

**TESIS**

**Pengembangan Sistem Kontrol *Expert* Pada  
Mesin Pengering Tipe Rak Yang Dilengkapi  
Mekanisme *Hybrid System***

**Yulismayanti**

**G042171001**



**PROGRAM MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN**

**FAKULTAS PERTANIAN**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**Pengembangan Sistem Kontrol *Expert* Pada  
Mesin Pengering Tipe Rak Yang Dilengkapi  
Mekanisme *Hybrid System***

**Tesis**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar  
Magister**



**Program Studi**

**Keteknikan Pertanian**

**Disusun dan diajukan oleh :  
YULISMAYANTI**

**Kepada**

**PROGRAM MAGISTER KETEKNIKAN PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**TESIS**

**PENGEMBANGAN SISTEM KONTROL *EXPERT*  
PADA MESIN PENGERING TIPE RAK YANG  
DILENGKAPI MEKANISME *HYBRID SYSTEM***

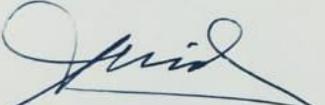
Disusun dan diajukan oleh

**YULISMAYANTI**  
**Nomor Pokok G042171001**

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis  
Pada Tanggal, 3 September 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui,  
Komisi Penasehat

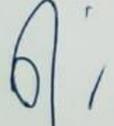
**Pembimbing Utama**

  
**Dr. Ir. Abdul Waris, MT**

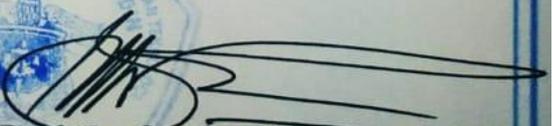
**Pembimbing Pendamping**

  
**Prof. Dr. Ir. Jupaidi Muhidong**

Ketua Program Studi  
Magister Keteknikan Pertanian

  
**Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP**

Dekan Fakultas Pertanian  
Universitas Hasanuddin,

  
**Prof. Dr. Sc. Agr. Ir. Baharuddin**



## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Yulismayanti  
Nomor Mahasiswa : G042171001  
Program Studi : Keteknikan Pertanian

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis 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, September 2021

Yang menyatakan



Yulismayanti

## PRAKATA

Puji syukur Penulis Panjatkan Kehadirat Allah SWT. Atas rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan Tesis berjudul “Pengembangan Sistem Kontrol *Expert* pada Mesin Pengering Tipe Rak yang Dilengkapi Mekanisme *Hybrid System*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana. 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.Panyauri** dan **Ayahanda H.Muh.Basri** yang telah memberi bantuan moril dan materil.
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. **Prof.Dr.Ir.Mursalim, Dr.rer.nat.Olly Sanny Hutabarat, S.TP., M.Si** dan **Dr.Ratni Retno Utami, S.TP., MT** selaku penguji yang telah memberikan arahan, kritik dan saran dalam penyusunan tesis ini.
5. **Frida, Arafah, Mardan, Azizah, Annisa, Icha** sebagai rekan mahasiswa yang telah membantu dalam proses penelitian.

Atas segala bantuan dan kebaikan dari semua pihak, kami ucapkan terimah kasih. Semoga Allah membalas semua kebaikan yang berlipat ganda.

Makassar, September 2021

Yulismayanti

## ABSTRAK

Yulismayanti (G042171001). Pengembangan Sistem Kontrol *Expert* pada Mesin Pengering Tipe Rak yang Dilengkapi Mekanisme *Hybrid System* dibawah bimbingan: Abdul Waris dan Junaidi Muhidong.

Salah satu mesin pengering yang umum digunakan oleh masyarakat yaitu mesin pengering tipe rak. Namun mesin pengering tipe rak efisiensinya cukup rendah, oleh karena itu telah dirancang mesin pengering tipe rak yang dilengkapi mekanisme *hybrid* tapi belum diketahui bagaimana kinerja mesin pengering tersebut bila dikendalikan dengan kontrol *expert*. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan kontrol *expert* yang dapat diterapkan pada mesin pengering tipe rak dengan mekanisme *hybrid system* sehingga kinerja mesin pengering tersebut meningkat. Metode penelitian meliputi pengembangan kaidah *expert* untuk diterapkan pada mesin pengering tipe rak dengan menggunakan metode sistem *hybrid* dan *non hybrid* dengan *setting point* 60°C dan dilakukan serangkaian uji dengan menggunakan pati sagu segar sebesar 10 kg untuk melihat tingkat keberhasilan pada sistem kontrol. Hasil uji menunjukkan bahwa suhu udara pengering tidak mengalami *overshoot* dan *settling time* pendek, serta suhu relatif stabil dan tidak terjadi *error steady state*. Laju pengeringan pati sagu segar pada penerapan *hybrid system* dapat meningkat dibandingkan dengan sistem *non hybrid*. Efisiensi mesin pengering pada sistem *hybrid* (58,28 %) lebih tinggi dibanding *non hybrid* (37,29 %) juga efisiensi termal mesin pengering tipe rak dengan sistem *hybrid* (58,28%) lebih tinggi dibanding *non-hybrid* (37,29 %). Penggunaan energi listrik dengan *hybrid system* adalah lebih rendah (5,78 kWh) dibandingkan dengan *non hybrid* yaitu (6.88 kWh). Penghematan penggunaan energi listrik dengan metode *hybrid* adalah 16,25 % di bandingkan *non hybrid* .

**Kata kunci :** Alat pengering, *hybrid system*, kontrol *expert*

## ABSTRACT

Yulismayanti G042171001

### **Development of Expert Control System for Dryer Machines Equipped with Hybrid System Mechanism**

One of the drying machines commonly used by the public is a rack-type dryer. However, the rack-type dryer has low efficiency, therefore a rack-type dryer has been designed with a hybrid mechanism, but it is not yet known how the dryer performs when controlled by expert control. The purpose of this research is to produce expert control that can be applied to a rack-type dryer with a hybrid system mechanism so that the performance of the dryer increases. The research method includes the development of expert rules applied to a rack-type dryer using a hybrid and non-hybrid system method with a setting point of 60°C and a series of tests using fresh sago starch of 10 kilograms to see the success rate of the control system. The test results show that the drying air temperature does not experience overshoot and short settling time, and the temperature is relatively stable and there is no steady state error. The drying rate of fresh sago starch in the application of the hybrid system can be increased compared to the non-hybrid system. The efficiency of the dryer in the hybrid system (58,28 %) is higher than that of the non-hybrid (37,29%) and the thermal efficiency of the rack-type dryer with the hybrid system (58,28%) is higher than that of the non-hybrid (37.29%). The use of electric power with a hybrid system is lower (5.78 kWh) compared to non-hybrid (6.88 kWh). The savings in the use of electric power with the hybrid method is 16.25% compared to non-hybrid.

**Keywords:** rack type, hybrid system, control expert

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
PRAKATA.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan dan Kegunaan.....	2
D. Batasan Masalah.....	3
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
A. Pengeringan.....	4
B. Oven.....	14
C. Sistem kontrol.....	14
D. Sagu.....	27
3. METODE PENELITIAN.....	31
A. Waktu dan Tempat.....	31
B. Alat dan Bahan.....	31
C. Rancangan Penelitian.....	31
D. Prosedur Penelitian.....	32
E. Mempelajari Perangkat Keras.....	33
F. Perangkat Lunak Software.....	33

G. Uji Fungsi.....	35
H. Uji Kinerja.....	36
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
A. Komponen mesin pengering.....	37
B. Uji Fungsional.....	39
C. Uji Kinerja.....	41
5. PENUTUP.....	45
A. Kesimpulan.....	45
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN.....	50

## DAFTAR TABEL

<b>No.</b>	<b>Teks</b>	<b>Halaman</b>
1.	Kandungan kimia Pati Sagu .....	35
2.	Spesifikasi mesin pengering tipe rak .....	46

## DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
2-1	Mesin pengering tipe rak .....	16
2-2	Blok diagram sistem .....	18
2-3	Sistem kontrol loop terbuka .....	19
2-4	Sistem kontrol loop tertutup .....	20
2-5	Contoh sistem kontrol .....	21
2-6	Sistem kontrol otomatis .....	22
2-7	Rangkaian komparator .....	25
2-8	Hubungan masukan dan keluaran sistem kontrol berbasis pakar .....	33
3-1	Diagram alir penelitian .....	39
3-2	Diagram alir software kontrol <i>expert</i> .....	41
4-1	Sistem kontrol .....	44
4-2	Kotak pengering .....	46
4-3	Uji gain .....	47
4-4	Uji katup .....	48
4-5	Respon dinamik suhu .....	49
4-6	Suhu terhadap proses pengering dengan metode <i>hybrid</i> dan <i>non hybrid</i> daya heater 1500W .....	50
4-7	Laju pengeringan rata-rata .....	52
4-8	Penggunaan daya listrik pada saat pengeringan .....	53
4-9	Hasil pengeringan (warna) .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	Halaman
1	Diagram alir proses pengeringan .....	59
2	Hasil pengamatan suhu saat uji gain dengan sistem <i>hybrid</i> dan <i>non hybrid</i> dengan menggunakan heater 1500 Watt.....	60
3	Hasil pengamatan suhu saat uji kontrol <i>fuzzy</i> dan <i>expert</i> dengan menggunakan heater 1500 Watt .....	61
4	Hasil pengamatan suhu pada sistem <i>hybrid</i> dan <i>non hybrid</i> dengan menggunakan heater 1500 Watt .....	62
5	Hasil pengukuran suhu udara pengering dengan sistem <i>hybrid</i> dan <i>non hybrid</i> selama proses pengeringan.....	63
6	Hasil pengukuran suhu dan daya listrik yang digunakan pada sistem <i>hybrid</i> dan sistem <i>non hybrid</i> .....	64
7	Hasil pengukuran pengukuran berat tepung sagu setelah proses pengeringan pada sistem <i>hybrid</i> dan <i>non hybrid</i> .....	65
8	Hasil pengukuran kadar air disetiap rak .....	66
9	Hasil pengukuran penggunaan energi listrik .....	67
10	penghematan energi listrik .....	67
11	Hasil pengamatan pada kWh meter penggunaan energy listrik pada pengeringan sagu segar dengan daya heater 1500 Watt.....	68
12	Perhitungan energy udara pengering .....	69
13	Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme <i>non hybrid</i> .....	71
14	Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme <i>hybrid</i> .....	73
15	Dokumentasi penelitian .....	75

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Bahan atau produk yang memiliki kadar air yang tinggi akan cepat mengalami pembusukan, sehingga tidak bertahan lama dan mengurangi tingkat kualitas suatu produk tertentu. Salah satu cara untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam produk tertentu ialah dengan cara mengeringkan. Proses mengeringkan merupakan sebuah proses mengurangi kadar air pada suatu produk tertentu dengan cara menjemur. Hal tersebut bertujuan untuk menghentikan atau menghambat perkembangan mikroorganisme atau enzim tertentu yang dapat menyebabkan pembusukan. Dengan demikian bahan yang dikeringkan mempunyai waktu simpan yang lebih lama, mengurangi volume atau berat produk, meminimalkan biaya transportasi produk, serta untuk menjaga kualitas produk.

Hanya saja mengurangi kadar air pada suatu produk dengan cara menjemur manual tidak efektif dan efisien dilakukan karena membutuhkan tenaga manusia dan waktu yang relatif lama. Oleh karena itu dibutuhkan mesin pengering untuk mempercepat proses pengeringan. Salah satu mesin pengering yang umum digunakan oleh masyarakat yaitu mesin pengering tipe rak. Namun mesin pengering tipe rak efisiensinya cukup rendah.

Beberapa penelitian yang menunjukkan bahwa efisiensi mesin pengering tipe rak cukup rendah dapat dilihat dari hasil uji kinerja mesin pengering tipe rak yang dilakukan oleh Ahmad Jaelani (2015) dan Edi Suhendar (2017). Menurut Jaelani efisiensi alat pengering dalam mengeringkan manisan papaya hanya mencapai 12%. dan menurut Suhendar efisiensinya hanya sekitar 10%.

Oleh karna itu, sedang dikembangkan alat pengering tipe rak yang dilengkapi mekanisme *hybrid system* dengan kendali *fuzzy logic* yang

dilakukan oleh dosen Keteknikan Pertanian. Namun belum diketahui bagaimana kinerja mesin pengering tipe rak yang dilengkapi *mekanisme hybrid system expert*.

Sistem *expert* merupakan salah satu sistem kendali cerdas yang lebih sederhana dari sistem *fuzzy logic*. Secara umum, sistem pakar *expert system* adalah sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli. Sistem pakar yang baik dirancang agar dapat menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli. Dengan sistem pakar ini, orang awam juga dapat menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya dapat diselesaikan dengan bantuan para ahli (Utami, 2011).

Berdasarkan paparan di atas maka sangat penting merancang sistem kendali mesin pengering yang dilengkapi metode *hybrid system* dengan menggunakan kontrol *expert* untuk mesin pengering.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang dikemukakan diatas, terdapat beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan berikut ini

1. Bagaimana pengembangan sistem kendali berbasis sistem *expert* pada alat pengering tipe rak yang dilengkapi mekanisme *hybrid*.
2. Bagaimana menyusun kaidah-kaidah *expert* yang akan diterapkan pada sistem kontrol sehingga alat pengering tipe rak dapat bekerja dengan baik dan efisien dalam penggunaan energi listrik.
3. Bagaimana kinerja mesin pengering tipe rak dengan menggunakan bahan pati sagu segar.

## **C. Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan dari penelitian ini dapat mengembangkan mesin pengering tipe rak menggunakan mekanisme *hybrid system* dengan kontrol *expert*, sehingga menghasilkan alat yang lebih efisiensi dan hemat energi.

Kegunaan dari penelitian ini yaitu dapat menyediakan alat pengering tipe rak dengan biaya operasional yang relatif rendah sehingga dapat dijangkau oleh semua kalangan masyarakat, serta menjadi bahan acuan dalam pengembangan dan penelitian lebih lanjut tentang alat pengering terkontrol.

#### **D. Batasan Masalah**

Adapun batasan masalah pada penelitian ini mencakup :

1. Perancangan sistem kontrol didasarkan pada alat pengering yang dirancang oleh dosen Keteknikan Pertanian Unhas.
2. Uji kinerja alat pengering menggunakan suhu 60<sup>0</sup> C.
3. Komuditi yang digunakan dalam uji adalah pati sagu segar.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Pengeringan**

Pengeringan merupakan proses penurunan kadar air bahan sampai mencapai kadar air tertentu sehingga dapat memperlambat laju kerusakan produk akibat aktivitas biologi dan kimia. Pengeringan pada dasarnya merupakan proses perpindahan energi yang dapat digunakan untuk menguapkan air yang berada dalam bahan, sehingga mencapai kadar air tertentu agar kerusakan bahan pangan dapat diperlambat. Kelembaban udara pengering harus memenuhi syarat agar perpanjangan daya simpan terjadi karena aktivitas mikroorganisme dan enzim menurun sebagai akibat jumlah air yang dibutuhkan untuk aktivitasnya tidak cukup. Proses pengeringan bukan merupakan proses sterilisasi. Produk yang dikeringkan harus dijaga supaya kadar airnya tetap rendah. Pengeringan adalah proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relatif kecil dari bahan dengan menggunakan energi panas (Pinem, 2004).

Bahan pangan yang dihasilkan dari produk-produk pertanian pada umumnya mengandung air. Kadar air tersebut apabila masih tersimpan dan tidak dihilangkan, maka akan dapat mempengaruhi kondisi bahan pangan yang mengakibatkan terjadinya pembusukan dan penurunan kualitas akibat masih adanya air yang terkandung dalam bahan tersebut. Pembusukan terjadi akibat dari aktivitas enzim yang terdapat dalam bahan pangan oleh jasad renik yang tumbuh dan berkembang biak dengan bantuan media kadar air dalam bahan pangan tersebut. Mikroorganisme membutuhkan air dalam proses pertumbuhan dan perkembangannya. Jika kadar air pangan dikurangi, pertumbuhan mikroorganisme akan diperlambat. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan adanya suatu proses penghilangan atau pengurangan kadar air yang terdapat dalam bahan pangan sehingga terhindar dari

pembusukan ataupun penurunan kualitas bahan pangan. Salah satu cara sederhana adalah dengan melalui proses pengeringan. Pengeringan merupakan tahap awal dari adanya pengawetan. Pengeringan akan menurunkan tingkat aktivitas air *water activity* atau AW yaitu jumlah air yang dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk pertumbuhan dan perkembangbiakannya (Sri Mulia, 2008).

Ada banyak cara untuk mengawetkan makanan, salah satu diantaranya adalah pengeringan yang telah dilakukan sejak dulu tapi masih tetap dilakukan hingga sekarang. Pengeringan adalah cara untuk menghilangkan sebagian air dari suatu bahan pangan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang terkandung dalam bahan pangan untuk menghasilkan produk yang kering. Air dalam bahan pangan merupakan bagian dari bahan pangan itu sendiri sehingga ada yang dinamakan air bebas dimana air tersebut berada di dalam jaringan, dan ada juga air yang terikat dimana air tersebut terdapat di dalam sel. Ketika suatu padatan mengalami pengeringan termal, ada dua proses yang terjadi secara bersamaan yaitu (Mujumdar, 2006).

- a. Perpindahan energi (kebanyakan dalam bentuk energi panas) dari lingkungan sekitar untuk menguapkan kelembapan permukaan.
- b. Perpindahan kelembapan internal ke permukaan padatan dan terjadi penguapan.

Tujuan pengeringan adalah mengawetkan makanan dan meningkatkan masa umur makanan dengan mengurangi kadar air, menghindari menggunakan sistem pendinginan untuk transportasi dan penyimpanan, memberikan ruang lebih untuk transportasi dan penyimpanan, memberikan variasi persediaan bahan pangan dengan rasa dan tekstur yang berbeda agar konsumen diberikan pilihan terbaik ketika membeli bahan pangan. Pengeringan mengkombinasikan perpindahan panas dan massa sehingga energi perlu disediakan. Menggunakan udara panas yang mengalir diatas

bahan pangan adalah cara yang paling umum untuk memindahkan panas ke bahan pengering, cara ini disebut konveksi. Mengurangi air dari bahan pangan adalah proses yang sangat membutuhkan energi yang besar 20-25% energi digunakan oleh industri makanan atau 10-25% energi digunakan oleh semua industri di negara berkembang (Genuie, 2018).

### **1. Jenis – jenis pengeringan**

Tipe-tipe alat pengering berdasarkan bahan yang akan dipisahkan diklasifikasikan menjadi:

1. Pengering untuk zat padat
  - a. Pengeringan talam (*tray dryer*)
  - b. Pengeringan conveyor tabir (*screen conveyor dryer*)
  - c. Pengering menara (*tower dryer*)
  - d. Pengering Putar (*rotary dryer*)
  - e. Pengering conveyor sekrup (*screw conveyor dryer*)
  - f. Pengering hamparan fluidisasi (*fluid bed dryer*)
  - g. Pengering kilat (*flash dryer*)
2. Pengering larutan dan bubur
  - a. Pengering semprot (*spray dryer*)
  - b. Pengering film tipis (*thin-film dryer*)
  - c. Pengering trombol (*drum dryer*) (Mc.Cabe. 2002).

### **2. Parameter Pengeringan**

Menurut Muhlbauer dan Joachim (2020), berikut adalah parameter-parameter pengeringan yang sangat mempengaruhi proses pengeringan:

#### **a. Karakteristik morfologis**

Karakteristik morfologis komoditas pertanian seperti struktur, dimensi, bentuk bobot, dan komposisi kimiawi yang berbeda, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses pengeringan. Proses pengeringan sangat di pengaruhi oleh organ tumbuhan yang dikeringkan. Organ tumbuhan yang memanjang dan memiliki bentuk yang tidak beraturan di potong-

potong hingga sedemikian rupa untuk memberikan ruang yang cukup dan mempercepat pengeringan.

b. Jalur Difusi

Pada fase kedua proses pengeringan, kadar air harus berpindah dari dalam ke permukaan bahan pangan yang dikeringkan karena gaya osmotik atau kapiler. Jalur difusi adalah jalan pintas dari dalam ke permukaan bahan. Jalur difusi sangat bergantung pada ukuran dan bentuk juga mekanisme pengolahan awal.

### 3. Kadar Air

Kadar air bahan dapat diukur dengan basis basah (b.b) atau dengan basis kering (b.k).

Kadar air basis basah dapat dihitung dengan rumus :

$$MC_{wb} = \frac{m_w}{m_w + m_{dm}} \times 100\%$$

Sedangkan kadar air basis kering :

$$MC_{db} = \frac{m_w}{m_{dm}} \times 100\%$$

Keterangan:

$MC_{wb}$  = Kadar air basis basah (%),

$MC_{db}$  = Kadar air basis kering (%),

$m_w$  = massa air (gram),

$m_{dm}$  = massa bahan tanpa air (gram),

Kadar air basis basah digunakan oleh petani dan pedagang, sedangkan kadar air basis kering digunakan oleh analisis ilmunan tentang proses pengeringan karena hubungan antara kadar air pada basis kering dan massa air adalah fungsi linier. kadar air dengan pada basis basah ( $KA_{bb}$ ) ditentukan oleh rasio massa air ( $m_a$ ) dan total massa produk dan dinyatakan bentuk %.

#### 4. **Konduktivitas termal**

Selama pengeringan, panas dipindahkan dari udara panas ke permukaan bahan secara alami atau konveksi paksa. Konduktivitas termal tidak bergantung pada suhu akan tetapi sangat dipengaruhi oleh struktur dan komposisi kimiawi bahan.

#### 5. **Kapasitas panas spesifik**

Selama pengeringan dan penyimpanan, bahan pangan dipanaskan atau didinginkan. Energi yang dibutuhkan untuk memanaskan atau mendinginkan bahan bergantung pada berat bahan ( $m_p$ ) dan kapasitas panas spesifik bahan ( $c_p$ ) dan perbedaan suhu ( $\Delta T$ ), dinyatakan dalam rumus:

$$Q = m_p \times C_p \times (T_{p2} - T_{p1})$$

Keterangan:

Q = Energi yang dibutuhkan (kJ),

$m_p$  = massa produk (kg),

$C_p$  = kapasitas panas spesifik produk (kJ/kg K),

$T_p$  = suhu produk (K).

Kapasitas panas spesifik bergantung pada komposisi kimia dan dapat diestimasi dari komponennya, juga dipengaruhi oleh kadar air dengan range 1.5 sampai 4.0 kJ/kg K dan hanya meningkat seiring suhu.

#### 6. **Massa jenis**

Massa jenis suatu partikel bahan mempengaruhi jumlah panas yang dapat disimpan serta perpindahan panas internal. Massa jenis sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia bahan.

#### 7. **Difusivitas termal**

Difusivitas termal adalah sifat spesifik material yang mencirikan perpindahan panas melalui konduksi sebagai hasil dari gradien suhu. Difusivitas termal bergantung pada konduktivitas termal, massa jenis partikel-partikel bahan dan kapasitas panas spesifik.

## 8. Faktor yang berpengaruh dalam proses pengeringan:

Faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan dapat digolongkan menjadi:

### 1. Kadar air awal dari bahan

Semakin sedikit air yang dikandung, pengeringan akan makin cepat. Ada beberapa metode yang digunakan dalam menganalisis kadar air, diantaranya : metode destilasi, metode pengeringan dan metode kimiawi (Legowo dan Nurwantoro, 2004).

Menurut Legowo dan Nurwanto (2004), bahwa kadar air dapat dihitung, baik berdasarkan bobot kering atau "*dry basis*" (DB) ataupun berdasarkan bobot basah atau "*wet basis*" (WB).

### 2. Ukuran bahan

Semakin kecil ukuran benda, pengeringan akan makin cepat. Pada bahan yang akan dikeringkan dengan ukuran lebih kecil, air dapat menguap melalui permukaan bahan, sedangkan air yang ada dibagian tengah akan merembes ke bagian permukaan dan kemudian menguap. Untuk mempercepat pengeringan umumnya bahan yang akan dikeringkan dipotong-potong atau dihaluskan terlebih dahulu. Hal ini terjadi karena :

- a. Pemotongan atau penghalusan tersebut akan memperluas permukaan bahan dan permukaan yang luas dapat berhubungan dengan medium pemanasan sehingga air mudah keluar.
- b. Partikel-partikel kecil ataupun lapisan yang tipis mengurangi jarak dimana panas harus bergerak sampai ke pusat bahan.

### 3. Tekanan parsial di dalam bahan.

Semakin kecil tekanan udara akan semakin besar kemampuan udara untuk mengangkut air selama pengeringan, karena dengan semakin kecilnya tekanan berarti kerapatan udara makin berkurang sehingga uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan. Sebaliknya, jika tekanan udara semakin besar maka udara disekitar pengeringan akan

lembab, sehingga kemampuan menampung uap air terbatas dan menghambat proses atau laju pengeringan.

Faktor yang berhubungan dengan udara pengering (eksternal) atau disebut sebagai faktor eksternal.

#### 1. Suhu

Semakin besar perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan, makin cepat pemindahan panas ke dalam bahan dan makin cepat pula penghilangan air dari bahan. Air yang keluar dari bahan yang dikeringkan akan menjenuhkan udara sehingga kemampuannya untuk menyingkirkan air berkurang. Jadi dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka proses pengeringan akan semakin cepat. Akan tetapi bila tidak sesuai dengan bahan yang dikeringkan, akibatnya akan terjadi suatu peristiwa yang disebut "*case hardening*", yaitu suatu keadaan dimana bagian luar bahan sudah kering sedangkan bagian dalamnya masih basah.

Laju penguapan air bahan dalam pengeringan sangat ditentukan oleh kenaikan suhu. Semakin besar perbedaan antara suhu media pemanas dengan bahan yang dikeringkan, semakin besar pula kecepatan pindah panas ke dalam bahan pangan, sehingga penguapan air dari bahan akan lebih banyak dan cepat. Makin tinggi suhu dan kecepatan aliran udara pengering makin cepat pula proses pengeringan berlangsung. Makin tinggi suhu udara pengering makin besar energi panas yang dibawa udara sehingga makin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan. Jika kecepatan aliran udara pengering makin tinggi maka makin cepat pula massa uap air yang dipindahkan dari bahan ke atmosfer (Taib, G. et al., 1988).

#### 2 Kelembaban

Kelembaban udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air. Pada kelembaban udara tinggi, perbedaan tekanan uap air di dalam dan di luar bahan kecil, sehingga pemindahan uap air dari dalam bahan ke luar

a. Kecepatan volumetrik aliran udara pengering

Udara yang bergerak dan mempunyai gerakan yang tinggi selain dapat mengambil uap air juga akan menghilangkan uap air tersebut dari permukaan bahan pangan, sehingga akan mencegah terjadinya atmosfer jenuh yang akan memperlambat penghilangan air. Apabila aliran udara disekitar tempat pengeringan berjalan dengan baik, proses pengeringan akan semakin cepat, yaitu semakin mudah dan semakin cepat uap air terbawa dan teruapkan, maka semakin tinggi suhu udara pengering, semakin besar pula energi panas yang dibawa udara sehingga makin banyak jumlah massa cairan yang diuapkan dari permukaan bahan yang dikeringkan.

b. Arah aliran udara

Semakin kecil sudut arah udara terhadap posisi bahan, maka bahan semakin cepat kering. Sedangkan laju pengeringan tetap bergantung pada luas permukaan pengeringan, perbedaan kelembaban antara aliran udara pengeringan dengan permukaan basah, koefisien pindah massa dan kecepatan aliran udara.

9. **Laju pengering**

Laju pengeringan konstan terjadi pada awal proses pengeringan yang kemudian diikuti oleh laju pengeringan menurun. Periode ini dibatasi oleh kadar air kritis (*critical moisture content*) (Henderson & Perry, 1976). Air yang diuapkan terdiri dari air bebas dan air terikat. Air bebas berada dipermukaan bahan dan yang pertama kali mengalami penguapan, bila air di permukaan bahan telah habis, maka terjadi migrasi air dan uap air dari bagian dalam bahan ke permukaan bahan secara difusi. Migrasi air dan uap air terjadi karena perbedaan konsentrasi atau tekanan uap di bagian dalam bahan dan bagian luar bahan.

Besarnya laju pengeringan berbeda pada setiap bahan penguapan air yang berada di permukaan bahan dipengaruhi oleh kondisi luar yaitu suhu, kelembaban, kecepatan udara pengering, luas permukaan terbuka dan

tekanan. Sedangkan perpindahan air di dalam bahan dipengaruhi oleh keadaan fisik bahan, suhu dan kadar air. Setiap kondisi yang berpengaruh di atas dapat menjadi faktor pembatas pada laju pengeringan (Mujumdar & Menon, 1995).

Untuk mengetahui laju pengeringan perlu mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mengeringkan suatu bahan dari kadar air tertentu sampai kadar air yang diinginkan pada kondisi tertentu, maka bisa dilakukan dengan cara :

1. *Drying test* yaitu hubungan antara *moisture content* suatu bahan vs waktu pengering pada temperatur, *humidity*, dan kecepatan pengering tetap. Kandungan air dari suatu bahan akan menurun karena adanya pengeringan, sedangkan kandungan air yang hilang akan semakin meningkat seiring dengan penambahan waktu.
2. Kurva Laju Pengeringan menunjukkan hubungan antara laju pengeringan vs kandungan air , kurva ini terdiri dari 2 bagian yaitu periode kecepatan tetap dan pada kecepatan menurun.

Jika mula-mula bahan sangatlah basah bila dikontakkan dengan udara yang relatif kering maka akan terjadi penguapan air yang ada pada permukaan bahan tersebut. Dari rumus laju pengeringan massa dinyatakan sebagai:

$$N = \frac{-Ssdx}{Ad\theta}$$

Dimana:

N = laju pengeringan (Lb H<sub>2</sub>O yang diuapkan / jam ft<sup>2</sup> )

Ss = berat bahan kering (lb)

A = Luas permukaan pengeringan (ft<sup>2</sup> )

X = *moisture content dry basis* (lb H<sub>2</sub>O / lb bahan kering)

Θ = waktu (jam)

Dimana  $dx/d\theta$  dicari dengan :

$$\frac{-dx}{d\theta} = \left(\frac{\pi}{2}\right) x \left(\frac{D'v}{s}\right) xX$$

Keterangan:

$D'v$  = *free moisture*

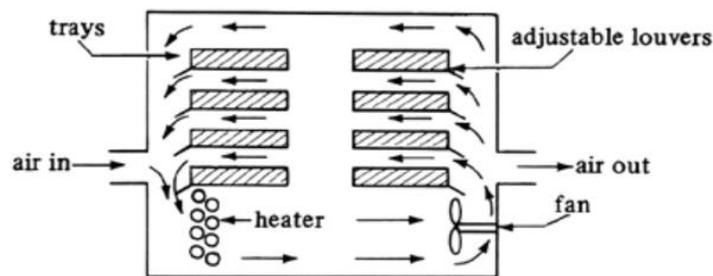
S = setengah tebal bahan yang dikeringkan

X = kadar air yang teruapkan

Persamaan ini menunjukkan bahwa bila difusi menjadi faktor penentu, laju pengeringan berbanding lurus dengan kandungan *free moisture* dan berbanding terbalik dengan pangkat dua ketebalan. Persamaan ini menunjukkan bahwa jika waktu dipetakan terhadap kandungan *free moisture* akan didapatkan garis lurus dan  $D'v$  dapat dihitung dari gradiennya (Treybal, 1995).

#### 10. Pengering Tipe Rak

Mesin pengering tipe ini biasa juga disebut sebagai pengering tipe rak, baki, kabinet atau kompartemen, bahan yang biasanya dikeringkan adalah bahan padat atau yang basah yang kemudian disebar di atas baki logam dengan ketebalan 10 sampai 100 mm. Salah satu contoh mesin pengering tipe rak yang adalah seperti gambar berikut (Geankoplis, 2003).



Gambar 2.1 Mesin Pengering Tipe Rak (Sumber: Geankoplis, 2003)

Pengering tipe rak banyak digunakan dalam mengeringkan bahan karena desainnya yang sederhana dan ekonomis. Bahan di tebar di atas rak-rak dengan ketebalan bahan yang merata sehingga dapat kering secara

seragam. Pengeringan dapat terjadi karena adanya aliran udara panas yang melewati rak. Kunci dari keberhasilan dari pengering tipe rak ini adalah pendistribusian aliran udara yang merata melewati rak-rak. Sumber energi pengering tipe dapat berasal dari energi panas matahari, listrik, atau fosil. Biasanya kadar air di tentukan menggunakan timbangan elektronik untuk mendapatkan perbedaan massa akhir dan awal bahan (Misha, dkk, 2013).

## **B. Oven**

Oven adalah alat untuk memanaskan memanggang dan mengeringkan. Oven dapat digunakan sebagai pengering apabila dengan kombinasi pemanas dengan *humidity* rendah dan sirkulasi udara yang cukup. Kecepatan pengeringan dengan menggunakan oven tergantung dari tebal bahan yang dikeringkan. Penggunaan oven biasanya digunakan untuk skala kecil. Oven yang paling umum digunakan yaitu elektrik oven yang dioperasikan pada tekanan atmosfer dan yang terdiri dari beberapa *tray* didalamnya, serta memiliki *fan* sirkulasi udara didalamnya. Kelebihan dari oven adalah suhunya dapat dipertahankan dan diatur, pengeringan dengan oven laju pengeringan yang lebih cepat dibandingkan dengan cara pengeringan yang lain (Harrison, 2010).

## **C. Sistem kontrol**

Sistem merupakan istilah yang berasal dari bahasa Yunani, yaitu sistem yang berarti kumpulan objek yang saling berinteraksi dan bekerja sama untuk mencapai tujuan logis dalam suatu lingkungan yang kompleks. Objek yang menjadi elemen dari sistem dapat berupa objek terkecil dan bisa juga berupa sub-sistem atau sistem yang lebih kecil lagi (Law and Kelton, 1991).

Dalam proses industri, sering dibutuhkan besaran-besaran yang memerlukan kondisi atau persyaratan yang khusus, seperti ketelitian yang

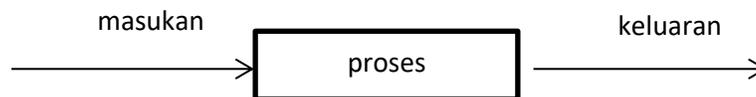
tinggi, harga yang konstan untuk selang waktu yang tertentu, nilai yang bervariasi dalam suatu rangkuman tertentu, perbandingan yang tetap antara 2 (dua) variabel, atau suatu besaran sebagai fungsi dari besaran lainnya. Jelas, kesemuanya itu tidak cukup dilakukan hanya dengan pengukuran saja, tetapi juga memerlukan suatu cara pengontrolan agar syarat-syarat tersebut dapat dipenuhi. Karena alasan inilah diperkenalkan suatu konsep pengontrolan yang disebut Sistem Kontrol.

Menurut Firmansyah (2008), ada beberapa definisi yang harus dimengerti untuk lebih memahami Sistem Kontrol secara keseluruhan, yaitu: Sistem, Proses, Kontrol dan Sistem Kontrol. Definisi dari beberapa istilah tersebut adalah sebagai berikut:

Sistem adalah kombinasi dari beberapa komponen yang bekerja bersama-sama melakukan sesuatu untuk sasaran tertentu. Proses adalah perubahan yang berurutan dan berlangsung secara berkelanjutan dan tetap menuju keadaan akhir tertentu. Kontrol adalah suatu kerja untuk mengawasi, mengendalikan, mengatur dan menguasai sesuatu.

**SISTEM KONTROL (*control System*):** Sistem Kontrol adalah proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel atau parameter) sehingga berada pada suatu harga atau range tertentu. Contoh variabel atau parameter fisik, adalah: tekanan (*pressure*), aliran (*flow*), suhu (*temperature*), ketinggian (*level*), PH, kepadatan (*viscosity*), kecepatan (*velocity*) dan lain-lain.

Hubungan sebuah sistem dan proses dapat diilustrasikan seperti terlihat pada gambar:



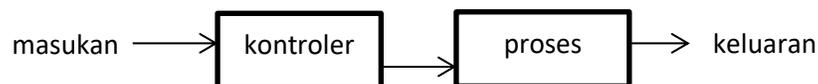
Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem (Adriansyah, 2012)

Sistem kontrol proses terdiri atas sekumpulan piranti-piranti dan peralatan elektronik yang mampu menangani kestabilan, akurasi,

dan mengeliminasi transisi status yang berbahaya dalam proses produksi. Masing - masing komponen dalam sistem kontrol proses tersebut memegang peranan pentingnya masing-masing, tidak peduli ukurannya. Misalnya saja, jika sensor tidak ada atau rusak atau tidak bekerja, maka sistem kontrol proses tidak akan tahu apa yang terjadi dalam proses yang sedang berproses (Ogata, 1995).

### 1. Sistem Kendali Loop Terbuka (*Open Loop*)

Sistem kontrol lup terbuka adalah sistem kontrol yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan. Jadi pada sistem kontrol lup terbuka, keluaran tidak diukur atau diumpan-balikan untuk dibandingkan dengan masukan. Gambar 2.3 menunjukkan hubungan masukan keluaran untuk sistem kontrol lup terbuka. Pada setiap sistem kontrol lup terbuka keluaran tidak dibandingkan dengan masukan acuan. Sehingga, untuk setiap masukan acuan, terdapat suatu kondisi operasi yang tetap.



Gambar 2.3 Sistem Kontrol Loop Terbuka  
Sumber Elizer, Giovanni 2013, "*control system teory*"

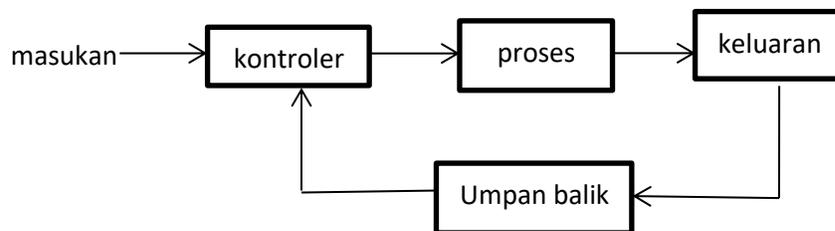
Dengan adanya gangguan, sistem kontrol lup terbuka tidak dapat bekerja seperti yang diinginkan. Kontrol lup terbuka dapat digunakan dalam praktek hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan jika tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal. Sebagai contoh, pengontrolan lalulintas dengan sinyal yang dioperasikan pada basis waktu adalah contoh lain dari kontrol lup terbuka (Ogata, 1995).

*Open loop Control system* memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Tidak terdapat proses pengukuran
2. Variabel yang dikontrol tidak mempengaruhi aksi pengontrolan
3. Banyak didasari oleh waktu atau urutan proses
4. Kurang akurat, lebih stabil, murah

## 2. Sistem Kendali Loop Tertutup (*Close Loop*)

Sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan. Jadi, sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol berumpan balik. Sinyal kesalahan penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran dan turunannya), diumpankan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Dengan kata lain. Istilah “lup tertutup” berarti menggunakan aksi umpan-balik untuk memperkecil kesalahan sistem (Ogata, 1995). Sistem kontrol loop tertutup dapat dilihat seperti gambar:



Gambar 2.4 Sistem Kontrol Loop Tertutup  
Sumber Elizer, Giovanni 2013, “*control system teory*”

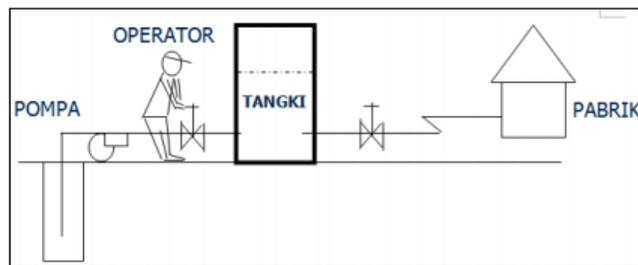
Sistem kendali digunakan pada robot boat pengintai sebagai pengendali pergerakan propeler (baling-baling) kapal dan kamera pengintai terhadap objek (musuh). Secara sederhana, sistem kontrol merupakan usaha atau perlakuan terhadap suatu sistem dengan masukan tertentu guna mendapatkan keluaran sesuai dengan yang diinginkan. Selain itu, sistem kontrol dapat didefinisikan pula sebagai hubungan timbal balik antara elemen-elemen yang membentuk suatu konfigurasi sistem yang memberikan suatu hasil berupa respon yang dikehendaki (Dorf, 1983). Sistem kontrol dapat disebut dengan istilah yang lainnya seperti teknik kendali, sistem pengendalian atau sistem pengontrolan.

Sedangkan *closed loop control system* mempunyai karakteristik sebagai berikut:

1. Terdapat proses pengukuran
2. Variabel yang dikontrol mempengaruhi aksi pengontrolan (*feed back*)
3. Lebih akurat, dapat terjadi ketidakstabilan
4. Harga tergolong tinggi atau mahal

### 3. Prinsip Sistem Kontrol

Sebuah contoh sistem kontrol akan diceritakan di bawah ini. Seorang operator sedang menjaga ketinggian (*level*) suatu tangki yang akan digunakan untuk sebuah proses kimia. Jika, ketinggian tangki kurang dari yang semestinya, operator akan lebih membuka keran masukan (*valve*) dan sebaliknya, jika ketinggian melebihi dari yang semestinya, operator akan mengurangi bukaan keran (*valve*), dan seterusnya gambar mengilustrasikan cerita sistem kontrol tersebut.



Gambar 2.5 Contoh Sistem Kontrol (Adriansyah, 2012)

Dari kejadian ini, dapat dinyatakan bahwa sebenarnya yang terjadi adalah pengukuran terhadap tinggi cairan di dalam tangki, kemudian membandingkannya terhadap harga tertentu dari tinggi cairan yang dikehendaki, lalu melakukan koreksi yakni dengan mengatur bukaan keran masukan cairan ke dalam tangki.

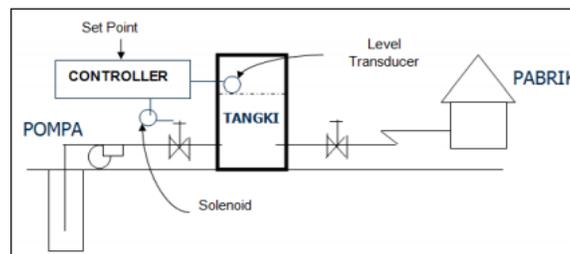
Dapat disimpulkan bahwa sebuah sistem kontrol, melakukan urutan kerja sebagai berikut:

1. Pengukuran (*Measuring*)
2. Perbandingan (*Comparison*)
3. Perbaikan (*Correction*)

Sistem tersebut dapat berjalan baik, jika dianggap sistem bekerja secara ideal dan sederhana. Namun, masalah akan timbul jika diteliti lebih lanjut, seperti:

1. Keadaan proses yang lebih kompleks dan sulit
2. Pengukuran yang lebih akurat dan presisi
3. Jarak proses yang tidak mudah dijangkau

Maka diperlukan modifikasi terhadap sistem tersebut. Dalam hal seperti inilah diperlukan sebuah Sistem Kontrol Otomatik, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar di bawah ini:



Gambar 2.6 Sistem Kontrol Otomatik (Adriansyah, 2012)

Terdapat beberapa manfaat pada penggunaan Sistem Kontrol Otomatik pada sebuah proses, yaitu:

1. Kelancaran Proses
2. Keamanan
3. Ekonomis
4. Kualitas

#### 4. Klasifikasi Sistem Kontrol

Secara umum, menurut Adriansyah (2012) sistem kontrol dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Sistem Kontrol Manual dan Otomatik
2. Sistem Lingkak Terbuka (*Open Loop*) dan Lingkak Tertutup (*Closed Loop*)
3. Sistem Kontrol Kontinyu dan Diskrit
4. Menurut sumber penggerak: Elektrik, Mekanik, Pneumatik dan Hidraulik.

Sistem Kontrol Manual adalah pengontrolan yang dilakukan oleh manusia yang bertindak sebagai operator. Sedangkan Sistem Kontrol Otomatik adalah pengontrolan yang dilakukan oleh peralatan yang bekerja secara otomatis dan operasinya dibawah pengawasan manusia. Sistem Kontrol Manual banyak ditemukan dalam kehidupan sehari-hari seperti pada pengaturan suara radio, televisi, cahaya layar televisi, pengaturan aliran air melalui keran, pengendalian kecepatan kendaraan dan lain-lain. Sedangkan Sistem Kontrol Otomatik banyak ditemui dalam proses industri (baik industri proses kimia dan proses otomotif), pengendalian pesawat, pembangkit tenaga listrik dan lain-lain.

## **5. Komponen Utama Sistem Kontrol**

Sistem dapat didefinisikan sebagai susunan beberapa bagian yang bekerja sama untuk menyediakan beberapa bentuk keluaran dari masukan atau masukan yang ditentukan. Batas tersebut membagi sistem antara lingkungan dan sistem yang berinteraksi satu sama lain, dari lingkungan melalui sinyal-sinyal melewati batas ke sistem disebut masukan dan sinyal melewati batas dari sistem ke lingkungan disebut keluaran (Bolton, 2004).

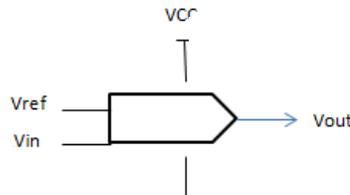
### **1. Sistem instrumentasi**

Tujuan dari sistem instrumentasi yang digunakan adalah untuk memberikan pengguna nilai numerik yang sesuai dengan variabel yang diukur. Jadi thermometer dapat digunakan untuk memberikan nilai numerik untuk suhu cairan. Sistem instrumentasi untuk pengukuran memiliki masukan dari nilai yang sebenarnya dari variabel yang diukur dan keluaran nilai yang diukur (Bolton, 2004).

### **2. Komparator**

Komparator adalah sebuah rangkaian penguat yang memiliki dua buah input. Tegangan output yang dihasilkan sebanding dengan selisih antara dua tegangan inputnya. Gain komparator kurang lebih adalah 200.000 (Katriani dkk., 2015).

Bila tegangan masukan di bagian positif lebih besar dari tegangan masukan di bagian negatif, maka pembanding akan menghasilkan tegangan keluaran naik sebesar tegangan catudaya. Bila masukan tegangan positif lebih kecil dari tegangan masukan negatif maka tegangan keluarannya akan turun sampai nol volt (Kusuma, 2013).



Gambar 2.7 Rangkaian komparator  
Sumber : Kusuma, 2013

### 3. Aktuator

Aktuator secara umum merupakan seperangkat mekanik untuk menggerakkan atau mengendalikan suatu mekanisme dalam sistem. Pengertian aktuator dapat berbeda bergantung pada bidang yang bersangkutan, dalam dunia elektronika aktuator dapat berarti pembagian transduser atau suatu perangkat yang memiliki kemampuan mengubah sinyal masukan menjadi suatu gerak (Harianto dan Didik, 2009).

Jenis-jenis aktuator terbagi menjadi beberapa komponen menurut Jones (2009), yaitu:

1. *Relay* adalah alat yang dioperasikan dengan listrik dan secara mekanis mengontrol penghubungan rangkaian listrik, bermanfaat untuk kontrol jarak jauh dan untuk pengontrolan alat tegangan dan arus tinggi dengan sinyal kontrol tegangan dan arus rendah. Bekerja berdasarkan pembentukan elektromagnet yang menggerakkan elektromekanis penghubung dari dua atau lebih titik penghubung (konektor) rangkaian sehingga dapat menghasilkan kondisi kontak ON atau kontak OFF atau kombinasi dari keduanya.

2. *Solenoid valve* merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik AC maupun DC melalui kumparan atau selenoida. Solenoid valve ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem gas seperti pada sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis. Prinsip kerja dari solenoid valve yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggeraknya dimana ketika koil mendapat suplai tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet sehingga menggerakkan plunger pada bagian dalamnya ketika plunger berpindah posisi maka pada lubang keluaran dari solenoid valve akan mengeluarkan gas bertekanan yang berasal dari sumbernya (tabung gas).

#### 4. *Microcontroller*

Mikrokontroler (*microcontroller*) merupakan suatu chip yang dapat digunakan sebagai alat pengontrol utama dalam sistem elektronika, *mikrocontroller* ini sudah banyak terdapat pada barang-barang elektronik, misalnya pada sistem pengukuran suhu digital (*thermometer digital*), sistem keamanan pada rumah atau perkantoran, sistem kendali mesin industri, robot penjinak bom, dan lain-lain. Hal ini dikarenakan di dalam chip tersebut sudah ada unit pemroses, memori ROM (*Read Only Memory*), RAM (*Random Access Memory*), I/O, dan fasilitas pendukung lainnya.

Beberapa mikrocontroller yang sering digunakan:

- Keluarga AVR ( AVR ATmega16, 8535, 90S2313 )
- Arduino

*Mikrocontroller* AVR Atmega32 yang memiliki beberapa keunggulan, diantaranya mempunyai pengubah analog ke digital (ADC internal) di dalam chip tersebut. Mikrokontroler AVR (*Alf and Vegard's Risc Processor*) standar memiliki arsitektur 8-bit, dimana semua instruksi dapat dikemas dalam kode 16-bit serta sebagian besar instruksi dapat dieksekusi dalam 1 siklus clock. AVR dapat dikelompokkan menjadi empat kelas, yaitu keluarga ATtiny,

keluarga AT90Sxx, keluarga ATmega dan AT86RFxx. Pada dasarnya yang membedakan masing-masing kelas adalah memori, *peripheral*, dan fungsinya.

Arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik yang bersifat *open source* yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel (Muhammad Syahwill, 2013).

Arduino Uno merupakan salah satu jenis Arduino yang banyak ditemui di pasaran saat ini. Arduino jenis inilah yang banyak dipilih oleh pemula. Abdul Kadir (2013) menyatakan Arduino Uno adalah salah satu produk berlabel Arduino yang sebenarnya merupakan suatu papan elektronik yang mengandung mikrokontroler ATmega328 (sebuah keping yang secara fungsional bertindak seperti sebuah komputer). Sedangkan pengertian arduino uno menurut Muhammad Syahwill (2013) adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328 yang memiliki 14 pin digital input/output (6 pin digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, clock speed 16 Mhz, koneksi USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol reset.

## **6. Sistem pakar**

Secara umum, sistem pakar (*expert sistem*) adalah sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh para ahli. Sistem pakar yang baik dirancang agar dapat menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli. Dengan sistem pakar ini, orang awampun dapat menyelesaikan masalah yang cukup rumit yang sebenarnya hanya dapat diselesaikan dengan bantuan para ahli. Bagi para ahli, sistem pakar ini juga akan membantu aktivitasnya sebagai asisten yang sangat berpengalaman (Utami, 2011).

Menurut Utami (2011), ada beberapa definisi tentang sistem pakar, sebagai berikut:

- a. Menurut Durkin: sistem pakar adalah suatu program komputer yang dirancang untuk memodelkan kemampuan penyelesaian masalah yang dilakukan oleh seorang pakar.
- b. Menurut Ignizio: sistem pakar adalah suatu model dan prosedur yang berkaitan, dalam suatu domain tertentu, yang mana tingkat keahliannya dapat dibandingkan dengan keahlian seorang pakar.
- c. Menurut Giarratano dan Riley: sistem pakar adalah suatu sistem komputer yang bisa menyamai atau meniru kemampuan seorang pakar.

1. Bentuk sistem pakar

Menurut Utami (2011), beberapa bentuk sistem pakar antara lain:

- a. Berdiri sendiri. Sistem pakar jenis ini merupakan *software* yang berdiri sendiri tidak tergabung dengan *software* yang lainnya.
- b. Tergabung. Sistem pakar jenis ini merupakan bagian program yang terkandung di dalam suatu algoritma (*konvensional*), atau merupakan program dimana di dalamnya memanggil algoritma subrutin lain (*konvensional*).
- c. Terhubung dengan software lain. Bentuk ini biasanya merupakan sistem pakar yang menghubungkan ke suatu paket program tertentu, misal dengan DBMS.
- d. Sistem pakar. Sistem pakar merupakan bagian dari komputer khusus yang dihubungkan dengan suatu fungsi tertentu. Misalnya sistem pakar yang digunakan untuk membantu menganalisis data radar.

2. Teknik representasi pengetahuan

Pengetahuan seorang pakar dapat di rumuskan 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

### 3. Komponen sistem pakar

Menurut Siswanto (2010), sebuah program sistem pakar terdiri atas komponen-komponen sebagai berikut:

#### a. Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

- Inti program sistem pakar
- Merupakan representasi pengetahuan dari seorang pakar

- Tersusun atas fakta yang berupa objek dan kaidah yang merupakan informasi tentang cara bagaimana membangkitkan fakta baru dari fakta yang sudah diketahui. *Facts list* berisikan hasil observasi dan sesuatu kenyataan yang dibutuhkan selama pengolahan.

b. Mesin inferensi.

- Bagian yang mengandung mekanisme fungsi berpikir dan pola pola penalaran sistem yang digunakan oleh seorang pakar.
- Mekanisme ini akan menganalisa suatu masalah tertentu dan selanjutnya mencari jawaban yang terbaik.
- Memilih pengetahuan yang relevan dalam rangka mencapai kesimpulan.
- Memulai pelacakannya dengan mencocokkan kaidah (*rule*) dalam basis pengetahuan dengan fakta fakta yang ada dalam facts list disimpan dalam basis pengetahuan di harddisk.

Menurut Siswanto (2010), ada dua teknik penalaran (*inference*): Pelacakan ke belakang (*backward channing*) yang memulai penalarannya dari kesimpulan, dengan mencari sekumpulan hipotesa yang mendukung menuju fakta yang mendukung sekumpulan hipotesa tersebut. Pelacakan ke depan (*forward channing*) memulai dari sekumpulan fakta dengan mencari kaidah yang cocok dengan hipotesa yang ada menuju kesimpulan.

c. Antar muka pemakai

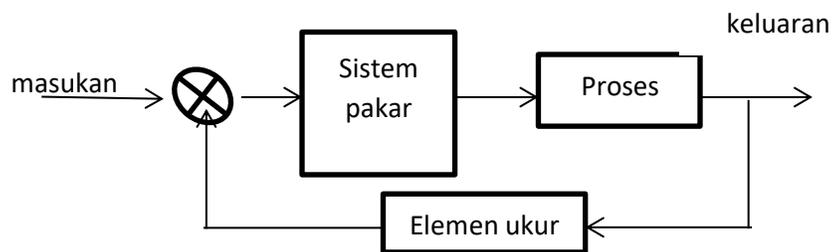
Bagian penghubung antara sistem pakar dengan pemakai, akan terjadi dialog antara program dan pemakai, program akan mengajukan pertanyaan dan jawaban berbentuk ya/tidak. Program sistem pakar akan mengambil kesimpulan berdasarkan jawaban dari pemakai tadi.

4. Sistem kontrol berbasis pakar

Penggunaan teori kecerdasan buatan dalam sistem kontrol, telah dilakukan sejak lebih dari 20 tahun yang lalu. Penggunaan teori kecerdasan buatan ini melahirkan suatu cabang ilmu baru dalam sistem kontrol yang

dikenal dengan sistem kontrol cerdas. Teori kecerdasan buatan didorong oleh makin kompleksnya dinamika sistem yang akan dikontrol, salah satu teori kecerdasan buatan yang digunakan dalam sistem kontrol adalah sistem pakar (Siswanto, 2010).

Sistem kontrol berbasis sistem pakar merupakan salah satu jenis dari sistem kontrol lup tertutup. Sistem kontrol jenis ini memanfaatkan kemampuan dari sistem pakar dalam menyelesaikan masalah yang dihadapi oleh sistem kontrol, masalah yang timbul adalah masalah yang berulang-ulang dan untuk penyelesaian masalah tersebut, sistem pakar telah mempunyai aturan yang telah tersimpan dalam basis pengetahuan. Gambar berikut menunjukkan hubungan masukan dan keluaran pada sistem kontrol yang berbasis sistem pakar (Siswanto, 2010).



Gambar 2.8. Hubungan masukan dan keluaran sistem kontrol berbasis sistem pakar.

#### D. Sagu

Tanaman sagu termasuk tumbuhan monokotil dari *famili Palmae Jussieu*, sub *famili Calamoideae*, dan *Genus Metroxylon*. Di Indonesia, masyarakat mengenal dua jenis penghasil tepung sagu utama, yaitu dari jenis *Metroxylon* dan jenis arenga (sagu aren). Sagu aren tumbuh pada lahan relatif kering (banyak ditemukan di Jawa, Sumatera dan Kalimantan) dan kandungan tepung dari pohon sagu aren relatif lebih sedikit dibandingkan dengan sagu *Metroxylon* (Hengky, 2003).

Tanaman sagu yang menyerupai tanaman kelapa, memiliki batang berwarna coklat dengan daun berwarna hijau tua. Pohon yang sudah tua

dan tumbuh dengan sempurna, kulit luarnya mengeras dan membentuk lapisan kayu di sekeliling batangnya dengan ketebalan antara 2-4 cm (Ruddle dkk., 1978). Tanaman sagu dewasa atau masak tebang (siap panen) berumur 8 sampai 12 tahun. Tanaman sagu (*Metroxylon sp.*) terbagi dalam 2 golongan, yaitu: (1). Tanaman sagu yang berbunga/berbuah satu kali, disebut *Hapaxanthic*, (2). Tanaman sagu yang berbunga/berbuah dua kali atau lebih, disebut *Pleonanthic*. Dari kedua golongan ini, *Hapaxanthic* yang mempunyai nilai ekonomis karena mengandung karbohidrat yang lebih tinggi (Flach, 1980). Sagu dapat berkembangbiak melalui biji (*generatif*) atau anakan (*vegetatif*) yang tumbuh dalam bentuk tunas-tunas pada pangkal batang sagu. Oleh karena itu, tegakan sagu di daerah-daerah sagu Indonesia tumbuh dalam keadaan rapat dan tidak beraturan.

Menurut Haryanto dan Philipus (1992), jenis sagu *Metroxylon sagus Robbt* memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

1. Tinggi batang sekitar 10-14 m, diameter sekitar 40-60 cm dan berat batang mencapai 1,2 ton atau lebih.
2. Jenis sagu ini tidak berduri, ujung daun panjang meruncing sehingga dapat melukai orang bila tersentuh.
3. Letak daun berjauhan, panjang tangkai daun sekitar 4,5 m, panjang lembaran daun sekitar 1,5 m dan lebarnya kira-kira 7 cm.
4. Bunganya adalah bunga majemuk berwarna sawo matang kemerah-merahan.
5. Empulurnya lunak dan berwarna putih, oleh karena itu acinya berwarna putih dan enak rasanya sehingga sangat disukai penduduk.

Tepung sagu berpotensi menjadi sumber pangan alternatif karena kandungan karbohidrat dan proteinnya yang tinggi serta adanya kemampuan substitusi tepung dalam industri pangan (Hengky, 2003). Komponen karbohidrat terbesar yang terdapat dalam sagu adalah pati. Bentuk granula pati sagu adalah berbentuk oval dan terdapat dalam plastida dengan ukuran

berkisar antara 50-60 mikron (Radley, 1976). Pati sagu tersusun atas 2 fraksi yaitu amilosa yang merupakan polimer lurus yang satuannya adalah D-glukosa yang berikatan dengan 1-4  $\alpha$  glikosidik, dan amilopektin yang merupakan polimer bercabang yang kecuali tersusun dari ikatan 1-4  $\alpha$  glikosidik terdapat percabangan melalui ikatan 1-6  $\alpha$  glikosidik. Ratio 8 kandungan amilosa dan amilopektin dalam pati sagu adalah sebesar 27:73 (Cecil dkk., 1982).

Pati (*amilum*) adalah karbohidrat kompleks yang tidak larut dalam air, berbentuk bubuk putih, tawar dan tidak berbau. Kadar pati pada empulur pohon sagu sekitar 18,80 %-38,80 % (basis basah) dan pada satu tumbuhan dapat dihasilkan 250 kg pati sagu kering (Wina dkk.,1986). Pati sagu mengandung komponen utama karbohidrat dan sedikit air. Sedangkan bahan lainnya tersedia dalam jumlah yang relatif kecil.

Tabel 1. Kandungan Kimia Pati Sagu

Komponen	Komposisi (%)
Karbohidrat	87
Air	71
Serat	10
Kasar	20
Protein	1
Lemak	35

(Sumber: Wirakartakusumah dkk., 1986)

Pati diperoleh dari isi batang (empulur) melalui pengolahan yang sederhana. Setelah pohon ditebang, batang dipotong menjadi potong potong sekitar 2-3 m tergantung besar kecilnya garis tengah batang tersebut.

Kemudian batang dibelah dua, empulur dihancurkan. Penghancuran empulur dapat dilakukan melalui beberapa cara: dengan cara memukul dan dengan cara memarut (Hamzah, 1986). Dari hasil parutan atau tokokan diperoleh tepung sagu yang masih bercampur dengan serat. Dari tepung tersebut dilakukan ekstraksi, maka akan diperoleh pati sagu. Waktu yang diperlukan untuk dapat memproses satu batang pohon sagu tergantung pada ukuran pohon, kandungan pati, intensitas pengolahan dan cara kerja yang dipilih (Hamzah, 1986).

Pati adalah karbohidrat yang dihasilkan oleh tumbuhan untuk persediaan bahan makanan. Umumnya pati tidak terdapat dalam bentuk murni, tetapi bercampur dengan bahan kimia lain, seperti asam lemak dan senyawa fosfor. Pati sagu sebagian besar berwarna putih, namun ada juga yang secara genetik berwarna kemerahan yang disebabkan oleh senyawa phenolik. Derajat putih sagu bervariasi dan sering kali menjadi kecoklatan/merah selama proses penyimpanan (Purwani dkk., 2006).

Pengeringan pada tepung merupakan suatu proses yang penting, karena kadar air pada tepung jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan dasarnya. Pada penelitian yang dilakukan Saripudin (2006), proses pengeringan pada tepung sagu menggunakan kadar air bahan sebagai tolak ukurnya. Pengeringan dilakukan untuk mengetahui karakteristik pengeringan tepung sagu sehingga diperoleh kadar air basis kering sebesar 6%. Pada kadar air basis kering 6% dapat memperpanjang umur simpan tepung sagu dan mempertahankan mutu pada tepung sagu. Dalam penelitiannya dipilih suhu pengeringan 60°C dan 70°C, dengan alasan bahwa suhu awal gelatinisasi pati sagu sekitar 72°C (Saripudin, 2006).