



UJI KINERJA ALAT PENGERING TIPE PUTAR (*ROTARY DRYER*) UNTUK PENGERINGAN PUPUK ORGANIK (KOMPOS) DARI KULIT BUAH KAKAO

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknologi Pertanian (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknologi Pertanian Universitas Jember

Asal :	Hadiah	Klasa
	Pembelian	
Terima :	28 FEB 2008	631.3
Oleh :		UTO
Pengatalog :	<i>Jus</i>	U
		e.1

DWI KINTOKO ARI UTOMO
NIM 031710201102

JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS JEMBER
2008

SKRIPSI BERJUDUL

**UJI KINERJA ALAT PENGERING TIPE PUTAR (*ROTARY DRYER*)
UNTUK PENGERINGAN PUPUK ORGANIK (KOMPOS)
DARI KULIT BUAH KAKAO**



Oleh

**DWI KINTOKO ARI UTOMO
NIM 031710201102**

Dosen Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : **Ir. Hamid Ahmad**
Dosen Pembimbing Anggota I : **Ir. Siswijanto, MP.**
Dosen Pembimbing Anggota II : **Ir. Sukrisno Widyotomo, M.Si.**

PERSEMBAHAN

Karya tulis ilmiah ini kupersembahkan untuk:

- **Allah SWT yang Maha Esa**
Dengan rahmat, hidayah, inayah, dan takdir-Nya, aku bisa menyelesaikan tugas akhir ini dan dapat meraih gelar sarjana di kampus FTP tercinta ini. Alhamdulillah rabbil'alamini!!!
- **Nabi Muhammad SAW**
Shalawat dan salam turunkan padanya, beserta keluarga dan para sahabat. Penolong umat manusia dari kegelapan, rosul akhir jaman.
- **Ayah Suwardi dan Ibunda Sugiyati** yang begitu menyayangiku dan telah berkorban begitu besarnya hingga aku dapat lulus walaupun agak lama. Maafkan jikalau putramu ini banyak membuat kesalahan. Terima kasih atas doa restunya.
- **Adikku Antok dan Tyas** yang selalu memberiku semangat untuk cepat lulus, kalian berdua yang menjadi inspirasiku. Semoga kakakmu ini kelak dapat membahagiakanmu, Amien.....!!!
- **"Ch@-ku lez"** yang selalu sabar dan setia menemani aku baik suka maupun duka. Terima kasih atas bimbinganmu yang selalu mengingatkanku untuk rajin sholat. Semoga kelak Q-ta bersama-sama memberi arti dalam hidup.....Amien!!!
- **Keluarga Mbah Damilan**, terima kasih banyak atas bantuannya. Mungkin tanpa bantuannya, aku tidak dapat menyelesaikan kuliahku. Semoga kelak aku dapat membalasnya, Amien.....!!!
- **Sahabat-sahabatku Brantas XXV/232A**, makasih atas bantuan dan motivasinya selama aku kuliah. Maaf mungkin aku lulus duluan, tapi aku akan tetap menemani kalian baik suka maupun duluan.
- **Koncoku Danang Gedhank**, yang selalu menemaniku saat penelitian sampai ujian. Terima kasih banyak ya pren.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Dwi Kintoko Ari Utomo

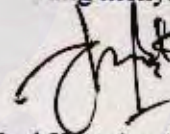
NIM : 031710201102

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul *Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Putar (Rotary Dyer) Untuk Pengeringan Pupuk Organik (Kompos) Dari Kulit Buah Kakao* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 26 Januari 2007

Yang menyatakan,



Dwi Kintoko Ari Utomo
NIM 031710201102

PENGESAHAN

Skripsi berjudul *Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Putar (Rotary Dryer) Untuk Pengeringan Pupuk Organik (Kompos) Dari Kulit Buah Kakao* telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember pada:

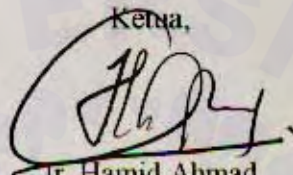
Hari : Sabtu

Tanggal : 26 Januari 2008

Tempat : Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember

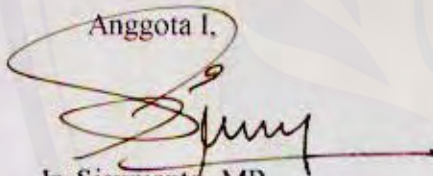
Tim Penguji

Ketua,



Ir. Hamid Ahmad
NIP 131 386 655

Anggota I,



Ir. Siswijanto, MP.
NIP 130 802 225

Anggota II,

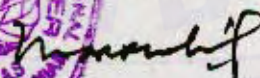


Ir. Sukrisno Widyotomo, M.Si
NIK 111 000 348



Mengesahkan

Dekan,



Ir. Ach. Marzuki Moen'im, MSIE.
NIP 130 531 986

RINGKASAN

UJI KINERJA ALAT PENERING TIPE PUTAR (*ROTARY DRYER*) UNTUK PENERINGAN PUPUK ORGANIK (KOMPOS) DARI KULIT BUAH KAKAO; Dwi Kintoko Ari Utomo (031710201102); 2008; 53 halaman; Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

Kulit buah kakao merupakan salah satu bahan sampingan yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik dengan jalan pengomposan. Dalam prosesnya sampai siap jual, pupuk organik (kompos) yang telah jadi perlu dilakukan proses pengeringan. Alat pengering buatan yang dapat digunakan yaitu pengering tipe putar (*rotary dryer*).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh suhu dan putaran drum pengering terhadap laju pengeringan serta mengetahui besarnya efisiensi sistem pengering dan efisiensi alat. Kegiatan penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober sampai November 2007 di Laboratorium Pasca Panen Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember - Jawa Timur. Bahan yang digunakan adalah kompos dari kulit buah kakao telah mengalami proses pengomposan selama 6-8 minggu dengan kadar air awal bahan 60-70% (bb). Parameter penelitian meliputi kadar air, berat bahan, waktu pengeringan, porositas, densitas, dan suhu.

Analisis data dilakukan dengan perhitungan menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dan divisualisasikan dengan grafik. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perlakuan putaran drum pengering 10 rpm dengan suhu 100°C cenderung lebih efektif bila dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Hasil perhitungan diperoleh bahwa untuk mengeringkan kompos sampai kadar air 21,24% (bb) menghasilkan efisiensi sistem pengering sebesar 68,338% dan efisiensi alat sebesar 88,577%.

PRAKATA

Sesungguhnya, segala puji bagi Allah, tempat memuji, meminta pertolongan dan ampunan. Aku berlindung kepada Allah dari kejahatan diri dan keburukan perbuatanku. Aku bersaksi bahwa tidak ada Tuhan selain Allah Yang Maha Esa, tidak ada sekutu bagiNya. Aku bersaksi bahwa Muhammad adalah hamba dan utusan-Nya

Alhamdulillah atas terselesaikannya karya tulis ilmiah yang berjudul Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Putar (*Rotary Dyer*) Untuk Pengeringan Pupuk Organik (Kompos) Dari Kulit Buah Kakao walaupun penuh dengan segala keterbatasan dan kekurangan.

Karya tulis ilmiah ini dapat terselesaikan karena adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu.

1. Ir. Hamid Ahmad selaku Dosen Pembimbing Utama (DPU), Ir. Siswijanto, MP. selaku Dosen Pembimbing Anggota I (DPA I) dan Ir. Sukrisno Widyotomo, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota II (DPA II) yang telah memberikan bimbingan, arahan dan motivasi dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Ir. Ach. Marzuki M, MSIE, selaku Dekan Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
3. Bapak Dr. Ir. Iwan Taruna, M.Eng, selaku Pembantu Dekan 1 Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.
4. Seluruh staf dan karyawan di Fakultas Teknologi Pertanian yang telah banyak membantu penulis selama menjalani masa studi.
5. Seluruh staf dan karyawan di Divisi Alat dan Mesin Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia yang telah banyak membantu penulis selama menjalani penelitian.

6. Keluarga besarku (Ayahanda Suwardi dan Ibunda Sugiyati, adik-adikku Tri Tusto Wiyantoro dan Farita Kartika Ningtyas) atas perhatian dan dukungannya selama penulis menjalani studi.
7. Buat Ch@ yang selalu setia menemaniku baik suka maupun duka serta tidak bosan-bosannya memberikan inspirasi dan motivasi selama penulis menyusun skripsi ini.
8. Teman-temanku Danang, Cucut, Helna, Nona, Dian, Y'khty, Bayu, Sindu, Shinta, terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya.
9. Semua teman-temanku TEP angkatan 2003, terima kasih atas kasih sayang dan kerjasamanya.
10. Anak-anak Brantas XXV/232A Sugab, Bokir, Cong Hery, Doyok, Jojon, Mas Pajjul, Mas Arip, Fazlul, Winardi, Popo, dan lainnya, thank's for all.
11. Semua pihak yang telah membantu yang tidak sempat disebutkan satu persatu di sini, terima kasih..

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna dan masih memerlukan perbaikan, oleh karena itu apabila ada kekurangan, kesalahan penulis tetap menyadarinya dan menerima kritik maupun saran. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan informasi yang berguna bagi semua pihak yang membutuhkan, Amin.

Jember, 26 Januari 2007

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN DOSEN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
RINGKASAN.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Tinjauan Umum Tanaman Kakao.....	4
2.2 Kulit Buah Kakao.....	6
2.3 Pupuk Organik (Kompos).....	6
2.4 Pengeringan.....	11
2.5 Pengaruh Suhu dan Kelembaban Dalam Proses Pengeringan..	12
2.6 Kadar Air Bahan.....	13
2.7 Sifat Thermis Bahan.....	14
2.8 Porositas.....	14
2.9 Densitas Bahan.....	14
2.10 Efisiensi Pengeringan.....	15
2.11 Pengering Putar (<i>Rotary Dryer</i>).....	17

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN.....	18
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	18
3.3	Parameter Pengamatan.....	18
3.4	Deskripsi Alat.....	19
3.5	Pelaksanaan Penelitian.....	20
3.6	Analisis Teknik.....	23
3.7	Analisis Data.....	26
3.8	Asumsi-asumsi.....	26
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1	Distribusi Suhu.....	30
4.2	Kadar Air Bahan.....	34
4.3	Densitas Bahan (<i>Partikel Density</i>).....	37
4.4	Porositas Bahan.....	40
4.5	Laju Pengeringan.....	43
4.6	Efisiensi Sistem Pengering.....	46
4.7	Efisiensi Alat.....	48
4.8	Konsumsi Bahan Bakar.....	49
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran.....	51
	DAFTAR PUSTAKA.....	52
	LAMPIRAN.....	54

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Penampang membujur dan melintang buah kakao lindak.....	6
Gambar 3.1 Alat pengering tipe putar.....	19
Gambar 3.2 Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 4.1 Penurunan kadar air bahan dengan penjemuran.....	29
Gambar 4.2 Laju pengeringan dengan penjemuran.....	29
Gambar 4.3 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_1B_1	31
Gambar 4.4 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_1B_2	31
Gambar 4.5 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_1B_3	31
Gambar 4.6 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_2B_1	32
Gambar 4.7 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_2B_2	32
Gambar 4.8 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_2B_3	32
Gambar 4.9 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_3B_1	33
Gambar 4.10 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_3B_2	33
Gambar 4.11 Hubungan suhu dan waktu pada perlakuan A_3B_3	33
Gambar 4.12 Penurunan kadar air pada perlakuan A_1B_1	34
Gambar 4.13 Penurunan kadar air pada perlakuan A_1B_2	34
Gambar 4.14 Penurunan kadar air pada perlakuan A_1B_3	35
Gambar 4.15 Penurunan kadar air pada perlakuan A_2B_1	35
Gambar 4.16 Penurunan kadar air pada perlakuan A_2B_2	35
Gambar 4.17 Penurunan kadar air pada perlakuan A_2B_3	35
Gambar 4.18 Penurunan kadar air pada perlakuan A_3B_1	36
Gambar 4.19 Penurunan kadar air pada perlakuan A_3B_2	36
Gambar 4.20 Penurunan kadar air pada perlakuan A_3B_3	36
Gambar 4.21 Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_1B_1	38
Gambar 4.22 Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_1B_2	38
Gambar 4.23 Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_1B_3	38
Gambar 4.24 Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_2B_1	38

Gambar 4.25	Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_2B_2	39
Gambar 4.26	Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_2B_3	39
Gambar 4.27	Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_3B_1	39
Gambar 4.28	Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_3B_2	39
Gambar 4.29	Penurunan densitas bahan pada perlakuan A_3B_3	40
Gambar 4.30	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_1B_1	41
Gambar 4.31	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_1B_2	41
Gambar 4.32	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_1B_3	41
Gambar 4.33	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_2B_1	41
Gambar 4.34	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_2B_2	42
Gambar 4.35	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_2B_3	42
Gambar 4.36	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_3B_1	42
Gambar 4.37	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_3B_2	42
Gambar 4.38	Penurunan porositas bahan pada perlakuan A_3B_3	43
Gambar 4.39	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_1B_1	44
Gambar 4.40	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_1B_2	44
Gambar 4.41	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_1B_3	44
Gambar 4.42	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_2B_1	44
Gambar 4.43	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_2B_2	45
Gambar 4.44	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_2B_3	45
Gambar 4.45	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_3B_1	45
Gambar 4.46	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_3B_2	45
Gambar 4.47	Hubungan laju pengeringan dan waktu pada perlakuan A_3B_3	46
Gambar 4.48	Grafik kombinasi perlakuan terhadap efisiensi sistem pengering..	47
Gambar 4.49	Grafik kombinasi perlakuan terhadap efisiensi alat.....	48
Gambar 4.50	Grafik kombinasi perlakuan terhadap konsumsi bahan bakar.....	49

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Kimia Kulit Kakao.....	7
Tabel 2.2 Perbandingan Pupuk Organik dan Pupuk Anorganik.....	9
Tabel 2.3 Standar Kualitas Kompos.....	10



DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Penurunan Kadar Air Kompos Dengan Penjemuran.....	54
Lampiran 2. Data Waktu Pengeringan.....	55
Lampiran 3. Data Penurunan Kadar Air.....	57
Lampiran 4. Data Parameter Suhu.....	59
Lampiran 5. Data Densitas Bahan (<i>Partikel Density</i>).....	63
Lampiran 6. Data Porositas Bahan.....	65
Lampiran 7. Uji ANOVA Untuk Efisiensi Sistem Pengering.....	67
Lampiran 8. Uji ANOVA Untuk Efisiensi Alat.....	68
Lampiran 9. Uji ANOVA Untuk Konsumsi Bahan Bakar.....	69
Lampiran 10. Contoh Perhitungan Efisiensi Sistem Pengering.....	70
Lampiran 11. Contoh Perhitungan Efisiensi Alat Pengering.....	72
Lampiran 12. Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem Pengering dan Efisiensi Alat....	73



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tanaman kakao merupakan tanaman "asli" yang berasal dari benua Amerika pada bagian yang mempunyai iklim tropis. Sangat sulit untuk mengetahui di mana negara atau bagian benua yang merupakan asal tanaman kakao tersebut secara pasti, karena tanaman ini telah tersebar luas sejak penduduk daerah itu masih hidup mengembara (Roesmanto, 1991).

Tanaman kakao ini merupakan salah satu komoditi perkebunan utama di Indonesia. Tanaman kakao selain merupakan sumber devisa tinggi, juga memanfaatkan sumber daya alam, memenuhi kebutuhan konsumsi dalam negeri serta meningkatkan pendapatan produsen yang dalam hal ini adalah dari petani atau pengusaha.

Pengolahan buah kakao menjadi biji cokelat menghasilkan beberapa hasil sampingan atau limbah, salah satunya adalah kulit buah. Perlu diketahui bahwa kulit buah adalah bagian terbesar pada buah kakao itu sendiri. Menurut Sri Mulato dan Widyotomo (2001), kulit buah merupakan komponen terbesar pada buah kakao, yaitu lebih dari 70 persen berat buah masak sedangkan persentase biji kakao di dalam buah hanya sekitar 27-29 persen, dan sisanya adalah plasenta.

Besarnya persentase berat kulit kakao ini menunjukkan betapa besar kehilangan berat pada pengolahan kakao. Jumlahnya yang besar itu menyebabkan banyaknya bagian dari buah kakao yang dibuang daripada yang diolah, sehingga tidak heran bila pada setiap proses pengolahan khususnya pada pengambilan buah kakao dihasilkan tumpukan kulit buah kakao yang sangat banyak. Setiap ton buah kakao yang dipanen dapat menghasilkan kurang lebih sekitar 700 kg kulit buah sedangkan biji yang diambil hanya berkisar 270-290 kg. Pemanfaatan kulit buah kakao merupakan langkah yang besar dalam bidang perkakaoan.

Seiring dengan semakin maraknya program pertanian yang berkelanjutan dengan residu bahan kimia sekecil mungkin, banyak para petani mulai mengalihkan perhatiannya ke pertanian organik. Kulit buah kakao merupakan salah satu bahan

sampingan yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik dengan jalan mengkomposkannya. Pupuk organik berbahan baku kulit buah kakao ini akan menambah nilai pendapatan bagi petani kakao dari yang semula di buang sekarang mendatangkan pendapatan.

Dalam prosesnya sampai siap jual, pupuk organik (kompos) yang sudah jadi perlu dilakukan proses pengeringan. Menurut Winarno, dkk. (1980), pengeringan adalah salah satu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Keuntungan dari pengeringan adalah bahan menjadi lebih awet dengan volume bahan menjadi lebih kecil.

Pengeringan dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu pengeringan dengan sinar matahari (*sun drying*) dan pengeringan menggunakan alat pengering buatan (*artificial drying*). Salah satu alat pengering buatan yang dapat digunakan yaitu pengering tipe putar (*rotary dryer*). Pengeringan dengan menggunakan alat mekanis (pengering buatan) memerlukan energi untuk memanaskan alat pengering, mengimbangi radiasi panas yang keluar dari alat, memanaskan bahan, menguapkan kadar air bahan ke udara. Pemanas udara di dalam proses pengeringan adalah sebagai tempat pelepasan dan penampungan uap air yang keluar dari bahan, dan juga bertindak sebagai penghantar panas ke bahan yang dikeringkan.

Oleh karena itu perlu dilakukan suatu kajian mengenai perilaku yang terjadi di dalam proses pengeringan dengan menggunakan alat pengering tipe putar (*rotary dryer*), sehingga diperoleh hasil efisiensi pengeringan yang efektif diterapkan dalam proses pengeringan kompos kulit buah kakao basah menjadi kompos kulit buah kakao kering.

1.2 Permasalahan

Dalam prosesnya sampai siap jual, pupuk organik (kompos) yang sudah jadi perlu dilakukan proses pengeringan. Pengeringan adalah salah satu metode untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan cara menguapkan air tersebut dengan menggunakan energi panas. Keuntungan

dari pengeringan adalah bahan menjadi lebih awet dengan volume bahan menjadi lebih kecil.

Proses pengeringan kompos kulit kakao dapat dilakukan dengan menggunakan alat pengering tipe putar (*rotary dryer*). Untuk menghasilkan kinerja dan hasil yang optimal pada alat tersebut perlu diadakan suatu penelitian tentang pengaruh suhu pengering terhadap efisiensi pengeringan dengan menggunakan berbagai kecepatan putar (RPM) drum pengering pada alat pengering tipe putar (*rotary dryer*).

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

- a) mempelajari pengaruh suhu pengering dan pengaruh putaran drum pengering terhadap laju pengeringan
- b) mengetahui besarnya efisiensi pengeringan pupuk organik (kompos) dari kulit buah kakao menggunakan alat pengering tipe putar (*rotary dryer*).

1.4 Manfaat

Penelitian ini diharapkan berguna untuk hal-hal sebagai berikut:

- a) memberikan informasi bagi kegiatan industri pengomposan kulit buah kakao yang memanfaatkan alat pengering tipe putar (*rotary dryer*)
- b) menambah kekayaan khasanah ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknologi pengeringan kompos kulit buah kakao.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum Tanaman Kakao

Tanaman kakao merupakan tanaman "asli" yang berasal dari benua Amerika pada bagian yang mempunyai iklim tropis. Sangat sulit untuk mengetahui di mana negara atau bagian benua yang merupakan asal tanaman kakao tersebut secara pasti, karena tanaman ini telah tersebar luas sejak penduduk daerah itu masih hidup mengembara (Roesmanto, 1991).

Tanaman kakao adalah tanaman yang termasuk di dalam genus *Theobroma*, keluarga *Sterculiaceae*, ordo *Malvater*. Biji-biji kakao dihasilkan oleh *Theobroma cacao L* (Roesmanto, 1991). Sistematis tanaman kakao menurut Tjitrosoepomo adalah sebagai berikut ini.

Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Anak divisi	: <i>Angiospermae</i>
Kelas	: <i>Dicotyledoneae</i>
Anak kelas	: <i>Dialypetalae</i>
Bangsa	: <i>Malvales</i>
Suku	: <i>Sterculiceae</i>

Kakao tumbuh subur di hutan-hutan di dataran rendah, hidup di bawah naungan pohon-pohon yang tinggi. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap tumbuhnya tanaman kakao antara lain kesuburan tanah, kelembaban, suhu dan curah hujan. Sedangkan angin, musim kering dan perubahan-perubahan iklim banyak berpengaruh terhadap berbuahnya tanaman kakao. Tanaman kakao menuntut tanah yang cukup dalam, gembur dan subur dengan pH sekitar 6,5–7,5, dan mengandung cukup udara dan air. Suhu terbaik kira-kira 24-28°C dengan kelembaban relatif konstan sekitar 80%. Intensitas sinar matahari yang diterima sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman kakao. Intensitas ini sangat berhubungan dengan kesuburan tanah. Jika keadaan tanah subur, intensitas bisa naik menjadi 70%-80%. Sementara banyak ahli berpendapat bahwa intensitas

sinar matahari yang optimum adalah 50%. Tetapi intensitas 50% atau 80% akan berbeda antara tempat yang satu dengan yang lainnya (Sunanto, 1992).

Menurut Sunanto (1992), tanaman kakao yang banyak diusahakan dapat digolongkan menjadi tiga, yaitu.

a. *Criollo*

Jenis *Criollo* menghasilkan biji kakao yang mutunya sangat baik dan dikenal sebagai kakao mulia, *Fine Cocoa*, *Choiced Cocoa*, *Edel Cocoa*.

b. *Forastero*

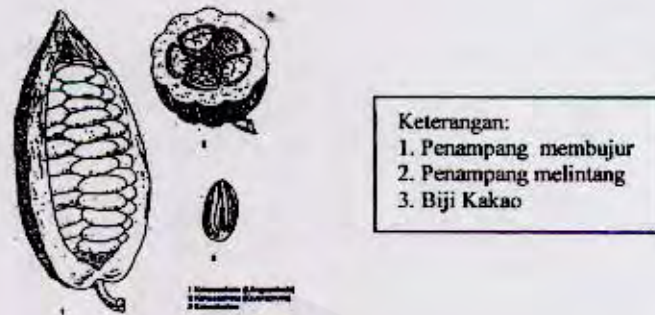
Jenis *Forastero* menghasilkan biji kakao yang mutunya sedang atau *Bulk Cocoa*, kakao lindak atau dikenal sebagai *Ordinary cocoa*.

c. *Trinitario*

Trinitario merupakan campuran atau hibrida dari jenis *Criollo* dengan *Forestero* secara alami sehingga kakao jenis ini sangat heterogen. *Trinitario* yang menghasilkan biji termasuk *Fine Flavour Cocoa* dan ada yang termasuk *Bulk Cocoa*. Jenis *Trinitario* ini antara lain adalah hibrida Djati Ronggo (DR) dan *Uppertimazone hibrida* (kakao Lindak).

Pada dasarnya tipe kakao dibedakan atas kakao mulia dan kakao lindak.

Kakao mulia umumnya berada pada ketinggian 0–800 mdpl dengan ketinggian optimum 300–600 mdpl dan curah hujan 1500–2500 mm/tahun dengan bulan kering tidak lebih dari 3 bulan, suhu rata-rata bulanan 18,8°C–27,9°C, sifat fisik solum dalam tidak kurang dari 1,5 m dan sifat kimianya kadar bahan organik tidak kurang dari 3% dan pH 4,4–7 dengan pH optimal 6,5. Sedangkan untuk kakao lindak umumnya berada pada ketinggian 0–600 mdpl dengan ketinggian optimum 0–300 mdpl dan curah hujan 1500–2500 mm/tahun dengan bulan kering tidak lebih dari 3 bulan, suhu rata-rata bulanan 22,4°C–30,4°C, sifat fisik solum dalam tidak kurang dari 1,5 m dan sifat kimianya kadar bahan organik tidak kurang dari 3% dan pH 4,4–7 dengan pH optimal 6,5 (Wahyudi dan Djatmiko, 1986).



Gambar 2.1: Penampang Membujur dan Melintang Buah Kakao Lindak
 (Sumber : USDA, 2000).

2.2 Kulit Buah Kakao

Kulit buah kakao merupakan hasil sampingan dari pengupasan atau pemecahan buah kakao. Pengupasan atau pemecahan buah kakao biasanya dilakukan oleh para petani di kebun setelah proses pemanenan buah selesai atau di bawa ke tempat pengolahan kemudian di kupas menggunakan mesin pengupas (*desheller*). Buah yang di panen adalah buah yang telah tepat matang ditandai dengan warna kulit telah menguning (Siregar, 2002).

Menurut Sri Mulato dan Widyotomo (2001), kulit buah merupakan komponen terbesar dari buah kakao, yaitu lebih dari 70 persen berat buah masak sedangkan persentase biji kakao di dalam buah hanya sekitar 27–29 persen, dan sisanya adalah plasenta.

2.3 Pupuk Organik (Kompos)

Secara umum, pupuk organik adalah pupuk yang terbuat dari bahan-bahan organik yang didegradasikan secara organik. Sumber bahan baku pupuk organik ini dapat diperoleh dari bermacam-macam sumber seperti: kotoran ternak, sampah rumah tangga non sintetis, biomassa dan sebagainya. Pada umumnya di lapangan, bahan-bahan ini dikenal dengan nama "Pupuk Kompos", maksudnya adalah pupuk yang berasal dari bahan organik yang telah di-dekomposisi (di degradasi).

Komposisi bahan kimia dalam kompos berbeda-beda bergantung pada bahan dasar yang digunakan untuk pupuk organik. Berikut ini akan ditampilkan

komposisi kimia kompos yang berasal dari tandan kosong kelapa sawit (TKSS), sisa pangkasan teh dan kilit buah kakao.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Kulit Kakao

No	Sifat Kimia	TKSS	Teh	Kakao
1	pH	8.00	4.24	5.40
2	N(%)	1.50	2.12	1.30
3	C(%)	35.10	34.60	33.71
4	C/N	23.00	16.00	26.00
5	P ₂ O ₅ (%)	0.80	0.38	0.19
6	K ₂ O(%)	2.50	0.73	5.50
7	CaO(%)	1.00	1.49	0.23
8	MgO	0.90	0.38	0.59
9	Cu(ppm)	-	89.00	-
10	Zn(ppm)	-	102.00	-

(Sumber: Hety, 2005).

Menurut Hety (2005), kompos merupakan semua bahan organik yang telah mengalami degradasi/penguraian/pengomposan sehingga berubah bentuk dan sudah tidak dikenali bentuk aslinya, berwarna kehitam-hitaman, dan tidak berbau. Bahan organik ini berasal dari tanaman maupun hewan, termasuk kotoran hewan. Namun, khusus pupuk yang dibuat dari kotoran hewan biasanya disebut dengan pupuk kandang. Adapun humus adalah hasil humifikasi (pengomposan) atau perubahan-perubahan lebih lanjut dari kompos.

Kompos mempunyai beberapa sifat yang menguntungkan antara lain.

- 1) Memperbaiki struktur tanah berlempung sehingga menjadi ringan,
- 2) Memperbesar daya ikat tanah berpasir sehingga tanah tidak berderai,
- 3) Menambah daya ikat air pada tanah,
- 4) Memperbaiki drainase dan tata udara dalam tanah,
- 5) Mempertinggi daya ikat tanah terhadap zat hara,
- 6) Mengandung hara yang lengkap, walaupun jumlahnya sedikit,
- 7) Membantu proses pelapukan bahan mineral,
- 8) Memberi ketersediaan bahan makanan bagi mikroba,
- 9) Menurunkan aktifitas mikroorganisme yang merugikan.

Ada beberapa macam pupuk dari bahan organik yang dikenal, yaitu pupuk kandang, humus, pupuk hijau, dan pupuk guano. Pupuk hijau dan pupuk guano tidak mengalami proses penguraian atau pengomposan, sedangkan pupuk kandang dan humus mengalami proses pengomposan.

Proses pengomposan yang terjadi secara alami berlangsung dalam waktu yang cukup lama. Sebagai contoh, pembuatan kompos memerlukan waktu 2–3 bulan bahkan ada yang sampai 6–12 bulan, tergantung dari bahannya. Sementara untuk membuat pupuk kandang dibutuhkan waktu 2–3 bulan.

Kompos digunakan terutama untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan bahan organik tanah. Permasalahan pada penggunaan kompos adalah kurang praktis, kotor dan diperlukan dalam jumlah yang besar untuk luasan lahan yang sama bila menggunakan pupuk anorganik, sehingga banyak orang yang beralih menggunakan pupuk anorganik. Saat ini, orang mulai kembali menggunakan pupuk organik dalam pertaniannya, karena diketahui pupuk anorganik mempunyai beberapa kekurangan dan menyebabkan residu bahan kimia dalam tubuh yang mengakibatkan kanker (Yuwono, 2005).

Bahan organik tidak dapat langsung dapat digunakan atau dimanfaatkan oleh tanaman karena perbandingan C/N rasionya yang tinggi. C/N rasio merupakan perbandingan antara unsur karbon dan nitrogen. Prinsip pengomposan adalah menurunkan C/N rasio bahan organik mendekati C/N rasio tanah (< 20). Pengomposan atau dekomposisi merupakan peruraian atau pematangan bahan-bahan organik secara biologi dalam *temperature thermofilik* (temperatur yang tinggi) sekitar 40–60°C (Indriani, 2005).

Tabel 2.2 : Perbandingan Pupuk Organik dengan Pupuk Anorganik

No	Pupuk organik (kompos)	Pupuk anorganik (kimia)
1.	Mengandung unsur hara makro dan mikro yang lengkap , tetapi dalam jumlah sedikit	Hanya mengandung beberapa unsur hara, tetapi jumlahnya banyak
2.	Memperbaiki struktur (menggemburkan) tanah dan meningkatkan bahan organik	Tidak memperbaiki struktur tanah, bahkan penggunaan dalam kurun waktu yang lama mengakibatkan pengerasan tanah dan menjadi asam
3.	Harga per kg relatif murah	Harga per kg relatif mahal
4.	Menambah porositas tanah	Tidak dapat menambah porositas tanah
5.	Memperbaiki kehidupan mikro organisme dalam tanah	Tidak dapat
6.	Dapat dibuat sendiri	Dibuat oleh pabrik

(Sumber: Indriani, 2005)

Standar Nasional Indonesia (SNI) “Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik” disusun dalam rangka pengaturan mutu produk kompos sehingga dapat melindungi konsumen dan mencegah pencemaran lingkungan. Standar ini dapat digunakan sebagai acuan bagi produsen kompos dalam memproduksi kompos.

SNI ini mengacu pada standar kualitas kompos internasional seperti British Columbia Class I Compost Regulation dan National Standard Of Canada (CAN/BNQ 0413 - 200) terutama untuk kualitas unsur mikro berupa logam berat dengan nilai maksimal yang diperbolehkan, dan juga mengacu pada produk kompos yang dihasilkan dari berbagai produsen pengomposan di Indonesia.

Tabel 2.3 : Standar Kualitas Kompos .

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maksimum
1	Kadar Air	%	-	50
2	Temperatur	°C		suhu air tanah
3	Warna			kehitaman
4	Bau			berbau tanah
5	Ukuran partikel	mm	0,55	25
6	Kemampuan ikat air	%	58	-
7	pH		6,80	7,49
8	Bahan asing	%	*	1,5
Unsur makro				
9	Bahan organik	%	27	58
10	Nitrogen	%	0,40	-
11	Karbon	%	9,80	32
12	Phosfor (P_2O_5)	%	0,10	-
13	C/N-rasio		10	20
14	Kalium (K_2O)	%	0,20	*
Unsur mikro				
15	Arsen	mg/kg	*	13
16	Kadmium (Cd)	mg/kg	*	3
17	Kobal (Co)	mg/kg	*	34
18	Kromium (Cr)	mg/kg	*	210
19	Tembaga (Cu)	mg/kg	*	100
20	Merkuri (Hg)	mg/kg	*	0,8
21	Nikel (Ni)	mg/kg	*	62
22	Timbal (Pb)	mg/kg	*	150
23	Selenium (Se)	mg/kg	*	2
24	Seng (Zn)	mg/kg	*	500
Unsur lain				
25	Kalsium	%	*	25,50
26	Magnesium (Mg)	%	*	0,60
27	Besi (Fe)	%	*	2,00
28	Aluminium (Al)	%	*	2,20
29	Mangan (Mn)	%	*	0,10
Bakteri				
30	Fecal Coli	MPN/gr		1000
31	Salmonella sp.	MPN/4 gr		3

Keterangan : * Nilainya lebih besar dari minimum atau lebih kecil dari maksimum

(Sumber: BSN 2004)

2.4 Pengeringan

Pengeringan merupakan suatu metode untuk menghilangkan atau mengeluarkan sebagian air dari bahan dengan cara menguapkan air tersebut menggunakan energi panas. Adanya molekul air yang melepaskan diri dari bahan ke udara menyebabkan berat bahan berkurang, volume lebih kecil dan bahan menjadi lebih awet (Winarno, 1980).

Menurut Earle (1984), proses pengeringan terbagi menjadi tiga kategori, yaitu.

1. Pengeringan udara adalah pengeringan berhubungan langsung dibawah pengaruh tekanan atmosfer. Dalam hal ini panas dipindahkan menembus bahan pangan, baik dari udara maupun dari permukaan yang dipanaskan. Uap air dipindahkan oleh udara.
2. Pengeringan hampa udara, didasarkan atas kenyataan mempunyai keuntungan dimana penguapan air terjadi lebih cepat pada tekanan rendah daripada tekanan tinggi. Panas yang dipindahkan dalam pengeringan hampa udara pada umumnya secara konduksi, kadang-kadang secara pemancaran.
3. Pengeringan beku, dimana uap air disublimasikan keluar dari bahan pangan beku. Struktur bahan pangan tetap dipertahankan dengan baik pada kondisi ini.

Earle (1983) juga menjelaskan bahwa terdapat beberapa macam sistem pengeringan antara lain.

1. *Tray dryer*

Dalam *tray dryer* bahan disebarakan, biasanya dengan tumpukan yang tipis diatas rak-rak di dalam ruang pengering, panas dihembuskan kedalam ruang pengering dan memanaskan bahan, baik karena konduksi dari rak atau karena radiasi dari permukaan bahan yang dipanaskan. Sebagian besar *tray dryer* dipanaskan dengan medium udara yang juga akan memindahkan uap air keluar ruang pengering.

2. *Drum dryer*

Pada sistem ini bahan diletakkan dipermukaan drum yang telah dipanaskan. Kemudian drum berputar dengan bahan tetap berada dipermukaan drum sehingga bahan yang telah kering menempel pada permukaan drum dan dilepaskan di bagian keluaran.

3. *Rotary dryer*

Bahan terdapat di dalam sebuah silinder horizontal yang berputar yang kemudian dipanaskan dengan udara yang dihembuskan melalui silinder atau karena konduksi dengan dinding silinder.

4. *Bin dryer*

Dalam *bin dryer*, bahan terdapat di dalam bak (*bin*) yang berlubang pada bagian dasarnya, udara panas dihembuskan ke atas secara vertikal melewati bahan dan mengeringkannya.

Menurut Taib dkk (1988), proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air. Cara ini dilakukan dengan menurunkan kelembaban nisbi udara dengan mengalirkan udara panas di sekeliling bahan, sehingga tekanan uap air bahan lebih besar daripada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara.

2.5 Pengaruh Suhu dan Kelembaban Dalam Proses Pengeringan

a) Suhu Pengering

Pada proses pengeringan harus diperhatikan suhu udara pegering. Semakin besar perbedaan antara suhu media pemanas dengan bahan yang dikeringkan, semakin besar pula kecepatan pindah panas ke dalam bahan pangan sehingga penguapan air dari dalam bahan pangan akan semakin banyak dan cepat.

Aliran udara yang cepat akan membawa uap air dari permukaan bahan dan mencegah air tersebut menjadi jenuh di permukaan bahan. Makin panas udara, makin banyak air yang bisa dikeluarkan sebelum kejenuhan terjadi. Volume udara yang lebih besar dapat membawa dan menampung uap air lebih banyak. Makin kering udara, semakin cepat pula proses pengeringan yang terjadi. Udara kering

dapat menyerap dan menampung uap air lebih banyak daripada udara lembab (Taib, dkk. 1988).

b). Kelembaban

Selain dipengaruhi oleh suhu, pergerakan udara di dalam proses pengeringan juga ditentukan oleh kelembaban. Kelembaban merupakan ukuran kandungan air yang terdapat di udara. Air terdapat di udara sebagai campuran uap air dengan udara kering. Perbandingan antara massa uap air dengan massa udara disebut "*mixing ratio*" dari uap air.

Kelembaban udara berpengaruh terhadap pemindahan cairan dari dalam ke permukaan bahan. Bila perbedaan tekanan uap antara cairan di dalam bahan dan uap air di luar bahan kecil, pemindahan aliran cairan tersebut sedikit. Tekanan uap tergantung pada kelembaban udara.

2.6 Kadar Air Bahan

Kadar air bahan bijian adalah salah satu indikasi penting untuk menentukan apakah bahan yang akan dipanen cukup kering untuk penyimpanan yang aman dan dapat digiling dengan hasil yang baik (Araullo dkk, 1976). Kadar air (kadar lengas atau *moisture content*) dapat dinyatakan atas dasar berat basah (*wet basis*) dan berat kering (*dry basis*) (Henderson dan Perry, 1970).

Menurut Taib, dkk (1988), dalam penentuan kadar air bahan hasil pertanian biasanya dilakukan berdasarkan bobot basah (*wet basis*). Dalam perhitungan ini berlaku rumus sebagai berikut:

$$m_{wb} = \frac{m_o - m_k}{m_o} \times 100\% \quad \dots\dots 2.1$$

Sedangkan dalam suatu analisis bahan, biasanya kadar air bahan ditentukan berdasarkan sistem bobot kering. Dalam perhitungan ini berlaku rumus sebagai berikut:

$$m_{db} = \frac{m_o - m_k}{m_k} \times 100\% \quad \dots\dots 2.2$$

2.7 Sifat Thermis Bahan

a). Panas Spesifik (C_p)

Panas jenis (*Specific Heat*) suatu bahan adalah perbandingan antara panas yang dibutuhkan atau dikeluarkan oleh satuan massa bahan tersebut untuk menaikkan atau menurunkan suhu sebanyak satu derajat satuan suhu ($^{\circ}\text{C}$) dengan panas yang dibutuhkan atau dikeluarkan oleh satu satuan massa air untuk menaikkan atau menurunkan suhu sebanyak satu derajat satuan suhu ($^{\circ}\text{C}$) (Winarno, 1980).

b). Panas Laten Penguapan

Energi yang harus diberikan untuk menguapkan air tergantung pada setiap kenaikan suhu. Jumlah energi yang dibutuhkan oleh satu pound air disebut panas laten penguapan, apabila berasal dari suatu bahan cair. Energi panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air dibawah pengaruh kondisi tertentu dapat dihitung dari panas laten yang diberikan (Earle, 1969).

2.8 Porositas

Porositas adalah ruang kosong yang terdapat pada suatu sistem kumpulan benda yang biasanya dinyatakan dalam bentuk persentase. Dengan kata lain porositas adalah perbandingan antara ruang pori yang terdapat diantara kumpulan bahan dengan volume total bahan tersebut (Anonim, 1998).

Porositas dibagi menjadi dua yaitu porositas primer adalah ruang kosong antar bahan yang berada dalam suatu wadah atau kemasan dan porositas sekunder adalah ruang kosong yang berada pada benda atau bahan itu sendiri yang diakibatkan adanya retakan atau perubahan pada bentuk bahan tersebut.

2.9 Densitas Bahan

Densitas menurut Anonim (1996) adalah suatu pengukuran yang diperoleh dengan cara membandingkan massa suatu bahan dengan unit volumenya. Densitas bahan menunjukkan besarnya perbandingan antara massa bahan dengan volume totalnya. Semakin besar nilai densitas suatu bahan, maka semakin tinggi pula nilai

massa per volumenya. Densitas menunjukkan tingkat keseragaman suatu bahan. Semakin tinggi nilai densitas bahan semakin besar keseragamannya.

2.10 Efisiensi Pengeringan

Menurut Taib (1987) efisiensi pada operasi pengeringan adalah faktor penting dalam menilai dan memilih pengering yang optimum untuk keperluan tertentu. Terdapat 3 faktor yang mempengaruhi efisiensi pengeringan antara lain.

1. Faktor-faktor yang berhubungan dengan lingkungan dalam hal ini kondisi udara lingkungan,
2. Faktor-faktor yang berhubungan dengan bahan,
3. Faktor-faktor yang mengarah pada desain alat dan pengoperasian pengering.

2.11 Pengering Putar (*Rotary Dryer*)

Pengering rotari merupakan pengering yang paling banyak dipakai dalam industri. *Rotary dryer* termasuk alat yang pantas dipakai untuk mengeringkan hasil pertanian yang berbentuk biji-bijian dan memperbaiki lama waktu pengeringan. *Rotary dryer* mempunyai sifat khusus yaitu biji yang dikeringkan mengalami proses pengadukan selama berlangsungnya proses pengeringan sehingga menghasilkan laju pengeringan yang cukup tinggi dan hasil pengeringannya pun merata pada seluruh biji-bijian yang dikeringkan (Taib, dkk, 1988).

Bahan basah diputar pada bagian dalam silinder, pada saat yang sama dilewatkan udara panas. Pada jenis tertentu dinding silinder juga dipanaskan. Silinder ini dihubungkan dengan alat pemutar dan letaknya agak miring. Permukaan dalam silinder dilengkapi dengan penggerak bahan yang berfungsi untuk mengaduk bahan. Bahan dimasukkan ke dalam silinder dari ujung yang lebih tinggi dan bahan kering keluar dari ujung yang lain melalui cerobong pengeluaran. Udara panas mengalir searah dan dapat pula berlawanan arah dengan arah jatuhnya bahan kering pada alat pengering (Taib, dkk, 1987).

Arah aliran udara panas yang berlawanan dengan arah bahan tidak dapat digunakan pada bahan yang peka dengan suhu tinggi karena dapat merusak bahan tersebut. Bila suhu yang digunakan cukup tinggi maka dinding silinder harus dilapisi dengan lapisan tahan terhadap suhu tinggi (Van Bergeyk dan Liedekerken, 1981).

Jenis-jenis "*rotary dryer*" menurut cara kerjanya adalah.

a. Pemanasan langsung dengan aliran berlawanan arah.

Digunakan untuk bahan yang dapat dipanaskan dengan suhu tinggi seperti mineral, kapur dan sebagainya. Pemanasan dilakukan dengan menggunakan gas panas (*fuel gas*). Pemanasan dengan udara panas digunakan untuk bahan-bahan kimia berbentuk kristal seperti gula, pupuk, dan sebagainya. Bahan bakar yang digunakan adalah gas, minyak residu atau batu bara.

b. Pemanasan langsung dengan aliran paralel.

Pada umumnya digunakan untuk bahan padat yang tidak dipengaruhi oleh adanya kontaminasi tetapi mudah rusak pada suhu tinggi. Misalnya gips dan beberapa bahan organik. Gas pengering dan bahan padat masuk dengan arah yang sama.

c. Pemanasan tidak langsung dengan aliran berlawanan.

Pemindahan panas berlangsung dengan cara konduksi melalui dinding atau poros silinder dan aliran udara panas diatur serendah mungkin agar bahan padat yang halus tidak terbawa aliran udara panas. Digunakan untuk bahan padat yang tidak dapat dipanaskan dengan suhu tinggi dan apabila dilakukan pemanasan langsung bahan akan rusak. Misalnya kulit, biji-bijian terutama apabila uap air atau uap dari zat pelarut masih diperlukan untuk pengolahan selanjutnya.

d. Gabungan cara pemanasan langsung dengan tidak langsung

Alat ini sangat ekonomis dibandingkan dengan alat pengering yang menggunakan pemanas langsung, dan dapat digunakan untuk pengeringan bahan padat pada suhu tinggi dan jumlah uap air yang diuapkan cukup besar. Alat dapat bekerja pada aliran udara melalui poros silinder pada suhu

1,200 sampai 1,800°F, kadang-kadang digunakan pada suhu 400 sampai 900°F. Misalnya pengeringan arang (Sri Setijahartini, 1980).

Faktor-faktor yang mempengaruhi model suatu alat pengering yang berputar dapat digolongkan sebagai berikut.

1. Sifat-sifat fisik dari bahan, seperti ukuran partikel, bentuk, densitas, dan kadar air,
2. Diameter dan panjangnya dari tabung dan desain *flight* atau perangkat,
3. Kondisi operasi, seperti aliran bahan, suhu pengeringan dan kemiringan tabung.

Pengering rotari terdiri atas suatu silinder yang berputar pada sumbu mendekati datar. Sisi dalam bahan biasanya dilengkapi dengan *flight* untuk mengangkat bahan dan memungkinkan curahan bahan (*cascading*).

Dalam *rotari dryer* terjadi proses sebagai berikut.

1. Gerakan dinamik partikel-partikel,
2. Penghantaran panas dari gas panas ke partikel,
3. Transfer massa lengas dari dalam ke permukaan partikel dan dari permukaan ke udara (gas) panas dalam drum.

Pengaruh perputaran silinder pengering terhadap distribusi saluran udara dalam pengering yaitu semakin cepat perputaran silinder pengering maka bahan yang teraduk juga semakin cepat, sehingga energi panas dari udara pengering dimanfaatkan secara efektif untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada bahan dan kenaikan suhu bahan. Maka dengan perputaran silinder pengering yang semakin cepat, distribusi udara di dalam silinder pengering menjadi lebih rendah (Kelly, 1987).

Drum hold up adalah jumlah bahan (partikel) dalam drum pengering selama operasi *steady state*, menurut persamaan (Kelly, 1995):

$$t(s) = \frac{H}{F} \quad \text{..... 2.3}$$

keterangan: $t(s)$ = *Residen time* (waktu tinggal)(detik)

H = *Drum hold up* (m^3)

F = *feed rate* (m^3 /detik)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober – November 2007 di Laboratorium Pasca Panen Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, Jember-Jawa Timur.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengering tipe putar
2. Timbangan analitis (SOEHNLE, beban maksimum 7,5 kg)
3. Sensor suhu *thermokopel*
4. Komputer dan *fluke* (Fluke HYDRA, maksimum input 50 V/30 V)
5. Gelas ukur (HERMA, volume maksimum 250 ml dan 500 ml)
6. Ring sampel
7. Oven (EHRET, daya 550 watt)
8. Eksikator

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini pupuk organik (kompos) dari kulit buah kakao yang telah mengalami proses pengomposan selama 6-8 minggu dengan kadar air 60-70% (bb).

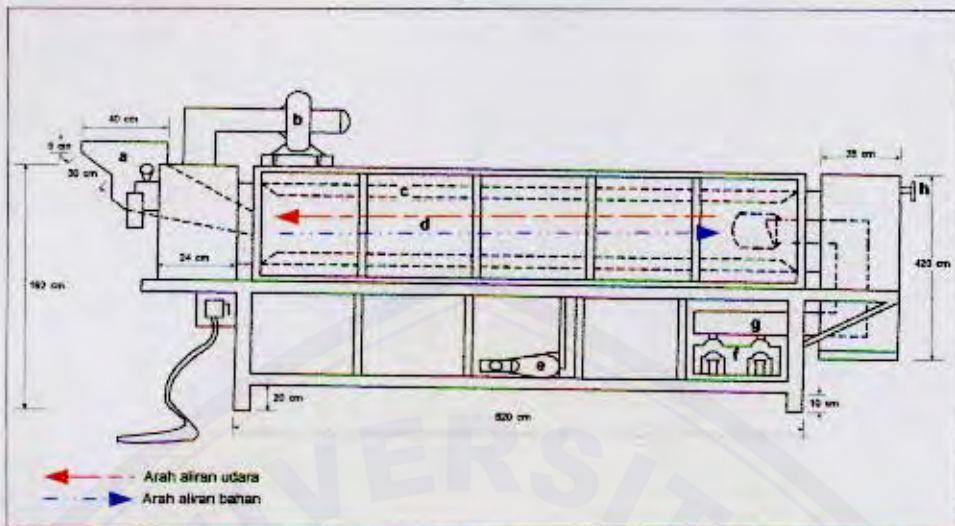
3.3 Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati meliputi.

- a. Kadar air dan berat bahan
- b. Waktu pengeringan
- c. Porositas bahan
- d. Densitas bahan
- e. Suhu



3.4 Deskripsi Alat



Gambar 3.1 Alat pengering tipe putar

Keterangan.

a. Corong masukan (*hopper*)

Tempat masuknya bahan yang akan dikeringkan. Di dalamnya terdapat *feeding rate* yang berfungsi sebagai pengatur banyaknya bahan yang masuk ke dalam ruang pengering.

b. Kipas sentrifugal

Berfungsi untuk mengalirkan udara di dalam ruang pengering dengan arah aliran berlawanan dengan bahan. Kipas ini memiliki daya 1000 watt, tekanan 1,1 kPa, tegangan 380 volt, dan laju aliran rata-rata 20 m³/menit.

c. Sirip (*flight*)

Terdapat 2 flight yang menempel di dalam drum pengering yang berfungsi untuk mengaduk bahan pada saat proses pengeringan berlangsung.

d. Drum pengering

Berdiameter 50 cm dengan panjang 520 cm, berfungsi sebagai tempat proses pengeringan.

e. Motor penggerak

Motor listrik 3 fase dengan tipe Y100L₁-4, kecepatan putar 1430 RPM, tenaga 3 HP, dan tegangan 220/380 volt.

f. Tungku

Sebagai sumber panas yang berasal dari hasil pembakaran minyak tanah dengan menggunakan kompor.

g. Pipa pemanas

Sebagai penyalur energi panas dari tungku ke dalam drum pengering.

h. Termometer

Termometer analog yang terpasang di bagian depan alat, berfungsi sebagai pengontrol suhu pengering.

3.5 Pelaksanaan Penelitian

3.5.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode percobaan atau eksperimental. Langkah-langkah yang dilakukan adalah melakukan pengukuran-pengukuran pada saat proses pengeringan berlangsung dan melakukan perhitungan berdasarkan data yang dihasilkan.

Dalam penelitian ini terdapat dua faktor yang akan dianalisis menggunakan analisis sidik ragam (ANOVA) dan divisualisasikan dengan grafik. Faktor A adalah perlakuan kecepatan putar (RPM) drum pengering (A_1 ; A_2 ; A_3) dan faktor B adalah perlakuan suhu pengeringan (B_1 ; B_2 ; B_3). Masing-masing kombinasi perlakuan diulang tiga kali.

Adapun masing-masing faktor yang digunakan dalam penelitian untuk analisis menggunakan metode grafik adalah sebagai berikut.:

1. Faktor A adalah perlakuan kecepatan putar (RPM) drum pengering yang meliputi:
 - A_1 untuk putaran 16 RPM
 - A_2 untuk putaran 10 RPM
 - A_3 untuk putaran 7 RPM
2. Faktor B merupakan perlakuan suhu pengeringan yang meliputi:
 - B_1 untuk suhu pengeringan 60°C
 - B_2 untuk suhu pengeringan 80°C
 - B_3 untuk suhu pengeringan 100°C

3. Kombinasi perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

A_1B_1 A_1B_2 A_1B_3 ;

A_2B_1 A_2B_2 A_2B_3 ;

A_3B_1 A_3B_2 A_3B_3 .

3.5.2 Pengamatan di Lapangan

a. Penentuan kadar air bahan (%)

Kompos kulit kakao diambil sampelnya, dimasukkan ke dalam ring sampel, dan sampel bahan ditimbang (m_o). Kemudian ring sampel beserta bahan dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $\pm 105^\circ\text{C}$. Setelah 24 jam ring sampel dan bahan diambil dan ditimbang (m_k). Kadar air awal bahan dihitung menggunakan basis basah seperti pada persamaan 2.1 dengan keterangan:

m_{wb} = kadar air (%bb)

m_o = berat kompos kulit buah kakao awal (kg)

m_k = berat kompos kulit buah kakao kering (kg)

b. Suhu Pengering

Suhu udara yang diukur adalah suhu lingkungan (bola basah dan bola kering), suhu tungku, suhu ruang pengering, suhu bahan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan sensor suhu *thermopel* yang dihubungkan dengan *data logger* dan komputer.

c. Densitas (kerapatan) bahan (%)

Pengukuran densitas bahan dapat dilakukan dengan cara berikut.

1. Penimbangan berat wadah atau gelas ukur (M_w).
2. Pengukuran volume wadah atau gelas ukur (V_b).
3. Bahan dimasukkan kedalam wadah atau gelas ukur.
4. Penimbangan berat wadah + bahan (M_{w+b}).
5. Penentuan densitas bahan dengan persamaan:

$$\rho = \frac{M_{w+t} - M_w}{V_b} \quad \dots\dots\dots 3.1$$

d. Porositas Bahan

Pengukuran porositas bahan dapat dilakukan dengan cara berikut.

1. Bahan dimasukkan ke dalam wadah atau gelas ukur.
2. Pengukuran volume bahan dalam wadah atau gelas ukur (V_b).
3. Pengisian air ke dalam wadah atau gelas ukur, catat besarnya penambahan air ke dalam wadah atau gelas ukur (V_f).
4. Penentuan besarnya porositas dengan persamaan:

$$P = \frac{V_f}{V_t} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 3.2$$

3.5.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Secara garis besar penelitian ini dilaksanakan melalui tahap-tahap sebagai berikut:

1. menyiapkan bahan kompos kulit buah kakao
2. menentukan kadar air awal bahan
3. menimbang berat awal dari bahan yang akan dikeringkan @ 50 kg
4. memasang peralatan kabel *thermokopel* ke *fluke* untuk kemudian dihubungkan dengan komputer
5. menjalankan alat pengering tipe putar
6. memasukkan bahan kompos ke dalam ruang pengering
7. mengambil sampel dan menimbang bahan kompos setiap siklus
8. mencatat waktu pengeringan setiap siklus
9. mengukur kadar air, porositas, densitas bahan setiap siklus
10. mengulangi langkah (1-9) dengan kombinasi perlakuan suhu pengering 60°C, 80°C, 100°C dan perlakuan putaran drum pengering 16, 10, 7 RPM sebanyak 3 kali pengulangan.

3.6 Analisis Teknik

3.6.1 Kadar Air

Berat bahan yang diukur beratnya tiap jam kemudian diubah menjadi kadar air sampel tiap waktu dengan menggunakan persamaan 2.1. Sedangkan apabila bahan dikeringkan dari kadar air awal menjadi kadar air akhir, persamaan yang dapat digunakan adalah:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{1 - Mo_1}{1 - Mo_2} \quad \dots\dots\dots 3.3$$

keterangan: m_1 = berat bahan mula-mula (kg)

m_2 = berat bahan akhir (kg)

Mo_1 = kadar air mula-mula (%)

Mo_2 = kadar air setelah dikeringkan (%)

3.6.2 Energi Pengeringan

Menurut Taib, dkk. (1988) energi pengeringan merupakan penjumlahan dari panas sensibel dan panas penguapan.

$$Q_p = Q_s + Q_{ev} \quad \dots\dots\dots 3.4$$

keterangan: Q_p = panas pengeringan (kJ)

Q_s = panas sensibel (kJ)

Q_{ev} = panas penguapan (kJ)

3.6.3 Panas Sensibel

Menurut Taib (1988) panas sensibel (Q_s) adalah energi yang digunakan untuk memanaskan bahan, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_s = bb \times C_{pb} \times (T_{up} - T_b) \quad \dots\dots\dots 3.5$$

keterangan: Q_s = panas sensible (kJ)

bb = berat bahan (kg)

C_{pb} = panas jenis bahan yang dikeringkan (kJ/kg^oC)

T_{up} = suhu udara pengering (°C)

T_b = suhu bahan (°C)

Menurut Priyanto (1988) besarnya panas jenis bahan dapat didekati dengan persamaan:

$$C_p = 0.837 + 0.034 (M_o) \quad \dots\dots\dots 3.6$$

keterangan: C_p = panas jenis bahan (kJ/kg°C)

M_o = kadar air awal (%bb)

3.6.4 Panas Penguapan

Panas penguapan (Q_{ev}) adalah energi panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air bahan, yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{ev} = h_{fg} \times E$$

dengan:

$$E = m_o \times \frac{(m_1 - m_2)}{(100 - m_2)} \quad \dots\dots\dots 3.7$$

keterangan: Q_{ev} = panas penguapan (kJ)

E = berat air yang diuapkan (kg)

m_1 = kadar air awal (%bb)

m_2 = kadar air akhir (%bb)

m_o = bobot awal bahan (kg)

Panas laten menurut Brooker (1974) dapat didekati dengan menggunakan persamaan:

$$h_{fg} = 2502 - 2,3375 (T_b) \quad \dots\dots\dots 3.8$$

3.6.5 Panas Input

Panas input merupakan energi yang diberikan udara pengering pada bahan, yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_{in} = V \times C \quad \dots\dots\dots 3.9$$

keterangan: Q_{in} = panas input (kJ)

V = jumlah bahan bakar (ltr)

C = nilai kalor bakar (kJ/ltr) (Filipo, 1983)

3.6.6 Laju Pengeringan

Laju pengeringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Hall (1980) yaitu:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{(M_1 - M_2)}{\Delta t} \quad \dots\dots\dots 3.10$$

keterangan: $\frac{dM}{dt}$ = laju pengeringan (%bk/jam)

M_1 = kadar air bahan basis kering pada saat waktu ke- t_n (%bk)

M_2 = kadar air bahan basis kering pada saat waktu ke- t_{n+1} (%bk)

Δt = waktu pengeringan (jam)

3.6.7 Efisiensi Sistem Pengering

Menurut Taib (1987) efisiensi dari sistem pengering merupakan perbandingan antara energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu (Q_s) dan energi yang digunakan untuk menguapkan air yang terdapat pada bahan (Q_{ev}) dengan jumlah energi yang tersedia dari sistem pengering (Q_{in}).

$$\eta_{sp} = \frac{(Q_{ev} + Q_s)}{Q_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 3.11$$

keterangan: η_{sp} = efisiensi sistem pengering

Q_{ev} = panas laten penguapan (kJ)

Q_s = panas sensibel pengeringan (kJ)

Q_{in} = panas input pengeringan (kJ)

Sedangkan efisiensi alat dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berdasarkan efisiensi penggunaan panas:

$$\eta_{alat} = \frac{Q_{net}}{Q_{in}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots 3.12$$

keterangan: η_{alat} = efisiensi alat

Q_{net} = panas bersih yang keluar dari outlet (kJ)

Q_{in} = panas input pengeringan (kJ)

Sedangkan panas bersih yang keluar dari outlet saluran dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_{\text{net}} = m^{\circ} \times C_{\text{pudara}} \times (T_{\text{pengering}} - T_{\text{lingkungan}}) \times t_{\text{pengering}} \quad \dots\dots\dots 3.13$$

keterangan: Q_{net} = panas bersih yang keluar dari outlet (kJ)

m° = laju aliran udara pengering (kg/jam)

C_{pudara} = panas jenis udara (kJ/kg°C)

$T_{\text{pengering}}$ = suhu pengering (°C)

$T_{\text{lingkungan}}$ = suhu lingkungan (°C)

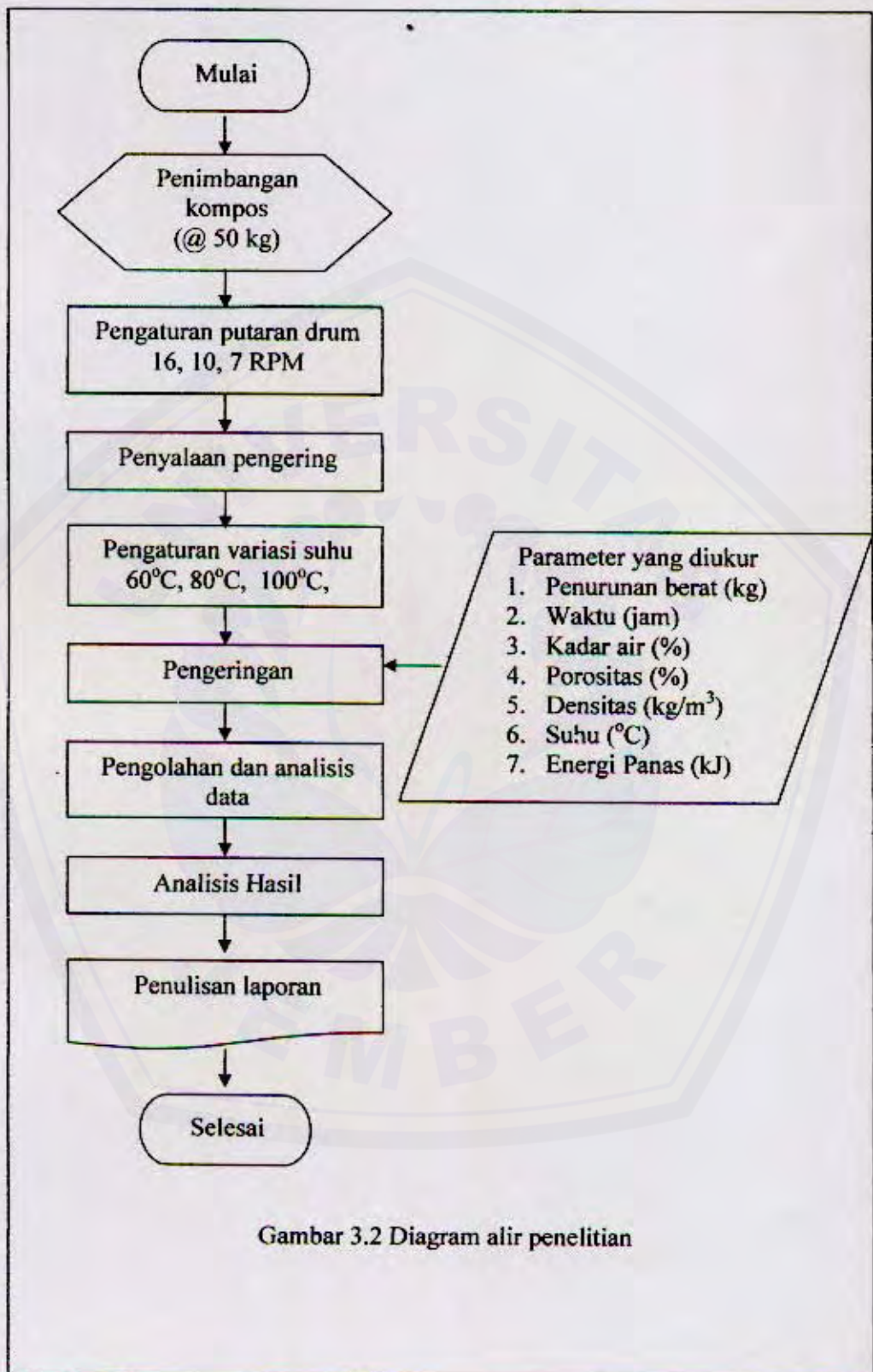
$t_{\text{pengering}}$ = waktu pengeringan (jam)

3.7 Analisis Data

- a. Grafik suhu terhadap waktu pengeringan
- b. Grafik kadar air terhadap waktu pengeringan
- c. Grafik *partikel density* terhadap waktu pengeringan
- d. Grafik porositas terhadap waktu pengeringan
- e. Laju pengeringan
- f. Efisiensi sistem pengering
- g. Efisiensi alat
- h. Konsumsi bahan bakar

3.8 Asumsi-asumsi

- a. Laju masukan bahan ke dalam ruang pengering dianggap seragam
- b. Laju aliran udara di dalam ruang pengering dianggap seragam
- c. Distribusi aliran udara di atas permukaan bahan dianggap seragam selama proses pengeringan.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan dan analisis data, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Semakin lambat putaran drum pengering maka penurunan kadar air bahan semakin cepat sehingga laju pengeringannya pun semakin cepat. Waktu tercepat diperoleh dari kombinasi perlakuan A_2B_3 sebesar 1.2733 jam, sedangkan waktu terlama diperoleh dari kombinasi perlakuan A_1B_1 sebesar 2.4821 jam.
2. Suhu udara di dalam ruang pengering yang semakin besar akan mempercepat proses pengeringan, sehingga laju pengeringan akan semakin cepat.
3. Perhitungan efisiensi sistem pengering sangat penting untuk pendugaan bentuk pengeringan dalam perencanaan dan pembuatan alat pengering serta sebagai alternatif dalam proses pengeringan. Nilai efisiensi sistem pengering terbesar pada perlakuan A_2B_3 sebesar 68,3381% sedangkan nilai efisiensi sistem pengering terendah pada perlakuan A_1B_1 sebesar 40,6997%.
4. Efisiensi alat yang terbesar diperoleh dari kombinasi perlakuan A_2B_3 sebesar 88,5771%, sedangkan efisiensi alat terendah diperoleh dari kombinasi perlakuan A_2B_1 sebesar 58,5283%.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat disampaikan berdasarkan hasil penelitian adalah perlu adanya penelitian lebih lanjut terhadap alat pengering putar ini yang berkaitan dengan biaya operasional.



DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1988. *Pengeringan Bahan Pangan*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Brooker B. Donald, Arkema Fred W. Bakker & Hall Carl W., 1974. *Drying Sereal Grain*. Westpart. Connection: The AVI Publishing Company inc.
- BSN. 2004. *Spesifikasi Kompos dari Sampah Organik Domestik*. SNI 19-7030-2004. ICS 13.030.40.
- Earle, R.L. 1982. *Satuan Operasi dalam Pengolahan Pangan*. Terjemahan Zein Nasution dari Unit Operation in Food Processing. Jakarta: Sastra Hudaya.
- Fillipo, H. 1983. *Termodinamika Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Henderson, S.N & R.L Perry. 1970. *Agricultural Process Engineering*. USA: Robert E. Krieger Publishing Company.
- Indriani, Yovita Heti. 2004. *Membuat Kompos Secara Kilat*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Kelly J. J. 1995. *Rotary Drying*. In: Mujumdar A S (ed) Handbook of Industrial Drying, Marcel Dekker, Inc., New York, 1:161-183.
- Mulato, S & Widyotomo. 2001. *Pemecahan Buah Kakao Secara Mekanis*. Prosiding Kongres Perhimpunan Teknik Pertanian. Jakarta. 11-13 Juli 2001. 19 p. inprint.
- Roesmanto, J. 1991. *Kakao: Kajian Sosial Ekonomi*. Yogyakarta: PT Aditya Media.
- Siregar, Tumpal H.S. 2002. *Pembudidayaan, Pengolahan dan Pemasaran Coklat*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Sri Setijahartini. 1980. *Pengeringan*. Jurusan Teknologi Industri. Fateta. Institut Pertanian Bogor.
- Sunanto, Hatta. 1993. *Cokelat: Budidaya, Pengolahan Hasil, dan Aspek Ekonominya*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.

- Taib, G. Said, G. & Wiraatmadja, S. 1987. *Operasi Pengeringan dan Penanganan Hasil Pertanian*. Jakarta: Mediyatama Sarana Perkasa.
- Taib, G. Said, G. & Sutedja, W. 1988. *Operasi Pengeringan dan Penanganan Hasil Pertanian*. Jakarta: PT. Melon Putra.
- USDA. 2000. *Tropical Product: World Market and Trade*. USA. Circular series USDA, June, 37p.
- Van Bergeyk, K. & A.J. Liedekerken. 1981. *Teknologi Proses (terjemahan)*. Jakarta: Bhratara Karya Aksara.
- Wahyudi, T., & B, Djatmiko. 1986. *Prosiding Seminar Coklat: Aspek Pengolahan dan Mutu Cokelat Lindak dan Mulia*. Jember: Pusat Penelitian Perkebunan.
- Winarno, F.G., S. Fardiaz & D. Fardiaz., 1980. *Pengantar Teknologi Pangan*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Yuwono, D. 2005. *Kompos*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Lampiran 1. Data Penurunan Kadar Air Kompos Dengan Penjemuran

Hari	Jam	Ulangan						
		Berat1(gr)	Berat2(gr)	Berat3(gr)	KA1(%bb)	KA2(%bb)	KA2(%bb)	KA rata2
1	0	371,6	354,7	348,7	62,74372	64,59168	65,31207	64,21582
	1	352,3	333,5	332,5	60,70271	62,34084	63,62201	62,22185
	2	336,1	317,4	319,9	58,80859	60,43059	62,18918	60,47612
	3	320,4	301,6	306,4	56,79016	58,35766	60,52323	58,55702
	4	307,2	289,1	292,1	54,93348	56,55714	58,59062	56,69375
	5	296,1	278,4	282,3	53,24406	54,88746	57,1531	55,09487
	6	275,6	261,6	255,4	49,76621	51,99032	52,64025	51,46559
2	7	256,2	242,9	240,5	45,9624	48,29423	49,70611	47,98758
	8	238,8	225,1	224,6	42,02498	44,20555	46,14568	44,1254
	9	227,3	213,8	214,8	39,0918	41,25664	43,68864	41,34569
	10	221,5	206,1	209,1	37,49691	39,06195	42,15361	39,57082
	11	207,6	193,2	198,8	33,31198	34,99311	39,15653	35,82054
	12	194,1	178,8	185,6	28,67371	29,75766	34,8293	31,08689
	13	185,3	169,3	176,5	25,28638	25,81612	31,46923	27,52391
3	14	179,1	163,2	170,1	22,69998	23,04331	28,89076	24,87802
	15	178,4	160,6	167,2	22,39667	21,79744	27,65741	23,95051
	16	177,5	158,9	164,5	22,00319	20,96079	26,47002	23,14467
	17	174,7	155	157,1	20,7531	18,97206	23,00649	20,91055
	18	172,9	152,5	151,2	19,92809	17,64373	20,00211	19,19131
	19	172,8	152,4	149,5	19,88175	17,58969	19,09243	18,85462

Lampiran 2. Data Waktu Pengeringan

Perlakuan A_1B_1

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	22,58	21,05	22,01	0,3763	0,3508	0,3668	0,3647
2	21,14	20,23	20,24	0,3523	0,3372	0,3373	0,3423
3	20,51	20,29	20,44	0,3418	0,3382	0,3407	0,3402
4	19,59	18,48	19,51	0,3265	0,308	0,3252	0,3199
5	19,32	19,34	18,3	0,322	0,3223	0,305	0,3164
6	17,27	17,2	17,09	0,2878	0,2867	0,2848	0,2864
7	16,35	16,11	16,21	0,2725	0,2685	0,2702	0,2704
8	14,51	15,01	14,01	0,2418	0,2502	0,2335	0,2418

Perlakuan A_1B_2

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	24,12	23,08	23,32	0,402	0,3847	0,3887	0,3918
2	22,13	20,48	21,4	0,3688	0,3413	0,3567	0,3556
3	20,52	19,31	20,19	0,342	0,3218	0,3365	0,3334
4	18,46	18,52	18,21	0,3077	0,3087	0,3035	0,3066
5	17,03	18,03	17,16	0,2838	0,3005	0,286	0,2901
6	15,37	15,21	16,46	0,2562	0,2535	0,2743	0,2613

Perlakuan A_1B_3

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	23,24	22,54	23,42	0,3873	0,3757	0,3903	0,3844
2	21,37	21,01	22,11	0,3562	0,3502	0,3685	0,3583
3	18,46	19,12	19,39	0,3077	0,3187	0,3232	0,3165
4	17,11	18,22	17,58	0,2852	0,3037	0,293	0,2939
5	15,48	16,03	15,27	0,258	0,2672	0,2545	0,2599

Perlakuan A_2B_1

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	30,13	29,18	30,03	0,5022	0,48633	0,5005	0,4963
2	27,37	27,41	28,17	0,4562	0,45683	0,4695	0,4608
3	25,57	26,03	26,46	0,4262	0,43383	0,441	0,4337
4	23,24	24,37	24,31	0,3873	0,40617	0,4052	0,3996
5	21,23	22,21	21,06	0,3538	0,37017	0,351	0,3583

Perlakuan A_2B_2

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	29,19	30,12	29,48	0,4865	0,502	0,4913	0,4933
2	26,07	27,47	26,24	0,4345	0,45783	0,4373	0,4432
3	24,01	25,51	23,02	0,4002	0,42517	0,3837	0,403
4	21,14	22,07	20,23	0,3523	0,36783	0,3372	0,3524

Perlakuan A_2B_3

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	29,58	28,51	28,42	0,493	0,47517	0,4737	0,4806
2	25,43	25,03	26,12	0,4238	0,41717	0,4353	0,4254
3	22,07	21,56	22,48	0,3678	0,35933	0,3747	0,3673

Perlakuan A_3B_1

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	33,09	33,17	32,56	0,5515	0,5528	0,5427	0,549
2	31,41	31,43	30,04	0,5235	0,5238	0,5007	0,516
3	30,02	29,28	29,17	0,5003	0,488	0,4862	0,4915
4	28,03	27,53	27,36	0,4672	0,4588	0,456	0,4607
5	26,43	25,41	25,15	0,4405	0,4235	0,4192	0,4277

Perlakuan A_3B_2

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	33,48	32,55	33,03	0,558	0,5425	0,5505	0,5503
2	31,07	30,13	32,27	0,5178	0,5022	0,5378	0,5193
3	28,41	29,49	29,08	0,4735	0,4915	0,4847	0,4832
4	25,03	26,55	27,41	0,4172	0,4425	0,4568	0,4388

Perlakuan A_3B_3

Siklus	Waktu1 (menit)	Waktu2 (menit)	Waktu3 (menit)	Waktu1 (jam)	Waktu2 (jam)	Waktu3 (jam)	Rata2 (jam)
0	0	0	0	0	0	0	0
1	33,12	33,27	32,47	0,552	0,5545	0,5412	0,5492
2	29,26	30,06	28,29	0,4877	0,501	0,4715	0,4867
3	26,04	26,58	25,36	0,434	0,443	0,4227	0,4332

Lampiran 3. Penurunan Kadar Air (%)**Perlakuan A₁B₁**

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	64,97585	66,75192	67,18346	185,5172	200,7692	204,7244	66,30374	197,0036
0,3647	60,88083	62,26013	63,09859	155,6291	164,9718	170,9924	62,07985	163,8644
0,7069	56,61765	57,70308	59,41704	130,5085	136,4238	146,4088	57,91259	137,7804
1,0472	51,63205	53,16456	54,1573	106,7485	113,5135	118,1373	52,98464	112,7997
1,3671	45,73003	47,27794	48,80952	84,26396	89,67391	95,34884	47,2725	89,76224
1,6835	38,39779	40,22346	42,47312	62,33184	67,28972	73,83178	40,36479	67,81778
1,9699	31,83183	33,54232	34,375	46,69604	50,4717	52,38095	33,24972	49,84956
2,2403	25,68807	27,2997	26,43678	34,5679	37,55102	35,9375	26,47485	36,01881
2,4822	15,52795	19,25466	17,91908	18,38235	23,84615	21,83099	17,56723	21,35316

Perlakuan A₁B₂

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	68,53147	66,76923	65,64103	217,7778	200,9259	191,0448	66,98057	203,2495
0,3918	62,08955	61,28205	60,47059	163,7795	158,2781	152,9762	61,28073	158,3446
0,7474	55,03597	56,06407	55,46448	122,4	127,6042	124,5399	55,52151	124,848
1,0808	49,29577	50,50251	50,74184	97,22222	102,0305	103,012	50,18004	100,7549
1,3874	42,1875	41,21037	42,44792	72,97297	70,09804	73,75566	41,9486	72,27556
1,6776	33,69565	30,19802	32,53012	50,81967	43,26241	48,21429	32,14126	47,43212
1,9389	20,53232	17,57188	18,87324	25,83732	21,31783	23,26389	18,99248	23,47301

Perlakuan A₁B₃

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	68,88889	66,313	64,78495	221,4286	196,8504	183,9695	66,66228	200,7495
0,3844	60,32609	59,88201	57,78364	152,0548	149,2647	136,875	59,33058	146,0648
0,7427	50,61728	49,74874	48,93617	102,5	99	95,83333	49,7874	99,11111
1,0592	38,21839	37,8866	38,4375	61,86047	60,99585	62,43655	38,18083	61,76429
1,3532	25,21994	24,5614	24,6988	33,72549	32,55814	32,8	24,82671	33,02788
1,6131	12,22571	11,79941	12,53482	13,92857	13,37793	14,33121	12,18664	13,87924

Perlakuan A₂B₁

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	65,34091	66,90821	65,86757	188,5246	202,1898	191,2698	65,97223	193,9947
0,4963	60,94527	59,70588	59,85222	156,051	148,1752	149,0798	60,16779	151,102
0,9572	51,68919	50,36675	51,88679	106,993	101,4778	107,8431	51,31424	105,438
1,3908	43,67246	44,36782	42,28571	77,53304	79,75207	73,26733	43,442	76,85081
1,7904	32,13368	34,71503	33,14917	47,34848	53,1746	49,58678	33,33262	50,03662
2,1487	19,41964	23,30623	20,41763	24,09972	30,38869	25,65598	21,04784	26,7148

Perlakuan A₂B₂

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	66,5127	66,43836	63,12849	198,6207	197,9592	171,2121	65,35985	189,264
0,4933	57,55627	59,42408	55,39773	135,6061	146,4516	124,2038	57,45936	135,4205
0,9365	44,85981	45,56213	42,33333	81,35593	83,69565	73,4104	44,25176	79,48733
1,3395	32,80757	33,24675	32,87293	48,82629	49,80545	48,97119	32,97575	49,20098
1,6919	19,25134	17,35294	20,625	23,84106	20,99644	25,98425	19,07643	23,60725

Perlakuan A₂B₃

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	66,74699	67,69596	67,41855	200,7246	209,5588	206,9231	67,28717	205,7355
0,4806	57,17822	57,32218	58,58586	133,526	134,3137	141,4634	57,69542	136,4344
0,9061	39,76945	41,73028	44,28152	66,02871	71,61572	79,47368	41,92709	72,3727
1,2733	20,54054	22,71293	20,47244	25,85034	29,38776	25,74257	21,24197	26,99356

Perlakuan A₃B₁

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	66,50246	66,82927	65,99327	198,5294	201,4706	194,0594	66,44167	198,0198
0,549	60,23256	58,19672	60,49046	151,462	139,2157	153,1034	59,83991	147,927
1,065	52,03252	51,22616	53,59281	108,4746	105,0279	115,4839	52,28383	109,6621
1,5565	43,3121	40,3183	43,59862	76,40449	67,55556	77,30061	42,40967	73,75355
2,0172	28,37079	26,84086	29,23497	39,60784	36,68831	41,31274	28,14887	39,20297
2,4449	14,04959	12,80654	13,64903	16,34616	14,6875	15,80646	13,50172	15,61337

Perlakuan A₃B₂

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	67,05539	68,57143	68,02885	203,5398	218,1818	212,782	67,88522	211,5012
0,5503	57,13953	56,74847	56,9096	133,3152	131,2057	132,0703	56,93254	132,1971
1,0696	45,17647	42,63636	44,07583	82,40343	74,32647	78,81356	43,96289	78,51449
1,5528	29,63584	27,31034	29,96226	42,1178	37,57116	42,78017	28,96948	40,82304
1,9917	15,03958	13,64764	13,82716	17,70186	15,8046	16,04584	14,17146	16,51744

Perlakuan A₃B₃

Jam	KA (bb) 1	KA (bb) 2	KA (bb) 3	KA (bk) 1	KA (bk) 2	KA (bk) 3	KA (bb) rata2	KA (bk) rata2
0	66,41509	66,01671	65,49296	197,7528	194,2623	189,7959	65,97492	193,937
0,5492	52,1958	53,98936	54,46429	109,1867	117,341	119,8078	53,54982	115,3785
1,0359	34,95015	35,62005	36,19242	53,72825	55,32787	56,72119	35,58754	55,2591
1,4692	13,0719	11,85185	12,08459	15,03759	13,44538	13,7457	12,33611	14,07622

Lampiran 4. Parameter Suhu ($^{\circ}\text{C}$) ,Perlakuan A_1B_1

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	24.54	90.46	60.12	54.48	21.05
0.1666667	24.91	91.68	57.27	51.73	36.14
0.3333333	26.23	93.39	59.87	54.37	36.34
0.5	26.12	95.93	55.5	52.46	34.98
0.6666667	26.5	97.24	62.94	51.53	36.27
0.8333333	26.78	93.55	59.77	53.59	38.45
1	27.08	93.62	63.47	58.44	36.81
1.1666667	27.13	97.14	59.55	52.87	37.71
1.3333333	27.13	105.68	70.01	59.55	39.87
1.5	27.56	109.06	66.96	50.73	36.41
1.6666667	27.35	105.48	69.38	57.5	40.04
1.8333333	27.82	104.45	70.56	63.33	39.29
2	28.1	95.4	63.24	55.16	39.25
2.1666667	28.61	105.34	68.61	60.9	39.69
2.3333333	28.23	121.32	79.2	59.91	42.75
2.4666667	28.2125	122.66	78.3625	61.58	46.05

Perlakuan A_1B_2

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	26,41	93,27	79,28	67,37	23,37
0,166667	26,45	94,02	78,81	61,07	40,79
0,333333	27,01	99,62	82,49	63,94	40,9
0,5	27,26	101,46	86,26	64,28	34,89
0,666667	27	93,68	81,28	69,85	35,38
0,833333	27,76	95,2	79,77	62,67	41,83
1	27,9	92,55	82,73	74,19	40,12
1,166667	28,27	95,39	84,17	63,12	42,28
1,333333	28,04	98,64	85,4	61,93	41,05
1,5	28,44	105,92	87,3	64,04	42,17
1,666667	28,97	103,78	86,52	60,49	42,75
1,833333	28,49	97,71	82,3	69,53	46,05
1,933333	29,15	101,3	86,26	68,34	42,04

Perlakuan A₁B₃

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	31,5	103,26	97,46	84,27	25,72
0,166667	31,56	104,56	98,59	80,16	47,67
0,333333	31,26	102,06	94,12	86,84	51,02
0,5	30,81	104,67	95,5	83,49	48,91
0,666667	30,91	103,58	91,22	81,93	47,4
0,833333	31,85	109,55	92,17	87,45	51,27
1	31,22	105,49	95,22	87,85	49,71
1,166667	31,4	108,91	95,17	86,36	51,53
1,333333	31,17	106,77	97,72	84,5	53,68
1,5	31,35	103,87	95,05	88,67	54,07
1,616667	31,7	105,5	94,8	87,49	55,6

Perlakuan A₂B₁

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	25,48	72,13	65,87	56,23	22,07
0,166667	26,07	74,89	64,74	51,73	37,25
0,333333	26,75	84,7	69,54	57,37	39,39
0,5	27,22	81,75	69,06	60,46	39,4
0,666667	27,19	83,13	66,37	51,53	40,46
0,833333	27,41	75,73	62,06	53,59	37,85
1	27,55	82,14	70,59	58,44	43,71
1,166667	28,15	83,45	69,3	52,87	40,89
1,333333	28,25	75,41	64,59	59,55	40,16
1,5	28,73	87,46	58,85	50,73	42,03
1,666667	28,93	85,46	70,5	57,5	45,94
1,833333	29,36	88,42	73,69	63,33	49,94
2	29,7	84,28	68,84	55,16	53,03
2,15	29,833333	78,066667	60,033333	60,9	42,53333

Perlakuan A₂B₂

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	26,41	95,19	85,64	74,26	21,86
0,166667	26,42	94,07	84,31	70,07	47,01
0,333333	26,87	99,82	84,94	60,94	42,86
0,5	27,48	100,19	83,79	64,28	41,49
0,666667	27,78	103,9	89,66	69,85	48,71
0,833333	28,29	123,35	96,64	62,67	47,77
1	28,59	117,88	94,76	74,19	48,09
1,166667	28,41	115,61	95,88	64,67	48,58
1,333333	28,71	111,15	87,56	70,7	46,64
1,5	29,44	106,93	91,25	67,96	48,97
1,666667	29,28	107,98	86,16	72,59	46,11
1,7	28,8	96,8	84,3	84,6	45,47

Perlakuan A_2B_3

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	31,42	108,46	97,26	91,26	23,84
0,166667	31,38	109,77	103,65	90,92	48,87
0,333333	31,15	127,23	106,31	85,93	57,53
0,5	30,53	129,01	103,25	81,12	45,01
0,666667	30,29	127,39	108,4	90,33	45,67
0,833333	30,04	128,14	118,41	87,45	57,27
1	29,59	131,52	119,43	87,85	50,29
1,166667	29	124,48	105,6	86,36	54,54
1,266667	28,4	117,4	110,5	84,5	53,1

Perlakuan A_3B_1

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	27,68	76,68	60,48	55,94	23,95
0,166667	27,72	78,07	63,91	52,47	37,77
0,333333	27,72	75,09	60,91	53,45	36,88
0,5	27,96	84,13	68,03	58,74	33,58
0,666667	27,72	91,09	64,25	59,73	34,56
0,833333	27,8	97,24	68,98	59,77	36,47
1	28,1	98,69	70,04	60,23	40,15
1,166667	28,99	100,84	71,12	66,73	39,18
1,333333	28,88	92,35	65,23	60,7	42,02
1,5	29,17	85,91	62,41	59,91	39,36
1,666667	29,48	86,28	63,79	61,58	42,52
1,833333	29,47	92,74	69,75	63,27	45,88
2	30,12222	87,922222	65,26666	62,24444	44,83333
2,166667	29,61	85,34	63,61	60,31	39,69
2,333333	29,23	91,32	66,2	62,89	42,75
2,433333	29,2125	92,6625	67,3625	61,7125	43,05

Perlakuan A₃B₂

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	31,86	96,86	92,36	85,01	26
0,166667	31,83	97,74	87,56	83,48	50,57
0,333333	31,72	115,35	95,36	75,73	51,75
0,5	31,32	115,36	90,72	70,96	41,55
0,666667	30,89	112,42	90,89	81,39	42,8
0,833333	30,7	102,58	83,64	74,91	42,97
1	30,91	102,17	81,05	68,91	41,35
1,166667	31,26	106,06	90,69	78,23	45,53
1,333333	30,16	100,86	87,7	72,08	50,48
1,5	30,05	106,08	89,47	71,67	46,69
1,666667	29,59	103,58	89,23	79,14	54,97
1,833333	29,42	108,41	86,47	70,27	58,22
2	28,7	100,75	85,15	69,55	57,65

Perlakuan A₃B₃

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	28,89	108,42	101,12	86,24	24,53
0,166667	28,76	105,61	98,31	83,16	47,38
0,333333	28,37	121,35	107,41	88,84	52,54
0,5	28,19	129,01	116,63	83,49	54,19
0,666667	27,75	132,73	112,49	81,93	46,76
0,833333	27,64	140,07	108,34	83,67	49,25
1	27,41	128,33	110,73	87,49	51,43
1,166667	27,05	125,19	104,3	85,12	54,27
1,333333	26,88	113,73	103,1	81,15	50,51
1,466667	26,51	116,2857	100,4571	86,11429	55,34286

Perlakuan A_3B_2

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	31,86	96,86	92,36	85,01	26
0,166667	31,83	97,74	87,56	83,48	50,57
0,333333	31,72	115,35	95,36	75,73	51,75
0,5	31,32	115,36	90,72	70,96	41,55
0,666667	30,89	112,42	90,89	81,39	42,8
0,833333	30,7	102,58	83,64	74,91	42,97
1	30,91	102,17	81,05	68,91	41,35
1,166667	31,26	106,06	90,69	78,23	45,53
1,333333	30,16	100,86	87,7	72,08	50,48
1,5	30,05	106,08	89,47	71,67	46,69
1,666667	29,59	103,58	89,23	79,14	54,97
1,833333	29,42	108,41	86,47	70,27	58,22
2	28,7	100,75	85,15	69,55	57,65

Perlakuan A_3B_3

jam	lingkungan	tungku	pengering 1	pengering 2	bahan
0	28,89	108,42	101,12	86,24	24,53
0,166667	28,76	105,61	98,31	83,16	47,38
0,333333	28,37	121,35	107,41	88,84	52,54
0,5	28,19	129,01	116,63	83,49	54,19
0,666667	27,75	132,73	112,49	81,93	46,76
0,833333	27,64	140,07	108,34	83,67	49,25
1	27,41	128,33	110,73	87,49	51,43
1,166667	27,05	125,19	104,3	85,12	54,27
1,333333	26,88	113,73	103,1	81,15	50,51
1,466667	26,51	116,2857	100,4571	86,11429	55,34286

Lampiran 5. Densitas Bahan (Partikel Density)**Perlakuan A₁B₁**

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	581,8181818	637,254902	607,5	608,8577
0,3647	570	615,9574468	596,0784314	594,012
0,7069	566,25	587,5	558,7719298	570,8406
1,0472	542,6829268	565,7407407	533,0508475	547,1582
1,3671	513,8297872	535,7142857	528,358209	525,9674
1,6835	491,6666667	504,0983607	493,75	496,505
1,9699	453,3333333	451,0416667	467,5	457,2917
2,2403	426,5306122	410,5263158	398,5074627	411,8548
2,4822	387,5	391,7910448	350,7042254	376,6651

Perlakuan A₁B₂

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	654,1666667	611,2903226	688,4615385	651,3062
0,3918	641,1764706	585,2272727	661,971831	629,4585
0,7474	620,9459459	543,4210526	652,2727273	605,5466
1,0808	576,7857143	508,1521739	591,4893617	558,8091
1,3874	540,1515152	458,0645161	554,1666667	517,4609
1,6776	491,8181818	432,4324324	481,4814815	468,5774
1,9389	429,1044776	376,4044944	421,7391304	409,0827

Perlakuan A₁B₃

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	613,5416667	601,0638298	620,4081633	611,6712
0,3844	588,7096774	562,5	573,7704918	574,9934
0,7427	548,3050847	520,6349206	542,4528302	537,1309
1,0592	494,53125	470,1388889	492,96875	485,8796
1,3532	427,5362319	416,6666667	431,25	425,151
1,6131	389,0909091	376,4705882	394,4444444	386,6686

Perlakuan A₂B₁

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	598,8095238	613,559322	620,4918033	610,9535
0,4963	572,3076923	595,9016393	603,5087719	590,5727
0,9572	547,4820144	546,7741935	565,0793651	553,1119
1,3908	513,8461538	505,785124	534,6774194	518,1029
1,7904	479,6875	470,5882353	483,6065574	477,9608
2,1487	425,7575758	422,8915663	434,057971	427,569

Perlakuan A₂B₂

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	634,1666667	615,5172414	605,6603774	618,4481
0,4933	609,8360656	604,4642857	583,0508475	599,1171
0,9365	581,3445378	551,7241379	534,6774194	549,2487
1,3395	487,5	499,2537313	478,8135593	488,5224
1,6919	414,8648649	426,2820513	404,109589	415,0855

Perlakuan A₂B₃

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	650,78125	646,6101695	597,3451327	631,5789
0,4806	580,3571429	612,2807018	563,1147541	585,2509
0,9061	494,4444444	524,21875	485,6164384	501,4265
1,2733	418,125	392,2651934	419,6202532	410,0035

Perlakuan A₃B₁

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	615,0943396	639,8305085	641,8181818	632,2477
0,549	600,7462687	611,8181818	609,8214286	607,462
1,065	573,4177215	578,5714286	585,8333333	579,2742
1,5565	520,5263158	516,9491525	539,5833333	525,6863
2,0172	457,6923077	467,5	455,4794521	460,2239
2,4449	370	384,6666667	388,2352941	380,9673

Perlakuan A₃B₂

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	603,8461538	638,3928571	590	610,7463
0,5503	582,8571429	594,8275862	565,6716418	581,1188
1,0696	520,2531646	513,559322	509,0909091	514,3011
1,5528	472,6027397	443,75	417,8571429	444,7366
1,9917	403,4722222	384,5588235	366,4634146	384,8315

Perlakuan A₃B₃

Jam	Densitas 1 (kg/m ³)	Densitas 2 (kg/m ³)	Densitas 3 (kg/m ³)	Rata2
0	614,5833333	606,7307692	594,4444444	605,2528
0,5492	547,2727273	550,3703704	533,0357143	543,5596
1,0359	470,9090909	451,5384615	460,3174603	460,9217
1,4692	378,5714286	379,5774648	381,2903226	379,8131

Lampiran 6. Porositas Bahan

Perlakuan A₁B₁

Siklus	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	43,47826087	43,52941176	41,17647059	42,72805
0,3647	44,21052632	44,21052632	40,74074074	43,05393
0,7069	43,80952381	44,91525424	42,10526316	43,61001
1,0472	45,26315789	44,44444444	43,63636364	44,44799
1,3671	45,45454545	44,18604651	44,33962264	44,66007
1,6835	45,2173913	45,71428571	44,44444444	45,12537
1,9699	45,45454545	46,66666667	45,26315789	45,79479
2,2403	46,08695652	46	45,71428571	45,93375
2,4822	47,09677419	45,6	46,15384615	46,28354

Perlakuan A₁B₂

Siklus	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	42,02898551	41,17647059	42,25352113	41,81966
0,3918	42,4	43,75	42,64705882	42,93235
0,7474	42,85714286	43,42105263	42,85714286	43,04511
1,0808	43,47826087	45,16129032	44,53125	44,39027
1,3874	43,66197183	45,3125	45,71428571	44,89625
1,6776	43,93939394	45,20547945	45,76271186	44,9692
1,9389	47,54098361	46,15384615	45,90163934	46,53216

Perlakuan A₁B₃

Jam	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	44,21052632	44,33962264	40,32258065	42,95758
0,3844	45,09803922	41,66666667	42,85714286	43,20728
0,7427	44,44444444	45,83333333	41,07142857	43,78307
1,0592	44,16666667	42,85714286	44,44444444	43,82275
1,3532	45,45454545	45,09803922	46,15384615	45,56881
1,6131	46,80851064	46,77419355	44,23076923	45,93782

Perlakuan A₂B₁

Jam	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	42,35294118	41,26984127	41,93548387	41,85276
0,4963	43,07692308	41,32231405	42,68292683	42,36072
0,9572	45,33333333	41,89189189	44,82758621	44,0176
1,3908	44,21052632	45,16129032	45,3125	44,89477
1,7904	45,51724138	43,75	45,71428571	44,99384
2,1487	45,83333333	46,57534247	45,76271186	46,05713

Perlakuan A₂B₂

Jam	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	41,42857143	41,09589041	40,74074074	41,0884
0,4933	40,84507042	42,62295082	43,07692308	42,18165
0,9365	43,47826087	43,66197183	42,85714286	43,33246
1,3395	43,05555556	44,44444444	43,85964912	43,78655
1,6919	47,56097561	42,30769231	46,77419355	45,54762

Perlakuan A₂B₃

Jam	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	41,79104478	42,02898551	40,84507042	41,55503
0,4806	41,6	43,1372549	43,90243902	42,8799
0,9061	41,97530864	42,10526316	46,57534247	43,55197
1,2733	44,15584416	42,25352113	46,2962963	44,23522

Perlakuan A₃B₁

Jam	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	42,66666667	41,17647059	42,55319149	42,13211
0,549	43,39622642	40,32258065	42,85714286	42,19198
1,065	43,42857143	42,10526316	46,42857143	43,98747
1,5565	44,1025641	44,59459459	47,76119403	45,48612
2,0172	45,78313253	45,28301887	47,82608696	46,29741
2,4449	47,76119403	45,90163934	47,45762712	47,04015

Perlakuan A₃B₃

Jam	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	38,0952381	40,90909091	39,68253968	39,56229
0,5503	38,18181818	43,20987654	42,42424242	41,27198
1,0696	41,14285714	43,83581644	42,25352113	42,41066
1,5528	42,16216216	42,1875	44,44444444	42,93137
1,9917	43,03797468	42,02898551	45,90163934	43,6562

Perlakuan A₃B₃

Jam	Porositas 1 (%)	Porositas 2 (%)	Porositas 3 (%)	Rata2
0	41,48148148	40,78947368	41,37931034	41,21676
0,5492	41,6	41,17647059	43,5483871	42,10829
1,0359	41,97530864	45,3125	46,57534247	44,62105
1,4692	45,45454545	46,47887324	47,05882353	46,33075

Lampiran 7. Uji ANOVA Untuk Efisiensi Sistem Pengering

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	1	2	3		
A ₁ B ₁	39.0178	41.6237	41.4576	122.0991	40.70
A ₁ B ₂	48.1051	46.2461	46.6548	141.006	47.00
A ₁ B ₃	53.6927	55.4803	57.819	166.992	55.66
A ₂ B ₁	47.4247	44.0049	44.1446	135.5742	45.19
A ₂ B ₂	53.9703	52.1864	52.8604	159.0171	53.01
A ₂ B ₃	69.1805	68.0082	67.8256	205.0143	68.34
A ₃ B ₁	42.3706	42.1487	44.1651	128.6844	42.89
A ₃ B ₂	45.5939	48.7152	52.6705	146.9796	48.99
A ₃ B ₃	62.0975	61.3421	57.4334	180.873	60.29
Total				1386.24	
Rata-rata					51.34

Tabel 2 arah A x B

Faktor P	Faktor B			Total	Rata-rata
	B ₁	B ₂	B ₃		
A ₁	122.0991	141.006	166.992	430.0971	47.79
A ₂	135.5742	159.0171	205.0143	499.6056	55.51
A ₃	128.6844	146.9796	180.873	456.537	50.73
Total	386.3577	447.0027	552.8793		
Rata-rata	42.93	49.67	61.43		

Tabel Analisis Sidik Ragam (ANOVA)

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F-hitung	F-tabel		Sig
					5%	1%	
Perlakuan	8	1911.5870	238.9484	66.1103 **	2.51	3.71	0.0000
Faktor A	2	273.5335	136.7667	37.8395 **	3.55	6.01	0.0000
Faktor B	2	1578.4116	789.2058	218.3512 **	3.55	6.01	0.0000
Interaksi AB	4	59.6419	14.9105	4.1253 *	2.93	4.58	0.0152
Galat	18	65.0590	3.6144				
Total	26	1976.6460					

Keterangan ** berbeda sangat nyata
* berbeda nyata

CV 3.70%

Lampiran 8. Uji ANOVA Untuk Efisiensi Alat

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	1	2	3		
A ₁ B ₁	58.8726	58.3744	60.1418	177.3888	59.13
A ₁ B ₂	69.5512	67.0072	68.6857	205.2441	68.41
A ₁ B ₃	79.6423	79.1162	76.716	235.4745	78.49
A ₂ B ₁	58.1468	57.1034	60.3347	175.5849	58.53
A ₂ B ₂	78.0061	75.1621	74.3227	227.4909	75.83
A ₂ B ₃	86.9602	88.8931	89.878	265.7313	88.58
A ₃ B ₁	57.9927	59.4268	59.2742	176.6937	58.90
A ₃ B ₂	75.1687	74.0131	75.3652	224.547	74.85
A ₃ B ₃	84.8925	87.6423	87.0036	259.5384	86.51
Total				1947.694	
Rata-rata					72.14

Tabel 2 arah A x B

Faktor P	Faktor B			Total	Rata-rata
	B ₁	B ₂	B ₃		
A ₁	177.3888	205.2441	235.4745	618.1074	68.68
A ₂	175.5849	227.4909	265.7313	668.8071	74.31
A ₃	176.6937	224.547	259.5384	660.7791	73.42
Total	529.6674	657.282	760.7442		
Rata-rata	58.85	73.03	84.53		

Tabel Analisis Sidik Ragam (ANOVA)

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat tengah	F-hitung	F-tabel		Sig
					5%	1%	
Perlakuan	8	3245.5021	405.6878	217.1829 **	2.51	3.71	0.0000
Faktor A	2	165.0293	82.5145	44.1737 **	3.55	6.01	0.0000
Faktor B	2	2971.2741	1488.6370	795.9344 **	3.55	6.01	0.0000
Interaksi AB	4	103.1997	25.7999	13.8118 **	2.93	4.58	0.0000
Total	18	33.8232	1.8980				
Residual	10	3279.1253					

CV

Lampiran 9. Uji ANOVA Untuk Konsumsi Bahan Bakar

Perlakuan	Ulangan			Total	Rata-rata
	1	2	3		
A ₁ B ₁	2.1692	2.1216	2.1821	6.4729	2.16
A ₁ B ₂	2.4957	2.416	2.4183	7.33	2.44
A ₁ B ₃	2.5913	2.5911	2.6128	7.7952	2.60
A ₂ B ₁	2.1248	2.1201	2.1744	6.4193	2.14
A ₂ B ₂	2.4266	2.2578	2.4535	7.1379	2.38
A ₂ B ₃	2.5848	2.5672	2.5813	7.7333	2.58
A ₃ B ₁	2.122	2.1388	2.1778	6.4386	2.15
A ₃ B ₂	2.3972	2.429	2.3266	7.1528	2.38
A ₃ B ₃	2.576	2.6276	2.6663	7.8699	2.62
Total				64.3499	
Rata-rata					2.38

Tabel 2 arah A x B

Faktor P	Faktor B			Total	Rata-rata
	B ₁	B ₂	B ₃		
A ₁	6.4729	7.33	7.7952	21.5981	2.40
A ₂	6.4193	7.1379	7.7333	21.2905	2.37
A ₃	6.4386	7.1528	7.8699	21.4613	2.38
Total	19.3308	21.6207	23.3984		
Rata-rata	2.15	2.40	2.60		

Tabel Analisis Sidik Ragam (ANOVA)

Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat tengah	F-hitung		F-tabel		Sig
						5%	1%	
Perlakuan	8	0.9353	0.1169	49.8846	**	2.51	3.71	0.0000
Faktor A	2	0.0053	0.0026	1.1260	ns	3.55	6.01	0.3461
Faktor B	2	0.9240	0.4620	197.1439	**	3.55	6.01	0.0000
Interaksi AB	4	0.0059	0.0015	0.6343	ns	2.93	4.58	0.6445
Galat	18	0.0422	0.0023					
Total	26	0.9775						

Keterangan ** berbeda sangat nyata
ns berbeda tidak nyata

CV 2.03%

Lampiran 10. Contoh Perhitungan Efisiensi Sistem Pengering

Massa awal kompos (m_o)	= 50 kg
Kadar air awal (M_o)	= 66,304%
Kadar air akhir (M_i)	= 17,567%
Suhu udara pengering (T_{up})	= 61,31°C
Suhu bahan (T_b)	= 38,67°C
Kalor bakar minyak (C)	= 34310 kJ/ltr
Volume minyak (V)	= 5,35588 liter

1. Panas sensibel (Q_s)➤ Panas jenis bahan (C_p)

$$C_p = 0,837 + 0,034 (M_o)$$

$$= 0,837 + 0,034 (66,304) = 3,0913 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

$$Q_s = m \times C_p \times (T_{up} - T_b)$$

$$= 50 \times 3,0913 \times (61,31 - 38,67)$$

$$= 3499,601 \text{ kJ}$$

2. Panas penguapan (Q_{ev})

a. Massa air yang diuapkan (E)

$$E = m_o \times \frac{(m_1 - m_2)}{(100 - m_2)}$$

$$= 50 \times \frac{(66,304 - 17,567)}{(100 - 17,567)}$$

$$= 29,561 \text{ kg}$$

b. Panas laten penguapan (h_{fg})

$$h_{fg} = 2502 - 2,3375 \times (T_b)$$

$$= 2502 - 2,3375 \times (38,67)$$

$$= 2411,608 \text{ kJ/kg}$$

c. Panas penguapan (Q_{ev})

$$\begin{aligned}Q_{ev} &= E \times h_{fg} \\&= 29,561 \times 2411,608 \\&= 71290,463 \text{ kJ}\end{aligned}$$

3. Energi yang diberikan (Q_{in})

$$\begin{aligned}Q_{in} &= V \times C \\&= 5,35588 \times 34310 \\&= 183760,3 \text{ kJ}\end{aligned}$$

4. Efisiensi sistem pengering (η_{sp})

$$\begin{aligned}\eta_{sp} &= \frac{(Q_{ev} + Q_s)}{Q_{in}} \times 100\% \\&= \frac{(71290,436 + 3499,601)}{183760,3} \times 100\% \\&= 40,6997\%\end{aligned}$$

Lampiran 11. Contoh Perhitungan Efisiensi Alat Pengering

Panas jenis udara (C_p)	= 1,007272 kJkg ^o C
Suhu pengering ($T_{\text{pengering}}$)	= 61,31 ^o C
Suhu lingkungan ($T_{\text{lingkungan}}$)	= 27,18 ^o C
Waktu pengeringan (t)	= 2,48 jam
Kalor bakar minyak (C)	= 34310 kJ/ltr
Volume minyak (V)	= 5,35588 liter

1. Laju aliran massa udara pengering (m^o)

$$\begin{aligned} m^o &= 20 \text{ m}^3/\text{menit} \times 60 \text{ menit/jam} \times \rho_{\text{udara}} \\ &= 20 \text{ m}^3/\text{menit} \times 60 \text{ menit/jam} \times 1,0612 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1273,44 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

2. Panas bersih yang masuk ke dalam ruang pengering (Q_{net})

$$\begin{aligned} Q_{\text{net}} &= m^o \times C_{p\text{udara}} \times (T_{\text{pengering}} - T_{\text{lingkungan}}) \times t_{\text{pengering}} \\ &= 1273,44 \times 1,007272 \times (61,31 - 27,18) \times 2,48 \\ &= 108656,943 \text{ kJ} \end{aligned}$$

3. Energi yang diberikan (Q_{in})

$$\begin{aligned} Q_{\text{in}} &= V \times C \\ &= 5,35588 \times 34310 \\ &= 183760,3 \text{ kJ} \end{aligned}$$

4. Efisiensi alat (η_{alat})

$$\begin{aligned} \eta_{\text{alat}} &= \frac{Q_{\text{net}}}{Q_{\text{in}}} \times 100\% \\ &= \frac{108656,943}{183760,3} \times 100\% \\ &= 59,1296\% \end{aligned}$$

Lampiran 12. Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem Pengering dan Efisiensi Alat

1. Efisiensi Sistem Pengering

Parameter	Satuan	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₃ B ₃
M _s	%	66,3037	66,9806	66,6623	65,9722	65,3598	67,2872	66,4417	67,8852	65,9749
M	%	17,5672	18,9925	12,1866	21,0478	19,0764	21,242	13,5017	14,1715	12,3361
C _p	kJ/kg°C	3,09133	3,11434	3,10352	3,08006	3,05923	3,12476	3,09602	3,1451	3,08015
Q _s	kJ	3499,6	5127,24	6149,46	2938,83	4792,64	7347,59	3504,74	5079,27	6839,52
E	kg	29,5614	29,6195	31,0179	28,4504	28,597	29,2321	30,6017	31,2913	30,5934
h _{lg}	kJ/kg	2411,61	2406,5	2382,59	2402,64	2390,18	2381,54	2408,7	2388,14	2382,09
Q _{ev}	kJ	71290,5	71279,5	73902,7	68356,1	68351,9	69617,2	73710,5	74728	72876,4
Q _p	kJ	74790,1	76406,7	80052,2	71294,9	73144,5	76964,8	77215,2	79807,3	79716
Q _r	kJ	183760	162560	143812	157761	137993	112623	180010	162894	132217
Eff _{pers}	%	40,6997	47,0020	55,6640	45,1914	53,0057	68,3381	42,8948	48,9932	60,291

2. Efisiensi Alat

Parameter	Satuan	A ₁ B ₁	A ₁ B ₂	A ₁ B ₃	A ₂ B ₁	A ₂ B ₂	A ₂ B ₃	A ₃ B ₁	A ₃ B ₂	A ₃ B ₃
m'	kg/jam	1273,44	1241,04	1169,76	1273,44	1204,32	1135,2	1273,44	1204,32	1135,2
C _p	kJ/kg°C	1,007272	1,007272	1,007272	1,007272	1,007272	1,007272	1,007272	1,007272	1,007272
T _{peng}	°C	61,31142	73,78083	90,715	61,58936	79,17136	98,56313	62,5532	81,01042	95,7073
T _{kg}	°C	27,18417	27,895	31,323	28,08795	28,18818	30,0475	28,74565	30,54583	27,61778
t _{peng}	jam	2,482137	1,938889	1,613056	2,148722	1,691944	1,273333	2,444889	1,991667	1,469167
Q _{ref}	kJ	108656,9	111215,2	112881	92335,48	104641	99758,72	106022,5	121924,8	114385,4
Q _r	kJ	183760,3	162560,3	143812,9	157761,9	137993,4	112623,5	180010,5	162894,3	132217,7
Eff _{alat}	%	59,1296	68,4147	78,4915	58,5283	75,8303	88,5771	58,8979	74,8490	86,5128

