°C. Alat ukur difusivitas termal yang digunakan ditunjukkan pada gambar 2. Difusivitas termal ditentukan berdasarkan pengambilan data suhu dari berbagai titik *thermocouple* yang menempel pada bahan setiap lima menit selama 125 menit. Distribusi suhu menggunakan metode numerik ditentukan berdasarkan suhu pada titik yang berada didekatnya. Persamaan yang digunakan untuk proses pindah panas dalam satu dimensi adalah persamaan Fourier (Leniger dan Beverloo, 1975):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \dots\dots\dots [1]$$

Persamaan [1] didiskritisasi dengan metode “*implicit finite difference*” menggunakan model matematika Crank – Nicolson untuk menentukan nilai difusivitas termal pada titik dan waktu tertentu sehingga diperoleh persamaan (Crank, 1975):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{T_j^{i+1} - T_j^i}{\Delta t} \dots\dots\dots [2]$$

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{T_{j-1}^{i+1} - 2T_j^{i+1} + T_{j+1}^{i+1}}{\Delta x^2} \right) + \left(\frac{T_{j-1}^i - 2T_j^i + T_{j+1}^i}{\Delta x^2} \right) \right] \dots\dots\dots [3]$$

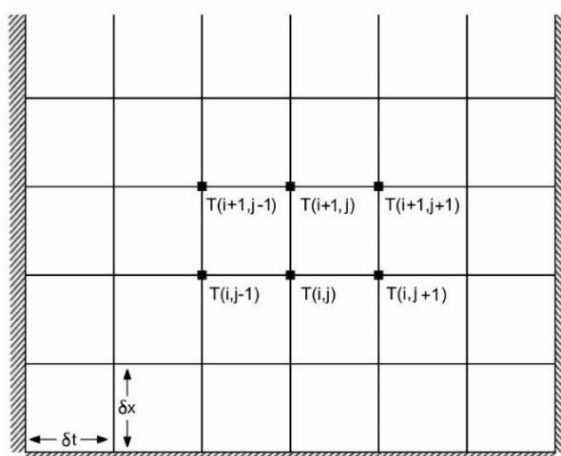
$$\frac{\partial T_j^{i+1}}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T_j^{i+1}}{\partial x^2} \dots\dots\dots [4]$$

$$\alpha_{i,j} = 2 \frac{(\Delta x)^2}{\Delta t} \left[\frac{T_j^{i+1} - T_j^i}{T_{j-1}^{i+1} - 2T_j^{i+1} + T_{j+1}^{i+1} + T_{j-1}^i - 2T_j^i + T_{j+1}^i} \right] \dots\dots\dots [5]$$

Keterangan:

- Δx : jarak antar titik pengukuran suhu (m);
- Δt : jarak waktu pengukuran suhu (detik);
- $\alpha_{i,j}$: difusivitas termal pada titik i, waktu j (m²/s);
- T_j^i : suhu pada titik i dan waktu j (°C);
- i : indek jarak antar titik pengukuran (m);
- j : indek jarak antar waktu pengukuran (detik).

Distribusi suhu diamati pada titik dan waktu tertentu (T_j^i) seperti ditunjukkan pada gambar 3. Nilai difusivitas termal pada bahan dihitung berdasarkan nilai difusivitas rata-rata pada setiap titik dari setiap interval pengukuran menggunakan persamaan [5].



Gambar 3 Titik-titik suhu pengukuran difusivitas termal merujuk pada Crank (1975) dengan modifikasi

Pengukuran panas spesifik yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode persamaan Siebel karena jumlah kadar air cabai puyang yang diuji antara 64 – 68 %. Menurut Heldman dan Singh (1981), panas jenis untuk benda dengan kadar air lebih dari 60 % dapat dihitung menggunakan persamaan Siebel [6]. Dalam perhitungan nilai panas spesifik diperlukan data kadar air (% bb). Penentuan kadar air sampel dilakukan dengan metode gravimetri.

$$C_p = 0,83736 + (0,03349 * M) \dots\dots\dots [6]$$

Keterangan:

- C_p : panas spesifik (kJ/kg°C);
- M : proporsi kandungan air dalam bahan (% bb)

Pengukuran densitas menggunakan metode *bulk density* dimana massa dalam suatu tumpukan bahan dibagi dengan volumenya termasuk rongga yang terdapat diantara bahan. Volume diukur dengan memasukkan sampel pasta cabai puyang kedalam gelas ukur secara mampat hingga volume

10 mL. Massa sampel diketahui dengan menghitung selisih massa total (gelas ukur dan sampel) dengan massa gelas ukur yang digunakan. Densitas dihitung berdasarkan rasio perbandingan massa dan volume sampel. Perhitungan densitas menggunakan persamaan dengan modifikasi (Mardiyani *et al.*, 2018):

$$\rho = \frac{(m_{gelas\ ukur} + m_{sampel}) - m_{gelas\ ukur}}{V_{sampel}} \dots\dots [7]$$

Penentuan konduktivitas termal dilakukan secara tidak langsung menggunakan metode kalkulasi konduktivitas termal, dimana nilai panas spesifik, densitas, dan difusivitas termal telah ditentukan di perhitungan sebelumnya. Nilai konduktivitas termal ditentukan dengan persamaan (Mohsenin, 1980):

$$k = C_p \cdot \rho \cdot \alpha \dots\dots\dots [8]$$

Keterangan:

α : difusivitas termal (m²/s);

ρ : densitas (kg/m³);

C_p : panas spesifik (kJ/kg°C);

k: koefisien konduktivitas termal (W/m°C).

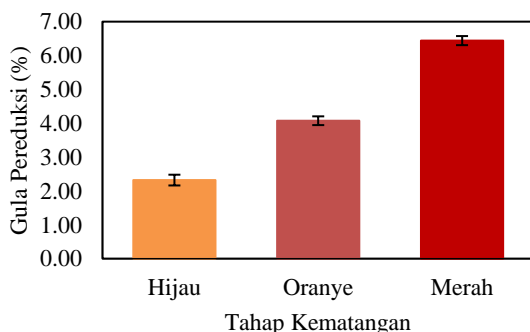
Nilai konduktivitas termal dalam penelitian ini juga dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan model matematika Sweat (Sweat, 2005) dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$k = 0,056 + 0,57 M \quad [9]$$

dimana M adalah kadar air (% bb) dalam desimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Gula Pereduksi



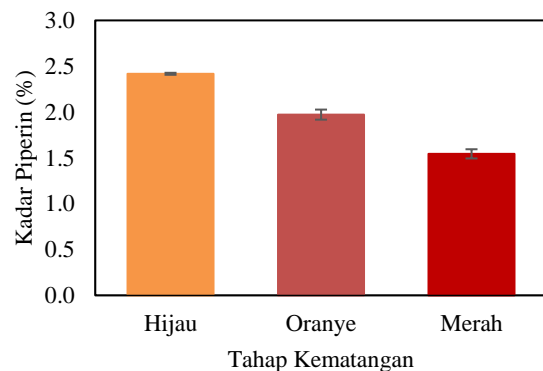
Gambar 4 Kadar gula pereduksi cabai puyang kering

Gambar 4 menunjukkan bahwa kadar gula pereduksi cabai puyang kering meningkat seiring dengan bertambahnya tahap kematangan buah.

Kadar gula pereduksi pada cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah masing-masing sebesar 2,32 ± 0,16; 4,07 ± 0,13; dan 6,44 ± 0,13 %. Pengujian Total Padatan Terlarut (TPT) yang dilakukan menggunakan *hand refractometer* juga menunjukkan peningkatan nilai padatan terlarut seiring bertambahnya kematangan buah dengan nilai masing-masing cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah sebesar 0,5; 1,5; dan 5 °Brix. Peningkatan kadar gula pereduksi memengaruhi peningkatan total padatan terlarut dalam buah. Menurut Ismawati *et al.* (2016), kandungan total gula terhitung sebagai total padatan terlarut.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa tahap kematangan cabai puyang kering mempengaruhi kadar gula pereduksi buah. Hal ini sesuai dengan Takahashi *et al.*, (2018), bahwa kandungan total gula secara signifikan meningkat seiring kematangan buah cabai puyang. Kandungan gula yang tinggi bermanfaat sebagai sumber energi (Jadid *et al.*, 2018).

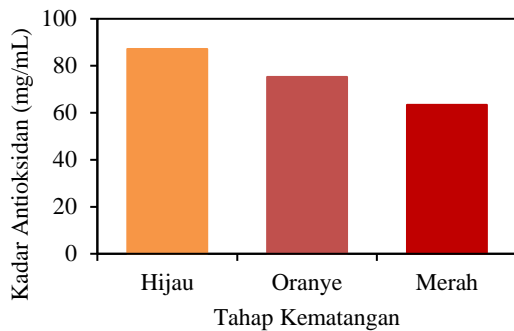
Kadar Piperin



Gambar 5 Kadar piperin cabai puyang kering

Gambar 5 menunjukkan bahwa kadar piperin dari cabai puyang kering dalam penelitian ini berkurang seiring dengan bertambahnya tahap kematangan buah. Kadar piperin pada cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah masing-masing sebesar 2,42 ± 0,01; 1,97 ± 0,06; dan 1,54 ± 0,05 %. Hal tersebut sesuai dengan Takahashi *et al.* (2018), bahwa kandungan piperin cabai puyang secara signifikan berkurang seiring kematangan buah. Kandungan piperin yang tinggi pada cabai puyang kering hijau mendukung pemanfaatannya sebagai sumber piperin untuk hepatoprotektif, antidepresan, dan antikanker.

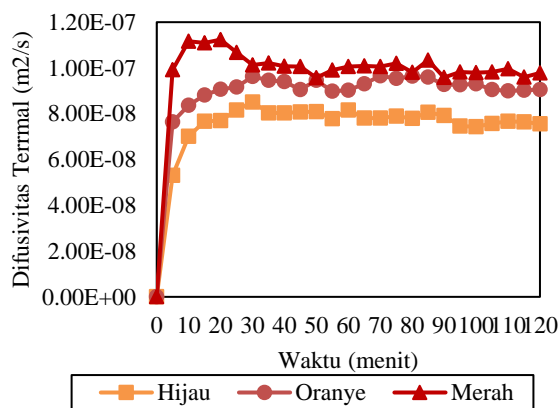
Kadar Antioksidan



Gambar 6 Kadar antioksidan cabai puyang kering

Gambar 6 menunjukkan bahwa kadar antioksidan dari cabai puyang kering berkurang seiring dengan bertambahnya tahap kematangan buah. Kadar antioksidan cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah masing-masing sebesar 87,15; 75,26; dan 63,38 mg/mL. Kadar antioksidan dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian Takahashi *et al.* (2018), dimana memiliki korelasi positif dengan kandungan piperin buah yang menunjukkan bahwa senyawa piperin memengaruhi kapasitas antioksidan dari cabai puyang kering.

Nilai Difusifitas Termal (α)



Gambar 7 Hubungan difusivitas termal terhadap waktu pemanasan

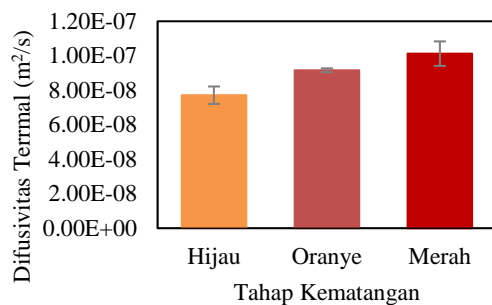
Gambar 7 menunjukkan terjadinya peningkatan yang signifikan pada nilai difusivitas termal pasta cabai puyang kering merah selama awal pemanasan kemudian mengalami penurunan setelah menit ke-20 dan setelah itu berada pada nilai yang cukup stabil hingga akhir waktu pemanasan. Persebaran nilai difusivitas termal dari pasta cabai puyang kering oranye dan hijau memiliki pola yang hampir sama, dimana terjadi

peningkatan yang cukup signifikan pada 30 menit awal pemanasan dan setelah itu berada pada nilai yang cukup stabil hingga akhir waktu pemanasan. Berdasarkan hasil perhitungan rerata difusivitas termal pasta cabai puyang kering selama 120 menit pemanasan, diperoleh nilai difusivitas termal tertinggi terdapat pada pasta cabai puyang kering merah sebesar $1,01 \times 10^{-7} \pm 7,11 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, kemudian oranye sebesar $9,16 \times 10^{-8} \pm 1,13 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$, dan yang terendah adalah hijau sebesar $7,71 \times 10^{-8} \pm 5,06 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

Peningkatan nilai difusivitas termal pasta cabai puyang kering secara signifikan yang terjadi pada awal proses pemanasan adalah akibat dari masih banyaknya gugus hidroksil bebas yang terkandung pada bahan sehingga bahan mampu menyerap panas dengan relatif lebih cepat. Kemampuan penyerapan panas pada bahan akan menurun dan cenderung stabil seiring lamanya waktu pemanasan akibat terjadinya proses gelatinisasi yang menyebabkan gugus hidroksil bebas menurun karena terikat oleh komponen gula pereduksi sehingga nilai difusivitas termal menurun atau cenderung stabil hingga akhir pemanasan. Argo *et al.* (2000) melaporkan bahwa pemanasan dengan suhu $70 \text{ }^\circ\text{C}$ akan mengakibatkan terjadinya proses gelatinisasi dimana partikel air bebas akan diikat oleh partikel karbohidrat. Distribusi nilai difusivitas termal pada penelitian ini sejalan dengan penelitian Karneta *et al.* (2015) yang mengalami kenaikan nilai difusivitas termal pempek lenjer pada tahap awal proses pemanasan dimana pada fase tersebut terjadi perubahan bahan dari kondisi mentah menjadi setengah matang karena proses gelatinisasi. Gelatinisasi menyebabkan granula pecah sehingga strukturnya lebih rapat dan koefisien difusivitas termal menjadi lebih kecil pada akhir pemanasan.

Menurut Crank (1975), difusi adalah proses perpindahan zat dari satu sistem ke sistem yang lain sebagai hasil dari gerakan acak molekul. Pada daerah yang bersuhu tinggi, kecepatan pergerakan atom terjadi lebih tinggi dan cepat begitupula sebaliknya. Atom tersebut akan bergerak dan mengalami tumbukan sehingga energi atom yang lebih besar akan menyerahkan energinya kepada atom yang memiliki energi lebih kecil hingga mencapai kesetimbangan. Singhal *et al.* (2008) menyatakan bahwa difusivitas termal menandakan seberapa cepat aliran panas yang melalui bahan ketika proses pemanasan. Nilai difusivitas termal

ini digunakan untuk mengetahui distribusi suhu terhadap waktu pada bahan.



Gambar 8 Nilai difusivitas termal pasta cabai puyang kering

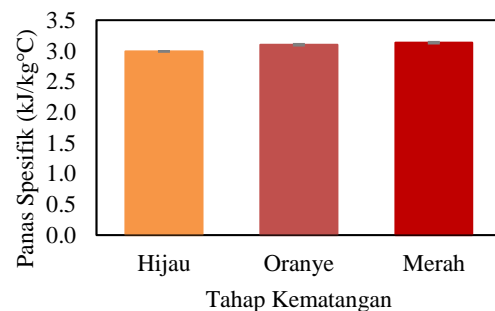
Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai difusivitas termal pada pasta cabai puyang kering terus meningkat seiring dengan bertambahnya tahap kematangan buah. Nilai difusivitas termal pasta cabai puyang kering merah lebih tinggi dibandingkan dengan tingkat kematangan oranye dan hijau. Hal ini menunjukkan bahwa cabai puyang kering merah memiliki kemampuan yang lebih baik untuk mengalirkan panas dan mempertahankan kestabilannya dalam suhu tinggi dibandingkan cabai puyang kering oranye dan hijau. Selain itu juga menunjukkan bahwa tingkat distribusi panas pada cabai puyang kering merah semakin baik sehingga perambatan kalor dalam material semakin cepat. Menurut Mardiyani *et al.* (2018), difusivitas termal merupakan faktor penting yang berkaitan dengan kemampuan material untuk mengalirkan panas dan mempertahankan kestabilannya ketika material disimpan pada suhu tinggi, selain itu juga menentukan tingkat distribusi panas dalam material. Semakin tinggi nilai difusivitas termal menyebabkan semakin cepat terjadinya difusi panas di dalam bahan sehingga dapat mempersingkat waktu pada proses pemanasan (Karneta *et al.*, 2015).

Nilai difusivitas termal cabai puyang kering meningkat dengan bertambahnya kematangan buah dimana terjadi perubahan kadar air, gula pereduksi, piperin, dan antioksidan yang terkandung. Hasil penelitian ini sesuai dengan Singhal *et al.* (2008) yang melaporkan nilai difusivitas termal yang lebih tinggi pada *Musa acuminata* L. matang dibandingkan yang mentah. Hal tersebut disebabkan aktivitas kimia seiring dengan kematangan buah akan mengubah komposisi mikro maupun sifat termal makro

sehingga menyebabkan peningkatan nilai difusivitas termal dari buah tersebut.

Nilai difusivitas termal pasta cabai puyang kering pada penelitian ini meningkat dengan bertambahnya kadar gula pereduksi dan berkurangnya kadar piperin dan antioksidan. Nilai difusivitas termal juga semakin meningkat dengan kandungan kadar air bahan yang semakin tinggi, dimana nilai kadar air pasta cabai puyang kering merah (68,56 %) memiliki nilai difusivitas termal lebih tinggi dibandingkan dengan oranye (67,56 %), dan hijau (64,33 %). Menurut Mohsenin (1980), semakin tinggi kadar air bahan dapat meningkatkan laju perambatan panas karena air merupakan konduktor panas yang baik. Argo *et al.* (2000) juga melaporkan terjadi peningkatan nilai difusivitas termal pada buah pisang Ambon dengan kadar air buah yang semakin tinggi.

Nilai Panas Spesifik (Cp)



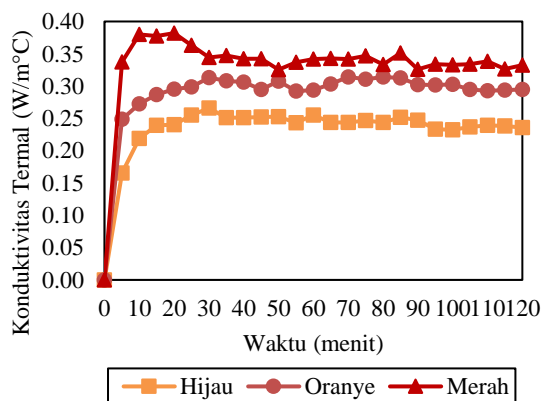
Gambar 9 Nilai panas spesifik pasta cabai puyang kering

Gambar 9 menunjukkan nilai panas spesifik pasta cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah berturut-turut sebesar $2,992 \pm 0,00$; $3,100 \pm 0,01$; dan $3,133 \pm 0,01$ kJ/kg°C. Berdasarkan nilai yang dihasilkan, diketahui bahwa panas spesifik akan semakin tinggi seiring dengan bertambahnya tahap kematangan dan kadar air bahan. John *et al.* (2014) menyatakan bahwa nilai panas spesifik akan meningkat dengan peningkatan kadar air bahan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Argo *et al.* (2000) dimana terjadi peningkatan nilai panas spesifik dengan kadar air yang semakin tinggi pada buah pisang Ambon yang dihitung menggunakan metode Siebel. Aghbashlo *et al.* (2008) melaporkan bahwa kadar air bahan memberikan efek yang lebih signifikan dibandingkan suhu dalam meningkatkan nilai panas spesifik buah berberi yang dihitung dengan metode pencampuran menggunakan kalorimeter.

Hasil penelitian Bon *et al.* (2010) juga melaporkan bahwa kandungan kadar air dapat memengaruhi nilai panas spesifik bubuk mangga dengan lebih signifikan dibandingkan suhu.

Nilai Konduktivitas Termal (k)

Nilai konduktivitas termal dihitung berdasarkan hasil perkalian antara difusivitas termal (α), panas spesifik (C_p), dan densitas (ρ) bahan dengan menggunakan persamaan [8]. Nilai densitas pasta cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah adalah 1044, 1050, dan 1085 kg/m³. Nilai densitas meningkat pada cabai puyang kering yang semakin matang karena memiliki kandungan total padatan terlarut yang semakin tinggi. Hasil pengujian yang dilakukan menggunakan *hand refractometer* pada pasta cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah sebesar 0,5; 1,5; dan 5 °Brix. Hasil penelitian ini sejalan dengan Roustapour dan Gazor (2013), dimana densitas jus delima bertambah ketika kandungan total padatan terlarut meningkat. Peningkatan total padatan terlarut menyebabkan peningkatan kepadatan dan konsentrasi per unit volume pada bahan sehingga dapat meningkatkan densitas. Peningkatan total padatan terlarut dalam pasta cabai puyang kering dari hijau ke merah dalam penelitian ini dipengaruhi oleh peningkatan kandungan gula pereduksi pada buah yang semakin matang.

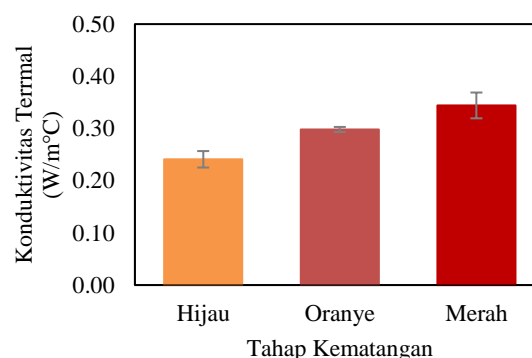


Gambar 10 Hubungan konduktivitas termal terhadap waktu pemanasan

Gambar 10 menunjukkan terjadinya peningkatan yang signifikan pada nilai konduktivitas termal pasta cabai puyang kering merah selama awal pemanasan kemudian mengalami penurunan setelah menit ke-20 dan setelah itu berada pada nilai yang cukup stabil hingga akhir waktu pemanasan. Persebaran nilai

konduktivitas termal dari pasta cabai puyang kering oranye dan hijau memiliki pola yang hampir sama, dimana terjadi peningkatan yang cukup signifikan pada 30 menit awal pemanasan dan setelah itu berada pada nilai yang cukup stabil hingga akhir waktu pemanasan.

Nilai konduktivitas termal pasta cabai puyang kering terhadap waktu pemanasan memiliki hubungan linear dengan sebaran data difusivitas termal yang dapat dilihat pada **Gambar 10**. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai difusivitas termal dapat meningkatkan nilai konduktivitas termal. Menurut Mardiyani *et al.* (2018), semakin tinggi nilai difusivitas termal maka semakin cepat suhu dapat merambat secara konduksi pada material, dengan demikian kemampuan material dalam menghantarkan panas semakin baik sehingga meningkatkan nilai konduktivitas termal.



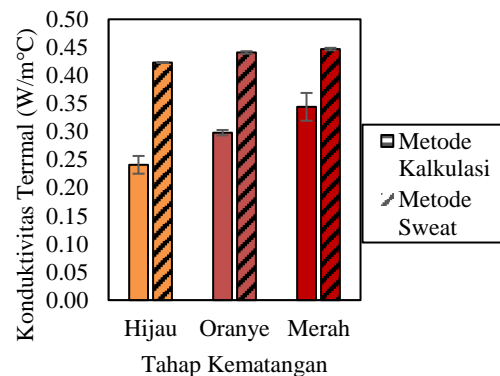
Gambar 11 Nilai konduktivitas termal pasta cabai puyang kering

Gambar 11 menampilkan bahwa nilai konduktivitas termal dari pasta cabai puyang kering merah tertinggi dibandingkan dengan oranye dan hijau. Hal ini menunjukkan bahwa perpindahan panas yang terjadi pada cabai puyang kering merah lebih tinggi dan lebih baik dibandingkan dengan perpindahan panas pada cabai puyang kering oranye dan hijau. Nilai konduktivitas termal pada penelitian ini semakin meningkat dengan meningkatnya nilai difusivitas termal dan panas spesifik bahan dimana semakin tingginya kadar air bahan akan meningkatkan nilai-nilai tersebut. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Argo *et al.* (2000) yang menunjukkan peningkatan nilai konduktivitas termal buah pisang Ambon dengan semakin tingginya kadar air buah. Hal tersebut disebabkan nilai konduktivitas termal bergantung dengan besarnya nilai difusivitas termal dan panas

spesifik dimana nilai-nilai tersebut memiliki hubungan linear dengan kadar air bahan. Aghbashlo *et al.* (2008) juga menyatakan bahwa kadar air bahan memberikan efek yang lebih signifikan dibandingkan suhu dalam meningkatkan nilai konduktivitas termal buah berberi.

Nilai konduktivitas termal pasta cabai puyang kering dalam penelitian ini juga dipengaruhi oleh kadar gula pereduksi yaitu total kadar glukosa dan fruktosa yang terkandung dalam buah. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal semakin meningkat pada pasta cabai puyang kering yang semakin matang dengan kandungan kadar gula pereduksi yang semakin tinggi. Kadar gula pereduksi meningkatkan kandungan total padatan terlarut yang memengaruhi peningkatan densitas bahan. Densitas bahan yang semakin tinggi dapat meningkatkan nilai konduktivitas termal sesuai dengan persamaan [8]. Oleh sebab itu, nilai konduktivitas termal pada cabai puyang kering merah lebih tinggi dibandingkan cabai puyang kering oranye dan hijau. Hasil penelitian ini sejalan dengan Magerramov *et al.* (2006) yang menghasilkan nilai konduktivitas termal tertinggi pada jus buah persik yang memiliki kandungan glukosa dan fruktosa tertinggi dibandingkan jus buah ceri, prem, dan raspberry yang memiliki kandungan glukosa dan fruktosa lebih rendah. Hal ini disebabkan perbedaan komposisi kimia yang terkandung dalam buah seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa dapat memengaruhi perambatan panas. Caridad *et al.* (2014) juga melaporkan bahwa densitas bahan mempunyai korelasi positif dengan nilai konduktivitas termal pada pasta tanah liat dengan koefisien pearson $r = 0,95$ yang menunjukkan kekuatan korelasi yg tinggi.

Konduktivitas termal pasta cabai puyang kering dalam penelitian ini juga diprediksi menggunakan model yang dikembangkan oleh Sweat (2005) sebagai perbandingan yang dapat dilihat pada gambar 12. Nilai konduktivitas termal yang dihasilkan dengan model Sweat memiliki kecenderungan yang sama dengan hasil penelitian ini, yaitu tertinggi pada pasta cabai puyang kering merah, kemudian oranye, dan terendah hijau. Hal ini menunjukkan bahwa perangkat yang dirancang dalam penelitian ini dapat digunakan untuk mengukur difusivitas termal dan konduktivitas termal.



Gambar 12 Nilai konduktivitas termal metode kalkulasi dan metode sweat

Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai konduktivitas termal pasta cabai puyang kering hijau, oranye, dan merah yang dihitung menggunakan metode Sweat memiliki perbedaan yang tidak signifikan, sedangkan jika dibandingkan dengan yang dihitung menggunakan metode kalkulasi konduktivitas termal maka nilai konduktivitas termal memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal tersebut disebabkan dalam penghitungan nilai konduktivitas termal dengan metode Sweat hanya bergantung dengan nilai kadar air bahan, dimana kadar air sampel pasta cabai puyang kering hijau (64,33 %), oranye (67,56 %), dan merah (68,56 %) memiliki nilai yang tidak berbeda signifikan. Adapun penghitungan nilai konduktivitas termal dengan metode kalkulasi bergantung pada nilai difusivitas termal, panas spesifik, dan densitas bahan, dimana variabel-variabel tersebut dipengaruhi oleh kadar air, suhu, komposisi fitokimia, dan struktur fisik bahan. Hal ini sejalan dengan Rusli *et al.* (2018) yang menyatakan bahwa besarnya nilai konduktivitas termal pada bahan pertanian dipengaruhi oleh porositas, struktur, dan komposisi kimia, khususnya pada karakteristik air. Menurut Lozano (2006), bahan pertanian memiliki sifat fisik yang mengontrol variabel suhu, yaitu kadar air, densitas, porositas, dan viskositas. Bahan pertanian memiliki karakteristik sifat termal yang unik karena ukuran, densitas, dan kandungan nutrisi komoditas pertanian relatif beragam dan sensitif terhadap perubahan suhu (Mardiyani *et al.*, 2018).

KESIMPULAN

Nilai panas spesifik (C_p), difusivitas termal (α), dan konduktivitas termal (k) cabai puyang

kering meningkat seiring dengan bertambahnya tahap kematangan buah yang dipengaruhi oleh semakin tingginya kadar air dan gula pereduksi pada buah. Nilai konduktivitas termal yang diperoleh memiliki kecenderungan yang sama jika dibandingkan dengan metode Sweat (Sweat, 2005). Kadar gula pereduksi cabai puyang kering meningkat seiring dengan bertambahnya tahap kematangan buah, sedangkan kadar piperin dan antioksidan menurun seiring dengan bertambahnya tahap kematangan buah. Berdasarkan hasil penelitian ini disarankan agar waktu pemanasan pada proses pengolahan cabai puyang kering merah dilakukan dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan cabai puyang oranye dan hijau.

DAFTAR PUSTAKA

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M.H., Hasan, S. R. 2008. Specific Heat and Thermal Conductivity of Berberis Fruit (*Berberis vulgaris*). *Journal, American Sciences, Biological Publications, Science*, 3(1), pp. 330–336.
- Al-kayyis, H.K., Susanti, H. 2016. Perbandingan Metode Somogyi-Nelson dan Anthrone-Sulfat pada Penetapan Kadar Gula Pereduksi dalam Umbi Cilembu (*Ipomea batatas* L.). *Jurnal Farmasi Sains dan Komunitas*, 13(2), pp. 81–89.
- Argo, B.D., Komar, N., Damayanti, R. 2000. Determination of Thermal Conductivity of Ambon Banana (*Musa Paradisiaca* L.) in One Dimensional Heat Transfer Mechanism. *Journal of Agricultural Technology*, 1(3), pp. 9–16. Available at: <https://lens.org/039-054-139-517-442>.
- Bon, J., Vaquiro, H., Benedito, J., Romero, J. 2010. Thermophysical properties of mango pulp (*Mangifera indica* L. cv. Tommy Atkins). *Journal of Food Engineering*, 97(4), pp. 563–568. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2009.12.001.
- Caridad, V., Zarate, J.M.O., Khayet, M., Legido, J.L. 2014. Thermal conductivity and density of clay pastes at various water contents for pelotherapy use. *Applied Clay Science*, 93–94, pp. 23–27. doi: 10.1016/j.clay.2014.02.013.
- Crank, J. 1975. The Mathematics of Diffusion. *Journal of the American Chemical Society*, 79(5), pp. 1267–1268. doi: 10.1021/ja01562a072.
- Ekpunobi, U.E., Ukatu, S.C., Ngene, B.O., Onyema, C.T., Ofora, P.U. 2014). Investigation of the Thermal Properties of Selected Fruits and Vegetables. *American Journal of Science and Technology*, 1(5), pp. 293–297. Available at: <http://www.aascit.org/journal/ajst>.
- Hawa, L.C., Ali, S.B., Fujii, S., Yoshimoto, N., Yamamoto, S. 2014. Drying rates and desorption isotherms of lemon juice. *Japan Journal of Food Engineering*, 15(2), pp. 105–108. doi: 10.11301/jsfe.15.105.
- Hawa, L.C., Dewi, S.R., Hardiani, G. 2018. Isotermal Sorpsi Air dan Karakterisasi Pengeringan Cabai Puyang (*Piper retrofractum* Vahl). pp. 82–89.
- Hawa, L.C., Ubaidillah, U. Wibisono, Y. 2019. Proper model of thin layer drying curve for taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) chips. *International Food Research Journal*, 26(1), pp. 209–216. Available at: <http://www.ifrj.upm.edu.my>.
- Heldman, D.R., Singh, R.P. 1981. *Food Process Engineering*. second. Westport, Connecticut: AVI Publishing Company, Inc. doi: 10.1007/978-94-010-9337-8.
- Ismawati, N., Nurwantoro, Pramono, Y.B. 2016. Nilai Ph, Total Padatan Terlarut, dan Sifat Sensoris Yoghurt Dengan Penambahan Ekstrak Bit (*Beta vulgaris* L.). *Jurnal Aplikasi Teknologi Pangan*, 5(3), pp. 89–93. doi: 10.17728/jatp.181.
- Jadid, N., Arraniry, B.A., Hidayati, D., Purwani, K.I., Wikanta, W., Hartanti, S.R., Rachman, R.Y. 2018. Proximate composition, nutritional values and phytochemical screening of *Piper retrofractum* Vahl. fruits. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 8(1), pp. 37–43. doi: 10.4103/2221-1691.221136.
- John, I., Olugbenga, O.S., Kayode, Q. 2014. Determination of thermal conductivity and thermal diffusivity of three varieties of melon. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences*, 5(2), pp. 123–128.
- Karneta, R., Rejo, A., Priyanto, G., Pambayun, R. 2015. Penentuan difusivitas panas pempek lenjer selama perebusan menggunakan metode numerik. *Jurnal Agritech*, 35(01), pp. 18–26. doi: 10.22146/agritech.9415.
- Katrin, K., Bendra, A. 2015. Aktivitas Antioksidan Ekstrak, Fraksi dan Golongan

- Senyawa Kimia Daun *Premna oblongata* Miq. *Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(1), pp. 21–31. doi: 10.7454/psr.v2i1.3332.
- Leniger, H.A., Beverloo, W.A. 1975. *Food Process Engineering*. 1st edn. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company. doi: 10.1007/978-94-010-1840-1.
- Lozano, J. 2006. Thermal_properties_food. *Food Engineering*, 1.
- Magerramov, M.A., Abdulagatov, A.I., Abdulagatov, I.M., Azizov, N.D. 2006. Thermal conductivity of peach, raspberry, cherry and plum juices as a function of temperature and concentration. *Journal of Food Process Engineering*, 29, pp. 304–326. doi: 10.1111/j.1365-2621.2007.01286.x.
- Mardiyani, S.A., Sumarlan, S.H., Argo, B.D., Laksono, A.S. 2018. Determination of physical and thermophysical characteristics of red peppers (*Capsicum annum*) using unsteady-state method. *AIP Conference Proceedings*, 1977. doi: 10.1063/1.5042924.
- Mohsenin, N. 1980. *Thermal properties of foods and agricultural materials*. New York, London, Paris: Gordon and Breach Science.
- Roustapour, O. R., Gazor, H.R. 2013). Influence of temperature and total soluble solids on thermo-physical properties of pomegranate juice. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78(4), pp. 337–342.
- Rusli, R., Jamaluddin, Yanto, S. 2018. Konduktivitas panas dan koefisien pindah panas pada proses pengeringan gabah dengan menggunakan *cabinet dryer*. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 4, pp. 126–135.
- Shintawati, Rina, O., Zulkarnain, I. 2018. Validation Of Piperin Analyzing Method By Spectrofotometry. *Majalah Teknologi Agro Industri (Tegi)*, 10(2), pp. 53–58.
- Singhal, D. K., Singh, U., Singh, A.K. 2008. Effective thermal diffusivity of perishable produce as a function of temperature by transient method. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, 46(12), pp. 862–865.
- Sweat, V.E. 2005. *Engineering Properties of Foods*. Third, *Engineering Properties of Foods, Fourth Edition*. Third. Edited by A. K. Rao, M. A., Rizvi, S. S. H., Datta. London, NewYork, Singapore: CRS Press Taylor & Francis Group.
- Takahashi, M., Hirose, N., Ohno, S., Arakaki, M., Wada, K. 2018. Flavor characteristics and antioxidant capacities of hihatsumodoki (*Piper retrofractum* Vahl) fresh fruit at three edible maturity stages. *Journal of Food Science and Technology*, 55(4), pp. 1295–1305. doi: 10.1007/s13197-018-3040-2.
- Yuliantari, N.W.A., Widarta, I.W.R., Permana, I.D.G.M. 2017. Pengaruh Suhu dan Waktu Ekstraksi Terhadap Kandungan Flavonoid dan Aktivitas Antioksidan Daun Sirsak (*Annona muricata* L.) Menggunakan Ultrasonik The Influence of Time and Temperature on Flavonoid Content and Antioxidant Activity of Sirsak Leaf (*Annona mur*). *Media Ilmiah Teknologi Pangan*, 4(1), pp. 35–42.
- Yuliatmoko, W. Febria, W. 2018. Pembuatan Minuman Fungsional dari Buah Cabe Jawa (*Piper retrofractum* Vahl.). *Seminar Nasional “Inovasi Pangan Lokal Untuk Mendukung Ketahanan Pangan”*, pp. 223–227.