

**SCALE UP DAN PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL *EXPERT*  
BIOFERMENTOR BIJI KOPI**

**A. MUSAWWIRUL MUNIR SYASMAR  
G042192001**



**PROGRAM STUDI KETEKNIKAN PERTANIAN  
SEKOLAH PASCASARJANA  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**SCALE UP DAN PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL *EXPERT*  
BIOFERMENTOR BIJI KOPI**

**SCALE UP AND *EXPERT* CONTROL SYSTEM DEVELOPMENT  
ON COFFEE BEAN BIOFERMENTOR**

**A. MUSAWWIRUL MUNIR SYASMAR**

**G042192001**



**PROGRAM STUDI KETEKNIKAN PERTANIAN**

**SEKOLAH PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**SCALE UP DAN PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL *EXPERT*  
BIOFERMENTOR BIJI KOPI**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi

**Keteknikan Pertanian**

Disusun dan diajukan oleh

**A. MUSAWWIRUL MUNIR SYASMAR**

Kepada

**PROGRAM MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN**

**FAKULTAS PERTANIAN**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2023**

**TESIS****SCALE UP DAN PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL EXPERT  
BIOFERMENTOR BIJI KOPI**

Disusun dan diajukan oleh

**A. MUSAWWIRUL MUNIR SYASMAR**  
**Nomor Pokok G042192001**

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**

Ketua Program Studi  
Magister Keteknikan Pertanian



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



**Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP**  
**NIP. 19700603 199403 1 003**

Dekan Fakultas Pertanian  
Universitas Hasanuddin,



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

**PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : A. Musawwirul Munir Syasmar

NIM : G042192001

Program Studi : Keteknikan Pertanian

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis dengan judul **Scale Up Dan Pengembangan Sistem Kontrol Expert Biofermentor Biji Kopi** saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilan 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



A. Musawwirul Munis Syasmar

## PERSANTUNAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Dengan rahmat Allah SWT dan usaha yang maksimal, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “*Scale Up* Dan Pengembangan Sistem Kontrol *Expert* Biofermentor Biji Kopi”. Dalam penyusunan tesis ini, penulis banyak menghadapi tantangan dan hambatan sehingga penyusunan membutuhkan waktu yang cukup lama untuk mencapai hasil yang maksimal. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ayahanda **H.Syamsuddin S.Pd** dan Ibunda **Dra.Hj.A.Marhumah S** (Alm) serta saudara saya atas doa, dukungan, nasehat, motivasi dan membantu penulis selama melaksanakan pendidikan hingga selesai.
2. **Dr. Ir. Abdul Waris, MT** dan **Dr. Ir. Mahmud Achmad, M.P** sebagai pembimbing yang senantiasa memberikan arahan selama pelaksanaan penelitian hingga perampungan Tesis Selesai.
3. **Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP**, **Dr. Ir. Abdul Aziz S., STP, M.Si** dan **Dr. Sukamaluddin, SP., M.Sc**, yang senantiasa memberikan masukan dan koreksi pada Tesis Penelitian ini.
4. **Baharuddin, Nandar, Inal, Ridwan**, yang telah memberikan banyak dukungan serta bantuan dalam proses penelitian.

Penulis berharap semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembacanya dan Tuhan senantiasa membalas kebaikan semua pihak yang telah membantu. Aminnn....

Makassar, 27 Desember 2023

A. Musawwirul Munir Syasmar

## Abstrak

**A. MUSAWWIRUL MUNIR SYASMAR.** *Scale Up* Dan Pengembangan Sistem Kontrol *Expert* Biofermentor Biji Kopi. (Dibimbing oleh: **Abdul Waris** dan **Mahmud Achmad**).

Fermentasi biji kopi merupakan salah satu rangkaian proses pasca panen yang dapat mempengaruhi kualitas kopi. Penelitian sebelumnya, telah membuat dan meneliti biofermentor dengan kapasitas 1 kg, dan hasil penelitiannya menunjukkan mutu yang baik pada biji kopi yang difermentasi. Untuk menghasilkan biofermentor yang lebih besar, maka perlu dilakukan penelitian untuk *scale up* biofermentor tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan biofermentor biji kopi dengan kapasitas 5 kg yang dilengkapi dengan sistem kontrol *expert* yang dapat menghasilkan mutu biji kopi yang setara dengan mutu biji kopi yang dihasilkan luwak. Metode penelitian ini diawali dengan rancang bangun biofermentor yang dimulai dari penentuan kapasitas, perancangan fungsional, perancangan struktural, perakitan dan uji biofermentor dengan menggunakan kopi arabika sebanyak 5 kg selama 12 jam pada suhu 40°C. Selanjutnya dilakukan analisa data yang meliputi uji pH larutan fermentasi, kadar *pulp*, kadar air, warna biji kopi, pH bubuk kopi dan total asam tertitrasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kontrol biofermentor dapat bekerja dengan baik yang ditandai dengan tidak terjadi *overshoot*, *error steady state* kecil (2-5%), *settling time* pendek (80 menit) dan suhu stabil (sekitar 40°C). Uji mutu hasil fermentasi menunjukkan bahwa pH larutan fermentasi sebesar 5,56, *pulp* yang terlepas sebesar 14,54%, kadar air sebesar 11,7%, dan warna biji kopi notasi L\* sebesar 31,71. Hasil pengukuran ini hampir sama dengan hasil pengukuran biofermentor sebelum *scale up*. Nilai pH bubuk kopi sebesar 4,93 dan nilai total asam tertitrasinya sebesar 1,73%. Nilai-nilai ini mendekati pH dan total asam tertitrasi bubuk kopi luwak gayo, yaitu secara berurutan sebesar 4,84 dan 2,05%.

**Kata Kunci:** Biofermentor, *Expert* Sistem Kendali, Mutu

## **Abstract**

**A. MUSAWWIRUL MUNIR SYASMAR.** *Scale Up and Development of a Coffee Bean Biofermentor Expert Control System.* (Supervised by: **Abdul Waris** and **Mahmud Achmad** ).

Coffee bean fermentation is one of a series of post-harvest processes that can affect the quality of coffee. Previous research had made a biofermentor with a capacity of 1 kg. The research results showed good quality of fermented coffee beans. To increase the capacity of biofermentor (scale up), a research is need to be done. This research aimed to produce a coffee bean biofermentor with a capacity of 5 kg equipped with an *expert control system*, that can produce coffee bean quality equivalent to the quality of coffee beans produced by civets. This research method began with the design of a biofermentor started from capacity determination, functional design, structural design, assembly and testing of the biofermentor using 5 kg of Arabica coffee for 12 hours at a temperature of 40°C. Then, data analysis was carried out which included testing the pH of the fermentation solution, *pulp content*, water content, color of coffee beans, pH of coffee grounds and total titrated acid. The research results showed that the biofermentor control system can work well as indicated by no occurrence of overshoot, *small steady state error* (2-5%), short *settling time* (80 minutes) and stable temperature (around 40°C). The quality test of the fermentation results showed that the pH of the fermentation solution was 5.56, *the pulp* released was 14.54%, the water content was 11.7%, and the color of the L\* notation coffee beans was 31.71. This measurement result was almost the same as the biofermentor measurement result before *scale up*. The pH value of coffee grounds was 4.93 and the total titratable acid value was 1.73%. These values were close to the pH and total titratable acid of Gayo Luwak coffee powder, which were 4.84 and 2.05%, respectively.

**Keywords:** Biofermenter, *Expert Control System*, Quality

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>JUDUL</b> .....	ii
<b>PENGAJUAN</b> .....	iii
<b>PERSETUJUAN</b> .....	iv
<b>PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN</b> .....	v
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
 <b>BAB I. PENDAHULUAN</b>	
A. Latar belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Batasan Masalah .....	2
D. Tujuan Penelitian .....	3
 <b>BAB II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
A. Kopi Arabika .....	4
B. Kulit Buah Kopi .....	5
C. Teknik Pengolahan Kopi .....	6
D. <i>Scale Up</i> .....	15
E. Sistem Kontrol .....	16
F. Sistem Pakar ( <i>Expert Sistem</i> ) .....	17

**BAB III. METODE PENELITIAN**

A. Waktu dan Tempat.....	35
B. Alat dan Bahan Penelitian.....	35
C. Prosedur Penelitian.....	35

**BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

A. Uji Fungsi Bagian Utama .....	39
B. Uji Kinerja Biofermentor .....	42
C. Uji Mutu.....	45

**BAB V. PENUTUP**

A. Kesimpulan .....	51
---------------------	----

<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>52</b>
----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>58</b>
----------------------	-----------

## DAFTAR TABEL

<b>NO</b>	<b>JUDUL</b>	<b>HALAMAN</b>
1.	Syarat mutu umum biji kopi .....	4
2.	Komposisi Kimia <i>Pulp</i> Biji Kopi.....	6
3.	Jumlah Energi dan Estimasi Biaya.....	44
4.	Hasil Pengamatan Fermentasi Biji Kopi .....	46

## DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL	HALAMAN
1.	Struktur Buah Kopi .....	5
2.	Sistem Kontrol Lup Terbuka .....	16
3.	Sistem Kontrol Lup Tertutup .....	17
4.	Sensor Suhu LM35 .....	21
5.	<i>Solid State Relay</i> .....	22
6.	Diagram Alir Penelitian .....	26
7.	Model Biofermentor .....	28
8.	Sistem Kontrol dan Monitoring Biofermentor .....	29
9.	Diagram Alir Program Sistem Kontrol <i>Expert</i> .....	31
10.	Diagram Alir Pemrograman Sistem lot .....	33
11.	Prosedur Penguji Mutu Hasil Fermentasi .....	35
12.	Uji Tenaga Pemanas .....	39
13.	Uji Kontrol .....	40
14.	Uji <i>Internet Of Things</i> .....	41
15.	Suhu Air Fermentasi Biji Kopi .....	42
16.	Daya dan Energi yang Dikonsumsi Sistem.....	43
17.	pH Larutan Fermentasi .....	44
18.	Pulp Biji kopi Setelah Fermentasi .....	45

## DAFTAR LAMPIRAN

NO	JUDUL	HALAMAN
1.	Perhitungan Perancangan Kapasitas .....	58
2.	Suhu Air Selama Proses Uji Gain .....	61
3.	Respon Pengaduk <i>Setting Point</i> 40°C .....	62
4.	Suhu Air Fermentasi Selama Uji Kontrol .....	63
5.	Suhu Air Selama Proses Fermentasi .....	64
6.	Visualisasi suhu biofermentor .....	67
7.	Perhitungan Penyusutan Berat dan pH Larutan Fermentasi ..	70
8.	Pengamatan Mutu Kopi Hasil Fermentasi .....	72
9.	Hasil pengamatan energi yang digunakan .....	73
10.	Hasil uji mutu biji kopi Sebelum <i>Scale Up</i> .....	74
11.	Dokumentasi Selama Penelitian Berlangsung .....	75

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Fermentasi pada kopi merupakan bagian dari proses pengolahan pasca panen dengan metode pengolahan basah yang bertujuan untuk menghilangkan lendir yang masih terdapat dalam biji kopi. Fermentasi berpengaruh pada citarasa kopi yang terbentuk, jika terlalu lama maka akan menyebabkan citarasa yang menyimpang karena *over fermented*, sedangkan jika terlalu cepat akan menyebabkan citarasa yang kurang terbentuk (Gardjito dkk 2011).

Fermentasi cara basah pada tingkat petani 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 dkk, 2016).

Telah dirancang bangun biofermentor tipe laboratorium (Kapasitas 1kg) oleh Kusmiah dkk tahun 2017 dengan hasil pengamatan, *pulp* dengan menggunakan biofermentor lebih banyak terlepas daripada tanpa menggunakan biofermentor, *pulp* yang berkurang setelah fermentasi disebabkan oleh pemecahan glukosa oleh mikroba, pemecahan komponen ini menandakan bahwa proses fermentasi terjadi dengan sempurna. Pengujian warna  $L^*a^*b^*$ , menunjukkan bahwa warna biji kopi pada sampel menggunakan biofermentor kendali *fuzzy* digital agak gelap, warna gelap yang dihasilkan ini hampir sama dengan nilai  $L^*$  pada biji kopi hasil fermentasi luwak. Pengujian aroma perlakuan fermentasi yang dilakukan

dengan menggunakan biofermentor kendali *fuzzy* digital, berpengaruh terhadap aroma kopi seduhan yang dihasilkan, berdasarkan uji organoleptik menunjukkan bahwa fermentasi terkontrol memberikan aroma yang lebih khas dibandingkan dengan proses lainnya.

Dengan kapasitas 1 kg masih kurang untuk memenuhi kebutuhan produksi pada petani kopi. Oleh karena itu biofermentor tersebut perlu diperbesar (*scale-up*) dan penambahan sistem pengaduk yang dilengkapi sistem kendali. untuk meratakan suhu saat fermentasi dengan sistem kontrol yang relatif sederhana dan cukup presisi.

Salah satu sistem kontrol yang sederhana dan presisi adalah sistem kontrol *expert*. Sistem kontrol *expert* adalah Sistem Pakar (*Expert System*) yang dibuat bertujuan untuk menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya bisa diselesaikan oleh para ahli.

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai *scale-up* dan pengembangan sistem kontrol *expert* alat fermentasi biji kopi. Dengan biofermentor yang lebih besar diharapkan mutu biji kopi dapat ditingkatkan dalam skala yang relatif besar.

## **1.2 Rumusan Masalah**

1. Bagaimana bentuk sistem pengontrol *expert* pada biofermentor kopi yang diperbesar (*scale-up*) sebesar lima kali?
2. Bagaimana kaidah-kaidah kontrol *expert* agar biofermentor kopi dapat bekerja sesuai kriteria?
3. Apakah kadar air yang difermentasi menggunakan biofermentor dan konvensional waktu pengeringannya sama untuk mencapai kadar air SNI ?

## **1.3 Batasan Masalah**

Ruang lingkup penelitian yang dilakukan yaitu memperbesar (*scale-up*) kapasitas biofermentor kopi sebesar 5 kali. Sistem kendali yang diterapkan untuk mengontrol suhu air fermentasi adalah *expert*. Sumber panas adalah

lampu inframerah. Suhu atur yang ditetapkan dan dipertahankan pada biofermentor yaitu 40 °C.

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

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan biofermentor biji kopi dengan kapasitas 5 kg yang dilengkapi dengan sistem kontrol *expert* yang dapat menghasilkan mutu biji kopi yang setara dengan mutu biji kopi yang dihasilkan luwak.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu dapat dijadikan sebagai alternatif alat fermentasi kopi dalam menghasilkan kopi dengan kualitas yang baik, sebagai informasi dalam merancang biofermentor kopi dengan menggunakan pemanas inframerah berbasis *expert*.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kopi (*Coffee*)

Tanaman kopi merupakan komoditas ekspor unggulan yang dikembangkan di Indonesia karena mempunyai nilai ekonomis yang relatif tinggi di pasaran dunia. Permintaan kopi Indonesia dari waktu ke waktu terus meningkat karena seperti kopi Robusta mempunyai keunggulan bentuk yang cukup kuat serta kopi Arabika mempunyai karakteristik cita rasa (*acidity*, *aroma*, *flavour*) yang unik dan ekselen, Dua varietas pohon kopi yang dikenal secara umum yaitu Kopi Robusta (*Coffea canephora*) dan Kopi Arabika (*Coffea arabica*). Buah kopi jenis arabika dan robusta berbuah secara musiman. Robusta memerlukan waktu 8 -11 bulan dari mulai kuncup hingga matang. Jenis Arabika yang termasuk langka adalah speciality arabica. Syarat tumbuhnya tanaman kopi arabika adalah pada ketinggian 750-1500 dpl dengan suhu 15 -18 °C (Rahardjo, 2012).

Tabel 1. Syarat mutu umum biji Kopi (SNI,2008)

No	Kriteria	Satuan	Persyaratan
1.	Serangga hidup		Tidak ada
2.	Biji berbau busuk dan atau berbau kapang		Tidak ada
3.	Kadar air	% fraksi massa	Maks. 12,5
4.	Kadar kotoran	% fraksi massa	Maks 0,5

### 2.2 Kopi Arabika

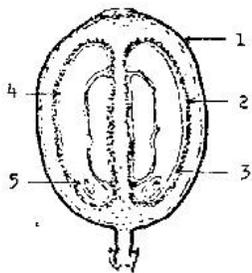
Kopi arabika berasal dari Etiopia dan Abessinia, kopi arabika dapat tumbuh pada ketinggian 700-1700 meter diatas permukaan laut dengan suhu 10°C - 16°C, dan berbuah setahun sekali. Ciri-ciri dari tanaman arabika yaitu, tinggi pohon mencapai 3 meter, cabang primernya rata-rata mencapai 123 cm, sedangkan ruas cabangnya pendek. Batangnya tegak, bulat, percabangan monopodial, permukaan batang kasar, warna batangnya kuning

keabu-abuan. Kopi arabika juga memiliki kelemahan yaitu, rentan terhadap penyakit karat daun oleh jamur *Hemileia Vastatrix* (HV), oleh karena itu sejak muncul kopi robusta yang tahan terhadap penyakit HV, dominasi kopi arabika mulai tergantikan (Aditya, 2015).

Biji kopi arabika berukuran cukup besar, dengan bobot 18-22 gr tiap 100 biji. Warna biji agak coklat dan biji yang terolah dengan baik akan mengandung warna agak kebiruan dan kehijauan. Yang bermutu baik dengan rasa khas kopi arabika yang kuat dengan rasa sedikit asam. Kandungan kafein 1-1,3%. Kopi arabika dikenal terlebih dahulu oleh konsumen di banyak negara, sehingga kelezatan kopi arabika lebih dikenal superior dibandingkan dengan kopi robusta (Panggabean, 2011).

### 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. Pada biji kopi kering mempunyai komposisi yaitu 12% air, 13% protein, 12% lemak, 9% gula, 1-1,5% caffeine (arabika), 2-2,5% (robusta), 9% caffetanic acid cellulose dan sejenisnya 35%, 4% abu, zat-zat lainnya yang larut dalam air 5% (Wachjar, 1984).



Keterangan:

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

Gambar 2.1 Struktur buah kopi

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, 2002).

Tabel 1. Komposisi kimia *pulp* biji kopi

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).

## 2.4 Teknik Pengolahan Kopi

Berdasarkan cara kerjanya, pengolahan buah kopi dibedakan 2 macam yaitu pengolahan basah (wet process) dan kering (*dry process*) (Bonita dkk, 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), 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 dkk (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.

Menurut Cortez dan Menezes (2000), fermentasi pada metode olah basah untuk mereduksi lapisan lendir (*mucilage layer*) buah kopi yang dilakukan lebih singkat (< 36 jam) ternyata mampu meningkatkan mutu

tanpa merusak lapisan biji kopi. 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), 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. Pengerinan

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

##### 1) Pengerinan alami

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

Buah kopi yang telah dipanen segera dikeringkan agar tidak mengalami proses kimia sehingga dapat menurunkan mutunya.

Pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan para-para, lantai jemur dan terpal. Pengeringan umumnya memerlukan waktu 2-3 minggu dengan menggunakan sinar matahari. Pengeringan 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 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Fermentasi Kopi

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

1) Inokulan

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.

2) Suhu Fermentasi

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.

3) 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) menyatakan bahwa fermentasi yang berlangsung secara berlebihan dapat terjadi pembentukan asam propionat atau asam butirrat 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 Perubahan Selama Fermentasi Kopi

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

### 1) 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.

### 2) 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).

### 3) 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

### 4) 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 (deasidifikasi) yaitu dengan cara pencucian (Farida dkk., 2013).

## 2.7 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).

### 1) Khamir

Selama proses fermentasi berlangsung mikroorganismenya 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).

### 2) 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 gulasesederhana. 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).

## **2.8 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 didalam biji kopi dengan memanfaatkan panas yang tersedia dari kompor dan kemudian diikuti 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 ditandai dengan evolusi gas CO<sub>2</sub> dalam jumlah banyak dari ruang sangrai berwarna putih. Sedangkan secara fisik pirolisis ditandai dengan perubahan warna biji kopi yang semua

kehijuan menjadi kecoklatan. Kisaran suhu sangria yang umum adalah sebagai berikut:

- a. Suhu 190-195°C untuk tingkatan sangria ringan (warna cokelat muda)
- b. Suhu 200-205°C untuk tingkatan sangrai medium (warna cokelat agak gelap)
- c. 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. Selamat 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).

## **2.9 Peningkatan skala (*Scale Up*)**

Menurut Hulbert (1998), peningkatan skala (*scale up*) merupakan tindakan menggunakan hasil penelitian yang diperoleh dari laboratorium untuk mendesain prototipe produk dan proses dalam sebuah pilot plant. Pengembangan produk (sumber dan formulasinya), pengujian unit operasi, pengembangan kinerja dari alat, dan penentuan titik kritis proses diperlukan untuk dapat melakukan peningkatan skala. Proses peningkatan skala membutuhkan kekuatan analisis dalam menentukan langkah-langkah yang akan dilakukan, diantaranya analisis terhadap kondisi operasi, desain, dan proses optimum.

Langkah pertama dalam pengembangan sebuah produk pangan baru adalah mendefinisikan proses yang dibutuhkan untuk membuat produk. Salahsatu perangkatnya adalah pengembangan diagram aliran proses yang menunjukkan laju produksi yang diinginkan dan materi yang dibutuhkan padasetiap tahapan proses. Langkah kedua adalah memecahkan masalah

yang masih terdapat dalam proses perbesaran skala. Dalam hal ini, uji coba yang bersifat kontinu perlu dilakukan untuk menentukan parameter optimum dan desain peralatan yang akan dimodifikasi pada skala yang lebih besar. Selain itu, interaksi kimia dan fisik yang bersifat kompleks dalam produk pangan perlu diperhatikan agar kerusakan produk terutama pada formulasi yang digunakan dapat dihindari. Hal ini akan membantu dalam penentuan ukuran dan ciri-ciri peralatan yang dibutuhkan atau spesifikasi alat yang akan menjadi referensi untuk pembelian (Hulbert, 1998).

Berdasarkan proses dan tingkat produksi yang diinginkan, penggandaan skala merupakan proses yang cukup sulit untuk diaplikasikan. Penggandaan skala merupakan proses menantang yang membutuhkan suatu perencanaan matang, fleksibel, dan pendekatan yang konsisten untuk meraih keberhasilan. Hal ini menyebabkan pergerakan produk dari tahap ke tahap akan menjadi lebih kompleks jika dijalankan dalam skala besar ini. Oleh karena itu, langkah yang harus diperhatikan dalam produksi skala besar diantaranya menentukan produk dan acuan paket termasuk definisi produk, ukuran dan tipe paket yang diinginkan, serta laju produksi (Scott, 2007).

## **2.10 Sistem Kontrol**

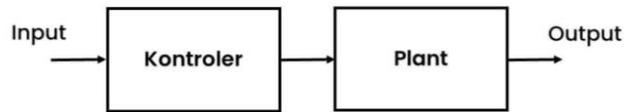
Sistem kendali (control system) merupakan suatu komponen yang memiliki proses pengendalian untuk mengatur atau mengubah suatu sistem berdasarkan masukan dan keluaran yang dihasilkan. Sistem kendali memiliki tiga unsur yaitu masukan, proses dan keluaran (Abustan, 2015).

Sistem kendali terdiri atas 2 yaitu sistem kendali loop terbuka dan sistem kendali loop tertutup (Ogata, 1984):

### **2.10.1 Sistem kendali Loop Terbuka (open-loop control system).**

Pada sistem kendali loop terbuka, sinyal keluarannya tidak berpengaruh langsung terhadap proses pengendalian. Sinyal keluaran yang dihasilkan tidak dapat dikembalikan untuk mengubah sinyal masukan.

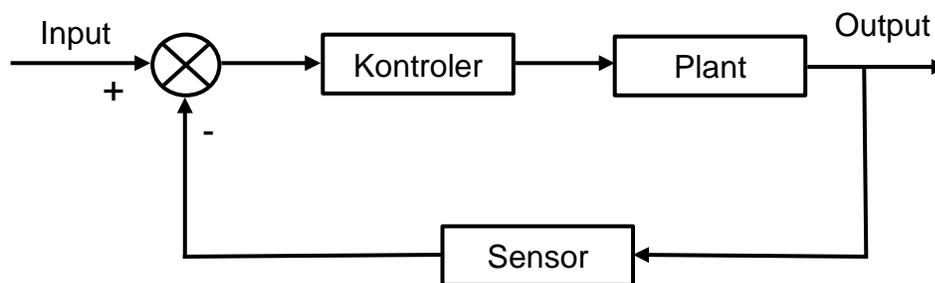
Sehingga setiap masukan memiliki kondisi yang tetap dan harus dilakukan kalibrasi terlebih dahulu.



Gambar 2.2 Diagram sistem kontrol loop terbuka

### 2.10.2 Sistem Kendali Loop Tertutup (closed-loop control system).

Pada sistem kendali loop tertutup, sinyal keluarannya berpengaruh langsung terhadap proses pengendalian. Sistem kendali loop tertutup disebut juga sebagai sistem kendali umpan-balik dikarenakan aksi umpan-balik yang terjadi dapat memperkecil kesalahan dari sistem tersebut.



Gambar 2.3 Diagram sistem kontrol loop tertutup

### 2.11 Sistem Pakar (*Expert Sistem*)

Sistem Expert atau sistem pakar merupakan aplikasi berbasis komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah sebagaimana yang dipikirkan oleh pakar. Pakar yang dimaksud disini adalah orang yang memiliki keahlian khusus yang dapat menyelesaikan masalah yang tidak dapat diselesaikan oleh orang awam. Sebuah sistem pakar memiliki 2 komponen utama yaitu berbasis pengetahuan dan mesin inferensi. Berbasis pengetahuan merupakan tempat penyimpanan pengetahuan dalam memori komputer, dimana pengetahuan ini diambil dari pengetahuan pakar. Sedangkan mesin inferensi merupakan otak dari aplikasi sistem pakar, bagian inilah yang menuntun user untuk memasukkan fakta sehingga diperoleh suatu kesimpulan (Mahdalena, 2017).

Bentuk umum sistem pakar adalah suatu program yang dibuat berdasarkan suatu set atau aturan yang menganalisis informasi dan biasanya diberikan oleh pengguna suatu sistem mengenai suatu kelas masalah spesifik serta analisis matematis dari masalah tersebut (Mahdalena, 2017).

Pengetahuan seorang pakar dapat dirumuskan sebagai pernyataan dalam bentuk IF-THEN yang disebut kaidah. Struktur IF-THEN berkaitan dengan informasi dengan kata lain fakta di bagian IF dan THEN merupakan sebuah tindakan (Negnevitsky, 2005).

Secara umum IF memiliki beberapa kondisi yang digabungkan dengan kata kunci AND atau OR.

IF < kondisi 1 > IF < kondisi 1 >

AND < kondisi 2 > OR < kondisi 2 >

.....

AND < kondisi n > OR < kondisi n >

THEN < tindakan > THEN < tindakan >

Bagian THEN dari kaidah juga dapat memiliki beberapa klausa:

IF < kondisi >

THEN < tindakan 1 >

THEN < tindakan 2 >

.....

< tindakan m >

Bagian IF dari kaidah terdiri dua bagian yaitu sebuah objek dan nilainya. Objek dan nilainya dihubungkan oleh operator (*is, are, is not, are not*). Operator mengidentifikasi objek dan memberikan nilai. Namun sistem pakar juga dapat menggunakan operator matematis untuk mendefinisikan suatu obyek sebagai numerik dan menetapkan ke nilai numerik, contohnya:

IF Suhu kolektor > 50C

AND Suhu tungku < dari 100C

THEN lakukan A, B, C, ...dst

## 2.12 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* ATmega32 yaitu:

1. Saluran I/O ada 32 buah, yaitu Port A, Port B, Port C, dan Port D.
2. ADC (*Analog to Digital Converter*) 10 bit sebanyak 8 *channel*.
3. Tiga buah *Timer/Counter*.
4. Tegangan operasi 2.7 V – 5.5 V pada ATmega 16L.
5. Internal SRAM sebesar 1 KB.
6. Memori *flash* sebesar 32KB dengan kemampuan *Read While Write*.
7. Unit interupsi *internal* dan *external*.

8. Port antarmuka SPI.
9. EEPROM sebesar 512 byte yang dapat diprogram saat operasi.
10. Port USART yang dapat diprogram untuk komunikasi serial.
- 11.4 *channel* PWM.

### **2.13 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).

### **2.14 Sensor**

Sensor adalah alat untuk mendeteksi/mengukur suatu besaran fisik sesuatu. Dalam lingkungan sistem pengendali dan robotika, sensor memberikan kesamaan yang menyerupai mata, pendengaran, hidung, lidah yang kemudian akan diolah oleh kontroler sebagai otaknya (Petruzella, 2001).

Salah satu jenis sensor yaitu sensor suhu LM35 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Sensor Suhu LM35 yang dipakai dalam penelitian ini berupa komponen elektronika elektronika yang diproduksi oleh National Semiconductor. LM35 memiliki keakuratan tinggi dan kemudahan perancangan jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain,

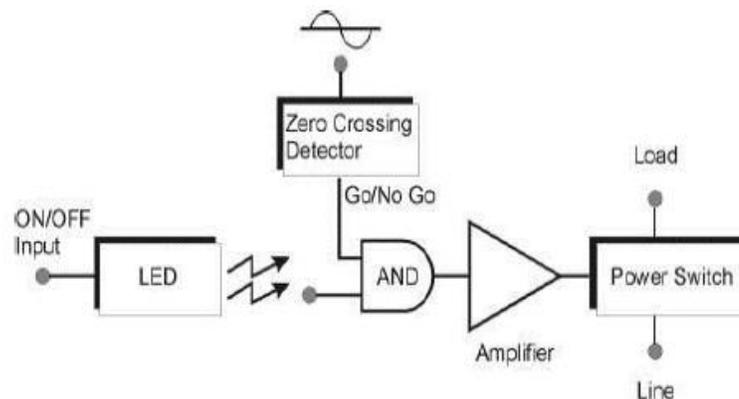


- 7) Memiliki impedansi keluaran yang rendah yaitu 0,1 W untuk beban 1 mA.
- 8) Memiliki ketidaklinieran hanya sekitar  $\pm \frac{1}{4} \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.15 Aktuator

Aktuator merupakan suatu penggerak mekanik untuk menggerakkan atau mengendalikan suatu mekanisme dalam sistem (Bolton, 2004).

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 2.5 Solid state relay

### 2.16 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 listrik digunakan persamaan (Architectaria, 2013):

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots (1)$$

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 radiasi infra merah (Alan dan Daniel, 1998).