

**PENERAPAN SISTEM KONTROL *EXPERT* PADA ALAT
PENGERING TIPE RAK DENGAN MENGGUNAKAN *HYBRID*
SISTEM *OVEN* DAN *DRYER***

Oleh:

**Frida Hariani A.
G41115005**



**PROGRAM STUDI KETEKNIKAN PERTANIAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**PENERAPAN SISTEM KONTROL *EXPERT* PADA ALAT
PENGERING TIPE RAK DENGAN MENGGUNAKAN *HYBRID*
SISTEM *OVEN* DAN *DRYER***

**Frida Hariani A.
G41115005**



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
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN SISTEM KONTROL *EXPERT* PADA ALAT PENGERING TIPE RAK DENGAN MENGGUNAKAN *HYBRID* SISTEM *OVEN* DAN *DRYER*

Disusun dan diajukan oleh

FRIDA HARIANI A.

G41115005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 11 Juli 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

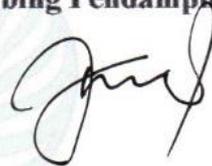
Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



Dr. Abdul Azis S.TP., M.Si
NIP. 19821209 201212 1 004

Ketua Program Studi



Dr. Ir. Iqbal, S.TP., M.Si., IPM
NIP. 19781225 200212 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Frida Hariani Arruanminanga
NIM : G41115005
Program Studi : Teknik Pertanian
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa Skripsi dengan judul Penerapan Sistem Kontrol *Expert* pada Alat Pengering Tipe Rak dengan Menggunakan *Hybrid* Sistem *Oven* dan *Dryer* adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari Skripsi karya saya ini terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 18 Agustus 2022

Yang Menyatakan,



Frida Hariani A.

ABSTRAK

FRIDA HARIANI ARRUANMINANGA. (G41115005). Penerapan Sistem Kontrol *Expert* pada Alat Pengering Tipe Rak dengan Menggunakan *Hybrid* Sistem *Oven* dan *Dryer*. Pembimbing: ABDUL WARIS dan ABDUL AZIS.

Pengeringan dengan menggunakan mesin pengering tipe rak berenergi listrik telah banyak dilakukan akan tetapi membutuhkan biaya operasional yang tinggi. Oleh karena itu telah dirancang mesin pengering tipe rak kapasitas 3 - 5 kg yang dilengkapi mekanisme *hybrid oven* dengan *dryer*, akan tetapi belum diketahui kinerja mesin pengering tersebut jika di kendalikan oleh sistem kontrol *expert*. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan kontrol *expert* yang dapat diterapkan pada mesin pengering tipe rak dengan mekanisme *hybrid system* sehingga kinerja mesin pengering tipe rak tersebut meningkat. Metode penelitian meliputi pengembangan kaidah *expert* yang diterapkan pada mesin dengan daya 500 Watt, *setting point* 60 °C dan metode *hybrid* berbasis waktu tetap yaitu waktu 60 menit sebagai *oven* dan 15 menit sebagai *dryer*. Kemudian dilakukan serangkaian ujian dengan menggunakan jahe segar yang telah dirajang sebanyak 3 kg. Hasil dari penelitian ini adalah *settling time* pendek dan tidak mengalami *overshoot*, terjadi *error steady state* sebesar 2%. Efisiensi pengeringan dan efisiensi *thermal* untuk *hybrid oven* dan *dryer* adalah 79,58% dan 71,09% sedangkan pada *non-hybrid* efisiensi pengeringan dan efisiensi termal adalah 55,86% dan 46,4%. Penggunaan energi listrik pada *hybrid oven* dan *dryer* adalah 2,53 kWh sedangkan pada *non-hybrid* adalah 3,82 kWh, sehingga penghematan yang diperoleh dengan *hybrid* adalah 33,76%.

Kata Kunci: Pengeringan, *Hybrid*, Jahe, Kontrol *Expert*.

ABSTRACT

FRIDA HARIANI ARRUANMINANGA. (G41115005). *Application of Expert Control System on a Rack-Type Dryer by Using Hybrid Oven and Dryer System.* Supervised by: ABDUL WARIS and ABDUL AZIS.

Drying using a rack-type dryer with electrical energy has been widely carried out but requires high operational costs. Therefore, a rack-type drying machine with a capacity of 3-5 kg which is equipped with a hybrid oven mechanism with a dryer has been designed, but the performance of the dryer is not yet known if it is controlled by an expert control system. This study aims to produce expert control that can be applied to a rack-type dryer with a hybrid system mechanism so that the performance of the rack-type dryer increases. The research method includes the development of expert rules applied to machines with 500 Watt power, set point 60 °C, and a fixed time-based hybrid method, namely 60 minutes as an oven and 15 minutes as a dryer. Then a series of tests were carried out using fresh ginger that had been chopped as much as 3 kg. The result of this research is that the settling time is short and does not experience overshoot, there is a steady-state error of 2%. Drying efficiency and thermal efficiency for hybrid oven and dryer are 79.58% and 71.09%, while for non-hybrid drying efficiency and thermal efficiency are 55.86% and 46.4%, respectively. The use of electrical energy in the hybrid oven and dryer is 2.53 kWh while the non-hybrid is 3.82 kWh, so the savings obtained with the hybrid is 33.76%.

Keywords: *Drying, Hybrid, Ginger, Expert Control.*

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa., karena atas rahmat dan nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dengan selesainya penulisan skripsi ini 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 **Daud Demmasiga** dan Ibunda **Seniwaty**, atas setiap doa yang senantiasa dipanjatkan, nasehat, motivasi serta dukungan dan pengorbanan keringat yang diberikan kepada penulis mulai dari kecil hingga penulis sampai ketahap ini.
2. Bapak **Dr. Ir. Abdul Waris, M.T.** dan Bapak **Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si** selaku dosen pembimbing yang meluangkan waktu memberikan bimbingan, saran, kritikan, petunjuk, dan segala arahan yang telah diberikan dari tahap penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi selesai.
3. Kepada tetangga kamar saya **Guestria Emanuella** yang memberikan dukungan berupa makanan sehingga saya bisa bertahan hidup selama beberapa hari dan saya bisa melanjutkan penyelesaian skripsi ini.
4. Kepada *employer* saya di Boegiz Coffee Kakanda **Yudhy Wardhinan** dan kakanda **Asmaryani Sakti** serta rekan kerja **Evayanti** yang telah memberikan banyak pengalaman dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Kepada sahabat, rekan kerja, dan teman seperjuangan **Elnirivilga** dari awal pertemuan, penyusunan skripsi hingga sekarang.
6. Kepada semua orang yang menanyakan kapan saya wisuda yang tak sempat saya sebutkan.
7. *Last but not least, I wanna thank Me, for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting, for always being a giver and trying to give more, for just being me all the times*

Semoga segala kebaikan mereka akan berbalik ke mereka sendiri dan semoga Tuhan Yang Maha Esa senantiasa membalas segala kebaikan mereka dengan kebaikan dan pahala yang berlipat ganda. Aamiin

Makassar, 18 Agustus 2022

RIWAYAT HIDUP



Frida Hariani A, lahir di Polewali, 20 September 1996 dari pasangan bapak Daud Demmasiga dan ibu Seniwaty, anak kedua dari empat bersaudara. Jenjang pendidikan formal yang pernah dilalui adalah:

1. Memulai pendidikan di SD Negeri 001 Mamasa, pada tahun 2003-2009.
2. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah pertama di SMP Frater Mamasa pada tahun 2009-2012.
3. Melanjutkan pendidikan di jenjang menengah atas di SMA Frater Makassar, pada tahun 2012-2015.
4. Melanjutkan pendidikan di Universitas Hasanuddin Makassar, Fakultas Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Keteknikan Pertanian pada tahun 2015.

Selama menempuh pendidikan di dunia perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi kampus yaitu sebagai pengurus di Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin (HIMATEPA UH) periode 2018/2019, Pengurus Tanoto *Scholarship Association* (TSA) Unhas *intake* 2017 dan penulis juga aktif menjadi asisten pada beberapa matakuliah praktikum dibawah naungan *Agricultural Engineering Study Club* (TSC)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
PERSANTUNAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
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 Jahe (<i>Zingiber officinale</i>).....	3
2.2 Panen dan Pascapanen Jahe	3
2.3 Pengeringan Jahe	5
2.4 <i>Oven</i> Listrik.....	5
2.5 Pengeringan.....	6
2.6 Pengering Tipe Rak (<i>Tray Dryer</i>)	7
2.7 Parameter Pengeringan.....	8
2.8 Laju Pengeringan	9
2.9 Sistem Kontrol.....	10
2.10 Komponen Utama Sistem Kontrol	11
2.11 Sistem <i>Expert</i>	13
2.12 Aturan (<i>rule</i>).....	15
2.13 Spesifikasi Respon Peralihan	16
3. METODE PENELITIAN.....	18

3.1 Waktu dan Tempat.....	18
3.2 Alat.....	18
3.3 Bahan.....	18
3.4 Prosedur Penelitian.....	18
3.5 Metode Pengamatan.....	22
3.6 Bagan Alir Penelitian.....	24
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Uji <i>Gain</i>	25
4.2 Uji Fungsional.....	25
4.3 Uji Kinerja.....	27
4.4 Kadar Air.....	28
4.5 Laju Pengeringan.....	29
4.6 Penggunaan Daya.....	30
4.7 Efisiensi dan Penghematan.....	31
5. PENUTUP.....	32
Kesimpulan.....	32

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. <i>Tray Dryer</i>	8
Gambar 2. Diagram blok <i>close loop control</i>	11
Gambar 3. Bentuk fisik sensor suhu LM35 (kiri) dan Diagram umum sensor suhu LM 35 (kanan).	11
Gambar 4. Mikrokontroler Atmega32.....	12
Gambar 5. Pemeran utama pengembangan sistem <i>expert</i>	14
Gambar 6. Kurva untuk menunjukkan t_d , t_r , t_p , M_p dan t_s	17
Gambar 7. Hasil pengamatan perancangan sistem kontrol.	19
Gambar 8. Alir <i>software</i>	19
Gambar 9. Bagan alir penelitian.....	24
Gambar 10. Gambar uji gain.....	25
Gambar 11. Gambat uji fungsional	26
Gambar 12. Uji fungsi sistem kontrol	26
Gambar 13. Respon dinamis suhu udara pengering	27
Gambar 14. Respon statis suhu udara pengering.	28
Gambar 15. Kadar air rata-rata pada tiap proses pengeringan.	29
Gambar 16. Laju pengeringan untuk tiap proses pengeringan.....	29
Gambar 17. Penggunaan daya pada pengeringan <i>non-hybrid</i>	30
Gambar 18. Penggunaan daya pada pengeringan <i>hybrid</i>	30
Gambar 19. Alat pengering <i>hybrid</i> sistem <i>oven</i> dan <i>dryer</i>	35

DAFTAR TABEL

Tabel L-1. Respon dinamis suhu pengering dengan daya 500 Watt.....	36
Tabel L-2. Tabel respon statis suhu pengering dengan daya 500 Watt	37
Tabel L-3. Berat hasil pengeringan pada sistem <i>non-hybrid</i> daya 500 Watt.....	37
Tabel L-4. Berat hasil pengeringan pada sistem <i>hybrid</i> daya 500 Watt	38
Tabel L-5. Laju pengeringan rata-rata pada proses pengeringan dengan berat bahan 3 kg	38
Tabel L-6. Hasil pengukuran rata-rata kadar air basis basah (ka bb) pada pengeringan <i>non-hybrid</i> 3 kg jahe dengan daya 500 Watt.....	39
Tabel L-7. Hasil pengukuran rata-rata kadar air basis basah (ka bb) pada pengeringan <i>hybrid</i> 3 kg jahe dengan daya 500 Watt	39
Tabel L-8. Tabel suhu, daya dan energi pada proses pengeringan <i>non-hybrid</i> 3 kg jahe dengan daya 500 Watt.....	40
Tabel L-9. Tabel suhu, daya dan energi pada proses pengeringan <i>hybrid</i> 3 kg jahe dengan daya 500 Watt	40
Tabel L-10. Tabel sifat udara	41
Tabel L-11. Tabel sifat jahe	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi alat pengering tipe rak.....	35
Lampiran 2. Pengukuran	36
Lampiran 3. Perhitungan.....	41
Lampiran 4. Dokumentasi.....	47

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak dari zaman dahulu pengeringan bahan makanan telah dilakukan untuk mengawetkan makanan, tujuan dari proses pengeringan adalah untuk mengurangi kadar air sehingga menjadi lebih tahan lama, mengecilkan volume bahan, dan menghemat biaya pengangkutan, penyimpanan dan pengemasan.

Ada dua cara dalam mengeringkan bahan pangan yaitu dengan cara menjemur dan menggunakan mesin pengering. Akan tetapi pengeringan dengan cara dijemur dapat terkontaminasi dengan debu dan serangga karena tidak tertutup. Cara yang kedua yaitu dengan menggunakan mesin pengering. Salah satu mesin pengering yang dapat digunakan untuk mengeringkan bahan pangan adalah mesin pengering tipe rak. Mesin pengering tipe rak banyak digunakan karena desainnya yang sederhana dan ekonomis. Proses pengeringan pada pengering tipe rak dapat terjadi karena udara panas mengalir melewati rak-rak yang berisi bahan tersebut (Misha, *et all*, 2013), sehingga uap air akan berpindah dari bahan ke udara panas yang sedang mengalir. Kontak antara bahan dan udara panas yang mengalir terjadi secara singkat dengan begitu hanya sedikit air yang berpindah pada satu kali udara panas mengalir. Dengan demikian setiap udara lingkungan yang dipanaskan oleh *heater* mesin pengering membutuhkan daya yang besar untuk memanaskan udara tersebut.

Oleh karena itu, sedang dikembangkan mesin pengering tipe rak yang dilengkapi dengan mekanisme *hybrid oven* dan *dryer* yang dilakukan oleh staf dosen Keteknikan Pertanian. Namun belum diketahui bagaimana kinerja mesin pengering tipe rak yang dilengkapi *hybrid system* dengan kendali *expert*.

Kontrol *expert* atau sistem pakar adalah sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti seorang ahli dengan begitu orang awam yang bukan ahli pun dapat menyelesaikan masalah yang hanya bisa diselesaikan dengan bantuan para ahli (Negnevitsky, 2015).

Berdasarkan hal tersebut maka dirasa penting melakukan penelitian penerapan sistem kendali *expert* dengan harapan dapat meningkatkan kinerja mesin pengering tipe rak.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kaidah-kaidah kontrol *expert* yang dapat diterapkan pada mesin pengering tipe rak dalam mengendalikan energi?
2. Bagaimana kaidah-kaidah kontrol *expert* dalam mengendalikan mekanisme *hybrid* berbasis waktu tetap?
3. Belum diketahui kinerja mesin pengering *hybrid* sistem *dryer* dan *oven* dengan menggunakan bahan simplisia jahe.
4. Bagaimana mutu hasil pengeringan dengan metode *hybrid*?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Uji kinerja mesin pengering menggunakan jahe gajah yang telah dirajang dengan ketebalan 1-3 mm.
2. Suhu yang diterapkan pada pengeringan simplisia jahe adalah 60 °C.
3. Kadar air hasil pengeringan adalah 12% (SNI).

1.4 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dari penelitian ini yaitu menghasilkan *software* kontrol *expert* yang dapat digunakan pada mesin pengering tipe rak yang dilengkapi mekanisme *hybrid oven* dan *dryer*.

Kegunaan dari penelitian ini adalah dapat menjadi informasi pada pengguna bagaimana meningkatkan efisiensi mesin pengering tipe rak dan dapat menjadi model dalam pengembangan sistem kontrol *expert* pada mesin-mesin pertanian.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jahe (*Zingiber officinale*)

Jahe merupakan salah satu tanaman obat yang menempati posisi sangat penting dalam perekonomian Indonesia. Tanaman ini banyak dimanfaatkan sebagai bumbu masakan, minuman penghangat, pereda batuk, diare dan nyeri. Jahe memiliki komponen sebagai berikut air 80,9%, protein 2,3%, lemak 0,9%, mineral 2%, serat 2-4%, karbohidat 12,3% dan jahe juga mengandung minyak menguap dan minyak tidak menguap yang disebut minyak atsiri (Tim Penerbit KBM Indonesia, 2020).

2.2 Panen dan Pascapanen Jahe

Pemanenan jahe merupakan suatu kegiatan hasil pengambilan berupa rimpang dengan cara dibongkar menggunakan garpu atau cangkul. Umumnya jahe dipanen pada umur 8-9 bulan. Pengambilan waktu panen jahe mempengaruhi kadar minyak atsiri dari jahe, kadar air minyak atsiri pada jahe akan meningkat sesuai dengan umur tanaman. Meskipun jahe dipanen, aktivitas hidupnya tetap berlangsung yaitu metabolisme termasuk respirasi, mengakibatkan jahe kehilangan komponen-komponen organik termasuk komponen aktif, sehingga menghasilkan kualitas yang rendah. Oleh karena itu perlu dilakukan penanganan pascapanen, jika penanganan pascapanen tepat maka jahe dapat disimpan lama, memiliki mutu yang baik dan kandungan bahan aktifnya dapat sesuai dengan standar mutu pasar serta nilai jual yang tinggi (Hapsah dan Elisa, 2010).

Menurut Direktorat Sayuran dan Tanaman Obat (2019), adapun tahapan penanganan pascapanen jahe secara umum yang kemudian menjadi simplisia adalah sebagai berikut:

2.2.1 Penyortiran Awal (Basah)

Menyortir jahe bertujuan untuk memisahkan rimpang jahe yang bagus dan yang tidak baik.

2.2.2 Pencucian

Kegiatan ini untuk menghilangkan kotoran dari hasil panen dan mengurangi mikroba yang menempel pada rimpang jahe dengan menggunakan sikat plastik dan dilakukan secara hati-hati.

2.2.3 Penimbangan Bahan

Penimbangan dilakukan untuk mengetahui berat bersih jahe.

2.2.4 Perajangan

Perajangan dilakukan untuk mempercepat proses pengeringan dengan menggunakan mesin perajang atau secara manual dengan arah potongan yang seragam dan memiliki ketebalan 4-6 mm atau sesuai dengan keinginan pasar.

2.2.5 Pengeringan

Bukan hanya untuk memperpanjang masa simpan pengeringan juga dilakukan untuk menentukan kualitas simplisia.

2.2.6 Penyortian akhir (simplisia)

Simplisia disortir berdasarkan kualitasnya lalu ditimbang untuk menghitung rendemen hasil dari pemrosesan.

2.2.7 Pengemasan dan pelabelan

Simplisia jahe yang telah mencapai kadar air yang setimbang selanjutnya dikemas dan diberikan label jenis simplisia.

2.2.8 Penyimpanan

Simplisia disimpan di ruang atau gudang dengan sirkulasi udara yang baik dan tidak lembab.

2.3 Pengeringan Jahe

Jahe kering adalah bahan terpenting kedua dalam pasar setelah jahe basah karena jahe kering adalah bahan pokok untuk pembuatan jahe bubuk dan juga minyak jahe dan ekstrak oleoresin. Ekstrak oleoresin ini diperoleh dari pengeringan rimpang jahe yang sudah matang, yaitu dipanen pada umur 8-9 bulan. Dengan melakukan perajangan pada jahe maka pengeringan jahe dapat dilakukan lebih cepat. Terdapat dua jenis jahe kering yang diperdagangkan, yaitu simplisia jahe kering dengan kulit dan jahe kering tanpa kulit. Kualitas dari jahe kering bergantung pada metode pengeringannya. Kadar air jahe kering yang baik adalah tidak boleh melewati 12% (Bag, 2018).

Pengeringan dengan menggunakan mesin pengering dapat membuat jahe kering secara merata dan lebih bersih akan tetapi minyak atsiri dan oleoserin pada jahe lebih banyak pada saat dikeringkan dengan matahari dibandingkan dengan menggunakan mesin pengering. Aliran udara dan suhu adalah faktor penting yang harus dijaga jika menggunakan aliran udara panas. Oleh karena itu, pada penggunaan mesin pengering suhu maksimal yang dapat digunakan adalah 60 °C, karena jika melebihi suhu ini maka akan terjadi kehilangan kandungan minyak atsiri dan oleoserin masing-masing lebih dari 12,2% dan 5,3% (Bag, 2018).

2.4 Oven Listrik

Oven Listrik digunakan untuk mematangkan atau memanggang bahan. Prinsip dasar operasional dari *oven* listrik adalah perpindahan panas. Dimana panas tersebut disebar merata ke dalam seluruh ruang *oven* untuk mematangkan bahan. *Oven* memiliki tiga bagian penting, yaitu kotak insulator, elemen pemanas dan kabel atau pengontrol. Kotak isolator berfungsi sebagai tempat bahan yang akan dipanaskan, elemen pemanas untuk mengubah energi listrik menjadi panas dan pengontrol digunakan untuk mengatur suhu sehingga tidak terjadi pemanggangan atau pembakaran yang berlebih (Olugbade dan Oluwole, 2018).

2.5 Pengeringan

Pengeringan adalah suatu cara atau proses untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan sebagian besar air yang dikandung oleh bahan sehingga air yang tersedia berkurang untuk reaksi degradasi kimia, enzimatik atau mikroba. Laju pengeringan dipengaruhi oleh mekanisme perpindahan seperti, tekanan uap dari bahan dan udara pengeringan, suhu dan kecepatan udara, kelembaban difusi bahan, ketebalan dan luas permukaan bahan yang dikeringkan (Andriani, dkk, 2016).

Meskipun pengeringan adalah alternatif untuk memperpanjang umur simpan makanan dan juga memfasilitasi penyimpanan dan transportasi, dengan mengurangi kebutuhan sistem pendingin yang mahal, fakta bahwa kualitas bahan makanan kering biasanya berkurang secara drastis dibandingkan dengan bahan makanan asli. Dengan demikian, penting untuk meminimalkan perubahan kimia, seperti pencoklatan enzimatik dan non-enzimatik, dan untuk memaksimalkan retensi nutrisi, seperti zat gizi makro (protein, gula, serat, dan lain-lain), zat gizi mikro (vitamin, mineral, dan lain-lain) atau senyawa bioaktif (senyawa fenolik, karotenoid, isoflavon, dan lain-lain) selama pengeringan. Salah satu efek yang sering diamati ketika mengeringkan makanan adalah penyusutan, yang sangat mempengaruhi struktur dan teksturnya (Guin é, 2018).

Menurut Guin é (2018), Adapun beberapa efek dari mengeringkan pangan adalah:

- a. Mikrosutruktur dan tekstur.
- b. Warna.
- c. Komposisi dan nilai gizi.
- d. Aroma.

Pengeringan menggunakan energi hingga 15% dalam penggunaan energi industri, biasanya dengan efisiensi termal yang relatif rendah dikisaran 25-50%. Adapun rumus dari efisiensi adalah (Delgado dan Antonio, 2015):

$$\eta = \frac{\text{Energy required}}{\text{Energy Suplied}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

η = efisiensi (%)

Energy required = Energi yang dibutuhkan (J).

Energy Suplied = Energi yang tersedia (J).

Laju energi yang masuk ke dalam mesin pengering dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Rahman, dkk, 2017).

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

Keterangan:

q_{in} = laju energi yang masuk ke dalam mesin 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_L = suhu udara dari lingkungan (°C).

Energi yang dimanfaatkan untuk pengeringan dapat dihitung berdasarkan rumus (Sari, dkk, 2014):

$$Q_{uap} = W_{uap} \times H_{fg} \quad (3)$$

Keterangan:

E_{USE} = energi yang dimanfaatkan untuk menguapkan bahan (kJ)

W_{uap} = berat uap air (kg H₂O)

H_{fg} = panas laten (kJ/kg)

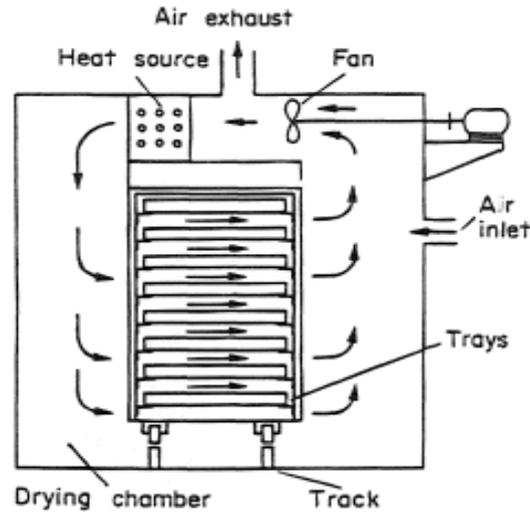
$$H_{fg} = 2.501 - (2.361 \times 10^{-3})T \quad (4)$$

T = Suhu *set point* (°C).

2.6 Pengering Tipe Rak (*Tray Dryer*)

Untuk menghasilkan produk akhir pangan yang diinginkan maka perlu dipertimbangkan jenis-jenis pengeringan yang sesuai untuk produk pangan. Adapun bentuk-bentuk dari mesin pengering yang cocok untuk zat padat yaitu *spray dryer*, *rotary dryer* (pengering putar), *screw conveyor dryer* (pengering konveyor sekrup), *vacum dryer* dan *tray dryer* (alat pengering tipe rak) (Anonim^a, 2019).

Pengering tipe rak banyak digunakan dalam mengeringkan bahan karena desainnya yang sederhana dan ekonomis. Bahan ditebar di atas rak-rak dengan ketebalan bahan yang merata sehingga dapat kering secara seragam. Pengeringan dapat terjadi karena adanya aliran udara panas yang melewati rak. Kunci dari keberhasilan dari pengering tipe rak ini adalah pendistribusian aliran udara yang merata melewati rak-rak. Sumber energi pengering tipe rak dapat berasal dari energi panas matahari, listrik, atau fosil. Biasanya kadar air ditentukan menggunakan timbangan elektronik untuk mendapatkan perbedaan massa akhir dan awal bahan (Misha, dkk, 2013).



Gambar 1. *Tray Dryer*.
(Sumber: Anonim^a, 2019).

2.7 Parameter Pengeringan

Menurut Kaur dan Prabhat (2015) adapun parameter pengeringan adalah sebagai berikut

2.7.1 Suhu Udara Pengering

Suhu udara pengeringan diperlukan untuk menguapkan air pada bahan. Semakin tinggi suhu maka panas yang digunakan untuk menguapkan air semakin meningkat sehingga waktu pengeringan akan lebih singkat. Akan tetapi suhu udara untuk pengeringan bahan memiliki batas tertentu.

2.7.2 Kecepatan Aliran udara pengering

Laju aliran udara pengeringan berfungsi untuk membawa energi panas yang selanjutnya mentransferkannya ke bahan dan membawa uap air keluar ruang pengering. Laju pengeringan yang cepat dapat terjadi jika udara pengering memiliki kandungan panas yang lebih seragam dengan volume dan laju aliran udara yang lebih besar sehingga memiliki kekuatan yang lebih besar pula untuk menembus lapisan bahan.

2.7.3 Kelembaban relatif (RH) udara pengering

Kelembaban relatif udara pengeringan menunjukkan kemampuan udara untuk menyerap uap air. Udara panas di dalam ruang pengering secara perlahan akan memanaskan dan menguapkan massa air bahan. Uap air tidak langsung keluar dari ruang pengering melainkan menjenuhkan udara di sekitar bahan. Semakin rendah kelembaban relatif udara pengeringan, maka kemampuannya dalam menyerap uap air akan semakin besar. Hal sebaliknya akan terjadi jika kelembaban relatif udara pengeringan semakin besar maka kemampuan dalam menyerap uap air akan semakin kecil

2.7.4 Kadar air

Kadar air merupakan salah satu sifat fisik dari bahan yang menunjukkan banyaknya air yang terkandung di dalam bahan. Dengan diketahuinya kadar air yang terkandung dalam bahan maka bahan tersebut dapat ditentukan untuk disimpan atau untuk penggunaan lainnya. Kadar air biasanya dinyatakan dalam bentuk persen. Kadar air dapat ditentukan dengan dua cara yaitu kadar air basis basah dan kadar air basis kering. Adapun persamaan untuk kadar air bahan sebagai berikut:

$$MC_{wb} = \frac{W_w}{W_w + W_d} \times 100\% \quad (5)$$

$$MC_{db} = \frac{W_w}{W_d} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

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

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

W_w = Berat air dalam bahan (g).

W_d = Berat padatan bahan (g).

2.8 Laju Pengeringan

Proses pengeringan memiliki dua tahap utama yaitu pengeringan dengan laju tetap dan pengeringan dengan laju menurun. Kedua tahap ini dibatasi oleh kadar air kritis. Kadar air kritis adalah kadar air terendah pada saat dimana laju air bebas dari dalam bahan ke permukaan sama dengan laju pengambilan uap air maksimum dari bahan. kadar air kritis bergantung pada tipe bahan dan ketebalannya. Pada laju pengeringan tetap bahan mengandung air yang cukup banyak dimana pada permukaan

berlangsung penguapan yang lajunya dapat disamakan dengan laju penguapan pada permukaan air bebas (Henderson dan Perry, 1976).

Laju pengeringan menurun terjadi setelah tahap pengeringan tetap selesai. Kebanyakan bahan hasil pertanian sudah kering pada tahap ini. Pada tahap ini permukaan partikel bahan yang dikeringkan tidak lagi ditutupi oleh lapisan air. Selama tahap ini, energi yang diperoleh bahan digunakan untuk menguapkan sisa air bebas yang tinggal sedikit sekali jumlahnya pada bahan (Kaur, dkk 2015)

Laju penguapan air adalah banyaknya air yang diuapkan setiap satuan waktu dan penurunan kadar air bahan dalam satuan waktu (Yadollahinia dan Rafiee, 2008). Laju penguapan air dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$DR = \frac{w_t - w_{t+1}}{w_a} \times \frac{1}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

Keterangan:

DR = laju pengeringan

w_t = berat awal bahan (kg).

w_{t+1} = berat bahan pada waktu ke-n ((kg).

w_a = berat padatan (kg).

t_2 dan t_1 = perubahan waktu setiap jam (jam).

2.9 Sistem Kontrol

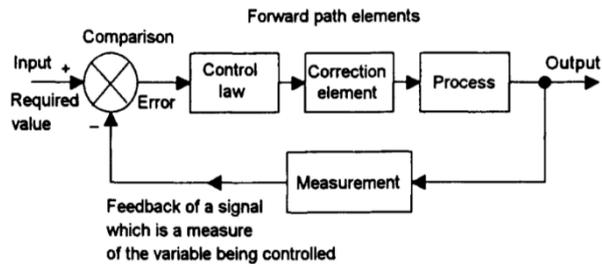
Menurut Warwick (1996), sistem kontrol berdasarkan cara kerjanya dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

2.9.1 Kontrol Lup Terbuka (*Open-Loop Control*)

Sistem kontrol terbuka adalah sistem yang dimana *inputnya* tidak dipengaruhi oleh *outputnya*, sehingga dalam pelaksanaan suatu proses kendali akan bekerja secara “membuta” dan ruang lingkup kerja dari kendali jenis ini tidak terbatas.

2.9.2 Kontrol Lup Tertutup (*Close-Loop Control*)

Sistem kontrol tertutup merupakan kebalikan dari prinsip kendali loop terbuka, dimana prinsip kendali dimana lup tersebut memiliki lintasan yang tertutup untuk proses aliran informasinya dari *input* ke *output* dan kembali ke *input* lagi karena adanya *feedback control*.



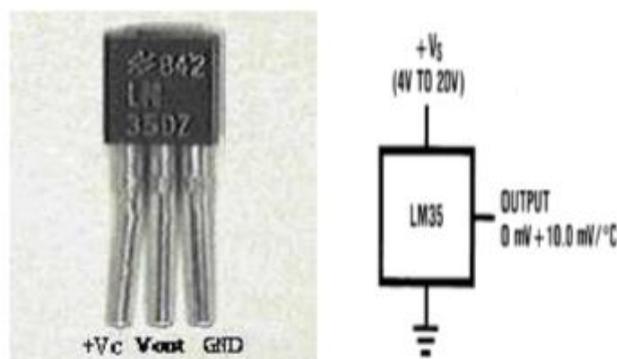
Gambar 2. Diagram blok *close loop control*.
(Sumber: Bolton, 2004).

2.10 Komponen Utama Sistem Kontrol

2.10.1 Instrumen Ukur

Instrumen ukur adalah alat yang digunakan untuk mengukur perubahan-perubahan dalam proses. Hasil ukur tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler. Salah satu alat ukur yang berkaitan dengan suhu adalah sensor suhu (Bolton, 2004)

Contoh sensor suhu yaitu LM35. LM35 merupakan sensor suhu dalam bentuk IC, Pada sensor ini memiliki koefisien $10 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ (artinya setiap kenaikan suhu 1°C maka tegangan akan naik sebesar 10 mV), *output linier range* -55°C sampai dengan 150°C impedansi keluaran yang rendah, dan memiliki akurasi 0.5°C pada suhu ruang (Allo, dkk. 2013).



Gambar 3. Bentuk fisik sensor suhu LM35 (kiri) dan Diagram umum sensor suhu LM 35 (kanan).

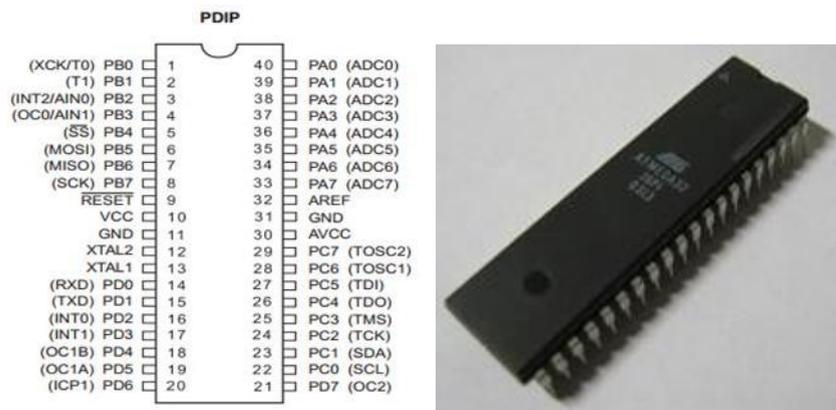
(Sumber: Allo, dkk. 2013).

2.10.2 Kontroler

Kontroler berfungsi untuk menentukan tindakan apa yang akan dilakukan ketika sinyal *error* diterima. Kontroler digunakan untuk menyuplai sinyal ketika terjadi *error* sebagai *switch ON* atau *OFF*. Atau ketika dimana sebuah sinyal sebanding dengan sinyal *error*, jadi ketika sinyal *error* kecil maka sinyal kontrol yang kecil

juga dihasilkan, dan ketika *error* besar maka sinyal kontrol yang sama besar akan dihasilkan (Bolton, 2004).

Contoh kontroler adalah mikrokontroler. Mikrokontroler adalah sebuah *chip* dengan prosesor, memori dan *input* atau *output* terintegrasi menjadi satu kesatuan kontrol sistem, sehingga mikrokontroler disebut sebagai komputer mini yang beroperasi secara inovatif sesuai dengan kebutuhan sistem. Jenis-jenis mikrokontroler adalah Mikrokontroler AVR, MCS-51, Mikrokontroler PCI dan Mikrokontroler ARM. Namun yang paling banyak tersedia di pasaran adalah Mikrokontroler AVR, dimana mikrokontroler ini sering digunakan untuk modul, project dan pembelajaran. Pin-pin dari Port A pada Mikrokontroler AVR memiliki fungsi khusus yaitu dapat berfungsi sebagai channel ADC (*Analog to Digital Converter*). Selain itu Mikrokontroler juga memiliki fasilitas PWM (*Pulse Eidth Modulation*) yaitu untuk memodulasi pulsa. Fasilitas PWM ini tersedia pada pin Port B3, Port D4, Port D5 dan Port D7 (Horowitz dan Winfield, 2015).



Gambar 4. Mikrokontroler Atmega32.
(Sumber: anonim^b, 2019).

2.10.3 Aktuator

Aktuator digunakan untuk mengubah energi *input* menjadi energi mekanik. Ada banyak jenis aktuator yang telah dibuat dan berfungsi sesuai dengan jenis energi *input* (Jones, 2009).

a. Relay

Relay adalah saklar yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen elektromekanikal. *Relay* menggunakan prinsip elektromekanikal untuk menggerakkan saklar sehingga arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan tinggi, jadi *relay* bekerja seperti saklar biasa, yaitu digunakan

untuk memutuskan dan menghubungkan arus. *Relay* bisa untuk DC ataupun AC (Horowitz dan Winfield, 2015).

b. *SSR (Solid State Relay)*

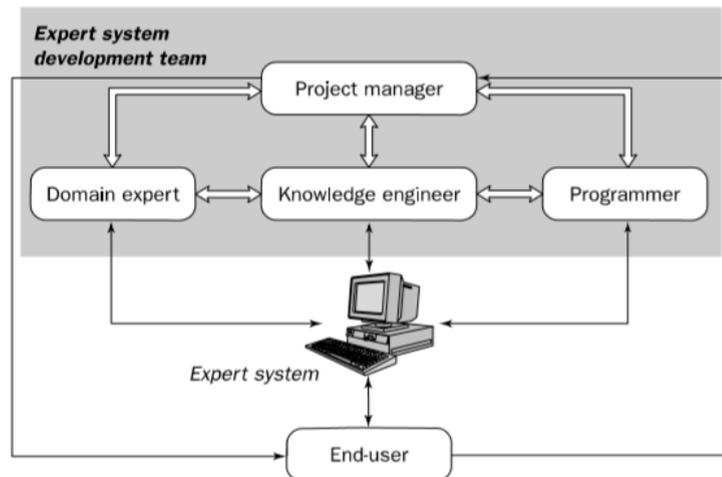
Tipe *relay* ini, mengandalkan sinyal elektrik yang digunakan untuk mengaktifkan *circuit breaker* dan sistem ini tidak memiliki bagian yang bergerak namun mengandalkan bahan semi-konduktor seperti diode untuk menghubungkan arus listrik. Kemampuan *SSR* membawa beban dapat dilihat dari besarnya *ampere* yang terdapat di badan *SSR* itu sendiri. Selain itu *input SSR* juga bisa berasal dari mikrokontroler dan keluarannya dihubungkan ke sumber AC (*Alternatif Current*) (Verma, dkk, 2015).

c. *Motor Servo*

Motor servo dirancang dengan sistem kontrol umpan balik lup tertutup. Penggunaan sistem kontrol lup tertutup pada *motor servo* berguna untuk mengontrol gerakan dan posisi akhir pada poros *motor servo*. *Motor servo* terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian *gear*, rangkaian kontrol dan potensiometer. *Motor servo* dilengkapi dengan kontroler dan sensor posisi sehingga berputar pada 0°, 90°, 120°, 180° atau 360°. *Motor servo* biasa digunakan untuk penggerak robot, cctv, katup dan lain sebagainya (Kurniawan, 2016).

2.11 Sistem *Expert*

Sistem *expert* atau sistem pakar adalah sistem yang berusaha mengadopsi pengetahuan manusia ke komputer, agar komputer dapat menyelesaikan masalah seperti seorang ahli dengan begitu orang awam yang bukan ahli pun dapat menyelesaikan masalah yang hanya bisa diselesaikan dengan bantuan para ahli. Sistem pakar dapat menyelesaikan masalah tanpa dipengaruhi oleh faktor luar yang biasa dialami oleh manusia seperti intimidasi, paksaan kejiwaan, faktor ekonomi maupun perasaan. Tujuan dari sistem pakar adalah untuk mentransfer keahlian seorang pakar ke dalam komputer kemudian ke masyarakat (Negnevitsky, 2005).



Gambar 5. Pemeran utama pengembangan sistem *expert*.
(Negnevitsky, 2005).

Biasanya ada lima anggota dalam pengembangan sistem ekspert yaitu, *domain expert*, *knowledge engineer*, *programmer*, *the project manager* dan terakhir adalah *end-user*, berikut adalah penjelasan tentang anggota tersebut (Negnevitsky, 2005):

2.11.1 *Domain expert*

Domain expert adalah seorang pakar atau seorang yang memiliki kemampuan dalam menyelesaikan masalah pada bidang tertentu.

2.11.2 *Knowledge enginer*

Knowledge enginer adalah seseorang yang mampu mendesain, membangun dan menguji sebuah sistem *expert*. Seorang *knwoledge engineer* akan mewawancarai *domain expert*, sehingga *knowlegdge enginner* dapat menentukan metode apa yang digunakan oleh pakar tersebut untuk menyelesaikan masalah dan menentukan bagaimana cara menggambarkan seorang *expert* menyelesaikan masalah tersebut kedalam sistem *expert*.

2.11.3 *Programmer*.

Tugas seorang *programmer* adalah bertanggung jawab atas pemrograman yang sebenarnya, dimana dia mendiskripsikan *domain knowledge* sehingga dapat dipahami oleh komputer. Seorang *programmer* membutuhkan keahlian dalam menyimbolkan pemrograman dalam bahasa AI (*artificial intelegence*) seperti LISP,

Prolog and OPS5. Dengan kata lain seorang *programmer* harus tahu bahasa pemrograman konvensional seperti bahasa C, *Pascal*, FORTRAN dan *Basic*.

2.11.4 *Project Manager*

Project Manager adalah orang yang memimpin tim pengembangan sistem *expert*, bertanggung jawab untuk menjaga proyek tetap pada tempatnya.

2.11.5 *End-user*

End-user atau biasa disebut pengguna, adalah orang yang menggunakan sistem *expert* yang telah selesai dikembangkan tersebut.

2.12 Aturan (*rule*)

Sistem pakar yang dibuat merupakan sistem yang berdasarkan pada aturan-aturan dimana program disimpan dalam bentuk aturan sebagai proses pemecahan masalah. Aturan tersebut biasanya berbentuk *IF-THEN* (Dahria, 2011).

Menurut Buchanan dan Edward (1984), untuk dapat mewakili aturan-aturan sistem *expert* dapat dalam bentuk:

IF: jika ada bukti bahwa kejadian A dan B adalah benar,

THEN: dapat disimpulkan ada bukti bahwa kejadian C adalah benar.

Bentuk diatas biasanya disingkat dalam bentuk:

IF A AND B, THEN C

$A \& B \rightarrow C$

Secara umum, sebuah aturan dapat memiliki banyak kejadian-kejadian yang digabung dengan menggunakan kata kunci *AND*, *OR* atau kombinasi dari keduanya. Akan tetapi, sebaiknya menggabungkan *AND* dan *OR* tidak dilakukan dalam aturan yang sama (Negnevitsky, 2005).

IF (Kejadian 1)

AND (Kejadian 2)

.

.

.

AND(Kejadian *n*)

THEN(Kesimpulan)

IF (Kejadian 1)

OR (Kejadian 2)

.

.

.

OR(Kejadian *n*)

THEN(Kesimpulan)

Menurut Buchanan dan Edward (1984), mekanisme inferensi dapat menggunakan berbagai metode. Contohnya adalah Sekumpulan aturan-aturan tersebut dapat saling dikaitkan seperti:

IF A, THEN B (rule 1)

IF B, THEN C (rule 2)

A (data)

$\therefore C$ (Kesimpulan).

Bentuk aturan diatas biasa dikenal sebagai metode *forward chaining*, karena data-data yang telah diketahui (A) membuat pelacakan dari depan menuju kesimpulan (C). selain *forward chaining* dikenal juga *backward chaining* dimana pelacakannya dimulai dari kesimpulan, dengan mencari sekumpulan hipotesa menuju fakta yang mendukung sekumpulan hipotesa tersebut, seperti

Find Out about C (goal)

IF B, THEN C (rule 1)

IF A, THEN B (rule 2)

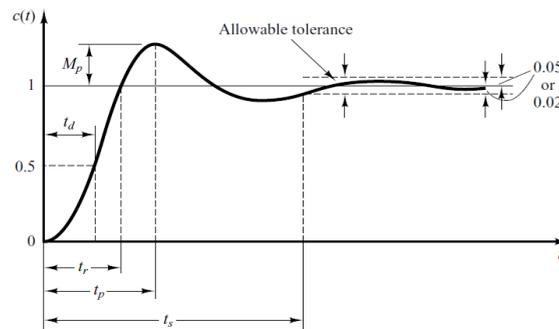
$\therefore IF A, THEN C$ (aturan tersirat)

Question: Is A true? (data)

2.13 Spesifikasi Respon Peralihan

Setiap sistem diharapkan memiliki waktu perahilan sekecil mungkin, maksudnya ialah respon diharapkan secepat mungkin mencapai keadaan yang diinginkan. Adapun spesifikasi dari respon peralihan atau *transient response* Ogata (2010), adalah sebagai berikut:

- Waktu naik (t_r), adalah waktu yang diperlukan oleh respon sistem untuk naik dari 0% ke 100% dari nilai akhir ketika sistem redaan kurang atau 10%-90% dari nilai akhir ketika sistem redaan lebih
- Waktu tunda (t_d), adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai 50% dari nilai akhir.
- Waktu puncak (t_p), adalah waktu maksimum puncak dari respon terjadi.
- Puncak *overshoot* (M_p) adalah perbedaan antara maksimum puncak dan nilai *steady state* dari respon langkah satuan.
- Waktu menetap (t_s), adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai dan menetap dalam daerah sekitar harga akhir yang ukurannya ditentukan dengan persentase mutlak dari harga akhir (biasanya 5% atau 2%).



Gambar 6. Kurva untuk menunjukkan t_d , t_r , t_p , M_p dan t_s (Ogata, 2010).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian “Penerapan Sistem Kontrol *Expert* pada Alat Pengering Tipe Rak *Hybrid* Sistem *Oven* dan *Dryer*” telah dilaksanakan pada bulan Januari-maret 2021 di jalan Al-Kharismi blok Gi/3 dan Laboratorium Pangan Keteknikan Pertanian.

3.2 Alat

Alat yang digunakan adalah mesin pengering tipe rak, termometer air raksa, timbangan digital ($sd=0,01$), kWh meter *digital*, mesin perajang jahe, alat ukur suhu dan Rh, kamera, desikator, *software CodeVision AVR*.

3.3 Bahan

Bahan untuk uji kinerja adalah 12 kg jahe gajah segar yang telah dirajang.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dari mempelajari karakteristik komponen-komponen pengendali dan mesin pengering tipe rak *hybrid* sistem *oven* dan *dryer*. Selanjutnya merancang *software* sistem kontrol energi dan mekanisme *hybrid oven* dan *dryer*. Kemudian dilakukan serangkaian uji fungsi dan uji kinerja untuk melihat apakah kaidah-kaidah kontrol *expert* yang telah dibuat dapat berfungsi, meningkatkan efisiensi mesing pengering, meningkatkan penghematan energi listrik, dan memenuhi standar mutu (SNI) jahe kering. Secara lengkap prosedur dapat dilihat pada Gambar 9.

3.4.1 Mempelajari karakteristik mesin pengering

Tujuan mempelajari karakteristik mesin pengering adalah untuk mengetahui komponen-komponen pada pengering dan prinsip kerja komponen, serta bagaimana mengendalikan mesin pengering.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pengering tipe rak terdiri dari mikrokontroler, SSR (*solid state Relay*), *heater*, sensor suhu LM35, motor sinkron AC, dan *blower*. Model sistem mesin pengering tipe rak seperti Gambar 7.