

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

**ANNISA
G041171001**



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

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

ANNISA

G041171001



Skripsi

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknologi Pertanian

Pada

Departemen Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian

Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN

FAKULTAS PERTANIAN

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

LEMBAR PENGESAHAN

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

Disusun dan diajukan oleh


ANNISA
G041171001

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas
Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 24 Februari 2023 dan dinyatakan
telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping



Dr. Ir. Abdul Waris, MT.
NIP.196011011989031002



Ir. Samsuar, S.TP., M.Si.
NIP.19850709201504 1001

Ketua Program Studi
Teknik Pertanian



Divah Yumeinal R. Datu, STP, M.Agr., Ph.D.
NIP.19810129 2009122003

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Annisa
NIM : G041 17 1001
Program Studi : Teknik Pertanian
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Berbasis RH Terkontrol *Fuzzy Expert* Pada Pengeringan Pati Sagu adalah karya seni 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, 24 Februari 2023

Yang Menyatakan

Annisa



ABSTRAK

ANNISA (G041171001). Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Berbasis RH Terkontrol *Fuzzy Expert* Pada Pengeringan Pati Sagu. Pembimbing: ABDUL WARIS dan SAMSUAR.

Pengeringan adalah salah suatu cara yang dilakukan guna mengurangi maupun mengeluarkan kandungan air pada bahan. Mesin pengering tipe rak umumnya dipakai untuk mengeringkan bahan pangan seperti pati sagu, namun efisiensinya cukup rendah. Oleh karena itu telah dirancang mesin pengering tipe rak dengan mekanisme *hybrid*, namun belum diketahui kinerjanya bila diterapkan mekanisme *hybrid* berbasis RH dengan menggunakan kaidah *expert*. Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui apakah penerapan sistem *hybrid* pada mesin pengering tipe rak berbasis RH pada pengeringan pati sagu dapat meningkatkan kinerja mesin. Metode penelitian ini meliputi perancangan kaidah *expert* kontrol katup, uji fungsional dan uji kinerja mesin pengering. Parameter yang diamati yaitu suhu, kadar air, laju pengeringan, energi, efisiensi, penghematan, dan mutu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin pengering sistem *hybrid* dan *non-hybrid* berkapasitas 10 kg mampu mengeringkan pati sagu selama 7 jam dari kadar air 42,35% sampai mencapai kadar air 12,80%. Suhu udara pengering dengan sistem *hybrid* dan *non-hybrid* mengalami *overshoot* namun kecil hanya 1 °C tidak terjadi *error steady state* dan suhu cukup stabil. Laju pengeringan pada sistem *hybrid* dan *non-hybrid* sama yaitu 0,25 gram H₂O/kg/h. Efisiensi pengeringan dan efisiensi *thermal* mesin untuk *hybrid* adalah 58% dan 57% sedangkan pada *non-hybrid* adalah 56% dan 42%. Konsumsi energi listrik pada sistem *hybrid* lebih sedikit dibandingkan dengan menggunakan pengeringan sistem *non-hybrid*, sehingga penghematan yang diperoleh yaitu 29,16%. Mutu dari pati sagu yang diperoleh sesuai dengan standar SNI pati sagu yang telah ditetapkan.

Kata kunci: Efisiensi, Mutu, Pati Sagu, Pengeringan

ABSTRACT

ANNISA (G041171001). *The Performance of A Tray Drying Machine with Hybrid Mechanism System on The RH Controlled by Fuzzy Expert at of Sago Starch Drying. Supervised by: ABDUL WARIS dan SAMSUAR.*

Drying is one way to reduce or remove the water content in the material. Rack-type drying machines are generally used to dry foodstuffs such as sago starch, but their efficiency is quite low. Therefore, a rack-type drying machine with a hybrid mechanism has been designed, but its performance is not yet known when an RH-based hybrid mechanism is applied using expert rules. The purpose of this research is to find out whether the application of a hybrid system in an RH-based rack-type drying machine for drying sago starch can improve engine performance. This research method includes the design of valve control expert rules, functional tests and performance tests of the drying machine. Parameters observed were temperature, moisture content, drying rate, energy, efficiency, savings, and quality. The results showed that the dryer with a hybrid and non-hybrid system with a capacity of 10 kg was able to dry sago starch for 7 hours from a moisture content of 42.35% to a moisture content of 12.80%. Drying air temperature with hybrid and non-hybrid systems experienced a small overshoot, only 1 °C, there was no steady state error and the temperature was quite stable. The drying rates in the hybrid and non-hybrid systems were the same, namely 0.25 gram H₂O/kg/h. Drying efficiency and thermal efficiency of the engine for the hybrid are 58% and 57% while for the non-hybrid are 56% and 42%. The consumption of electrical energy in the hybrid system is less than using a non-hybrid drying system, so that the savings obtained are 29.16%. The quality of the sago starch obtained is in accordance with the established SNI standards for sago starch.

Keywords: *Efficiency, Quality, Sago Starch, Drying*

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT., karena atas rahmat dan hidayah-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul. Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak dengan Mekanisme *Hybrid* Sistem Berbasis RH Terkontrol *Fuzzy Expert* Pada Pengeringan Pati Sagu. Penulis menyadari bahwa dengan selesainya penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa-doa serta semangat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ayahanda **Syamsuddin** dan Ibunda **Nursiah** atas setiap doa tulus yang senantiasa dipanjatkan baik dalam sehat maupun sakit, nasehat, motivasi serta dukungan dan pengorbanan keringat yang diberikan kepada penulis mulai dari kecil hingga sampai kepada tahap ini.
2. **Dr. Ir. Abdul Waris, MT** dan **Ir. Samsuar, S.TP, M.Si** selaku dosen pembimbing yang meluangkan banyak waktunya untuk memberikan bimbingan, saran, kritikan, petunjuk, dan segala arahan yang telah diberikan dari tahap penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi selesai.
3. **Dr. Ir. Iqbal Salim, S.TP., M.Si. IPM.** dan **Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si.** selaku dosen penguji yang meluangkan waktu dan kesempatannya sehingga dapat hadir dalam pelaksanaan ujian skripsi.
4. **Sitti Azizah Dwi Buana dan Annisa** selaku partner penelitian yang telah membantu dalam penelitian ini.

Semoga segala kebaikan mereka akan berbalik ke mereka sendiri dan semoga Allah SWT. senantiasa membalas segala kebaikan mereka dengan kebaikan dan pahala yang berlipat ganda. Aamiin.

Makassar, 24 Februari 2023

Annisa

RIWAYAT HIDUP



Annisa lahir di Ujung Pandang pada tanggal 04 Oktober 1999, anak terakhir dari Enam bersaudara. Anak dari pasangan bapak Syamsuddin dan Ibu Nursiah. Jenjang pendidikan formal yang pernah dilalui adalah:

1. Menyelesaikan pendidikan sekolah dasar di SD INPRES LAIKANG pada tahun 2006 sampai tahun 2011.
2. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah pertama di SMP Negeri 36 Makassar pada tahun 2011 sampai tahun 2014.
3. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah atas di SMA Negeri 22 Makassar, pada tahun 2014 sampai tahun 2017
4. Melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar, Fakultas Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian pada tahun 2017 sampai tahun 2023.

Selama menempuh pendidikan di dunia perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu sebagai Pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian (HIMATEPA-UH) periode 2019-2020, Selain itu, penulis juga aktif menjadi asisten pada beberapa matakuliah praktikum di bawah naungan *Agricultural Engineering Study Club* (TSC).

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
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan dan Kegunaan	2
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Pati Sagu.....	3
2.2 Pengeringan.....	4
2.3 Parameter Pengeringan.....	5
2.4 Alat Pengering Tipe Rak	8
2.5 Jenis – jenis Alat Pengering.....	9
2.6 Sistem Kontrol (<i>Fuzzy Expert</i>).....	10
3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat.....	12
3.2 Alat dan Bahan	12
3.3 Prosedur Penelitian	12
3.4 Perancangan Kaidah <i>Expert Katup Hybrid</i>	14
3.5 Uji Fungsional.....	15
3.6 Uji Kinerja.....	15
3.7 Prosedur Penelitian	16
3.8 Parameter Pengamatan	16

4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Suhu Udara.....	19
4.2 Kadar Air	20
4.3 Laju Pengeringan	21
4.4 Konsumsi Energi	21
4.5 Efisiensi Pengeringan.....	22
4.6 Mutu Sagu (Warna).....	23
KEIMPULAN	24
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Skema alat pengering tipe rak.....	9
Gambar 2. Sistem Loop Tertutup.....	11
Gambar 3. Diagram Alir Penelitian.	13
Gambar 4. Sistem Pengontrolan Katup <i>Hybrid</i>	15
Gambar 5. Respon <i>transient</i> suhu udara pengering pada $Sp = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	19
Gambar 6. Respon statis suhu udara pengering pada $Sp = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$	20
Gambar 7. Penurunan kadar air selama proses pengeringan.....	20
Gambar 8. Laju pengeringan selama proses pengeringan.....	21
Gambar 9. Konsumsi Energi Listrik pada saat Pengeringan <i>Hybrid</i> dan <i>Non-hybrid</i> Daya Heater 1500 Watt.	22
Gambar 10. Sagu sebelum dikeringkan.	23
Gambar 11. Sagu setelah dikeringkan dengan mesin pengering.	23
Gambar 12. Sagu setelah dikeringkan dengan penjemuran.	23

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel sifat udara.....	27
Lampiran 2. Hasil pengukuran kecepatan udara dan luas penampang udara pengering.....	27
Lampiran 3. Suhu udara pengeringan di awal proses pengeringan pada 1500 Watt, setting point 60 °C.....	28
Lampiran 4. Suhu udara pengeringan selama proses pengeringan pada 1500 Watt, setting point 60 °C.....	28
Lampiran 5. Berat hasil pengeringan pati sagu pada sistem <i>hybrid</i> dan <i>non-hybrid</i> daya 1500 Watt.....	29
Lampiran 6. Laju pengeringan rata-rata pada proses pengeringan 10 kg pati sagu dengan daya 1500 Watt.....	29
Lampiran 7. Hasil pengukuran rata-rata kadar air basis pada pengeringan 10 kg pati sagu dengan daya 1500 Watt.....	30
Lampiran 8. Suhu bahan dan udara pengering selama proses pengeringan <i>hybrid</i> dan <i>non-hybrid</i> pada 1500 Watt, <i>setting point</i> 60 °C.....	30
Lampiran 9. Suhu masuk dan RH keluar pada ruang pengering selama proses pengeringan <i>hybrid</i>	31
Lampiran 10. Konsumsi energi listrik pada pengeringan sagu segar pada daya <i>heater</i> 1500 Watt.....	31
Lampiran 11. Perhitungan Energi Udara Pengering.....	33
Lampiran 12. Perhitungan Efisiensi Mesin dengan Mekanisme <i>Non-Hybrid</i>	34
Lampiran 13. Perhitungan Efisiensi mesin dengan mekanisme <i>Hybrid</i>	36
Lampiran 14. Mutu Bahan.....	38
Lampiran 15. Dokumentasi Penelitian.....	38
Lampiran 16. Spesifikasi Mesin Pengering.....	39

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengeringan merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengurangi atau mengeluarkan kandungan air dari bahan. Metode pengeringan yang biasa dilakukan adalah dengan cara menjemur langsung di bawah sinar matahari. Kegiatan di atas memiliki banyak kekurangan pada metode penjemuran tersebut, misalnya harus memiliki lahan yang luas, mudah terkontaminasi dan sinar matahari yang sulit didapatkan akibat adanya perubahan cuaca yang bisa saja kapan terjadi.

Mesin pengering tipe rak umumnya digunakan untuk mengeringkan bahan pangan seperti pati sagu yang dirancang untuk mengatasi kekurangan pada metode pengeringan yang dilakukan secara langsung. Adapun kelebihan dari mesin pengering tipe rak yaitu murah (tidak membutuhkan banyak biaya, alatnya mudah dibuat, tidak tergantung cuaca, kapasitas pengeringan dapat dipilih sesuai dengan yang diperlukan, tidak memerlukan tempat yang luas dan kondisi pengeringan dapat dikontrol (Sukmawaty dkk., 2019). Adapun kelemahan dari mesin pengering tipe rak yaitu efisiensinya rendah di lihat 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 suatu bahan hanya mencapai 12% dan menurut Suhendro efisiensinya hanya sekitar 10%, untuk mengatasi kelemahan mesin pengering tipe rak, maka telah dirancang mesin pengering tipe rak yang dilengkapi mekanisme *hybrid oven* dan *driyer* dengan sistem kendali *fuzzy expert* oleh staf dosen Keteknikan Pertanian Universitas Hasanuddin, akan tetapi belum diketahui kinerja mesin pengering tersebut apabila diterapkan mekanisme *hybrid* didasarkan pada RH.

Berdasarkan uraian di atas maka telah dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja mesin pengering tipe rak dengan mekanisme *hybrid* berbasis RH terkontrol *fuzzy expert* pada pengeringan pati sagu.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kaidah *expert* kontrol katup berdasarkan RH udara yang keluar dari ruang pengering ?
2. Apakah kinerja mesin pengering tipe rak dengan mekanisme *hybrid* berbasis RH terkontrol *fuzzy expert* lebih baik dari *non-hybrid* ?
3. Bagaimana mutu pati sagu yang dihasilkan berdasarkan warna dan kadar air?

1.3 Batasan Masalah

1. Sudut bukaan katup udara yang digunakan ada empat yaitu 0, 30,60, dan 90 derajat.
2. Kontrol katup menggunakan sistem katup udara yang dapat dikendalikan berdasarkan RH udara yang keluar dari mesin pengering.
3. Kontrol suhu untuk pengeringan menggunakan *fuzzy logic*, kontrol katup menggunakan kaidah *expert*.
4. Menggunakan kaidah *expert* untuk mengendalikan mekanisme *hybrid*.
5. Kadar air pati sagu hasil pengeringan maksimal 13% menurut SNI.
6. Daya pemanas yang digunakan pada mesin yaitu 1500 Watt.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui apakah penerapan sistem *hybrid* oven dan *dryer* pada mesin pengering tipe rak dapat meningkatkan kinerja mesin dan mutu pati sagu yang dihasilkan sesuai dengan standar SNI.

Kegunaan penelitian ini untuk memberikan informasi kepada masyarakat tentang pengeringan sagu dengan menggunakan mesin pengeringan *hybrid* tipe rak. Serta sebagai bahan evaluasi bagi perancang dan pengembang untuk perbaikan rancangan pada mesin pengering tersebut.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pati Sagu

Pati sagu merupakan salah satu bentuk karbohidrat yang dapat diaplikasikan secara luas dalam berbagai industri dan sangat tergantung pada karakteristik fisikokimia dan fungsionalnya. Karakteristik fisikokimia pati secara spesifik bergantung pada sumber asal dan cara pengolahannya, misalnya bentuk dan ukuran granula pati, warna, serta komposisi amilosa dan amilopektinnya. Komponen amilosa berkaitan dengan daya serap air dan kesempurnaan proses gelatinisasi produk, sedangkan komponen amilopektin akan sangat menentukan swelling power dan kelarutan pati. Kandungan amilosa yang tinggi juga berpotensi digunakan sebagai bahan baku produk-produk instan. Salah satu karakteristik penting produk-produk instan adalah kemampuan rehidrasi produk, untuk meningkatkan nilai tambah pati sagu adalah dengan cara pengeringan, sehingga diperoleh pati sagu kering dengan kualitas yang baik (Jading dkk., 2011).

Pati sagu basah merupakan hasil ekstraksi dari empulur sagu yang dapat diolah menjadi pati kering melalui proses pengeringan. Untuk menjadi pati sagu kering, pati sagu dijemur di atas tampah atau dikeringkan dengan alat pengering sampai mencapai kadar air kurang dari 13% basis basah (bb) sesuai dengan syarat mutu pati sagu berdasarkan SNI 01-3729-1995. Pati sagu yang telah kering akan gemerisik bila diremas remas. Hasil pengeringan ini disebut dengan pati kasar. Pati kasar selanjutnya ditumbuk atau digiling sampai halus sekurang-kurangnya 80 mesh sehingga menjadi pati sagu kering bubuk atau lebih dikenal dengan tepung sagu (Widyaningrum dkk., 2005).

Proses pengeringan pati sagu merupakan salah satu cara pengolahan yang dilakukan untuk menghasilkan pati sagu kering, namun pada umumnya pengeringan pati sagu yang dilakukan oleh masyarakat masih dilakukan secara tradisional menggunakan alat dari tikar atau tenda plastik dengan cara menghamparkan pati sagu yang masih basah diatas tikar atau tenda plastik lalu dijemur dibawah sinar matahari. Proses pengeringan ini kurang efektif karena adanya bongkahan-bongkahan pati yang menyebabkan perpindahan panas pada

bahan selama pengeringan tidak merata. Selain itu sangat tergantung dari panas matahari atau kondisi cuaca yang dapat mempengaruhi komposisi dan sifat fisikokimia pati sagu tersebut. Pengeringan pati sagu dilakukan untuk mengurangi kandungan air yang ada dalam pati, sehingga dapat meningkatkan daya simpan, dan mutu pati kering yaitu tetap mempertahankan sifat fisikokimia pati sagu (Jading dkk., 2011).

2.2 Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu proses pengolahan pangan yang sejak lama dikenal. Pengeringan adalah suatu proses pengeluaran air atau pengurangan kadar air pada bahan dengan menggunakan energi panas. Hasil dari suatu proses pengeringan yaitu bahan kering yang mempunyai kadar air setara dengan kadar air kesetimbangan udara normal atau setara dengan nilai aktivitas air (a_w) yang terhindar dari kerusakan mikrobiologis, kimiawi, dan enzimatik. Adapun tujuan dari pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air bahan sehingga bahan tersebut jadi lebih awet, membuat kecil volume bahan untuk memudahkan proses, menghemat biaya atau pengeluaran untuk pengangkutan, pengemasan dan penyimpanan. Di samping itu, pengeringan juga memiliki kerugian yaitu terjadinya perubahan sifat fisik dan kimiawi bahan serta menyebabkan penurunan mutu pada bahan tersebut (Risdiyanti dkk., 2016).

Pengeringan biasanya dilakukan secara konvensional dengan cara menjemur langsung di bawah terik matahari. Cara seperti ini memiliki keunggulan tidak memerlukan biaya yang besar dan kapasitas bahan yang ingin dikeringkan itu tidak terbatas. Tetapi pengeringan secara konvensional juga memiliki kekurangan yaitu tempat pengeringan mudah terkontaminasi, harus memiliki lahan yang luas, perubahan cuaca yang bisa saja kapan terjadi sehingga sulit mendapatkan panas dari sinar matahari. Selain itu dengan metode tersebut temperatur dan kelembaban tidak dapat dikontrol sehingga membuat kualitas bahan menjadi menurun dan juga membutuhkan waktu yang cukup lama. Sedangkan jika menggunakan mesin pengering maka waktu yang diperlukan lebih singkat, berkualitas dan suhu dapat dikontrol. Pengeringan juga tidak tergantung iklim dan cuaca sehingga bisa dilakukan disiang hari dan malam hari (Irfan, 2015).

2.3 Parameter Pengeringan

Adapun parameter yang mempengaruhi waktu pengeringan suatu bahan pangan antar lain (Irfan, 2015):

2.3.1. Suhu Udara Pengering

Suhu udara pengering mempengaruhi laju penguapan air bahan dan mutu pengeringan. Semakin tinggi suhu maka waktu pengeringan akan lebih singkat, tetapi agar bahan yang dikeringkan tidak rusak akibat suhu tinggi maka suhu perlu dikontrol. Untuk menaikkan suhu didalam ruang pengering dibutuhkan energi dari pemanas.

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. Adapun rumus yang digunakan dalam laju pengeringan (Singh, 1984):

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

Keterangan :

DR = Laju Pengeringan (gram H₂O/gram padatan/jam)

W_w = Berat awal bahan (gram)

W_t = Berat bahan pada waktu t (gram)

W_d = Berat bahan saat konstan (kg)

t_n = Lama pengeringan waktu ke n (jam)

t_{n-1} = Lama pengeringan waktu n-1

2.3.2. Kelembaban Relatif (RH) Udara Pengering

Kelembaban relatif menentukan kemampuan udara pengering untuk menampung air bahan yang telah diuapkan. Jika RH rendah maka semakin banyak uap air yang diserap udara pengering, demikian juga sebaliknya. RH dan suhu pengering akan menentukan tekanan uap jenuh. Perbedaan tekanan uap air pada udara pengering dengan permukaan bahan akan mempengaruhi laju pengeringan. RH dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut (Irfan, 2015) :

$$RH = \left(\frac{P}{P_s \times T}\right) \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

RH = Kelembaban relatif (%),

P = Tekanan uap air pada suhu lingkungan (atm),

P_s = Tekanan uap air jenuh pada suhu lingkungan (atm) dan

T = Suhu lingkungan ($^{\circ}\text{C}$).

2.3.3. Aliran udara pengering

Aliran udara pengering membawa panas untuk menguapkan air pada bahan serta mengeluarkan uap air hasil penguapan. Semakin besar debit udara yang mengalir maka akan semakin besar kemampuannya dalam menampung air dari bahan. Untuk mengalirkan udara panas ke dalam ruang pengering dapat menggunakan blower, semakin besar blower semakin besar debit aliran udara yang masuk, dengan mengetahui besar debit aliran udara yang dibutuhkan untuk pengeringan maka dapat diketahui besar blower yang digunakan pada alat (Irfan, 2015).

$$E_{in} = v\varphi \times C_p \times (T_p - T_k) \quad (3)$$

Keterangan:

E_{in} = Laju energi yang masuk ke dalam ruang pengering (kJ/s)

v = Kecepatan volumetrik (m^3/s)

φ = Berat spesifik udara (kg/m^3)

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

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

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

2.3.4. Kadar Air Bahan

Kadar air adalah jumlah air yang dikandung oleh bahan, baik berupa air bebas maupun terikat. Kadar air suatu bahan dapat dinyatakan dalam dua cara, yaitu kadar air basis basah (m) dan kadar air basis kering (M). Kadar air basis basah memiliki batas maksimum teoritis 100%, sedangkan kadar air basis kering bisa lebih dari 100%. Untuk menghitung kadar air digunakan persamaan berikut (Irfan, 2015) :

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

Keterangan:

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

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

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

$$\text{Kadar air (\%bk)} = \frac{m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}}{m_{\text{akhir}}} \times 100\% \quad (5)$$

Keterangan:

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

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

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

2.3.5 Efisiensi Pengeringan

Menurut Wahid, dkk. (2014), energi yang dipakai pada alat listrik adalah daya atau laju penggunaan energi selama waktu alat tersebut digunakan. jika daya dan lama alat digunakan diketahui maka energi yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Eff} = \frac{Q_{\text{total}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

Eff = Efisiensi pengeringan (%)

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

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

2.3.6 Efisiensi termal mesin pengering

Proses pengeringan dengan menggunakan energi hingga 15% dalam penggunaan energi industri, biasanya dengan efisiensi termal yang relatif rendah berkisar 25%-50%. Dengan menggunakan persamaan (Delgado dan Antonio, 2015):

$$\text{Eff}_{\text{thermal}} = \frac{E_p}{E_{\text{listrik}}} \quad (7)$$

Keterangan:

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

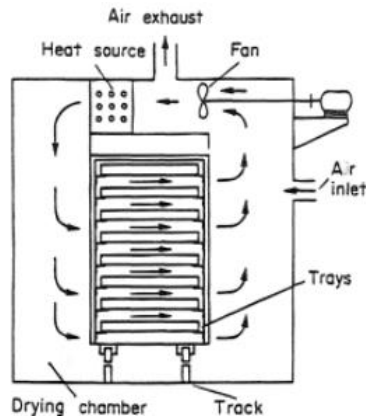
E_p = Energi yang digunakan untuk mengeringkan bahan (kJ)

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

2.4 Alat Pengering Tipe Rak

Dalam memilih alat pengering yang akan digunakan sangat berpengaruh terhadap jenis bahan yang akan dikeringkan. Setiap bahan yang akan dikeringkan tidaklah sama kondisi pengeringannya, ini bergantung pada ikatan air dan jaringan ikatan dari tiap bahan berbeda. Pengeringan yang dilakukan dengan menggunakan alat pengering buatan akan mendapatkan hasil yang lebih baik dibanding pengeringan dengan cara langsung atau konvensional bila kondisi pengeringan ditentukan dengan tepat dan selama pengeringan dikontrol dengan baik (Taufiq, 2004).

Alat pengering tipe rak dengan berenergi listrik mempunyai dua ruang, yaitu ruang pemanas dan ruang pengering. Ruang pembangkit terdiri dari filamen pemanas, pompa dan kondensor sedangkan ruang pengering mempunyai bentuk persegi yang terdiri dari ruang persegi panjang yang merupakan tempat meletakkan *tray*, dan kipas. *Tray* merupakan tempat bahan untuk dikeringkan yang biasanya terbuat dari bahan logam atau aluminium. Jumlah *tray* yang diletakkan pada rak tergantung dari keperluan. Semakin besar keperluan maka akan semakin banyak *tray* yang diperlukan. Adapun prinsip kerja dari alat pengering tipe rak menggunakan energi listrik adalah udara panas dari ruang pemanas 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 ke luar alat pengering. Proses pemanasan dalam pengering tipe rak terjadi melalui pengaliran udara panas pada setiap rak (Hardanto dan Sulistiyo 2009).



Gambar 1 Skema alat pengering tipe rak
(Sumber : Hardanto dan Sulistiyo, 2009).

Alat pengering tipe rak ini terdiri dari beberapa komponen yaitu pemanas (*heater*), nampan (*tray*), timbangan dan *blower*. Proses pengeringan alat tipe rak ini termasuk dalam jenis pengeringan langsung karena media pengering (udara panas) berkontak langsung dengan bahan yang akan dikeringkan. Proses pengeringan ini dimulai saat pemanas menyala dan panas yang dihasilkan mengalir melalui udara melintasi permukaan padatan dengan bantuan blower (Hardanto dan Sulistiyo 2009).

2.5 Jenis – jenis Alat Pengering

Pengeringan biasanya dilakukan dengan cara penjemuran ataupun menggunakan alat pengering (pengeringan secara mekanis). Pengeringan secara mekanis terdiri atas:

2.5.1 *Continuous Drying*

Suatu pengeringan dimana bahan dikeringkan dengan cara terus menerus tanpa mematikan mesin pengering baik pada saat pemasukan dan pengeluaran bahan yang ingin dikeringkan (Efendi, 2017).

2.5.2 *Fluidized bed dryer*

Proses pengeringan yang terjadi pada alat ini adalah memanfaatkan aliran udara panas dengan kecepatan tertentu yang dilewatkan menembus hamparan bahan sehingga hamparan bahan tersebut memiliki sifat seperti fluida. Metode pengeringan fluidisasi digunakan untuk mempercepat proses pengeringan dan mempertahankan mutu bahan kering (Sukmawaty dkk., 2019).

2.5.3 Tray Type Dryer

Alat pengering ini yaitu alat yang mempunyai bentuk persegi dan di dalamnya berisi rak yang digunakan sebagai tempat bahan yang akan dikeringkan. Rak ini ada yang dapat dikeluarkan dan ada yang tidak dapat dikeluarkan. Bahan diletakkan di atas rak (tray) yang terbuat dari logam yang berlubang. Kegunaan lubang-lubang tersebut adalah mengalirkan udara panas (Sukmawaty dkk., 2019).

2.6 Sistem Kontrol *Expert*

Sistem *expert* merupakan sebuah pengetahuan dalam komputer yang membuat sistem kecerdasan buatan yang berfungsi meniru kecerdasan manusia untuk menjalankan dan menerapkan sebuah perintah yang dimasukkan kedalam sebuah perangkat, dan sistem *expert* yang baik dibuat supaya bisa menyelesaikan suatu permasalahan tertentu dengan meniru kerja dari para ahli. (Kustiyo dkk., 2013).

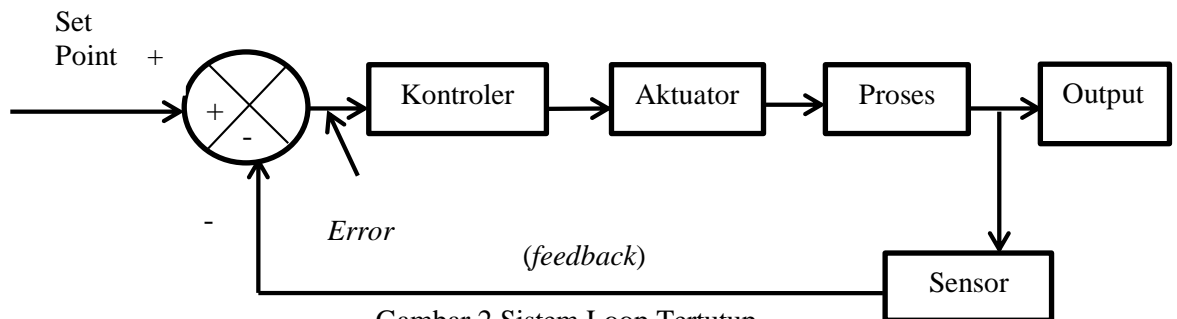
Setiap aturan terdiri atas dua bagian: pertama bagian *IF*, disebut dengan anteseden (kondisi atau premis) dan yang kedua yaitu bagian *THEN* disebut dengan konsekuen (kesimpulan atau tindakan). Secara umum, pada sebuah aturan bisa memiliki beberapa antesedn yang kemudian disatukan dengan kata kunci *AND* (konjungsi), *OR* (disjungsi) atau kombinasi pada keduanya. Namun, itu baik kebiasaan guna terhindar dari pencampuran konjungsi dan disjungsi terhadap aturan yang mirip. Pernyataan diatas merupakan pengetahuan dari seorang pakar yang dirumuskan dalam bentuk *IF-THEN*, Struktur *IF-THEN* berkaitan dengan informasi dengan kata lain fakta di bagian *IF* dan *THEN* merupakan sebuah tindakan (Negnevitsky, 2005).

Adapun pada bagian *IF* terdiri dari dua bagian yaitu objek dan nilainya. Keduanya dihubungkan oleh operator, yang dimana operator itu is, are, is not, are not. Operator ini mengidentifikasi objek dan memberikan nilai. Namun sistem pakar juga bisa memakai operator matematis untuk mendefinisikan sebuah objek seperti numerik dan menetapkan nilai *numeric* (Negnevitsky, 2005), contohnya :

Sistem Siso *IF* Suhu kolektor *IS* Rendah *THAN* Power *IS* Rendah

Sistem Miso *IF* Suhu kolektor *IS* Rendah and Rh *IS* Tinggi *THAN* Power *IS* Tinggi

Menurut Ogata (1997), sistem loop tertutup adalah sistem kontrol yang memiliki sinyal keluarannya pengaruh langsung pada gerakan pengontrolan. Sistem kontrol loop tertutup juga merupakan sistem kontrol yang berumpan balik. Adapun sinyal kesalahan penggerak adalah selisih antara sinyal umpan balik dengan sinyal masukan (yang bisa berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal masukan atau turunannya). Diumpangkan ke kontroler guna mengecilkan kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati jumlah yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah “loop tertutup” berarti menggunakan aksi umpan balik untuk memperkecil kesalahan sistem. Sistem loop tertutup bisa dilihat pada gambar tersebut :



Gambar 2 Sistem Loop Tertutup
(Sumber : Ogata, 1997).