

**PENERAPAN SISTEM KONTROL *EXPERT* PADA MESIN
PENGERING KAKAO (*THEOBROMA CACAO L.*) TIPE
TUMPUKAN**

**Nursyamsi
G411 14 006**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**



**PENERAPAN SISTEM KONTROL *EXPERT* PADA MESIN
PENGERING KAKAO (*THEOBROMA CACAO L.*) TIPE
TUMPUKAN**



**Nursyamsi
G41114006**

Skripsi Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana
Teknologi Pertanian
Pada
Departemen Teknologi Pertanian
Fakultas Pertanian
Universitas Hasanuddin



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN
DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**

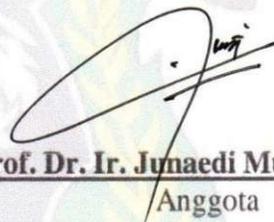
LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi : Penerapan Sistem Kontrol *Expert* Pada Mesin Pengering
Kakao (*Theobroma cacao L.*) Tipe Tumpukan
Nama : Nursyamsi
NIM : G411 14 006

Disetujui Oleh:



Dr. Ir. Abdul Waris, MT.
Ketua



Prof. Dr. Ir. Junaedi Muhidong, M.Sc.
Anggota

Disetujui Oleh:




Prof. Dr. Ir. Meta Mahendradatta
Ketua Departemen



Pengesahan: 20 Oktober 2020

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS/SKRIPSI

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : NURSYAMSI
Nomor Mahasiswa : G411 14 006
Program Studi : Keteknikan Pertanian

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebahagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 4 November 2020

Yang menyatakan,



NURSYAMSI



DEKLARASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi Penerapan Sistem Kontrol *Expert* pada Mesin Pengering Kakao (*Theobroma cacao L.*) Tipe Tumpukan benar adalah karya saya dengan arahan tim pembimbing, belum pernah diajukan atau tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Saya menyatakan bahwa semua sumber informasi yang digunakan telah disebutkan di dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka.

Makassar, 27 Agustus 2020

Nursyamsi
G411 14 006



ABSTRAK

NURSYAMSI (G41114006). Penerapan Sistem Kontrol *Expert* pada Mesin Pengering Kakao (*Theobroma cacao L.*) Tipe Tumpukan di bawah bimbingan: ABDUL WARIS dan JUNAEDI MUHIDONG.

Latar Belakang Pengeringan tipe tumpukan adalah mesin pengering yang dapat digunakan untuk mengeringkan bahan dalam bentuk biji-bijian, seperti biji kakao, kopi, jagung dan lain-lain. Selain itu mesin pengering juga harus memiliki sistem kontrol yang dapat menendalikan sistem pengering secara otomatis. Berdasarkan hal tersebut, dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja tungku menggunakan energi pembakaran gas dengan penerapan sistem kontrol *expert* yang berfungsi sebagai pengendali daya dalam proses pembakaran gas LPG. **Tujuan** Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan sistem kendali *Expert* sebagai sistem kontrol pada mesin tipe tumpukan. **Metode** Metode penelitian yang dilakukan adalah mempelajari prinsip kerja sistem mesin pengeringan tipe tumpukan, mempelajari spesifikasi listrik perangkat keras (*hardware*) pengeringan tipe tumpukan, perancangan perangkat lunak (*software*) kontrol *Expert*, uji fungsi sistem, dan uji kinerja alat. **Hasil** Hasil yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa uji kinerja alat pada suhu 50°C stabil dengan *error stady state* sebesar 1%, mengalami *settling time* sebesar 90 dan *overshoot* sebesar 1%. Sedangkan uji pada suhu 60°C dengan *error stady state* sebesar 1,2%, mengalami *settling time* sebesar 120 detik dan *offset* 2%. Proses pengeringan biji kakao untuk mencapai kadar air kesetimbangan pada suhu 50°C selama 15 jam adalah 7,48% basis basah dan pada suhu 60°C adalah 7,53% basis basah. Efisiensi pengeringan pada suhu 50°C sebesar 52,954%, dan pada suhu 60°C sebesar 73,783%. Laju penggunaan gas pada suhu 50°C adalah 0,1453 kg/jam, sedangkan pengeringan pada suhu 60°C adalah 0,1792 kg/jam dengan efisiensi tungku suhu 50°C adalah 20.51%, dan suhu 60°C adalah 49.72%.

Kata kunci: Kontrol *Expert* dan Mesin Pengering Tipe Tumpukan.



ABSTRACT

NURSYAMSI (G41114006). Application of Expert Control System on Pile Type Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Drying Machine. Supervised by ABDUL WARIS and JUNAEDI MUHIDONG.

Background Batch type dryer is a drying machine that can be used to dry agricultural products in the form of grains, such as cocoa beans, coffee, corn and others. In addition, the dryer is also supported with a control system that can control the drying system automatically. This study was conducted to determine the performance of the furnace using gas combustion energy of a batch type dryer by implementing an expert control system that functions as a power controller in the LPG gas combustion process. **Aim** This study aims to produce an expert control system as a control system on a batch type drying machine. **Method** The research method included the study of the working principles of the batch type drying machine system, the study of the electrical specifications of the batch-type drying hardware, the design of the Expert control software, the test of the system functions, and the test of the performance of the drying machine. **Results** The results obtained indicated that at a temperature of 50°C the dryer is stable with a steady state error of 1%, a settling time of 90, and an overshoot of 1%. While at a temperature of 60°C the system produced a steady state error of 1.2%, experienced a settling time of 120 seconds and 2% offsite. Equilibrium moisture content achieved after 15 hours elapsed drying time at 50°C drying temperature is 7.48% wet basis, and at 60°C is 7.53% wet basis. The drying efficiency at 50°C is 52,954%, and at 60°C is 73,783%. The rate of gas usage at 50°C is 0.1453 kg / hour, while at 60°C is 0.1792 kg /hour. Furnace efficiency at a temperature of 50°C is 20.51% and at a temperature of 60°C is 49.72%.

Key words: Expert Control and Pile Type Dryer



PERSANTUNAN



Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selama penelitian maupun penulisan dan penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, baik dalam bentuk doa, tenaga, dana maupun bimbingan. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. **Dr. Ir. Abdul Waris, MT.** dan **Prof. Dr. Ir. Junaedi Muhidong, M.Sc** sebagai dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, saran, kritikan, petunjuk, motivasi dan segala arahan yang telah diberikan dari penyusunan proposal, pelaksanaan penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai.
2. **Bisman** dan **Sitti Nurliah** sebagai orang tua yang senantiasa memberikan doa, bantuan dana dan motivasi.
3. **Pak Budi, April, Putri** dan **Ainun** yang telah membantu dalam mendapatkan biji kakao, proses penyucian biji dan pengambilan data di lapangan.

Semoga seluruh bantuan yang telah diberikan oleh semua pihak kepada penulis menjadi amal jariyyah dan mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT dan semoga skripsi ini dapat berguna setra bermanfaat untuk semuanya. Amiin.

Makassar, 27 Agustus 2020

Nursyamsi



RIWAYAT HIDUP



Nursyamsi, lahir di Bantaeng pada tanggal 14 Januari 1994 merupakan anak pertama dari Tiga orang bersaudara dari pasangan Bisman dan Sitti Nurliah. Penulis telah menempuh jenjang pendidikan formal Sekolah Dasar (SD) Inpres Tamaona, Kabupaten Bantaeng tahun 2001-2007. Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Pa'jukukang, Kabupaten Bantaeng tahun 2008-2011. Sekolah Menengah Atas (SMA) Negeri 3 Tompobulu', Kabupaten Bantaeng tahun 2011-2014. Universitas Hasanuddin Makassar, Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Keteknikan Pertanian tahun 2014-2019. Penulis lulus melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) tahun 2014 dan diterima sebagai mahasiswa di Departemen teknologi Pertanian, Program Studi Keteknikan Pertanian, Universitas Hasanuddin, Makassar. Selama masa kuliah penulis aktif sebagai anggota Lembaga Dakwah Muslimah LK_Uswah dan menjadi pengurus periode 2014-2015/2015-2016 dan lanjut periode 2016-2017, penulis bergabung di Lembaga Dakwah BMI (*Back to Muslim Identity*) periode 2017-2018/2018-2019. Selain itu penulis bergabung sebagai asisten pindah panas pada tahun 2016 dan asisten instrumentasi pada tahun 2017.



DAFTAR ISI

HALAMAN SAMBUNG.....	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS/SKRIPSI	iv
DEKLARASI	v
ABSTRAK	vi
PERSANTUNAN	viii
RIWAYAT HIDUP	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	2
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Kegunaan	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kakao.....	4
2.2 Pasca Panen	6
2.2.1 Pemetikan	6
2.2.2 Sortasi Kakao	7
2.2.3 Pemeraman Buah Kakao	7
2.2.4 Pemecahan atau Pengupasan Buah Kakao	7
2.2.5 Fermentasi Biji.....	7
2.2.6 Perendaman dan Pencucian Biji	7
2.2.7 Pengeringan Biji.....	8
2.2.8 Pengemasan dan Penyimpanan Biji	8
2.3 Proses Pengeringan.....	8
2.3.1 Metode Proses Pengeringan.....	8
2.3.2 Proses yang Terjadi Saat Pengeringan Produk Basah.....	9
2.3.3 Parameter yang Dikontrol Saat Pengeringan.....	11
2.3.4 Kebutuhan Energi Selama Proses Pengeringan	12
2.3.5 Sistem Kontrol.....	13



2.4.1 Sensor	15
2.4.2 Pengontrol (<i>Microcontroller</i> ATmega32).....	17
2.4.3 Sistem Pakar (<i>Expert</i>).....	17
2.4.4 Sistem Kontrol Pakar (<i>Expert</i>).....	19
2.4.5 Respon Sistem Kontrol.....	19
2.4.6Aktuator.....	21
3. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat.....	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.3 Prosedur Penelitian	22
3.3.1 Mempelajari Sistem Pada Mesin Pengering Tipe Tumpukan	22
3.3.2 Mempelajari Perangkat Keras (<i>hardware</i>) Sistem Pengeringan Tipe Tumpukan.....	22
3.3.3 Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>) Kontrol <i>Expert</i>	23
3.3.4 Uji Fungsi	25
3.3.5 Uji Kinerja	26
3.4 Metode Pengamatan.....	26
3.4.1 Uji <i>Gain System</i>	26
3.4.2 Uji Dinamis Dan Statis Mesin Tanpa Bahan (Kakao)	26
3.4.3 Uji Dinamis Dan Statis Mesin Tanpa Bahan (Kakao)	27
3.4.4 Uji Mutu	27
3.4.5 Hemat Bahan Bakar Gas LPG	27
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Gambaran Umum Mesin Pengering Tipe Tumpukan	28
4.2 Cara Mengoperasikan Mesin Pengering.....	28
4.3 Hasil Uji Fungsional	29
4.3.1 <i>Gain</i> Tungku LPG.....	29
4.3.2 Sistem Kontrol <i>Expert</i>	30
4.4 Hasil Uji Kinerja	31
4.4.1 Respon Kontrol Suhu Selama Proses Pengeringan	31
4.4.2 Kadar Air Kakao	32
4.4.3 Laju Pengeringan.....	33
4.4.4 Efisiensi Penggunaan Energi	34
4.4.5 Efisiensi Tungku	34



4.5.2 Efisiensi Pengeringan.....	34
5. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN	37



DAFTAR TABEL

No.	Teks	Halaman
2-1	Karakteristik Mutu Umum Biji Kakao.....	6
2-2	Karakteristik Mutu Khas Biji Kakao.....	6



DAFTAR GAMBAR

No.	Teks	Halaman
2-1	Biji Kakao Mulia dan Biji Kakao Lindak.....	5
2-2	Hubungan Kadar Air dengan Waktu.....	11
2-3	Sistem Kontrol Secara Lengkap.....	14
2-4	Sensor Suhu LM35.....	16
2-5	Struktur Dasar Kontrol.....	19
2-6	Kurva respon tangga satuan yang menunjukkan t_d , t_r , t_p , M_p dan t_s	21
3-1	Perancangan Perangkat Lunak.....	24
3-2	Hasil Perancangan Sistem Kontrol.....	24
3-3	Hasil Perancangan Sistem Kontrol.....	25
4-1	Klasifikasi Mesin Pengering Tipe Tumpukan.....	28
4-2	Respon Kenaikan Suhu 60°C Pada <i>Gain System</i>	30
4-3	Respon Transien Kontrol Expert pada Suhu 50°C dan 60°C Tanpa Biji Kakao.....	30
4-4	Respon Suhu Pengeringan Biji Kakao.....	31
4-5	Penurunan Kadar Air Rata-rata dengan Perbedaan Kadar Air Awal.....	32
4-6	Penurunan Kadar Air Rata-rata dengan Kadar Air Awal Sama ..	32
4-7	Laju Pengeringan Pada Suhu 50°C dan 60°C.....	33



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Teks	Halaman
1	Konfigurasi Pin ATmega32	37
2	Sifat Fisik Udara Kering dan Sifat Bahan Bakar.....	38
3	Nilai Panas Laten Penguapan Air dan Penggunaan Bahan Bakar Gas LPG	39
4	Data Hasil Pengeringan Suhu 50°C.....	40
5	Data Hasil Pengeringan Suhu 60°C.....	41
6	Penggunaan Energi.....	42
7	Efisiensi Pengeringan	44
8	Dokumentasi	48



1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kakao (*Theobroma cacao L.*) merupakan salah satu komoditi pertanian yang dapat diandalkan dalam mewujudkan program pembangunan pertanian, khususnya dalam hal penyediaan tenaga kerja, pendorong pengembangan wilayah, peningkatan kesejahteraan petani dan peningkatan pendapatan. Kakao juga adalah salah satu dari berbagai komoditi tanaman ekspor yang bisa memberikan kontribusi dalam meningkatkan devisa Negara (Baihaqi,. Dkk. 2016).

Faktor yang paling berpengaruh dalam rendahnya kualitas kakao yang dihasilkan para petani adalah penanganan atau pengolahan biji kakao pasca panen. Dalam pengolahan pasca panen ada tiga proses paling utama yang harus diperhatikan yaitu, proses fermentasi, proses pencucian dan perendaman serta proses pengeringan. Kedua proses tersebut sangat mempengaruhi cita rasa, warna, dan arom biji kakao. Saat ini, masih banyak masyarakat khususnya petani kakao melakukan pengeringan dengan cara manual atau sering disebut dengan penjemuran yang merupakan metode pengeringan yang umum dilakukan masyarakat. Penjemuran ini dilakukan dengan meletakkan biji kakao di bawah sinar matahari secara langsung. Pengeringan dengan cara ini kurang efektif karena proses sangat tergantung terhadap intensitas cahaya matahari. Proses penjemuran biji kakao dilakukan oleh para petani di pinggir jalan raya, hal ini dapat menyebabkan bahan atau biji kakao terkontaminasi oleh debu, tanah, dan asap kendaraan yang dapat menurunkan kualitas biji kakao. Penjemuran akan dihentikan apabila cuaca tampak mendung atau akan turun hujan. Hal ini akan mempengaruhi tingkat produksi kakao serta penghasilan para petani. Apabila menggunakan metode ini, maka waktu yang diperlukan saat pengeringan relatif lama dan diperlukan pula lahan atau yang luas untuk pengeringan.

Masalah pengolahan tersebut sering terjadi pada para petani kakao disebabkan masih minimnya pengetahuan tentang teknologi dalam mengolah biji kakao serta belum ada metode baku dalam memperoleh biji kakao yang kering berkualitas. Biji kakao yang digunakan dalam produk makanan yaitu biji dari buah tanaman kakao

melalui proses pembersihan dan pengeringan. Dalam memperoleh tingkat pasar internasional yang memiliki peran penting dalam hal ini salah satu faktor yang harus diperhatikan adalah mutu biji kakao. Dalam bidang industri biji kakao banyak



digunakan pada produk makanan dan minuman dengan menetapkan berbagai cara yang ketat dari segi cita rasa serta keamanan pangan (Melia. 2017).

Maka dari itu, dibutuhkan alat atau mesin pengeringan agar kualitas biji dapat terjaga sekaligus memperkenalkan mesin pengering tipe tumpukan yang memiliki kapasitas sedang yang disertai sistem kontrol. Pada umumnya mesin pengering tipe tumpukan yang ada menggunakan energi minyak tanah, dan pembakaran biomassa. Faktanya energi minyak tanah termasuk dalam energi yang langka untuk diperoleh dan harga pun mahal, begitu pula dengan energi biomassa yang memiliki ukuran tungku pembakaran yang berkapasitas besar. Karena itu, dibutuhkan mesin pengering yang menggunakan energi gas dengan penerapan sistem kontrol yang presisi. Saat ini telah dirancang mesin pengeringan tipe tumpukan menggunakan energi pembakaran gas oleh salah satu Staf Dosen Keteknikan Pertanian (Abdul Waris) yang sesuai kebutuhan para petani dengan sistem kontrol *fuzzy logic*. Dalam penggunaan sistem kontrol, *fuzzy logic* dikenal memiliki ketelitian bagus, namun dalam proses pembuatan kaidah-kaidah cukup sulit. Salah satu sistem kontrol cerdas lainnya yang mudah dibuat serta cukup presisi adalah sistem kontrol *expert*.

Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja tungku menggunakan energi pembakaran gas dengan penerapan sistem kontrol *expert* yang berfungsi sebagai pengendali daya dalam proses pembakaran gas LPG.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana kinerja mesin pengering tipe tumpukan menggunakan sistem kendali kontrol *expert*?
2. Bagaimana kualitas mutu (kadar air) setelah proses pengeringan biji kakao?
3. Berapa besar energi yang digunakan selama proses pengeringan?

1.3 Tujuan dan Kegunaan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menghasilkan sistem kendali *expert* yang dapat digunakan pada mesin pengering kakao tipe tumpukan.

Kegunaan dari penelitian ini adalah mempermudah proses pengeringan biji kakao tanpa cahaya matahari dan menjadi model dengan pengembangan sistem kendali pada mesin pengering tipe tumpukan.



2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kakao

Kakao (*Theobroma cacao L.*) merupakan salah satu komoditas pertanian yang dapat diandalkan dalam mewujudkan program pembangunan pertanian, khususnya dalam hal penyediaan tenaga kerja, pendorong pengembangan wilayah, peningkatan kesejahteraan petani dan peningkatan pendapatan. Kakao juga adalah salah satu dari berbagai komoditas tanaman ekspor yang bisa memberikan kontribusi dalam meningkatkan penghasilan devisa Negara (Baihaqi, dkk. 2016).

Menurunnya permintaan ekspor kakao dari konsumen diakibatkan oleh kualitas biji kakao yang rendah atau tidak sesuai permintaan konsumen. Hal ini terjadi dalam proses pengolahan biji kakao masih banyak masalah yang timbul, terutama pengolahan biji kakao dikalangan para petani. Masalah pengolahan yang dialami para petani kakao ialah masih minimnya pengetahuan mereka tentang teknologi dalam mengolah biji kakao serta belum ada metode baku dalam memperoleh biji kakao yang kering berkualitas. Biji kakao yang digunakan dalam produk makanan adalah biji yang diperoleh dari buah tanaman kakao (*Theobroma cacao L.*) yang melalui proses pembersihan dan pengeringan. Dalam memperoleh tingkatan harga di pasar internasional yang memiliki perang penting dalam hal ini salah satu diantaranya adalah mutu pada biji kakao. Dalam bidang industri biji kakao banyak digunakan pada produk makanan dan minuman dengan menetapkan syarat yang ketat dalam aspek citarasa serta keamanan pangan (Melia, 2017).

Kakao merupakan satu-satunya dari 22 jenis marga *Theobroma*, suku Sterculiaceae, yang diusahakan secara komersial. Menurut Tjitrosoepomo (1988) sistematika tanaman ini sebagai berikut:

- Divisi : Spermatophyta
- Anak divisi : Angiospermae
- Kelas : Dicotyledoneae
- Anak kelas : Dialypetalae
- Bangsa : Malvales
- : Sterculiaceae
- : *Theobroma*
- : *Theobroma cacao L*



Buah serta biji kakao memiliki sifat yang akan ditetapkan sebagai dasar klasifikasi pada sistem taksonomi. Dari segi bentuk buah, akan golongkan atas empat sistem populasi. Jenis kakao lindak (*bulk*) yang sering dijumpai di wilayah tropika yang merupakan anggota dari *sub* jenis kakao *sphaerocarpum*. Dimana biiijnya berbentuk lonjong, pipih dan ketika biji kakao tersbut keping maka akan menunjukkan warna ungu gelap, dan memiliki beragam mutu yang lebih rendah dari *sub* jenis *cacao*. Pada permukaan kulit buah relatif halus sebab alur-alurnya dangkal. Juga memiliki kulit yang tipis namun keras (liat). Buah kakao terbagi dalam tiga kelompok besar, seperti *criollo*, *forastero*, dan *trinitario*, serta yang memiliki sifat *criollo* (Karmawati, dkk., 2010).

Sifat lain yang dimiliki kakao *criollo* ialah pertumbuhan yang kurang bagus, hasil yang diperoleh agak rendah dibandingkan *forastero* dan juga permukaan kulit buahnya yang kasar lebih mudah diserang hama dan penyakit, dimana terdapat alur yang tampak dan berbenjol-benjol pada permukaannya. Memiliki kulit yang tebal namun lunak hingga lebih mudah memisahkan kulit dengan buah. Kandungan lemak yang ada pada biji masih rendah dibandingkan *forastero* namun bijinya relatif besar, tidak lonjong, dan terdapat citarasa yang khusus. Juga tidak membutuhkan waktu yang lama dalam proses fermentasi biji dibandingkan biji kakao *forastero*. Buah kakao yang akan dipanen ialah buah kakao terlihat sudah masak secara sempurna yang dapat dilihat dengan berubahnya warna kulit buah yang berwarna hijau kemudian berwarna kuning untuk kakao tipe *forastero* sedangkan kakao tipe *criollo* akan berwarna merah. Tidak hanya itu kematangan buah juga ditandai dengan bunyi yang nyaring saat kulitnya diketuk, dan juga terdapat senyawa tannin pada kulit buah tersebut (Karmawati, dkk., 2010).



Gambar 2-1. a) Biji kakao mulia; b) Biji kakao lindak [Sumber: BN 908, 2012].



Tabel 2-1. Karakteristik Mutu Umum Biji Kakao [Sumber: SNI 01-2323-2008].

No	Jenis uji	Satuan	Syarat
1	Serangga hidup	-	Tidak ada
2	Kadar air	% fraksi massa	7,5
3	Biji berbau asap, <i>hammy</i> , atau berbau asing	-	Tidak ada
4	Kadar benda asing	-	Tidak ada

Tabel 2-2. Karakteristik Mutu Khas Biji Kakao [Sumber: SNI 01-2323-2008].

Kakao Mulia		Persyaratan				
Kakao Mulia (<i>Fine cocoa</i>)	Kakao Lindak (<i>Bulk cocoa</i>)	Kadar biji berjamur (biji-biji)	Kadar biji <i>Slaty</i> (biji-biji)	Kadar biji berserangga (biji-biji)	Kadar biji <i>Waste</i> (biji-biji)	Kadar biji berkecamba (biji-biji)
I-F	I-B	Maks 2	Maks 3	Maks 1	Maks 1,5	Maks 2
II-F	II-B	Maks 4	Maks 8	Maks 2	Maks 2,0	Maks 3
III-F	III-B	Maks 4	Maks 20	Maks 2	Maks 3,0	Maks 3

2.2 Pasca Panen

Panen adalah proses awal penentuan kualitas biji kakao kering. Buah kakao yang belum siap panen akan memberikan rendemen dan kualitas biji yang rendah. Kematangan buah kakao ditandai dengan adanya perubahan warna kulit kakao mencapai dua pertiganya dan apabila buah kakao digoyangkan, maka akan terdengar biji kakao terkoyak (Retno, 2012).

Menurut BN 908 (2012), untuk menghasilkan produk kakao yang lebih banyak dan berkualitas ada beberapa proses pasca panen yang berpengaruh pada kualitas bahan dari produk kakao, yaitu sebagai berikut:

2.2.1 Pemetikan

Proses panen biji kakao dilakukan secara manual dengan cara memetik atau memotong buah secara langsung dari pohon kakao. Dalam proses panen buah kakao harus dilakukan dengan memperhatikan umur atau waktu, metode dan peralatan yang

at panen buah kakao. Waktu pemanenan dilakukan 1 hingga 2 minggu peralatan yang dipakai masyarakat pada proses pemanenan buah kakao menggunakan gunting, sabit atau alat lainnya.



2.2.2 Sortasi kakao

Sortasi buah kakao merupakan proses pemilihan atau pemisahan buah yang terbaik. Memisahkan buah yang kualitasnya bagus dijauhkan dari buah yang berkualitas burang bagus yang disebabkan hama atau penyakit, yang berkualitas bagus segera diproses untuk difermentasikan kualitasnya kurang bagus harus langsung dibuka kulitnya sebelum biji ikut rusak. Setelah bijinya diambil, maka kulit buah langsung ditimbun ke tanah agar dapat mencegah proses penyebaran hama atau penyakit ke seluruh kebun.

2.2.3 Pemeraman buah kakao

Pemeraman buah kakao dilakukan untuk mengurangi kandungan lendir atau *pulp* (sampai batas tertentu) yang melapisi biji kakao basah serta untuk memperoleh jumlah yang sesuai untuk pengolahan.

2.2.4 Pemecahan atau pengupasan buah kakao

Proses pengupasan buah kakao bertujuan mengeluarkan dan memisahkan biji dari kulit buah kakao dan plasentanya. Proses pengupasan buah kakao harus dengan hati-hati sehingga tidak melukai atau merusak biji. Demikian pula dilakukan penjagaan terhadap biji agar tetap bersih atau tidak bercampur dengan kotoran mau pun tanah.

2.2.5 Fermentasi Biji

Fermentasi biji diperlukan dalam membentuk citarasa khas dan keping bijin yang berongga pada coklat serta mengurangi rasa pahit dan sepat dalam biji kakao sehingga dapat menghasilkan biji dengan mutu dan aroma yang berkualitas, serta memiliki warna coklat yang cerah dan bersih. Proses fermentasi juga diperlukan sebelum melakukan proses pencucian biji karena akan memudahkan untuk pelepasan zat lendir dari permukaan kulit biji.

2.2.6 Perendaman dan Pencucian Biji

Perendaman dan pencucian biji kakao bukanlah adalah proses pasca panen yang baku, tetapi dilakukan karena dasar permintaan dari pasar. Proses ini bertujuan menghambat proses fermentasi, mempercepat pengeringan, biji lebih tampak bagus serta kadar kulit pada biji akan berkurang. Proses ini pula akan membuat biji tampak bagus, tetapi akan lebih rapuh. Proses pencucian dan perendaman dalam waktu yang

n menyebabkan kehilangan bobot pada biji, biji juga lebih mudah pecah
ani peningkatan biaya produksi.



2.2.7 Pengeringan Biji

Proses pengeringan biji kakao dilakukan untuk menurunkan kadar air pada biji kakao menjadi $\leq 7,5$ % agar dalam penyimpanan dapat bertahan. Pengeringan yang umumnya dilakukan para petani kakao adalah penjemuran langsung melalui cahaya matahari. Ada pula yang melakukan pengeringan biji kakao menggunakan mesin pengering, biasaya dilakukan oleh para pedagang biji kakao.

2.2.8 Pengemasan dan Penyimpanan biji

Pada pengemasan serta penyimpanan biji kakao ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu:

1. Biji yang sudah selesai disortasi atau dipilih segera dikemas ke dalam karung dengan berat bersihnya 60 kg per karung.
2. Masing-masing karung ditandai atau diberi label dengan jenis komoditi, mutu serta identitas produsen dengan menggunakan cat pelarut non minyak. Penggunaan cat dengan pelarut berminyak tidak dibolehkan karena hal tersebut dapat mengkontaminasi aroma biji.
3. Biji kakao disimpan atau ke dalam ruang yang bersih, kelembaban ruangan kurang dari 75 %, memiliki ventilasi yang bagus, serta tidak terdapat produk pangan lain dengan bau yang keras karena biji kakao akan mampu menyerap aroma bau tersebut.
4. Penumpukan biji yang telah dikemas dalam ruang penyimpanan maksimum 6 karung, setiap tumpukan dialas dengan benda yang berasal dari papan kayu dengan tinggi 8 hingga 10 cm, dan jarak tumpukan ke dinding 15 hingga 20 cm. , serta jarak ke plafon lebih dari 100 cm.

2.3 Proses Pengeringan

Proses pengeringan sering dilakukan bertujuan untuk menurunkan kadar air yang ada pada bahan, juga untuk memperlambat pertumbuhan jamur yang dapat membuat kerusakan bahan serta menjadikan kualitas produksi bahan menurun (BN 908, 2012).

2.3.1 Metode Proses Pengeringan

Terdapat tiga cara proses pengeringan, yaitu (BN 908, 2012):



jemuran yang dengan cahaya matahari langsung disebuah lantai jemur membutuhkan waktu penyinaran pada saat cuaca cerah yaitu 7 hingga 8 jam per , kemudian untuk mendapatkan kadar air maksimal 7,5% waktu yang butuhkan selama penjemuran adalah 7-9 hari.

2. Pengeringan mekanis yang dilakukan menggunakan mesin pengering. Penggunaan mesin ini lebih baik jika dilakukan berkelompok karena pengeringan ini membutuhkan biaya investasi yang lebih besar dan pengaturan suhu pada mesin adalah 50°C-60°C.
3. Kombinasi atau perpaduan penjemuran dengan mekanis yang pertama dilakukan adalah penjemuran selama 1 hingga 2 hari (bergantung dengan cuaca) untuk memperoleh kadar air 20 hingga 25%. Kemudian dilanjutkan dengan pengering ke dalam mesin. Lama pengeringan yang dibutuhkan mesin dengan metode ini adalah 15 hingga 20 jam agar memperoleh kadar air maksimal yaitu 7,5%.

Kadar air untuk sebuah produk perlu dikurangi hingga mencapai 5 sampai 10% agar mikroorganisme yang terdapat pada produk bisa dinonaktifkan. Tujuan pengeringan adalah memperlama waktu penyimpanan bahan dengan cara menurunkan kadar air pada bahan agar dapat mencegah pertumbuhan mikroorganisme perusak produk. Pada proses pengeringan akan didapatkan pengaturan suhu, kelembaban (*humidity*) serta aliran udara. Perubahan kadar air dalam bahan pangan disebabkan oleh perubahan energi dalam sistem. Untuk itu, dilakukan perhitungan terhadap neraca energi untuk mencapai keseimbangan (BN 908, 2012).

2.3.2 Proses yang Terjadi Saat Pengeringan Produk Basah

Disaat sebuah produk basah menjalani proses pengeringan, maka akan berlaku dua proses secara bersamaan (Yani, 2013), yaitu:

1. Perpindahan panas dari lingkungan terjadi untuk menguapkan air pada permukaan bahan. Perpindahan massa seperti uap air yang terjadi pada permukaan bahan terkait dari temperatur udara pada lingkungan, kelembaban, kecepatan aliran udara, luas bidang kontak, tekanan udara dan sifat fisik produk.
2. Perpindahan air yang terjadi dari dalam bahan ke permukaan bahan kemudian mengalami proses penguapan sama halnya dengan proses pertama. Dimana perpindahan air dari dalam bahan dipengaruhi oleh sifat fisik bahan, temperatur distribusi kandungan air di dalam bahan.

Distribusi kadar air yang berada dalam bahan terbagi atas dua cara, yaitu basah dan basis kering. Kadar air basis basah ialah perbandingan massa air



pada bahan dengan massa total bahan. Secara matematika kadar air basis basah ditulis sebagai berikut (Yani, 2013):

$$MC_{wb} = \frac{M_o - M_d}{M_o} \times 100\% \quad (1)$$

sedangkan kadar air basis kering ialah massa air pada bahan persatuan massa kering bahan, dinyatakan dengan Persamaan 2.

$$MC_{db} = \frac{M_o - M_d}{M_d} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

MCwb = Kadar air basis basah (%).

MCdb = Kadar air basis kering (%).

Mo = Massa total bahan (gram).

Md = Massa bahan tanpa air (gram).

Selama proses awal pengeringan, laju pengeringan ada tiga parameter pengeringan eksternal yang dapat ditinjau yaitu kecepatan udara, suhu udara dan kelembaban udara. Apabila kondisi lingkungan konstan atau tetap, maka laju pengeringan juga akan konstan atau tetap. Sedangkan laju pengeringan menurun terjadi setelah masa pengeringan konstan atau tetap selesai. Proses pengeringan dengan laju menurun sangat tergantung pada sifat-sifat alami bahan yang dikeringkan. Laju perpindahan massa selama proses pengeringan ini dikendalikan oleh perpindahan internal bahan. Periode laju pengeringan menurun meliputi dua proses yaitu perpindahan air dari dalam bahan ke permukaan dan perpindahan uap air dari permukaan ke udara sekitar. Laju pengeringan dihitung dengan menggunakan persamaan 3 (Akhmad, 2013).

$$\text{laju pengeringan} = \frac{M_{aw} - M_{ak}}{M_p} \times \frac{1}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

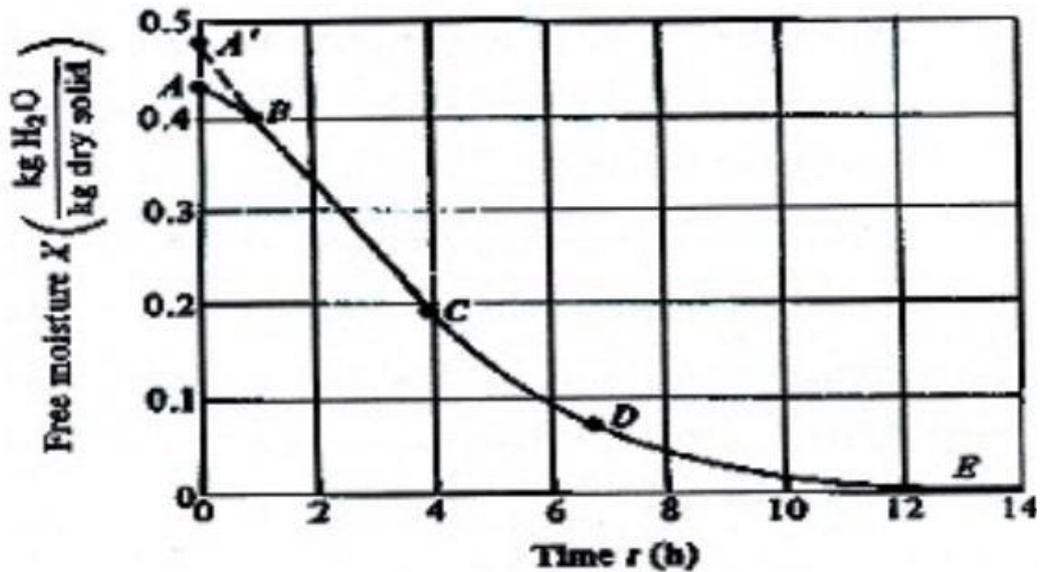
M_{aw} = Massa bahan mula-mula (kg).

M_{ak} = Massa akhir bahan (kering) (kg).

M_p = Massa padatan (kg).

t = Waktu pengeringan (jam).





Gambar 2-2. hubungan kadar air dengan waktu [Sumber: Bayu, 2018].

Dalam laju pengeringan terbagi dari beberapa periode laju pengeringan, antara lain:

1. Tahap kecepatan laju pengeringan menurun yang pertama
2. Tahap laju pengeringan menurun yang kedua
3. Tahap kecepatan laju pengeringan tetap
4. Tahap kecepatan pengeringan menurun

2.3.3 Parameter yang Dikontrol Saat Pengeringan

Untuk mendapatkan kualitas pengeringan yang baik dan bagus, terdapat tiga parameter yang akan dikontrol saat pengeringan berlangsung, seperti kecepatan aliran udara, temperature udara pengering dan kelembaban relatif udara (Yani, 2013).

1. Kecepatan Aliran Udara

Jika kecepatan aliran udara tinggi maka akan mempercepat waktu pengeringan. Kecepatan aliran udara yang usulkan dalam melaksanakan proses pengeringan adalah 1,5–2,0 m/s. Selain itu, terdapat pula arah aliran udara yang memiliki posisi penting saat proses pengeringan. Dimana arah aliran udara pengering lebih baik searah dengan bahan dibandingkan saat arah tegak lurus dengan bahan.

2. Suhu Udara

Pada umumnya, suhu udara yang tinggi dapat mempercepat proses pengeringan. Jika suhu udara pengering tinggi maka energi panas yang dibawa udara semakin besar sehingga mengakibatkan proses pindah panas semakin cepat dan perpindahan massa juga terjadi dengan cepat, selanjutnya air yang keluar dari bahan akan semakin banyak yang dikeringkan dengan menyerupai



uap air. Uap air tersebut harus dikeluarkan, karena jika tidak uap air tersebut akan memenuhi atmosfer di sekeliling permukaan bahan sehingga memperlambat proses pindah massa selanjutnya.

3. Kelembaban Relatif, RH

Pengeringan terjadi saat kelembaban rendah, supaya meningkatkan kecepatan difusi air. Kelembaban relatif rendah berada pada ruang pengering akan terjadi apabila sirkulasi udara pengering berlangsung baik dari dalam menuju luar ruang pengering, hingga uap air yang didapatkan sesudah kontak sama bahan langsung dibuang melalui udara lingkungan. Temperatur pengeringan yang terlalu tinggi akan menyebabkan terjadinya kerusakan pada permukaan biji (*case hardening*), perpindahan partikel air di dalam biji menjadi sulit dan berakibat pada penurunan mutu biji kakao yang dikeringkan.

2.3.4 Kebutuhan Energi Selama Proses Pengeringan

Kebutuhan energi selama proses pengeringan dimana energi panas merupakan energi yang diberikan dalam mengurangi kadar air pada pengeringan bahan pangan. Dengan memberikan panas diharapkan mobilitas air di dalam bahan pangan dapat bertambah serta tekanan uap akan meningkat hingga air bisa ke luar dari dalam bahan pangan. Sebab, jika memberikan sedikit energi panas hal ini dilakukan untuk dua kepentingan, seperti (Bayu, 2018):

1. Energi panas berfungsi menaikkan temperatur dari suhu pangan awal (T_1) menuju suhu pengeringan konstan agar dapat menguapkan air (T_2).
2. Energi panas berfungsi menguapkan air yang ada disuhu T_2 atau energi panas sebagai pelengkap panas laten saat penguapan air dalam suhu T_2 .

Energi yang digunakan dalam menguapkan air adalah energi yang dipakai saat proses pengeringan agar dapat menguapkan air dalam bahan sampai mencapai kadar air sesuai keinginan. Dengan menggunakan persamaan berikut (Bayu, 2018):

$$Q_1 = m_{up} \times H_{fg} \quad (4)$$

Keterangan:

Q_1 = Energi untuk menguapkan air (kJ/det).

m_{up} = Beban uap air (kgH₂O).

H_{fg} = Panas laten air (kg/kgH₂O).

Untuk memanaskan bahan dihitung dengan persamaan:

$$Q_2 = m \times C_p \times \Delta T \quad (5)$$



Keterangan:

Q_2 = Energi yang dihasilkan dari tungku (kJ).

m = Berat bahan yang dikeringkan (kg).

C_p = Panas jenis udara (kJ/kg°C).

ΔT = Perubahan suhu udara pengering dan suhu lingkungan (°C).

untuk memperoleh panas yang besar dan merata, tungku dibuat dengan sedemikian rupa hingga terbentuk suatu aliran udara yang dapat terkendali. Energi bahan bakar dihitung dengan persamaan:

$$Q_3 = m_b \times n_{bb} \quad (6)$$

Keterangan:

Q_3 = Energi bahan bakar (kJ/det).

m_b = Massa bahan bakar (kg/det).

n_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg).

Efisiensi *thermal* merupakan perbandingan panas yang diserap atau yang dimanfaatkan (energi *output*) dengan energi yang diberikan oleh tungku (energi *input*). Efisiensi tungku dihitung menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_2}{Q_3} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

η = Efisiensi tungku.

Q_2 = Energi yang dihasilkan dari tungku (kJ).

Q_3 = Energi bahan bakar (kJ/det).

Besarnya energi yang dapat dimanfaatkan dari energi total yang diterima oleh kotak pengering untuk menguapkan air dalam biji kakao menunjukkan efisiensi alat pengering yang telah dibuat. Besarnya efisiensi dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\eta_p = \frac{Q_1}{Q_2} \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan:

η_p = Efisiensi tungku.

Q_1 = Energi untuk menguapkan air (kJ/det).

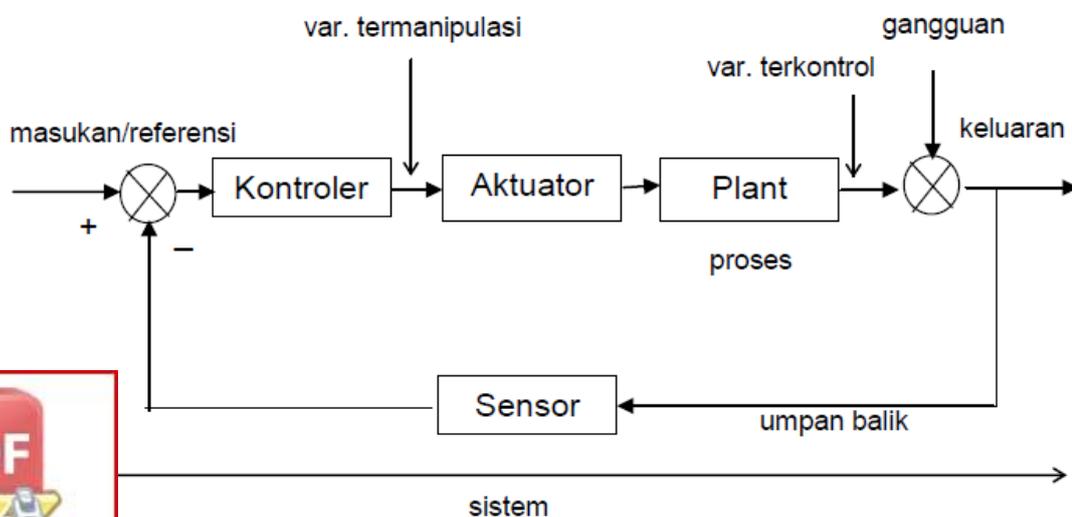
Q_2 = Energi yang dihasilkan dari tungku (kJ).



2.4 Sistem Kontrol

Sistem kontrol adalah sekumpulan metode yang dipelajari pada kebiasaan manusia saat bekerja, kebiasaannya ialah manusia butuh pemantauan kualitas dari sesuatu yang selesai mereka kerjakan hingga memperoleh karakteristik seperti apa yang diharapkan sejak awal. Kemajuan teknologi membuat manusia terus giat belajar dalam pengembangan serta pengoperasian pekerjaan kontrol pada awalnya dikerjakan oleh manusia sehingga menjadi otomatis semua (dikoperasikan oleh mesin) (Andi, 2018).

Sistem Kontrol Loop Terbuka (*Open-Loop Control System*) merupakan sistem kontrol yang memiliki karakteristik dimana nilai keluaran tidak dapat memberi pengaruh pada aksi kontrol. Sistem kontrol loop terbuka juga lebih sederhana, murah, dan mudah dalam mendesainnya, akan tetapi menjadi tidak stabil dan seringkali terdapat tingkat kesalahan yang besar apabila diberikan gangguan dari luar. Sedangkan sistem Kontrol Loop Tertutup (*Closed-Loop Control System*) merupakan sistem kontrol yang memiliki ciri khas yaitu sistem kontrol umpan balik, dimana nilai hasil keluaran dapat mempengaruhi aksi kontrolnya. Jika dibandingkan dengan sistem kontrol loop terbuka, dapat diketahui bahwa sistem kontrol loop tertutup lebih rumit, mahal, dan juga sulit dalam pembuatan desain. Tetapi tingkat kestabilan yang dimiliki relatif konstan dan tingkat kesalahannya juga lebih kecil apabila ada gangguan dari luar, hal ini yang membuat para perancang lebih banyak menjadikan sistem kontrol ini menjadi pilihan dalam merancang sistem *control* (Aris, 2012).



2-3. Sistem Kontrol Secara Lengkap [Sumber: Aris, 2012].



Menurut Aris (2012), untuk lebih memperjelas keterangan gambar di atas, berikut diberikan beberapa definisi dari istilah yang sering dipakai:

1. Sistem (*system*) merupakan kombinasi atau perpaduan antara komponen-komponen yang bekerja bersama-sama membentuk sebuah obyek tertentu.
2. Variabel terkontrol (*controlled variable*) merupakan suatu besaran (*quantity*) atau kondisi (*condition*) yang dapat terukur dan terkontrol. Saat keadaan normal ialah keluaran dari sistem.
3. Variabel termanipulasi (*manipulated variable*) merupakan sebuah besaran atau kondisi yang divariasikan oleh kontroler hingga dapat mempengaruhi nilai dari variabel yang terkontrol.
4. Kontrol (*control*) ialah mengatur, atau dikatakan mengukur nilai pada variabel terkontrol yang ada pada sistem dan mengaplikasikan variabel termanipulasi pada sistem untuk mengoreksi atau mengurangi deviasi yang terdapat pada nilai keluaran yang dituju.
5. Plant (*Plant*) merupakan sebuah objek fisik yang dikontrol.
6. Proses (*process*) merupakan sebuah operasi yang dikontrol. Contoh : proses kimia, proses ekonomi, proses biologi, dan lain-lain.
7. Gangguan (*disturbance*) merupakan sinyal yang berpengaruh terhadap nilai keluaran sistem.
8. Kontrol umpan balik (*feedback control*) merupakan operasi yang dapat mengurangi perbedaan antara keluaran sistem dengan referensi masukan.
9. Kontroler (*controller*) merupakan sebuah alat atau cara untuk modifikasi sehingga karakteristik sistem dinamik (*dynamic system*) yang diperoleh sesuai dengan yang kita harapkan.
10. Sensor merupakan peralatan yang digunakan dalam mengukur keluaran sistem dan menyatakannya dengan sinyal masukan hingga mampu melakukan suatu operasi hitung antara keluaran dengan masukan.
11. Aksi kontrol (*control action*) merupakan besaran atau nilai yang diperoleh dalam perhitungan kontroler yang akan diberikan untuk plant (dalam kondisi normal yang merupakan variabel termanipulasi).

uator (*actuator*), merupakan sebuah peralatan atau kumpulan komponen yang dapat menggerakkan plant.



2.4.1 Sensor

Sensor merupakan sebuah peralatan yang digunakan dalam merubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik hingga bisa dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu. Hampir setiap peralatan elektronik yang ada memiliki sensor didalamnya. Untuk saat ini, sebuah sensor telah dibuat dalam ukuran sangat kecil. Dengan ukuran yang sangat kecil ini akan sangat memudahkan dalam penggunaan dan menghemat energi. Pada lingkungan sistem kontrol dan robotika, sensor berfungsi seperti halnya mata, pendengaran, hidung, ataupun lidah yang kemudian akan diproses oleh controller sebagai otaknya (Iwan, 2009).

Sensor suhu LM35 merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. Sensor Suhu LM35 juga berupa komponen elektronika yang mempunyai nilai keakuratan yang tinggi jika dibandingkan dengan sensor suhu yang lain, LM35 memiliki keluaran impedansi yang rendah dan linieritas yang tinggi sehingga akan dengan mudah dihubungkan dengan rangkaian kendali khusus serta tidak memerlukan penyetelan lanjutan. Meskipun tegangan sensor LM35 nilai tegangannya dapat mencapai 30 *volt* akan tetapi tegangan yang akan diberikan sebuah sensor yaitu sebesar 5 *volt*, sehingga dapat digunakan dengan catu daya tunggal dengan ketentuan bahwa LM35 hanya membutuhkan arus sebesar 60 μA hal ini berarti LM35 memiliki kemampuan menghasilkan panas (*self-heating*) dari sensor yang akan menyebabkan kesalahan dalam pembacaan yang rendah atau kurang dari 0,5 °C pada suhu 25 °C (Ambar, 2011).



Gambar 2-4. Sensor Suhu LM35 [Sumber: Ambar, 2011].

Gambar 2-4 sensor suhu LM35 tampak depan dan tampak bawah. Tiga yang pada pin LM35 memiliki fungsi masing-masing pin seperti, pin 1 yang sebagai sumber tegangan kerja dari LM35, pin 2 atau tengah berfungsi tegangan keluaran atau V_{out} dengan jangkauan kerja dari 0 Volt hingga 1,5 dengan nilai tegangan operasi sensor LM35 yang dapat digunakan antar 4 Volt



hingga 30 Volt. Keluaran sensor ini akan naik sebesar 10 mV setiap derajat *celcius* sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut (Ambar, 2011):

$$V_s = T * k \quad (9)$$

Keterangan:

- V_s = Tegangan LM35 (Volt).
- T = Suhu ($^{\circ}C$).
- k = 10 mV/ $^{\circ}C$.

Secara prinsip sensor akan dapat melakukan penginderaan ketika perubahan suhu setiap suhu 1 $^{\circ}C$ maka akan menampakkan tegangan sebesar 10 mV. Pada penempatan LM35 dapat ditempelkan dengan perekat atau disemen pada permukaan akan tetapi suhunya akan sedikit berkurang sekitar 0,01 $^{\circ}C$ karena akan terserap pada suhu permukaan tersebut. Dengan metode seperti ini diinginkan selisih terhadap suhu udara dengan suhu permukaan akan dideteksi oleh sensor bahwa LM35 sama dengan suhu disekitarnya, apabila suhu udara disekitarnya sangat tinggi atau sangat rendah dibandingkan suhu permukaan, maka sensor LM35 berada pada suhu permukaan dan suhu udara disekitarnya (Ambar, 2011).

2.4.2 Pengontrol (*Microcontroller* ATmega32)

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* yang memiliki fungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan pada umumnya akan dapat menyimpan program didalamnya. Mikrokontroler ATmega 32 ialah mikrokontroler 8 – bit keluaran *atmel* dari keluarga AVR. Mikrokontroler ini dirancang agar dapat mengeksekusi satu instruksi dalam satu siklus *clock* hingga akan mencapai eksekusi instruksi sebesar 1 MIPS (*million instruction per second*) setiap 1 MHz frekuensi *clock* yang dipakai mikrokontroler tersebut. Frekuensi *clock* yang dipakai dapat diatur melalui *fuse* bits dan kristal yang digunakan. apabila kristal yang dipakai sebesar 16 MHz maka frekuensi *clock* nya sebesar 16 MHz, sehingga eksekusi intruksinya mencapai 16 MIPS. Secara fungsional konfigurasi pin ATmega 32 adalah sebagai berikut (Kasmira, 2018):

1. VCC adalah tegangan sumber.
2. GND merupakan ground

Port A (PA7-PA0)

Port B (PB7-PB0)

Port C (PC7-PC0)

Port D (PD7-PD0)



2.4.3 Sistem Pakar (*Expert System*)

Sistem *Expert* atau sistem pakar merupakan aplikasi berbasis komputer yang digunakan untuk menyelesaikan masalah sebagaimana yang dipikirkan oleh pakar. Pakar yang dimaksud disini adalah orang yang memiliki keahlian khusus yang dapat menyelesaikan masalah yang tidak dapat diselesaikan oleh orang awam. Sebuah sistem pakar memiliki 2 komponen utama yaitu berbasis pengetahuan dan mesin inferensi. Berbasis pengetahuan merupakan tempat penyimpanan pengetahuan dalam memori komputer, dimana pengetahuan ini diambil dari pengetahuan pakar. Sedangkan mesin inferensi merupakan otak dari aplikasi sistem pakar, bagian inilah yang menuntun user untuk memasukkan fakta sehingga diperoleh suatu kesimpulan (Mahdalena, 2017).

Bentuk umum sistem pakar adalah suatu program yang dibuat berdasarkan suatu *set* atau aturan yang menganalisis informasi dan biasanya diberikan oleh pengguna suatu sistem mengenai suatu kelas masalah spesifik serta analisis matematis dari masalah tersebut (Mahdalena, 2017).

Aturan-aturan atau *rules* pada sistem *expert* adalah stuktur dari pengetahuan yang menghubungkan beberapa informasi lain yang dapat disimpulkan. *Rule* menggambarkan bagaimana menyelesaikan suatu masalah juga dapat menampilkan berbagai bentuk dari pengetahuan. Salah satu cara menampilkan pengetahuan yang dikenal dengan memakai kaidah. Kaidah yang dikenal terbagi atas IF (*conclusion*) dan bagian THEN (*action*). Sistem pakar yang dibuat adalah sistem yang sesuai dengan aturan-aturan ketika program disimpan berbentuk aturan-aturan sebagai prosedur pemecahan masalah (Negnevitsky, 2005).

Sintaks dasar dari kaidah adalah:

IF < kondisi >

THEN < tindakan >

Secara umum, kaidah dapat memiliki beberapa anteseden menggabungkan kata kunci AND, OR. Seperti contoh berikut:

IF < kondisi 1 >

AND < kondisi 2 >

< kondisi n >

< tindakan >

< kondisi 1 >



OR < kondisi 2 >

OR < kondisi n >

THEN < tindakan >

Bagian THEN dari kaidah juga dapat memiliki beberapa klausa:

IF < kondisi >

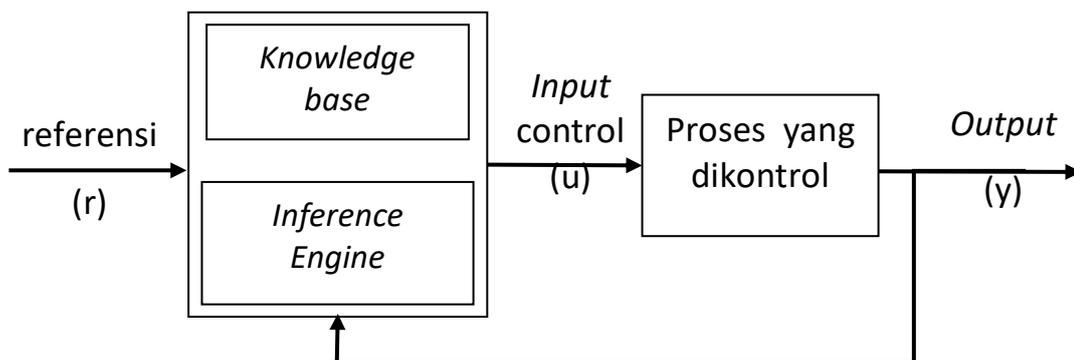
THEN < tindakan 1 >

< tindakan 2 >

< tindakan m >

2.4.4 Sistem Kontrol Pakar (*Expert*)

Sistem kontrol pakar adalah penerapan sistem pakar pada sistem kontrol. Sistem kontrol pakar terdiri atas estimasi biasa dan algoritma kontrol yang dipadukan dengan sistem berbasis pengetahuan tentang desain dan praktek operasional. Kontrol ini juga merupakan tipe kontrol generik yang memiliki keistimewaan *level* yang lebih tinggi dibandingkan dengan kontrol radisional. Hal ini didapatkan melibatkan pengalaman operator atau pengetahuan operator dalam lup kontrol. *Expert control* terkategori dalam kelas kontrol cerdas yang lebih umum serta membantu menambah kemandirian sistem seperti sistem kontrol proses, *utonomous vehicles*, sistem robot, dan sistem produksi. Juga digunakan untuk prosedur kontrol berbasis model begitupula dengan kasus tanpa model. Struktur dasar kontrol pakar dapat diketahui lebih jelas dengan gambar berikut (Negnevitsky, 2005).



Gambar 2-5. Struktur Dasar Kontrol [Sumber: Negnevitsky, 2005].

Menurut Negnevitsky (2005), sistem *expert* digunakan sebagai pengontrol umpan balik. Sistem *expert* dibagi dalam dua sub-sistem:



Basis Pengetahuan (*knowledge base*): mewakili *kaidah* dan fakta-fakta;

Inference engine: adalah sistem penalaran yang otomatis menilai keadaan karang dari basis pengetahuan, menggunakan *kaidah* yang relevan, dan

kemudian menyatakan pengetahuan baru pada basis pengetahuan untuk memutuskan berapa *input* kontrol u dihasilkan untuk proses.

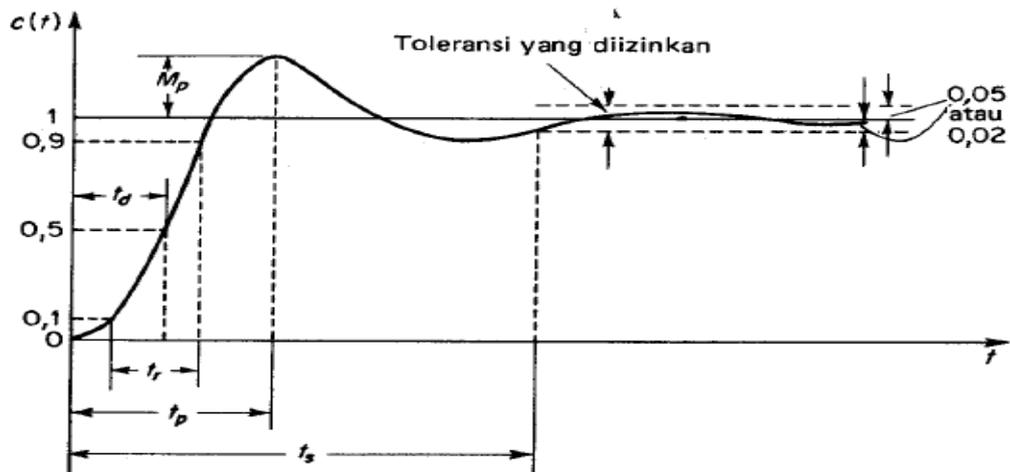
2.4.5 Respon Sistem Kontrol

Karakteristik performansi sistem kontrol dinyatakan dalam bentuk respon transien terhadap masukan tangga satuan karena mudah dibangkitkan dan cukup radikal (jika respon terhadap masukan tangga diketahui, maka secara matematis dapat dihitung respon terhadap setiap masukan). Untuk memudahkan perbandingan respon transien berbagai macam sistem hal yang biasa dilakukan adalah menggunakan syarat awal standar bahwa sistem mula-mula dalam keadaan diam sehingga keluaran dan semua turunan waktunya pada awal respon sama dengan nol. Selanjutnya karakteristik respon secara mudah dapat dibandingkan (Ogata, 1984).

Respon transien sistem kontrol sering menunjukkan osilasi teredam sebelum mencapai keadaan tunak. Berikut ini beberapa parameter dalam menentukan karakteristik respon transien sistem kontrol terhadap masukan tangga satuan (Ogata, 1984):

1. Waktu tunda (*delay time*), t_d waktu tunda adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai setengah harga akhir yang pertama kali.
2. Waktu naik (*rise time*), t_r waktu naik adalah waktu yang diperlukan untuk naik dari 10 sampai 90%, 5 sampai 95%, atau 0 sampai 100% dari harga akhirnya. Untuk sistem orde kedua redaman kurang, biasanya digunakan waktu naik 0 - 100%, untuk sistem redaman lebih biasanya digunakan waktu naik 10 - 90%.
3. Waktu puncak (*peak time*), t_p waktu puncak adalah waktu yang diperlukan respon untuk mencapai puncak lewatan yang pertama kali.
4. Lewatan maksimum (*maximum overshoot*) M_p waktu puncak adalah harga puncak maksimum dari kurva respon yang diukur dari satu, jika tidak sama dengan satu maka digunakan persen lewatan maksimum.
5. Waktu penetapan (*settling time*), t_s waktu penetapan 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 2-6. Kurva respon tangga satuan yang menunjukkan t_d , t_r , t_p , M_p dan t_s [Sumber: Ogata, 1984].

2.4.6 Aktuator

Aktuator secara umum merupakan seperangkat mekanik untuk menggerakkan atau mengendalikan suatu mekanisme dalam sistem. Pengertian aktuator dapat berbeda bergantung pada bidang yang bersangkutan, dalam dunia elektronika aktuator dapat berarti pembagian transduser atau suatu perangkat yang memiliki kemampuan mengubah sinyal masukan menjadi suatu gerak. Jenis-jenis aktuator terbagi menjadi beberapa komponen menurut (Harianto dan Ismoyo, 2009) yaitu :

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

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik AC maupun DC melalui kumparan atau selenoida. *Solenoid valve* ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem gas ataupun pada sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis. Prinsip kerja dari *solenoid valve* yaitu katup listrik yang mempunyai koil sebagai penggeraknya dimana ketika koil

disuplai tegangan maka koil tersebut akan berubah menjadi medan magnet yang menggerakkan *plunger* pada bagian dalamnya ketika *plunger* berpindah maka pada lubang keluaran dari *solenoid valve* akan keluar udara bertekanan asal dari sumber (*service unit*).

