

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

**SITI AZISA DWIBUANA**

**G041171321**



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

**2023**

**KINERJA MESIN PENERING TIPE RAK DENGAN MEKANISME  
HYBRID BERBASIS WAKTU BERUBAH TERKONTROL *FUZZY EXPERT*  
PADA PENERINGAN PATI SAGU**

**SITI AZISA DWIBUANA  
G041171321**



Skripsi  
Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknologi Pertanian  
Pada  
Departemen Teknologi Pertanian  
Fakultas Pertanian  
Universitas Hasanuddin  
Makassar

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

**2023**

## LEMBAR PENGESAHAN

**KINERJA MESIN PENERING TIPE RAK DENGAN MEKANISME  
HYBRID BERBASIS WAKTU BERUBAH TERKONTROL *FUZZY EXPERT*  
PADA PENERINGAN PATI SAGU**

Disusun dan diajukan oleh

**SITI AZISA DWIBUANA  
G041171321**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 17 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

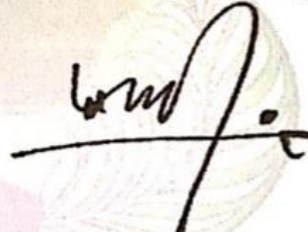
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

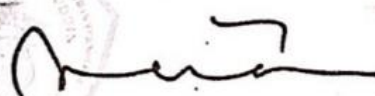


**Dr. Ir. Abdul Waris, MT.**  
NIP. 19601101 198903 1 002



**Prof. Dr. Ir. Mursalim, IPU, ASEAN.Eng.**  
NIP. 19610510 198702 1 001

Ketua Program Studi  
Teknik Pertanian



**Divah Yumenina R. Datu, S.TP, M.Agr, Ph.D.**  
NIP. 19810129 200912 2 003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Azisa DwiBuana

NIM : G041171321

Program Studi : Teknik Pertanian

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Berbasis Waktu Berubah 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 gunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 17 Februari 2023

Yang Menyatakan



266AKX315768981

Siti Azisa DwiBuana

## ABSTRAK

SITI AZISA DWIBUANA (G041171321). Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Berbasis Waktu Berubah Terkontrol *Fuzzy Expert* pada Pengeringan Pati Sagu. Pembimbing: ABDUL WARIS dan MURSALIM

Pengeringan pati sagu umumnya menggunakan mesin pengering tipe rak, tetapi efisiensinya relatif rendah dapat menurunkan mutu pati sagu. Oleh karenanya telah dirancang mesin pengering tipe rak yang menerapkan mekanisme hibrid oven dan *dryer*, namun belum diketahui kinerja mesin pengering tersebut apabila mekanisme hibridnya didasarkan pada waktu berubah. Tujuan Penelitian ini untuk mengetahui apakah penerapan sistem hibrid pada mesin pengering tipe rak berbasis waktu berubah dengan menggunakan kaidah *expert* pada pengeringan pati sagu dapat meningkatkan kinerja mesin. Metode penelitian ini meliputi perancangan kaidah *expert* kontrol katup, uji fungsi kaidah dan uji kinerja mesin pengering hibrid dan non-hibrid. Parameter yang diamati yaitu suhu udara pengeringan, kadar air, laju pengeringan, penggunaan energi mesin pengering, efisiensi mesin pengering, penghematan dan mutu pati sagu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air pati sagu selama pengeringan 7 jam dengan mesin pengering hibrid 42% menjadi 12%, non-hibrid 42% menjadi 13%. Hal ini membuktikan, kadar air pengeringan hibrid lebih rendah dibandingkan non-hibrid. Suhu udara pengering hibrid dan non-hibrid stabil, pada sistem hibrid dan non-hibrid *settling time* relatif singkat yaitu dalam waktu 10 menit dan terjadi *overshoot* 1 °C (1,6%) pada sistem hibrid selama 2 menit. Terjadi *error steady state* pada kedua sistem yaitu pada sistem hibrid menit ke 120-240 lebih 1 °C (1,6%) dari *setting point* sedangkan non-hibrid menit ke 180-300 kurang 1 °C (1,6%). Laju pengeringan sistem non-hibrid dan hibrid sama yaitu 0,25 gram H<sub>2</sub>O/kg/h. Pengering sistem hibrid menggunakan energi listrik lebih sedikit yaitu 6,1 kWh, sedangkan non hibrid 7,7 kWh. Efisiensi pengeringan dan efisiensi *thermal* pengeringan sistem hibrid lebih tinggi yaitu 74% dan 57% dibandingkan non-hibrid yaitu 56% dan 42%, sehingga diperoleh penghematan pengeringan sistem hibrid adalah 24,22%. Mutu pati sagu yang diperoleh pada pengeringan hibrid dan non-hibrid sesuai dengan standar SNI pati sagu yaitu berwarna putih khas sagu.

**Kata Kunci:** Kinerja, Mutu, Pati Sagu, Pengeringan.

## ABSTRACT

SITI AZIS DWIBUANA (G041171321). *The performance of A Tray Dryer Machine with Hybrid Mechanism System Based on The Changing Times Controlled by Fuzzy Expert on Sago Starch Drying*. Supervised by: ABDUL WARIS and MURSALIM

Sago starch drying generally uses a tray drying machine, but its relatively low efficiency can reduce the quality of sago starch. Therefore, tray drying machine has been designed that applies a hybrid mechanism of oven and dryer, but the performance of drying machine is not yet known if hybrid mechanism based on time change. The purpose of this study to determine whether the application of a hybrid system on a tray drying machine based on time changes using expert rules on drying sago starch can improve machine performance. This research method includes the design of valve control expert rules, rule function test and performance test of hybrid and non hybrid drying machines. The parameters observed were drying air temperature, moisture content, drying rate, energy use of drying machine, efficiency of the drying machine, savings and quality of sago starch. The results showed that moisture content of sago starch during 7 hours drying with hybrid drying machine was 42% to 12%, non hybrid 42% to 13%. This proves that the moisture content of hybrid drying is lower than non hybrid. The air temperature of hybrid and non hybrid dryers is stable, in hybrid and non hybrid systems the settling time is relatively short, within 10 minutes and there is an overshoot of 1 °C (1.6%) in the hybrid system for 2 minutes. There is a steady state error in both systems, which is in the hybrid system at 120-240 minutes more 1 °C (1.6%) from the setting point while non hybrid at 180-300 minutes less 1 °C (1.6%). The drying rate of non hybrid and hybrid systems is the same at 0.25 grams H<sub>2</sub>O/kg/h. Hybrid system dryer uses less electrical energy at 6.1 kWh, while non-hybrid is 7.7 kWh. The drying efficiency and thermal efficiency of hybrid system drying are higher at 74% and 57% compared to non hybrid system at 56% and 42%, so the savings obtained from hybrid system drying is 24.22%. The quality of sago starch obtained in hybrid and non hybrid drying is in accordance with the SNI standard of sago starch, which is white typical of sago.

**Keywords:** *Dryer, Performance, Quality, Sago Starch*

## PERSANTUNAN

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan yang maha Esa, Allah SWT. Dengan karunia dan berkat rahmatnya, penulis dapat sampai ke tahap ini. Shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad SAW, nabi yang merupakan junjungan dan panutan dalam bertindak. Penyelesaian skripsi ini dengan judul “Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Berbasis Waktu Berubah Terkontrol *Fuzzy Expert* pada Pengeringan Pati Sagu” tidak lepas dari dukungan dan kontribusi berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih setulusnya kepada:

1. **Ayahanda Ir. Buhartanuddin, M.Si.** dan **Ibunda Andriana Zaenal** serta **Nenek saya Hj. Asma Zaenal** dan **Kakak saya Siti Anisa Eka Buana, S.Tr.Met.** terima kasih atas setiap doa, kasih sayang serta dukungan moral dan materi kepada penulis hingga bisa sampai di tahap ini.
2. **Dr. Ir. Abdul Waris, M.T.** dan **Prof. Dr. Ir. Mursalim, IPU., ASEAN.Eng.** selaku dosen pembimbing yang meluangkan waktunya untuk memberikan kritikan, saran, dan segala arahan yang telah diberikan dari tahap proposal, pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi 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. **Ica, Annisa, Marsia, Nadia, Nurul, Amin, Ayusari, Oca, Kak Mardan, Kak Maya, Kak Frida, Kak Ainun, Kak Putri, Kak April, Kak Indra Husna, Nisa, Ainun, Nini, Saras, Meri, Ega, Kiki, Dewi, Lala, 7ic** dan **gdsm** 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. Aamiin.

Makassar, 17 Februari 2023

Siti Azisa DwiBuana

## RIWAYAT HIDUP



**Siti Azisa DwiBuana** lahir di Ujung Pandang pada tanggal 21 Juli 1999 dan merupakan putri bungsu dari pasangan Buhartanuddin dan Andriana. Penulis menempuh jenjang pendidikan formal pertama di TK Sulawesi Makassar pada tahun 2004 sampai tahun 2005 kemudian ke jenjang sekolah dasar di SDN Mangkura III Makassar, pada tahun 2005 sampai tahun 2011. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di SMPN 3 Makassar

dari tahun 2011 sampai tahun 2014 kemudian melanjutkan pendidikan di jenjang menengah atas di SMAN 8 Makassar 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 Hasanudin Makassar pada tahun 2017.

Selama menempuh pendidikan di Universitas, penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian Universitas Hasanudin (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 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan .....	5
2.4 Pengering Tipe Rak ( <i>Tray Dryer</i> ) .....	9
2.5 Sistem Kontrol.....	9
2.6 Kaidah <i>Expert</i> .....	11
3. METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Waktu dan Tempat.....	12
3.2 Alat dan Bahan .....	12
3.3 Metode Penelitian.....	12
3.4 Perancangan Kaidah <i>Expert</i> Katup Hibrid .....	14
3.5 Uji Fungsional.....	15

3.6 Uji Kinerja.....	15
3.7 Prosedur Uji Kinerja.....	15
3.8 Parameter Pengamatan.....	16
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Suhu Udara .....	19
4.2 Kadar Air .....	20
4.3 Laju Pengeringan .....	21
4.4 Konsumsi Energi Listrik .....	21
4.5 Efisiensi dan Penghematan.....	22
4.6 Mutu Sagu .....	23
5. PENUTUP .....	24

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema Alat Pengering Tipe Rak.....	9
Gambar 2. Sistem Kontrol Lup Tertutup .....	10
Gambar 3. Sistem Kontrol Lup Terbuka .....	11
Gambar 4. Diagram Alir Penelitian.....	13
Gambar 5. Siklus Pengeringan <i>Hybrid</i> .....	14
Gambar 6. Sistem Kontrol Katup.....	15
Gambar 7. Respon Transient Suhu Udara Pengering .....	19
Gambar 8. Suhu Udara Pengering Selama Proses Pengeringan .....	19
Gambar 9. Penurunan Kadar Air (%bb).....	20
Gambar 10. Laju Pengeringan Rata-Rata.....	21
Gambar 11. Konsumsi Energi Listrik Selama Proses Pengeringan .....	22
Gambar 12. Warna Pati Sagu Sebelum Pengeringan.....	23
Gambar 13. Warna Pati Sagu Setelah Pengeringan .....	23
Gambar 14. Warna Pati Sagu Setelah Penjemuran .....	23

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Syarat Mutu SNI Pati Sagu.....	4
---	---

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Sifat Udara .....	27
Lampiran 2. Hasil Pengukuran Kecepatan dan Luas Penampang Udara .....	27
Lampiran 3. Suhu Udara Pengering Awal (Respon Dinamis) .....	28
Lampiran 4. Suhu Udara Pengering (Respon Statis) .....	28
Lampiran 5. Berat Pati Sagu Hasil Pengeringan.....	29
Lampiran 6. Laju Pengeringan Rata-Rata .....	29
Lampiran 7. Hasil Pengukuran Rata-Rata Kadar Air (%bb) .....	30
Lampiran 8. Respon Suhu pada Proses Pengeringan .....	30
Lampiran 9. Konsumsi Energi Listrik.....	31
Lampiran 10. Perhitungan Energi Udara Pengering.....	32
Lampiran 11. Perhitungan Efisiensi Mesin Pengering.....	33
Lampiran 12. Mutu Bahan .....	36
Lampiran 13. Dokumentasi Penelitian .....	36
Lampiran 14. Spesifikasi Mesin Pengering.....	37

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Pati sagu merupakan salah satu hasil pangan yang memiliki nilai ekonomis cukup tinggi. Selain dari mudahnya ditemukan dipasaran, olahan pati sagu juga sangatlah beragam. Beberapa daerah di Indonesia seperti Papua, Maluku dan beberapa wilayah di Sulawesi menjadikan olahan sagu sebagai makanan pokok. Salah satu pengolahan pangan berbahan dasar sagu yaitu kue kering, mutiara sagu, kerupuk, laksa dan bagea. Akan tetapi pengolahan secara tradisional yang dilakukan oleh kebanyakan penduduk Indonesia adalah dengan menjemurnya secara langsung di bawah sinar matahari dapat mempengaruhi kadar air dari pati sagu. Apabila kadar airnya tinggi maka akan memicu pertumbuhan jamur pada rentan waktu tertentu sehingga menurunkan kualitas dan mutu dari pati sagu tersebut.

Pengeringan dapat menjadi suatu solusi dalam memecahkan permasalahan pengawetan bahan pangan. Pengeringan bertujuan untuk mengurangi tingkat kadar air berlebih dalam suatu bahan pangan sehingga kualitasnya dapat terjaga. Metode pengeringan dapat dilakukan secara alami yaitu dengan menggunakan panas matahari dan buatan yaitu dengan menggunakan mesin pengering.

Mesin pengering sangatlah beragam jenisnya, salah satunya mesin pengering tipe rak. Mesin pengering tipe rak merupakan suatu alat pengering yang didalamnya tersusun beberapa rak logam untuk menampung bahan pangan. Kelebihan dari mesin pengering tipe rak yaitu tidak terlalu memakan banyak tempat jika dibandingkan dengan penjemuran tradisional dan kebersihan tetap terjaga, suhunya dapat diatur sehingga waktu lebih sedikit. Namun mesin pengering tipe rak ini memiliki kelemahan yaitu memiliki nilai efisiensi yang rendah karena banyak membuang panas (Jhondri, 2017).

Oleh karena itu untuk meningkatkan efisiensinya maka telah dirancang mesin pengering yang dilengkapi mekanisme hibrid oven dengan *dryer* dan sistem kendali *fuzzy expert* oleh staf dosen Teknik Pertanian Universitas Hasanuddin. Akan tetapi, belum diketahui kinerja dari mesin pengering tersebut apabila mekanisme hibridnya didasarkan pada waktu berubah.

Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan pengujian guna mengetahui kinerja dari alat pengering yang telah dirancang dengan menerapkan hibrid waktu berubah dengan menggunakan beban pati sagu.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kaidah *expert* dalam mengontrol mekanisme katup hibrid agar mesin pengering dapat bekerja dengan sistem hibrid berbasis waktu berubah?
2. Apakah kinerja mesin pengering tipe rak dengan mekanisme hibrid berbasis waktu berubah terkontrol *fuzzy expert* lebih baik jika dibandingkan dengan non-hibrid?
3. Bagaimana mutu pati sagu yang telah dikeringkan?

## **1.3 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Sistem kontrol *expert* mekanisme katup hibrid berbasis waktu berubah dengan kontrol *expert*.
2. Komoditas yg digunakan sebagai beban adalah pati sagu.
3. Kadar air pati sagu hasil pengeringan maksimal 13% (SNI).
4. Suhu yang digunakan 60 °C.
5. Daya *heater* yang digunakan pada mesin 1.500 Watt.

## **1.4 Tujuan dan Kegunaan**

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

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

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sagu

Sagu merupakan salah satu jenis bahan pangan yang memiliki kandungan karbohidrat melimpah, sehingga sebagian daerah khususnya bagi masyarakat kawasan timur di Indonesia seperti Papua, Maluku dan beberapa daerah di Sulawesi menjadikan olahan sagu sebagai makanan pokok. Salah satu pengolahan pangan berbahan dasar sagu yaitu kue kering, mutiara sagu, kerupuk, laksa dan bagea.

Tingkat pengolahan sagu dengan menggunakan teknologi yang dilakukan masyarakat ada empat, yaitu teknologi skala mikro, teknologi skala kecil, teknologi semimekanis dan teknologi full mekanis. Ekstraksi pati sagu dilakukan terhadap empulur batang pohon sagu untuk memperoleh pati yang ada di dalam empulur batang pohon sagu. Prinsip untuk mengekstraksi pati sagu dimulai dari menebang batang sagu lalu dibersihkan kulit serat yang kasar setebal 2–4 cm, pembelahan batang sagu menjadi beberapa bagian sepanjang 40–70 cm. Lalu pisahkan pati sagu dari sabut dan parut serta dilakukan pengeringan pada pati sagu. Secara garis besar ekstraksi pati sagu terbagi dua, yaitu dengan cara mekanis atau pabrikasi dan dilakukan secara tradisional (Harling, 2018).

Pengolahan sagu sejauh ini masih banyak memiliki keterbatasan, terutama dalam hal perbaikan kualitas dan mutu tepung sagu yang dihasilkan, salah satunya disebabkan oleh proses pengeringan. Seperti halnya proses pengeringan sagu dengan menjemurnya secara langsung di bawah sinar matahari merupakan cara yang paling sering dilakukan oleh kebanyakan penduduk Indonesia. Hal ini mengakibatkan tidak optimalnya kapasitas produksi. Higienitas produk juga menjadi faktor yang tidak diperhatikan. Proses pengeringan bahan makanan dapat dilakukan dengan penjemuran di bawah sinar matahari atau dengan menggunakan mesin pengering. Pengeringan dengan menggunakan mesin pengering memiliki keuntungan yaitu suhu dan waktu pemanasan dapat diatur (Sudirman dkk, 2018).

Proses pengolahan pati sagu dalam skala industri menggunakan tepung sagu basah sebagai bahan utamanya. Sebanyak satu sak pati sagu basah diaduk dengan air bersih kemudian dikeluarkan kotorannya dengan cara disaring. Selanjutnya mengendapkan pati sagu basah selama 3 hari guna mengeluarkan sisa ampas dan



getah lendir sagu, lalu dilakukan perendaman selama 1 jam, kemudian membuang air rendaman pati sagu dan dilakukan penjemuran selama 6 jam. Apabila pati sagu sudah kering dilakukan penggilingan dan pengayakan lalu dikemas untuk dipasarkan (Tarigan dan Ariningsih, 2007).

Badan Standarisasi Nasional mengeluarkan aturan standar nasional untuk pati sagu melalui Dewan Standarisasi Nasional yang dituangkan dalam SNI 01-3729-1995 untuk mengatur pasar domestik. Standar yang dimaksud antara lain telah tercantum pada tabel berikut (Widaningrum, 2005):

Tabel 1. Syarat Mutu SNI Pati Sagu.

<b>Kriteria Uji</b>	<b>Persyaratan</b>
Keadaan Bau	Normal
Keadaan Warna	Putih Khas Sagu
Benda Asing	Tidak Ada
Kadar Air % (b/b)	Maksimal 13%

Sumber: SNI 01-3729-1995 dan Widaningrum, 2005

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Saripudin (2006) proses pengeringan dilakukan untuk mengetahui karakteristik pengeringan tepung sagu sehingga diperoleh kadar air basis kering sebesar 6,36% yang dapat memperpanjang masa simpan dan mempertahankan mutu tepung sagu. Dalam penelitiannya suhu pengeringan di set 60 °C dan 70 °C, hal ini dilakukan untuk menghindari gatinisasi pada pati yang dimana suhu awal gelatinisasi pati sagu 75 °C (Saripudin, 2006).

## **2.2 Pengeringan**

Pada umumnya bahan pangan dari produk pertanian mengandung kadar air. Kadar air tersebut dapat menyebabkan pembusukan dan penurunan kualitas apabila disimpan terlalu lama, hal ini disebabkan oleh pertumbuhan dari mikroorganisme. Minimnya kadar air dalam suatu bahan dapat memperlambat pertumbuhan mikroorganisme. Maka dari itu, untuk meminimalisir kandungan kadar air dapat dilakukan proses pengeringan. Pengeringan dapat mengurangi tingkat aktivitas air yang dapat digunakan oleh mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang serta mengurangi berat dan volume bahan pangan (Astuti dan Sri, 2008).

Pengeringan adalah proses mengurangi kadar air dalam suatu bahan hingga mencapai titik kesetimbangan dengan menggunakan energi panas. Pengeringan dapat dilakukan dengan cara alami yaitu penjemuran dibawah paparan matahari langsung ataupun dengan cara buatan yaitu menggunakan alat bantu seperti mesin pengering (Hardianti dkk, 2017).

Proses pengeringan yang alami sangat ekonomis akan tetapi memiliki beberapa kekurangan antara lain sanitasinya kurang terjaga sehingga dapat menurunkan kualitas dari bahan pangan dan waktu pengeringan yang cukup lama hal ini dikarenakan proses ini sangat bergantung pada cuaca pada saat pengeringan (Hardianti dkk, 2017).

## **2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan**

Berikut merupakan beberapa faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil dari proses pengeringan, yaitu:

### **2.3.1 Luas Permukaan**

Apabila permukaan dari bahan yang dikeringkan semakin luas, air dapat berdifusi dengan mudah sehingga jarak yang ditempuh oleh panas kecil. Maka dari itu, biasanya ukuran bahan diperkecil sebelum dilakukan pengeringan agar dapat mempercepat proses pengeringan. Semakin kecil luas permukaan maka semakin cepat pula proses pengeringan (Ishak, 2013).

### **2.3.2 Suhu**

Jika suhu antara medium pemanas dengan bahan perbedaannya besar maka air menjadi cepat menguap dari bahan dan perpindahan panas menuju bahan semakin cepat. Jika uap air tidak segera dikeluarkan, maka dapat mengakibatkan udara di sekitar bahan pangan jenuh sehingga penguapan air dan proses pengeringan akan berlangsung lama (Ishak, 2013).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Fitriani dkk (2013) diketahui bahwa suhu tinggi dan lama waktu pengeringan dapat mengakibatkan perubahan warna bahan pangan menjadi coklat. Hal ini terjadi karena tingginya suhu pengeringan akan mengakibatkan rusaknya karbohidrat bahan sehingga terjadi reaksi *browning non enzimatis* (reaksi *maillard*) pada bahan. Suhu dan lama

pengeringan juga dapat mempengaruhi tekstur bahan. Apabila proses pengeringan menggunakan suhu yang rendah dan waktu pengeringan yang singkat maka tekstur bahan kurang baik. Hal ini dikarenakan kandungan kadar air pada bahan masih tinggi. Maka dari itu hubungan antara suhu dan waktu pengeringan harus berbanding terbalik (Fitriani dkk, 2013).

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 (Hani, 2012).

$$DR = \frac{W_w W_t}{W_d} \times \frac{n(n-1)x^2}{t_n - t_{n-1}} \quad (1)$$

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<sub>n</sub> = Lama pengeringan waktu ke n (jam)

t<sub>n-1</sub> = Lama pengeringan waktu n-1 (jam)

Laju pengeringan memiliki 3 periode dalam proses pengeringan, yaitu *initial period* (periode awal) dimana laju penguapan air meningkat seiring dengan waktu, *constant rate period* (periode laju konstan) dimana laju penurunan kadar air bahan konstan dan *falling rate period* (periode laju menurun) dimana pada tahap ini laju pengeringan menurun. Pergerakan air dari dalam bahan menuju permukaan menjadi penentu kecepatan penurunan kadar air Hayati (2012).

### 2.3.3 Kelembaban udara

Kecepatan pengeringan yang tinggi diakibatkan oleh kelembaban udara yang rendah. Kelembaban udara menentukan kadar air akhir dari suatu bahan pangan yang telah dikeringkan. Jika bahan pangan telah mencapai kesetimbangan kelembaban nisbi maka proses penyerapannya akan berhenti (Ishak, 2013).

### 2.3.4 Kecepatan udara

Apabila udara bergerak cepat maka proses pengeringan juga akan semakin cepat. Sehingga hal tersebut mengakibatkan pada umumnya proses pengeringan perlu menggunakan sirkulasi udara contohnya *tunnel dryer* dan pengering kabinet (Ishak, 2013). Hubungan kecepatan udara dengan energi yang masuk kedalam ruang pengering, sebagai berikut:

$$E_{in} = v\rho \times C_p \times (T_p - T_k) t \quad (2)$$

Keterangan:

$E_{in}$  = Energi yang masuk ke dalam ruang pengering ( kJ)

$v$  = Kecepatan volumetrik udara ( $m^3/s$ )

$\rho$  = Berat spesifik udara ( $kg/m^3$ )

$C_p$  = Panas jenis udara yang masuk ke dalam mesin pengering ( $kJ/kg \text{ } ^\circ C$ )

$T_p$  = Suhu udara ruang pengering ( $^\circ C$ )

$T_k$  = Suhu udara dari disekitar mesin pengering ( $^\circ C$ )

$T$  = Lama pengeringan (s)

### 2.3.5 Kadar air

Kadar air menunjukkan banyaknya air yang terkandung dalam bahan pangan. Berat bahan padatan merupakan berat suatu bahan yang bernilai konstan setelah dikeringkan pada waktu tertentu (Ishak, 2013).

Kadar air basis basah dapat diperoleh dari persentase berat air yang ada pada bahan pangan basah. Kadar air basis kering dapat diperoleh dari perbandingan berat air dan berat padatan pada bahan pangan. Kadar air kesetimbangan dapat diperoleh apabila tekanan uap pada bahan pangan dan tekanan uap pada lingkungan sama. Kadar air kesetimbangan dapat dipengaruhi oleh kelembaban, suhu lingkungan, varietas, spesies serta kematangan suatu bahan. Bahan disebut keadaan seimbang jika laju penambahan air dari udara di sekeliling ke bahan serta laju kehilangan air mencapai titik seimbang (Ishak, 2013).

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

Keterangan:

Kadar air = Kadar air berdasarkan basis basah (% bb)

$m_{awal}$  = Bobot sampel bahan se

belum dikeringkan (gram)

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

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

Keterangan:

Kadar air = Kadar air bahan berdasarkan basis kering (%bk)

$m_{awal}$  = Bobot sampel bahan sebelum dikeringkan (gram)

$m_{akhir}$  = Bobot sampel bahan setelah dikeringkan (gram)

### 2.3.6 Efisiensi pengeringan

Efisiensi pengeringan merupakan perbandingan antara jumlah energi yang digunakan untuk menguapkan kadar air bahan ( $E_{total}$ ) dengan jumlah energi yang masuk ke dalam ruang pengeringan ( $E_{in}$ ), dengan menggunakan persamaan (Suhendar dkk, 2017).

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

Keterangan :

Eff = Efisiensi pengeringan (%)

$E_{out}$  = Energi yang digunakan pada proses pengeringan (kJ)

$E_{in}$  = Energi yang masuk keruang pengering (kJ)

### 2.3.7 Efisiensi termal mesin pengering

Efisiensi termal mesin pengering adalah suatu nilai yang menunjukkan kinerja suatu mesin. Panas yang masuk kedalam ruang pengering adalah energi didapatkan dari sumber energi dan keluarannya berupa panas atau kerja, Efisiensi termal mesin pengering dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Septiana, 2019):

$$\eta = \frac{Energy\ required}{Energy\ supplied} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi (%).

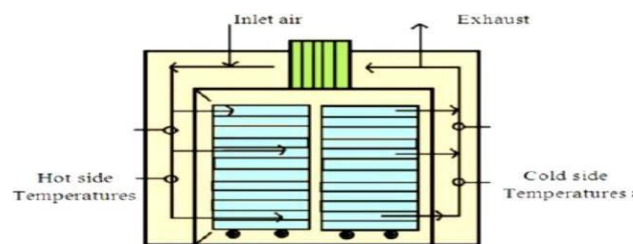
*Energy required* = Energi yang dibutuhkan untuk pengeringan (J).

*Energy supplied* = Energi listrik yang disuplai (J).

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

*Tray dryer* merupakan suatu alat pengering yang didalamnya tersusun beberapa rak untuk menampung bahan pangan. Mesin pengering tipe rak biasanya digunakan untuk mengeringkan buah-buahan, biji-bijian dan sebagainya. Sirkulasi udara dalam mesin diatur dengan menggunakan kipas. Setelah melewati kipas, udara akan masuk kedalam alat pemanas dan disalurkan menuju rak-rak yang menampung bahan. Setelah itu proses pengeringan bahan terjadi oleh panas yang dibawa udara tersebut pada ruang pengering (Taufik, 2004).

*Tray Dryer* berfungsi untuk mengeringkan bahan-bahan hasil pertanian yang tidak dapat diaduk pada saat proses pengeringan, sehingga hasilnya berupa zat padat kering. *Tray Dryer* biasanya digunakan bagi para usaha produksi kecil. Gambar 1 menunjukkan skema dari *Tray Dryer* (Brooker, dkk. 1992).



Gambar 1. Skema Alat Pengering Tipe Rak  
(Sumber: Brooker, dkk. 1992).

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

## 2.5 Sistem Kontrol

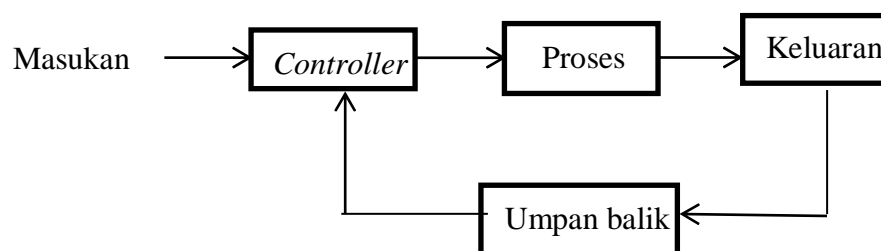
Sistem kontrol adalah sebuah pengetahuan dalam komputer yang membuat sistem kecerdasan buatan yang berfungsi meniru kecerdasan manusia untuk dapat menjalankan dan menerapkan sebuah perintah yang dimasukkan kedalam sebuah perangkat. Sistem kontrol merupakan cara untuk memproses sebuah data. Sekitar tahun 70an sistem kontrol tidak dapat di terapkan dikarenakan alat komputer kurang memadai (Dairoh dkk, 2019).

Sistem kontrol merupakan sebuah metode dalam sistem kontrol untuk memecahkan masalah yang diterapkan kedalam sistem yang sederhana pada jaringan PC dan penerapan pada *channel multi* maupun pada *work station* yang berbasis pada data akuisisi dan pada sistem kontrol (Dairoh dkk, 2019).

### 2.5.1 Sistem Kontrol Lup Tertutup

Sistem kontrol lup tertutup biasanya disebut sebagai sistem kontrol umpan balik. Sistem kontrol lup tertutup sinyal kesalahan penggerak merupakan perbedaan antara sinyal *input* dan sinyal umpan balik (ada kemungkinan merupakan sinyal *output* itu sendiri atau fungsi dari sinyal *output* dan turunannya serta integralnya), diumpankan ke pengontrol sehingga dapat mengurangi kesalahan dan membawa *output* sistem ke nilai yang diinginkan. Sistem kontrol lup tertutup selalu menyiratkan penggunaan tindakan kontrol umpan balik untuk mengurangi kesalahan sistem (Ogata, 2010).

Sistem lup tertutup memiliki keuntungan yaitu penggunaan umpan balik membuat respons sistem relatif tidak sensitif terhadap gangguan eksternal dan variasi internal dalam parameter sistem. Sehingga dapat menggunakan komponen yang relatif tidak akurat dan murah untuk mendapatkan kontrol yang akurat dari pabrik tertentu. Kelemahan sistem lup tertutup adalah umumnya lebih tinggi dalam biaya dan daya (Ogata, 2010).



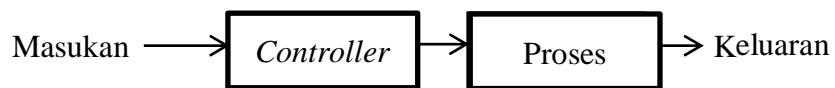
Gambar 2. Sistem Kontrol Lup Tertutup (Sumber: Ogata, 2010).

### 2.5.2 Sistem Kontrol Lup Terbuka

Sistem kontrol lup terbuka merupakan sistem yang tindakan kontrolnya tidak dipengaruhi oleh *output*nya. Dengan kata lain tidak dibandingkan dengan input. Contohnya pada mesin cuci yang mengontrol waktu perendaman, pencucian dan pembilasan akan tetapi tidak mengukur sinyal keluaran seperti kebersihan pakaian. Dengan demikian, untuk setiap masukan referensi terdapat kondisi operasi yang

tetap sehingga menyebabkan keakuratan sistem yang bergantung pada hasil kalibrasi. Apabila terdapat *error* maka sistem kontrol lup terbuka tidak akan melakukan tugas yang diinginkan. Kontrol lup terbuka dapat beroperasi hanya apabila hubungan antara input dan output diketahui dan jika tidak ada gangguan internal maupun eksternal. Maka dari itu, sistem lup terbuka bukan merupakan sistem kontrol umpan balik (Ogata, 2010).

Sistem lup terbuka memiliki kelebihan yaitu stabilitas sistem kontrolnya lebih mudah dibangun karena stabilitas sistem bukanlah masalah utama, dilain sisi, stabilitas merupakan masalah utama dalam sistem kontrol lup tertutup yang cenderung mengoreksi kesalahan yang dapat menyebabkan osilasi konstan atau amplitudo berubah. Kelemahan sistem lup terbuka adalah tidak dapat menggunakan komponen yang relatif tidak akurat dan murah karena respon sistemnya relatif sensitif terhadap gangguan (Ogata, 2010).



Gambar 3. Sistem Kontrol Lup Terbuka  
(Sumber: Ogata, 2010).

## 2.6 Kaidah *Expert*

Sistem kontrol *expert* adalah sebuah pengetahuan dalam komputer yang membuat sistem kecerdasan buatan untuk meniru kecerdasan manusia agar menjalankan sebuah perintah yang dimasukan ke sebuah perangkat (Dairoh dkk, 2019).

Pengetahuan *expert* dapat di rumuskan dalam bentuk *IF-THEN* yang disebut kaidah. Struktur *IF-THEN* berkaitan dengan suatu informasi menyatakan fakta pada *IF* dan menyatakan tindakan pada *THEN*. Umumnya penggunaan *IF* di beberapa kondisi digabung dengan kata kunci *AND* atau *OR* (Negnevitsky, 2005).

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 objek sebagai numerik dan menetapkan ke nilai numerik, contohnya (Negnevitsky, 2005):  
 Sistem Siso      *IF* Suhu kolektor *IS* Rendah *THAN* Power *IS* Tinggi  
 Sistem Miso    *IF* Suhu kolektor *IS* Rendah *and* Rh *IS* Tinggi *THAN* Power *IS*