

**KINERJA MESIN PENDINGIN TIPE RAK DENGAN MEKANISME  
*HYBRID* BERBASIS WAKTU TETAP TERKONTROL *FUZZY EXPERT*  
PADA PENDINGINAN PATI SAGU**

**ANNISA  
G041171516**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN  
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2023**

**KINERJA MESIN PENGERING TIPE RAK DENGAN MEKANISME  
HYBRID BERBASIS WAKTU TETAP TERKONTROL *FUZZY EXPERT*  
PADA PENGERINGAN PATI SAGU**

**ANNISA  
G041171516**



**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN  
FAKULTAS PERTANIAN  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

### KINERJA MESIN PENGERING TIPE RAK DENGAN MEKANISME HYBRID BERBASIS WAKTU TETAP TERKONTROL *FUZZY EXPERT* PADA PENGERINGAN PATI SAGU

Disusun dan diajukan oleh

**ANNISA**  
**G041171516**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 01 Maret 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping

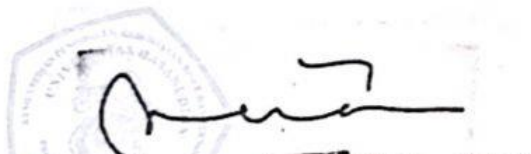


**Dr. Ir. Abdul Waris, MT.**  
NIP. 19601101 198903 1 002



**Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng.**  
NIP. 19620727 198903 1 003

Ketua Program Studi  
Teknik Pertanian

  
**Diyah Yumcina, S.TP., M.Agr., Ph.D.**  
NIP. 19810129 200912 2 003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annisa  
NIM : G041171516  
Program Studi : Teknik Pertanian  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Berbasis Waktu Tetap Terkontrol *Fuzzy Expert* Pada Pengeringan Pati Sagu adalah Karya Saya Sendiri dan Tidak Melanggar Hak Cipta Pihak Lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini membuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 01 Maret 2023

Yang Menyatakan



Annisa

## ABSTRAK

ANNISA (G041171516). Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Berbasis Waktu Tetap Terkontrol *Fuzzy Expert* Pada Pengeringan Pati Sagu. Pembimbing: ABDUL WARIS dan AHMAD MUNIR.

Pengeringan merupakan salah satu tahap dalam proses pasca panen yg bertujuan pengawetan bahan pangan. Salah satu alat pengering yang digunakan adalah alat pengering tipe rak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah penerapan sistem hibrid pada mesin pengering tipe rak berbasis waktu tetap dengan menggunakan kaidah *expert* pada pengeringan pati sagu dapat meningkatkan kinerja mesin. Metode penelitian meliputi pengembangan kaidah *expert* yang diterapkan pada katup hibrid dengan daya 1500 Watt, *setting point* 60 °C dan metode hibrid berbasis waktu tetap yaitu waktu 60 menit sebagai *oven* dan 30 menit sebagai *dryer*. Hasil dari penelitian mesin pengering sistem hibrid berkapasitas 10 kg mampu mengeringkan pati sagu selama 6 jam dari kadar air 42,3% mencapai 12%, sedangkan sistem non hibrid selama 7 jam kadar air 42,3% mencapai 13%. Suhu udara pengering pada sistem hibrid dan non hibrid cukup stabil. Sistem hibrid dan non hibrid dapat mencapai suhu *setting point* (60 °C) dan menunjukkan *settling time* relatif singkat. Sistem hibrid dan non hibrid terjadi *overshoot* sebesar 1 °C (1,7%) namun hanya berlangsung relatif singkat. Keduanya mengalami *error steady state*. Sistem hibrid terjadi pada menit ke 240 sampai 360 menit 1 °C (1,7%), sedangkan non hibrid pada menit ke 180 sampai 300 menit 1 °C (1,7%). Laju pengeringan rata-rata sistem hibrid dan non hibrid yaitu 0,294 gram H<sub>2</sub>O/kg/h dan 0,252 gram H<sub>2</sub>O/kg/h. Penggunaan energi listrik pada sistem hibrid 5,1781 kWh sedangkan non hibrid 6,4403 kWh, sehingga penghematan yang diperoleh dengan sistem hibrid 19,60%. Efisiensi pengeringan dan efisiensi *thermal* untuk hibrid 70% dan 40% sedangkan pada non hibrid efisiensi pengeringan dan efisiensi *thermal* 56% dan 42%.

**Kata Kunci:** Pengeringan, *Hybrid*, Pati sagu, Kontrol *Expert*.

## **ABSTRACT**

ANNISA (G041171516). *Performance of Rack Type Dryer with Fuzzy Expert Controlled Fixed Time based Hybrid Mechanism on Sago Starch Drying.* Supervised by: ABDUL WARIS dan AHMAD MUNIR.

*Drying is one of the stages in the post-harvest process aimed at preserving food. One of the drying equipment used is a rack-type dryer. This study aims to determine whether the application of a hybrid system on a fixed time-based rack-type drying machine using expert rules on drying sago starch can improve machine performance. The research method includes the development of expert rules applied to a hybrid valve with a power of 1500 Watt, a setting point of 60 °C and a fixed time-based hybrid method, namely 60 minutes as an oven and 30 minutes as a dryer. The results of the research of the hybrid system drying machine with a capacity of 10 kg were able to dry sago starch for 6 hours from 42.3% moisture content to 12%, while the non-hybrid system for 7 hours of 42.3% moisture content reached 13%. The air temperature of the dryer in the hybrid and non-hybrid systems is quite stable. Hybrid and non-hybrid systems can reach the setting point temperature (60 °C) and show a relatively short settling time. The hybrid and non-hybrid systems had an overshoot of 1 °C (1.7%) but only lasted relatively short. Both experienced steady state error. The hybrid system occurred at 240 to 360 minutes 1 °C (1.7%), while the non-hybrid system at 180 to 300 minutes 1 °C (1.7%). The average drying rate of hybrid and non-hybrid systems is 0.294 gram H<sub>2</sub>O/kg/h and 0.252 gram H<sub>2</sub>O/kg/h. The use of electrical energy in the hybrid system is 5.1781 kWh while the non-hybrid system is 6.4403 kWh, so the savings obtained with the hybrid system is 19.60%. Drying efficiency and thermal efficiency for hybrid 70% and 40% while in non-hybrid drying*

**Keywords:** *Drying, Hybrid, Sago Starch, Expert Control.*

## PERSANTUNAN

Puji syukur Penulis Panjatkan Kehadirat Allah SWT. Atas rahmat-Nya sehingga dapat menyelesaikan Skripsi berjudul “Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme Hybrid Berbasis Waktu Tetap Terkontrol Fuzzy Expert Pada Pengeringan Pati Sagu” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana. Selama pelaksanaan studi, penelitian maupun penyusunan skripsi ini dapat diselesaikan oleh penulis tidak lepas dari doa dan dukungan serta semangat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ayahanda **Yardi, S.Pd** dan Ibunda **Kasdiana** yang telah memberi dukungan, kasih sayang, nasehat, semangat dan doa-doa yang mampu menguatkan hingga pada tahap ini.
2. **Dr. Ir. Abdul Waris, MT** dan **Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng** selaku dosen pembimbing yang meluangkan waktu memberikan bimbingan, saran, kritikan, kesabaran, ilmu dan segala arahan yang diberikan dari pemilihan judul penelitian, penyusunan proposal, penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai.
3. **Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si** dan **Muhammad Tahir Sapsal, S.TP., M.Si** selaku dosen penguji yang meluangkan waktunya untuk memberikan kritikan, saran dan segala arahan dalam penyusunan skripsi.
4. **Muallim Al Ulyaa, S.M** yang selalu mengingatkan tiap saat, memberikan motivasi, semangat selama penyusunan skripsi hingga sampai di tahap ini.
5. **Ega Mujika, Dewi Yulfitasari, Azizah, Nisa, Nini Astarini, S.TP, Andi Vita Saraswati Rachman, S.TP, Riski Amalia, S.TP, Kak Maya dan Kak Mardan** serta teman-teman yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir dan penyusunan skripsi ini.

Makassar, 01 Maret 2023

Annisa



## RIWAYAT HIDUP



**Annisa** lahir di Sinjai pada tanggal 08 September 1998 dan merupakan putri kedua dari pasangan Yardi dan Kaasdiana. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal pertama di TK Kajuara tahun 2004 sampai tahun 2005 kemudian ke jenjang sekolah dasar di SDN 103 Sinjai pada tahun 2005 sampai tahun 2011. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Sinjai

dari tahun 2011 sampai tahun 2014 kemudian melanjutkan pendidikan di jenjang menengah atas di SMAN 5 Sinjai dari tahun 2014 sampai tahun 2017. Setelah menyelesaikan pendidikan menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan sebagai mahasiswa di Program Studi Teknik Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2017.

Selama menempuh pendidikan di Universitas, penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin (HIMATEPA UH) periode 2019/2020.



## DAFTAR ISI

SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iv
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
PERSANTUNAN .....	vii
RIWAYAT HIDUP .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan dan Kegunaan.....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Sagu .....	3
2.2 Pengeringan.....	4
2.3 Jenis-jenis Alat Pengering.....	4
2.3.1 <i>Rotary Dryer</i> .....	4
2.3.2 <i>Batch Dryer</i> .....	5
2.3.3 <i>Tray Dryer</i> .....	5
2.4 Pengering Tipe Rak ( <i>Tray Dryer</i> ) .....	5
2.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pengeringan.....	6
2.5.1 Suhu .....	6
2.5.2 Kelembaban Relatif (RH) Udara Pengering.....	7
2.5.3 Kecepatan Aliran Udara .....	7
2.5.4 Kadar Air .....	7

2.5.5 Efisiensi Pengeringan.....	8
2.5.6 Efisiensi <i>Thermal</i> Mesin Pengering .....	8
2.6 Kaidah <i>Expert</i> .....	9
2.7 Sistem Kontrol <i>Expert</i> .....	9
3. METODOLOGI PENELITIAN .....	10
3.1 Waktu dan Tempat.....	10
3.2 Alat dan Bahan .....	10
3.3 Metode Penelitian.....	10
3.4 Perancangan Kaidah <i>Expert</i> Katup Hibrid .....	11
3.5 Uji Fungsional.....	12
3.6 Uji Kinerja.....	12
3.7 Prosedur Penelitian .....	13
3.8 Parameter Pengamatan .....	13
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	16
4.1 Suhu.....	16
4.2 Kadar Air .....	17
4.3 Laju Pengeringan .....	18
4.4 Penggunaan Energi Listrik.....	19
4.5 Efisiensi dan Penghematan .....	19
5. PENUTUP .....	21

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Mesin Pengering Tipe Rak.....	5
Gambar 2. Sistem Kontrol <i>Loop</i> Terbuka .....	9
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian .....	11
Gambar 4. Siklus Pengeringan Hibrid.....	11
Gambar 5. Sistem Kontrol Katup Pada Mesin Pengering .....	12
Gambar 6. Respon <i>transient</i> suhu dan udara pengering .....	16
Gambar 7. Respon statis suhu udara pengering.....	16
Gambar 8. Penurunan Kadar Air .....	17
Gambar 9. Laju Pengeringan Selama Proses Pengeringan .....	18
Gambar 10. Penggunaan Energi Listrik Hibrid dan Non Hibrid .....	19

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Syarat Mutu SNI Pati Sagu.....	11
---	----

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel sifat udara sumber: Singh dan Heldman, 2009 .....	24
Lampiran 2. Hasil pengukuran kecepatan udara dan luas penampang .....	24
Lampiran 3. Hasil ukur Suhu di awal pengering dengan daya 1500 Watt.....	25
Lampiran 4. Hasil ukur suhu udara selama proses pengering 1500 Watt.....	25
Lampiran 5. Berat hasil pengeringan.....	26
Lampiran 6. Laju pengeringan rata-rata .....	26
Lampiran 7. Hasil pengukuran rata-rata kadar air (%bb).....	27
Lampiran 8. Suhu bahan dan udara pengering (°C).....	27
Lampiran 9. Konsumsi energi listrik yang digunakan.....	28
Lampiran 10. Perhitungan Energi Udara Pengering .....	30
Lampiran 11. Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme non-hibrid ...	31
Lampiran 12. Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme hibrid.....	33
Lampiran 13. Dokumentasi Penelitian.....	35
Lampiran 14. Spesifikasi Mesin Pengering.....	36

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Tanaman sagu memiliki potensi yang sangat besar di Indonesia. Tepung sagu merupakan salah satu bahan pangan yang memiliki potensial dalam pengolahan bahan pangan menjadi berbagai macam produk makanan. Pengolahan tepung sagu juga sangat beragam di Indonesia, terdapat di berbagai daerah seperti Maluku, Papua dan beberapa daerah di Sulawesi. Pemanfaatan tepung sagu masih dalam bentuk makanan tradisional pada umumnya seperti bagea dan ada juga mengolahnya dalam bentuk konsumsi makanan pokok seperti papeda. Selain sebagai bahan pangan, pemanfaatan sagu juga pada bidang pengolahan industri seperti industri pangan, kosmetika, maupun industri lainnya sebagai bahan baku.

Pengeringan merupakan salah satu tahap dalam proses pasca panen yang bertujuan pengawetan bahan pangan. Pengeringan juga merupakan proses pemindahan panas dan uap air yang memerlukan panas untuk menguapkan air dari permukaan bahan sampai kadar air kesetimbangan tanpa mengubah sifat kimia dari bahan tersebut. Pengeringan juga dapat diartikan sebagai proses pengeluaran atau pemindahan kandungan air bahan sampai mencapai kandungan tertentu agar kerusakan bahan dapat diperlambat (Himawanto dan Nadjib, 2013).

Proses pengeringan produk dapat dilakukan dua cara yaitu, pertama dengan penjemuran dibawah sinar matahari dan kedua dengan menggunakan alat pengering. Proses pengeringan dengan cara penjemuran, bergantung pada cuaca, suhu, kelembaban, dan memerlukan waktu yang lama. Sedangkan pengeringan dengan menggunakan alat pengering, kecepatan dan suhu udaranya dapat diatur, Sehingga proses pengeringan dapat berlangsung dengan cepat serta dapat mempertahankan warna bahan yang dikeringkan.

Salah satu alat pengering yang dapat digunakan adalah alat pengering tipe rak. Alat pengering tipe rak ini didalamnya terdapat rak yang tersusun dari logam dan diberi lubang. Kelebihan pada alat pengering tipe rak ini adalah tidak membutuhkan banyak tempat, suhunya dapat diatur. Akan tetapi alat pengering tipe rak mempunyai kelemahan yaitu efisiensinya relatif rendah (Jhondri, 2017).

Oleh karena itu untuk mengatasi kelemahan tersebut, maka telah dirancang mesin pengering yang dilengkapi mekanisme hibrid oven dengan *dryer* dan sistem kendali *fuzzy expert* oleh staf dosen Keteknikan Pertanian Universitas Hasanuddin. Namun belum diketahui kinerja mesin pengering tersebut bila mekanisme hibridnya didasarkan pada waktu tetap.

Berdasarkan hal tersebut maka telah dilakukan pengujian untuk mengetahui kinerja mesin pengering Berbasis Waktu Tetap dengan menggunakan bahan pati sagu.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana kaidah expert untuk mengatur mekanisme hibrid sehingga mesin pengering dapat berjalan dengan sistem hibrid berbasis waktu tetap?
2. Apakah kinerja mesin pengering akan lebih baik?
3. Apakah mutu sagu yang dihasilkan memenuhi SNI?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Sistem kontrol katup untuk mekanisme hibrid menggunakan kontrol *expert* berbasis waktu tetap.
2. Suhu yang digunakan 60 °C.
3. Bahan yang digunakan sebagai beban adalah pati sagu.
4. Kadar air pati sagu maksimal 13% (SNI).
5. Daya *heater* yang digunakan pada mesin 1500 watt.

## **1.4 Tujuan dan Kegunaan**

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah penerapan sistem hibrid pada mesin pengering tipe rak berbasis waktu tetap dengan menggunakan kaidah *expert* pada pengeringan pati sagu dapat meningkatkan kinerja mesin.

Kegunaan dari penelitian ini adalah sebagai bahan evaluasi bagi perancang dan pengembang untuk memperbaiki rancangan pada mesin pengering sistem hibrid tipe rak terkontrol *fuzzy expert* serta dapat menjadi sumber informasi bagi masyarakat dalam meningkatkan efisiensi mesin pengering.



## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sagu

Sagu merupakan salah satu bahan pangan lokal, tanaman sagu memiliki potensial yang cukup besar dalam bidang pangan Indonesia. Tanaman sagu tersebar di di berbagai daerah, beberapa diantaranya seperti Papua, Sulawesi, Maluku, dan pulau Mentawai. Sagu dimanfaatkan sebagai salah satu tanaman penghasil karbohidrat yang tinggi, memiliki potensi yang besar dalam bidang pangan. Jika ditinjau dari kandungannya, kalori yang terkandung dalam sagu relatif memiliki kandungan kalori yang sama dengan ubi kayu yakni 146 kal/100g. Sehingga pemanfaatan sagu sebesar-besarnya dapat menjawab tantangan di bidang ketersediaan pangan sebagai salah satu komoditas pangan ideal, khususnya di Indonesia. Secara kimia, sebagian besar komposisi yang terkandung dalam tepung sagu terdiri dari karbohidrat, seperti komposisi dari kimia tepung terigu, tepung beras, dan tepung tapioka (Ega, 2015).

Pengolahan produk sagu dibagi menjadi dua bentuk yaitu pertama, pengolahan sagu tradisional yang di konsumsi langsung maupun yang dijual, kedua pengolahan sagu secara modern di kelola menjadi tepung sagu yang selanjutnya di kelola menjadi aneka pangan/cemilan sagu. Ekstraksi pati sagu dilakukan terhadap empulur batang pohon sagu untuk memperoleh pati yang ada di dalam empulur batang pohon sagu (Widaningrum, 2005).

Standar nasional pati sagu dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional pada tahun 1992 melalui Dewan Standarisasi Nasional SNI 01-3729-1995 untuk mengatur pasar domestik. Standarisasi nasional antara lain pada table dibawah ini: (Widaningrum,2005).

Tabel 1. Syarat Mutu SNI Pati Sagu.

<b>Kriteria Uji</b>	<b>Satuan</b>	<b>Persyaratan</b>
1. Kadar air	% (b/b)	Maks 13
2. Keadaan		Normal
- Bau	-	Putih, khas sagu
- Warna	-	Normal (bebas dari bau asing)
- Rasa	-	

Sumber: Widaningrum,2005

Suhu gelatinisasi pati sagu relative lebih tinggi jika dibandingkan dengan pati lainnya sekitar 69 °C. Menurut Saripudin (2006) suhu gelatinisasi pati sagu mempunyai kisaran, yaitu suhu awal gelatinisasi pati sagu (rasio air dan tepung 5/1, 10 °C permenit) adalah 64,3 °C, suhu puncak gelatinisasi adalah 76,4 °C dan suhu akhir 82,3 °C. Penggunaan suhu 60 °C warna sagu belum mengalami perubahan warna.

## **2.2 Pengeringan**

Pengeringan merupakan suatu proses penurunan kadar air dalam suatu bahan, sampai mencapai dengan titik kesetimbangan, sehingga kerusakan suatu produk dapat diperlambat akibat aktivitas biologi dan kimia. Pengeringan merupakan penghidratan yang berarti menghilangkan air dari suatu bahan. 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. Proses pengeringan pangan bergantung pada struktur bahan beserta dengan parameter pengeringan: kadar air, dimensi produk, suhu medium pemanas, berbagai laju perpindahan pada permukaan dan kesetimbangan kadar air. Laju pengeringan pada suatu bahan yang akan dikeringkan yaitu dapat ditentukan oleh sifat bahan seperti, kadar air awal, densitas yang tinggi serta hubungannya dengan kesetimbangan kadar air pada kondisi pengeringan (Hasibun, 2005).

## **2.3 Jenis-jenis Alat pengering**

Pemilihan jenis pengeringan yang sesuai untuk suatu produk pangan dapat ditentukan oleh kualitas produk akhir yang diinginkan. Jenis-jenis alat pengering secara umum, yaitu:

### **2.3.1 Rotary Dryer**

Alat pengering ini berbentuk silinder yang bergerak pada porosnya. Silinder ini dihubungkan dengan alat pemutar dan letaknya agak miring. Permukaan dalam silinder dilengkapi dengan penggerak bahan yang berfungsi untuk mengaduk

bahan. Udara panas mengalir searah dan dapat pula berlawanan arah jatuhnya bahan kering pada alat pengering (Brennan, 2006).

### 2.3.2 Batch Dryer

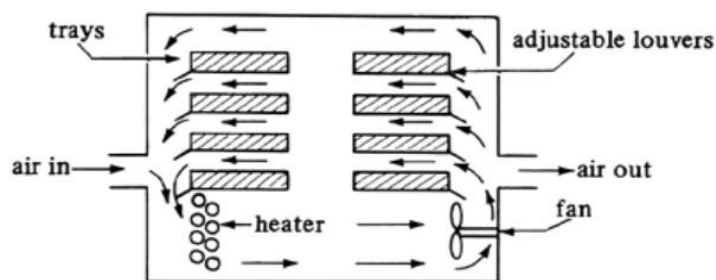
Pengeringan bahan yang dikeringkan dengan cara memasukkan bahan kedalam alat pengering, setelah kering mesin dalam keadaan off dan bahan yang telah kering dikeluarkan dari mesin. Kemudian memasukkan bahan selanjutnya yang akan dikeringkan, berulang seperti itu (Efendi, 2017).

### 2.3.3 Tray Dryer

Pengeringan tipe rak atau tray dryer merupakan alat pengering yang mempunyai bentuk persegi dan didalamnya berisi rak-rak yang dapat digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan (Taufiq, 2004).

## 2.4 Pengeringan Tipe Rak (*Tray Dryer*)

*Tray Dryer* merupakan alat pengering yang memiliki bentuk persegi, didalamnya terdapat rak yang dapat digunakan sebagai wadah bahan yang akan dikeringkan. Sirkulasi udara dalam mesin dapat diatur dengan menggunakan kipas. Udara yang telah melewati kipas masuk kedalam alat pemanas dan disalurkan pada rak-rak yang sudah terisi bahan. Aliran udara panas yang terdapat pada alat pengering dapat disesuaikan dengan ukuran bahan yang akan dikeringkan (Taufiq, 2004).



Gambar 1. Mesin pengering tipe rak  
(Sumber : Geankoplis, 2003).

*Tray Dryer* memiliki beberapa komponen utama yaitu pemanas, nampan dan *blower*. Udara panas pada proses pengeringan menggunakan *tray dryer* yang langsung berkontak dengan bahan di atas *tray*. Proses pengeringan dimulai pada saat pemanas menyala dan panas yang dihasilkan mengalir melalui udara yang melintasi permukaan dengan bantuan *blower* (Manfaati dkk, 2019).

Prinsip kerja dari alat pengering tipe rak menggunakan energi listrik yang diteliti oleh Amelia (2007), adalah udara panas dipompakan ke dalam ruang pengering. Aliran udara diatur oleh ruang pengarah ke arah ruang pengering. Udara panas akan melewati bahan dan menguapkan air dalam bahan. Udara dengan kadar air tinggi diarahkan ke luar oleh ruang pengarah dan kemudian dihisap oleh *exhaust fan* ke luar alat pengering. Proses pemanasan dalam pengering tipe rak terjadi melalui pengaliran udara panas pada setiap rak. Pindah panas terjadi secara konduksi dan konveksi. Pada umumnya, selain sebagai pembawa panas, udara juga berfungsi untuk memindahkan uap air. Arah aliran panas dapat disesuaikan dengan blower. Pada bahan yang halus, arah aliran udara panas dibuat dari atas ke bawah agar bahan tidak berserakan (Amelia, 2007).

## 2.5 Faktor-Faktor yang Berpengaruh dalam Proses Pengeringan

Proses pengeringan pada bahan hasil pangan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

### 2.5.1 Suhu

Perbedaan suhu antara medium pemanas dengan bahan besar dapat mengakibatkan penguapan dari bahan. Semakin besar beda suhu pada alat pengering dan bahan, maka pengeringan lebih cepat terjadi dan semakin kecil perbedaan suhunya maka semakin terhambat proses pengeringan (Ishak, 2013).

Menurut Hani (2012), Laju pengeringan akan semakin cepat apabila suhu tinggi dan dapat menekan kemungkinan terjadinya kerusakan pada bahan pangan yang diakibatkan oleh pengeringan yang terlalu lama. Apabila waktu pengeringan lama maka dapat menyebabkan laju pengeringan semakin kecil dan bila terjadi kenaikan suhu maka laju pengeringan akan semakin besar. Laju pengeringan dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$DR = \frac{W_w - W_t}{W_d} \times \frac{1}{t_n - (t_n - 1)} \quad (1)$$

Keterangan:

DR = Laju Pengeringan (gram H<sub>2</sub>O/gram padatan/jam)

W<sub>w</sub> = Berat awal bahan (gram)

W<sub>t</sub> = Berat bahan pada waktu t (gram)

W<sub>d</sub> = Berat bahan saat konstan (gram)

$t_n$  = Lama pengeringan waktu ke n (jam)

$t_n - t_1$  = Lama pengeringan waktu n-1

### 2.5.2 Kelembaban Relatif (RH) Udara Pengeriing

Kelembaban relative terdapat banyaknya jumlah air dan udara yang terbentuk gas dalam bahan pangan. Proses pengeringan dapat berlangsung dengan cepat jika kelembaban udara rendah (Irfan, 2015).

### 2.5.3 Kecepatan Aliran Udara

Jika udara bergerak cepat maka energi yang diperlukan dan proses pengeringan akan semakin meningkat. Laju aliran udara pengeringan berfungsi untuk membawa energi panas dan mentransfer energi tersebut ke bahan dan membawa uap air keluar dari ruang pengering (Ishak, 2013).

Laju Energi yang masuk ke ruang pengering dapat dihitung menggunakan rumus berikut (Rahman, dkk, 2017)

$$Q_{in} = \dot{m} \times C_p \times (T_p - T_k) \quad (2)$$

Keterangan:

$Q_{in}$  = Laju Energi udara pengering masuk ke ruang pengering (kJ/s)

$\dot{m}$  = Laju Alir massa (kg/s)

$C_p$  = Panas jenis udara yang masuk ke dalam mesin pengering (kJ/kg °C)

$T_p$  = Suhu udara ruang pengering (°C)

$T_k$  = Suhu udara dari sekitar mesin (°C)

### 2.5.4 Kadar Air

Kadar air adalah salah satu sifat fisik dari bahan yang menunjukkan banyaknya air yang terkandung di dalam bahan dan dinyatakan dalam persen. Kadar air menjadi sangat penting sebagai komponen pada bahan pangan. Kadar air suatu bahan dapat dinyatakan dalam dua bentuk persentase, yaitu kadar air basis basah dan kadar air basis kering. Kadar air basis basah memiliki batas maksimum teoritis 100%, sedangkan kadar air basis kering memiliki batas maksimum teoritis lebih dari 100% (Ahmad, 2014). Untuk menghitung kadar air digunakan persamaan berikut:

$$\text{Kadar air (\%bb)} = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

Kadar air = kadar air basis basah (%bb)

$m_{awal}$  = bobot sampel bahan sebelum dikeringkan (g)

$m_{akhir}$  = bobot sampel bahan setelah dikeringkan (g)

$$Kadar\ air\ (\%bb) = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{akhir}} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan:

Kadar air = kadar air basis kering (%bk)

$m_{awal}$  = bobot sampel bahan sebelum dikeringkan (g)

$m_{akhir}$  = bobot sampel bahan setelah dikeringkan (g)

### 2.5.5 Efisiensi Pengeringan

Efisiensi pengeringan dapat dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah energi untuk menguapkan air bahan dengan energi udara pengering yang masuk ke ruang pengering (Suhendar dkk, 2017).

$$Eff = \frac{E_{out}}{E_{in}} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

Eff = Efisiensi pengeringan (%)

$E_{out}$  = Energi yang digunakan menguapkan air bahan (kJ)

$E_{in}$  = Energi udara pengeringan (kJ)

### 2.5.6 Efisiensi *Thermal* Mesin Pengering

Efisiensi *thermal* adalah ukuran tanpa dimensi yang menunjukkan performa peralatan *thermal* seperti mesin pembakaran dalam dan sebagainya (id.m.wikipedia.org). Panas yang masuk adalah energi yang didapatkan dari sumber energi. Keluaran yang diinginkan dapat berupa panas atau kerja. Perhitungan efisiensi termal dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$Eff_{thermal} = \frac{E_{total}}{E_{listrik}} \quad (6)$$

Keterangan:

$Eff_{thermal}$  = Efisiensi thermal mesin (%)

$E_{total}$  = Energi yang digunakan untuk mengeringkan bahan (kJ)

$E_{listrik}$  = Energi yang digunakan oleh tungku mesin pengering (kJ)

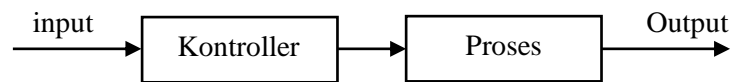
## 2.6 Kaidah *Expert*

Sistem *expert* merupakan sebuah program komputer yang dapat membuat sistem kecerdasan buatan. Sistem *expert* berfungsi untuk meniru kecerdasan manusia agar dapat menjalankan dan menerapkan sebuah perintah yang dimasukkan kedalam sebuah perangkat (Dairoh dkk, 2019).

Pernyataan ini direpresentasikan dalam bentuk *IF-THEN* disebut kaidah. Istilah ‘kaidah’ dalam AI, yang merupakan jenis yang paling umum digunakan representasi pengetahuan, dapat didefinisikan sebagai struktur *IF-THEN* informasi atau fakta di bagian *IF* dan beberapa tindakan dibagian *THEN*. Sebuah kaidah memberikan beberapa gambaran tentang bagaimana memecahkan suatu masalah. kaidahnya relatif mudah untuk membuat dan memahami (Negnevitsky, 2005).

## 2.7 Sistem Kontrol *Expert*

Menurut Ogata (2010), Sistem kontrol *loop* terbuka adalah suatu sistem kontrol yang keluaran (*output*) sistem tidak mempengaruhi kerja dari pengontrolan. Pada sistem kontrol *loop* terbuka tidak terjadi umpan balik untuk dibandingkan dengan sinyal masukan. Sistem *loop* terbuka dapat dilihat pada Gambar 2 dibawah ini:



Gambar 2. Sistem *Loop* Terbuka.