

**PENGEMBANGAN METODE FERMENTASI BIJI KOPI DENGAN  
MENGUNAKAN INKUBATOR TERKONTROL  
FUZZY LOGIC DAN MONITORING IOT**

**SUNANDAR DJASBA**

**G042191001**



**PROGRAM MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR  
2023**

**PENGEMBANGAN METODE FERMENTASI BIJI KOPI DENGAN  
MENGUNAKAN INKUBATOR TERKONTROL  
FUZZY LOGIC DAN MONITORING IOT**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencari Gelar Magister

Program Studi  
Keteknikan Pertanian

Disusun dan diajukan oleh:

SUNANDAR DJASBA

G042191001

kepada

**PROGRAM MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

# TESIS

## PENGEMBANGAN METODE FERMENTASI BIJI KOPI DENGAN MENGUNAKAN INKUBATOR TERKONTROL *FUZZY LOGIC* DAN MONITORING IOT

Disusun dan diajukan oleh

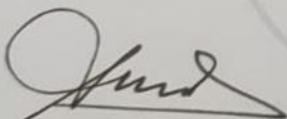
**SUNANDAR DJASBA**  
Nomor Pokok G042191001

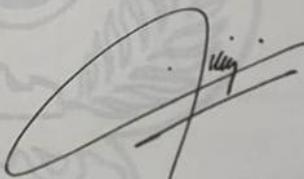
Telah dipertahankan didepan Panitia Ujian Tesis  
Pada tanggal, 27 Desember 2023  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui  
Komisi Penasihat,

Pembimbing Utama

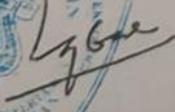
Pembimbing Pendamping

  
**Dr. Ir. Abdul Waris, MT**  
NIP. 19601101 198903 1 002

  
**Prof. Dr. Ir. Junaidi Muhidong, M.Sc**  
NIP. 19600101 198503 1 014

Ketua Program Studi  
Magister Keteknikan Pertanian

Dekan Fakultas Pertanian  
Universitas Hasanuddin,

  
**Dr. Ir. Iqbal Salim, STP., M.Si**  
NIP. 19781225 200212 1 001

  
**Prof. Dr. Ir. Salengke, M.Sc**  
NIP. 19631231 198811 1 005

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Sunandar Djasba  
Nomor Mahasiswa : G042191001  
Program Studi : Keteknikan Pertanian

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis dengan judul "PENGEMBANGAN METODE FERMENTASI BIJI KOPI DENGAN MENGGUNAKAN INKUBATOR TERKONTROL *FUZZY LOGIC* DAN MONITORING IOT" yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 27 Desember 2023

Yang menyatakan



Sunandar Djasba

## PRAKATA

Puji syukur Penulis Panjatkan Kehadirat Allah SWT. Atas rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tesis berjudul “PENGEMBANGAN METODE FERMENTASI BIJI KOPI MENGGUNAKAN INKUBATOR TERKONTROL *FUZZY LOGIC* DAN MONITORING IOT” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister. Selama pelaksanaan studi, penelitian maupun penyusunan tesis ini dapat diselesaikan oleh penulis berkat adanya bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Ibunda Hj.Sanibau, Hj.Haeriah, Ayahanda H.Djasang Bawasir, Abdul Rahman, dan Istriku Rahmania Rahman** yang telah memberi bantuan moril dan materil serta motivasi untuk kelancaran kuliah saya sehingga bisa menyelesaikan study saya dengan baik.
2. **Dr.Ir.Abdul Waris, MT** selaku dosen pembimbing utama atas kesabaran, ilmu dan segala arahan yang diberikan dari pemilihan judul penelitian, penyusunan proposal, penelitian hingga penyusunan tesis ini selesai.
3. **Prof.Dr.Ir.Junaidi Muhidong** sebagai dosen pembimbing pendamping atas segala kesabaran, ilmu dan arahan yang diberikan dari penyusunan proposal, penelitian hingga penyusunan tesis ini selesai.
4. **Dr. Abdul Azis S, STP, M.Si , Dr.rer.nat.Olly Sanny Hutabarat, S.TP., M.Si** dan **Dr. Sukamaluddin, SP.M.Sc** selaku penguji yang telah memberikan arahan, kritik dan saran dalam penyusunan tesis ini.
5. **Anneke Pinatis** Selaku kepala satuan pendidik yang memberikan support dan bimbingan sehingga saya bisa menyelesaikan studi saya.

6. **Kakanda Khaedir Rahman dan Istrinya** yang membantu dan mengarahkan saya selama penyusunan tesis sehingga bisa menyelesaikan tesis dengan baik.
7. **Adinda Asmaul Husna** yang membantu dan memberikan saran dalam penulisan tesis saya.

Atas segala bantuan dan kebaikan dari semua pihak, kami ucapkan terimah kasih. Jika dalam penulisan terdapat kekeliruan maka penulis mengharapkan kritik dan saran.

Makassar, 27 Desember 2023

Sunandar Djasba

## ABSTRAK

SUNANDAR DJASBA. **Pengembangan metode fermentasi biji kopi menggunakan inkubator terkontrol fuzzy logic dan monitoring IoT** (dibawah bimbingan : Abdul Waris dan Junaidi Muhidong).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mutu hasil fermentasi biji kopi dengan inkubator terkendali *fuzzy logic*. Metode dalam penelitian ini yaitu *experimental* dengan melakukan fermentasi biji kopi pada inkubator menggunakan pengaduk dan tanpa pengaduk. Fermentasi dilakukan selama 12 jam pada suhu 40°C dengan pengulangan sebanyak dua kali. Jumlah kopi yang difermentasi sebanyak 3,5 kg setiap perlakuan. Tahapan fermentasi: pengupasan kulit buah kopi, pencucian biji kopi, penimbangan biji kopi, dan pengukuran pH air pada wadah fermentasi. Setelah fermentasi dilakukan pengukuran pH air wadah fermentasi, pengujian warna biji kopi yang sudah dikeringkan, pengukuran kadar air biji kopi setelah dikeringkan, mengukur pH bubuk kopi, dan mengukur total asam tertitrasi pada kopi. Hasil fermentasi biji kopi menggunakan inkubator terkendali *fuzzy logic* mendekati mutu hasil penelitian sebelumnya dengan fermentasi biofermentor dan kopi luwak. Inkubator yang digunakan untuk fermentasi biji kopi cukup baik hal ini berdasarkan pada tidak terjadi *overshoot*, *error steady state* masih dalam range 2-5, *settling time* cukup pendek, dan energi yang digunakan relatif kecil selama proses fermentasi biji kopi. Kadar air biji kopi setelah dikeringkan menggunakan pengaduk yaitu 11,04% dan tanpa pengaduk 11,18%, warna biji kopi memiliki nilai chroma/intensitas warna ( $L^*$ ) tanpa pengaduk yaitu 37.25 dan menggunakan pengaduk 33,02 yang mendekati nilai L biofermentor (31,71), pH bubuk kopi tanpa pengaduk adalah 4,7 dan menggunakan pengaduk 4,3 mendekati biofermentor pH 4,93 dan kopi luwak 5,58 dan total asam titrasi bubuk kopi tanpa pengaduk adalah 1,62% dan menggunakan pengaduk 1,71% mendekati biofermentor 1,73 % dan kopi luwak 2,05%.

Kata kunci : fermentasi, *fuzzy logic*, inkubator, kualitas biji kopi

## ABSTRACT

SUNANDAR DJASBA. **Development of a coffee bean fermentation method using a fuzzy logic controlled incubator and IoT** (monitoring supervisor : Abdul Waris and Junaidi Muhidong).

This research aimed to determine the quality of coffee bean fermentation using a fuzzy logic controlled incubator. This research fermented coffee beans in an incubator using a stirrer and without using a stirrer. Fermentation was carried out for 12 hours at 40°C. The number of samples for each treatment was two. The amount of coffee fermented was 3.5 kg per sample. Fermentation stages consisted of peeling, washing, and weighing coffee beans as well as measuring water pH in the fermentation container. After fermentation, the next step was to measure water pH of fermentation container, color of dried coffee beans, water content of dried coffee beans, pH of coffee powder, and total titrated acid of coffee powder. The results of coffee bean fermentation using a fuzzy logic controlled incubator are close to the previous research which studied fermentation using biofermenter and luwak coffee fermentation. The used of incubator for coffee bean fermentation was quite good, since there was no overshoot, the steady state error was still in the range of 2-5, the settling time was quite short, and the energy used was relatively small during the coffee bean fermentation process. The water content of dried beans fermented using a stirrer was 11.04% and the water content of dried beans fermented without using a stirrer was 11.18%. Coffee beans using a stirrer had 33.02 chroma/color intensity ( $L^*$ ) value, and those without using a stirrer had 37.25, close to the L value of the biofermenter, which is 31.71. Coffee powder pH using a stirrer was 4.3 and using without a stirrer was 4.7, close to pH of biofermenter and luwak coffee fermentation, which is 4.93 and 5.58 respectively. Lastly, coffee ground using a stirrer had 1.71% of the total titrated acid, and that without a stirrer had 1.62%, which close to the total titrated acid of those using biofermenter and luwak coffee fermentation, which is 1.73% and 2.05% respectively.

Keywords: fermentation, fuzzy logic, incubator, coffee bean quality

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGAJUAN .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
PRAKATA .....	v
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Jenis Jenis Kopi.....	4
2.2 Pemanenan Buah Kopi .....	5
2.3 Kulit Buah Kopi .....	6
2.4 Teknik Pengolahan Kopi .....	7
2.5 Penyangraian ( <i>Roasting</i> ) .....	10
2.6 Fermentasi .....	11
2.7 Inkubator.....	16
2.8 Sistem Kontrol .....	16
2.9 Klasifikasi Sistem Kontrol .....	17
2.10 Mikrokontroler .....	24

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat .....	30
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	30
3.3 Prosedur Penelitian .....	30

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHSAN

4.1 Uji Fungsi Bagian Utama .....	45
4.2 Uji Kinerja .....	49
4.3 Uji Mutu .....	52

### BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan .....	56
----------------------	----

DAFTAR PUSTAKA.....	57
---------------------	----

LAMPIRAN .....	62
----------------	----

## DAFTAR TABEL

<b>NO</b>	<b>JUDUL</b>	
<b>HALAMAN</b>		
1.	Komposisi Kimia <i>Pulp</i> Biji Kopi.....	5
2.	Hasil Pengamatan pH Air Fermentasi .....	51
3.	Hasil Uji Warna Biji Kopi Sesudah Fermentasi .....	53

## DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL	HALAMAN
1.	Struktur Buah Kopi .....	6
2.	Sistem Kontrol Lup Tertutup .....	17
3.	Diagram Sistem <i>Fuzzy logic</i> .....	18
4.	Fuzzyfikasi Model Sugieno .....	19
5.	Representasi Kurva Segitiga .....	20
6.	Fuzzyfikasi Fariabel Masukan .....	20
7.	Inferensi <i>Fuzzy</i> Model Sugieno .....	23
8.	Sistem Control <i>Fuzzy</i> Lup Tertutup .....	24
9.	Sensor Suhu LM35.....	26
10.	<i>Solid State Relay</i> .....	27
11.	Diagram Alir Penelitian .....	31
12.	Ukuran Inkubator .....	33
13.	Tampak Dalam Inkubator .....	33
14.	Tampak Luar Inkubator .....	34
15.	Sistem kontrol dan monitoring inkubator.....	34
16.	Tahapan Proses <i>Software</i> Kontrol <i>Fuzzy</i> .....	36
17.	Fungsi Keanggotaan Masukan Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ).....	37
18.	Fungsi Keanggotaan Keluaran .....	37
19.	Matriks Kontrol <i>Fuzzy</i> Untuk Sistem Hibrid.....	38
20.	Diagram Alir Pemograman Sistem IoT .....	39
21.	Prosedur Pengujian Mutu Hasil Fermentasi.....	41
22.	Uji Pemanas.....	45
23.	Selisih Suhu Atas dan Bawah Fermentasi Biji Kopi $1^{\circ}\text{C}$ .....	46
24.	Penggunaan Volt pada Pengaduk Fermentasi .....	46
25.	Suhu Udara Selama Proses Fermentasi.....	47
26.	Visualisasi Data dari Thingspeak dan Lcd Arduino Uno.....	48
27.	Hasil Monitoring Suhu dan Daya Menggunakan Thingspeak .....	48
28.	Penggunaan Energi Listrik.....	49
29.	Visualisasi Daya yang Listrik Pemanas <i>Infrared</i> .....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pengamatan Kadar Air	62
Lampiran 2 Hasil Pengamatan Uji Warna	63
Lampiran 3 Hasil Pengamatan Ph Air	64
Lampiran 4 Hasil Pengamatan berat Pulip	64
Lampiran 5 Hasil Pengamatan Uji Total Asam Titrasi	65
Lampiran 6 Ph Bubuk Kopi	65
Lampiran 7 Hasil Pengamatan Energi	66
Lampiran 8 Dokumentasi Penelitian	67

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Fermentasi kopi terbagi atas fermentasi kering dan basah, pada tingkat petani fermentasi basah masih menggunakan bak atau kolam. Fermentasi tersebut memerlukan waktu cukup lama, suhu tidak dapat dikendalikan, dan rentan terkontaminasi dengan lingkungan sekitar sehingga mutu biji kopi yang dihasilkan petani masih kurang baik. Selain itu, mutu biji kopi yang kurang baik akan berpengaruh pada rendahnya harga jual pada biji kopi. Untuk meningkatkan mutu pada biji kopi, diperlukan pengelolaan yang baik pada petani kopi agar menghasilkan biji kopi yang beraroma dan citarasa yang baik (Ramanda et al, 2016). Menurut (Kusmiah dkk 2017), salah satu alternatif teknologi yang dapat digunakan agar biji kopi yang dihasilkan bermutu baik dan konsisten adalah fermentasi biji kopi dalam fermentor terkendali. Dalam fermentor dilengkapi dengan peralatan mekanik dan elektrik, bahkan beberapa diantaranya dilengkapi dengan sistem kontrol yang berguna untuk mengontrol variabel yang berpengaruh terhadap tujuan akhir fermentasi. Variabel yang dimaksud diantaranya pH, suhu, total asam, dan lain-lain.

Sistem kontrol *fuzzy logic* untuk biofermentor tipe Lab telah dikembangkan untuk fermentasi biji kopi robusta dan hasil yang diperoleh kadar air pada biofermentor lebih rendah dibandingkan secara konvensional dan kadar pulp lebih rendah yang menggunakan biofermentor dibandingkan konvensional (Kusmiah dkk ,2017). Kelebihan biofermentor adalah dapat mengontrol suhu air fermentasi biji kopi yang difermentasi seragam dan presisi. Kekurangannya adalah biofermentor membutuhkan sistem pengaduk, sumber panas harus dekat dengan wadah fermentasi dan membutuhkan beberapa sensor. Oleh karena itu penerapan biofermentor untuk skala besar mengalami kendala. Untuk mengatasi kekurangan tersebut dibutuhkan suatu alat yang lebih sederhana yaitu fermentasi dengan sistem pengaduk tanpa sensor, dan

suhu dapat terkendali dengan presisi. Oleh karena itu akan dikembangkan alat yang terdiri dari ruang fermentasi biji kopi dan sistem control *fuzzy logic* yang dapat menyeragamkan suhu udara ruang fermentasi dan stabil.

Salah satu sistem kontrol yang telah berhasil diterapkan pada mesin dan presisi untuk menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya bisa diselesaikan oleh para ahli.

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengembangan sistem kontrol *fuzzy logic* pada inkubator untuk fermentasi biji kopi. Dengan inkubator diharapkan mutu biji kopi dan jumlah produksi dapat ditingkatkan dalam skala yang relatif besar.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian diatas, maka dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana bentuk sistem kontrol *fuzzy logic* yang gabung dengan sistem IoT pada inkubator fermentasi kopi?
2. Bagaimana kaidah-kaidah kontrol *fuzzy logic* agar suhu inkubator dapat stabil?
3. Apakah mutu kadar air biji kopi dari proses fermentasi dengan inkubator sama dengan proses fermentasi konvensional dan memenuhi SNI ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Metode pengambil keputusan *fuzzy logic* yang digunakan adalah Sugeno.
2. Suhu ruang inkubator yang diterapkan yaitu 40 °C .
3. Standar mutu biji kopi (kadar air) sesuai SNI.
4. Jenis kopi yang digunakan adalah biji kopi Arabika.

#### **1.4 Tujuan dan Kegunaan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui mutu hasil fermentasi biji kopi menggunakan inkubator terkendali dan fermentasi biofermentor. Sehingga menghasilkan kopi dengan kualitas baik dan jumlah yang lebih besar, sebagai informasi dalam merancang inkubator fermentasi biji kopi dengan menggunakan pemanas inframerah berbasis *fuzzy logic*. Kegunaan dari penelitian ini yaitu dapat dijadikan sebagai alat alternatif dalam fermentasi biji kopi dan menjadi informasi bagi perancang dalam penerapan sistem kecerdasan di dalam pembuatan mesin pertanian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jenis - Jenis Kopi

Jenis kopi di dunia dibagi dalam empat kelompok besar yaitu kopi robusta, kopi arabika, kopi ekselsa dan kopi liberika. Kopi arabika dan kopi robusta secara komersial lebih banyak diproduksi dibandingkan kopi ekselsa dan kopi liberika. Kopi ekselsa dan kopi liberika kurang diproduksi karena mempunyai beberapa alasan antara lain karena mutu cita rasanya dan memiliki banyak variasi bentuk dan ukuran biji ( Rahardjo, 2013). Kopi arabika dan robusta menguasai sebagian besar perdagangan kopi di dunia. Namun dari segi produksi yang paling menonjol adalah kopi arabika. Dengan kualitas cita rasanya yang lebih baik dan kadar kafein yang lebih rendah menjadikan kopi arabika lebih mahal dibandingkan kopi robusta. Biji kopi robusta secara umum memiliki total padatan terlarut, pH, kafein, asam kafeolquinat yang lebih tinggi.

Kopi yang mempunyai pangsa pasar tertinggi di dunia adalah kopi arabika yang mempunyai 85%, diikuti robusta 10% dan sisanya kopi liberika dan ekselsa sebanyak 5%. Di Indonesia selain sebagai sumber penghasilan rakyat, kopi juga telah menjadi komunitas andalan ekspor dan sumber pendapatan devisa negara. Produksi komoditas kopi nasional didominasi oleh kopi robusta yang mencapai 90% sedangkan sisanya adalah kopi arabika (Rahardjo, 2013).

Buah kopi terdiri atas empat bagian yaitu biji kopi (*endosperm*), kulit biji (*endokarp*), lapisan *pulp* (*mucilage* atau *mesokarp*) dan *pulp* (*eksokarp*). Pengolahan buah kopi sehingga menjadi kopi beras menghasilkan empat macam hasil samping, yaitu: *pulp* kopi, *pulp* (*mucilage*), air bekas pencucian dan kulit biji kopi. *Pulp* kopi merupakan limbah pertama yang diperoleh dalam pengolahan buah kopi dan merupakan bagian terbesar dari hasil samping yang dihasilkan. Daging

buah kopi merah yang telah masak mengandung *pulp* dan senyawa gula yang rasanya manis. Lapisan *pulp* ini pada buah muda sangat sedikit dan bertambah hingga buah masak kemudian berkurang apabila buah telah lewat matang (Yusianto, 2003).

Tabel 1. Komposisi Kimia *Pulp* Biji Kopi  
Sumber : Dimas (2011)

Komponen	%Berat Kering*
Protein	9,17
Lemak	2,00
Serat Kasar	27,65
Gula Reduksi	12,40
Gula non reduksi	2,02
Abu	3,33
Tanin	4,47
Total Pektin	6,52

Lapisan *pulp* biji kopi mengandung 85% air dalam bentuk terikat, 15 % bahan padat yang tidak larut air, merupakan koloid hidrofilik terdiri dari  $\pm 80\%$  pektin dan  $\pm 20\%$  gula (Dimas, 2011).

## 2.2 Pemanenan Buah Kopi

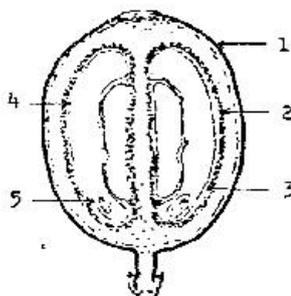
Pemanenan buah kopi yang umum dilakukan dengan cara memetik buah yang telah masak pada tanaman kopi adalah berusia mulai sekitar 2,5 - 3 tahun. Buah matang ditandai oleh perubahan warna kulit buah. Kulit buah berwarna hijau tua adalah buah masih muda, berwarna kuning adalah setengah masak dan jika berwarna merah maka buah kopi sudah masak penuh dan menjadi kehitam-hitaman setelah masak penuh terlampaui (*over ripe*) (Starfarm, 2010).

Untuk mendapatkan hasil yang bermutu tinggi, buah kopi harus dipetik dalam keadaan masak penuh. Kopi robusta memerlukan waktu 8-11 bulan sejak dari kuncup sampai matang, sedangkan kopi arabika 6

sampai 8 bulan. Beberapa jenis kopi seperti kopi liberika dan kopi yang ditanam di daerah basah akan menghasilkan buah sepanjang tahun sehingga pemanenan bisa dilakukan sepanjang tahun. Kopi jenis robusta dan kopi yang ditanam di daerah kering biasanya menghasilkan buah pada musim tertentu sehingga pemanenan juga dilakukan secara musiman. Musim panen ini biasanya terjadi mulai bulan Mei/Juni dan berakhir pada bulan Agustus/September (Ridwansyah, 2003). Kadangkala ada petani yang memperkirakan waktu panennya sendiri dan kemudian memetik buah yang telah matang maupun yang belum matang dari pohonnya secara serentak. Dahan-dahan digoyang-goyang dengan menggunakan tangan sehingga buah-buah jatuh ke dalam sebuah keranjang atau pada kain terpal yang dibentangkan di bawah pohon. Metode ini memang lebih cepat, namun menghasilkan kualitas biji kopi yang lebih rendah (Starfarm, 2010b).

### 2.3 Kulit Buah Kopi

Kulit buah kopi sangat tipis mengandung klorofil serta zat warna lainnya. Daging buah terdiri dari 2 bagian yaitu bagian luar yang lebih tebal dan keras serta bagian dalam yang sifatnya seperti gel atau lendir. Pada lapisan lendir ini terdapat sebesar 85% air dalam bentuk terikat dan 15% bahan koloid yang tidak mengandung air. Bagian ini bersifat koloid hidrofilik yang terdiri dari  $\pm 80\%$  pektin dan  $\pm 20\%$  gula. Bagian buah yang terletak antara daging buah dengan biji (*endosperm*) disebut kulit tanduk (Simanjuntak, 2012).



Gambar 2.1 Struktur Buah Kopi

Sumber: Simanjuntak (2012)

Keterangan:

1. Lapisan kulit luar (*exocarp*)
2. Lapisan daging (*mesocarp*)
3. Lapisan kulit tanduk (*endocarp*)
4. Kulit ari
5. Biji kopi

## **2.4 Teknik Pengolahan Kopi**

Berdasarkan cara kerjanya, pengolahan buah kopi dibedakan 2 macam yaitu pengolahan basah (*wet process*) dan kering (*dry process*) (Bonita et al., 2007). Perbedaan tersebut terletak pada cara kering, pengupasan daging buah, kulit tanduk dan kulit ari dilakukan setelah kering sedangkan pada cara basah, pengupasan daging buah dilakukan sewaktu masih basah.

### **2.4.1 Pengolahan Kopi Cara Basah (*Wet Process*)**

#### **a. Pengupasan kulit buah**

Pengolahan kopi diawali dengan pengupasan kulit buah dengan mesin pengupas (*pulper*) tipe silinder untuk kemudian menghasilkan kopi HS. Kopi HS yaitu biji kopi yang masih terbungkus kulit tanduk (Prastowo, 2010). *Pulper* yang digunakan dapat dipilih dari bahan dasar yang terbuat dari kayu atau metal. Prosesnya menggunakan air yang dialirkan ke silinder bersama dengan buah yang akan dikupas. Penggunaan air bertujuan untuk memudahkan pengupasan (Mayrowani, 2013).

#### **b. Fermentasi biji kopi**

Tujuan fermentasi menurut Prastowo (2010) adalah untuk menghilangkan lapisan lendir pada kulit tanduk kopi. Fermentasi juga bertujuan untuk mengurangi rasa pahit dan menimbulkan kesan *mild* pada citarasa seduhannya. Cara fermentasi yang dilakukan biasanya dengan perendaman biji ke dalam air atau secara kering dengan penyimpanan dengan kondisi tertutup selama 12 sampai 36 jam.

Menurut Najiyati dan Danarti (2004), fermentasi kopi dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan cara basah dan cara kering. Fermentasi dengan cara basah dapat dilakukan dengan merendam kopi

di dalam air selama 36-40 jam. Jika perendaman lebih dari 40 jam, maka kopi memiliki mutu yang rendah karena timbulnya bau busuk pada biji kopi. Fermentasi secara kering dapat dilakukan dengan cara menumpuk kopi di tempat yang teduh selama 2-3 hari.

Fermentasi pada metode olah basah menurut Cortez dan Menezes (2000) dalam Novita dkk. (2010) digunakan untuk menghilangkan lapisan lendir (*mucilage layer*) buah kopi dan meningkatkan mutu tanpa merusak lapisan biji. Menurut Yusianto dan Widyotomo (2013), fermentasi kopi secara umum menggunakan campuran khamir (*yeast*) dan bakteri. Penambahan kultur mikroorganisme bertujuan untuk memperbaiki mutu fisik dan citarasa kopi. Jenis inokulan yang umum digunakan dan aman bagi kesehatan manusia yaitu ragi tape, ragi tempe dan susu fermentasi (*yoghurt*). Bakteri asam laktat lebih disukai sebagai inokulum karena kopi yang dihasilkan mendekati kondisi fermentasi alamiah dengan proses yang penting yaitu asidifikasi.

#### c. Pencucian

Tujuan pencucian menurut Mayrowani (2013) adalah untuk menghilangkan lendir sisa fermentasi. Pencucian biji kopi dilakukan sampai biji sudah tidak terasa licin ketika dipegang. Pencucian untuk kapasitas kecil dapat dilakukan secara manual, namun jika kapasitas bahan besar perlu dilakukan dengan bantuan mesin.

#### d. Pengeringan

Pengeringan menurut Prastowo (2010) bertujuan untuk mengurangi kandungan air dalam biji kopi menjadi 12%. Pengeringan dapat dilakukan dengan penjemuran, mekanis dan kombinasi keduanya. Menurut Najiyati dan Danarti (2004), pengeringan dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu:

##### 1) Pengeringan alami

Pengeringan alami hanya dilakukan pada musim kemarau karena pengeringan pada musim hujan tidak akan sempurna. Pengeringan yang tidak sempurna mengakibatkan kopi berwarna coklat, berjamur, dan

berbau apek. Pengeringan pada musim hujan sebaiknya dilakukan dengan cara buatan atau kombinasi cara alami dan buatan.

Penjemuran kopi yang baik dilakukan di lantai semen, anyaman bambu, atau tikar. Cara penjemurannya dengan dihamparkan di atas lantai dengan ketebalan maksimum 1.5 cm atau sekitar 2 lapisan. Setiap 1–2 jam hamparan kopi di bolak-balik dengan menggunakan mesin menyerupai garuh atau kayu sehingga keringnya merata. Bila matahari sedang terik, penjemuran biasanya berlangsung selama 10 sampai 14 hari, namun apabila mendung biasanya berlangsung selama tiga hari sampai satu minggu.

## 2) Pengeringan buatan

Pengeringan secara buatan biasanya dilakukan bila keadaan cuaca cenderung mendung menggunakan mesin pengering yang hanya memerlukan waktu sekitar 18 jam. Pengeringan ini dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama, pemanasan pada suhu 65-100°C untuk menurunkan kadar air dari 54% menjadi 30%. Tahap kedua pemanasan pada suhu 50°C sampai 60°C untuk menurunkan kadar air menjadi 8-10%.

## 3) Pengeringan kombinasi alami dan buatan

Pengeringan ini dilakukan dengan cara mengeringkan kopi menggunakan sinar matahari hingga kadar air mencapai 30%. Kemudian kopi dikeringkan lagi menggunakan alat pengering sampai kadar air mencapai 8-10%. Mesin pengering yang digunakan ialah mesin pengering otomatis ataupun dengan tungku pengering. Prinsip kerja kedua mesin hampir sama, yaitu pemanasan kopi dengan uap/udara di dalam ruang tertutup.

### **2.4.2 Pengolahan Kopi Cara Kering (*Dry Process*)**

Pengolahan kopi cara kering menurut Peraturan Menteri Pertanian (2012) yaitu dilakukan dengan pengeringan buah kopi sehingga dihasilkan buah kopi kering. Buah kopi kering tersebut dikupas sehingga dihasilkan biji kopi siap disangrai.

a. Pengerangan

Buah kopi yang telah dipanen segera dikeringkan agar tidak mengalami proses kimia sehingga dapat menurunkan mutunya. Pengerangan dapat dilakukan dengan menggunakan para-para, lantai jemur dan terpal. Pengerangan umumnya memerlukan waktu 2-3 minggu dengan menggunakan sinar matahari. Pengerangan juga dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengering hingga kadar air maksimal mencapai 12,5%.

b. Pengupasan kulit kering (*hulling*)

Pengupasan kulit buah kopi kering bertujuan untuk memisahkan biji kopi dari kulit buah, kulit tanduk dan kulit ari. Pengupasan dilakukan dengan menggunakan mesin pengupas (*huller*).

## 2.5 Penyangraian (*Roasting*)

Proses penyangraian merupakan tahapan pembentukan aroma dan cita rasa khas kopi dengan perlakuan yang panas dan kunci dari proses produksi kopi bubuk. Proses sangrai diawali dengan penguapan air yang ada di dalam biji kopi dengan memanfaatkan panas yang tersedia dari kompor dan kemudian di ikuti oleh pereaksi pirolisis.reaksi ini merupakan reaksi dekomposisi senyawa hidrokarbon antara lain karbohidrat. Hemi selulosa dan selulosa yang ada dalam biji kopi.reaksi ini umumnya terjadi setelah suhu sangrai di atas 180°C. Secara kimiawi, proses ini di tandai dengan evolusi gas CO<sub>2</sub> dalam jumlah banyak dari ruang sangrai berwarna putih. Sedangkan secara fisik pirolisis di tandai dengan perubahan warna biji kopi yang semua kehijuan menjadi kecoklatan. Kisaran suhu sangria yang umum adalah sebagai berikut:

1. Suhu 190-195°C untuk tingkatan sangria ringan (warna cokelat muda )
2. Suhu 200-205°C untuk tingkatan sangrai medium (warna cokelat agak gelap)

3. Suhu diatas 250°C untuk tingkat sangrai gelap dan warna cokelat tua Cenderung agak hitam.(Pusat Penelitian Kopi Dan Kakao Indonesia, 2007).

Sesudah proses penyangraian selesai, biji kopi hasil sangrai tidak berlanjut. Selama pendinginan biji kopi sangrai diaduk agar proses sangraian menjadi ratadan tidak berlanjut (*over roasted*). Untuk bak pendinginan yang dilengkapi dengan kipas mekanis , sisa kulitari yang terlepas biji kopi saat proses sangrai akan terhisap sehingga biji kopi sangrai lebih bersih (Pusat Penelitian Kopi Dan Kakao Indonesia, 2007).

## 2.6 Fermentasi

Fermentasi berasal dari kata *fervere* (latin), yang berarti mendidih, menggambarkan aksi ragi pada ekstrak buah selama pembuatan minuman beralkohol. Pengertian fermentasi agak berbeda antara ahli mikrobiologi dan ahli biokimia. Pengertian fermentasi dikembangkan oleh ahli biokimia yaitu proses yang menghasilkan energi dengan perombakan senyawa organik. Ahli mikrobiologi industri memperluas pengertian fermentasi menjadi segala proses untuk menghasilkan suatu produk dari kultur mikroorganisme.

Fermentasi juga dapat diartikan sebagai suatu disimilasi senyawa-senyawa organik yang disebabkan oleh aktivitas mikroorganisme. Disimilasi merupakan reaksi kimia yang membebaskan energi melalui perombakan nutrien. Pada proses disimilasi, senyawa substrat yang merupakan sumber energi diubah menjadi senyawa yang lebih sederhana atau tingkat energinya lebih rendah. Reaksi disimilasi merupakan aktivitas katabolik sel . Proses fermentasi mendayagunakan aktivitas suatu mikroba tertentu atau campuran beberapa spesies mikroba. Mikroba yang banyak digunakan dalam proses fermentasi antara lain khamir, kapang dan bakteri. Kemajuan dalam bidang teknologi fermentasi telah memungkinkan manusia untuk memproduksi berbagai produk yang tidak dapat atau sulit diproduksi melalui proses kimia (lucia, 2008).

### 2.6.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Fermentasi Kopi

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi fermentasi menurut Yusianto (2013) adalah:

#### a. Inokulum

Berdasarkan penelitian Yusianto dan Widyotomo (2013) bahwa inokulan menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi citarasa seduhan kopi. Inokulan khamir dalam fermentasi kopi akan membentuk citarasa alkohol pada seduhan kopi. Inokulan bakteri asam laktat akan mendukung pembentukan citarasa acidifikasi. Kondisi ini lebih mendekati fermentasi alamiah sehingga citarasanya lebih disukai.

#### b. Suhu Fermentasi

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan Yusianto dan Widyotomo (2013) tentang fermentasi kopi dengan suhu 30°C, 35°C dan 40°C diperoleh hasil bahwa fermentasi pada suhu 35°C memiliki total nilai citarasa lebih besar dari 80 dan tidak memiliki cacat citarasa. Fermentasi yang dilakukan pada suhu 40°C juga memiliki nilai citarasa lebih dari 80 namun memiliki cacat yaitu mengandung biji warna coklat.

#### c. Waktu Fermentasi

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Rubiyo dan Towaha (2013) tentang fermentasi kopi robusta dengan menggunakan mikroba probiotik yang diisolasi dari *caecum* (usus buntu) luwak, menunjukkan bahwa perlakuan fermentasi yang dilakukan selama 7 hari mempunyai skor citarasa yang rendah. Rendahnya citarasa tersebut dikarenakan fermentasi berlangsung secara berlebihan sehingga rasa kopi menjadi terlalu ringan dan bercitarasa buruk. Sejalan dengan hal tersebut.

Avallone dkk. (2002) dan Waller dkk. (2007) menyatakan bahwa fermentasi yang berlangsung secara berlebihan dapat terjadi pembentukan asam propionat atau asam butirat yang bertanggung jawab terhadap citarasa kopi yang buruk. Senyawa kimia yang tidak dikehendaki tersebut dapat menimbulkan karakteristik cacat rasa pada citarasa kopi sehingga dapat mengurangi nilai total skor *cuptest*

### 2.6.2 Perubahan Selama Fermentasi Kopi

Perubahan yang terjadi selama fermentasi menurut Schwan dan Fleet (2015) yaitu:

a. Pemecahan getah komponen *mucilage*

Fermentasi akan terjadi penguraian komponen protopektin oleh enzim katalase dari buah kopi. Pemecahan ini akan berjalan cukup cepat pada pH 5,5-6,0 dan apabila pH diturunkan sampai 3,65, pemecahan akan 3 kali lebih cepat. Menurut Mulato dkk. (2006), dalam fermentasi dapat ditambahkan 0.025 persen enzim pektinase yang dihasilkan dari isolasi sejenis kacang. Penambahan enzim dan peningkatan suhu akan menyebabkan fermentasi dapat berlangsung selama 5 sampai 10 jam, sedangkan fermentasi yang alami diperlukan waktu sekitar 36 jam.

b. Pemecahan Gula

Sukrosa merupakan komponen penting dalam daging buah kopi. Kadar gula akan meningkat dengan cepat selama proses pematangan buah yang dapat dikenal dengan adanya rasa manis. Gula adalah senyawaan yang larut dalam air, oleh karena itu dengan adanya proses pencucian lebih dari 15 menit akan banyak menyebabkan terjadinya banyak kehilangan konsentrasinya. Proses difusi gula dari biji melalui *parchment* ke daging buah yang berjalan sangat lambat. Proses ini terjadi sewaktu perendaman dalam bak pengumpul dan pemisahan buah. Oleh karena itu kadar gula dalam daging biji akan mempengaruhi konsentrasi gula di dalam getah beberapa jam setelah fermentasi. Sebagai hasil proses pemecahan gula adalah asam laktat dan asam asetat dengan kadar asam laktat yang lebih besar. Asam-asam lain yang dihasilkan dari proses fermentasi ini adalah etanol, asam butirat dan propionat. Asam lain akan memberikan onion flavor (Ridwansyah, 2003).

c. Perubahan warna kulit

Perubahan warna (*browning*) selama fermentasi disebabkan karena adanya oksidasi polifenol. Pencoklatan ini tidak dikehendaki karena biji kopi akan berwarna coklat dan kurang menarik, namun pencoklatan dapat dicegah dengan penggunaan air pencucian yang

bersifat alkali. Menurut Yusianto dan Widyotomo(2013), penggunaan suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kadar biji cacat berwarna coklat lebih banyak dibanding kopi yang difermentasi pada suhu ruang. Biji berwarna coklat merupakan cacat fisik kategori 1 yang berpengaruh langsung terhadap citarasa seduhan kopi

#### d. Penurunan pH

Suprihatin (2010), menyebutkan bahwa selama fermentasi akan diproduksi metabolit primer dan sekunder contohnya asam organik yang akan menurunkan nilai pH. Berdasarkan ketentuan pH *Quick Reference Food Charts*, batas pH makanan dan minuman adalah diantara 4-9. Jika tingkat keasaman kopi terlalu tinggi dapat dilakukan pengurangan keasaman (*deacidifikasi*) yaitu dengan cara pencucian (Farida dkk., 2013).

### **2.6.3 Mikroba Dalam Fermentasi Kopi**

Selama proses fermentasi biji kopi akan terjadi perubahan mikroba yang bekerja. Gambaran komposisi mikroba yang berperan dalam fermentasi antara lain yaitu infeksi awal secara cepat oleh khamir, dibawah dimana merubah gula menjadi alkohol, kemudian bakteri asam laktat yang menghasilkan asam (Fauzi, 2008).

#### a. Khamir

Selama proses fermentasi berlangsung mikroorganisme yang diharapkan tumbuh dan berkembang adalah khamir dan bakteri, karena berguna dalam mendapatkan biji kopi yang bermutu tinggi. Jenis khamir yang sering dijumpai selama fermentasi antara lain: *Saccharomyces cerevisiae*, *S.theobromae*, *S.ellipsoideus*, *S.apiculatus*, dan *S. Anomalous* (Manurung dan Soenaryo, 1978).

Suhu lingkungan yang optimum untuk pertumbuhan khamir adalah 25 - 30°C dan suhu maksimum 35 – 47°C. Khamir tumbuh baik pada kondisi aerobik, tetapi khamir fermentatif dapat tumbuh secara anaerobik meskipun lambat (Hasanah, 2009).

#### b. Bakteri Asam Laktat

BAL (Bakteri Asam Laktat) didefinisikan sebagai suatu kelompok bakteri gram positif, tidak menghasilkan spora, berbentuk bulat atau batang yang memproduksi asam laktat sebagai produk akhir metabolik utama selama fermentasi karbohidrat. BAL dikelompokkan ke dalam beberapa genus antara lain *Streptococcus* (termasuk *Lactococcus*), *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Lactobacillus* (Pato, 2003).

Metabolisme pokok dari bakteri asam laktat adalah kemampuannya untuk memfermentasi karbohidrat. Polisakarida terlebih dahulu akan dipecah menjadi gulasederhana. Fermentasi glukosa pada prinsipnya terdiri dari dua tahap yaitu pemecahan rantai karbon dari glukosa dan pelepasan paling sedikit dua pasang atom hydrogen, menghasilkan senyawa karbon lainnya yang lebih teroksidasi daripada glukosa dan senyawa yang teroksidasi tersebut direduksi kembali oleh atom hydrogen yang dilepaskan dalam tahap pertama, membentuk senyawa-senyawa lain sebagai hasil fermentasi. Pada *Leuconostoc* pemecahan glukosa menjadi asam piruvat, asam asetat/etanol dan CO<sub>2</sub> (Suwasono, 2006).

Ketika suhu bertambah sampai suhu optimum, kecepatan reaksi enzim naik karena energi kinetik bertambah. Bertambahnya energi kinetik akan mempercepat gerak vibrasi, translasi, dan rotasi baik enzim maupun substrat. Hal ini akan memperbesar peluang enzim dan substrat bereaksi. Ketika suhu lebih tinggi dari suhu optimum, protein berubah konformasi sehingga gugus reaktif terhambat. Perubahan konformasi ini dapat menyebabkan enzim terdenaturasi.

Pada umumnya, enzim-enzim bekerja sangat lambat pada suhu di bawah titik beku dan keaktifannya meningkat sampai 45°C. Hampir semua enzim mempunyai aktivitas optimal pada suhu 30°C sampai 40°C dan denaturasi mulai terjadi pada suhu 45°C (Winarno 1992).

## 2.7 Inkubator

Inkubator dibagi menjadi beberapa fungsi dan kebutuhan pada laboratorium, sehingga penting untuk mengetahui apa saja jenis inkubator yang dapat digunakan sesuai kebutuhan kita, *CO2 incubator* (inkubator yang menyediakan karbondioksida), selanjutnya *Shaker incubator* (inkubator yang dilengkapi dengan pengocok untuk aerasi biakan), *Air Jacket CO2 Incubator* (Inkubator dengan Jaket CO2). Alat inkubator adalah salah satu alat yang sangat penting, karena alat ini memudahkan para tenaga kerja di laboratorium di rumah sakit untuk melakukan uji mikrobiologi baik itu kultur, uji antibiotik, uji fermentasi, penelitian dan lain-lain. Sehingga dapat membantu dokter untuk memberikan diagnosa yang akurat, memberikan resep obat, serta mengetahui langkah tindakan selanjutnya terhadap hasil mikrobiologi sesuai dengan jenis kuman atau bakteri yang telah diidentifikasi (Berlianto C.dkk, 2019)

## 2.8 Sistem Kontrol

Menurut (Ogata,1997),pada dasarnya sistem kontrol terbagi menjadi dua konsep yaitu:

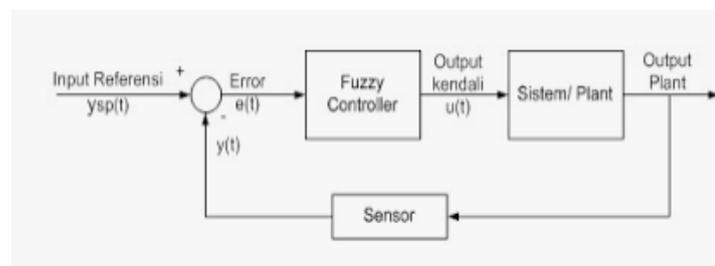
### 2.8.1 Sistem kontrol Lup Terbuka(Open-lup control System)

Sistem kontrol lup terbuka merupakan sistem kontrol yang dimana kinerjanya tidak terpengaruh terhadap luaran yang diperoleh. Contohnya pada mesin cuci yang mengontrol waktu perendaman, pencucian dan pembilasan akan tetapi tidak mengukur sinyal keluaran seperti kebersihan pakaian. Dengan demikian, untuk setiap masukan referensi ada beberapa kondisi operasi yang tidak berubah sehingga menyebabkan keakuratan sistem yang berharap pada hasil kalibrasi. Apabila terdapat error maka sistem lup terbuka tidak akan melakukan tugas yang diinginkan. Kontrol lup terbuka dapat beroperasi hanya apabila hubungan antara *input* dan *output* diketahui dan jika tidak ada gangguan internal maupun eksternal. Maka dari itu, sistem lup terbuka bukan merupakan sistem kontrol umpan balik (Ogata, 1997).

### 2.8.2 Sistem Kontrol Lup Tertutup (Closed-lup Control System)

Sistem kontrol lup tertutup biasanya disebut sebagai sistem kontrol yang memiliki umpan balik. Sinyal kesalahan atau kesalahan *drive* adalah perbedaan antara sinyal *input* atau sinyal masukan dengan umpan balik atau sinyal keluaran (mungkin itu adalah sinyal *output* itu sendiri atau fungsi dari sinyal *output* dan turunan serta integralnya) yang diberikan ke pengontrol untuk mengurangi kesalahan dan meningkatkan kinerja sistem untuk membawa ke nilai yang diinginkan. Sistem kontrol lup tertutup selalu membutuhkan penggunaan tindakan kontrol umpan balik untuk mengurangi kesalahan system (Ogata, 1997).

Umpan balik adalah system mekanis yang dirancang untuk mencapai dan mempertahankan keadaan yang diinginkan dengan mengukur keadaan awal sistem dan membandingkannya dengan keadaan yang diinginkan. Jika kesalahan terdeteksi diantara keduanya, sinyal koreksi dihasilkan secara otomatis yang membatalkan kesalahan. *Error* tersebut adalah perbandingan nilai target atau nilai target dengan nilai awal atau nilai sebenarnya (*current value*). Jika pembacaan terlalu kecil 9PV berarti nilai yang dibaca oleh sensor melebihi nilai yang diinginkan ( $PV > SP$ ) (Lutfhian, 2006)



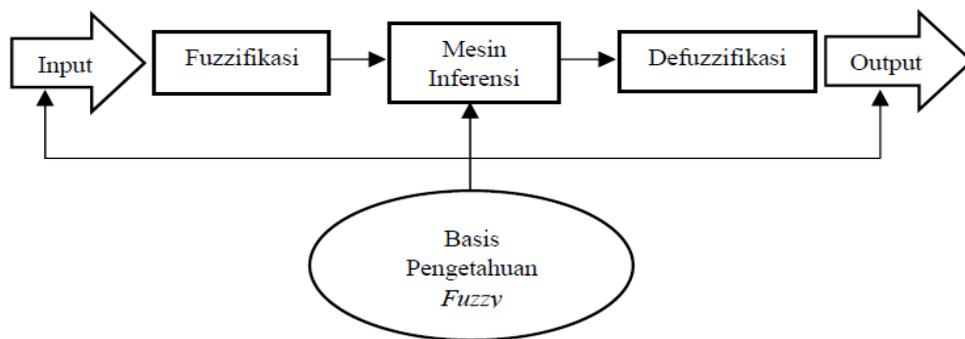
Gambar 2.2 Sistem kontrol lup tertutup (Lutfhian,2006)

### 2.9 Sistem Kontrol Kontinu dan Diskrit

Sistem Kontrol Kontinu bertujuan untuk menjaga variabel *output* pada *level* yang diinginkan, sama seperti operasi sistem kontrol umpan balik. Dalam prakteknya proses kontinu terdiri dari banyak jaringan umpan balik yang semuanya harus dikendalikan dan dikordinasikan untuk menjaga variabel *output* pada nilai yang diinginkan (Taufiqur, 2014).

### 2.9.1. Fuzzy Logic

*Fuzzy logic* merupakan teori matematika yang berhubungan dengan ketidakpastian. Pendekatan ini secara luas digunakan dalam pemodelan sistem non-linear dengan kompleksitas yang tinggi, dinamika tanaman yang tidak diketahui atau bisa berubah dengan cepat. Pendekatan ini intuitif, masukan dan keluaran variabel linguistik dijelaskan, dan desain algoritma kontrol terutama berdasarkan aturan jika- maka-lain (Iliev *et al.*, 2014).

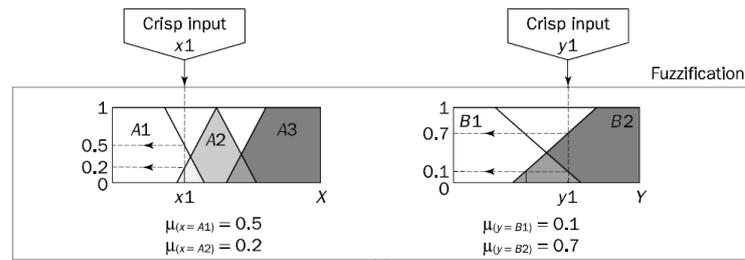


Gambar 2.3. Diagram sistem *fuzzy logic*.  
(Sumber: Hartanto, 2019).

Berdasarkan Gambar 2.2 di atas diketahui bahwa *fuzzy logic* terdiri 4 bagian utama yaitu fuzzifikasi, basis pengetahuan, sistem inferensi dan defuzzifikasi.

#### a. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi adalah proses membuat suatu kuantitas menjadi kabur. Hal tersebut dilakukan dengan mengakui bahwa banyak besaran yang dianggap jelas dan deterministik sebenarnya tidak deterministik sama sekali, hal tersebut membawa ketidakpastian yang cukup besar. Jika bentuk ketidakpastian muncul karena ketidaktepatan, ambiguitas, atau ketidakjelasan, maka variabel tersebut kemungkinan kabur dan dapat diwakili oleh fungsi keanggotaan (Ross, 2010).



Gambar 2.4. Fuzzifikasi model Sugeno (Negnevitsky, 2002).

Fuzzifikasi yaitu proses memetakan nilai *crisp* (numerik) ke dalam himpunan *fuzzy* dan menentukan derajat keanggotaannya di dalam himpunan *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* didasarkan pada gagasan untuk memperluas jangkauan fungsi karakteristik sedemikian hingga fungsi tersebut akan mencakup bilangan real pada interval  $[0,1]$ . Nilai keanggotaan menunjukkan suatu item dalam semesta pembicaraan tidak hanya bernilai 0 atau 1, namun juga nilai yang terletak diantaranya. Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1 yang dilambangkan dengan simbol  $\mu[x]$  (Kusumadewi dan Purnomo, 2004 dalam Hartanto, 2019).

Dalam teori *fuzzy*, himpunan *fuzzy*  $A$  dari semesta  $X$  didefinisikan oleh fungsi  $\mu_A(x)$  yang disebut fungsi keanggotaan himpunan  $A$  (Negnevitsky, 2002).

$$\mu_A(x) : X \rightarrow [0,1]$$

Dimana:

$\mu_A(x) = 1$  , jika  $x$  elemen dari himpunan  $A$ .

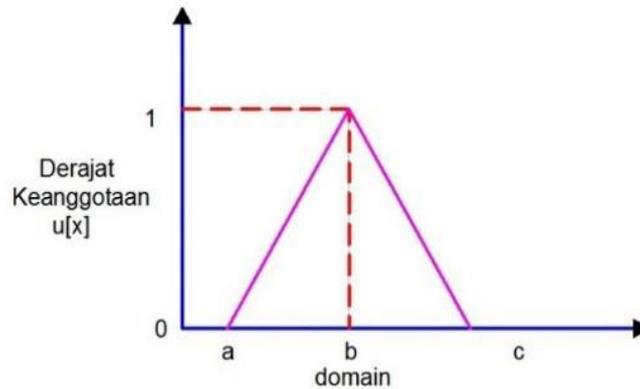
$\mu_A(x) = 0$ , jika  $x$  bukan elemen dari himpunan  $A$ .

$0 < \mu_A(x) < 1$  jika  $x$  bagian elemen dari himpunan  $A$ .

Terdapat beberapa bentuk kurva yang digunakan untuk mendesain fungsi keanggotaan seperti bentuk kurva linear, segitiga, trapezium dan Gauss (Kusumadewi dan Purnomo, 2004 dalam Hartanto, 2019). Namun,

pada penelitian ini akan digunakan kurva segitiga untuk mendesain fungsi keanggotaan.

Representasi kurva segitiga pada dasarnya merupakan gabungan antara dua garis (linear) seperti terlihat pada Gambar 2.6. berikut ini.

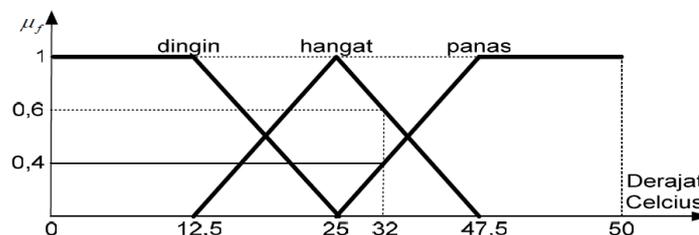


Gambar 2.5. Representasi kurva segitiga.  
(Sumber: Hartanto, 2019).

Fungsi keanggotaan segitiga adalah sebagai berikut.

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ (b - x)/(c - b); & b \leq x \leq c \end{cases}$$

Proses fuzzifikasi dapat diperlihatkan pada contoh berikut, jika suhu air merupakan suatu variabel linguistic, dengan nilai linguistic T (suhu) = {dingin, hangat, panas}, dimana semesta pembicaraannya terletak antara suhu 0 °C samapi dengan suhu 50 °C, dengan distribusi fungsi keanggotaan segitiga diperlihatkan pada gambar 2.7 (Zulaikah et al, 2011).



Gambar 2.6. Fuzzifikasi variabel masukan.  
(Sumber: Zulaikah et al, 2011).

Jika masukan adalah suhu sebesar 32 °C, maka fuzzifikasi menghasilkan nilai linguistic dingin dengan derajat keanggotaan 0, hangat dengan derajat keanggotaan 0,6 dan panas dengan derajat

keanggotaan 0,4. Syarat jangkauan masukan untuk fuzzifikasi adalah berada dalam semesta pembicaraan *fuzzy* (Zulaikah et al, 2011).

### **b. Basis pengetahuan**

Pengetahuan sistem kendali sebagai pedoman evaluasi keadaan sistem untuk mendapatkan keluaran kendali sesuai yang diinginkan oleh perancang. Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan *fuzzy* (Zulaikah et al, 2011).

#### a) Basis data

Basis data mencakup perancangan fungsi keanggotaan untuk variabel masukan dan keluaran, pendefinisian semesta pembicaraan dan penentuan variabel linguistik setiap variabel masukan dan keluaran (Zulaikah et al, 2011).

#### b) Basis aturan

Basis aturan kendali *fuzzy* digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel masukan dan variabel-variabel keluaran. Basis aturan *fuzzy* merupakan kumpulan pernyataan aturan 'JIKA-MAKA' atau '*IF-THEN*' yang didasarkan pada pengetahuan manusia untuk mengolah variabel masukan sehingga menghasilkan variabel keluaran dalam bentuk himpunan *fuzzy* (Zulaikah et al, 2011).

Menurut Negnevitsky (2002), aturan *fuzzy* dapat didefinisikan sebagai pernyataan bersyarat dalam bentuk:

IF            x is A  
THEN        y is B

Dimana x dan y adalah variabel linguistik dan A dan B masing-masing adalah nilai linguistik yang ditentukan oleh himpunan *fuzzy* pada semesta pembicaraan X dan Y.

#### 1) Aturan 1

IF *speed is fast*  
THEN *stop long distance is long.*

#### 2) Aturan 2

IF *speed is slow*  
THEN *stop long distance is short*

### c. Sistem inferensi *fuzzy* Sugeno

Secara umum logika fuzzy sugeno adalah suatu logika yang digunakan untuk menghasilkan keputusan tunggal atau crisp saat defuzzifikasi, penggunaannya tergantung dari domain masalah yang terjadi. Dimana urutan prosesnya dimulai dari fuzzyfikasi, penerapan rule, defuzzifikasi dan output (Kusumadewi dan Purnomo, 2010 dalam Hariri, 2016).

Fuzzy sugeno pertama kali diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Sehingga metode ini sering dinamakan dengan metode TSK (Takagi-Sugeno Kang). Dimana logika *fuzzy* sugeno memiliki persamaan bentuk dengan metode *fuzzy* mamdani hanya berbeda pada output. Menurut Cox (1994) Dalam Buku Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan Edisi Dua Karya Sri Kusumadewi Halaman 46, metode TSK ini terdiri dari 2 jenis yaitu (Kusumadewi dan Purnomo, 2010 dalam Hariri, 2016).

#### a) Model fuzzy Sugeno orde-nol

Secara umum bentuk model fuzzy ini adalah:

$$\text{IF}(x_1 \text{ is } A_1) \square (x_2 \text{ is } A_2) \square (x_3 \text{ is } A_3) \square \dots \square (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN } z=k.$$

Dengan  $A_1$  sebagai himpunan fuzzy ke-1 sebagai antaseden, dan  $k$  adalah suatu konstanta (tegas) sebagai konsekuen. Dimana  $\square$  adalah operator *fuzzy* (*AND*, *OR*).

#### b) Model fuzzy Sugeno orde-1

Model Fuzzy Sugeno Orde-satu Secara umum bentuk model fuzzy sugeno orde-satu adalah:

$$\text{IF}(x_1 \text{ is } A_1) \square (x_2 \text{ is } A_2) \square \dots \square (x_n \text{ is } A_n) \text{ THEN} \\ z=p_1*x_1+\dots+p_n*x_n+q.$$

Dengan  $A_1$  adalah himpunan *fuzzy* ke- $i$  sebagai antaseden, dan  $p_i$  adalah suatu konstan (tegas) ke- $i$  dan  $q$  adalah konstanta dalam konsekuen. Dimana  $\square$  adalah operator *fuzzy* (*AND*, *OR*).

Untuk mempersingkat waktu inferensi *fuzzy* dapat digunakan spike tunggal, singleton, sebagai fungsi keanggotaan dari konsekuensi aturan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Michio Sugeno, 'Zadeh Jepang', pada tahun 1985 (Sugeno, 1985). Singleton, atau lebih tepatnya

*fuzzy singleton*, adalah himpunan *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan yang merupakan kesatuan pada satu titik tertentu pada semesta pembicaraan dan nol di tempat lain (Negnevitsky, 2002).

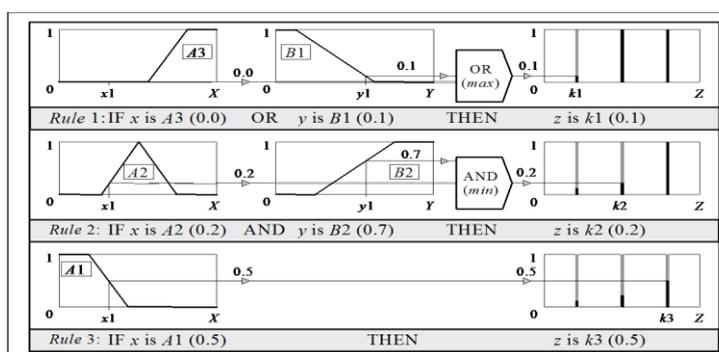
Inferensi *fuzzy* gaya Sugeno sangat mirip dengan metode Mamdani. Sugeno hanya mengubah aturan sebagai konsekuensinya. Alih-alih himpunan *fuzzy*, ia menggunakan fungsi matematika dari variabel input (Negnevitsky, 2002).

Apabila komposisi aturan menggunakan metode Sugeno maka defuzzifikasi dilakukan dengan cara mencari nilai rata-ratanya.

#### d. Defuzzifikasi

Langkah terakhir dalam proses inferensi *fuzzy* adalah defuzzifikasi. Ketidajelasan membantu kita untuk mengevaluasi aturan, tetapi hasil akhir dari sistem *fuzzy* harus berupa angka yang jelas. Masukan untuk proses defuzzifikasi adalah himpunan *fuzzy* keluaran agregat dan keluaran berupa bilangan tunggal (Negnevitsky, 2002).

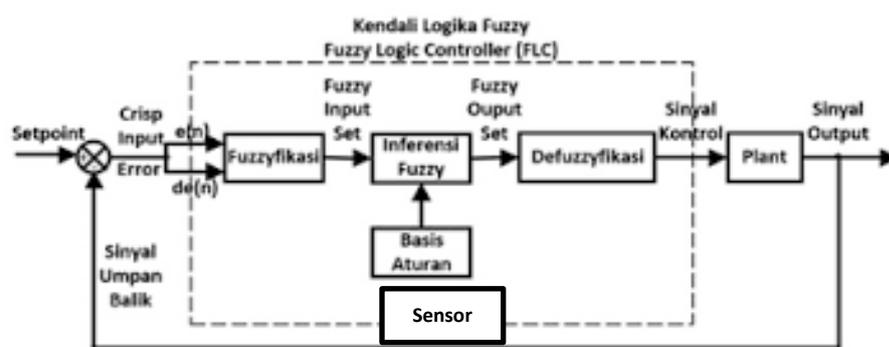
*Input* dari proses *defuzzification* adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Maka dari itu, apabila diberikan suatu himpunan pada *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai *crisp* tertentu sebagai *output* (Negnevitsky, 2002).



Gambar 2.7. Inferensi *fuzzy* model Sugeno.  
(Sumber: Naba, 2009).

Dalam kondisi tertentu, mungkin ada situasi dimana output dari proses *fuzzy* harus berupa besaran skalar tunggal sebagai lawan dari himpunan *fuzzy*. Defuzzifikasi adalah perubahan besaran *fuzzy* menjadi

besaran presisi, seperti halnya fuzzifikasi adalah pengubahan besaran presisi menjadi besaran *fuzzy*. Keluaran dari proses *fuzzy* dapat berupa gabungan logis dari dua atau lebih fungsi keanggotaan fuzzy yang didefinisikan pada semesta pembicaraan dari variabel keluaran (Ross, 2010).



Gambar 2.8 Sistem control fuzzy lup tertutup

## 2.10 Mikrokontroler

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan umumnya dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler umumnya terdiri dari CPU (*Central Processing Unit*), memori, I/O tertentu dan unit pendukung seperti Analog-to-Digital Converter (ADC) yang sudah terintegrasi di dalamnya. Kelebihan utama dari mikrokontroler ialah tersedianya RAM dan peralatan I/O pendukung sehingga ukuran *board* mikrokontroler menjadi sangat ringkas. Mikrokontroler MCS51 ialah mikrokomputer CMOS 8 bit dengan 4 KB Flash PEROM (*Programmable and Erasable Only Memory*) yang dapat dihapus dan ditulisi sebanyak 1000 kali. Mikrokontroler ini diproduksi dengan menggunakan teknologi *high density non-volatile memory* (Husnut, 2012).

Salah satu mikrokontroler yang baik untuk digunakan yaitu salah satunya adalah mikrokontroler ATmega32 karena penggunaannya dapat menghemat listrik. Kecepatan maksimal bisa mencapai 16 MHz (tanpa *overclock*) dan membutuhkan arus yang sangat kecil. Dengan mengeksekusi instruksi dalam satu (siklus) *clock* tunggal, ATmega32 memiliki kecepatan data rata-rata (*throughputs*) mendekati 1 MIPS per

MHz, yang memungkinkan perancang sistem dapat mengoptimalkan konsumsi daya dan kecepatan pemrosesan (Husnut,2012).

Berikut adalah fitur yang terdapat pada *microcontroller* ATmega328 yaitu:

- ADC (*Analog to Digital Converter*) 10 bit sebanyak 8 *channel*.
- Tiga buah *Timer/Counter*.
- Dua buah *timer/counter* 8 bit, satu buah *timer/counter* 16 bit.
- Tegangan operasi 2.7 V – 5.5 V pada ATmega 16L.
- Memori *flash* sebesar 32KB.
- Unit interupsi *internal* dan *external*.
- Port antarmuka SPI.
- EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
- Port USART yang dapat diprogram untuk komunikasi serial.
- 6 *channel* PWM.

### 1. NodeMCU ESP-8266

NodeMCU ESP8266 adalah *chip* terintegrasi yang dirancang untuk menghubungkan mikrokontroler dengan internet melalui Wi-Fi. Ia menawarkan solusi jaringan Wi-Fi yang lengkap dan mandiri, yang memungkinkan untuk menjadi host ataupun sebagai Wi-Fi *client*. ESP8266 memiliki kemampuan pengolahan dan penyimpanan on-board yang kuat, yang memungkinkannya untuk diintegrasikan dengan sensor dan aplikasi perangkat khusus lain melalui GPIOs dengan pengembangan yang mudah serta waktu loading yang minimal. Tingkat integrasinya yang tinggi memungkinkan untuk meminimalkan kebutuhan sirkuit eksternal, termasuk modul front-end, dirancang untuk mengisi daerah PCB yang minimal (Marvin,2017).

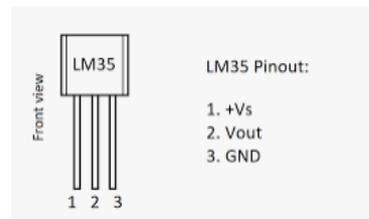
### 2. Sensor Suhu

Sensor suhu adalah alat yang digunakan untuk mengubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis besarnya. Beberapa jenis sensor suhu yaitu termistor, RDT, SHT11 dan

LM35 merupakan IC sensor suhu dengan bentuk yang mirip dengan transistor. Kaki IC ini hanya ada tiga, yaitu untuk VCC, Output, dan GND (Gambar 2.6). Sensor ini bisa digunakan untuk mengukur suhu dari  $-55^{\circ}$  –  $150^{\circ}$  celcius. Berdasarkan datasheet LM35, maka Kita bisa menggunakan pengukuran penuh ( $-55$  –  $150^{\circ}$  celcius) atau pengukuran sebagian yaitu hanya bisa menghitung dari  $2$  –  $150^{\circ}$  celcius. (Santoso, Heri, 2015)

Karakteristik Sensor Suhu LM35 Memiliki sensitivitas suhu, dengan faktor skala linier antara tegangan dan suhu  $10 \text{ mVolt}/^{\circ}\text{C}$ , sehingga dapat dikalibrasi langsung dalam celcius.

1. Memiliki ketepatan atau akurasi kalibrasi yaitu  $0,5^{\circ}\text{C}$  pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$
2. Operasi suhu antara  $-55^{\circ}\text{C}$  sampai  $+150^{\circ}\text{C}$ .
3. Bekerja pada tegangan 4 sampai 30 volt.
4. Memiliki pemanasan sendiri yang rendah (low- heating) yaitu kurang dari  $0,1^{\circ}\text{C}$  pada udara normal.
5. Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar  $\pm \frac{1}{4}^{\circ}\text{C}$



Gambar 2.9 Sensor Suhu LM35  
Sumber : Santoso Heri(2015)

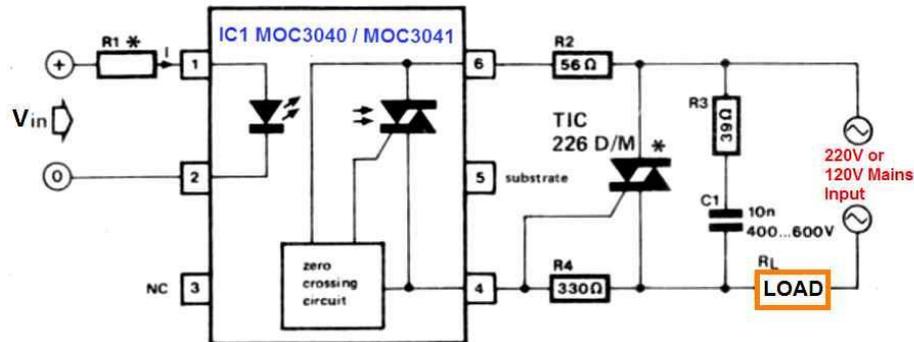
Gambar diatas menunjukkan bentuk dari LM35 tampak depan dan tampak bawah. 3 pin LM35 menunjukan fungsi masing-masing pin diantaranya, pin 1 berfungsi sebagai sumber tegangan kerja dari LM35, pin 2 atau tengah digunakan sebagai tegangan keluaran atau Vout dengan jangkauan kerja dari 0 Volt sampai dengan 1,5 Volt dengan tegangan operasi sensor LM35 yang dapat digunakan antar 4 Volt sampai 30 Volt.

### 3. Aktuator

#### a. Aktuator Digital

Salah satu aktuator digital yang sering digunakan yaitu SSR (*Solid State Relay*) yang merupakan relay elektronik tidak menggunakan

kontaktor mekanik. *Solid state relay* menggunakan kontaktor berupa komponen aktif seperti triac, sehingga *solid state relay* dapat dikendalikan dengan tegangan rendah dan dapat digunakan untuk mengendalikan tegangan AC dengan voltase besar (Budi, 2005).



Gambar 2.10 *Solid State Relay* (Budi 2005)

#### a. Infra Merah

Frederik William Herschel pertama kali menemukan cahaya inframerah hampir 200 tahun yang lalu. Musisi militer muda Jerman, sementara tugas di temporer dengan resimen Inggris, meninggalkan pekerjaan tentara dan menetap di Inggris. Dia serius mengejar hobinya sebagai astronomi. dedikasinya menghasilkan penemuan planet Uranus pada tahun 1781.

Frederik William Herschel bereksperimen dengan solarspektroskopi. Di laboratoriumnya, terdapat jendela yang tertutup dengan panel kayu dan memiliki celah kecil sebagai tempat masuknya cahaya. Pada cahaya tersebut ia meletakkan prisma untuk mengubah cahaya matahari menjadi spektrum warna. Tujuannya yaitu untuk mengukur konten panas setiap warna spektrum. Kemudian ia meletakkan termometer, pada bagian ruangan yang tidak terkena cahaya matahari, untuk memperhitungkan perbedaan suhu sekitar ruangan ia menggunakan beberapa termometer kontrol (Alan dan Daniel, 1998).

Tiga metode utama perpindahan panas yaitu :

- Konduksi yaitu membutuhkan kontak fisik antara material panas dan bahan dingin.

- Konveksi yaitu kasus khusus dari konduksi. Konveksi terjadi ketika gas atau cairan dipanaskan dan kemudian gas panas atau cairan bergerak ke daerah suhu rendah.
- Radiasi yaitu tidak memerlukan kontak fisik antara daerah panas dan dingin.

Pemanasan Inframerah (IR) termasuk pada radiasi, yang biasa disebut radiasi termal merupakan transfer energi antara dua benda di berbeda suhu. Radiasi infra merah adalah fenomena elektromagnetik, dan itu adalah bentuk gerakan gelombang. Semua tubuh dengan suhu di atas nol mutlak memancarkan radiasi infra merah. Keuntungan oleh radiasi inframerah secara signifikan lebih baik daripada pemanasan konveksi dan konduksi.

Salah satu jenis *heater* yang cukup populer adalah jenis *Infrared heater*. *Heater* jenis ini menggunakan gelombang infra merah untuk memanaskan area yang ada di sekelilingnya. Pemanas ruangan model ini disebut – sebut lebih hemat energi serta ramah lingkungan dibandingkan dengan pemanas ruangan yang konvensional. Cara kerjanya pun sedikit berbeda, karena menggunakan gelombang, maka radiasi panas yang dihasilkan hanya terasa bila kita berada di dekatnya atau masih dalam area paparan gelombangnya. Bila kita menyingkir sedikit saja dari arah gelombang, maka kita tak dapat merasakan panas yang dihasilkan. Dengan kata lain, alat ini tidak memanaskan seluruh isi ruangan maupun udara yang ada di ruangan tersebut, melainkan ke spesifik benda / personal dimana alat ini diarahkan (Architectaria, 2013).

Penentuan daya tegangan digunakan persamaan (Architectaria, 2013) :

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(12)$$

Komponen dasar dari oven inframerah biasanya termasuk emitor, sistem reflektor dan kontrol. Sebuah unit pemanas inframerah listrik umumnya diklasifikasikan oleh jenis emitor yang digunakan. Ketika mempertimbangkan inframerah untuk proses termal manufaktur, misalnya, gelombang pendek emitter inframerah menawarkan respon, tingkat

pemanasan terbesar tercepat dan efisiensi terbaik dikonversi tenaga listrik untuk radiasi inframerah, tetapi memiliki resistensi terendah dalam mekanik dan kehidupan elemen terpendek. Di sisi lain, gelombang panjang emitter inframerah sangat tahan lama, tetapi lambat untuk merespon proses perubahan, memberikan panas pada tingkat yang lebih rendah dan umumnya kurang efisien dalam mengkonversi listrik energi.

#### **b. Internet of Things ( IoT )**

Internet of Things adalah arsitektur sistem yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, dan Web, Karena perbedaan protokol antara perangkat keras dengan protokol web, maka di perlukan sistem embedded berupa gateway untuk menghubungkan dan menjembatani perbedaan protokol tersebut. Perangkat bisa terhubung ke internet menggunakan beberapa cara seperti Ethernet, WIFI, dan lain sebagainya. perangkat mungkin juga tidak terkoneksi dengan internet secara langsung, akan tetapi dibentuk kluster-kluster dan terhubung ke coordinator (Artiyasaetal,2020).