

**PENENTUAN DIFUSIVITAS TERMAL BIJI JAGUNG CURAH
BERBAGAI UKURAN MENGGUNAKAN METODE NUMERIK**

(Skripsi)

Oleh

ANDIKO ARDIYANTO



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2019**

ABSTRACT

DETERMINATION OF THERMAL PROPERTIES OF CORN KERNEL BY VARIOUS SIZES USING NUMERICAL METHOD

BY

ANDIKO ARDIYANTO

The activities of drying and storage are always related to the transfer of heat. Thermal diffusivity is one of the physical properties associated with heat transfer processes in materials and commonly interpreted as the rate of heat that diffuses naturally in materials and distributes the heat to all parts of the product. Thermal diffusivity is also one of the characteristics of heat that needed to predict the rate of change in temperature of the material so that it can be used to determine the energy requirements or optimal time in the processing, especially materials that are sensitive to heat. This study aims to determine thermal diffusivity of shelled corn kernels, milled corn kernel (6 mesh), milled corn kernel (8 mesh), and milled corn kernel (16 mesh) or (corn flour) in bulk form with heat sources of 50 °C and 70 °C using numerical method.

The samples were measured their moisture content and bulk density and then put into the test chamber that was already installed LM35 temperature sensors. The

LM35 temperature sensors were installed at 9 points which were 3 sensors at the bottom, 3 sensors in the middle, and 3 sensors at the top. The height between each sensor was 4 cm, and the sensors distance closest to the farthest were 0 cm (center point), 3 cm, and 6 cm. The sensors used to read the temperature change in the material during test. The recording of temperature is ended when the temperature of the sample is close to the temperature of the heat source which is about (± 3 hours). The value of thermal diffusivity is then calculated from the temperature distribution data using numerical method.

The results showed that the values of thermal diffusivity of bulk shelled corn kernels, bulk milled corn kernel (6 mesh), bulk milled corn kernel (8 mesh), and milled corn kernel (16 mesh) or (corn flour) respectively are (1,35, 1,38, 1,69, and 2,30) $\times 10^{-7}$ m²/s at 50 °C and (1,39, 1,42, 1,72, and 2,36) $\times 10^{-7}$ m²/s at 70 °C. The smaller the size of the corn kernels and the higher the heat source was given, the higher the thermal diffusivity.

Keywords: Corn kernel of various sizes, Heat sources, Thermal diffusivity.

ABSTRAK

PENENTUAN DIFUSIVITAS TERMAL BIJI JAGUNG CURAH BERBAGAI UKURAN MENGGUNAKAN METODE NUMERIK

Oleh

ANDIKO ARDIYANTO

Pada kegiatan pengeringan dan penyimpanan selalu berkaitan dengan pindah panas. Difusivitas panas merupakan salah satu sifat fisik yang berkaitan dengan proses-proses transfer panas dalam bahan atau diartikan sebagai laju pada saat panas terdifusi keluar atau masuk dalam bahan yang secara natural mendistribusikan panas ke seluruh bagian produk. Difusivitas panas merupakan salah satu karakteristik panas yang dibutuhkan untuk menduga laju perubahan suhu bahan sehingga dapat ditentukan kebutuhan energi atau waktu optimal dalam proses pengolahan terutama bahan yang sensitif terhadap panas. Penelitian ini bertujuan mengukur nilai difusivitas termal pada biji jagung pipil, biji jagung giling lolos *mesh* 6, biji jagung giling lolos *mesh* 8, dan biji jagung giling lolos *mesh* 16 (tepung jagung) yang dialiri sumber panas 50 °C dan 70 °C dengan metode numerik.

Bahan sampel yang telah diketahui karakteristiknya (kadar air dan *bulk density*) dimasukkan ke dalam silinder (*chamber*) uji yang di dalamnya terdapat sensor suhu

LM35. Sensor suhu LM35 dipasang pada 9 titik yaitu 3 di bagian bawah, 3 di bagian tengah, dan 3 di bagian atas. Tinggi antara masing-masing sensor adalah 4 cm, dan jarak pemasangan sensor yang paling dekat hingga terjauh adalah 0 cm (titik pusat), 3 cm, dan 6 cm. Sensor akan membaca sebaran suhu bahan saat silinder uji dimasukkan kedalam *water bath*. Pungukuran dihentikan bila suhu bahan sudah mendekati suhu sumber panas (± 3 jam). Nilai difusivitas panas dihitung dari data sebaran suhu menggunakan metode numerik.

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai difusivitas panas biji jagung pipil, biji jagung giling lolos *mesh* 6, biji jagung giling lolos *mesh* 8, dan biji jagung giling lolos *mesh* 16 (tepung jagung) berturut-turut adalah (1,35, 1,38, 1,69, dan 2,30) $\times 10^{-7}$ m²/s pada suhu 50 °C dan (1,39, 1,42, 1,72, dan 2,36) $\times 10^{-7}$ m²/s pada suhu 70 °C. Semakin kecil ukuran biji jagung dan semakin besar sumber panas yang diberikan maka difusivitas panas akan semakin meningkat.

Kata kunci : Biji jagung berbagai ukuran, Sumber panas, Difusivitas panas.

**PENENTUAN DIFUSIVITAS TERMAL BIJI JAGUNG CURAH
BERBAGAI UKURAN MENGGUNAKAN METODE NUMERIK**

Oleh

ANDIKO ARDIYANTO

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 : **PENENTUAN DIFUSIVITAS TERMAL BIJI
JAGUNG CURAH BERBAGAI UKURAN
MENGUNAKAN METODE NUMERIK**

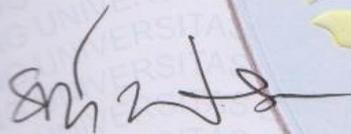
Nama Mahasiswa : **Andiko Ardiyanto**

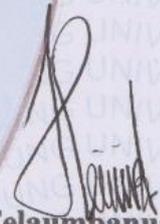
Nomor Pokok Mahasiswa : **1414071009**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

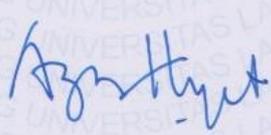
Fakultas : **Pertanian**




Sri Waluyo, S.TP., M.Si., Ph.D.
NIP. 19720311 199703 1 002


Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.
NIP. 19880325 201504 1 001

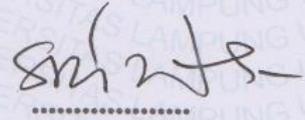
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


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

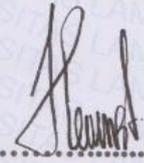
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

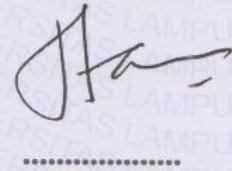
Ketua : **Sri Waluyo, S.TP., M.Si., Ph.D.**



Sekretaris : **Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.**



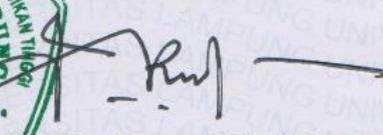
Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Tamrin, M. S.**



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP. 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **13 Agustus 2019**

PERNYATAAN HASIL KARYA

Saya adalah **Andiko Ardiyanto** NPM **1414071009**

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dbimbing oleh komisi pembimbing, 1) **Sri Waluyo, S.TP., M.Si., Ph.D.** dan 2) **Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelum atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikian pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 30 Agustus 2019

Yang membuat pernyataan



Andiko Ardiyanto
NPM. 1414071009

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Braja Emas, Lampung Timur pada tanggal 27 Juli 1996, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Suyanto dan Ibu Suwanti. Penulis menempuh pendidikan di Sekolah Dasar Negeri 1 Braja Emas yang diselesaikan pada tahun 2008, lalu melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Mataram Baru yang diselesaikan pada tahun 2011, dan kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas Kartikatama Metro yang diselesaikan pada tahun 2014. Pada tahun 2014 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Selama menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung, penulis pernah menjadi asisten praktikum mata kuliah Instrumentasi dan Fisika Pertanian. Selain itu, penulis menjadi anggota biasa pada organisasi PERMATEP pada tahun 2016 dan aktif dalam organisasi sebagai Ketua Bidang Informasi dan Komunikasi (INFOKOM) Unit Kegiatan Mahasiswa Pusat Informasi dan Konseling (PIK) Mahasiswa *Respect and Advocation Youth Assosiation* (RAYA) Universitas Lampung.

Pada bulan Agustus 2017 penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT Great Giant Pineapple dengan judul “Mempelajari Proses Pembibitan dan Penanaman Bibit Nanas (*Ananas comosus*) di PT Great Giant Pineapple” dan pada Januari 2018 melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Bandar Negeri, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur.

**Ku persembahkan karyaku ini kepada
Bapak, Ibu, dan Adikku yang selalu
memberikan semangat, doa, dan
dukungan**

**TEMAN-TEMAN SEPERJUANGAN TEKNIK
PERTANIAN 2014**

SERTA

ALMAMATER UNILA

SANWACANA

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul **“PENENTUAN DIFUSIVITAS TERMAL BIJI JAGUNG CURAH BERBAGAI UKURAN MENGGUNAKAN METODE NUMERIK”** sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian. Penulis menyadari bahwa terselesaikannya kuliah dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak.

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
2. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
3. Bapak Sri Waluyo, S.TP., M.Si., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Pembimbing Utama yang telah memberikan pengarahan, masukan, bimbingan serta saran dalam penyelesaian skripsi ini;
4. Bapak Dr. Mareli Telaumbanua, S.TP., M.Sc., selaku Pembimbing Kedua yang selalu memberikan nasihat, bimbingan, kritik dan saran, serta ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama penyusunan skripsi;

5. Bapak Dr. Ir. Tamrin, M.S., selaku Pembahas yang telah memberikan pengarahan, kritik dan saran, meluangkan waktu dan pikiran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik;
6. Bapak dan Ibu dosen dan staff Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung;
7. Bapak Suyanto dan Ibu Suwanti selaku orang tua yang selalu memberikan dorongan semangat, nasihat, doa, dan dukungannya selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini;
8. Teman-teman satu Bimbingan Akademik (Rima, Nikita, Aziza, Anugerah, Jaka, dan Rizky) yang telah memberikan bantuan dalam penelitian dan penulisan skripsi serta semangat dan motivasi;
9. Keluarga Besar Teknik Pertanian angkatan 2014;
10. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga kebaikan mereka menjadi amalan yang tak terbatas dan diberkahi oleh Allah SWT. Akhir kata, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, maka saran dan masukan yang konstruktif dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan selanjutnya dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandar Lampung, 30 Agustus 2019

Penulis

Andiko Ardiyanto

DAFTAR ISI

	Halaman
SANWACANA.....	I
DAFTAR ISI.....	III
DAFTAR TABEL.....	V
DAFTAR GAMBAR	VI
DAFTAR SIMBOL.....	IX
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Jagung	5
2.2 Tepung Jagung	6
2.3 Sifat Termal Bahan Pertanian	8
2.4 Transfer Panas.....	15
2.5 Mikrokontroler	16
2.6 Sensor Suhu LM35	20
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	23
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	23

3.3	Diagram Alir Penelitian	24
3.4	Rancangan Alat Ukur Suhu Bahan (<i>Chamber</i>).....	25
3.5	Rancangan Penelitian.....	34
3.6	Parameter penelitian	35
3.7	Prosedur Penelitian	36
3.7.1	Kadar Air.....	36
3.7.2	<i>Bulk Density</i> (ρ_b)	37
3.7.3	Pengukuran Sebaran Suhu	38
3.7.4	Difusivitas Panas (α).....	39
IV.	HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1	Hasil Perancangan Alat Ukur Suhu Bahan	41
4.1.1	Mikrokontroler	43
4.1.2	Sensor Suhu LM35.....	43
4.1.3	<i>Liquid Crystal Display</i>	44
4.1.4	Data Logger.....	45
4.2	Hasil Kalibrasi Alat Ukur Suhu Bahan.....	46
4.3	Pengujian Kinerja Alat Ukur Suhu Bahan (<i>Chamber</i>)	47
4.3.1	Rata-Rata Kemampuan Penyimpanan Data Setiap Detik.....	47
4.3.2	Akurasi Penampilan dan Penyimpanan Data.....	48
4.4	Karakteristik Sifat Fisik Biji Jagung.....	49
4.4.1	Kadar Air Awal Biji Jagung Berbagai Ukuran	49
4.4.2	<i>Bulk Density</i>	50
4.5	Data Sebaran Suhu	52
4.6	Penentuan Difusivitas Termal dengan Metode Numerik.....	57
4.7	Ketepatan Pendugaan Suhu	59
V.	KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	64

DAFTAR PUSTAKA	65
LAMPIRAN	69
Lampiran 1. Grafik Kalibrasi Sensor Suhu LM35.....	70
Lampiran 2. Data Sebaran Suhu Biji Jagung Selama Pemanasan dengan Suhu <i>Water Bath</i> 50 °C dan 70 °C.	72
Lampiran 3. Contoh Perhitungan Difusivitas Termal Biji Jagung dengan Metode Numerik	110
Lampiran 4. Nilai Difusivitas Termal Biji Jagung pada Suhu 50 °C dan 70 °C yang Dihitung dengan Metode Numerik.....	111
Lampiran 5. Contoh Perhitungan Suhu Duga dan Ketepatan Suhu Duga Biji Jagung	116
Lampiran 6. Sebaran Suhu Ukur, Suhu Duga, dan Ketepatan Biji Jagung yang Dihitung dengan Nilai Difusivitas Termal Rata-rata Metode Numerik untuk Sumber Panas <i>Water Bath</i> 50 °C dan 70 °C.....	117
Lampiran 7. Data Penentuan Karakteristik pada Biji Jagung (Kadar Air dan <i>Bulk Density</i>)	123
Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian.....	124
Lampiran 9. Program pengambilan dan penyimpanan suhu dengan sensor LM35	128

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Kriteria mutu tepung jagung berdasarkan SNI 01-3727-1995 (BSN,1995)	7
2. Komposisi kimia tepung jagung (Juniawati, 2003).....	8
3. Spesifikasi mikrokontroler ATmega2560.....	19
4. Hasil kalibrasi sensor suhu LM35.....	47
5. Hasil pengukuran kadar air awal bahan	49
6. <i>Bulk density</i> biji jagung berbagai ukuran.....	51
7. Karakteristik biji jagung berbagai ukuran.....	52
8. Data sebaran suhu biji jagung suhu 50 °C	72
9. Data sebaran suhu biji jagung suhu 70 °C	91
10. Nilai difusivitas termal biji jagung pada suhu 50 °C	111
11. Nilai difusivitas termal biji jagung pada suhu 70 °C	113
12. Nilai rata-rata difusivitas biji jagung	115
13. Data suhu duga dan ketepatan biji jagung suhu 50 °C.....	117
14. Data suhu duga dan ketepatan biji jagung suhu 70 °C.....	120
15. Data perhitungan kadar awal air biji jagung	123
16. Data perhitungan <i>bulk density</i> biji jagung.....	123

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Nomenklatur untuk penyelesaian numerik konduksi termal.....	13
2. Bentuk fisik sensor LM35.....	20
3. Rangkaian dasar LM35	21
4. Cara simple menggunakan sensor LM35.....	22
5. Diagram alir penelitian.....	24
6. Desain alat ukur suhu bahan (<i>Chamber</i>).....	26
7. Desain alar ukur suhu bahan (<i>Chamber</i>) tampak atas.....	26
8. Desain alar ukur suhu bahan (<i>Chamber</i>) tampak Samping.....	27
9. Pemrograman dengan software Arduino.....	29
10. Contoh memasukkan regresi dalam program	33
11. Alat ukur suhu bahan (<i>Chamber</i>).....	41
12. Komponen pembaca dan penyimpanan sebaran panas	42
13. Grafik kalibrasi sensor 1	47
14. Grafik sebaran suhu biji jagung pipil 50 °C.....	55
15. Grafik sebaran suhu biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 6 50 °C.....	55
16. Grafik sebaran suhu biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 8 50 °C.....	55
17. Grafik sebaran suhu tepung jagung 50 °C.....	55
18. Grafik sebaran suhu biji jagung pipil 70 °C.....	56

19. Grafik sebaran suhu biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 6 70 °C.....	56
20. Grafik sebaran suhu biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 8 70 °C.....	56
21. Grafik sebaran suhu tepung jagung 70 °C.....	56
22. Nilai rata-rata difusivitas termal biji jagung berbagai ukuran	58
23. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga biji jagung pipil 50 °C.....	61
24. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 6 50 °C.....	61
25. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 8 50 °C.....	61
26. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga tepung jagung 50 °C.....	61
27. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga biji jagung pipil 70 °C.....	62
28. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 6 70 °C.....	62
29. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 8 70 °C.....	62
30. Grafik perbandingan suhu ukur dan suhu duga tepung jagung 70 °C.....	62
31. Grafik kalibrasi sensor 2	70
32. Grafik kalibrasi sensor 3	70
33. Grafik kalibrasi sensor 4	70
34. Grafik kalibrasi sensor 5	70
35. Grafik kalibrasi sensor 6	71
36. Grafik kalibrasi sensor 7	71
37. Grafik kalibrasi sensor 8	71
38. Grafik kalibrasi sensor 9	71

39. Biji jagung pipil dan biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 6	124
40. Biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 8 dan biji jagung giling lolos <i>mesh</i> 16 (tepung jagung)	124
41. Proses kalibrasi sensor suhu LM35	125
42. Proses pengukuran kadar air bahan	125
43. Proses pengukuran <i>bulk density</i> bahan	126
44. Proses pengambilan nilai sebaran suhu pada bahan	126
45. Rangkaian alat ukur sifat termal	127

DAFTAR SIMBOL

K	: Ketepatan suhu ukur dan suhu duga (%)
k	: Konduktivitas termal (W/m.°C)
M	: Bobot sampel (kg)
MA	: Bobot porselin (kg)
MB	: Bobot porselin + sampel sebelum dioven (kg)
MC	: Bobot porselin + sampel setelah oven (kg)
$M1$: Bobot picnometer kosong (kg)
$M2$: Bobot picnometer diisi cairan (kg)
$M3$: Bobot picnometer diisi serbuk (kg)
$M4$: Bobot picnometer diisi serbuk dan cairan (kg)
ΔT	: Perbedaan suhu (°C)
T_0	: Suhu permukaan dalam (°C)
T_i	: Suhu permukaan luar (°C)
T_{r-1}^t	: Suhu titik pusat (°C)
T_r^t	: Suhu 3 cm dari titik pusat (°C)
T_{r+1}^t	: Suhu 6 cm dari titik pusat (°C)
T_r^{t+1}	: Suhu pada waktu selanjutnya pada titik 3 cm dari pusat (°C)
ρ_b	: Berat jenis atau <i>bulk density</i> (kg/m ³)
h	: Tinggi tabung (m)
R	: Jari-jari tabung (m)
r	: Jarak antar titik pengukuran (m)
r_0	: Jari-jari dalam silinder (m)
r_i	: Jari-jari luar silinder (m)
V	: Volume (m ³)
$V(\text{volt})$: Tegangan pada <i>heater</i> (Volt)

Δt	: Selisih waktu pengukuran (s)
C_p	: Panas jenis (J/kg.°C)
L	: Panjang silinder (m)
\dot{Q}	: Laju aliran panas (J/s atau Watt)
I	: Arus listrik pada <i>heater</i> (Ampere)
Y	: Peubah tak-bebas
X	: Peubah bebas
α	: Difusivitas panas (m ² /s)
a	: Kemiringan
b	: Konstanta
n	: Banyaknya data
π	: $\frac{22}{7}$ atau 3,14
B.J.G	: Biji jagung giling
KABB	: Kadar Air Basis Basah (%)
APP	: Akurasi Penampilan dan Penyimpanan Data (%)

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman jagung merupakan tanaman pangan yang bisa dimanfaatkan sebagai pengganti tanaman padi yaitu bisa dikonsumsi untuk memenuhi kebutuhan karbohidrat masyarakat Indonesia. Jumlah produksi tanaman pangan di Lampung khususnya jagung pada tahun 2015 mencapai 1,50 juta ton biji jagung pipilan kering (BPS, 2016). Jagung yang telah dipanen memerlukan penanganan pasca panen yang baik agar kualitas jagung tetap terjaga. Penanganan pasca panen yang paling penting adalah pengeringan dan penyimpanan. Pada proses pengeringan biji jagung, menyebabkan kadar air di dalamnya berkurang sehingga jagung tidak mudah diserang oleh jamur dan bisa memperpanjang umur ekonomis selama proses penyimpanan dilakukan. Jagung memiliki nilai jual ±Rp 2.700 di pasaran dalam bentuk jagung pipil kering (Arief, dkk., 2014), tetapi harga jual tersebut bisa ditingkatkan dengan cara pengolah biji jagung menjadi bentuk lainnya. Salah satu cara untuk meningkatkan nilai jual biji jagung bisa dengan merubah biji jagung menjadi tepung jagung. Pembuatan tepung jagung tanpa perendaman memberikan keuntungan yang cukup besar yaitu dengan nilai R/C ratio mencapai 2,38 (Arief, dkk., 2014). Pada kegiatan penepungan ini, kegiatan pengeringan dan penyimpanan juga tidak bisa dipisahkan. Pengeringan dan penyimpanan memiliki peranan sangat

penting dalam penanganan produk-produk pertanian.

Pada kegiatan pengeringan dan penyimpanan selalu berkaitan dengan kondisi fisik lingkungan sekitar di antaranya proses pindah panas. Panas mengalir dari suhu tinggi menuju suhu yang lebih rendah. Untuk menganalisis masalah-masalah pada pindah panas diperlukan sifat-sifat panas bahan pada biji jagung misalnya difusivitas panas. Difusivitas panas merupakan salah satu sifat fisik yang berkaitan dengan proses-proses transfer panas pada bahan atau diartikan sebagai laju pada saat panas terdifusi keluar atau masuk dalam bahan yang secara natural mendistribusikan panas ke seluruh bagian produk (Huang dan Liu, 2009). Menurut Singhal, dkk. (2008), difusivitas panas merupakan salah satu karakteristik panas yang dibutuhkan untuk menduga laju perubahan suhu bahan sehingga dapat ditentukan kebutuhan energi atau waktu optimal pada proses pengolahan terutama bahan yang sensitif terhadap panas.

Pengukuran difusivitas dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan metode tidak langsung dan metode langsung. Penentuan difusivitas panas dengan menggunakan metode tidak langsung dapat dilakukan dengan mensubstitusikan nilai-nilai konduktivitas panas, massa jenis, dan panas jenis bahan yang telah diketahui sebelumnya ke dalam rumus. Akan tetapi, pengukuran nilai difusivitas panas secara tidak langsung dinilai kurang sempurna, karena pendekatan nilai-nilai pembentuknya yang didapatkan secara empiris kadang-kadang bervariasi pada kondisi yang sama (Wahyuni, 2003). Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode langsung untuk menentukan nilai difusivitas panas yaitu dengan metode numerik.

Pada penentuan difusivitas panas dengan metode numerik dibutuhkan data suhu pada beberapa titik lapisan bahan. Penentuan difusivitas panas dengan metode numerik pernah dilakukan oleh (Wahyuni, 2003), pada saat proses pengambilan data suhu pada beberapa titik lapisan bahan digunakan termokopel dan penyimpanan data dilakukan secara manual yaitu dengan pencatatan data secara manual. Pada saat pencatatan data secara manual, bisa menyebabkan tingkat keakuratan dan ketelitian data yang kurang. Hal ini disebabkan ketika terjadi kegiatan pencatatan, suhu terus berjalan seiring dengan bertambahnya waktu dan tergantung pada tingkat pembacaan seseorang terhadap hasil pengukuran termokopel. Sehingga pada penelitian ini untuk mengurangi terjadinya error data tersebut dan mempermudah pada pencatatan data, dilakukan pengambilan dan penyimpanan data secara otomatis yaitu dengan menggunakan sensor suhu LM35 dan mikrokontroler.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat alat ukur distribusi suhu pada bahan pertanian berbentuk tepung atau butir-butiran.
2. Menentukan nilai difusivitas termal yang terdapat pada biji jagung pipil, biji jagung giling lolos *mesh* 6, biji jagung giling lolos *mesh* 8, dan tepung jagung.

1.3 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi pada sistem pengambilan keputusan sebagai komponen dalam merancang sistem penyimpanan dan pengering bahan-bahan pertanian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jagung

Jagung dapat diklasifikasikan sebagai Kingdom Plantae (Tumbuh tumbuhan), Divisio Spermatophyta (Tumbuhan berbiji), Sub Divisio Angiospermae (Berbiji tertutup), Classis Monocotyledone (Berkeping satu), Ordo Graminae (Rumput-rumputan), Familia Graminaceae, Genus *Zea*, Species *Zea mays* L. (Pratama, 2015). Elemen penyusun biji jagung terdiri dari endosperma, lembaga, *perikarp* (Kulit biji), dan *tip cap* (Tudung pangkal biji). Bagian utama yaitu endosperma yang merupakan bagian terbesar dari biji jagung dengan hampir seluruh bagiannya terdiri dari karbohidrat baik pada bagian lunak (*Fluory endosperm*) maupun pada bagian yang keras (*Horny endosperm*). Tanaman jagung mempunyai batang yang tidak bercabang, berbentuk silindris, dan terdiri atas sejumlah ruas dan buku ruas. Pada buku ruas terdapat tunas yang berkembang menjadi tongkol. Dua tunas teratas berkembang menjadi tongkol yang produktif. Batang memiliki tiga komponen jaringan utama, yaitu kulit (*Epidermis*), jaringan pembuluh (*Bundles vaskuler*), dan pusat batang (*pith*). *Bundles vaskuler* tertata pada lingkaran konsentris dengan kepadatan *bundles* yang tinggi, dan lingkaran-lingkaran menuju *perikarp* dekat epidermis. Kepadatan *bundles* berkurang saat mendekati pusat batang. Konsentrasi

bundles vaskuler yang tinggi di bawah epidermis menyebabkan batang tahan rebah (Subekti, dkk., 2008).

2.2 Tepung Jagung

Tepung jagung merupakan tepung yang diperoleh dengan cara menggiling biji jagung yang bersih dan baik. Salah satu alat penepung yang biasanya digunakan adalah *disk mill*. Secara umum, terdapat dua metode pembuatan tepung jagung yaitu metode basah dan metode kering. Pada metode basah, biji jagung yang telah disosoh direndam didalam air selama 4 jam lalu dicuci, ditiriskan dan diproses menjadi tepung menggunakan mesin penepung. Pada metode kering, biji jagung yang telah disosoh ditepungkan, artinya tanpa perendaman (Suarni, 2009).

Penggilingan biji jagung adalah proses pemisahan perikarp, endosperma dan lembaga, kemudian dilanjutkan dengan proses pengecilan ukuran. Perikarp harus dipisahkan pada proses pembuatan tepung karena kandungan seratnya yang cukup tinggi sehingga dapat membuat tepung bertekstur kasar. Pada pembuatan tepung, dilakukan pemisahan lembaga karena tanpa pemisahan lembaga tepung mudah mengalami ketengikan. *Tip cap* juga harus dipisahkan karena dapat membuat tepung menjadi kasar. Pada pembuatan tepung, endosperma merupakan bagian yang digiling menjadi tepung (Suarni, dkk., 2001).

Tepung jagung memiliki kandungan lemak dan kandungan amilosa yang tinggi sehingga sulit untuk mengikat air selama proses pemasakan. Kandungan lemak pada tepung jagung menyebabkan terhalangnya kontak antara air dengan protein

dalam jagung. Kandungan amilosa pada jagung memiliki struktur yang kompak sehingga sulit untuk ditembus oleh air. Rendahnya tingkat kemampuan mengikat air inilah yang menyebabkan kemampuan granula pati untuk menggelembung pada gelatinisasi menjadi rendah. Tepung jagung memiliki mutu bervariasi, tergantung jenis jagungnya. Kriteria mutu tepung jagung ditentukan berdasarkan SNI yang disajikan pada Tabel 1 di bawah agar aplikasi dari tepung jagung tersebut memiliki kualitas yang baik. Kandungan gizi yang terdapat pada tepung jagung menurut Juniawati (2003), bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Kriteria mutu tepung jagung berdasarkan SNI 01-3727-1995 (BSN,1995)

No.	Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1.	Keadaan:	-	
1.1	Bau	-	Normal
1.2	Rasa	-	Normal
1.3	Warna	-	Normal
2.	Benda-benda asing	-	Tidak boleh
3.	Serangga	-	Tidak boleh
4.	Jenis pati lain selain pati jagung	-	Tidak boleh
5.	Kehalusan :		
	Lolos ayakan 80 <i>mesh</i>	%	Minimum 70
	Lolos ayakan 60 <i>mesh</i>	%	Maksimum 99
6.	Air	% (b/b)	Maksimum 10
7.	Abu	% (b/b)	Maksimum 1,50
8.	Silikat	% (b/b)	Maksimum 0,10
9.	Serat kasar	% (b/b)	Maksimum 1,50
10.	Derajat asam	ml N NaOH/100 g	Maksimum 4
11.	Cemaran logam :		
11.1	Timbal	mg/kg	Maksimum 1
11.2	Tembaga	mg/kg	Maksimum 10
11.3	Seng	mg/kg	Maksimum 40
11.4	Raksa	mg/kg	Maksimum 0,05
12.	Cemaran arsen	mg/kg	Maksimum 0,50
13.	Cemaran mikroba :		
13.1	Angka lempeng total	koloni/g	Maksimum 5×10^6
13.2	E.coli	APM/g	Maksimum 10
13.3	Kapang	koloni/g	Maksimum 10^4

Tabel 2. Komposisi kimia tepung jagung (Juniawati, 2003)

No	Komponen	Tepung Jagung (%)
1.	Air	10,9
2.	Abu	0,4
3.	Protein	5,8
4.	Lemak	0,9
5.	Karbohidrat <i>by difference</i>	82,0
6.	Pati	68,2
7.	Serat makanan	7,8

2.3 Sifat Termal Bahan Pertanian

Mengetahui sifat termal pada setiap bahan atau produk pertanian sangatlah penting manfaatnya karena sifat termal memiliki peranan penting pada kegiatan penanganan seperti pengeringan dan penyimpanan. Ada beberapa sifat termal bahan yang sangat penting seperti panas jenis (C_p), konduktivitas panas (k), dan difusivitas panas (α).

A. Konduktivitas panas

Konduktivitas panas merupakan ukuran kemampuan bahan dalam menghantarkan panas. Untuk menentukan konduktivitas panas suatu bahan dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$k = \frac{\dot{Q} \ln\left(\frac{r_0}{r_i}\right)}{2 \pi L (T_i - T_0)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\dot{Q} = V(\text{volt}) I \dots\dots\dots (2)$$

Untuk pengukuran secara tidak langsung, konduktivitas panas dapat dihitung dengan persamaan Sweat (Phomkong, dkk., 2006) sebagai berikut :

$$k = 0,148 + 0,00493 \text{ KABB} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

k	: Konduktivitas termal (W/m.°C)
r_0	: Jari-jari dalam silinder (m)
r_i	: Jari-jari luar silinder (m)
L	: Panjang silinder (m)
π	: $\frac{22}{7}$ atau 3,17
T_0	: Suhu permukaan dalam (°C)
T_i	: Suhu permukaan luar (°C)
\dot{Q}	: Laju aliran panas (J/s atau Watt)
$V(\text{volt})$: Tegangan pada <i>heater</i> (Volt)
I	: Arus listrik pada <i>heater</i> (Ampere)
KABB	: kadar air basis basah (%)

Nilai konduktivitas panas yang tinggi dari suatu bahan menunjukkan bahwa bahan tersebut merupakan penghantar panas (Konduktor) yang baik, begitu pula sebaliknya. Konduktivitas panas juga bisa didefinisikan sebagai laju aliran kalor melintasi satu satuan ketebalan bahan per satu satuan luas permukaan per satu satuan suhu.

B. Panas jenis atau panas spesifik

Menurut Haryanto (2013), panas jenis didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebesar satu derajat untuk satu satuan massa substansi. Panas jenis sebagai kapasitas panas benda per satuan massa, dan kapasitas panas merupakan perbandingan antar panas yang diterima terhadap kenaikan suhu yang terjadi (Mohsenin, 1980). Panas jenis dapat dicari dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Cp = \frac{Q}{M \Delta T} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan :

C_p : Panas jenis (J/kg.°C)

M : Bobot sampel (kg)

ΔT : Perbedaan suhu (°C)

Ada dua jenis panas jenis dari suatu bahan, yaitu panas jenis pada tekanan tetap dan panas jenis pada volume tetap. Pada umumnya perubahan tekanan yang terjadi pada pindah panas hasil pertanian adalah kecil, maka yang biasa digunakan pada perhitungan pindah panas adalah panas jenis dengan tekanan tetap. Untuk benda padat dan cairan, pengaruh tekanan pada perubahan panas jenis sangat kecil dan dapat diabaikan. Siebel mengembangkan suatu persamaan untuk menghitung panas jenis bahan pada kondisi di atas titik beku (Manalu, 1998) sebagai berikut :

$$C_p = 4,1868 (0,008 KABB + 0,20) \dots\dots\dots (5)$$

C. Difusivitas panas

Difusivitas merupakan perbandingan antara panas yang dikonduksikan dan panas yang disimpan atau rasio antara panas yang dikonduksikan melalui bahan terhadap panas yang disimpan per satuan volume. Difusivitas panas dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{K}{\rho_b C_p} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

α : Difusivitas panas (m²/s)

ρ_b : *Bulk density* (kg/m³)

Suatu bahan dengan konduktivitas panas tinggi atau kapasitas panas rendah artinya

memiliki difusivitas panas besar. Makin besar difusivitas panas maka semakin cepat penyebaran (Difusi) panas ke dalam medium. Nilai difusivitas panas yang kecil berarti bahwa sebagian besar panas diserap oleh bahan dan sebagian kecil yang akan dialirkan secara konduksi (Haryanto, 2013).

Meskipun logam-logam memiliki konduktivitas panas yang lebih besar dari gas-gas, tetapi massa jenis logam sangat besar sehingga kecepatan difusi panas melalui logam dan gas hampir sama. Hal ini disebabkan karena gas-gas memiliki konduktivitas panas dan massa jenis yang rendah. Jadi, untuk geometri yang sama, waktu yang diperlukan untuk difusi panas melalui gas atau logam mendekati sama (Karlekar, 1977).

Pengukuran difusivitas termal metode langsung pada aplikasinya dapat dihitung dengan merekam perubahan suhu pada bahan yang disebabkan aliran termal yang didefinisikan masuk ke dalam unit volume bahan. Bentuk, ukuran dan volume merupakan karakteristik dimensi yang seringkali diperlukan pada 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 menjadi fungsi dari r dan t saja adalah :

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \alpha \left[\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T}{\delta r} \right] \dots\dots\dots (7)$$

Nilai difusivitas termal dapat ditentukan secara langsung dengan pengukuran data kenaikan suhu biji jagung selama pemanasan terhadap waktu yang selanjutnya. Dari Persamaan 7 di atas, dapat dirubah menjadi Persamaan 8 yang ada di bawah ini :

$$\alpha = \frac{\frac{\delta T}{\delta t}}{\left[\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta T}{\delta r} \right]} \dots\dots\dots (8)$$

Selanjutnya Persamaan (8) di atas dapat dianalisis dengan menggunakan metode numerik. Pada 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 biji jagung dapat dilakukan dengan memecahkan Persamaan (8) dengan bantuan deret Taylor sebagai berikut (Carslaw and Jaeger, 1959; Holman, 1984) :

$$T(r \pm \Delta r) = T(r) \pm \Delta r T'(r) + ((\Delta r)^2/2!)(T''(r)) \dots\dots\dots (9)$$

Analisa perpindahan termal atau sebaran suhunya diasumsikan sebagai bidang dua dimensi yang dibagi-bagi menjadi jenjang tambahan-tambahan kecil seperti terlihat pada Gambar 1. Sehingga persamaan fungsi turunan terhadap waktu dapat didekati dengan :

$$\frac{\delta T}{\delta t} = \frac{T_r^{t+1} - T_r^t}{\Delta t} \dots\dots\dots (10)$$

dan fungsi turunan suhu terhadap jarak radialnya dapat didekati dengan :

$$\frac{\delta T}{\delta r} = \frac{T_{r+1}^t - T_r^t}{\Delta r} \dots\dots\dots (11)$$

turunan kedua persamaan (7) adalah :

$$\frac{\delta^2 T}{\delta r^2} = \frac{T_{r+1}^t + T_{r-1}^t - 2T_r^t}{(\Delta r)^2} \dots\dots\dots(12)$$

Jika Persamaan (10), (11) dan (12) disubstitusikan ke dalam Persamaan (8), maka :

$$\frac{T_r^{t+1} - T_r^t}{\Delta t} = \alpha \frac{T_{r+1}^t - T_r^t}{r\Delta r} + \frac{T_{r+1}^t + T_{r-1}^t - 2T_r^t}{(\Delta r)^2} \dots\dots\dots(13)$$

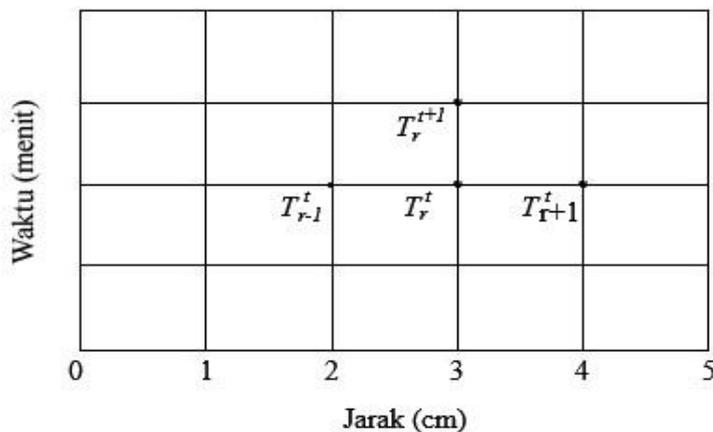
setelah disederhanakan menjadi :

$$\frac{T_r^{t+1} - T_r^t}{\Delta t} = \alpha \frac{1}{r} \frac{(\Delta r+r)T_{r+1}^t + rT_{r-1}^t - (2r + \Delta r)T_r^t}{(\Delta r)^2} \dots\dots\dots(14)$$

Sehingga nilai difusivitas termal dapat dihitung dengan :

$$\alpha = \left| \frac{(\Delta r)^2}{\Delta t} \times \frac{r(T_r^{t+1} - T_r^t)}{(\Delta r+r)T_{r+1}^t + rT_{r-1}^t - (\Delta r+2r)T_r^t} \right| \dots\dots\dots(15)$$

Notasi Δt menunjukkan pertambahan waktu, dan untuk Δr menunjukkan jarak titik-titik pengukuran suhu dalam bahan.



t : notasi untuk waktu
 r : notasi untuk jarak radial

Gambar 1. 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 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 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 difusivitas termal pada asam sitrat 0,12 % sebesar $3,730 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, pada asam sitrat 0,16 % sebesar $1,670 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, dan pada asam sitrat 0,20 % sebesar $1,960 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Penelitian tentang difusivitas termal lainnya 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 $1,70 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ dan nilai difusivitas termal mangga utuh yang didapatkan sebesar $1,88 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ (Manalu, dkk., 2012).

Selain kedua penelitian tersebut, terdapat penelitian lainnya tentang penentuan nilai difusivitas termal terhadap wortel (*Daucus carota L.*) yang dilakukan oleh Manalu dan Abdullah (1998) dengan menggunakan metode numerik beda hingga. Manalu dan Abdullah mengasumsikan wortel berbentuk silinder dan perpindahan panas merata ke arah radial, suhu awal di setiap titik dianggap seragam, kadar air tetap dan tidak terjadi penyusutan. Penentuan difusivitas panas secara langsung dengan metode numerik dilakukan dengan menggunakan data distribusi perubahan suhu

wortel selama pendinginan. Data perubahan suhu wortel diambil dari tiga titik pengukuran. Titik pertama merupakan titik pusat, untuk titik kedua dan ketiga diukur berjarak Δr dan $2*\Delta r$ ke arah radial.

Berdasarkan hasil pengukuran distribusi suhu pada wortel selama pendinginan untuk menentukan difusivitas panas secara langsung, didapatkan bahwa pada saat awal suhu wortel turun cepat dan semakin lambat ketika suhunya mendekati suhu udara ruang pendingin. Hal ini menunjukkan bahwa sebenarnya koefisien difusivitas panas berubah semakin kecil bila suhu bahan semakin rendah, tetapi pada penelitian ini Manalu dan Abdullah (1998) menganggap nilai difusivitas tetap untuk menyederhanakan perhitungan. Dari penelitian tersebut didapatkan nilai difusivitas panas secara langsung pada wortel sebesar $2,08 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{detik}$.

2.4 Transfer Panas

Perpindahan panas adalah ilmu yang mempelajari tentang perpindahan energi pada suatu bahan yang terjadi karena adanya perbedaan (Gradien) suhu. Suhu adalah ukuran derajat 'panas' atau 'dingin' suatu sistem. Suhu dapat diukur menggunakan alat berupa termometer, termokopel, atau alat lainnya. Jika benda dihubungkan dengan benda lain yang suhunya berbeda, panas dapat dipindahkan dari benda yang suhunya lebih tinggi ke benda yang suhunya lebih rendah hingga keduanya mencapai suhu yang sama. Pada kondisi ini, transfer panas berhenti dan kedua benda dikatakan mencapai keseimbangan termal. Jadi panas didefinisikan sebagai bentuk energi yang berpindah antara sistem dengan lingkungannya (atau diantara dua sistem) karena adanya perbedaan suhu (Haryanto, 2013).

Pindah panas (*Heat transfer*) memainkan peranan penting pada berbagai persoalan perancangan di bidang keteknikan. Pada bidang teknik pertanian berbagai persoalan memerlukan pemecahan berdasarkan analisis pindah panas. Proses pendinginan, pengeringan, dan penyimpanan hasil pertanian juga memerlukan pengetahuan tentang pindah panas (Haryanto, 2013). Secara umum perpindahan panas antara benda dengan lingkungan sekitar ada 3 yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Pada beberapa keadaan, ketiga bentuk pindah panas akan terjadi serentak. Jika tidak ada pergerakan yang cukup besar dari fluida sekeliling dan fluida tidak tembus cahaya, maka pindah panas yang terjadi terutama adalah konduksi. Ada dua kondisi perpindahan panas yaitu kondisi setimbang dan kondisi tidak setimbang. Kondisi setimbang bisa terjadi jika jumlah panas mengalir masuk ke bahan sama dengan jumlah panas yang keluar dari bahan dan suhu pada setiap titik pada bahan tidak tergantung waktu. Kondisi tidak setimbang terjadi jika jumlah panas mengalir masuk ke bahan tidak sama dengan jumlah panas yang keluar dari bahan dan suhu pada setiap titik dan kandungan panas pada bahan selalu berubah setiap waktu (Mohsenin, 1980).

2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler mulai berkembang ditandai dengan awal diperkenalkannya mikroprosesor pada tahun 1971 oleh Intel Corporation, yaitu Intel 4004 yang mempunyai arsitektur 4 bit. Dengan beberapa penambahan peripheral (Memori, piranti, I/O dan sebagainya), intel 4004 dapat diubah menjadi sebuah komputer kecil. Setelah itu teknologi mikroprosesor berkembang sangat pesat dengan

diperkenalkannya mikroprosesor baru oleh Intel, yaitu 8080 (Berarsitektur 8 bit), 8005, dan kemudian 8086 (Berarsitektur 16 bit). Perusahaan semikonduktor lain juga mengembangkan mikroprosesor lain, antara lain Motorola dengan M6800 dan Zilog dengan Z80-nya. Mikroprosesor adalah sebuah IC (*Integrated Circuit*) yang digunakan sebagai otak/pengolah utama pada sebuah sistem komputer yang merupakan hasil dari pertumbuhan teknologi semikonduktor (Susilo, 2010).

Mikrokontroler adalah sebuah sistem komputer fungsional pada sebuah *chip*. Di dalamnya terkandung sebuah inti prosesor, memori (Sejumlah kecil RAM, memori program, atau keduanya), dan perlengkapan input output (Setiawan, 2006). Dengan kata lain, mikrokontroler adalah suatu alat elektronika digital yang mempunyai masukan dan keluaran serta kendali dengan program yang bisa ditulis dan dihapus dengan cara khusus. Menurut Telaumbanua, dkk. (2018), mikrokontroler merupakan sebuah komponen yang digunakan sebagai pusat pemrosesan informasi. Cara kerja mikrokontroler sebenarnya membaca dan menulis data.

Mikroprosesor dan mikrokontroler mulai banyak digunakan pada berbagai aplikasi elektronika, antara lain di bidang otomatisasi industri, otomotif, pengukuran, telekomunikasi, penerbangan, dan sebagainya. Keuntungan dari penggunaan mikroprosesor dan mikrokontroler adalah sistem yang diciptakan menjadi sangat fleksibel karena modifikasi dan pengembangan cukup dilakukan pada perangkat lunaknya (Susilo, 2010).

Ada berbagai jenis mikrokontroler, salah satu mikrokontroler yang sering digunakan pada bidang elektronika dan instrumentasi adalah mikrokontroler Atmel AVR yang memiliki arsitektur RISC 8 bit (16-bits word). Mikrokontroler Atmel

AVR didukung oleh banyak perangkat yang dapat diprogram dengan bahasa manusia (*Humanoid*) bukan menggunakan bahasa mesin (Dam, 2008).

ATmega2560 merupakan salah satu jenis mikrokontroler Atmel AVR yang memiliki 85 pin Input/Output yang tersedia. Beberapa fitur yang dimiliki oleh mikrokontroler ATmega2560 yaitu ADC internal, EEPROM internal, *timer*, *pulse width modulation* (PWM), *port Input/Output*, komunikasi serial dan komparator. Arduino Mega2560 R3 merupakan papan mikrokontroler generasi ke-tiga yang dibuat oleh perusahaan Arduino berbasis chipset ATmega2560. Arduino Mega 2560 R3 memiliki jumlah pin 54 pin digital input/ouput, 15 pin merupakan pin luaran PWM, 16 pin sebagai pin masukkan analog dan 4 pin sebagai UART (*Post serial hardware*). Selain memiliki pin yang relatif banyak, Arduino Mega 2560 R3 juga memiliki beberapa elemen pendukung yaitu 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header*, ICSP, dan tombol reset. Caranya dengan menghubungkan perangkat Arduino dengan komputer melalui kabel USB yang telah disediakan pada papan Arduino (Arduino, 2015). Spesifikasi sederhana dari Arduino Mega 2560 dapat dilihat pada Tabel 3.

Papan Arduino ATmega 2560 dapat beroperasi dengan pasokan daya eksternal 6 Volt sampai 20 volt. Jika diberi tegangan kurang dari 7 Volt, maka, pin 5 Volt mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5 Volt dan ini dapat membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 Volt sampai 12 Volt. Arduino ATmega 2560 memiliki 256 kb *flash memory* untuk menyimpan kode (8 kb

digunakan untuk *bootloader*), 8 kb SRAM dan 4 kb EEPROM (dapat dibaca dan ditulis dengan perpustakaan EEPROM) (Andrianto dan Darmawan, 2016).

Tabel 3. Spesifikasi mikrokontroler ATmega 2560 (Andrianto dan Darmawan, 2016)

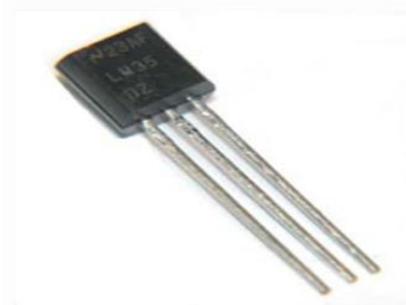
No	Spesifikasi	Keterangan
1.	Tegangan Operasi	5V
2.	Input (disarankan)	7-12V
3.	Input Voltage (limit)	6-20V
4.	Pin Digital I/O	54 (yang 15 pin digunakan sebagai output PWM)
5.	Pins Input Analog	16
6.	Arus DC per pin I/O	40 Ma
7.	Arus DC untuk pin 3.3V	50 Ma
8.	Flash Memory	256 KB (8 KB digunakan untuk bootloader)
9.	SRAM	8 KB
10.	EEPROM	4 KB
11.	Clock Speed	16 MHz

Karakteristik fisik arduino mega ATmega 2560 maksimum panjang dan lebar PCB Mega2560 adalah 4 x 2.1 inci (10,16 x 5,3 cm), dengan konektor USB dan jack power menonjol melampaui batas dimensi. Empat lubang sekrup memungkinkan papan terpasang pada suatu permukaan atau wadah. Perhatikan bahwa jarak antara pin digital 7 dan 8 adalah 160 mil (0.16”), tidak seperti pin lainnya dengan kelipatan genap berjarak 100 mil (Andrianto dan Darmawan, 2016).

Penggunaan mikrokontroler sebagai alat ukur konduktivitas panas dengan metode *needle probe* telah dilakukan oleh Syaefullah (2006). Dia melaporkan bahwa penggunaan mikrokontroler AT89S52 dengan sensor suhu LM35 sebagai pendeteksi perbedaan suhu sangat efektif. Untuk setiap kenaikan suhu 1 °C, sensor akan memberikan keluaran 0,01 V dengan ketelitian pembacaan suhu pada display sebesar 1 °C dan tingkat kesalahannya hanya 0,01 %.

2.6 Sensor Suhu LM35

Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk merubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu (Wastharini, 2010). Pada saat ini, sensor telah dibuat dengan ukuran yang sangat kecil dengan orde nanometer. Ukuran yang sangat kecil ini sangat memudahkan pemakaian dan menghemat energi. Sensor suhu adalah alat untuk mendeteksi atau mengukur suhu pada suatu ruang atau sistem tertentu yang kemudian diubah keluarannya menjadi besaran listrik. Ada beberapa jenis sensor yang dapat digunakan pada pengukuran suhu seperti: termokopel, *Resistance Temperatur Detector* (RTD), termistor dan IC semikonduktor. Sensor suhu yang sering digunakan adalah sensor suhu LM35 karena keakuratannya dibandingkan dengan sensor lain (Sirait, 2009). Sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan (Nasution, 2011).

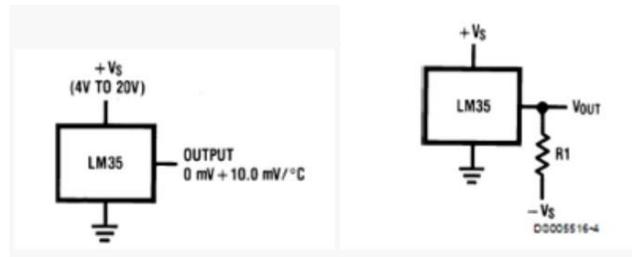


Gambar 2. Bentuk fisik sensor LM35

A. Cara Kerja Sensor LM35

Pada IC sensor LM35 ini terdapat tiga buah pin kaki yakni V_s , V_{out} dan pin ground. Pada pengoperasiannya pin V_s dihubungkan dengan tegangan sumber

sebesar antara 4 - 30 volt sementara pin ground dihubungkan dengan ground dan pin Vout merupakan keluaran yang dapat mengalirkan tegangan yang besarnya akan sesuai dengan suhu yang diterimanya dari sekitar.



Gambar 3. Rangkaian dasar LM35

Prinsip kerja alat pengukur suhu ini, adalah sensor suhu difungsikan untuk mengubah besaran suhu menjadi tegangan, dengan kata lain panas yang ditangkap oleh LM35 sebagai sensor suhu, diubah menjadi tegangan. Proses berubah panas menjadi tegangan dikarenakan di dalam LM35 ini terdapat termistor berjenis *Positive Temperature Coefisient* (PTC), yang mana termistor inilah yang menangkap adanya perubahan panas. Prinsip kerja dari PTC ini adalah nilai resistansinya dapat meningkat seiring dengan meningkatnya suhu. Resistensi yang semakin besar tersebut, menyebabkan tegangan output yang dihasilkan semakin besar.

B. Kelebihan dan Kelemahan Sensor LM35

Kelebihan yang dimiliki sensor suhu LM35 adalah sebagai berikut :

1. Rentang suhu yang jauh, antara -55 sampai +150 °C
2. *Low self-heating*, sebesar 0,08 °C
3. Beroperasi pada tegangan 4 sampai 30 V
4. Kalibrasi dalam satuan derajat celcius.
5. Lineritas +10 mV/°C.
6. Akurasi 0,5 °C pada suhu ruang.

7. Rangkaian tidak rumit
8. Tidak memerlukan pengkondisian sinyal

Selain kelebihan yang ada di atas, LM35 juga memiliki kekurangan yaitu membutuhkan sumber tegangan untuk beroperasi jika tidak ada sumber tegangan maka sensor ini tidak berfungsi. Untuk mengetahui nilai keluaran dari sensor suhu LM35 secara sederhana dapat dilakukan dengan menggunakan AVO meter. Hal yang harus disiapkan yaitu AVO meter, Sumber tegangan DC 5 V, dan sensor suhu LM35. Penggunaan AVO digital di sini untuk menampilkan dan mempermudah pembacaan output voltase pada sensor. Untuk percobaan, ujung kaki kiri (+5 vdc) dihubungkan dengan penjepit plus kabel merah pada *power supply*, kaki tengah dihubungkan dengan pin plus kabel merah pada AVO meter (Sebagai output voltase pada sensor), kemudian kaki kanan dihubungkan dengan *ground*, yaitu pin dan jepitan yang berwarna hitam pada AVO dan *power supply* (Syam, 2013). Hasilnya seperti gambar berikut:



Gambar 4. Cara simple menggunakan sensor LM35 (Syam, 2013)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Desember 2018 – Maret 2019 di Laboratorium Rekayasa Bioproses dan Pasca Panen (Lab. RBPP) Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

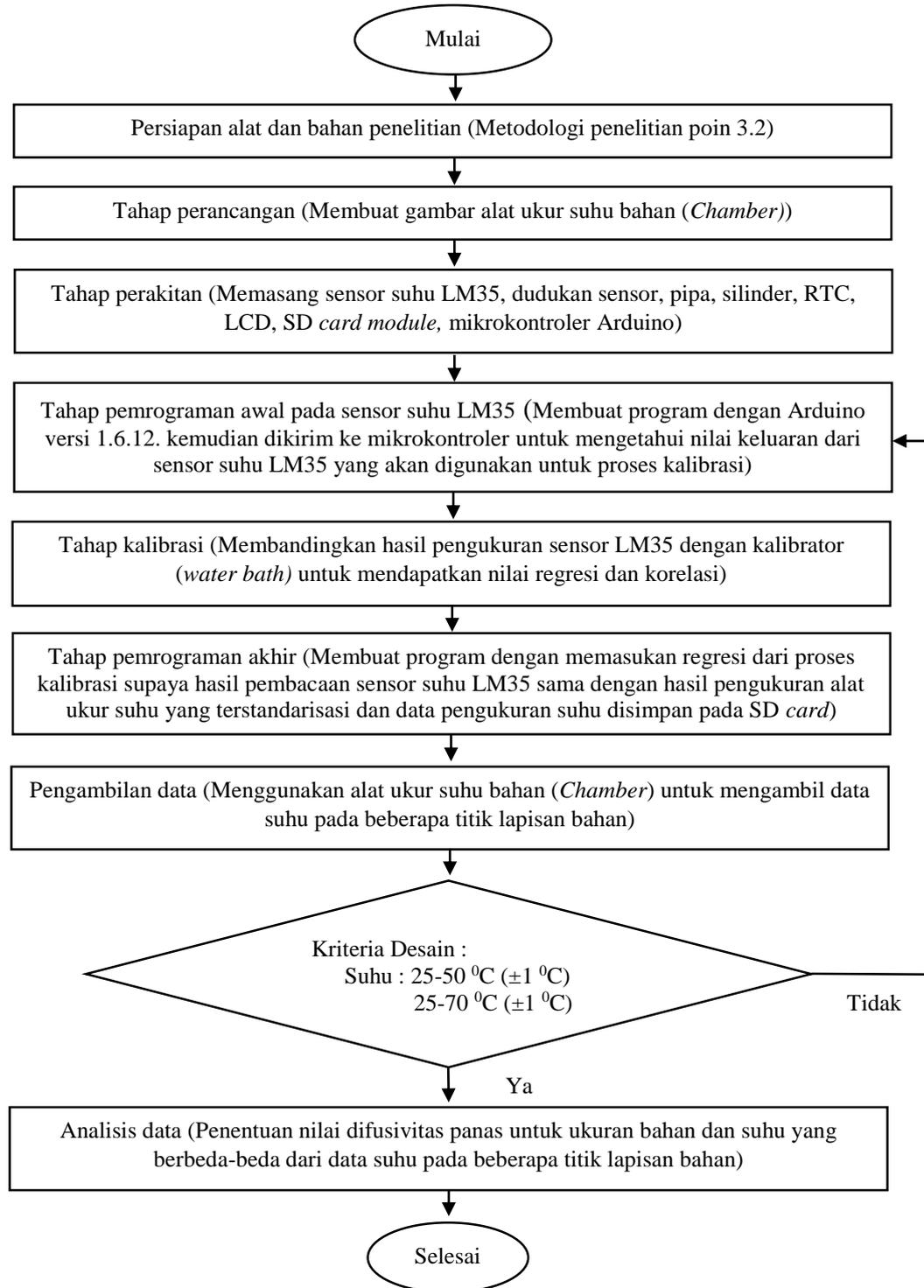
3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah silinder uji (*Chamber*), Arduino Mega 2560 R3, sensor suhu LM35, *SD Card Module*, *Real Time Clock* (RTC), *Liquid Crystal Display* (LCD), *power supply*, kabel, termometer, lem besi, kabel timah, pipa paralon ($D = 2,5$ cm),udukan sensor, solder timah, bor dan mata bor, *water bath*, tang potong kabel, *styrofoam*, isolasi, gunting, oven, gelas ukur, cawan, ayakan (*Mesh*), timbangan digital, dan laptop.

Untuk bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah biji jagung jenis DK 77 dengan ukuran yang berbeda-beda yaitu biji jagung pipil, biji jagung giling lolos *mesh* 6, biji jagung giling lolos *mesh* 8, dan biji jagung giling lolos *mesh* 16 (Tepung jagung).

3.3 Diaram Alir Penelitian

Untuk diaram alir penelitian bisa dilihat pada Gambar 5 di bawah ini :



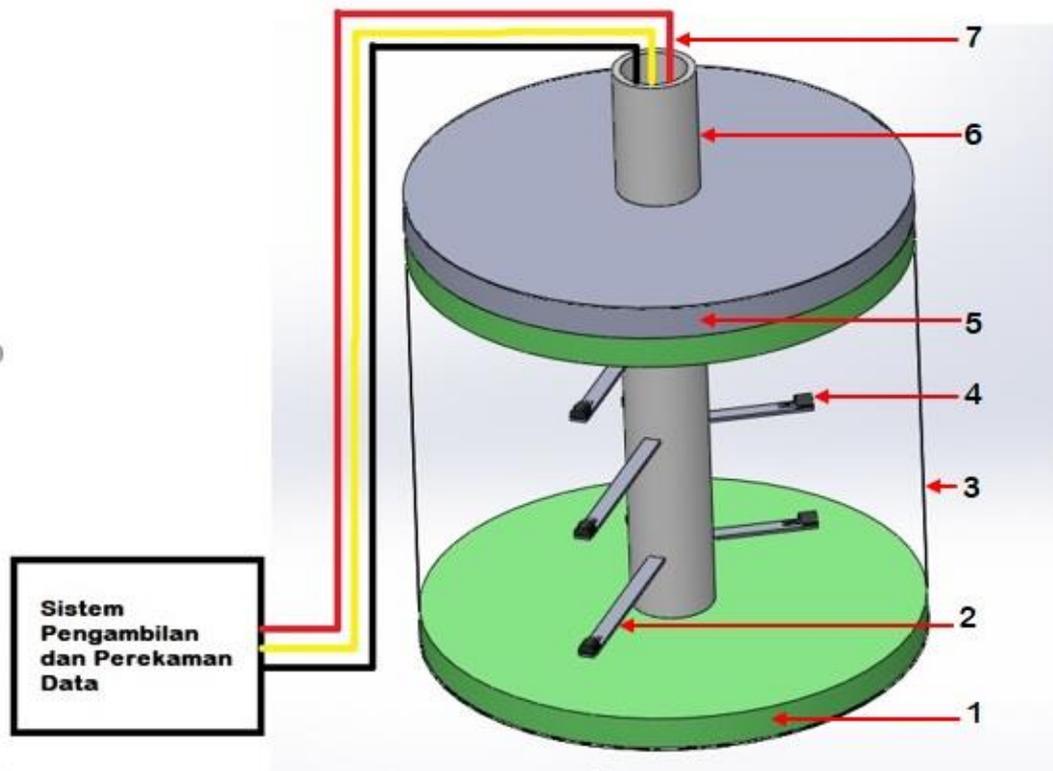
Gambar 5. Diagram alir penelitian

3.4 Rancangan Alat Ukur Suhu Bahan (*Chamber*)

Pembuatan alat ukur suhu untuk penentuan nilai difusivitas termal bahan pertanian, pada penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap perancangan, tahap persiapan alat dan bahan, tahap perakitan, tahap pemrograman awal pada sensor suhu LM35, tahap kalibrasi sensor, dan tahap pemrograman akhir. Jika alat ukur suhu bahan sudah selesai dibuat, tahap selanjutnya yaitu menentukan jumlah rata-rata data yang mampu disimpan setiap detik, menentukan tingkat akurasi penampilan data, dan penyimpanan data.

1. Tahap perancangan

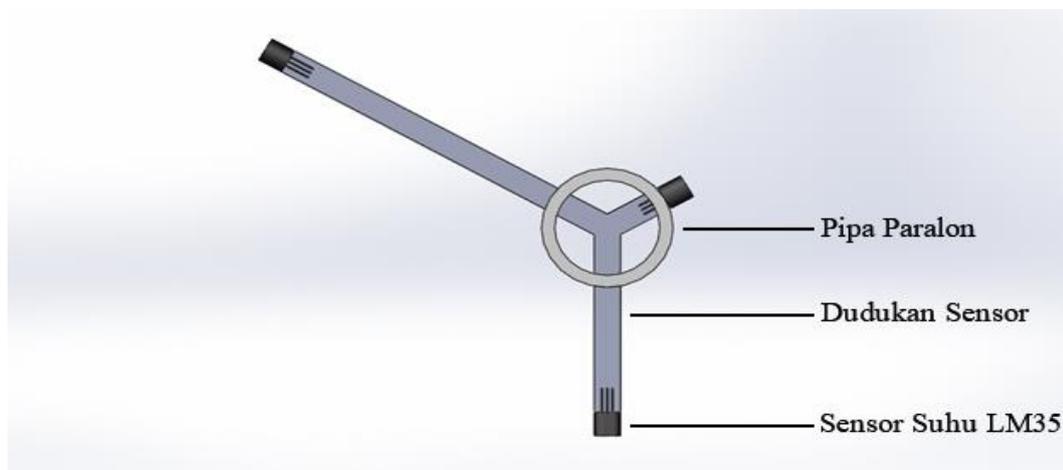
Pada tahap ini dilakukan pembuatan desain atau gambar alat ukur suhu berbentuk silinder (*Chamber*) untuk menentukan sifat termal bahan yang terbuat dari aluminium dengan ukuran tebal 0,35 mm, diameter 14,5 cm, dan tinggi silinder 15 cm. Pada bagian tengah silinder dipasang pipa paralon dengan diameter 2,5 cm secara vertikal, serta pada bagian dinding luar pipa paralon dipasang sensor suhu LM35 secara horizontal yang ditempelkan padaudukan sensor serta perekaman data menggunakan mikrokontroler Arduino Mega 2560. Untuk peletakan sensor dipasang pada 9 titik yaitu 3 di bagian bawah, 3 di bagian tengah, dan 3 di bagian atas. Tinggi antara masing-masing sensor adalah 4 cm, dan untuk jarak pemasangan sensor yang paling dekat hingga terjauh adalah 0 cm (Titik pusat), 3 cm, dan 6 cm. Desain alat ukur suhu bentuk silinder terdapat pada Gambar 6 dan peletakan atau penomoran sensor terdapat pada Gambar 7 dan Gambar 8 di bawah ini.



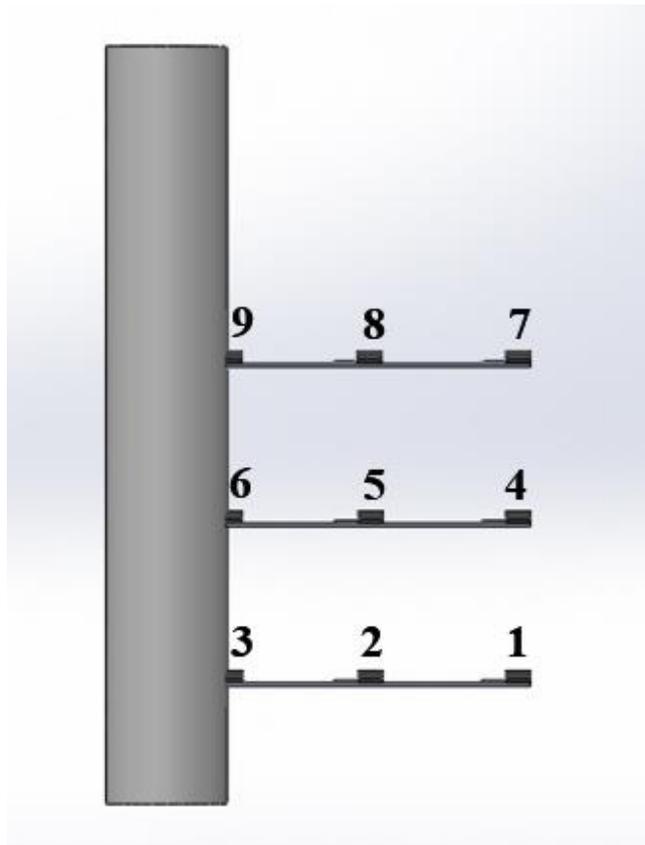
Gambar 6. Desain alat ukur suhu bahan (*Chamber*)

Keterangan :

- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1. <i>Styrofoam</i> | 5. Tutup Tabung |
| 2. Dudukan Sensor | 6. Pipa Paralon |
| 3. Tabung | 7. Kabel <i>Jumper</i> |
| 4. Sensor Suhu LM35 | |



Gambar 7. Desain alat ukur suhu bahan (*Chamber*) tampak atas



Gambar 8. Desain alar ukur suhu bahan (*Chamber*) tampak samping

2. Tahap persiapan alat dan bahan

Mempersiapkan alat dan bahan sesuai dengan yang dibutuhkan pada bagian metodologi penelitian poin 3.2 yaitu alat dan bahan penelitian.

3. Tahap perakitan

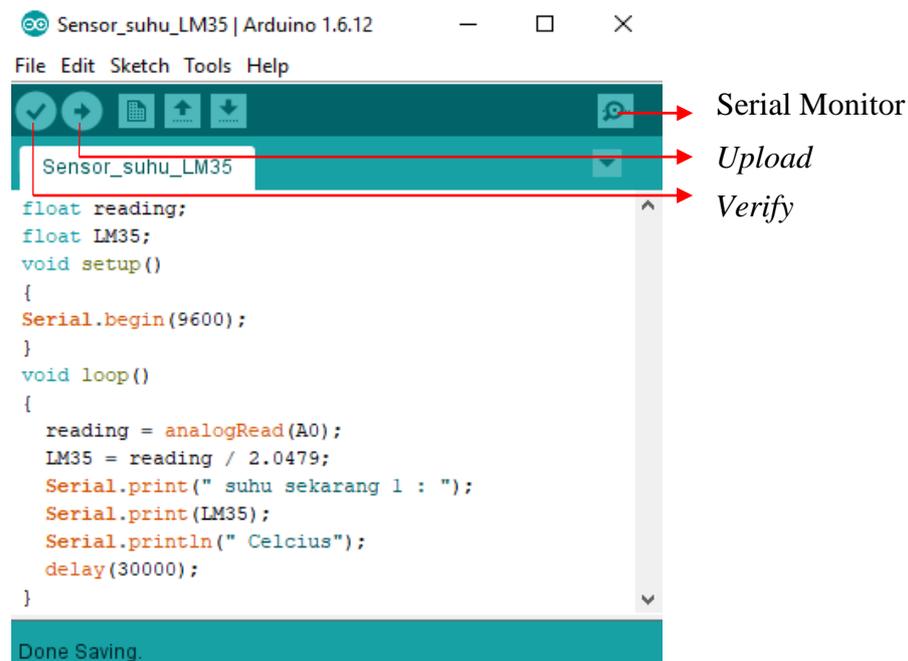
Pemasangan komponen-komponen sesuai dengan rancangan Gambar 6 yang telah dibuat yaitu memasang sensor suhu LM35 pada dudukan sensor lalu menempelkan dudukan sensor yang sudah terpasang LM35 ke dinding luar pipa menggunakan lem besi. Kemudian LM35 dihubungkan dengan Arduino Mega 2560 serta pada bagian Arduino ditambahkan dengan *Real Time Clock* (RTC), *Liquid Crystal Display* (LCD), dan *micro SD*. Kemudian

pipa paralon yang sudah dibuat seperti Gambar 7 diletakkan pada bagian tengah silinder.

4. Tahap pemrograman awal pada sensor suhu LM35

Pemrograman merupakan kegiatan/proses menulis kode-kode perintah yang di dalamnya terdapat instruksi-instruksi dari bahasa pemrograman yang dibuat oleh pembuat program (Programmer) dalam bentuk produk, aplikasi atau *software* untuk mempermudah pekerjaan para pengguna. Pada penelitian ini penulisan program dilakukan dua tahap yaitu tahap pemrograman awal (Sebelum kalibrasi) dan tahap pemrograman akhir (Setelah kalibrasi). Penulisan program atau perintah yang digunakan untuk mengatur sensor suhu LM35 dibuat dengan menggunakan *software* Arduino versi 1.6.12. Kemudian program yang telah selesai ditulis, ditransfer dan disimpan pada Arduino Mega 2560 sehingga sensor suhu LM35 bisa membaca suhu di sekitar biji jagung berbagai ukuran yang telah dialiri panas dari bagian luar *chamber* (*Water bath*). Sensor LM35 merupakan sensor yang merubah besaran suhu ke besaran listrik dalam bentuk tegangan. Pada setiap pengoperasian sensor LM35 bisa dengan menggunakan tegangan 4 volt sampai 30 volt. Setiap suhu 1 °C tegangan menunjukkan nilai 10 mV, artinya jika terbaca tegangan $V_{out} = 50 \text{ mV}$ maka suhu kenaikannya yang terbaca yaitu 5 °C. Sensor suhu LM35 bisa diprogram dengan menulis “analogRead” kemudian keluarannya dibagi dengan 2,0479. Nilai 2,0479 didapat dari $5 \text{ V} / 1023 = 4,883$ (5 V = tegangan referensi, 1023 resolusi 10 bit), maka setiap kenaikan 1 °C = $10 \text{ mV} / 4,883 \text{ mV}$, sehingga didapatkan angka 2,0479.

Untuk contoh penulisan program sensor suhu LM35 pada *software* Arduino bisa dilihat pada Gambar 9 berikut :



Gambar 9. Pemrograman dengan *software* Arduino

Untuk penulisan program pada *software* Arduino sebelum program bisa tersimpan pada Arduino ada beberapa tahap yang harus dilakukan yaitu *verify* dan *upload* program. *Verify* program merupakan proses pemeriksaan atau pengecekan program yang telah ditulis apakah program yang ditulis itu benar atau tidak. Apabila program yang ditulis benar, maka program tersebut bisa dikirim pada Arduino. Untuk mengirim program yang telah selesai dibuat bisa dilakukan dengan memilih menu *upload* dan tunggu sampai proses *transfer* program selesai maka program tersebut sudah tersimpan didalam Arduino. Pada program yang ada di atas dibuat hanya untuk mengoprasikan sensor suhu LM35 dan menampilkan hasil pembacaan suhu pada *serial monitor* (Tidak ditampilkan pada LCD). *Serial monitor* merupakan sebuah tools yang bisa digunakan untuk

menampilkan hasil pembacaan (Layar computer (laptop) dijadikan display atau tampilan dari Arduino).

Sensor suhu LM35 yang dihubungkan pada Arduino dan didalamnya sudah tersimpan suatu program, maka sensor suhu LM35 dapat digunakan sebagaimana fungsinya yaitu untuk mengukur atau membaca suhu yang ada pada lingkungan sekitar (Biji jagung berbagai ukuran yang telah dialiri panas dari bagian luar *chamber*). Untuk meminimalkan terjadinya galat pada penggunaan sensor LM35 dalam membaca suhu lingkungan sekitar, maka diperlukan kalibrasi lokal terhadap sensor suhu LM35 dengan metode membandingkan dengan alat yang sudah terstandarisasi.

5. Tahap kalibrasi

Kalibrasi yaitu kegiatan untuk menentukan kebenaran dan ketepatan penunjukkan alat ukur atau bahan ukur dengan membandingkan terhadap standar ukur yang tertelusur ke standar nasional dan / atau ke standar internasional. Tujuannya untuk menjaga kondisi alat ukur tetap sesuai spesifikasinya dan juga menjaga tingkat kepercayaan umum terhadap hasil pengukuran dari alat ukur yang dipakai.

Pada penelitian ini, alat yang telah dibuat dikalibrasi dengan membandingkan nilai luaran yang terbaca dengan alat pengukur suhu yang standard yaitu termometer atau *display* suhu pada *water bath*. Kalibrasi dilakukan pada air yang telah dipanaskan oleh *water bath*. *Water bath* berfungsi untuk mengontrol lingkungan mikro kalibrasi. Kalibrasi dilakukan pada rentang suhu 30 - 70 °C dengan interval 5 °C. Kalibrasi suhu

dilakukan dengan meletakkan sensor LM35 serta alat pembanding (Termometer) ke dalam wadah tertutup, lalu data yang diperoleh digunakan untuk data kalibrasi sensor. Data hasil kalibrasi selanjutnya dianalisis dengan metode analisis regresi linier untuk mengetahui koefisien korelasi (r) temperatur antara sensor dan kalibrator. Analisis regresi linier juga bertujuan untuk mengetahui persamaan regresi yang dimasukkan dalam pemrograman untuk mengoreksi hasil luaran sensor. Persamaan regresi dapat dihitung dengan rumus :

$$Y = aX + b \dots\dots\dots (16)$$

$$a = \left(\frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \right) \dots\dots\dots (17)$$

$$b = \left(\frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} - a \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \right) \dots\dots\dots (18)$$

dan Koefisien korelasi dihitung dengan rumus :

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2][n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2]}} \dots\dots\dots (19)$$

Keterangan :

- Y : Peubah tak-bebas
- X : Peubah bebas
- a : Kemiringan
- b : Konstanta
- n : Banyaknya data

Ketika kalibrasi telah selesai dilakukan tahap selanjutnya adalah validasi dari alat. Validasi yaitu tindakan pembuktian atau pengujian kebenaran dengan cara yang sesuai bahwa tiap proses, prosedur, kegiatan, sistem, perlengkapan atau mekanisme yang digunakan dalam produksi dan

pengawasan senantiasa mencapai hasil yang diinginkan. Tujuan validasi yaitu mengidentifikasi parameter proses yang kritis, menetapkan batas toleransi yang dapat diterima dari masing - masing parameter proses yang kritis, memberi cara pengawasan terhadap parameter proses yang kritis, dan menghasilkan hasil yang standar atau reproduibel. Pada validasi sensor suhu dilakukan pengukuran suhu pada kondisi yang berbeda, pada tahap ini diharapkan pembacaanya sesuai dengan hasil dari kalibrasi sensor sebelumnya.

6. Tahap pemrograman akhir

Dari proses kalibrasi didapatkan sebuah Persamaan 16 atau regresi yang digunakan untuk memprograman sensor suhu LM35. Hal ini dilakukan supaya nilai keluaran (Pembacaan suhu) yang dihasilkan oleh sensor suhu LM35 sama atau mendekati hasil alat ukur suhu lain (Termometer atau *Water bath*). Dari Persamaan 16 yaitu $Y = aX + b$ harus dimasukkan ke dalam program maka akan menjadi sebuah perintah baru. X merupakan nilai keluaran dari sensor suhu LM35 dari program awal. Persamaan tersebut dimasukkan ke dalam sub program sensor suhu LM35 dengan bahasa program :

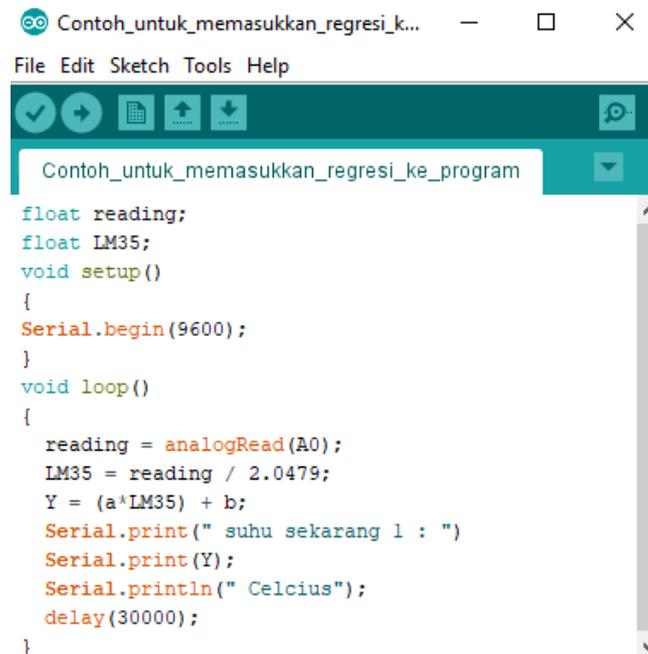
```
reading = analogRead (A0);
```

```
LM35 = reading / 2.0479;
```

```
Y = (a*LM35) + b.
```

Untuk contoh persamaan regresi yang ditulis dalam sub program Arduino dan nilai keluaran hanya ditampilkan pada *serial monitor* bisa dilihat pada Gambar 10. Sensor suhu LM35 yang telah terkalibrasi dan terprogram

dengan baik, dapat dipasang pada beberapa titik dan digunakan untuk membaca atau mengukur suhu setiap lapisan biji jagung berbagai ukuran yang telah dialiri panas.



```

Contoh_untuk_memasukkan_regresi_k...
File Edit Sketch Tools Help
Contoh_untuk_memasukkan_regresi_ke_program
float reading;
float LM35;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
}
void loop()
{
  reading = analogRead(A0);
  LM35 = reading / 2.0479;
  Y = (a*LM35) + b;
  Serial.print(" suhu sekarang 1 : ")
  Serial.print(Y);
  Serial.println(" Celcius");
  delay(30000);
}

```

Gambar 10. Contoh memasukkan regresi dalam program

Pada tahap pemrograman yang terakhir tidak hanya membuat program untuk sensor suhu LM35, tetapi pemrogram juga dilakukan pada komponen lainnya seperti *SD card module*, *Liquid Crystal Display (LCD)*, dan *Real Time Clock (RTC)*. Hal ini dilakukan supaya pengambilan data dapat berjalan dengan baik dan data tersebut bisa digunakan untuk menentukan nilai difusivitas panas biji jagung curah berbagai ukuran. Sensor suhu LM35 digunakan untuk mengukur suhu pada berbagai titik lapisan bahan (Biji jagung) di dalam *chamber* yang dialir sumber panas dari luar (*Water bath*). RTC digunakan untuk menunjukkan waktu pada saat sensor membaca suhu bahan. LCD digunakan untuk menampilkan data waktu dan juga suhu yang

terbaca oleh sensor suhu LM35. Data - data waktu beserta suhu pada saat pengukuran disimpan pada *micro SD*.

7. Setelah alat selesai dibuat dan diprogram, selanjutnya menentukan jumlah rata-rata data yang mampu disimpan setiap detik serta akurasi penampilan data dan penyimpanan data. Untuk menentukan rata-rata data tersimpan setiap detiknya dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 20 (Telaumbanua, 2015) yaitu :

$$\text{Rerata data tersimpan per detik} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{Jumlah data terekam}}{\text{Waktu perekaman}} \right)}{n} \right) \dots\dots\dots (20)$$

dan Akurasi penampilan data dan penyimpanan data (APP) dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 21 (Telaumbanua, 2015) yaitu :

$$\text{APP} = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{\text{Data terekam teoritis} - \text{Data terekam efektif}}{\text{Data terekam teoritis}} \right)}{n} \right) \times 100\% \dots (21)$$

3.5 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan biji jagung sebagai bahan penelitian dengan ukuran yang berbeda-beda yaitu biji jagung pipil, biji jagung giling lolos *mesh* 6, biji jagung giling lolos *mesh* 8, dan biji jagung giling lolos *mesh* 16 (tepung jagung). Pada awalnya semua bahan sama yaitu biji jagung pipil yang telah dikeringkan dengan sinar matahari secara langsung. Untuk mendapatkan ukuran yang berbeda-beda dilakukan penggilingan dengan menggunakan *disk mill*, kemudian hasil penggilingan diayak menggunakan *mesh* ukuran 6 (Diameter 0,003360 m), 8 (Diameter 0,002380 m), dan 16 (Diameter 0,001190 m). *Mesh* merupakan jumlah

lubang yang terdapat dalam ayakan disetiap 1 inci persegi (Jumlah lubang pada bidang jaring atau kasa seluas 1 inci). Semakin besar ukuran *mesh* (Nomor *mesh*) maka ukuran lubang yang terdapat pada ayakan semakin kecil sehingga partikel yang dapat melewati *mesh* ukuran besar (Nomor *mesh*) memiliki ukuran partikel lebih kecil dibandingkan dengan partikel yang lolos pada *mesh* ukuran kecil. Dari proses pengayakan menggunakan *mesh* berbeda ukuran, didapatkan ukuran partikel bahan yang berbeda yaitu biji jagung > biji jagung giling lolos *mesh* 6 > biji jagung giling lolos *mesh* 8, > biji jagung giling lolos *mesh* 16 (Tepung jagung).

Penentuan nilai difusivitas termal pada biji jagung berbagai ukuran dilakukan dengan menggunakan suhu sumber panas (*Water bath*) 50 °C dan 70 °C. Sebelum Penentuan nilai difusivitas termal dilakukan bahan terlebih dahulu bahan dimasukkan ke dalam silinder ukur suhu bahan (*Chamber*) kemudian *chamber* dimasukkan kedalam *water bath* yang telah diisi air dan dipanaskan dengan suhu yang telah ditentukan. Kemudian sensor suhu LM35 yang telah dipasang akan membaca suhu pada beberapa titik lapisan bahan yang telah dialiri suhu panas dari luar. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali ulangan dan pengukuran dilakukan selama ± 3 jam atau suhu bahan sampel mendekati suhu sumber panas.

3.6 Parameter Penelitian

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

1. Pengukuran karakteristik berbagai jenis bahan yang digunakan meliputi Kadar air, dan *bulk density*.

2. Penentuan sifat termal bahan yang digunakan yaitu difusivitas panas biji jagung berbagai ukuran.

3.7 Prosedur Penelitian

Pada pengukuran karakteristik dan menentukan difusivitas panas pada bahan, dapat dilakukan dengan langkah-langkah yang ada di bawah ini.

3.7.1 Kadar Air

Pengukuran kadar air yang terdapat pada bahan dilakukan dengan metode oven. Metode oven menggunakan prinsip menguapkan air yang ada dalam bahan dengan pemanasan. Untuk mendapatkan nilai kadar air bahan, langkah-langkah yang harus dilakukan sebagai berikut :

1. Disiapkan timbangan digital, cawan porselin, oven, dan bahan yang ingin diketahui kadar airnya.
2. Ditimbang cawan porselin pada timbangan digital (MA).
3. Kemudian dimasukkan bahan ke dalam porselin yang telah ditimbang sebelumnya, lalu ditimbang lagi porselin yang sudah berisi bahan tersebut untuk mengetahui bobot bahan sebelum dioven (MB).
4. Dimasukan porselin yang berisi bahan ke dalam oven selama 24 jam dengan menggunakan suhu 105 °C.

5. Setelah bahan selesai dioven selama 24 jam selanjutnya bahan beserta cawan porselin ditimbang lagi untuk mengetahui bobot bahan setelah oven (MC).
6. Untuk mengetahui nilai kadar air pada bahan, data-data yang telah didapatkan dimasukkan ke dalam rumus berikut ini :

$$KABB = \frac{(MB-MA)-(MC-MA)}{(MB-MA)} \times 100\% \dots\dots\dots(22)$$

Keterangan :

- KABB : Kadar air basis basah (%)
 MA : Bobot porselin (kg)
 MB : Bobot porselin + sampel sebelum dioven (kg)
 MC : Bobot porselin + sampel setelah oven (kg)

3.7.2 Bulk Density (ρ_b)

Density atau kerapatan merupakan massa dari tumpukan suatu bahan dibagi dengan volumenya termasuk rongga yang ada pada setiap tumpukan bahan. Untuk mengetahui nilai *bulk density* dari bahan maka yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Disiapkan timbangan digital, tabung, dan juga bahan.
2. Dihitung volume tabung terlebih dahulu menggunakan rumus :

$$V = \pi R^2 h \dots\dots\dots(23)$$

Keterangan :

- V : Volume tabung (m^3)
 π : $\frac{22}{7}$ atau 3,14
 R : Jari-jari tabung (m)

h : Tinggi tabung (m)

3. Pada penelitian ini tabung atau gelas ukur yang digunakan 250 ml, Setelah itu dimasukkan bahan ke dalam tabung sampai penuh dan dihitung berapa bobot bahan yang telah dimasukkan ke dalam tabung.
4. Jika bobot bahan yang digunakan telah didapatkan dan volume tabung telah diketahui maka nilai *bulk density* pada bahan bisa didapatkan, dengan menggunakan rumus (Anisum, 2016) :

$$\rho_b = \frac{M}{V} \dots \dots \dots (24)$$

Keterangan :

- ρ_b : Berat jenis atau *bulk density* (kg/m³)
 M : Bobot sampel atau bobot bahan curah (kg)
 V : Volume (m³)

3.7.3 Pengukuran Sebaran Suhu

Panas pada biji jagung berbagai ukuran mengalir secara konduksi pada setiap lapisan bahan. Perambatan panas bahan dapat dilihat dengan cara mengukur menggunakan sensor suhu disetiap lapisan bahan yang dimasukkan dalam tabung. Pada pengukuran suhu pada beberapa titik lapisan bahan (Sebaran suhu), langkah-langkah yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Disiapkan *water bath*, alat ukur konduktivitas panas, air, dan bahan atau sampel.
2. Dimasukkan air ke dalam *water bath* sampai ketinggian air ± 14 cm, kemudian *water bath* diatur pada suhu 50 °C untuk memanaskan air.

3. Disiapkan alat ukur sifat termal panas lalu dimasukkan bahan biji jagung ke dalam silinder, kemudian silinder ditutup dengan rapat dan sensor suhu LM35 membaca suhu pada bahan setiap 30 detik. Kemudian suhu yang terbaca disimpan pada *micro SD*.
4. Jika suhu dalam *water bath* sudah mencapai suhu 50°C dimasukkan alat ukur sifat termal ke dalam *water bath* sampai suhunya mencapai atau mendekati 50°C.
5. Diulangi langkah 3, 4, dan 5 untuk sampel sebanyak 3 kali.
6. Diulangi langkah 2,3, 5 dan 6 untuk suhu dan biji jagung yang berbeda ukurannya.

3.7.4 Difusivitas Panas (α)

Nilai difusivitas panas dapat dicari dengan Persamaan 15 yaitu :

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

Sensor 3 merupakan titik pusat, untuk sensor 2 dan 1 diukur dengan jarak Δx dan $2*\Delta x$ ke arah radial. Nilai T_r^t didapatkan dari titik 2 dengan jarak Δx dari pusat silinder, Nilai T_{r-1}^t didapatkan dari titik 3 yang berjarak 0,00 m dari pusat silinder, dan nilai T_{r+1}^t diambil pada titik 1 yang berjarak $2*\Delta x$ dari pusat silinder, untuk T_r^{t+1} diambil pada titik 2 pada waktu pengukuran berikutnya. Untuk Δr sama dengan nilai Δx pada pengukuran dan r sama dengan jarak antara T_r^t dengan pusat silinder.

Pada penelitian ini diperhitungkan ketepatan nilai difusivitas. Ketepatan ini dapat dihitung dengan membandingkan suhu ukur dengan suhu dugaanya. Suhu duga dapat dicari dengan mengubah Persamaan (15) menjadi :

$$T_r^{t+1} = \left| \frac{\alpha(\Delta t)\{(\Delta r+r)T_{r+1}^t+rT_{r-1}^t-(2r+\Delta r)T_r^t\}}{r(\Delta r)^2} + T_r^t \right| \dots\dots\dots(25)$$

Untuk mengetahui nilai ketepatan suhu duga dilakukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini :

$$K = \left(1 - \left| \frac{T_{duga} - T_{ukur}}{T_{ukur}} \right| \right) \times 100\% \dots\dots\dots(26)$$

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sensor suhu LM35 yang digunakan telah terkalibrasi dan berfungsi dengan baik ditunjukkan dengan nilai r yaitu 0,997 sampai dengan 0,999. Kemampuan rata-rata penyimpan data pada *SD card* setiap detik adalah 22,25 data. Tingkat akurasi penampilan data pada LCD dan penyimpanan data pada *SD card* sebesar 99,78%.
2. Semakin kecil ukuran biji jagung dan semakin besar sumber panas yang diberikan maka difusivitas panas semakin meningkat. Nilai difusivitas panas pada biji jagung pipil, biji jagung giling lolos *mesh* 6, biji jagung giling lolos *mesh* 8, dan biji jagung giling lolos *mesh* 16 (tepung jagung) pada suhu 50 °C berturut-turut sebesar (1,35, 1,38, 1,69, dan 2,30) $\times 10^{-7}$ m²/s dan pada suhu 70 °C berturut-turut sebesar (1,39, 1,42, 1,72, dan 2,36) $\times 10^{-7}$ m²/s.

5.2 Saran

Hasil penentuan nilai difusivitas termal biji jagung curah berbagai ukuran pada penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya. Penelitian lanjutan yang dapat dilakukan adalah dengan menentukan pengaruh kandungan dalam jagung terhadap nilai difusivitas panas yang dihasilkan

DAFTAR PUSTAKA

- Andrianto, H. dan Darmawan, A. 2016. *Arduino : Belajar Cepat dan Pemrograman*. Informatika. Bandung. 208 hlm.
- Anisum. 2016. Analisis Kinetika Kadar Air pada Pengeringan Biji Kakao (*Theobroma Cacao Linn*) dengan Menggunakan Pengering Tipe Green house. *Jurnal Pertanian Terpadu*. 4 (2) : 19-29.
- Arduino. 2015. Arduino.cc. <http://www.arduino.cc>. Diakses pada 3 Juli 2018.
- Arief, R.W. Yani, A. Asropi. dan Dewi, F. 2014. Kajian Pembuatan Tepung Jagung Dengan Proses Pengolahan Yang Berbeda. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Pertanian Spesifik Lokasi*. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Lampung dan Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Kalimantan Selatan. Banjarbaru 6-7 Agustus 2014. 611-618.
- Atmaka, W dan Sigit, B. 2010. Kajian Karakteristik Fisiko Kimia Tepung Instan Beberapa Varietas Jagung (*Zea mays L*). *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*. 3 (1) : 13-20.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Lampung. 2016. Produksi Padi, Jagung, dan Kedelai. 2015. <https://lampung.bps.go.id/pressrelease/2016/07/01/329/produksi-padi-jagung--dan-kedelai--2015.html>. Diakses pada 12 Oktober 2018.
- Carlsaw, H.S. dan Jaeger, J.C. 1959. *Conduction of Heat Solids*. Oxford Univ: Press.
- Dam, B.V. 2008. *Microcontroller System Engineering (45 project for PIC, AVR, and ARM)*. United Kingdom: Elector International Media BV. 328 hlm.
- Ginting, E. dan Tastra, I.K. 2016. *Standar Mutu Biji Kedelai*. Balai penelitian tanaman kacang-kacangan dan umbi-umbian (balitkabi.litbang.pertanian.go.id). Malang. 444-463.
- Haryanto, A. 2013. *Buku Ajar: Transfer Panas*. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung. 274 hlm.

- Holman, J.P. 1994. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Huang, L. dan Liu, L.S. 2009. Simultaneous Determination of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Food and Agricultural Materials Using a Transient Plane-Source Method. *Journal of Food Engineering*. Vol. 95 (2009) 179-185.
- Juniawati. 2003. Optimasi Proses Pengolahan Mi Jagung Instan Berdasarkan Kajian Preferensi Konsumen. [Skripsi]. Departemen Teknologi Pangan dan Gizi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Karlekar, B.V. dan Desmond, R.M. 1977. *Engineeri Heat Transfer*. New York: West Publ.Co.
- Karneta, R. Rejo, A. Priyanto, G. dan Pambayun, R. 2015. Penentuan Difusivitas Panas Pempek Lenjer Selama Perebusan Menggunakan Metode Numerik. *Agritech*. 35 (1) : 18-26.
- Komar, N. Hawa, L.C. dan Prastiwi, R. 2009. Karakteristik Termal Produk Keju Mozarella. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 10 (2) : 78-88.
- Kostaropoulos, A. E dan Saravacos, G. D. 1997. Thermal Diffusivity of Granular and Porous Foods at Low Moisture Content. *Journal of Food Engineering*. 33 (1997) 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.
- Manalu L.P. dan Abdullah, K. 1998. Penentuan Difusivitas Panas dan Konduktivitas Panas Wortel (*Daucus carota L.*). *Bulletin Keteknikan Pertanian*. 12 (2) : 32-38.
- Manalu, L.P. Lukas, A. dan Yeni, G. 2012. Studi Penentuan Difusivitas Panas Mangga Arummanis Terproses Minimal. *Jurnal Litbang Industri*. 2 (2) : 107-113.
- Mohsenin, N. N. 1980. *Thermal Properties of Food and Agricultural Materials*. New York: Gordon and Breach Science Pub.
- Nasution, A.F. 2011. Pengendalian Suhu Ruangan Menggunakan Sensor Suhu LM35 Berbasis Mikrokontroler ATmega8535 Sebagai Pusat Kendali. [Tugas Akhir]. Universitas Sumatra Utara. Sumatra Utara.
- Nirwana, L. Rais, M. dan Jamaluddin. 2017. Konduktivitas Termal Pasir Kali Sebagai Media Penghantar Panas pada Proses Penyangraian Krupuk. *Jurnal pendidikan teknologi pertanian*. 3 (2017) S182-S196.

- Pratama, G.G.F.S. 2008. Paket Teknologi Untuk Memproduksi Mi Jagung dengan Bahan Baku Tepung Jagung. [Skripsi]. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Pratama, Y. 2015. Respon Tanaman Jagung Manis (*Zea mays saccharata*) terhadap Kombinasi Pupuk Anorganik dan Pupuk Bio-Slurry Padat. [Skripsi]. Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Phomkong, W. Srzednicki, G. dan Driscoll, R.H. 2006. Thermophysical Properties of Stone Fruit. *Drying Technology*. 24 (2006) 195-200.
- Setiawan, R. 2006. *Mikrokontroler MCS-51*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 222 hlm.
- Singhal, D.K. Singh, U. dan Singh, A.K. 2008. Effective Thermal Diffusivity of Persishable Produce as a Function of Temperature by Transient Method. *Indian Journal of Pure and Applied Physics*. 46 (2008) 862-865.
- Sirait, M. 2009. *Pengukuran Temperatur Ruangan dengan Menggunakan Sensor Suhu LM35 Berbasis Mikrokontroler AT89S51*. [Tugas Akhir]. FMIPA Universitas Sumatera Utara. Medan.
- 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.
- Suarni dan Sarasutha, I.G.P. 2001. Teknologi Pengolahan Jagung untuk Meningkatkan Nilai Tambah dalam Pengembangan Agroindustri. *Prosiding Seminar Nasional*. BPTP Sulawesi Tengah.
- Suarni. 2009. Prospek Pemanfaatan Tepung Jagung untuk Kue Kering (*Cookies*). *Jurnal Litbang Pertanian*. 28 (2) : 63-71.
- Subekti, N. A. Syafruddin. Efendi, R. dan Sunarti S. 2008. *Morfologi Tanaman dan Fase Tanaman Jagung*. Balai Penelitian Tanaman Serealia Maros. 16-28 hal.
- Susilo, D. 2010. *48 Jam Kupas Tuntas Mikrokontroler MAS51 & AVR*. Andi Publisher. Yogyakarta. 460 hlm.
- Syaefullah, R. Yulianto, G. dan Suryono. 2006. Rancang Bangun Alat Ukur Konduktivitas Panas Bahan dengan Metode Needle Probe Berbasis Mikrokontroler AT89S52. *Jurnal Berkala Fisika*. 9 (1) : 37-42.
- Syam, R. 2013. *Seri Buku Ajar: Dasar Dasar Teknik Sensor*. Teknik Mesin Fakultas Teknik. Universitas Hassanuddin. 9-71 hlm.
- Taufiq, M. 2004. Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Pengeringan Jagung pada Pengereng Konvensional dan Fluidized Bed. [Skripsi]. Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

- Telaumbanua, M. 2015. Model Pengendalian Iklim Mikro dan Nutrisi Otomatis Pada Pertumbuhan Sawi (*Brassica rappa var. parachinensis* L.) Secara Hidroponik. [Disertasi]. Program Pascasarjana, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Telaumbanua, M. Anggraini, R. Sasongko, F. I. Fitri, A. Sari, R. F. M. dan Waluyo, S. 2018. Control System Design for Rat Pest Repellent in the Rice Field Using a Modified ATmega328 Microcontroller Modified with Ultrasonic Sound Wave. *International Journal of Engineering Inventions*. 7 (8) : 22-28
- Wahyuni, N. I. 2003. Penentuan Nilai Difusivitas Bahang Biji Kopi Robusta (*Coffea robusta*) dalam Bentuk Curah. [Skripsi]. Teknik Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Waluyo, S. Wahyono, R. E. Lanya, B. dan Telaumbanua, M. 2018. Rancang Bangun Sistem Kendali Otomatis Temperatur dan Kelembaban Kumbung Jamur Tiram (*Pleurotus sp*) Berbasis Mikrokontroler. *Agritech*. 38 (3) : 282-288.
- Wastharini, M.A. Arseno D. dan Hidayat I. 2010. *Perancangan dan Implementasi Sistem Telemetri Suhu Ruangan Berbasis Mikrokontroler*. IT Telkom. Bandung.
- 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.