

**PENGUKURAN NILAI DIFUSIVITAS TERMAL LADA PUTIH DAN  
LADA HITAM (*Piper nigrum* L.) DALAM BENTUK CURAH**

(Skripsi)

**Oleh**

**RIZKY FEBRIAN ARIES PRATAMA**



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

## **ABSTRAK**

### **PENGUKURAN NILAI DIFUSIVITAS TERMAL LADA PUTIH DAN LADA HITAM (*Piper nigrum* L.) DALAM BENTUK CURAH**

**Oleh**

**RIZKY FEBRIAN ARIES PRATAMA**

Lada merupakan salah satu komoditi yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Nilai ekspor lada yang tinggi di Indonesia menunjukkan bahwa produk ini mempunyai peluang untuk dikembangkan sebagai penghasil devisa negara. Untuk mendapatkan lada yang berkualitas tinggi hingga ke tangan konsumen, maka dibutuhkan penanganan yang baik sejak produksi hingga pascapanen.

Pengetahuan dan pemahaman mengenai karakteristik termal lada sangat penting untuk diketahui agar penanganannya bisa dilakukan dengan baik. Sifat termal meliputi sifat bahan yang mencirikan reaksinya terhadap perlakuan pertukaran panas, seperti panas jenis atau kapasitas panas spesifik ( $C_p$ ), konduktivitas termal ( $k$ ), dan difusivitas termal ( $\alpha$ ). Salah satu sifat termal yang cukup penting dan dibutuhkan dalam proses pengeringan lada adalah difusivitas termal, karena sifat ini erat kaitannya dengan kemampuan penetrasi atau disipasi panas dari bahan.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai difusivitas termal lada hitam dan lada putih serta mengetahui pengaruh kadar air terhadap nilai difusivitas termalnya.

Sejumlah sampel biji lada yang telah diketahui kadar airnya dimasukkan ke dalam *chamber*. Kemudian, *chamber* ini dimasukkan ke dalam *waterbath* sebagai sumber panas. Suhu air dalam *waterbath* diset pada suhu 50 ° C pada lama pengukuran riwayat perambatan suhu pada bahan selama 3 jam. Pengukuran tersebut dilakukan pada masing-masing tiga level kadar air pada kisaran antara 14% - 40% basis basah. Nilai difusivitas termal kemudian dihitung menggunakan metode numerik.

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai difusivitas termal lada hitam dan lada putih berkisar antara  $1,59 - 4,15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}$  dan  $1,56 - 3,18 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}$ . Hasil perhitungan menunjukkan bahwa kadar air mempengaruhi nilai difusivitas termal lada hitam dan lada putih. Semakin tinggi kadar air, semakin tinggi difusivitas termalnya. Nilai difusivitas termal tersebut dapat digunakan untuk menduga secara baik perambatan suhu pada lada selama dilakukan pemanasan dengan nilai ketepatan sebesar 99,8%.

**Kata Kunci** : Difusivitas termal, Kadar air, Lada hitam, Lada putih

## **ABSTRACT**

### **THE MEASUREMENT OF THERMAL DIFFUSIVITY OF BULKY BLACK PEPPER AND WHITE PEPPER (*Piper nigrum* L.)**

**By**

**RIZKY FEBRIAN ARIES PRATAMA**

Pepper is one of the commodities which has high economic value. The export value of pepper in Indonesia shows that this commodity has the opportunity to be developed as a foreign exchange earner. To get good quality of pepper for consumers, the best handling of the product from production to post harvest is needed.

Understanding of the thermal characteristics of pepper is very important to be known in order to handle the product better. The thermal properties are defined as properties of materials that characterize their response to heat, such as specific heat capacity ( $C_p$ ), thermal conductivity ( $k$ ), and thermal diffusivity ( $\alpha$ ). One of the most important of thermal properties and needed in drying process of pepper is thermal diffusivity, because this property is closely related to the ability of heat to transmit in the dried material.

The study aims to determine the thermal diffusivity of black pepper and white pepper and also to determine the effect of water content on the thermal diffusivity.

Numbers of samples of pepper seeds that are known their water contents were put into a chamber. Then, the chamber was immersed into waterbath as a source of heat. Temperature of waterbath was set at 50 ° C and duration of measurement of heat diffusion in the sample body was about 3 hours. The measurement was conducted at three levels of water content (range between 14% - 40% wet bases) for each type of peppers. Thermal diffusivity was determined numerically.

The results show that the thermal diffusivity of bulky black pepper and white pepper range between  $1,59 - 4,15 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{sec}$  and  $1,56 - 3,18 \times 10^{-7} \text{ m}^2 / \text{sec}$ , respectively. We also found that water content affects to thermal diffusivity of bulky black pepper and white pepper. The higher the water content, the higher the thermal diffusivity. The thermal diffusivity can then be used to predict the propagation temperature of pepper during heating with an accuracy of 99.8%.

**Keywords:** Thermal diffusivity, Moisture content, Black pepper, White pepper

**PENGUKURAN NILAI DIFUSIVITAS TERMAL LADA PUTIH DAN  
LADA HITAM (*Piper nigrum* L.) DALAM BENTUK CURAH**

**Oleh**

**RIZKY FEBRIAN ARIES PRATAMA**

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar  
**SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

Pada

Jurusan Teknik Pertanian  
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2019**

Judul Skripsi : **PENGUKURAN NILAI DIFUSIVITAS TERMAL  
LADA PUTIH DAN LADA HITAM (*Piper nigrum L.*)  
DALAM BENTUK CURAH**

Nama Mahasiswa : **Rizky Febrian Aries Pratama**

No. Pokok Mahasiswa : 1414071086

Jurusan : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian



**Sri Waluyo, S.T.P. M.Si., Ph.D.**  
NIP 19720311 199703 1002

**Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si., M.Sc.**  
NIP 19890520 201504 2 001

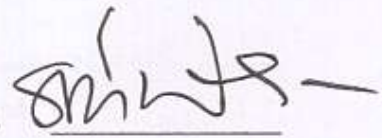
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian

**Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.**  
NIP 19650527 199303 1 002

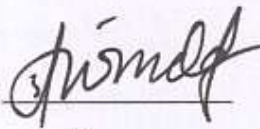
**MENGESAHKAN**

1. Tim Penguji

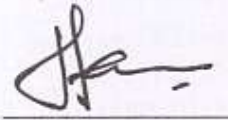
Ketua : Sri Waluyo, S.T.P. M.Si., Ph.D.



Sekretaris : Winda Rahmawati, S.T.P., M.Si., M.Sc.



Penguji  
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Tamrin, M.S.



2. Dekan Fakultas Pertanian



**Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.**

NIP. 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 23 Mei 2019



## PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya **Rizky Febrian Aries Pratama** NPM 1414071086, dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh, Komisi Pembimbing 1). **Sri Waluyo, S.TP., M.Si., Ph.D.** dan 2). **Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi materi yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 25 Juni 2019  
Yang membuat pernyataan,

The image shows a 6000 Rupiah adhesive stamp from Indonesia. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text 'METERAI TEMPEL', '759DCAFF751004063', '6000', and 'ENAM RIBURUPIAH'. A handwritten signature is written over the stamp.

**Rizky Febrian Aries Pratama**  
NPM.1414071086

## RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bandar Lampung pada tanggal 1 Februari 1995, sebagai anak kedua dari pasangan Bapak Syaifullah dan Ibu Subarni.

Pendidikan Taman Kanak – Kanak RA Perwanida I diselesaikan pada tahun 2001. Sekolah Dasar diselesaikan di SD Negeri 4 Sawah Lama pada tahun 2007. Kemudian penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 5 Bandar Lampung pada tahun 2010 dan Sekolah Menengah Atas di SMAN 6 Bandar Lampung pada tahun 2014. Tahun 2014, Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN (Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri). Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah aktif di Unit Lembaga Kemahasiswaan sebagai Anggota Bidang Dana dan Usaha Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) Periode 2015-2016 Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Anggota Departemen Pengembangan Sumber Daya Manusia Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Periode 2016 – 2017 Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Ketua Bidang Dana dan Usaha Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) Periode 2016 - 2017 Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Dewan Pembina Persatuan Mahasiswa Teknik

Pertanian (PERMATEP) Periode 2017 – 2018 dan Anggota Ikatan Mahasiswa Teknik Pertanian Indonesia (IMATETANI). Pada tahun 2017 penulis melaksanakan kegiatan Praktik Umum (PU) di PT Perkebunan Nusantara (PTPN) VII Unit Kedaton dengan judul “Mempelajari Proses Sortasi, Pengepakan, dan Penyimpanan Pada Pengolahan Karet Konvensional (*Ribbed Smoke Sheet*) di PT Perkebunan Nusantara VII Unit Kedaton”. Pada tahun 2018 penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Jayaguna, Kecamatan Marga Tiga, Kabupaten Lampung Timur.

Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pemurah lagi Maha  
Penyayang.

Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai  
penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar  
(QS. Al –Baqarah: 153).

Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan  
(QS. Al-Insyirah: 5).

Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan  
(QS. Ar – Rahman: 30).

Saya persembahkan karya kecil ini untuk keluargaku  
*“Ayah Syaifullah, Ibu Subarni, dan Kakak Silsi Arista Larashinta, yang  
sangat saya sayangi dan cintai  
Yang selalu memberikan doa dan dukungan baik moril maupun materi  
untuk kesuksesan saya”*

Serta

*“Almamaterku Tercinta”*

*Universitas Lampung*

*Fakultas Pertanian*

*Jurusan Teknik Pertanian*

*Teknik Pertanian Angkatan 2014*

## SANWACANA

Puji syukur Penulis ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi yang berjudul **“Pengukuran Nilai Difusivitas Termal Lada Putih dan Lada Hitam (*Piper nigrum* L.) Dalam Bentuk Curah”** adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian (S.T.P) di Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian yang telah membantu dalam hal administrasi skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.S., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung yang telah membantu dan mempermudah dalam hal administrasi skripsi ini.
3. Bapak Sri Waluyo, S.TP., M.Si., Ph.D., selaku Pembimbing Pertama, sekaligus Pembimbing Akademik, yang telah senantiasa memberikan berbagai masukan dan bimbingannya sampai pada penyelesaian skripsi ini.

4. Ibu Winda Rahmawati, S.TP., M.Si., M.Sc., selaku Pembimbing Kedua yang telah memberikan bimbingan, saran, motivasi terbaik selama penyelesaian skripsi sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku Pembahas yang telah memberikan saran dan masukan dalam hal perbaikan selama penyusunan skripsi ini.
6. Keluargaku tercinta untuk Ayah, Ibu, dan Kakak yang telah memberikan dukungan terbaik dalam berbagai hal terutama doa terbaik untuk tercapaian penyelesaian skripsi ini.
7. Teman Terbaikku, Nanda Wisna Ranawati yang telah menjadi pendengar curhatanku, pemberi semangat dan nasihat serta saran mulai dari tahap awal hingga tahap penyelesaian skripsi ini.
8. Teman – temanku, Agung, Aldi, Andiko, Narta, Andri, Forky, Panji, Renaldy, Wawan, dan Rendi yang telah menemani dari awal penelitian, memberikan semangat, saran dan berbagi cerita untuk terselesaikannya skripsi ini.
9. Keluarga Civitas Akademika Angkatan 2014 Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan dukungan dan doa.

Akhir kata, Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 25 Juni 2019

Penulis,

**Rizky Febrian Aries Pratama**

## DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	vi
I. PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Tanaman Lada .....	5
2.2 Sifat Termal Produk Pertanian .....	7
III. BAHAN DAN METODE .....	18
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	18
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	18
3.2.1 Alat Penelitian.....	18
3.2.2 Bahan Penelitian .....	19
3.3 Metode Penelitian.....	19
3.4 Prosedur Penelitian.....	20
3.5 Parameter Penelitian.....	24
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	28
4.1 Karakteristik Lada .....	28
4.1.1 Perubahan Karakteristik <i>Bulk Density</i> Lada .....	28
4.1.2 Perubahan Karakteristik <i>True Density</i> Lada.....	29
4.1.3 Perubahan Karakteristik Porositas Lada .....	30



4.2	Data Sebaran Suhu .....	32
4.3	Penentuan Difusivitas Termal dengan Metode Numerik .....	35
4.3	Ketepatan Pendugaan Suhu .....	39
V.	KESIMPULAN DAN SARAN .....	41
5.1	Kesimpulan.....	41
5.2	Saran.....	41
	DAFTAR PUSTAKA .....	42
	LAMPIRAN.....	45
	Tabel 4 - 9 .....	46
	Gambar 20 - 38.....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Rancangan Percobaan Penelitian .....	20
2. Data Karakteristik Biji Lada untuk Penentuan Difusivitas Termal dengan Metode Numerik.....	32
3. Nilai Difusivitas Termal Biji Lada.....	36
<i>Lampiran</i>	
4. Data Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Hitam .....	46
5. Data Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Putih.....	56
6. Data Difusivitas Termal Biji Lada Hitam .....	71
7. Data Difusivitas Termal Biji Lada Putih.....	72
8. Data Suhu Duga dan Ketepatan Biji Lada Hitam .....	75
9. Data Suhu Duga dan Ketepatan Biji Lada Putih.....	76

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Tanaman Lada ( <i>Piper nigrum L.</i> ).....	5
2. Lada Hitam dan Lada Putih.....	7
3. Nomenklatur untuk Penyelesaian Numerik Konduksi Termal .....	15
4. Diagram Alir Penelitian .....	21
5. Desain Alat Penentuan Sebaran Suhu .....	22
6. Alat Ukur Sebaran Suhu Tampak Atas .....	23
7. Urutan Posisi Sensor Tampak Depan.....	23
8. Grafik <i>Bulk Density</i> Lada Sebagai Fungsi Kadar Air Pada Lada Hitam dan Lada Putih .....	28
9. Grafik <i>True Density</i> Lada Sebagai Fungsi Kadar Air Pada Lada Hitam dan Lada Putih .....	29
10. Grafik Porositas Lada Sebagai Fungsi Kadar Air Pada Lada Hitam dan Lada Putih .....	31
11. Grafik Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Hitam Kadar Air 14,14% .....	33
12. Pengaruh Kadar Air dan Jenis Biji Lada terhadap Riwayat Suhu pada Jarak 3 cm dan Ketinggian 4 cm dari Pusat Silinder .....	34
13. Grafik Kecenderungan Nilai Difusivitas Termal Sebagai Fungsi Kadar Air Pada Lada Hitam dan Lada Putih .....	36
14. Perbandingan Suhu Ukur dan Suhu Duga Biji Lada Hitam Kadar Air 14,14% Selama Pemanasan.....	40

*Lampiran*

15. Grafik Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Hitam Kadar Air 33,19% .....	67
16. Grafik Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Hitam Kadar Air 39,71% .....	68
17. Grafik Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Putih Kadar Air 14,00% .....	68
18. Grafik Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Putih Kadar Air 28,18% .....	69
19. Grafik Riwayat dan Sebaran Suhu Biji Lada Putih Kadar Air 30,53% .....	69
20. Grafik Suhu Ukur dan Suhu Duga Biji Lada Hitam Kadar Air 33,19% .....	78
21. Grafik Suhu Ukur dan Suhu Duga Biji Lada Hitam Kadar Air 39,71% .....	78
22. Grafik Suhu Ukur dan Suhu Duga Biji Lada Putih Kadar Air 14,00% .....	79
23. Grafik Suhu Ukur dan Suhu Duga Biji Lada Putih Kadar Air 28,18% .....	79
24. Grafik Suhu Ukur dan Suhu Duga Biji Lada Putih Kadar Air 30,53% .....	80
25. Proses Kalibrasi dengan Menggunakan Termometer .....	81
26. Penimbangan Sampel Biji Lada Sebelum Dimasukkan ke dalam Oven.....	81
27. Pengovenan Sampel Biji Lada Selama 24 jam dengan Suhu 105°C ...	81
28. Pengukuran Nilai <i>Bulk Density</i> Biji Lada .....	82
29. Pengukuran Nilai <i>True Density</i> Biji Lada.....	82
30. Penimbangan Sampel Biji Lada Sebelum Dilakukan Perendaman.....	82

31. Perendaman Sampel Biji Lada Menggunakan <i>Waterbath</i> Pada Suhu $30^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ .....	83
32. Pengukuran Sebaran Suhu Menggunakan <i>Waterbath</i> Pada Suhu $50^{\circ}\text{C} \pm 0,1$ Selama Pemanasan.....	83
33. Alat Perekam Data Sebaran Suhu Menggunakan <i>Arduino AtMega2560</i> .....	83
34. <i>Chamber</i> .....	84
35. <i>Waterbath</i> .....	84
36. Sensor suhu .....	84
37. Lada Hitam.....	85
38. Lada Putih .....	85

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lada merupakan salah satu komoditi yang memiliki nilai ekonomis tinggi. Nilai ekspor lada yang tinggi di Indonesia menunjukkan bahwa sektor ini mempunyai peluang untuk dikembangkan sebagai penghasil devisa negara dari sektor nonmigas. Komoditi lada hitam dan lada putih menempati posisi tertinggi nilai ekspor di Indonesia untuk sektor rempah-rempah yang diikuti oleh pala dan kapulaga, serta kayu manis. Pada tahun 2016, total volume ekspor dari Januari sampai September terhadap komoditi lada yaitu sebesar 33,645 ton yang mana pada tahun tersebut mengalami penurunan total volume pada tahun sebelumnya yaitu sebesar 58,075 ton (Ditjen Perkebunan, 2016).

Indonesia adalah salah satu negara pengekspor lada terbesar kedua di dunia. Indonesia sudah lama dikenal sebagai produsen utama lada dunia terutama lada hitam (Lampung *Black Pepper*) yang dihasilkan di Provinsi Lampung dan lada putih (Muntok *White Pepper*) yang berasal dari Provinsi Kepulauan Bangka Belitung. Oleh karena itu, sangat penting untuk penanganan komoditi tersebut. Lada mempunyai sebutan "*The King of Spice*" (Raja rempah-rempah) yang mana perkembangan luas areal pada tahun 2016 sebesar 168.080 Ha dengan nilai produksi mencapai 82.167 ton berdasarkan data Direktorat Jendral Perkebunan

(2016). Sedangkan total ekspor perkebunan pada tahun 2015 mencapai US\$ 23,933 milyar atau setara dengan Rp. 311,138 triliun (asumsi 1 US\$=Rp.13.000). Hal tersebut menunjukkan bahwa peluang Indonesia untuk meningkatkan ekspor lada sangatlah besar. Bahkan jika dibandingkan dengan produsen lada lainnya, permintaan akan lada dari Indonesia cukup besar karena cita rasanya yang khas.

Dilihat dari luas lahan perkebunan lada di seluruh Indonesia, pada tahun 2016 Lampung memiliki luas lahan perkebunan lada sebesar 45.828 Ha dengan produksi sekitar 14,848 ton (Ditjen Perkebunan, 2016) yang tersebar di beberapa kabupaten dan hampir seluruhnya dikelola oleh rakyat dengan melibatkan sekitar 62.370 KK petani di lapangan. Dengan demikian, apabila 1 KK diasumsikan terdiri dari 5 anggota keluarga maka usaha lada ini mampu menghidupi sejumlah 312 ribu petani. Jumlah tersebut belum termasuk masyarakat yang ada di Provinsi lainnya serta yang terlibat dalam mata rantai perdagangan dan industri lada lainnya. Hal tersebut bisa menjadi potensi dan peluang besar yang dimiliki Indonesia dalam perdagangan lada di pasar internasional.

Untuk mendapatkan produk pertanian yang berkualitas baik sampai pada tangan konsumen, maka dibutuhkan penanganan yang baik pada bahan hasil pertaniannya. Pengetahuan dan pemahaman mengenai karakteristik termal dari bahan hasil pertanian sangat penting untuk diketahui agar penanganan bahan hasil pertanian bisa dilakukan dengan baik. Persamaan konduktivitas termal produk, pada umumnya menganggap bahwa produk merupakan sistem dengan dua fase dan memasukan pengaruh konduktivitas termal air dan bahan padat pada produk. Persamaan tersebut telah digunakan secara meluas untuk menduga perubahan

konduktivitas termal produk selama perubahan fase, misalnya selama pembekuan dan juga pengeringan.

Penerapan sistem optimasi dan simulasi sistem termal pada lada seperti rancang bangun peralatan pengeringan yang bertujuan untuk menekan biaya konstruksi alat dan mendapatkan cara operasi sistem yang diinginkan, mutlak memerlukan parameter-parameter teknik sebagai data dasar yang merupakan sifat intrinsik dari bahan hasil pertanian yang disebut dengan sifat termofisik. Sifat ini meliputi sifat termal dan sifat fisik dari bahan pertanian (Kamaruddin, dkk, 1998). Sifat termal meliputi sifat bahan yang mencirikan reaksinya terhadap perlakuan pertukaran panas, seperti panas jenis atau kapasitas panas spesifik ( $C_p$ ), konduktivitas termal ( $k$ ), dan difusivitas termal ( $\alpha$ ).

Salah satu sifat termal yang cukup penting dan dibutuhkan dalam proses pengeringan komoditas pertanian adalah difusivitas termal, karena sifat ini erat kaitannya dengan kemampuan penetrasi atau disipasi panas dari bahan. Kamaruddin dan Sagara (1992) menyebutkan bahwa nilai difusivitas termal komoditas pertanian dapat digunakan untuk menduga laju perubahan suhu bahan sehingga dapat ditentukan waktu optimum untuk proses pengolahannya, seperti pada pengeringan dan pendinginan.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan nilai difusivitas termal lada hitam dan lada putih serta mengetahui pengaruh kadar air terhadap nilai difusivitas termalnya.



### **1.3 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan informasi dalam proses penyimpanan dan pengeringan produk pertanian khususnya lada hitam dan lada putih, selanjutnya menjadi acuan dalam merancang alat pengering atau penyimpan biji lada.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Tanaman Lada

Klasifikasi tanaman lada :

- Kingdom : Plantae (Tumbuhan)  
Subkingdom : Tracheobionata (Tumbuhan berpembuluh)  
Super Divisi : Spermatophyta (Tumbuhan berbiji)  
Divisi : Magnoliopsida (Berkeping dua/dikotil)  
Kelas : Magnoliidae  
Sub-kelas : Monocotyledonae  
Ordo : Piperales  
Famili : Piperaceae  
Genus : *Piper*  
Spesies : *Piper nigrum* L



Gambar 1. Tanaman Lada (*Piper nigrum* L.)

Tanaman ini adalah batang pokok berkayu, beruas-ruas dan tumbuh merambat dengan menggunakan akar pelekat pada tiang panjat atau menjalar di atas permukaan tanah. Tanaman lada merupakan akar tunggang dan memiliki daun tunggal, berseling dan tersebar (Tjitrosoepomo, 2004).

Daun berbentuk bulat telur sampai memanjang dengan ujung meruncing (Rismunandar, 2007). Buah merupakan produksi pokok daripada hasil tanaman lada. Buah lada berbentuk bulat, berbiji keras dan berkulit buah yang lunak. Kulit buah yang masih muda berwarna hijau, sedangkan yang tua berwarna kuning. Buah yang sudah masak berwarna merah, berlendir dengan rasa manis. Sesudah dikeringkan lada berwarna hitam, buah lada merupakan buah duduk yang melekat pada malai. Besar kulit dan bijinya 4-6 mm, sedangkan besarnya biji 3-4 mm. Berat 100 biji kurang lebih 38 gram atau rata-rata 4,5 gram. Kulit buah atau pericarp terdiri dari 3 bagian, yaitu epicarp (kulit luar), mesocarp (kulit tengah), endocarp (kulit dalam) (Rismunandar, 2007). Kulit ini terdapat biji-biji yang merupakan produk dari lada, biji-biji ini juga mempunyai lapisan kulit yang keras (Sutarno dan Andoko, 2005).

Tanaman lada berasal dari India. Tanaman ini juga tumbuh liar di pegunungan Assam dan Burma Utara. Lada dibawa ke Jawa antara tahun 100 SM dan 600 SM oleh para pendatang Hindu. Pada tahun 1929, produksi lada berpusat di Lampung dan Bangka. Selain Lampung dan Bangka, produksi lada di Indonesia diperoleh dari daerah Sumatera Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Aceh, Sumatera Barat, dan Jawa Barat (Wahid, 1996).

Buah lada umumnya dikenal dalam dua jenis, yaitu lada hitam dan lada putih. Yang membedakan kedua jenis ini adalah proses pembuatannya. Proses pembuatan lada hitam adalah dengan mengambil buah yang masih hijau, diperam, kemudian dijemur sampai kering. Dari penjemuran diperoleh buah lada yang keriput dan berwarna kehitam-hitaman. Sedangkan lada putih diambil dari buah yang hampir masak, direndam, dan dikupas kulitnya yang kemudian dijemur hingga berwarna putih (Rismunandar, 2007).



Gambar 2. Lada hitam dan lada putih  
(Ahmad, 2012)

## **2.2 Sifat Termal Produk Pertanian**

### **1. Kapasitas Panas Spesifik**

Kapasitas panas spesifik didefinisikan sebagai jumlah energi yang dibutuhkan oleh satu satuan berat ( $m$ ) bahan untuk menaikkan suhunya sebesar satu derajat (Cengel and Boles, 2002). Besaran ini dipakai untuk menduga jumlah energi ( $Q$ ) yang diperlukan bila suhu bahan berubah satu satuan ( $\Delta T$ ). Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan nilai kapasitas panas spesifik adalah sebagai berikut:

$$C_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- C<sub>p</sub> = kapasitas panas spesifik (J/kg.K)
- Q = jumlah energi (Joule)
- m = berat jenis (kg)
- ΔT = perubahan suhu (K)

Penelitian tentang kapasitas panas spesifik telah dilakukan oleh Komar dkk (2009) pada produk keju mozarella dengan menggunakan metode eksperimental yang meliputi 3 variasi konsentrasi asam sitrat yang berbeda (0,12%, 0,16%, dan 0,20%) dari 25 liter susu sapi segar. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai panas jenis pada asam sitrat 0,12% sebesar 2690,115 J/kg<sup>0</sup>C, pada asam sitrat 0,16% sebesar 2721,400 J/kg<sup>0</sup>C, dan pada asam sitrat 0,20% sebesar 2708,500 J/kg<sup>0</sup>C. Panas jenis bahan tersebut dipengaruhi oleh komposisi dari bahan yaitu kadar protein, lemak, karbohidrat, abu, dan kadar air. Panas jenis akan meningkat jika kadar air bahan meningkat pula, begitu juga sebaliknya (Komar dkk, 2009).

Adapun penelitian tentang kapasitas panas spesifik lainnya yang telah dilakukan oleh Manalu dkk (2012) pada bahan mangga arum manis *minimally processed* dengan metode Siebel dan campuran didapatkan nilai panas jenis rata-rata dengan menggunakan metode Siebel sebesar 3,6187 kJ/kg<sup>0</sup>C, sedangkan sengan metode campuran sebesar 3,6134 kJ/kg<sup>0</sup>C. Sedangkan untuk mangga utuh nilainya masing-masing adalah 3,6040 kJ/kg<sup>0</sup>C dan 3,5120 kJ/kg<sup>0</sup>C. Panas jenis mangga akan semakin tinggi apabila kadar airnya semakin tinggi, hal ini menunjukkan adanya korelasi positif antara panas jenis dan kadar air (Manalu dkk, 2012).

Selain kedua penelitian tersebut, terdapat penelitian lainnya tentang penentuan nilai kapasitas panas spesifik terhadap benih sirsak dan biji kernel sirsak yang dilakukan oleh Oloyede dkk (2017) dengan menggunakan metode *Dual-Needle Sensor SH-1* di *KD2-Pro thermal analyser*. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai rata-rata kapasitas panas spesifik benih sirsak dan kernel biji sirsak meningkat dari 768 menjadi 2131 J/kg.K dan 1137 menjadi 1438 J/kg.K.

Dari penelitian tersebut didapatkan bahwa nilai kapasitas panas spesifik dari biji benih sirsak lebih tinggi dari biji kernel sirsak. Hal ini berhubungan dengan luas permukaan biji kernel sirsak lebih rendah dibandingkan dengan biji benih sirsak (Oloyede dkk, 2017).

## 2. Konduktivitas Termal

Konduksi adalah perambatan panas dalam suatu bahan atau dari satu benda padat ke benda padat yang lain dengan pertukaran energi kinetik tanpa adanya perubahan struktur molekul dalam benda tersebut. Cara perpindahan panas seperti ini biasanya terjadi dalam proses pemanasan atau pendinginan (Heldman dan Singh, 1981). Konduktivitas termal ditentukan dengan menggunakan peralatan yang telah dirancang secara sederhana. Adapun persamaan konduktivitas termal adalah sebagai berikut :

$$k = \frac{Q}{t} \times \frac{L}{A \times \Delta T} \quad \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan :

k = konduktivitas termal (W/m.K)

Q = banyaknya kalor (Joule)

$\Delta T$  = perubahan suhu (K)

- L = panjang batang (m)
- A = luas penampang ( $m^2$ )
- t = selang waktu (s)

Penelitian tentang konduktivitas termal telah dilakukan oleh Maiwita (2014) dengan menggunakan bahan ampas tebu dan serbuk gergaji yang dikombinasikan sesuai dengan perbandingan yang telah ditentukan, kemudian dijadikan papan partikel yang selanjutnya diuji menggunakan *Thermal Conductivity Apparatus*. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai rata-rata konduktivitas termal terkecil adalah perbandingan komposisi ampas tebu dan serbuk gergaji 100% : 0% yaitu 0,0821 W/m<sup>0</sup>C. Sedangkan nilai rata-rata konduktivitas termal terbesar adalah dengan perbandingan ampas tebu dan serbuk gergaji 50% : 50% yaitu sekitar 0,1378 W/m<sup>0</sup>C. Sedangkan papan partikel dengan perbandingan komposisi ampas tebu dan serbuk gergaji 75% : 25% memiliki nilai rata-rata konduktivitas termal 0,1129 W/m<sup>0</sup>C.

Pada hasil pengujian konduktivitas termal tersebut didapatkan jika semakin kecil komposisi ampas tebu maka semakin besar nilai konduktivitas termalnya dan sebaliknya semakin besar komposisi ampas tebu maka konduktivitasnya menurun. Semakin banyak serbuk gergaji yang digunakan maka nilai konduktivitas termalnya meningkat. Papan partikel dengan ampas tebu lebih banyak menunjukkan nilai konduktivitasnya kecil. Hal ini disebabkan karena silika yang terkandung dalam ampas tebu berpengaruh besar menahan hantaran panas (Maiwita, 2014).

Adapun penelitian tentang konduktivitas termal lainnya yang telah dilakukan oleh Setiawan (2016) pada variasi ukuran partikel kopi (tanpa partikel, mesh 20, mesh 40, mesh 60, mesh 80, dan mesh 100) dengan menggunakan metode *steady state*

dengan rentang suhu  $200^{\circ}\text{C} - 260^{\circ}\text{C}$  selama 60 menit pengujian. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai konduktivitas termal komposit pada ukuran partikel kopi lolos ayakan mesh 20 sebesar  $0,006 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . Nilai konduktivitas termal komposit mengalami kenaikan pada ukuran partikel kopi lolos ayakan mesh 40 – 60 yaitu sebesar  $0,011 - 0,013 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan nilai konduktivitas termal komposit mengalami penurunan pada ukuran partikel kopi lolos ayakan mesh 80 – 100 yaitu sebesar  $0,011 - 0,008 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  berada di atas sampel kontrol (tanpa partikel kopi) yaitu sebesar  $0,007 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

Nilai konduktivitas termal mengalami penurunan dari ukuran partikel kopi lolos ayakan mesh 60 ke mesh 100 dari angka  $0,013 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  menjadi  $0,008 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  ini disebabkan oleh ukuran partikel kopi lolos ayakan mesh 80 – 100 menghasilkan permukaan halus yang memungkinkan jarak antar partikel kopi semakin rapat sehingga saat dialiri panas konduksi yang dominan menghambat rambatan panas yaitu kopi. Nilai konduktivitas termal komposit partikel tersebut berpengaruh pada bentuk partikel dan jarak antar partikel. Jika jarak antar partikel semakin dekat, maka transfer panas juga semakin efisien (Setiawan, 2016).

Selain kedua penelitian tersebut, terdapat penelitian lainnya tentang penentuan nilai konduktivitas termal terhadap benih sirsak dan biji kernel sirsak yang dilakukan oleh Oloyede dkk (2017) dengan menggunakan metode *Dual-Needle Sensor SH-1* di *KD2-Pro thermal analyser*. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai rata-rata konduktivitas termal benih sirsak dan biji kernel sirsak masing-masing sebesar  $0,550 \text{ W/m.K}$  dan  $0,245 \text{ W/m.K}$ .



Nilai konduktivitas termal pada benih lebih tinggi daripada biji kernel, hal ini dikarenakan ukuran dan kandungan air pada biji kernel rendah pada tingkat kelembabanya.

### **3. Difusivitas Termal**

Bahan pertanian mempunyai bentuk dan struktur yang beragam. Karena itu, setiap bahan pertanian mempunyai kemampuan yang berbeda dalam menguapkan air atau mengubah suhunya bila ada perlakuan pemanasan dari luar. Difusivitas termal merupakan salah satu sifat termofisik bahan yang didefinisikan sebagai laju perambatan termal yang didifusikan keluar dari suatu bahan. Nilai difusivitas termal bahan merupakan salah satu sifat termal yang dibutuhkan untuk mengetahui penetrasi kecepatan penyebaran suhu dalam suatu benda selama proses pemanasan atau pendinginan. Selain itu dapat digunakan untuk memperkirakan waktu optimum yang dibutuhkan dalam proses pemanasan, pengeringan atau pendinginan. Dengan mengetahui waktu optimum selain dapat menghindarkan terjadinya kerusakan bahan juga dapat menghemat energi. Ada beberapa bentuk dasar yang dapat mewakili bentuk-bentuk yang ada yaitu bentuk bola, silinder terbatas, silinder tak terhingga, lempeng, dan lain-lain. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai difusivitas termal lada, terdapat dua metode menentukan difusivitas termal bahan pertanian yaitu metode langsung dan tidak langsung. Untuk metode tidak langsung menggunakan persamaan dasar untuk difusivitas termal pada koordinat silinder diasumsikan bahwa tidak ada panas yang merambat ke arah aksial ataupun ke arah tangensial. Persamaan tersebut adalah sebagai berikut (Dickerson, 1965) :

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} \quad \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

$\alpha$  = difusivitas termal ( m<sup>2</sup>/s )

k = konduktivitas termal ( W/(m.K) )

$\rho$  = densitas ( kg/m<sup>3</sup> )

C<sub>p</sub> = panas jenis ( J/(kg.K) )

Sedangkan metode langsung dalam aplikasinya, difusivitas termal dapat diperhitungkan melalui perubahan suhu yang disebabkan aliran termal yang didefinisikan keluar dari unit volume bahan. Bentuk, ukuran dan volume merupakan karakteristik dimensi yang seringkali diperlukan dalam penyelesaian masalah pindah termal dari bahan produk pertanian,

Menurut Carslaw and Jaeger (1959) dan Holman (1984) persamaan umum untuk konduksi termal satu dimensi untuk silinder jika sumbu yang bertepatan dengan sumbu z, sehingga suhu akan menjadi fungsi dari r dan t saja adalah :

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \alpha \left[ \frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T}{\delta r} \right] \quad \dots\dots\dots(4)$$

Nilai difusivitas termal dapat ditentukan secara langsung dengan pengukuran data kenaikan suhu lada selama pemanasan terhadap waktu yang selanjutnya dipecahkan dengan menyusun kembali Persamaan (4) menjadi :

$$\alpha = \frac{\frac{\delta T}{\delta t}}{\left[ \frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T}{\delta r} \right]} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Selanjutnya Persamaan (4) di atas dapat dianalisis dengan menggunakan metode numerik.

Dalam metode numerik digunakan asumsi bahwa tabung berbentuk silinder dan perpindahan termal merata ke arah radial, suhu awal setiap titik dianggap seragam, kadar air tetap dan tidak terjadi penyusutan serta nilai difusivitas termal tidak tergantung pada perubahan suhu yang terjadi selama proses pemanasan berlangsung. Metode numerik biasa digunakan untuk menentukan konduksi termal yang terjadi pada benda yang bentuknya tidak teratur atau kondisi batasnya berubah menurut waktu (Holman, 1984) dalam (Wahyuni, 2003).

Penentuan difusivitas termal lada dapat dilakukan dengan memecahkan Persamaan (4) dengan bantuan deret Taylor sebagai berikut (Carslaw and Jaeger, 1959; Torrance, 1973; Holman, 1984) :

$$T(r \pm \Delta r) = T(r) \pm \Delta r T'(r) + ((\Delta r)^2/2!)(T''(r)) \pm \dots \dots\dots(6)$$

Analisa perpindahan termal atau sebaran suhunya diasumsikan sebagai bidang dua dimensi yang dibagi-bagi menjadi jenjang tambahan-tambahan kecil seperti terlihat pada Gambar 3.

Sehingga persamaan fungsi turunan terhadap waktu dapat didekati dengan :

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{T_r^{t+1} - T_r^t}{\Delta t} \dots\dots\dots(7)$$

Dan fungsi turunan suhu terhadap jarak radialnya dapat didekati dengan :

$$\frac{\delta T}{\delta r} = \frac{T_{r+1}^t - T_r^t}{\Delta r} \dots\dots\dots(8)$$

dan turunan keduanya adalah :

$$\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} = \frac{T_{r+1}^t + T_{r-1}^t - 2T_r^t}{(\Delta r)^2} \quad \text{.....(9)}$$

Jika Persamaan (7), (8) dan (9) disubstitusikan ke dalam Persamaan (4), maka :

$$\frac{T_r^{t+1} - T_r^t}{\Delta t} = \alpha \frac{T_{r+1}^t - T_r^t}{r \Delta r} + \frac{T_{r+1}^t + T_{r-1}^t - 2T_r^t}{(\Delta r)^2} \quad \text{.....(10)}$$

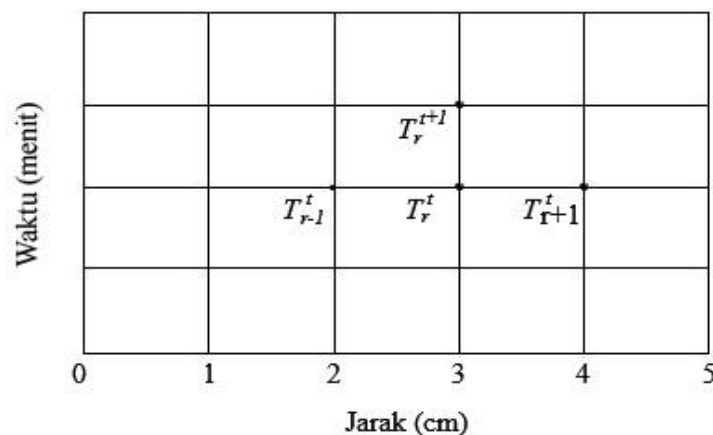
setelah disederhanakan menjadi :

$$\frac{T_r^{t+1} - T_r^t}{\Delta t} = \alpha \frac{1}{r} \frac{(\Delta r + r)T_{r+1}^t + rT_{r-1}^t - (2r + \Delta r)T_r^t}{(\Delta r)^2} \quad \text{.....(11)}$$

Sehingga nilai difusivitas termal dapat dihitung dengan :

$$\alpha = \left| \frac{(\Delta r)^2}{\Delta t} \frac{r(T_r^{t+1} - T_r^t)}{(\Delta r + r)T_{r+1}^t + rT_{r-1}^t - (\Delta r + 2r)T_r^t} \right| \quad \text{.....(12)}$$

Notasi  $\Delta t$  menunjukkan pertambahan waktu, sedangkan  $\Delta r$  menunjukkan jarak titik-titik pengukuran suhu dalam bahan.



t : notasi untuk waktu  
r : notasi untuk jarak radial

Gambar 3. Nomenklatur untuk Penyelesaian Numerik Konduksi Termal

Persamaan-persamaan di atas dikembangkan atas dasar teknik beda-maju (*forward difference*) dalam arti suhu suatu titik pada suatu tambahan waktu yang akan dinyatakan dengan menggunakan titik lingkungan pada awal tambahan waktu. Rumusan ini disebut rumusan eksplisit (*explicit formulation*), karena memungkinkan untuk mengetahui suhu titik  $T_{r+1}^t$  sebelumnya. Dalam cara ini perhitungan berjalan langsung dari suatu tambahan waktu berikutnya, sampai distribusi suhu dapat dihitung pada keadaan akhir yang diinginkan (Holman, 1994).

Penelitian tentang difusivitas termal telah dilakukan oleh Komar dkk (2009) pada produk keju mozzarella dengan menggunakan metode eksperimental yang meliputi 3 variasi konsentrasi asam sitrat yang berbeda (0,12%, 0,16%, dan 0,20%) dari 25 liter susu sapi segar. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai difusivitas termal pada asam sitrat 0,12% sebesar  $3,730 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , pada asam sitrat 0,16% sebesar  $1,670 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , dan pada asam sitrat 0,20% sebesar  $1,960 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ .

Adapun penelitian tentang difusivitas termal lainnya yang telah dilakukan oleh Manalu dkk (2012) pada bahan mangga arummanis *minimally processed* secara tidak langsung yang dihitung dengan menggunakan nilai panas jenis mangga dari persamaan Siebel. Nilai difusivitas termal mangga arummanis *minimally processed* yang didapatkan adalah  $1,70 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ , sedangkan nilai difusivitas termal mangga utuh sebesar  $1,88 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  (Manalu dkk, 2012).

Selain kedua penelitian tersebut, terdapat penelitian lainnya tentang penentuan nilai difusivitas termal terhadap benih sirsak dan biji kernel sirsak yang dilakukan oleh Oloyede dkk (2017) dengan menggunakan metode *Dual-Needle Sensor SH-1* di *KD2-Pro thermal analyser*. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai rata-rata

difusivitas termal pada benih berkisar antara 0,119 hingga 0,262 m<sup>2</sup>/s , sedangkan pada kernel berkisar antara 0,120 hingga 0,256 m<sup>2</sup>/s. Dari data tersebut menunjukkan tidak banyaknya perbedaan dengan kernel, hal ini menunjukkan bahwa kadar air memiliki efek yang signifikan terhadap nilai difusivitas termal kedua biji tersebut. Peningkatan difusivitas termal dengan kadar air memungkinkan karena adanya peningkatan pada pori-pori sampel sebagai hasil dari peningkatan benih atau ukuran.

### **III. BAHAN DAN METODE**

#### **3.1 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari-Februari 2019 di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pascapanen (L. RBPP) Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

#### **3.2 Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.2.1 Alat Penelitian**

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Silinder Bahan (*Chamber*)
2. *Waterbath*
3. sensor suhu
4. Gelas ukur 500 ml.
5. Timbangan analitik
6. Kain
7. Ayakan
8. Pipa paralon
9. Styrofoam

10. Laptop

11. *Stopwatch*

### **3.2.2 Bahan Penelitian**

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. air
2. biji lada hitam dan lada putih

Kedua bahan tersebut diperoleh dari Desa Datar Lebuay, Kecamatan Air Nanningan, Kabupaten Tanggamus.

### **3.3 Metode Penelitian**

Penelitian ini menggunakan dua faktor terdiri dari faktor pertama A adalah lama perendaman air terhadap bahan yang terdiri dari tiga taraf :

1. A1 tidak dilakukan perendaman
2. A2 direndam selama 1 jam
3. A3 direndam selama 2 jam

Faktor kedua B adalah jenis bahan yang digunakan terdiri dari dua taraf :

1. B1 menggunakan bahan biji lada hitam
2. B2 menggunakan bahan biji lada putih



Tabel 1. Rancangan Percobaan Penelitian

B/A	A1	A2	A3
B1	B1A1	B1A2	B1A3
B2	B2A1	B2A2	B2A3

Dari dua faktor tersebut, akan didapatkan enam perlakuan dan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan sehingga didapatkan 18 unit percobaan.

### 3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur dalam penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap perancangan, tahap persiapan alat dan bahan, tahap perakitan, tahap pengambilan data, dan analisis data. Prosedur penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir :



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

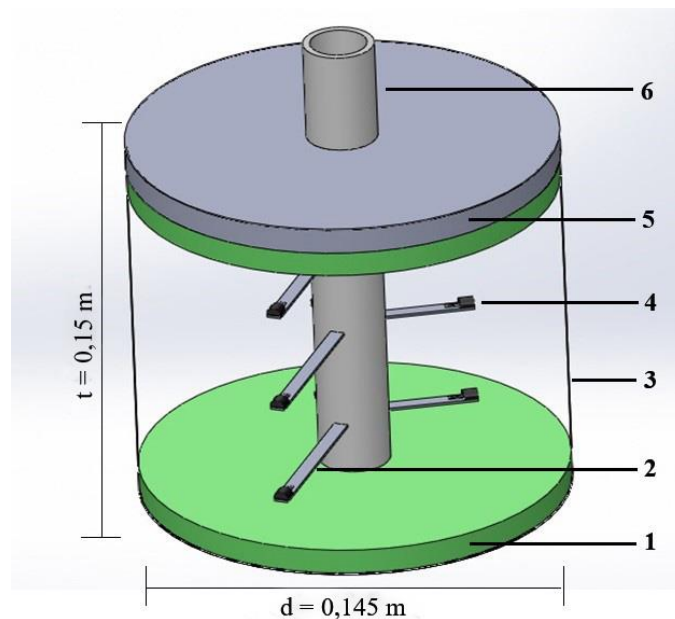
1. Tahap persiapan alat dan bahan

Mempersiapkan alat dan bahan sesuai dengan yang dibutuhkan yaitu lada hitam dan lada putih masing-masing sebanyak  $\pm 1,2$  kg. Sampel bahan tersebut dalam kondisi kering yang diperoleh dari perkebunan lada milik warga Desa Datar Lebuay, Kecamatan Air Nanning, Kabupaten Tanggamus.

2. Tahap perakitan

Pemasangan komponen-komponen sesuai dengan alat yang telah ada yaitu memasang sensor suhu di dalamnya sesuai pada Gambar 5. Alat ini berbentuk

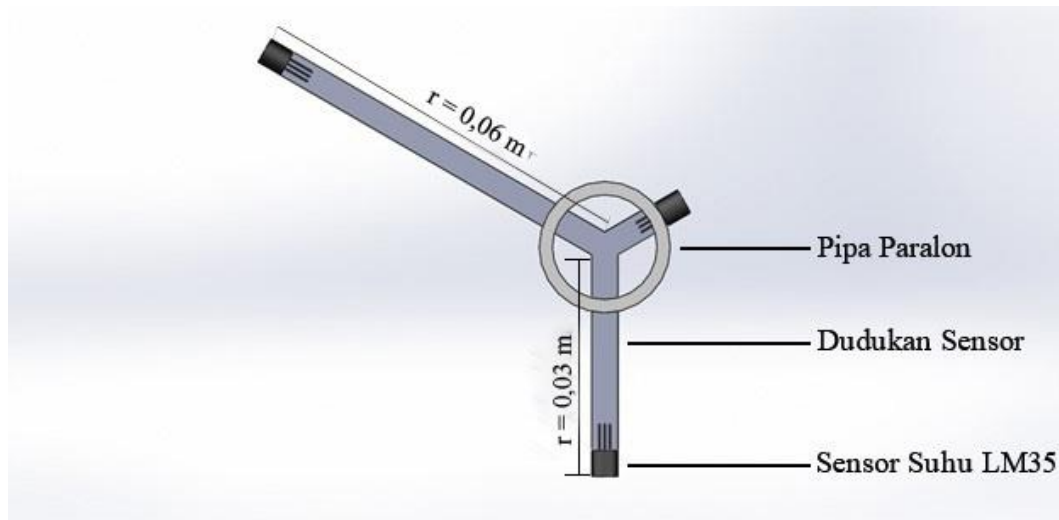
silinder dengan ukuran tebal  $3,5 \times 10^{-4}$  m, berdiameter 0,145 m, dan tinggi 0,15 m. Pada bagian tengah silinder dipasang pipa paralon dengan diameter 0,025 m secara vertikal serta dipasang sensor suhu LM35 secara horizontal pada dinding luar paralon. Untuk peletakan sensor dipasang 9 titik sesuai pada Gambar 7 yaitu 3 di bagian bawah, 3 di bagian tengah, dan 3 di bagian atas dengan ketinggian masing-masing sensor 0,04 m. Untuk jarak pemasangan sensor dari titik pusat hingga dinding silinder bahan yaitu 0 m, 0,03 m dan 0,06 m. Desain alat sebaran suhu dapat dilihat pada Gambar 5.



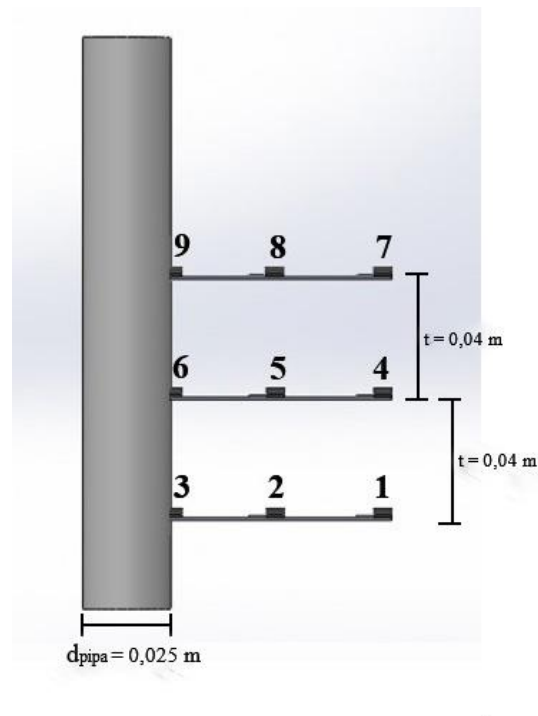
Gambar 5. Desain Alat Penentuan Sebaran Suhu

Keterangan :

- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 1. Styrofoam      | 4. Sensor Suhu LM35 |
| 2. Dudukan Sensor | 5. Tutup Kaleng     |
| 3. Chamber        | 6. Pipa Paralon     |



Gambar 6. Alat Ukur Sebaran Suhu Tampak Atas



Gambar 7. Urutan Posisi Sensor Tampak Depan

### 3. Tahap pengambilan data sebaran suhu

Untuk mengambil data tahap-tahap yang harus dilakukan sebagai berikut :

1. Disiapkan alat ukur sebaran suhu, air, dan *waterbath*.

2. Disiapkan lada hitam sebanyak  $\pm 1,2$  kg.
3. Dimasukkan air ke dalam *waterbath* sampai ketinggian air mencapai  $\pm 13$  cm, kemudian diatur *waterbath* pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$ .
4. Dimasukkan lada ke dalam alat sebaran suhu sampai terisi penuh.
5. Jika suhu di dalam *waterbath* sudah mencapai suhu  $50^{\circ}\text{C}$ , dimasukkan alat sebaran suhu ke dalam *waterbath* selama 3 jam.
6. Peningkatan suhu direkam tiap 30 detik.
7. Setelah 3 jam, matikan alat sebaran suhu dan kemudian keluarkan lada dari dalam kaleng tersebut.
8. Diulangi langkah 2-7 untuk 3 kali ulangan.
9. Diulangi langkah 1-7 untuk perlakuan pada lada putih.

Untuk perlakuan lada ini, dilakukan perendaman sesuai dengan taraf perlakuan yaitu direndam selama 1 jam dan 2 jam menggunakan *waterbath* dengan suhu sekitar  $30^{\circ}\text{C}$ .

#### 4. Tahap analisis data

Analisis data akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

### 3.5 Parameter Penelitian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Kadar air.
2. *Bulk density*.
3. *True density*.

4. Porositas curah.
5. Difusivitas termal.

Parameter penelitian tersebut dijabarkan dalam penentuan kadar air, *bulk density*, *true density*, porositas, dan difusivitas termal sebagai berikut :

### 1. Kadar air

Penentuan nilai kadar air dilakukan dengan cara menimbang berat bahan awal yang tidak direndam menggunakan cawan porselen sehingga mendapatkan nilai berat basahnya. Kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu sekitar 105 °C, setelah itu dilakukan penimbangan kembali untuk mendapatkan nilai berat kering bahan tersebut. Adapun persamaan yang digunakan dalam penentuan kadar air adalah sebagai berikut :

$$KA_{(\%bk)} = \frac{W_0 - W_1}{W_1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(13)$$

Keterangan :

- $KA_{(\%bk)}$  : Kadar Air Basis Kering (%)
- $W_0$  : Massa Awal Biji Lada (gram)
- $W_1$  : Massa Biji Lada Setelah Dioven (gram)

### 2. Penentuan *Bulk Density*

Penentuan *bulk density* ini dilakukan dengan menggunakan gelas ukur 500 ml sebagai volumenya yang dibatasi sebesar 100 ml dan kemudian bahan dimasukkan ke dalam gelas ukur yang telah ditimbang dan dikalibrasi sebelumnya sebagai berat bahan tersebut. Adapun persamaan untuk penentuan *bulk density* adalah sebagai berikut (Anisum,2016):

$$\rho_b = \frac{m}{v} \quad \dots\dots\dots(14)$$

Keterangan :

$\rho_b$  : *bulk density* (kg/m<sup>3</sup>)  
 m : massa (kg)  
 v : volume (m<sup>3</sup>)

### 3. Penentuan *True Density*

Penentuan *true density* ini dilakukan dengan menggunakan gelas ukur 500 ml sebagai volumenya yang telah berisi air sebanyak 100 ml dan kemudian bahan tersebut dimasukkan ke dalam gelas ukur yang telah ditimbang dan dikalibrasi sebelumnya sebagai berat bahan tersebut. Adapun persamaan untuk penentuan *true density* adalah sebagai berikut :

$$\rho_t = \frac{m}{v} \quad \text{.....(15)}$$

Keterangan :

$\rho_t$  : *true density* (kg/m<sup>3</sup>)  
 m : massa (kg)  
 v : volume (m<sup>3</sup>)

### 4. Penentuan Porositas

Penentuan porositas ini hanya dimasukkan ke dalam persamaan yang telah diketahui nilai *bulk density* dan *true density*. Adapun persamaan untuk penentuan porositas adalah sebagai berikut (Joshi *et al*,1993):

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_t} \times 100\% \quad \text{.....(16)}$$

Keterangan :

$\varepsilon$  : porositas (%)  
 $\rho_b$  : *bulk density* (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_t$  : *true density* (kg/m<sup>3</sup>)

## 5. Penentuan Difusivitas Termal

Untuk menentukan difusivitas termal secara langsung dilakukan dengan metode numerik. Nilai difusivitas termal dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (12). Penentuan nilai difusivitas termal dengan metode numerik dilakukan dengan menggunakan data sebaran suhu dengan rentang 5 menit sekali selama proses pemanasan.

Dalam penelitian ini ada ketepatan nilai difusivitas, ketepatan ini dapat dihitung dengan membandingkan suhu ukur dengan suhu dugaanya. Suhu duga dapat dicari dengan mengubah Persamaan (12) menjadi :

$$T_r^{t+1} = \left| \frac{\alpha(\Delta t)\{(\Delta r+r)T_{r+1}^t+rT_{r-1}^t-(2r+\Delta r)T_r^t\}}{r(\Delta r)^2} + T_r^t \right| \dots\dots\dots(17)$$

Sedangkan untuk mengetahui nilai ketepatannya menggunakan Persamaan (18) di bawah ini :

$$K = \left( 1 - \left| \frac{T_{duga} - T_{ukur}}{T_{ukur}} \right| \right) \times 100\% \dots\dots\dots(18)$$



## **V. KESIMPULAN DAN SARAN**

### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil perhitungan dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai difusivitas termal biji lada hitam dan lada putih yang dihitung dengan metode numerik berkisar antara  $(1,56 - 4,15) \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/detik pada kisaran kadar air 14,00% - 39,71% basis basah.
2. Kadar air mempengaruhi nilai difusivitas termal biji lada hitam dan lada putih. Semakin tinggi kadar air terkandung oleh biji lada maka nilai difusivitas termalnya pun akan semakin tinggi.
3. Nilai ketepatan pendugaan suhu biji lada yaitu 99,8%.

### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian ini adalah perlu dilakukannya modifikasi terhadap alat uji difusivitas termal dengan menggunakan alat ukur suhu yang mempunyai sensitivitas yang baik serta menambah variasi pada jenis produk pertanian dan juga kadar air.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, N., H. Fazal, B.H. Abbasi, S. Farooq, M. Ali, dan M.A. Khan. 2012. Biological Role of *Piper nigrum* L. (Black Pepper): A Review. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 90 : 7915-22.
- Anisum. 2016. Analisis Kinetika Kadar Air pada Pengeringan Biji Kakao (*Theobroma Cacao* Linn) dengan Menggunakan Pengering Tipe Greenhouse. *Jurnal Pertanian Terpadu* 4(2) : 19 – 29.
- Cengel, Y A and Boles M.A.. 2002. *Thermodynamics: an Engineering Approach*. Ed ke-4. Boston: Mc-Graw Hill.
- Coskun, M B., Yalcin I., Ozarslan C. 2006. Physical Properties of Sweet Corn Seed (*Zea mays saccharata* Sturt.). *Journal of Food Engineering* 74 : 523-528.
- Dickerson, R.W. J.R. 1965. An Apparatus for The Measurement of Thermal Diffusivity of Food. *J, Food Technol.* 19 : 880.
- Ditjen Perkebunan. 2016. *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Lada 2015-2017*. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Gupta, R K and Das S.K. 1997. Physical Properties of Sunflower Seeds. *J, Agric, Engng Res.* 66 : 1 – 8.
- Heldman, R.D. and Singh R.P. 1980. *Food Process Engineering*. Second Edition. AVI Publishing Company Inc. Westport. Connecticut.
- Hidayat , Risfaheri T., dan Kailaku S.I. 2012. Pengaruh Konsentrasi dan Waktu Perendaman dalam Asam Sitrat Terhadap Mutu Lada Hijau Kering .*Jurnal Pascapanen* 9 (1) : 45 – 53.
- Holman , J.P. 1994. *Perpindahan Kalor* : Erlangga. Jakarta.

- Joshi , D.C., Das S.K., dan Mukherjee R.K. 1993. Physical Properties of Pumpkin Seeds. *J, Agric, Engng Res.* 54 : 219 – 229.
- Kamaruddin, A and Sagara, Y. 1992. Thermophysical Properties of Tropical Agricultural Product. *Paper in SAE International Seminar Meeting.* North Carolina-USA.
- Kamaruddin, A. Setiawan B,I., Dyah W. 1998. Penentuan Parameter Model Pindah Panas Dow and Jacob dan Resistensi Aliran Udara. *Jurnal Teknik Pertanian.* 6(1) : 22-34.
- Komar, N., Hawa L C., dan Prastiwi R. 2009. Karakteristik Termal Produk Keju Mozarella. *Jurnal Teknologi Pertanian.* 10(2) : 78-87.
- Kostaropoulos, A.E and Saravacos G.D. 1997. Thermal Diffusivity of Granular and Porous Foods at Low Moisture Content. *Journal of Food Engineering* 33 : 101 – 109.
- Kuswardana, T. 1992. Pengukuran Panas Jenis, Konduktivitas Panas Buah Apel Malang (*Malus silvestris* Mill.) Dalam Rangka Penentuan Nilai Difusivitas Panas. (Skripsi). Mekanisasi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Maiwita, F. 2014. Pengaruh Variasi Komposisi Ampas Tebu dan Serbuk Gergaji Pada Papan Partikel Terhadap Konduktivitas Termal. (Skripsi). Universitas Negeri Padang. Padang.
- Manalu, L,P., Lukas,A., dan Yeni,G. 2012. Studi Penentuan Difusivitas Panas Mangga Arummanis Terproses Minimal. *Jurnal Litbang Industri.* 2(2) : 107-113.
- Mukhlis, A,M,A., Hartulistiyoso, E., dan Purwanto, Y,A. 2016. Pengaruh Kadar Air Terhadap Beberapa Sifat Fisik Biji Lada Putih. *Jurnal AGRITECH* 37(1) : 15-21.
- Oloyede C,T., Akande F,B., Oriola K,O., Oniya O,O. 2017. Thermal Properties of Soursop Seeds and Kernels. *J, Res, Agr, Eng.* 63 : 79-85.
- Rismunandar. 2007. *Lada Budidaya dan Tata Niaga.* Penebar Swadaya. Jakarta. hlm 2-88.

- Setiawan, R.A. 2016. Pengaruh Variasi Ukuran Partikel Kopi Terhadap Nilai Konduktivitas Termal Komposit dengan Matrik Polyester Eterset 2504 APT. *Jurnal ROTOR*. 9(1) :55-59.
- Shepherd , H and Bhardwaj R.K. 1986. Moisture-dependent Physical Properties of Pigeon Pea. *J, Agric, Engng Res*. 35 : 227 – 234.
- Singh , K.K and Gosmawi T.K. 1996. Physical Properties of Cumin Seed. *J, Agric, Engng Res*. 64 : 93 – 98.
- Sonting , U. 1987. Penentuan Nilai Difusivitas Panas Buah Melon (*Cucumis melo* L) Sebagai Parameter Desain Untuk Simulasi Sistem Pendingin. (Skripsi). Mekanisasi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Sutarno dan Andoko, A. 2005. *Budi Daya Lada Si Raja Rempah-Rempah*. PT AgroMedia Pustaka. Jakarta.
- Tjitrosoepomo, G. 2004. *Taksonomi Tumbuhan (Spermatophyta)*. Cetakan ke delapan. UGM Press. hal. 244.
- Wahid, P. 1996. *Sejarah Perkembangan dan Daerah Penyebarannya: Monograf (Dinamika Lada)*. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor. hlm. 1-11.
- Wahyuni , N,I. 2003. Penentuan Nilai Difusivitas Bahang Biji Kopi Robusta (*Coffea robusta*) dalam Bentuk Curah. (Skripsi). Teknik Pertanian. Universitas Lampung. Lampung.
- Yang , W., Sokhansanj, V., Tang, J., dan Winter P. 2002. Determination of Thermal Conductivity, Specific Heat and Thermal Diffusivity of Borage Seeds. *Journal Biosystems Engineering* 82(2) : 169 – 176.