

Kode/Rumpun Ilmu : 162 / Teknologi Hasil Pertanian

**LAPORAN AKHIR  
PENELITIAN KERJASAMA ANTAR PERGURUAN TINGGI  
( PEKERTI )**



**DESAIN DAN UJI SISTEM PENGERINGAN SERTA  
KARAKTERISASI PENGERINGAN KOMODITAS UNGGULAN  
DAERAH GORONTALO**

**TIM PENGUSUL DAN MITRA**

MUH. TAHIR, S.TP, M.Si (0014107203)  
PURNAMA NINGSIH S. MASPEKE S.TP., M.Sc (0006078201)  
Dr. LEOPOLD O. NELWAN, S.TP, M.Si (0008127004)  
Dr. Ir. I DEWA MADE SUBRATA, M.Agr (0003086208)

**UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO  
OKTOBER 2014**

HALAMAN PENGESAHAN

**Judul Kegiatan** : Desain dan uji sistem pengeringan serta karakterisasi pengeringan komoditas unggulan daerah Gorontalo

**Peneliti / Pelaksana**

Nama Lengkap : MUH. TAHIR S.TP, M.Si  
NIDN : 0014107203  
Jabatan Fungsional :  
Program Studi : Teknologi Hasil Perkebunan  
Nomor HP : 085240581391  
Surel (e-mail) : muhtahirlaw@gmail.com

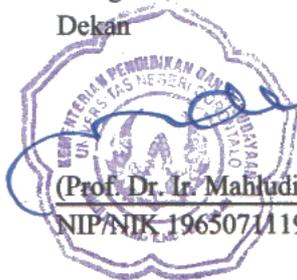
**Anggota Peneliti (1)**

Nama Lengkap : PURNAMA NINGSIH S MASPEKE S.TP., M.Sc  
NIDN : 0006078201  
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Gorontalo

**Institusi Mitra (jika ada)**

Nama Institusi Mitra :  
Alamat :  
Penanggung Jawab :  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp. 60.000.000,00  
Biaya Keseluruhan : Rp. 130.000.000,00

Mengetahui  
Dekan

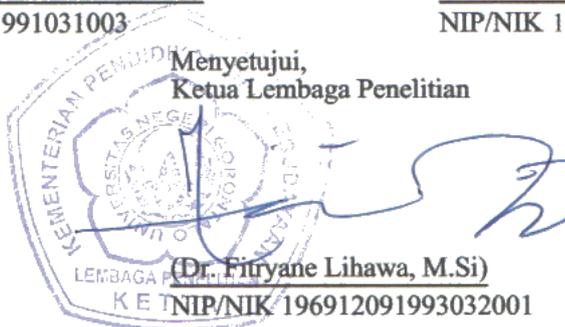


(Prof. Dr. Ir. Mahjudin Baruwadi, MP)  
NIP/NIK 196507111991031003

Gorontalo, 10 - 10 - 2014,  
Ketua Peneliti,

(MUH. TAHIR S.TP, M.Si)  
NIP/NIK 19721114 2005011002

Menyetujui,  
Ketua Lembaga Penelitian



(Dr. Fitriyane Lihawa, M.Si)  
NIP/NIK 196912091993032001



## Ringkasan

### DESAIN DAN UJI SISTEM PENGERINGAN SERTA KARAKTERISASI PENGERINGAN KOMODITAS UNGGULAN DAERAH GORONTALO

Sistem pengeringan hibrid memanfaatkan energi biomassa, surya dan listrik dengan mekanisme efek rumah kaca digunakan untuk mengeringkan beberapa komoditas seperti kopra, ikan cakalang dan kacang tanah. Sistem pengeringan ini dimaksudkan untuk dapat melangsungkan proses pengeringan secara alami sekalipun dengan hanya memanfaatkan panas radiasi surya pada siang hari. Sedangkan sistem pengeringan dengan memanfaatkan biomassa dilakukan dengan membakar tempurung pada tungku dan udara panas pengeringan yang dikehendaki diperoleh melalui sistem penukar panas (*heat exchanger*). Sistem pengeringan ini ditujukan untuk proses pengeringan pada semua kondisi cuaca baik mendung, hujan dan malam hari sehingga bahan yang tersedia untuk dikeringkan tidak mengalami penundaan. Secara keseluruhan sistem pengeringan dengan memanfaatkan ketiga jenis energi dimaksudkan untuk efisiensi proses yang akan berdampak pada kontinuitas desain. Kinerja sistem pada pengeringan kopra diperoleh suhu ruangan pengering ( $T_r$ ) rata-rata  $77,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban (RHr) berkisar 12 % dari suhu rata-rata lingkungan ( $T_l$ )  $32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Kopra dengan kadar air awal 70,8 %bk (41,4 %bb) menjadi kadar air akhir rata-rata 6,2 %bk (5,8 %bb) dengan rendemen hasil sebesar 58,63% ditempuh dalam waktu 8,5 jam. Energi yang digunakan pada proses pengeringan 941.149 kJ, panas yang diterima udara pengering 497.997 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan 7.841 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan 435.311 kJ. Efisiensi pengeringan diperoleh 89 % sedangkan efisiensi termal bangunan 27 %. Konsumsi energi spesifik (KES) dari proses pengeringan ini diperoleh sebesar 36.190 kJ/kg. Sedangkan pengeringan asap ikan cakalang berlangsung dalam waktu 4,5 jam dengan rata-rata suhu ruangan ( $T_r$ )  $83,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara (RHr) 15,6 % dari suhu lingkungan ( $T_l$ )  $23,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Jumlah energi proses pengeringan asap ikan cakalang adalah 601.083,8 kJ dengan panas udara pengering 459.589,7 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan 3.467,7 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan 138.027,3 kJ. Efisiensi pengeringan asap ikan sebesar 30,8% dengan efisiensi termal alat sebesar 74,6%. Konsumsi energi spesifik untuk pengeringan ikan diperoleh sebesar 46.301,0 kJ/kg. Untuk pengeringan kacang tanah berlangsung dalam waktu 5 jam dengan rata-rata suhu ruangan ( $T_r$ )  $82,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari suhu lingkungan ( $T_l$ )  $29,36\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara (RHr) 68,1 %. Jumlah energi yang digunakan pada proses pengeringan kacang tanah sebesar 544.935,3 kJ. Panas yang diterima udara pengering 447.983,9 kJ, panas untuk menaikkan suhu bahan 3.602,7 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan 93.348,7 kJ. Efisiensi pengeringan sebesar 21,6 % dan efisiensi termal alat diperoleh sebesar 43,8 %. Nilai konsumsi energi spesifik pada pengeringan kacang tanah ini sebesar 377.575,4 kJ/kg.

Kata kunci : karakterisasi pengeringan, kopra, ikan cakalang, asap, kacang tanah.



## KATA PENGANTAR

Dengan segala kerendahan hati, penulis memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan akhir ini.

Laporan ini menyajikan kegiatan Penelitian Kerjasama Perguruan Tinggi (PEKERTI) yang dibiayai DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi tahun anggaran 2014 di Universitas Negeri Gorontalo. Kegiatan ini dimaksudkan untuk meningkatkan kapasitas penelitian dosen sehingga dapat menghasilkan inovasi yang berdaya guna bagi peningkatan produktivitas masyarakat.

Pelaksanaan kegiatan ini dilakukan di unit pengeringan Iluta, perbaikan dan modifikasi di bengkel gorontalo dan uji hasil pengeringan di laboratorium UNHAS dan Lab. Kesehatan Makassar. Kegiatan ini merupakan wujud penelitian yang berorientasi pada sistem produksi masyarakat Agropolitan Gorontalo sebagai bagian dari Tridharma Perguruan Tinggi. Tim pelaksana adalah dosen pada Fakultas Pertanian – UNG dan Tim Mitra dari IPB.

Demikian pengantar mengenai kegiatan penelitian ini semoga dapat bermanfaat bagi masyarakat luas yang melangsungkan proses pengeringan pada aspek pasca panen pertanian dan hasil perikanan. Terima kasih diucapkan kepada semua pihak yang membantu terlaksananya kegiatan ini

Gorontalo, Oktober 2014

Wassalam

Penulis

**DAFTAR ISI**

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
Halaman Sampul .....	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Ringkasan.....	iii
Kata Pengantar .....	iv
Daftar Isi .....	v
Daftar Tabel .....	vi
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Lampiran .....	viii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT .....	7
BAB IV. METODE PENELITIAN.....	9
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	12
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	32
DAFTAR PUSTAKA.....	34
LAMPIRAN.....	35

**DAFTAR TABEL**

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
1. Parameter pengeringan beberapa komoditas.....	5
2. Tabel kebenaran multiflekser 8 channel .....	14
3. Hasil uji laboratorium kopra kering .....	20
4. Beberapa parameter penting hasil pemeriksaan laboratorium .....	27
5. Hasil uji mikrobiologi.....	27
6. Hasil analisis laboratorium kacang tanah hasil pengeringan .....	31



## DAFTAR GAMBAR

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
1. Bagan Alir Karakterisasi Komoditas Unggulan Gorontalo – 2014.....	9
2. Jenis timbangan; analog gantung (a), analog duduk (b), digital (c).....	12
3. Termometer batang alkohol dan termometer display.....	13
4. Termokopel kabel tipe K, Display dan Multiflekser.....	13
5. Sistem Multiflekser dengan 8 channel.....	14
6. Pengukuran suhu dengan sensor SHT75 dan Sistem Akuisisi Data.....	15
7. Proses muat daging kelapa basah ke rak trolley.....	15
8. Daging kelapa basah pada rak pengeringan.....	16
9. Pengukuran titik suhu dengan termokopel kabel.....	16
10. Pengukuran basis termokopel (a,b), multiflekser (c), & <i>authonic display</i> (d).....	17
11. Grafik suhu udara pengeringan dan lingkungan.....	17
12. Grafik penurunan kadar air kopra.....	18
13. Grafik sebaran suhu dalam ruangan pengering.....	18
14. Grafik iradiasi surya harian selama satu hari percobaan.....	19
15. Diagram pengolahan ikan kering asap.....	21
16. Ikan cakalang segar dan ukuran yang seragam.....	21
17. Proses pembelahan dan pembersihan perut ikan.....	22
18. Pengaturan ikan dalam rak pengeringan.....	22
19. Suasana ruang pengeringan berasap ringan.....	23
20. Pemantauan suhu dalam daging ikan melalui ujung termokopel.....	23
21. Perubahan struktur fisik daging ikan pengeringan asap.....	24
22. Ikan cakalang kering asap "Ikan fufu".....	24
23. Grafik suhu udara pengeringan asap ikan cakalang.....	24
24. Grafik penurunan kadar air ikan cakalang.....	25
25. Produk kering asap ikan cakalang yang siap dikemas.....	25
26. Kemasan kardus yang dapat digunakan untuk penyimpanan.....	26
27. Kacang tanah dalam rak pengeringan yang telah dimodifikasi.....	29
28. Kacang tanah kulit dalam karung yang masih basah.....	29
29. Proses pengeringan kacang tanah.....	30
30. Kacang tanah setelah proses pengeringan.....	30
31. Grafik suhu pengeringan kacang tanah.....	30
32. Grafik penurunan kadar air kacang tanah.....	31



**DAFTAR LAMPIRAN**

<i>Teks</i>	<i>Halaman</i>
1. Instrumen dan Parameter ukur/hitung Penelitian .....	35
2. Personalia Tenaga Peneliti dan Kualifikasinya .....	37
3. Foto tenaga bantu proses pengolahan dan pengeringan .....	37
4. Undangan Publikasi Seminar .....	38
5. Naskah Publikasi Seminar .....	39



## BAB I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Salah satu pengering tipe hybrid yang banyak di kembangkan adalah mekanisme efek rumah kaca dengan kombinasi sumber panas surya dan biomassa. Pengering jenis ini memiliki keuntungan dari segi biaya operasional pembangkitan panas yang rendah karena memanfaatkan ketersediaan energi surya dan biomassa yang melimpah di negara tropis. Penggunaan sumber energi panas dengan sistem kombinasi dimaksudkan untuk mengatasi kondisi ketersediaan sinar surya yang terpengaruh oleh cuaca. Cuaca mendung, hujan dan saat malam hari menyebabkan tidak tersedianya energi surya sehingga perlu digantikan oleh sumber energi lain seperti biomassa. Upaya meminimalkan penggunaan energi berbiaya mahal dan memaksimalkan penggunaan energi yang murah untuk proses pengeringan yang optimum adalah konsep yang akan diterapkan pada sistem pengeringan yang akan didesain.

Pemanfaatan peralatan pengering di daerah Gorontalo berlangsung seiring dengan upaya peningkatan pendapatan masyarakat pada sektor pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan. Komoditas pada sektor tersebut umumnya memerlukan proses pengeringan seperti gabah, jagung, kacang tanah, cengkeh, panili, kopi, kopra, kakao, silase dan wafer pakan ternak serta ikan, rumput laut. Proses pengeringan dalam hal ini diperlukan untuk memperoleh mutu komoditas sesuai tuntutan mutu perdagangan dan sekaligus menghindarkan komoditas dari kerusakan pasca panen. Pengusahaannya dapat berupa unit pengolahan skala kecil (*Small Processing Unit*) sejenis pabrik skala kecil yang mengolah hasil pertanian dan perikanan menjadi produk akhir yang siap dijual di supermarket (Kamaruddin, 2007).

Komoditas hasil pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan tersebut pada kenyataannya memiliki ragam karakteristik baik bentuk, ukuran dan sifat reologi bahan. Pemahaman terhadap sifat bahan tersebut selanjutnya diimplementasikan dalam bentuk desain sistem pengeringan dan wadah bahan. Sistem pengeringan akan mengintegrasikan faktor fisik dalam bentuk ketersediaan sumber energi yang dibutuhkan dan yang mampu disediakan oleh lingkungan secara kontinyu dan ekonomis. Sedangkan wadah bahan akan mengintegrasikan bentuk, ukuran dan sifat reologi yang mendukung proses pengeringan bahan secara optimal dalam sistem pengeringan yang didesain.



Kaji tindak karakterisasi komoditas unggulan memiliki arti dan makna eksplorasi terhadap komoditas pertanian yang ada secara mayoritas dan prioritas untuk diolah secara primer (dikeringkan) selanjutnya menunggu pengolahan sekunder (pangan) secara aman. Data-data sifat fisik, kimia dan reologi yang terkait dengan proses pengeringan yang berlaku secara spesifik untuk setiap bahan akan dikumpulkan sehingga menjadi database perencanaan pengolahan industrial. Sisi lain keberadaan hasil desain unit pengering serbaguna ini adalah menjadi sarana kajian berkelanjutan baik dalam kerangka studi mahasiswa maupun pengembangan keilmuan oleh dosen terkait yang secara simultan akan menghasilkan data karakterisasi pengeringan komoditas tersebut.

Keterkaitan penelitian yang diusulkan dengan penelitian TPP yang sudah dihasilkan dan sedang berjalan memiliki makna kontinuitas dan integrasi yang kuat. Pada penelitian hibah 2011-2012 telah dihasilkan sistem pembangkit panas tungku biomassa dan penukar panas (heat exchanger) yang berkinerja baik dan sedang dilakukan penyempurnaan dengan penerapan teknik kendali logika fuzzy. Jika pada penelitian hibah bersaing tersebut hanya dihasilkan unit pembangkit panas maka pada penelitian yang diusulkan ini akan dihasilkan unit ruang pengering lengkap dengan wadah pengeringan bahan baik berupa mode rak maupun mode bak. Sedangkan keterkaitan dengan pihak TPM adalah dalam konteks sistem pengering efek rumah kaca (ERK) yang merupakan bidang kajian dan keahlian yang selama ini digeluti. Tim Peneliti Mitra (TPM) adalah dosen aktif pada laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian serta Ergotronika - IPB sebagai tempat lahirnya paten atas Pengering Surya Efek Rumah Kaca (Usulan Paten ELC-05). HAKI No/P00200200788 dan Pengering Surya Efek Rumah Kaca (Usulan Paten EEK-DG06). Pelibatan TPM pada usulan penelitian ini adalah sebagai wujud penghormatan pengusul atas hak cipta pada pengering surya efek rumah kaca yang akan diwakili oleh TPM dan agar kode etik terkait HAKI tetap terjunjung tinggi. Demikian pula kajian karakterisasi pengeringan komoditas pertanian adalah bidang yang selama ini dikembangkan sehingga diharapkan menjadi transfer ilmu pengetahuan dan teknologi dari TPM ke TPP.



## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Sistem Pengeringan

Pengeringan merupakan salah satu proses pasca panen yang umum dilakukan pada berbagai produk pertanian yang ditujukan untuk menurunkan kadar air sampai pada tingkat yang aman untuk penyimpanan atau proses lainnya. Hampir seluruh pengeringan pada produk pertanian dilakukan dengan proses termal dan dapat dikembangkan penerapan pengering surya efek rumah kaca dalam sebuah unit pengolahan kecil untuk berbagai komoditas pertanian dan perikanan (Kamaruddin, 2007).

Proses pengeringan termal umumnya dilakukan dengan cara pemanfaatan atau pembangkitan panas baik dari energi surya, energi fosil (minyak), energi biomassa dan energi lainnya melalui sebuah apparatus. Pemanfaatan energi tersebut juga dapat dilakukan dengan teknik kombinasi (hybrid) untuk memperoleh kinerja yang optimal dan efisien. Demikian pula sistem pengeringan yang akan didesain merupakan kombinasi dari energi biomassa, listrik dan energi surya.

Berbagai tipe pengering surya telah dikembangkan untuk pengeringan produk pertanian, akan tetapi secara umum pengering tersebut dapat dibedakan menjadi dua yakni tipe pengering dengan kolektor datar dan tipe pengering dengan kolektor efek rumah kaca. Pada tipe pertama, kolektor dan ruang pengering didesain secara terpisah, sehingga pengering ini umumnya merupakan pengering konvensional yang menggunakan radiasi surya sebagai sumber energinya. Kolektor datar menangkap radiasi surya dan mengubahnya menjadi panas yang dihasilkan secara konvektif dipindahkan ke ruang pengering. Pada jenis ini kolektor datar dan wadah pengeringan ditempatkan secara terpisah. Dengan demikian udara panas dari kolektor dialirkan melalui saluran menuju wadah pengeringan. Pada pembuatan kolektor, pemasangan bahan insulasi dan transparan dilakukan secara rapat sehingga kehilangan udara panas dapat diperkecil. Apabila terdapat kebocoran, udara panas dapat hilang yang akan mengurangi kualitas suhu (Kamaruddin, 2007).

Pada tipe kedua kolektor surya dan ruang pengering terintegrasi satu sama lain sehingga dikenal dengan pengering efek rumah kaca. Tipe ini dipilih sebagai model representatif pengering surya yang berbiaya rendah sebagaimana proses optimasi yang telah dilakukan dari pengering tipe pertama. Radiasi surya akan diteruskan oleh bahan



transparan menuju ke pelat absorber yang dicat hitam. Penyerapan akan dilakukan oleh absorber, bergantung pada nilai absorptivitasnya, sehingga suhu absorber akan naik. Absorber ini sebagaimana sifat permukaan seluruh benda akan memancarkan radiasi (emisi) panas, akan tetapi karena sifat bahan transparan yang akan mengabsorpsi radiasi gelombang panjang, maka radiasi ini tidak keluar. Selain itu bahan transparan juga berfungsi untuk menghambat terjadinya konveksi dengan udara luar. Terjadinya perbedaan suhu antara absorber dengan suhu udara di atasnya (dibawah bahan transparan) membuat pindah panas berlangsung ke udara tersebut. Untuk tipe pengering tanpa pelat, lantai digunakan sebagai absorber (Kamaruddin, 2007).

Bahan transparan merupakan bagian dari sistem pengering, karena bahan ini meneruskan radiasi yang masuk, tetapi menghambat radiasi gelombang panjang dari komponen-komponen di dalam ruang dan kehilangan panas lewat pergerakan udara langsung. Beberapa bahan yang digunakan misalnya polikarbonat, plastik UV Stabilizer, fiberglass (Kamaruddin, 1998).

Nelwan (2007) melaporkan konsumsi komponen energi surya pada jenis pengering efek rumah kaca dalam kasus pengeringan kakao dengan rak berputar mencapai 11 – 28%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai manfaat atas desain sistem pengeringan dengan efek rumah kaca memiliki kategori gratis energi karena keberadaan radiasi surya. Kombinasi sumber energi untuk hasil desain tungku biomassa dan penukar panas (Tahir, 2011), dengan energi surya dan listrik melalui desain efek rumah kaca akan berbanding 70 : 20 : 10. Perbandingan ini sangat menguntungkan bagi desain sistem pengeringan agar memiliki daya saing yang tinggi dibandingkan dengan desain sistem pengeringan lainnya. Dengan sistem ini juga akan menyebabkan keterterimaan (acceptability) desain menjadi tinggi di masyarakat pengguna nantinya.

## B. Karakterisasi Komoditas Hasil Pertanian

Kajian karakterisasi bahan memiliki arti penting dalam mendukung proses industrialisasi pangan di Indonesia baik pada era sekarang maupun era mendatang. Era otonomi daerah secara lebih spesifik menuntut kesiapan seluruh komponen daerah baik sumber daya manusia, sarana dan prasarana yang luas termasuk database hasil penelitian. Database hasil penelitian tersebut mencakup semua komoditas yang ada dan memiliki potensi pengembangan yang mendukung ketahanan pangan baik daerah maupun nasional.



Karakteristik komoditas (bahan) hasil pertanian yang terkait dengan proses pengeringan dan wadah pengeringan antara lain: densitas (kerapatan) bahan ( $\text{Kg/m}^3$ ), kadar air bahan (%bb,bk), pemutuan bahan (Grade), kadar air kesetimbangan,  $M_e$  (%bk), konstanta pengeringan bahan,  $k$  (1/menit), laju pengeringan bahan (%/jam), laju aliran udara pengering (m/detik), konsumsi energi (J), koefisien energi spesifik (MJ/kg uap air bahan), panas laten penguapan bahan,  $\Delta H_{fg}$  (kJ/kg) dan efisiensi sistem pengeringan (%). Lebih luas dapat mencakup sisi keekonomian sistem pengering surya efek rumah kaca (Kamaruddin, 2009), komoditas atau produk yang dikembangkan pada skala usaha tertentu.

Beberapa data karakteristik bahan hasil pertanian yang telah dikaji peneliti IPB antara lain ditampilkan pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Parameter pengeringan beberapa komoditas

Komoditas	Panas Jenis, $C_p$ (kJ/kg)	Panas laten penguapan, $\Delta H_{fg}$ (kJ/kg)	Kesetimbangan Kadar air, $M_e$ (%bk)	Konstanta Pengeringan, $k$ (1/menit)
Biji kopi (Dyah W. (1997)), Jusuf (1990)	$C_p=0.02125 + 1.8175 (0.5 < M < 0.67)$	$\Delta H_{fg}/\Delta H_{fgw} = (1 + (1597 \exp(-0.19427 M_e)) \text{ for } RH > 57\%, ; M_e > 8\%$	$M_e = 3.7045 + 0.11716 \Delta t + 0.007679 \Delta t^2$	$K = \exp(15.432 - 5976.4t)$
Biji Kakao (Nelwan, 1998)		$\Delta H_{fg}/\Delta H_{fgw} = (1 + 0.7297 \exp(-0.1361 t M_e))$ at $t = 55 \text{ C}$ and $7\% < M < 49\% \text{ wb}$ $\Delta H_{fg} = 2411.7 - 3236.4 \text{ kJ/kg}$	$(1 - RH) = \exp(-0.1936 t M_e^{1.1487})$	$K = \exp(15.432 - 5976.4 t)$
Gabah IR-36 (model silinder terbatas), Thahir, 1986		$\Delta H_{fg}/\Delta H_{fgw} = 1.298$ at $M_e = 9.7\% \text{ wb}$ , and $t = 30 - 50 \text{ }^\circ\text{C}$	$M_e = 17.89 \exp(-0.06 I \Delta t)$ $\Delta t = t_{db} - t_{wb}$	$K = \exp(1.9283 - 2803.4/T)$
Lada hitam (model bola), Prayudi, 1992		$\Delta H_{fg}/\Delta H_{fgw} = (2500 - 2.34t) \times (1 + 0.4132 \exp(-0.224 M_e))$	$M_e = 16.86 \exp(-0.224 \Delta t)$ $\Delta t = t_{db} - t_{wb}$	$K = 0.167 \exp(13.277 - 4900/T)$
Cengkeh terfermentasi, Anwar, 1987	(Sukirman 1987) $C_p = 1.004 \text{ kJ/kgC}$	$\Delta H_{fg}/\Delta H_{fgw} = (1 + 6.24462 \exp(-0.5506 M_e))$	$M_e = 10.5938 \exp(0.04981 \Delta t)$ ( $10.8 - 23.5 \text{ }^\circ\text{C}$ )	$K = \exp(16.4371 - 6073.9873/T)$ $313 < T < 323$

Sumber: Kamaruddin, 2007.



Studi pendahuluan yang telah dilaksanakan adalah desain dan rancang bangun sistem pembangkit panas tungku tipe hisap dan penukar panas (heat exchanger) tipe cangkang dan pipa. Sistem ini dimaksudkan sebagai penyedia panas utama dari pembakaran tongkol jagung dan atau tempurung kelapa yang merupakan produk samping pengolahan jagung dan kopra. Sumber energi biomassa ini akan berperan pada kondisi energi surya tidak tersedia seperti cuaca mendung, hujan dan malam hari sedangkan jika energi surya tersedia maka konsumsi energi biomassa akan berkurang sesuai tingkat kebutuhan udara panas. Dari hasil pengujian sistem pembangkit panas tersebut menghasilkan udara panas pengeringan pada tingkat 84,7 °C untuk laju pengumpanan 7,0 kg/jam tongkol jagung kering (Tahir, 2011). Sumber energi panas tersebut hanya berasal dari biomassa dan akan diteliti lebih lanjut penghematan konsumsinya jika telah memanfaatkan ruang pengering surya dan memanfaatkan panas radiasi surya.

Sistem pembangkit panas yang telah didesain dapat menghasilkan udara pengering sekitar 100 °C pada laju pengumpanan tongkol jagung 10 kg/jam atau dengan arang tempurung yang memiliki kalor lebih tinggi. Hasil desain dan rancang bangun sistem pembangkit panas tersebut telah menghasilkan udara pengering secara sangat memadai dan akan ditentukan efisiensinya secara menyeluruh pada sebuah sistem pengeringan yang utuh. Sebagai perbandingan dengan referensi pengeringan komoditas jagung, Cakraverty & Singh (2001) merekomendasikan pemanasan maksimum suhu udara pengering yang akan mengenai bahan untuk benih hanya 43 °C, pangan 54 °C dan pakan 82 °C.

Karakterisasi pengeringan akan dilangsungkan dalam sebuah ruang pengering yang memanfaatkan baik panas tungku maupun radiasi panas surya melalui mekanisme efek rumah kaca. Ruang pengering tersebut juga dilengkapi dengan wadah bahan pengeringan baik dalam bentuk mode rak maupun mode bak sehingga dihasilkan sebuah unit pengering serbaguna yang berkinerja optimal dan berdaya saing tinggi. Unit pengering yang dihasilkan selanjutnya digunakan untuk proses pengeringan dalam rangka memperoleh data karakterisasi komoditas unggulan seperti kacang tanah, kopra dan ikan.



## BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT

### Tujuan Penelitian

Tujuan khusus yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah karakterisasi pengeringan komoditas unggulan daerah Gorontalo melalui sarana alat pengering serbaguna yang dihasilkan dari kegiatan tahun sebelumnya (Tahun I). Keberadaan hasil desain adalah sebagai sarana uji produk pembangkit panas tungku dan penukar panas (*Heat Exchanger*) yang akan diajukan untuk paten, juga menjadi sarana institusi dalam melangsungkan kegiatan akademis, pengembangan keilmuan dan dasar kebijakan pengembangan pengolahan industrial.

### Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian disusun berdasarkan item yang terkait satu dengan yang lain sebagai berikut:

1. Terlaksananya kajian menyeluruh sebuah sistem pengeringan yang dimulai dari sistem pembangkit panas hingga menjadi unit pengering utuh serbaguna.
2. Terbentuknya konfigurasi unit pengering yang berkinerja baik dan dapat diproduksi massal untuk dipergunakan mengamankan pasca panen komoditas pertanian.
3. Diperolehnya sistem pengeringan yang dikembangkan secara lokal bertumpu pada sumber daya alam terbarukan dan tersedia secara lokal yakni energi surya dan bahan bakar dari produk samping hasil panen jagung dan kelapa berupa tongkol dan tempurung kelapa.
4. Menjadi sarana kaji tindak karakterisasi pengeringan komoditas spesifik lokal yang akan berlangsung kontinyu dalam kerangka studi mahasiswa dan pengembangan keilmuan dosen serta mendukung peletakan dasar pengembangan pengeringan industri daerah.
5. Meningkatkan pangsa pasar energi terbarukan dalam negeri sebagaimana peraturan dan perundang-undangan yang terkait dengan upaya promosi pemerintah seperti (Kamaruddin, 2007);
  - a. Kebijakan Energi Nasional-KEN, Sk Menteri No. 0983/K/16/MEM/2004 yang menargetkan keharusan penggunaan energi terbarukan mencapai minimal >5% dari total energi primer pada 2020.



- b. Konsep energi hijau – SK Menteri No. 0002/2004; yang berisikan prioritas pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan, pemanfaatan energi bersih dan mempunyai efisiensi tinggi serta kegiatan konservasi energi.
  - c. UU Ratifikasi Kyoto Protokol No. 17/2004.
  - d. PP No. 3, 2005 tentang kewajiban menggunakan energi setempat terutama yang berasal dari sumber-sumber energi terbarukan.
6. Meningkatkan kemampuan meneliti bagi dosen Universitas Negeri Gorontalo mengantisipasi kerjasama dengan Ehime University – Japan dalam bentuk *joint research* yang telah disepakati.

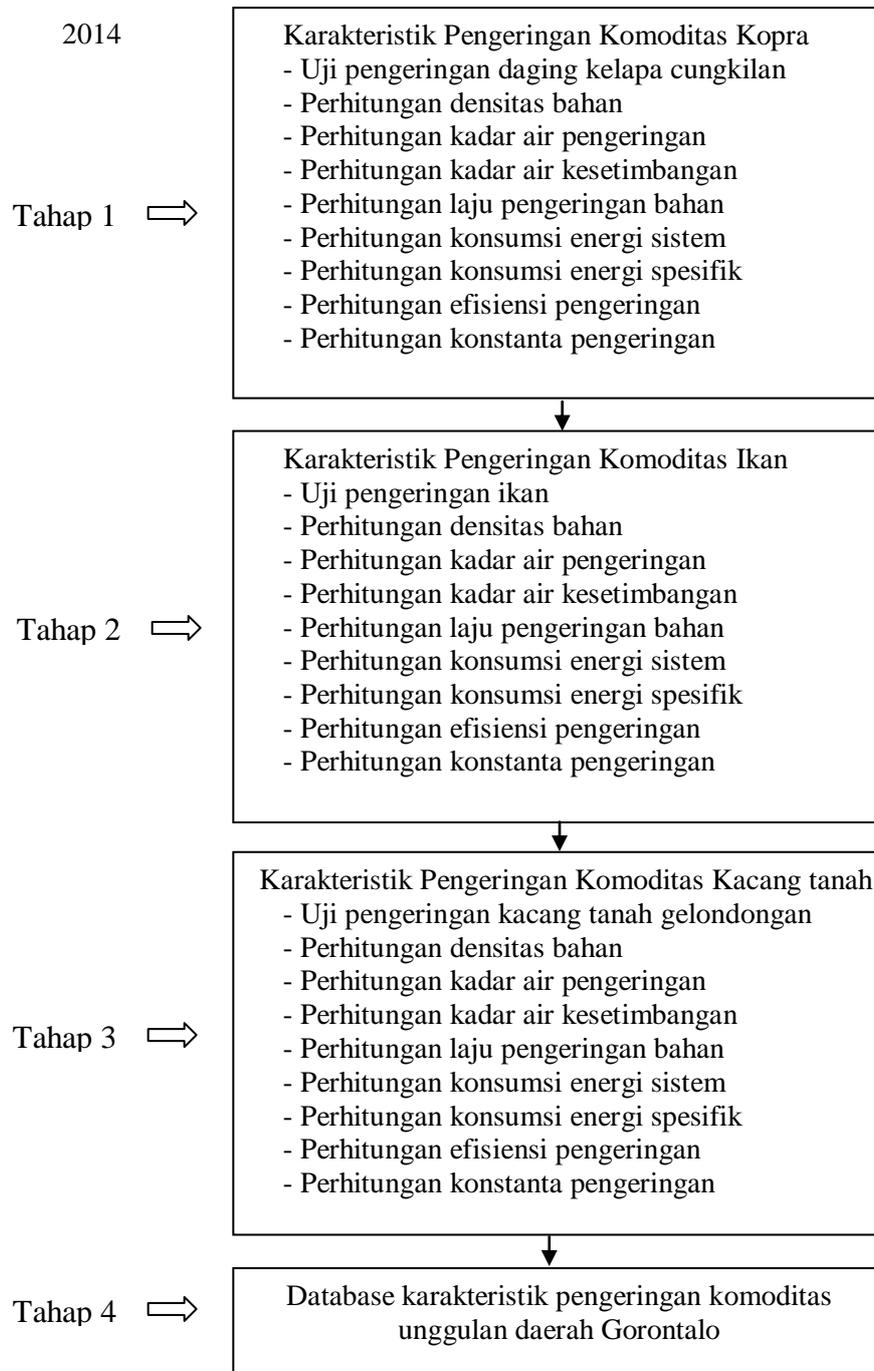


## BAB IV. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dan bagan alir yang menggambarkan tahapan kegiatan adalah sebagai berikut:

1. Instalasi dan setting sistem pengeringan dan instrumentasi
2. Uji pengeringan komoditas unggulan daerah Gorontalo
3. Analisis hasil dan karakteristik pengeringan komoditas terpilih

Tahapan,



Gambar 1. Bagan Alir Karakterisasi Komoditas Unggulan Gorontalo – 2014



Metode yang digunakan dalam penelitian mencakup :

#### 1. Metode Instalasi Sistem Pengeringan

Metode instalasi dan konstruksi sistem pengeringan mencakup seni pemasangan dan akurasi agar faktor kehilangan panas pengeringan dapat dihindari. Akurasi instalasi juga akan menentukan ketepatan pergerakan wadah bahan yang fleksibel dan aliran udara yang tepat mengenai bahan yang akan dikeringkan. Metode ini akan berkontribusi pada efisiensi sistem pengering yang dihasilkan sehingga penerapannya harus memperoleh perhatian dengan baik.

#### 3. Metode Uji Sistem Pengeringan

Metode ini dilakukan baik per komponen alat pengering yang dihasilkan maupun secara terintegrasi dalam satu sistem pengeringan. Metode ini dilakukan pada kondisi tanpa beban pengeringan agar setiap mekanisme sistem yang didesain berjalan lancar. Kepastian tidak adanya kemacetan pada saat pengeringan dengan komoditas sangat penting agar tidak menimbulkan bahan yang siap tidak terproses dengan semestinya.

#### 4. Metode Analisis Hasil dan Karakterisasi Komoditas

Metode uji dan analisis hasil serta karakterisasi komoditas dilakukan dengan beban pengeringan dan pemasangan instrumen terlebih dahulu agar data-data sistem pengeringan dapat dikumpulkan. Perangkat instrumen yang akan dipakai meliputi unit akuisisi data berupa komputer dan *device* sensor suhu dan kelembaban udara, instrumen radiasi surya, instrumen kelistrikan, instrumen udara pengeringan seperti alat ukur kecepatan udara, instrumen bahan yang dikeringkan seperti alat ukur kadar air dan timbangan serta software pemrosesan data. Prosedur pengumpulan data dapat bersifat kontinyu maupun diskontinyu. Sistem akuisisi data oleh komputer akan merekam data kontinyu sedangkan pengukuran parameter secara manual akan bersifat diskontinyu. Data diskontinyu seperti berat bahan yang diwakili sampel dapat diukur per 30 menit atau per jam. Demikian pula data seperti kecepatan udara pengering, daya listrik terpakai, radiasi surya akan bersifat diskontinyu.

Pengukuran parameter meliputi:

##### a. Suhu

Pengukuran suhu yang dilakukan pada beberapa titik pengukuran untuk melihat sebaran suhu. Adapun suhu yang diukur meliputi suhu lingkungan, suhu udara masuk, suhu ruang pengering, suhu bahan, dan suhu udara keluar diukur dengan sistem akuisisi data menggunakan sensor maupun termometer.



b. Kelembaban Relatif (RH)

Pengukuran RH meliputi RH lingkungan, RH udara masuk, RH ruang pengering, dan RH udara keluar. Kelembaban relatif diukur menggunakan sistem akuisisi data menggunakan sensor maupun dengan termometer bola basah dan bola kering serta psychometric chart.

c. Kadar Air Bahan

Pengukuran kadar air bahan dengan metode oven melibatkan timbangan baik analitik maupun digital.

d. Konduktivitas Bahan

Pengukuran konduktivitas bahan yang dikeringkan dengan alat ukur konduktivitas

e. Grade/Mutu Bahan

Mutu bahan hasil pengeringan akan dianalisa secara visual meliputi warna, tekstur, aroma dan dibandingkan dengan hasil pengeringan metode lain.

5. Metode Analisis dan Induksi

Metode analisis data menggunakan persamaan-persamaan berdasarkan tujuan penelitian seperti perhitungan laju pengeringan, konstanta pengeringan, kadar air kesetimbangan dan parameter mutu lainnya.

Target yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah sebuah sistem pengering hybrid yang memanfaatkan sumber energi terbarukan yakni energi biomassa (tongkol jagung dan tempurung kelapa) dan energi surya yang tersedia secara melimpah untuk mengatasi kelangkaan bahan bakar minyak (BBM). Sistem pengering ini selanjutnya akan diintroduksi ke petani atau industri pengolahan hasil pertanian yang sudah ada atau menjadi sistem pengering yang diusulkan dalam proses industrialisasi pangan maupun non pangan. Sistem pengering yang dihasilkan tersebut wajib di *back up* oleh data pengujian baik skala laboratorium maupun skala lapangan untuk menghindari sikap apatis dari calon pengguna (user). Baik desain, sistem dan data-data pengujian performansi sistem serta database karakterisasi pengeringan komoditas melalui penelitian tahun 2014 ini.



## BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Instalasi dan setting sistem pengeringan serta instrumentasi memegang peranan penting dalam rangka *capturing* data yang bersifat primer. Desain penelitian secara keseluruhan juga sangat berpengaruh terhadap data yang akan diperoleh baik kuantitas maupun kualitasnya. Data-data yang akan di rekam selama berlangsungnya percobaan dan pengujian antara lain data sistem pengeringan dan data karakteristik bahan yang dikeringkan. Percobaan dan pengujian secara garis besar dibedakan berdasarkan komoditas yang dikeringkan dan terbagi atas kajian data sistem pengeringan dan data karakteristik bahan yang dikeringkan tersebut.

Instrumen ukur yang disiapkan antara lain adalah timbangan gantung berkapasitas 50 kg untuk bahan yang akan dikeringkan, timbangan duduk kapasitas 20 kg untuk bahan bakar tempurung kelapa dan timbangan untuk sampel bahan.



Gambar 2. Jenis timbangan; analog gantung (a), analog duduk (b), digital (c)

Instrumen ukur suhu/temperatur udara yang digunakan adalah termometer batang alkohol untuk pengukuran suhu udara lingkungan (bola kering dan bola basah) dan suhu udara ruang pengering outlet (bola kering dan bola basah). Pengukuran suhu bola kering dan bola basah ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelembaban udara melalui tabel psikrometrik sehingga kondisi udara dapat terpantau tingkat kekeringannya. Sedangkan termometer batang tipe K yang dilengkapi display angka digunakan untuk mengukur temperatur tungku pembakaran arang. Termokopel kabel tipe K yang dihubungkan ke Authonic Display dengan selektor multiflekser digunakan untuk mengukur suhu plat radiasi surya, lingkungan, berbagai titik ruangan pengering dan bahan yang dikeringkan. Instrumen suhu dan kelembaban udara berupa sensor SHT75 digunakan hanya untuk mengukur suhu ruangan utama pengeringan.



Gambar 3. Termometer batang alkohol dan termometer display

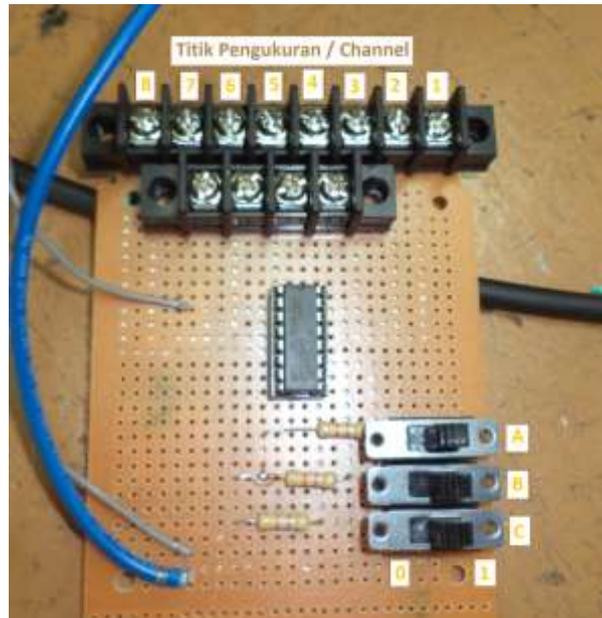


Gambar 4. Termokopel kabel tipe K, Display dan Multiflekser

Penggunaan multiflekser pada penelitian ini bertujuan untuk dapat merekam suhu pada ruangan hingga 8 titik rekam. Sedangkan perekaman suhu pada Authonic Display berjumlah 5 titik rekam sehingga total titik rekam yang dapat dilakukan adalah 12 dengan memanfaatkan sebuah channel pada authonic display tersebut. Desain yang diperbanyak yakni dengan 5 buah multiflekser dapat merekam hingga 40 titik rekam suhu. Perekaman



suhu dengan alat ini masih dilakukan secara manual pada setiap selang waktu yang diinginkan.



Gambar 5. Sistem Multiflekser dengan 8 channel

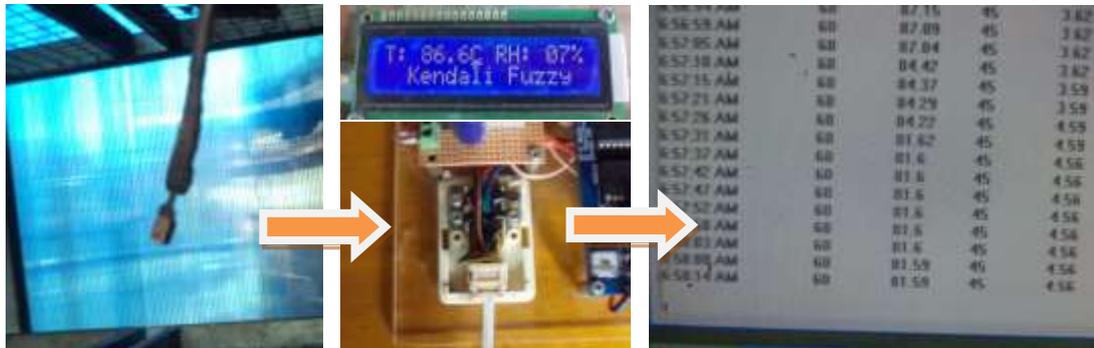
Adapun kombinasi untuk setiap input dan output berdasarkan tabel kebenarannya adalah sebagaimana tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Tabel kebenaran multiflekser 8 channel

Simbol perlakuan	Status Input			"On" Channel
	C	B	A	
	0	0	0	1
	0	0	1	2
	0	1	0	3
	0	1	1	4
	1	0	0	5
	1	0	1	6
	1	1	0	7
	1	1	1	8
'' ''	x	x	x	Tidak Ada



Disamping pengukuran suhu/temperatur dengan sistem termokopel seperti dijelaskan di atas, dalam penelitian ini juga melibatkan sistem akuisisi data suhu dan kelembaban ruangan dengan sensor SHT75 ke perangkat komputer dekstop.



Gambar 6. Pengukuran suhu dengan sensor SHT75 dan Sistem Akuisisi Data

### I. Komoditas Kopra

Pengeringan daging kelapa basah hasil cungkil menjadi kopra kering dilakukan dengan sistem pengeringan wadah rak. Proses pengolahan dilakukan dengan terlebih dahulu mengupas dan mencungkil daging kelapa basah hingga mencukupi untuk dikeringkan dengan wadah rak yang tersedia. Daging kelapa basah dihamparkan pada rak bertingkat pada kedua trolley dan dimasukkan ke ruang pengering. Pengaturan pada proses ini, sebagaimana gambar 7, terkait sebaran yang merata pada rak agar juga merata pada ruang pengeringan. Tumpukan yang merata dan hampir penuh pada setiap rak pada sistem ini dapat memuat bahan kopra sekitar 500 – 750 kg.



Gambar 7. Proses muat daging kelapa basah ke rak trolley

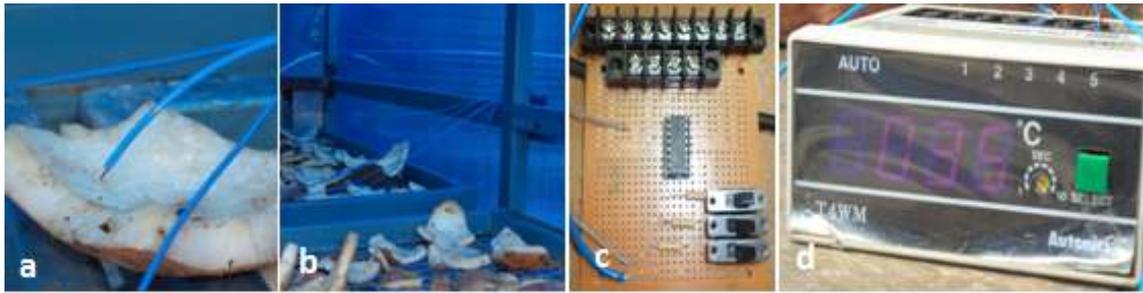


Gambar 8. Daging kelapa basah pada rak pengeringan

Pada gambar 8 terlihat hamparan kopra basah pada rak dalam ruang pengeringan dimana pengaturan yang baik akan memudahkan udara panas untuk menembus bahan melalui pori-pori yang terbentuk. Dengan pengaturan yang rata juga akan menyebabkan bahan akan kering secara merata dan cepat kering. Untuk mengetahui sebaran suhu pada berbagai titik dalam ruang pengering maka diletakkan termokopel yang akan merekam suhu atau temperatur yang terbentuk. Disamping sebaran suhu dalam ruangan yang dapat diketahui juga suhu dalam daging kelapa juga dapat diketahui dengan cara menusukkan ujung termokopel sehingga masuk ke daging kelapa tersebut.

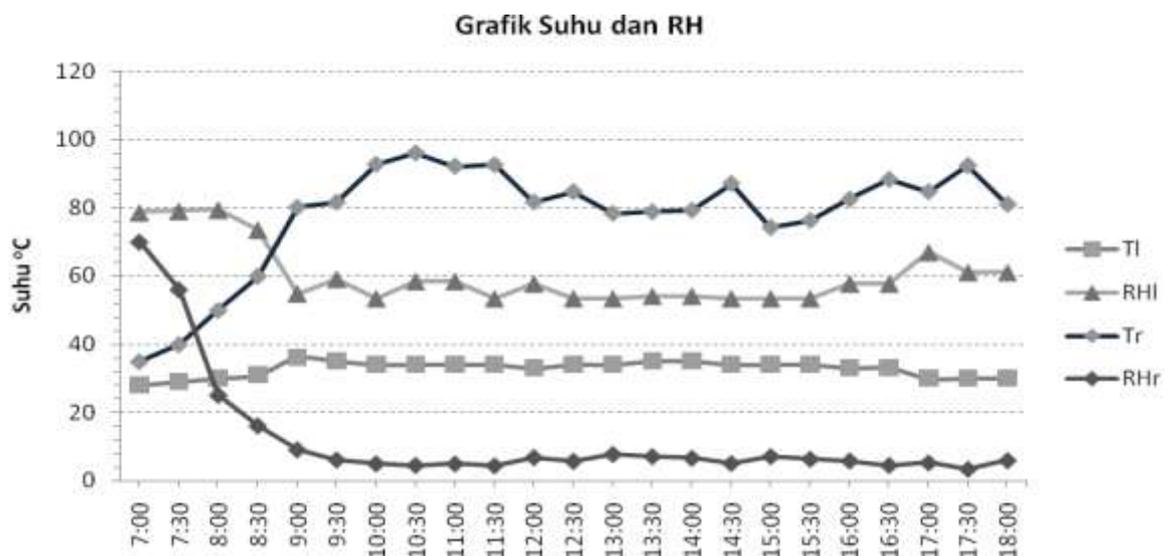


Gambar 9. Pengukuran titik suhu dengan termokopel kabel



Gambar 10. Pengukuran basis termokopel (a,b), multiflekser (c), & *authonic display* (d)

Kinerja sistem pengeringan tergambar pada grafik berikut, dimana suhu ruangan pengering ( $T_r$ ) rata-rata  $77,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban (RHr) berkisar 12 % dari suhu rata-rata lingkungan ( $T_l$ )  $32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan kelembabannya (RHl) 60,3%. Udara pengering terbentuk dengan kondisi suhu/temperatur yang tinggi dan kelembaban yang rendah sehingga memiliki kapasitas menampung uap air bahan yang dikeringkan.

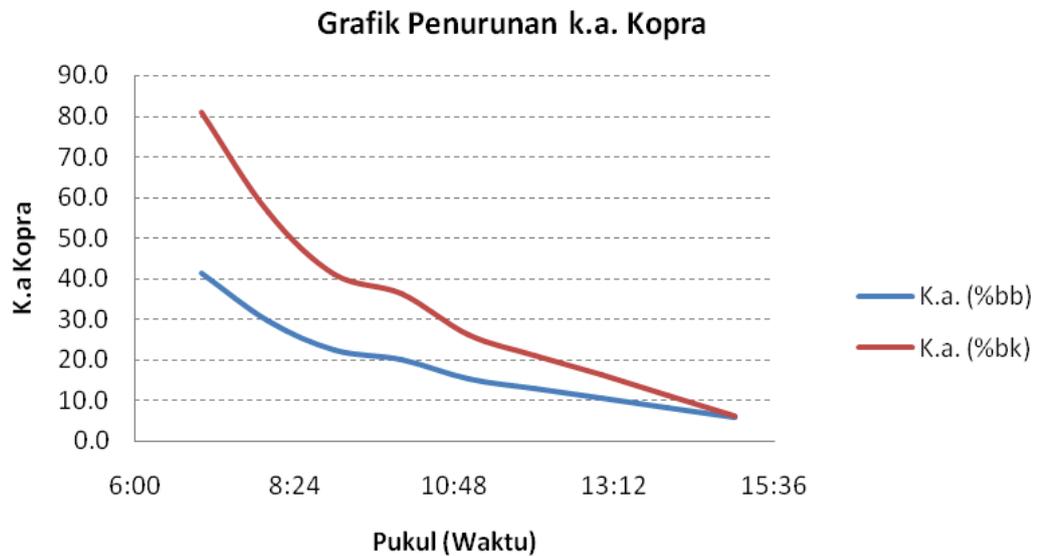


Gambar 11. Grafik suhu udara pengeringan dan lingkungan

Proses pengeringan kopra dilakukan dari pagi hari hingga sore hari dengan rata-rata waktu 8,5 jam. Kopra basah dengan kadar air awal 70,8 %bk (41,4 %bb) menjadi kadar air akhir rata-rata 6,2 %bk (5,8 %bb) dengan perbandingan berat akhir dengan berat awal (rendemen) sebesar 58,63%. Grafik penurunan kadar air dalam satuan basis basah dan basis kering dapat dilihat pada gambar 9. Disini jumlah energi yang digunakan pada proses pengeringan sebanyak 941.149 kJ. Panas yang diterima udara pengering sebagai energi berguna sebesar 497.997 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan sebagai energi berguna sebesar 7.841 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebagai energi berguna sebesar 435.311 kJ. Dengan demikian efisiensi pengeringan

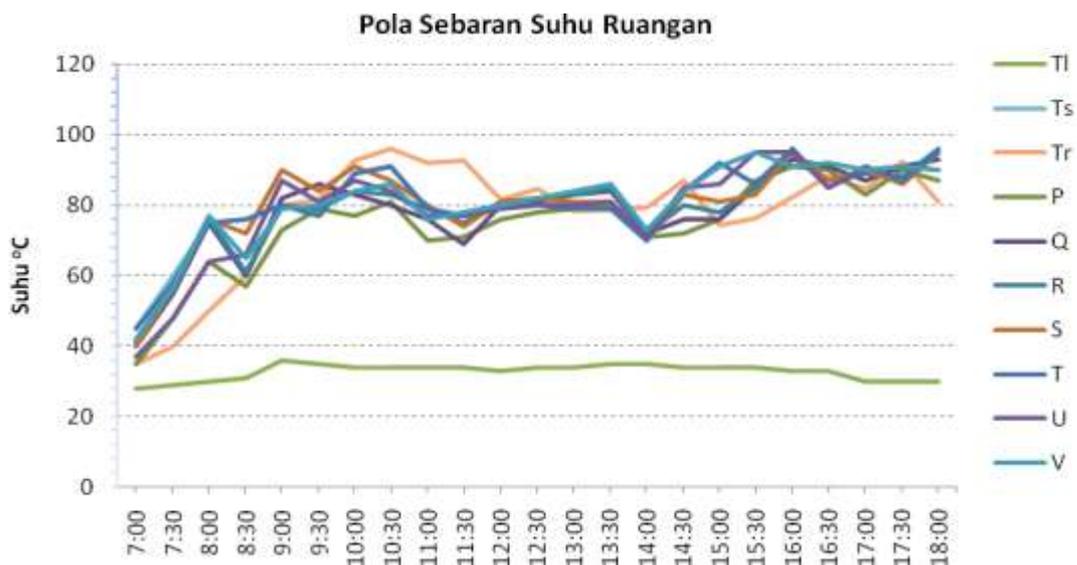


diperoleh sebesar 89 % sedangkan efisiensi termal bangunan sebesar 27 %. Konsumsi energi spesifik (KES) dari proses pengeringan ini diperoleh sebesar 36.190 kJ/kg.



Gambar 12. Grafik penurunan kadar air kopra

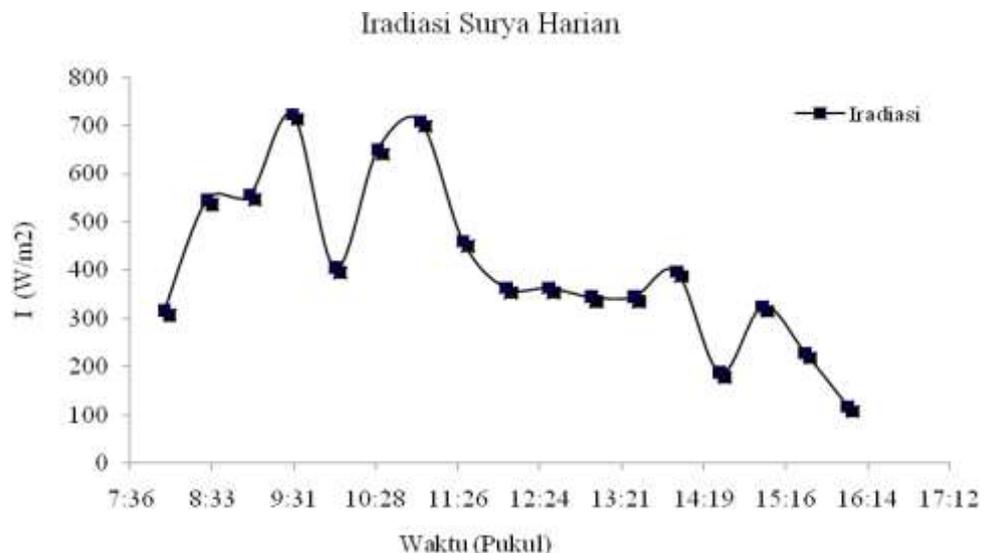
Sebaran suhu dalam ruangan pengering pada beberapa titik yang direkam dengan sistem termokopel multichannel terlihat pada grafik berikut. Pola suhu terlihat seragam dan memiliki perbedaan yang tidak begitu besar sehingga akan menyebabkan efek kering bahan yang merata. Garis suhu lingkungan (Tl) juga disertakan sebagai pembanding terhadap suhu dalam ruangan.



Gambar 13. Grafik sebaran suhu dalam ruangan pengering



Pengamatan terhadap iradiasi surya harian pada saat percobaan tersebut menunjukkan cuaca dan penyinaran surya yang cerah pada pagi hari dan sedikit berawan pada sore hari. Pengukuran iradiasi surya menggunakan rekaman suhu termokopel yang tertangkap plat hitam. Pengukuran dilakukan dari pukul 8:00 hingga pukul 16:00 dengan selang 30 menit. Rata-rata iradiasi surya harian diperoleh sebesar  $414,0 \text{ W/m}^2$  dengan nilai energi  $762.353 \text{ kJ}$ . Selain energi bahan-bakar tempurung dan radiasi panas surya yang diamati sebesar  $1.085.000 \text{ kJ}$ , dalam percobaan ini juga melibatkan energi listrik untuk penggerak blower udara pengeringan dengan nilai total  $1.102.160 \text{ kJ}$ . Profil iradiasi surya harian dengan metode konversi dari suhu plat hitam yang direkam dengan termokopel terlihat dalam grafik berikut ini.



Gambar 14. Grafik iradiasi surya harian selama satu hari percobaan

Ketiga jenis sumber energi berupa biomassa, radiasi surya dan listrik memiliki peranan yang saling sinergi dalam melangsungkan proses pengeringan setiap komoditas. Energi radiasi surya dalam pengeringan ini berkontribusi melalui mekanisme efek rumah kaca sehingga menimbulkan panas atau termal pada bangunan pengering. Energi biomassa berupa tempurung kelapa berperan sebagai sumber panas utama melalui pembakaran tungku untuk mencapai tingkat suhu udara pengering yang dikehendaki. Sedangkan energi listrik difungsikan secara minimal hanya untuk menggerakkan blower udara pengering. Komposisi ketiga jenis energi tersebut di atas adalah 37%, 26% dan 37% masing-masing untuk biomassa, surya dan listrik.

Uji laboratorium terhadap komoditas hasil pengeringan kopra dilakukan untuk mengukur kadar lemak dan asam lemak bebas sebagaimana tabel 3 berikut ini.



Tabel 3. Hasil uji laboratorium kopra kering.

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode
1	Lemak	%	84,3	Gravimetrik
2	Asam lemak bebas	%	0,70	Titrimetrik

Mutu kopra yang dihasilkan cukup baik yakni terlihat dari warna coklat pucat, bersih dan bau khas kopra dengan kadar air kurang dari 5,8 % basis basah. Berdasarkan standar SNI 01-3946-1995, kopra yang dihasilkan dengan kadar air maksimal 8 % dan kadar lemak minimal 55 % serta kadar asam lemak bebas maksimal 3 % termasuk ke dalam mutu B.

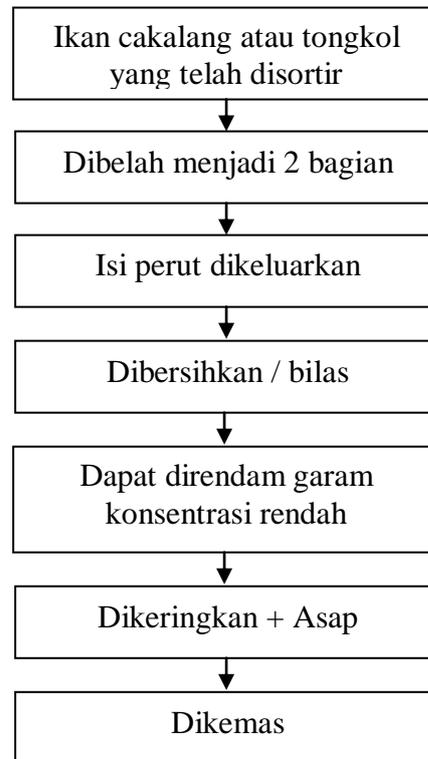
Memperhatikan SNI yang berlaku bagi komoditas kopra maka faktor mutu yang sangat menentukan adalah tingkat kadar air. Desain alat pengering mencakup pengeringan alamiah yang memanfaatkan panas radiasi surya melalui struktur dinding transparan. Kadar air kopra dapat saja mencapai maksimal 5 % sebagaimana persyaratan mutu A dengan cara membiarkan kopra beberapa hari tanpa perlakuan dalam ruang pengering sehingga persyaratan kadar airnya terpenuhi.

## II. Komoditas Ikan

Salah satu komoditas hasil perikanan yang memiliki ciri khas di daerah Gorontalo dan Manado adalah ikan kering asap atau dikenal dengan istilah "ikan fufu". Komoditas ini akan menjadi salah satu unggulan dengan beberapa kriteria yang mendukung seperti keberadaan jenis ikan cakalang, tongkol, ekor kuning dan tuna yang melimpah. Ikan yang paling prospektif diolah menjadi ikan kering asap adalah jenis ikan cakalang dan tongkol karena harganya yang murah dan kuantitas tangkapannya yang banyak. Jenis ikan ini sering kali di bekukan dengan freezer karena serapan pasar yang masih rendah selama ini. Pengolahan menjadi ikan kering asap (ikan fufu) dimasyarakat masih terbatas jumlahnya dengan segmen pasar seperti pasar rakyat. Produk ikan kering asap ini sebenarnya memiliki prospek yang baik jika dilakukan pengolahan dengan skala industri dan pemasaran yang luas dengan perbaikan kemasan. Jenis pasar yang dapat



dirambah adalah pasar rakyat, swalayan dan pasar luar daerah. Pengolahan ikan menjadi ikan kering asap termasuk sederhana seperti terlihat dalam bagan berikut ini.



Gambar 15. Diagram pengolahan ikan kering asap.

Pemilihan bahan baku ikan dengan mempertimbangkan tingkat kesegaran, ukuran yang seragam agar pengemasan dapat dengan mudah dirancang. Jika ukuran tidak seragam maka dapat dilakukan penyeragaman pemotongan agar sesuai dengan kemasan yang disiapkan. Proses pembelahan ikan dilakukan dengan pisau yang tajam agar memperoleh tampilan pemotongan yang rata.



Gambar 16. Ikan cakalang segar dan ukuran yang seragam

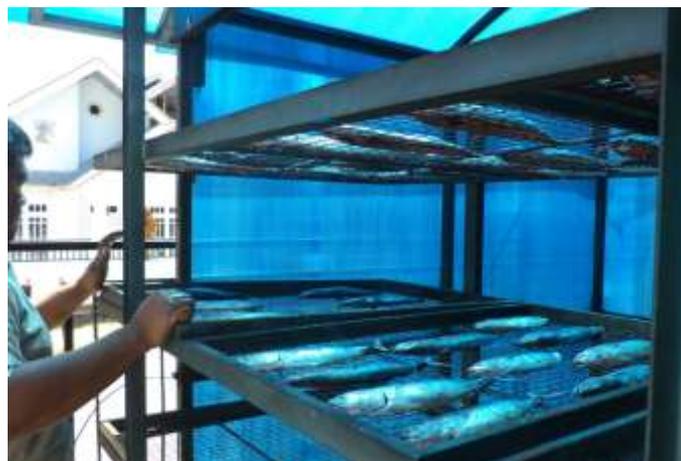


Proses perendaman dengan garam bersifat opsional karena dalam masyarakat terdapat jenis pengolahan yang tidak memberikan perlakuan garam. Pertimbangan lain adalah pemberian garam berkonsentrasi rendah tidak merusak selera terhadap ikan kering asap dan memberikan efek pengawetan yang akan memperpanjang masa simpannya.



Gambar 17. Proses pembelahan dan pembersihan perut ikan

Proses pengeringan ikan dengan tambahan asap dilakukan dengan modifikasi tungku dan penukar panas hasil desain. Konsentrasi asap yang digunakan diatur melalui pembakaran sabut kelapa yang masih basah. Jumlah tempurung kelapa bersabut yang masih basah untuk pembakaran dibatasi. Pembatasan ini disamping untuk mengatur konsentrasi asap yang dihasilkan juga untuk menghindari suhu udara pengering yang rendah.



Gambar 18. Pengaturan ikan dalam rak pengeringan



Belum ada kuantifikasi yang dilakukan terhadap tempurung bersabut untuk proses pembakaran tungku. Salah satu parameter penunjuk adalah tingkat suhu dalam ruangan dan tungku pembakaran melalui termometer penunjuk. Jika suhu ruangan turun sebagaimana ditunjukkan dalam tungku pembakaran maka sabut basah diganti dengan tempurung kering. Dengan demikian suhu pengeringan dapat dipertahankan pada selang 60 – 90 °C (sebagaimana grafik suhu pada gambar 11). Disamping suhu ruang pengeringan, suhu daging ikan pada titik tengahnya juga dikontrol melalui termokopel yang ditusukkan masuk sehingga dapat dipantau pergerakan suhu yang akan membuat daging ikan kering asap tersebut matang.



Gambar 19. Suasana ruang pengeringan berasap ringan

Proses kontrol ini sangat penting untuk memastikan ikan matang secara tepat dan proses pengeringan dapat segera dihentikan untuk efisiensi dan efektifitas proses. Penusukan ujung termokopel ke dalam daging ikan dilakukan pada pusat ketebalannya seperti terlihat pada gambar berikut ini.



Gambar 20. Pemantauan suhu dalam daging ikan melalui ujung termokopel.

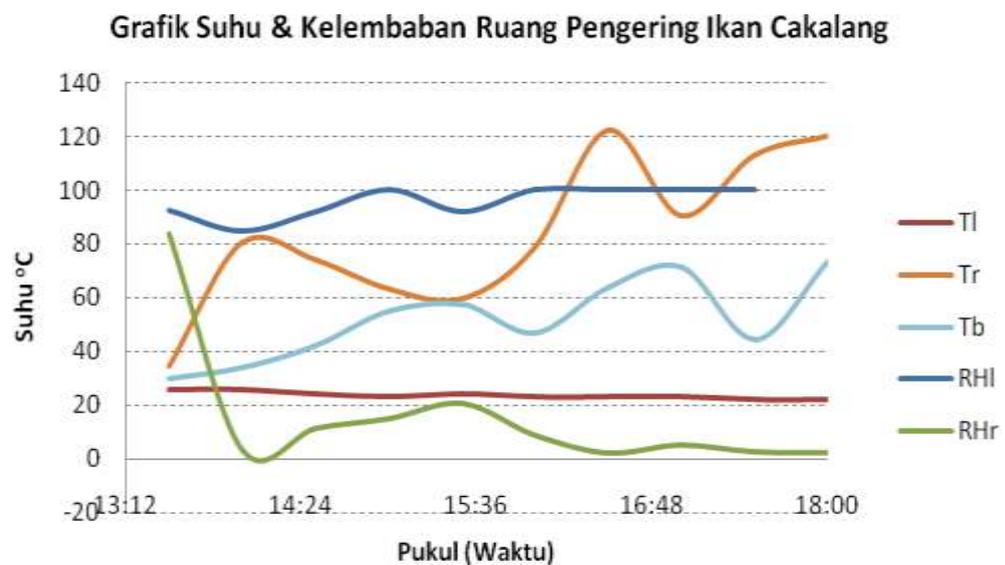


Gambar 21. Perubahan struktur fisik daging ikan pengeringan asap



Gambar 22. Ikan cakalang kering asap "Ikan fufu"

Proses pengeringan asap ikan cakalang berlangsung dalam waktu sekitar 4,5 jam dengan rata-rata suhu ruangan (Tr) 83,6 °C dan kelembaban udara (RHr) 15,6 % dari suhu lingkungan (Tl) 23,6 °C dan kelembaban udara lingkungan (RHl) 96 %.



Gambar 23. Grafik suhu udara pengeringan asap ikan cakalang



Dari gambar 23 terlihat bahwa suhu ruangan ( $T_r$ ) yang meningkat menyebabkan kelembaban udara dalam ruangan ( $RH_r$ ) menurun dari suhu lingkungan ( $T_l$ ) dan kelembaban udara lingkungan ( $RH_l$ ). Parameter yang penting terlihat pada suhu daging ikan ( $T_b$ ) dimana dari awal pengeringan selalu lebih rendah dari suhu ruangan ( $T_r$ ). Pada tahap akhir proses pengeringan cenderung mendekati suhu ruangan yang berarti suhu daging ikan telah matang. Sedangkan penurunan kadar air ikan cakalang selama pengeringan berlangsung dari kadar air awal 73 % basis basah (267 % basis kering) hingga kadar air 42,3 % basis basah (73,4 % basis kering) seperti tampak pada grafik berikut ini.



Gambar 24. Grafik penurunan kadar air ikan cakalang



Gambar 25. Produk kering asap ikan cakalang yang siap dikemas



Kondisi suhu bahan yang dikeringkan dalam penelitian ini ( $t_b = 52\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) sesuai dengan Sri Heruwati (2002) yang menguraikan upaya mencegah terjadinya oksidasi dan ketengikan pada lemak (Bligh et al., 1988), serta menurunkan kualitas nutrisi protein (Raghunath et al., 1995) sehingga pengeringan harus dilakukan pada suhu di bawah  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Pengasapan juga harus dilakukan selama waktu dan kepekatan asap serendah mungkin, karena asap mengandung senyawa-senyawa karbonil yang akan bereaksi dengan lisin dan mereduksi kualitas protein.

Beberapa jenis vitamin yang terdapat dalam ikan akan mengalami kerusakan sebagai akibat proses pengeringan atau pengasapan, tergantung waktu dan suhu, pH, serta terjadinya penirisan (Burt, 1988). Demikian pula pengasapan panas (di atas  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) dapat menyebabkan hilangnya vitamin yang larut dalam air seperti niasin, riboflavin, dan asam askorbat hingga 4% (Bhuiyan et al., 1993). Pemanasan yang berlebihan (di atas  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$  secara berulang) dapat menyebabkan pembentukan  $\text{H}_2\text{S}$  yang merusak aroma dan mereduksi ketersediaan sistein dalam produk (Pan, 1988).

Jumlah energi yang digunakan pada proses pengeringan asap ikan cakalang adalah 601.083,8 kJ. Panas yang diterima udara pengering sebagai energi berguna sebesar 459.589,7 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan sebagai energi berguna sebesar 3.467,7 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebagai energi berguna sebesar 138.027,3 kJ. Efisiensi pengeringan yang diperoleh dalam percobaan ini adalah sebesar 30,8% dengan efisiensi termal alat sebesar 74,6%. Sementara konsumsi energi spesifik pada pengeringan ikan ini diperoleh sebesar 46.301,0 kJ/kg.



Gambar 26. Kemasan kardus yang dapat digunakan untuk penyimpanan



Komposisi energi yang digunakan dalam pengeringan asap ikan cakalang ini adalah energi biomassa dari tempurung dan sabut kelapa sebesar 616.182 kJ (64%) dan energi listrik 348.730 kJ (36%) tanpa ada energi surya karena selama pengeringan sedang mendung dan gerimis dengan kelembaban lingkungan mencapai 96,12 %.

Ikan cakalang asap kering yang dihasilkan dalam kegiatan ini selanjutnya dianalisis secara laboratorium untuk mengetahui kandungan phenol, formalin, kadar garam, kadar abu, lemak dan protein.

Tabel 4. Beberapa parameter penting hasil pemeriksaan laboratorium

No.	Parameter	Unit	Hasil	Metode
1	Phenol	ug/g	< 0,3	Spektrofotometrik
2	Formalin	--	Negatif	Kualitatif
3	Kadar garam	%	3,81	Grafimetrik
4	Kadar abu	%	7,64	Grafimetrik
5	Lemak	%	13,85	Grafimetrik
6	Protein	%	20,5	Titrimetrik

Tabel 5. Hasil uji mikrobiologi

Jenis sampel	ALT Bakteri (CFU/gr)	Kultur Salmonella (/25 gr)	Kultur E.coli
Ikan utuh	$2,27 \times 10^7$	negatif	negatif

Berdasarkan persyaratan mutu yang diatur dalam SNI, syarat dan keamanan pangan secara kimia dinyatakan antara lain kadar air maksimal 60 %, kadar garam maksimal 4 %. Sedangkan secara mikrobiologi Salmonella syaratnya negatif, E.coli maks < 3 dan Angka Lempeng Total (ALT) maksimal  $1,0 \times 10^5$  sehingga nilai ALT tidak memenuhi syarat. Nilai ALT yang besar antara lain disebabkan oleh kandungan air yang masih tinggi (k.a. 42,3 %bb) sehingga memungkinkan mikroba berkembang biak dalam kemasan kardus yang sifatnya terbuka selama pengiriman ke Laboratorium di Makassar untuk di analisis.



Jarak pengiriman/ekspedisi dari Gorontalo ke Makassar dengan kondisi yang muncul pada komoditas ikan juga menjadi data dasar dalam perbaikan baik kadar air ikan maupun jenis kemasan yang akan dikembangkan untuk menjajaki pasar dan distribusinya di waktu mendatang. Data kondisi komoditas yang muncul dalam pengiriman sangat penting mengingat Makassar merupakan salah satu target daerah pemasaran bagi ikan asap kering tersebut.

Kadar formalin (aldehida) juga dianalisis dengan hasil negatif; sebagai salah satu komponen asap yang berdampak tidak baik bagi kesehatan khususnya pencernaan manusia. Phenol sebagai senyawa kimia dari komponen asap yang berperan sebagai antioksidan dari hasil analisis ini hanya berkadar kurang dari 0,3 ug/g. Sedangkan kadar garam yang memenuhi persyaratan SNI sebesar kurang dari 4 % memberikan rasa dengan kategori sedap jika daging ikan dikonsumsi langsung sesaat setelah pengeringan asap. Kadar garam tersebut cenderung hambar jika daging ikan di rebus kembali dalam masakan berkuah atau campuran sayur. Peningkatan kadar garam untuk menambah daya awet produk dapat dilakukan sampai atas tertentu sehingga produk berubah menjadi ikan kering asap asin. Kadar abu (serat), kadar lemak dan protein dengan nilai masing-masing 7,64 %, 13,85 % dan 20,5 % merupakan nilai gizi yang harus dipertahankan atau bahkan ditingkatkan dengan perlakuan pengurangan pembilasan, perlakuan suhu dan asap yang tepat kadar dan levelnya.

### Komoditas Kacang Tanah

Kacang tanah merupakan salah satu komoditas yang ditanam oleh sebagian petani masyarakat Gorontalo. Konsumsi kacang tanah oleh masyarakat Gorontalo dalam berbagai bentuk pangan dan salah satu produk yang terkenal dan sering dijumpai dalam waktu senggang adalah kacang kulit goreng. Bentuk pengolahan kacang tanah kulit menjadi siap konsumsi selain digoreng adalah juga disangrai dengan pasir panas. Konsumsi kacang dalam bentuk ini biasanya diselingi dengan pisang meja. Bentuk pangan ini sangat familiar dan tersedia pada berbagai kesempatan kegiatan seperti saat pesta, kegiatan bersama, saat santai dan sebagainya.

Produksi kacang tanah oleh petani biasanya dilakukan pada daerah-daerah tertentu yang tanahnya berwarna coklat dan agak berpasir. Daerah tersebut seperti Botupingge, Batulayar dan lokasi lainnya secara terbatas. Produk kacang tanah kulit



matang juga tersedia di pasar-pasar rakyat sedangkan di Kota Gorontalo terdapat kios khusus sebagai tempat jajanan kacang dan pisang meja dalam bentuk sisir.

Kegiatan penelitian ini juga melakukan uji coba pengeringan kacang tanah kulit sebagai upaya menjaga kualitas dari sisi kadar air dan kemungkinan cemaran aflatoxin oleh jamur *aspergillus* sp. Komoditas kacang tanah dalam pengujian ini langsung diperoleh dari kebun petani dengan kemasan karung dan diletakkan dalam rak-rak pengeringan. Wadah bahan yang berupa talang dengan rang berlubang besar terlebih dahulu di lapisi dengan kawat rang kecil sehingga kacang tanah bisa tertahan dalam talang tersebut. Perbaikan talang rak pengeringan tersebut memungkinkan kacang tanah dapat disebar di atas talang rak pengeringan seperti terlihat pada gambar 27 berikut.



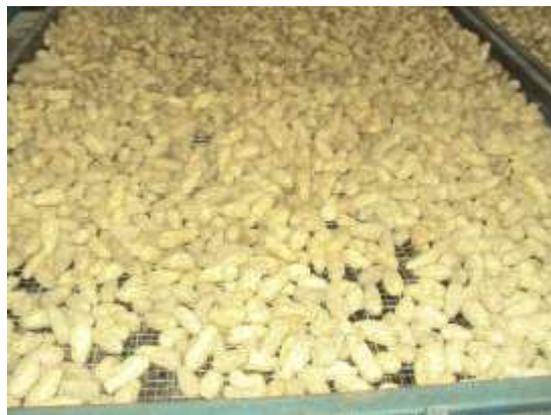
Gambar 27. Kacang tanah dalam rak pengeringan yang telah dimodifikasi



Gambar 28. Kacang tanah kulit dalam karung yang masih basah

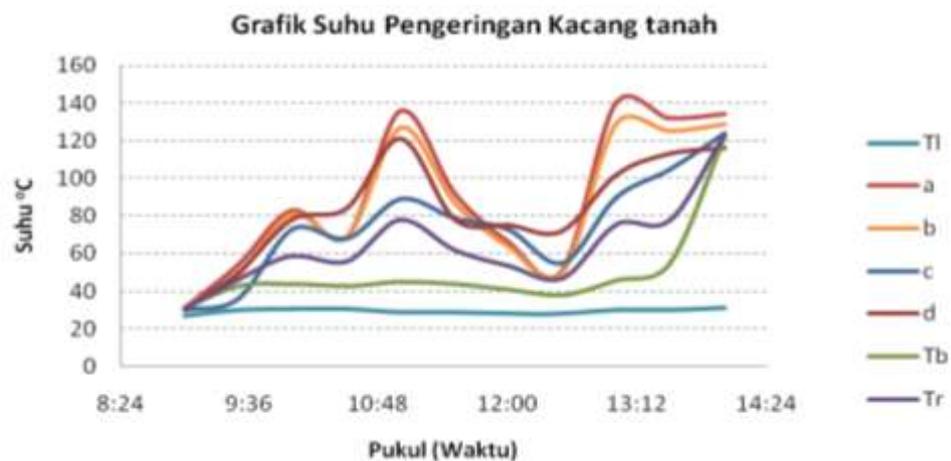


Gambar 29. Proses pengeringan kacang tanah



Gambar 30. Kacang tanah setelah proses pengeringan

Proses pengeringan kacang tanah berlangsung dalam waktu 5 jam dengan rata-rata suhu ruangan ( $T_r$ )  $82,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  dari suhu lingkungan ( $T_l$ )  $29,36\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban udara (RHI)  $68,1\%$ . Beberapa titik suhu yang diamati sebagai sebaran a,b,c,d dalam ruang pengering disamping suhu ruangan ( $T_r$ ), suhu bahan ( $T_b$ ) dan suhu lingkungan ( $T_l$ ) dapat dilihat pada grafik 31 berikut ini.



Gambar 31. Grafik suhu pengeringan kacang tanah



Penurunan kadar air kacang tanah dari kondisi awal 25,5 % basis basah atau 34,2 % basis kering menjadi kadar air akhir 6,6 % basis basah atau 7,04 % basis kering ditempuh dalam 5 jam tersebut. Berdasarkan SNI 01-3921-1995 tentang kacang tanah khususnya jenis kacang tanah polong (gelondong) disyaratkan bahwa untuk mutu I kadar air maksimum 8 % dengan rendemen minimum 65 %. Grafik penurunan kadar air dalam satuan % basis basah dan % basis kering dapat dilihat pada gambar 32 berikut ini.



Gambar 32. Grafik penurunan kadar air kacang tanah

Jumlah energi yang digunakan pada proses pengeringan kacang tanah adalah 544.935,3 kJ. Panas yang diterima udara pengering sebagai energi berguna sebesar 447.983,9 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan sebagai energi berguna sebesar 3.602,7 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebagai energi berguna sebesar 93.348,7 kJ. Efisiensi pengeringan yang diperoleh dalam percobaan ini adalah sebesar 21,6 % dengan efisiensi termal alat sebesar 43,8 %. Sementara konsumsi energi spesifik pada pengeringan kacang tanah ini diperoleh sebesar 377.575,4 kJ/kg.

Komposisi energi yang digunakan dalam pengeringan kacang tanah ini adalah energi biomassa dari tempurung dan sabut kelapa sebesar 724.920 kJ (49,9 %), energi surya 298.214 kJ (20,5 %) dan energi listrik 430.531 kJ (29,6 %). Sedangkan hasil analisis laboratorium berupa lemak dan protein mempunyai nilai seperti terlihat pada tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Hasil analisis laboratorium kacang tanah hasil pengeringan.

No	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode
1	Lemak	%	5,03	Gravimetrik
2	Protein	%	19,56	Titrimetrik



## BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Proses pengeringan beberapa komoditas daerah Gorontalo dilakukan dalam rangka pengujian hasil desain berupa unit pengering serbaguna yang terdiri atas tungku pembakaran biomassa, penukar panas (heat exchanger), dan ruangan pengering memanfaatkan mekanisme efek rumah kaca dengan wadah pengeringan rak. Sistem pengeringan ini memanfaatkan kombinasi energi biomassa, radiasi panas surya dan listrik penggerak blower. Model kombinasi ini ditujukan untuk efisiensi proses dengan tetap memanfaatkan energi surya yang tersedia sepanjang hari saat cuaca cerah dan mengandalkan pembakaran biomassa pada saat malam hari atau cuaca mendung dan hujan. Komposisi tingkat pemanfaatan masing-masing energi dapat diketahui pada setiap percobaan dan pengeringan secara alam dapat dilangsungkan dengan hanya mengandalkan panas radiasi surya saja. Model pengeringan yang melibatkan energi biomassa dan listrik penggerak blower sebaiknya dilakukan pada saat bahan masih mengandung kadar air yang tinggi untuk mencegah pembusukan. Sedangkan jika bahan sudah agak kering maka pengeringan dengan hanya memanfaatkan panas radiasi surya sangat efisien untuk dilakukan sepanjang kriteria waktu proses tidak terlalu dituntut.

Beberapa komoditas yang telah dikeringkan adalah kopra, ikan cakalang dan kacang tanah. Kinerja sistem pada pengeringan kopra diperoleh suhu ruangan pengering ( $T_r$ ) rata-rata  $77,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kelembaban (RHr) berkisar 12 % dari suhu rata-rata lingkungan ( $T_l$ )  $32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan kelembaban (RHl) 60,3%. Kopra dengan kadar air awal 70,8 %bk (41,4 %bb) menjadi kadar air akhir rata-rata 6,2 %bk (5,8 %bb) dengan rendemen hasil sebesar 58,63% ditempuh dalam waktu 8,5 jam. Energi yang digunakan pada proses pengeringan 941.149 kJ, panas yang diterima udara pengering sebagai energi berguna 497.997 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan 7.841 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebagai energi berguna sebesar 435.311 kJ. Efisiensi pengeringan diperoleh 89 % sedangkan efisiensi termal bangunan 27 %. Konsumsi energi spesifik (KES) dari proses pengeringan ini diperoleh sebesar 36.190 kJ/kg. Komposisi energi biomassa 1.085.000 kJ (37%), energi surya 762.353 kJ (26%) dan energi listrik sebesar 1.102.160 kJ (37%).

Proses pengeringan asap ikan cakalang dilakukan setelah dilakukan modifikasi dan perbaikan sistem heat exchanger yang memungkinkan pemanfaatan asap hasil pembakaran tungku. Proses kering asap ikan cakalang berlangsung dalam waktu 4,5 jam dengan rata-rata



suhu ruangan ( $T_r$ ) 83,6 °C dan kelembaban udara (RHr) 15,6 % dari suhu lingkungan ( $T_l$ ) 23,6 °C dan kelembaban udara cuaca mendung dan gerimis (RHI) 96%.

Jumlah energi yang digunakan pada proses pengeringan asap ikan cakalang adalah 601.083,8 kJ. Panas yang diterima udara pengering sebagai energi berguna sebesar 459.589,7 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan sebagai energi berguna sebesar 3.467,7 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebagai energi berguna sebesar 138.027,3 kJ. Efisiensi pengeringan yang diperoleh dalam percobaan ini adalah sebesar 30,8% dengan efisiensi termal alat sebesar 74,6%. Sementara konsumsi energi spesifik pada pengeringan ikan ini diperoleh sebesar 46.301,0 kJ/kg. Komposisi energi biomassa dari tempurung dan sabut kelapa sebesar 616.182 kJ (64%) dan energi listrik 348.730 kJ (36%) tanpa energi surya karena mendung dan gerimis.

Sedangkan proses pengeringan kacang tanah berlangsung dalam waktu 5 jam dengan rata-rata suhu ruangan ( $T_r$ ) 82,0 °C dari suhu lingkungan ( $T_l$ ) 29,36 °C dan kelembaban udara (RHI) 68,1%. Penurunan kadar air kacang tanah dari kondisi awal 25,5 % basis basah atau 34,2 % basis kering menjadi kadar air akhir 6,6 % basis basah atau 7,04 % basis kering.

Jumlah energi yang digunakan pada proses pengeringan kacang tanah adalah 544.935,3 kJ. Panas yang diterima udara pengering sebagai energi berguna sebesar 447.983,9 kJ. Panas untuk menaikkan suhu bahan sebagai energi berguna sebesar 3.602,7 kJ dan panas untuk menguapkan air bahan sebagai energi berguna sebesar 93.348,7 kJ. Efisiensi pengeringan yang diperoleh dalam percobaan ini adalah sebesar 21,6 % dengan efisiensi termal alat sebesar 43,8 %. Sementara konsumsi energi spesifik pada pengeringan ikan ini diperoleh sebesar 377.575,4 kJ/kg.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Abdullah K., D. Wulandani, L.O. Nelwan and L.P. Manalu. 2000. Recent Development of GHE Solar Drying in Indonesia. *Drying Technol. Int. J.*, 19 : 245-256, 2001.
- Cakraverty A., & R.P. Singh. (2001). *Postharvest Technology; cereals, pulses, fruits and vegetables*. Science Publishers, Inc. New Hampshire.
- Dyah, W. 1997. Analisis Pengeringan pada Alat Pengering Kopi (coffea sp.) Efek Rumah Kaca Berenergi Surya. Tesis. Program Studi Keteknikan Pertanian. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Istadi I., and J.P. Sitompul. 2002. A Comprehensive Mathematical And Numerical Modeling of Deep-Bed Grain Drying. *Drying Technology*, 20(6), 1123-1142 (2002).
- Kamaruddin A., 2007. Dissemination of Greenhouse Effect (GHE) Solar Dryer in Indonesia. *Journal of ISESCO Science and Technology Vision - Volume 3 - Number 3 - May 2007* (102 – 105).
- Kamaruddin A., 2007. *Teknologi berbasis sumber energi terbarukan untuk pertanian*. IPB Press. Bogor.
- Kamaruddin A., 2009. Dissemination of Hybrid ICDC Solar Drying Systems. *Proceeding of Renewable Energy & Sustainable Development in Indonesia: Past Experience – Future Challenges*. Jakarta.
- Mohammadi A., S. Rafiee, A. Keyhani and Z. EmamDjomeh, 2008. Estimation of Thin-layer Drying Characteristics of Kiwifruit (cv. Hayward) with Use of Page's Model. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 3 (5): 802-805, 2008.
- Naibaho N. dan S.E. Agustina, 2011. Uji Performansi Mesin Pengering (Dryer) Efek Rumah Kaca (ERK) Hibrid Tipe Bak untuk Pengeringan Jagung Pipilan (*Zea mays L.*). Skripsi. Jurusan Teknik Mesin dan Biosistem. Fateta IPB. Bogor.
- Nelwan L.O. 1997. Pengeringan Kakao dengan Energi Surya Menggunakan Rak Pengering dengan Kolektor Tipe Efek Rumah Kaca, Thesis, Program PS. IPB Bogor.
- Tahir M. 1998. Pengeringan manisan pepaya dengan sistem kontrol suhu pada pengering efek rumah kaca berenergi surya dan biomassa. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor.
- Tahir M. 2008. Pengeringan jagung dengan mekanisme efek rumah kaca berenergi surya dan biomassa. *Jurnal Agrosains Tropis* Vol. 4 No: 1 Januari 2009, halaman 11-16.
- Tahir M., Subrata I.D.M, dan Purwanto Y.A. 2010. Desain kendali laju aliran udara dan sistem pengumpan bahan bakar biomassa berbasis fuzzy pada pengering ERK-Hybrid. *Jurnal Enjiniring Pertanian* Vol. VIII No: 2 Oktober 2010, halaman 95-104.
- Tahir M., Kasim, R., Bait, Y. 2013. Uji performansi desain terintegrasi tungku biomassa dan penukar panas. *Agritech* Vol. 33, No. 2, Mei 2013, halaman 219 – 225.



## Lampiran 1. Instrumen dan Parameter ukur/hitung Penelitian

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Keterangan
<b>Instrumen ukur</b>			
1	Timbangan gantung	Kapasitas 50 Kg,	
2	Timbangan duduk	Kapasitas 50 Kg,	
3	Timbangan sampel digital	Kapasitas 600 gram	
4	Termometer alkohol	0 – 110 °C	
5	Termometer display sense	0 – 600 °C	
6	Termokopel tipe K & display authonic	0 – 1000 °C	
7	Multiflekser 8 channel	Manual selector	
8	Sensor SHT75	0 – 120 °C	
9	Display LCD	2 rows	
10	Komputer dekstop dan monitor	Pentium IV	
11	Multimeter Digital	Sanwa	
12	Panel ukur radiasi surya	Terkalibrasi piranometer	
13	Pencatat waktu	Detik/menit/jam	
14	Mini oven	Kapasitas 6L	
15	Peralatan uji laboratorium	Paket	
<b>Parameter ukur</b>			
1	Berat	Kg	
2	Suhu / Temperatur	°C	
3	Temperatur bola basah	°C	
4	Temperatur bola kering	°C	
5	Tegangan bolak balik	V	
6	Tegangan searah	V	
7	Resistansi	Ohm	
8	Kuat arus bolak balik	Ampere	
9	Kuat arus searah	Ampere	
10	Iradiasi surya	Watt/Joule	
11	Waktu	detik	
<b>Parameter hitung</b>			
1	Energi	Joule	
2	Energi spesifik	Joule/Kg	
3	Kadar air	%	
4	Kadar protein	%	
5	Kadar lemak	%	
6	Kadar asam lemak bebas	%	
7	Kadar phenol	µg/g	
8	Kadar formalin/aldehid	µg/g	
9	Kadar garam	%	
10	Kadar abu	%	
11	ALT Bakteri	CFU/g	
12	Salmonella	/25 g	
13	E. coli	/25 g	



### LAPORAN HASIL UJI

#### Report of Analysis

No : 14112082 / LHU / BBLK-MKS / VIII / 2014

Nama Customer : MUH TAHIR, S.TP, M.Si  
 Customer Name :  
 Alamat : Dusun Olibow Desa Iluta Kec. Batudoa Gorontalo  
 Address :  
 Jenis Sampel : Ikan  
 Type of Sample (S) :  
 No. Sampel : 14112082 (Utuh)  
 No. Sample :  
 Tanggal Penerimaan : 26 Agustus 2014  
 Received Date : August 26, 2014

#### HASIL PEMERIKSAAN

No	Parameters	Units	Test Result	Method Specification
1	Phenol	ug/g	< 0.1	Spektrofotometrik
2	Formalin	-	Negatif	Kualitatif
3	Kadar Garam	%	3.81	Gravimetrik
4	Kadar Abu	%	7.64	Gravimetrik
5	Lemak	%	13.85	Gravimetrik
6	Protein	%	20.5	Titrimetrik

#### HASIL UJI MIKROBIOLOGI

Jenis Sampel	ALT Bakteri (CFU/gr)	Kultur Salmonella (25 gr)	Kultur E.coli
Ikan utuh	$2,27 \times 10^7$	Negatif	Negatif

### LAPORAN HASIL UJI

#### Report of Analysis

No : 14112084 / LHU / BBLK-MKS / VIII / 2014

Nama Customer : MUH TAHIR, S.TP, M.Si  
 Customer Name :  
 Alamat : Dusun Olibow Desa Iluta Kec. Batudoa Gorontalo  
 Address :  
 Jenis Sampel : Kacang Tanah  
 Type of Sample (S) :  
 No. Sampel : 14112084 (Butir utuh)  
 No. Sample :  
 Tanggal Penerimaan : 26 Agustus 2014  
 Received Date : August 26, 2014

#### HASIL PEMERIKSAAN

No	Parameters	Units	Test Result	Method Specification
1	Lemak	%	5.03	Gravimetrik
2	Protein	%	19.56	Titrimetrik



### LAPORAN HASIL UJI

#### Report of Analysis

No : 14112085 / LHU / BBLK-MKS / VIII / 2014

Nama Customer : MUH TAHIR, S.TP, M.Si  
 Customer Name :  
 Alamat : Dusun Olibow Desa Iluta Kec. Batudoa Gorontalo  
 Address :  
 Jenis Sampel : Kopra  
 Type of Sample (S) :  
 No. Sampel : 14112085 (Utuh)  
 No. Sample :  
 Tanggal Penerimaan : 26 Agustus 2014  
 Received Date : August 26, 2014

### HASIL PEMERIKSAAN

No	Parameters	Units	Test Result	Method Specification
1	Lemak	%	84.3	Gravimetrik
2	Asam Lemak Bebas	%	0.70	Titrimetrik

#### Lampiran 2. Personalia Tenaga Peneliti dan Kualifikasinya

No.	Nama	Kualifikasi	Unit Tugas
1.	Sofyan Hasan	SMK	Pengolah/pengering
2.	Muhammad Asfar	S2	Lab. Uji UNHAS

#### Lampiran 3. Foto tenaga bantu proses pengolahan dan pengeringan



Teknisi pengolahan dan pengeringan



## Lampiran 4. Undangan Publikasi Seminar



**SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI INDUSTRI II  
AKADEMI TEKNIK INDUSTRI MAKASSAR  
MAKASSAR, 22-23 OKTOBER 2014**



Sekretariat Panitia SNTI II ATIM 2014  
Jln. Sunu No. 220 Makassar Telp. 0411- 449609, Fax. 0411-449867 Website: www.uppm.atim.ac.id.

**SURAT UNDANGAN**

No. Surat : 96/SNTI II/UPPM/SJ-IND.6.8/10/2014

Tgl : 10 Oktober 2014

Hal : Undangan Sebagai penyaji/pemakalah pada Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI) II  
ATIM 2014 di Ballroom Hotel Swiss Belinn Jl. Boulevard No.55 Makassar

Yth, Sdr(i) Pemakalah

- **Muhammad Tahir**
- Dkk

Dengan Hormat,

Selamat, Makalah Bapak/Ibu yang dikirim untuk partisipasi pada Seminar Nasional Teknologi Industri (SNTI) II ATIM, tanggal 22 Oktober 2014, telah **DITERIMA** untuk dipresentasikan. Panitia Pelaksana dengan ini Mengundang Bapak/Ibu untuk mempresentasikan makalah berikut pada Seminar tersebut di Ballroom Hotel Swiss Belinn Makassar:

No. Makalah : SNTI II ATIM – D.02

Judul Makalah : **DESAIN DAN UJI PERFORMANSI SISTEM PENGERINGAN MODEL RAK PENGERING  
ERK**

Untuk informasi, Silahkan kontak kami dengan email([Panitia.snti@gmail.com](mailto:Panitia.snti@gmail.com)/[Panitia.snti@yahoo.com](mailto:Panitia.snti@yahoo.com))

Terima kasih atas partisipasinya.

Hormat Kami,  
  
**Dr. Idi Amin, ST., M.Si.**  
**Ketua Panitia**

*Tembusan:*  
Direktur ATIM

## DESAIN DAN UJI PERFORMANSI SISTEM PENGERINGAN MODEL RAK PENGERING ERK

Muhammad Tahir<sup>1</sup>, Amiruddin<sup>2</sup>, Leopold Oscar Nelwan<sup>3</sup>, I Dewa Made Subrata<sup>3</sup>  
Universitas Negeri Gorontalo, Politeknik Gorontalo, Institut Pertanian Bogor  
muhtahirlaw@gmail.com, amirudin\_82@poligon.ac.id, lonelwan@yahoo.com

### ABSTRAK

Sebuah sistem pengering surya efek rumah kaca (ERK) dengan rak telah didesain dan diuji untuk pengeringan kopra. Selain memanfaatkan energi surya, energi biomassa melalui tungku yang dilengkapi dengan penukar panas digunakan dalam sistem ini sebagai sumber panas utama. Pengujian kinerja dilakukan pada kondisi radiasi surya yang memadai dan kipas aksial dengan sumber energi listrik dioperasikan selama pengujian. Parameter yang diamati dalam pengujian mencakup radiasi surya, suhu dan kelembaban udara serta kadar air pada beberapa tingkatan rak. Proses pengeringan kopra sebanyak 250 kg dengan kadar air awal 42,7 – 18,4 % basis basah ditempuh dalam waktu 6,5 jam dan pengeringan alamiah (panas surya) selama 1-2 hari untuk memperoleh kopra kering dengan kadar air 6,4% basis basah. Rasio konsumsi energi surya, biomassa dan listrik masing-masing sebesar 13,9%, 70,4% dan 15,7% dengan efisiensi termal sistem pengeringan 22%. Konsumsi energi spesifik (KES) masih cukup tinggi; 31,42 MJ/kg sebagai rasio input energi terhadap satu satuan massa air yang diuapkan. Rata-rata suhu ruang pengeringan adalah 65 °C yang diperoleh dari laju pembakaran biomassa 3,8 kg/jam dan rata-rata iradiasi surya 548 W/m<sup>2</sup>. Perbedaan suhu rata-rata antar titik pengukuran pada rak sebesar 2,5 °C sementara rata-rata perbedaan kadar airnya 0,4 % basis basah.

**Kata kunci** : Kopra, energi, desain terintegrasi, sistem pengeringan rak, mekanisme efek rumah kaca.

### ABSTRACT

The drying system in this research as an integrated of tray model which designed in the green house effect mechanism had been tested. A completely design of drying system was found after installed it to the biomass furnace and heat exchanger as the main source of heat. Performance test of the drying was conducted under solar heat radiation influence and the need of electricity to create air circulation from axial fan. Drying process of 250 kg copra with initial water content of 42.7 - 18.4 % wet basis need time of 6.5 hours and 1-2 days drying naturally as only solar heat radiation influence to 6.4 % wet basis of the dried copra. The ratio of energy consumption of solar heat radiation, biomass energy and electricity were 13,9%, 70,4% and 15,7% respectively with thermal efficiency of drying system was 22%. There were high enough of specific energy consumption (SEC); 31.42 MJ/kg as the ratio of energy input to the unit mass of water evaporated. Temperature of drying system was 65 °C, obtained from 3.8 kg/hour biomass rate burning and 548 W/m<sup>2</sup> of solar irradiation. Temperature difference among the points of measurement on trays was 2.5 °C while the water content difference between the same points above was 0.4 % wet basis.

**Keywords**: Copra, energy, integrated design, tray drying system, green house effect mechanism.

### PENDAHULUAN

Salah satu pengering tipe hibrid yang banyak di kembangkan adalah mekanisme efek rumah kaca dengan kombinasi sumber panas surya dan biomassa. Pengering jenis ini memiliki keuntungan dari segi biaya operasional pembangkitan panas yang rendah karena memanfaatkan ketersediaan energi surya dan biomassa yang melimpah di negara tropis. Penggunaan sumber energi panas dengan sistem kombinasi dimaksudkan untuk mengatasi kondisi ketersediaan sinar surya yang terpengaruh oleh cuaca. Cuaca mendung, hujan dan saat malam hari menyebabkan tidak tersedianya energi surya sehingga perlu digantikan oleh sumber energi lain seperti biomassa. Upaya meminimalkan penggunaan energi berbiaya mahal dan memaksimalkan penggunaan energi yang murah untuk proses pengeringan yang optimum adalah konsep yang akan diterapkan pada sistem pengeringan yang akan didesain.

Pemanfaatan peralatan pengering di daerah Gorontalo berlangsung seiring dengan upaya peningkatan pendapatan masyarakat pada sektor pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan. Komoditas pada sektor tersebut umumnya memerlukan proses pengeringan seperti gabah, jagung, kacang tanah, cengkeh, panili, kopi, kopra, kakao, silase dan wafer pakan ternak serta ikan, rumput laut. Proses pengeringan dalam hal ini diperlukan untuk memperoleh mutu komoditas sesuai tuntutan mutu perdagangan sekaligus menghindarkan komoditas dari kerusakan pasca panen. Pengusahaannya dapat berupa unit pengolahan skala kecil (*Small Processing Unit*) sejenis pabrik skala kecil yang mengolah hasil pertanian dan perikanan menjadi produk akhir yang siap dijual di supermarket [3].

Komoditas hasil pertanian, perkebunan, peternakan dan perikanan tersebut pada kenyataannya memiliki ragam karakteristik baik bentuk, ukuran dan sifat reologi bahan. Pemahaman terhadap sifat bahan

tersebut selanjutnya diimplementasikan dalam bentuk desain sistem pengeringan dan wadah bahan. Sistem pengeringan akan mengintegrasikan faktor fisik dalam bentuk ketersediaan sumber energi yang dibutuhkan dan yang mampu disediakan oleh lingkungan secara kontinyu dan ekonomis. Sedangkan wadah bahan akan mengintegrasikan bentuk, ukuran dan sifat reologi yang mendukung proses pengeringan bahan secara optimal dalam sistem pengeringan yang didesain.

Sistem pengeringan kemudian diwujudkan dalam melangsungkan proses pengeringan komoditas yang berbeda-beda karakteristiknya. Pengeringan dengan model rak akan disesuaikan dengan karakteristik komoditas yang akan dikeringkan. Pada kegiatan ini juga dilakukan instalasi sistem pembangkit panas berupa tungku biomassa dan penukar panas (*heat exchanger*) terintegrasi yang merupakan hasil desain kegiatan sebelumnya [9]. Pengujian sistem pengeringan selanjutnya ditujukan untuk memperoleh gambaran performansi sistem secara utuh dalam mengeringkan berbagai komoditas hasil pertanian yang dalam pengujian tahap awal ini menggunakan kopra.

### METODE PENELITIAN

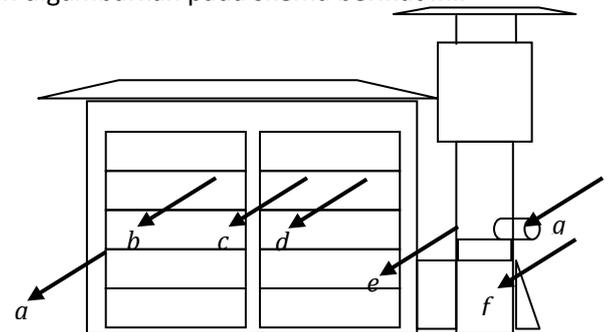
Metode yang digunakan dalam kegiatan ini adalah metode desain, instalasi dan konstruksi, metode uji fungsional serta metode uji performansi sistem pengeringan. Pada metode desain dilakukan perkeaan unit yang belum tersedia menjadi suatu wujud yang dapat diintegrasikan ke unit pembangkit panas yang telah didesain. Unit dimaksud meliputi bangunan pengering transparan, wadah pengeringan bahan model rak yang dapat bergerak dan berpindah.

Metode instalasi dan konstruksi serta uji fungsional mencakup seni pemasangan dan akurasinya agar semua unit berfungsi sebagai sebuah sistem pengeringan. Akurasi instalasi menentukan faktor kebocoran panas dan ketepatan pergerakan wadah bahan yang fleksibel serta aliran udara yang tepat mengenai bahan yang dikeringkan. Metode uji fungsional dilakukan pada kondisi tanpa beban pengeringan agar setiap mekanisme sistem yang didesain berjalan lancar. Kepastian tidak adanya kemacetan pada saat pengeringan dengan komoditas sangat penting agar tidak menimbulkan bahan yang tersedia tidak terproses dengan semestinya.

Metode uji performansi sistem dilakukan dengan beban pengeringan dan perangkat instrumen untuk pengumpulan data. Pengukuran parameter meliputi iradiasi surya, suhu, kelembaban udara, kadar air bahan dan laju aliran udara. Denah titik pengukuran sistem pengeringan digambarkan pada skema berikut ini.

Keterangan:

- Udara lingkungan
- Udara depan (dekat pintu; jauh dari sumber panas)
- Bahan (kopra yang dikeringkan)
- Udara tengah ruangan
- Udara hembusan kuat (dekat sumber panas)
- Tungku pembakaran
- Asap buangan



Gambar 1. Denah titik pengukuran temperatur

Metode analisis dan induksi meliputi perhitungan iradiasi surya, listrik, biomassa, laju pengeringan bahan, energi total pengeringan, energi total sistem, energi berguna dan efisiensi penggunaan energi.

a. Energi Surya, kJ

$$Q_S = 3.6 I_h A_p (\sigma \alpha) t \quad (1)$$

b. Energi Listrik, kJ

$$Q_L = 3.6 V . i . t \quad (2)$$

c. Energi Biomassa (tongkol jagung dan tempurung kelapa), kJ

$$Q_B = mb . Nkb \quad (3)$$

d. Laju pengeringan bahan, %basis basah/jam

$$\frac{dW}{dt} = \frac{W_i - W_t}{\Delta t} \quad (4)$$

e. Energi Total Pengeringan, kJ

$$Q_{TP} = \frac{q_u}{v} (h_3 - h_1) x 3600 t \quad (5)$$

f. Energi Total Sistem, kJ

$$Q_{TS} = Q_B + Q_S + Q_L \quad (6)$$

g. Energi Berguna, kJ

1. Panas yang diterima udara pengering

$$Q_{Ud} = \frac{q_u}{v_u} C_{pu} (T_r - T_l) \cdot 3600t \quad (7)$$

2. Panas untuk menaikkan suhu bahan

$$Q_{Sp} = m_{Oj} C_{pj} (T_r - T_j) \quad (8)$$

3. Panas untuk menguapkan air bahan

$$Q_{Uap} = Q_{TP} - (Q_{Sp} + Q_{Ud}) \quad (9)$$

4. Panas untuk menaikkan dan menguapkan air bahan

$$Q_{SpUap} = Q_{Sp} + Q_{Uap} \quad (10)$$

h. Efisiensi Penggunaan Energi, %

$$\eta_T = \frac{Q_{TS}}{Q_S + Q_B} \times 100\% \quad (11)$$

i. Komsumsi Energi Spesifik (KES), J/kg

$$KES = \frac{Q_{TS}}{m_{uap}} \quad (12)$$

Simbol :

$I_h$  = total iradiasi surya harian (Wh/m<sup>2</sup>)  
 $A_p$  = luas permukaan pengering (m<sup>2</sup>)  
 $\sigma$  = transmisivitas & absorpsivitas dinding  
 $t, \Delta t$  = lama waktu proses (jam)  
 $V$  = tegangan terpakai alat (Volt)  
 $i$  = arus rata-rata nominal alat (Amp)  
 $m_b$  = massa tongkol jagung (kg)  
 $N_{kb}$  = nilai kalor bahan (kJ/kg)  
 $W_i$  = kadar air awal (%basis basah)  
 $W_t$  = kadar air akhir (%basis basah)  
 $q_u$  = debit udara (m/detik)

$v$  = volume jenis udara (m<sup>3</sup>/kg)  
 $h_3$  = entalpi akhir (kJ/kg)  
 $h_1$  = entalpi awal (kJ/kg)  
 $C_{pu}$  = panas jenis udara (kJ/kg°C)  
 $T_r$  = suhu udara ruang pengering (°C)  
 $T_l$  = suhu udara lingkungan (°C)  
 $T_j$  = suhu bahan (°C)  
 $C_{pj}$  = panas jenis bahan (kJ/kg°C)  
 $M_{oj}$  = massa awal bahan (kg)  
 $M_{uap}$  = massa air diuapkan selama - pengeringan (kg)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL DESAIN

#### Struktur Pengering Efek Rumah Kaca dan Rak Pengeringan

Sistem pengeringan yang didesain pada kegiatan ini adalah pengering efek rumah kaca (ERK) yang dikonstruksi dari besi kotak, besi siku dengan dinding berbahan polikarbonat, plat seng dan pengencang mur baut serta paku keling (*rivet*). Tinggi struktur bangunan pengering ERK; 2,2 meter, panjang dan lebar 2,1 meter. Pintu di bagian muka dengan landasan rel tempat rak keluar masuk ruang pengeringan. Pada bagian belakang dilengkapi pengarah udara panas pengering yang terbuat dari seng plat. Udara panas berasal dari sistem pembangkit panas tungku biomassa dan penukar panas (*heat exchanger*). Kerangka rak sebanyak 2 buah dan memiliki ukuran yang sesuai dengan ukuran ruang pengering ERK. Kerangka rak dikonstruksi dari besi UNP (*U Normal Profile*) dan besi siku serta roda besi. Sedangkan rak bahan terbuat dari besi kotak dengan kawat rang.

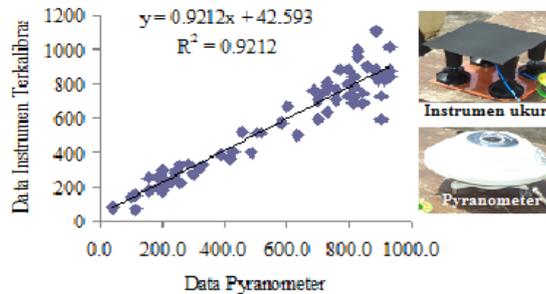


Gambar 2. Instalasi unit sistem pengeringan dengan kerangka dan rak pengeringan bahan

Dimensi panjang satu buah kerangka rak berukuran 2 m, lebar 0,94 m dan tinggi 2 m. Sedangkan satu buah rak berukuran panjang 0,92 m dan lebar 0,60 m. Model pengeringan rak ini ditujukan untuk bahan atau hasil pertanian dan perikanan yang berbentuk lempeng dan untaian. Contoh bahan yang dapat dikeringkan dengan model rak adalah daging kelapa, irisan buah pisang, irisan ubi jalar dan ubi kayu, irisan ikan dan rumput laut.

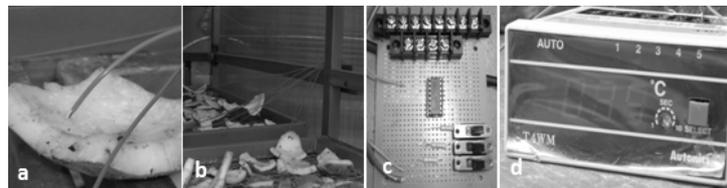
### Instrumen Ukur Radiasi Surya dan Suhu Udara

Desain instrumen pengukur radiasi surya menggunakan model plat penyerap panas menghasilkan model regresi linier dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,921. Model ini menunjukkan hubungan antara besaran iradiasi surya harian yang terukur dengan suhu lingkungan dan suhu plat penyerap panas tersebut. Penggunaan desain model ini adalah untuk mengatasi keterbatasan prosedur izin penggunaan alat ukur pyranometer pada lokasi pengujian yang relatif terpencil. Model persamaan iradiasi surya yang dihasilkan adalah  $18,09T_p + 20,09(T_p - T_{lingk}) - 555,452$ . Gambar berikut menunjukkan proses kalibrasi alat ukur pyranometer dengan desain instrumen yang dihasilkan.



Gambar 3. Grafik kalibrasi instrumen ukur radiasi surya

Desain alat ukur suhu udara berbasis termokopel dilakukan untuk memperoleh rekaman suhu secara digital dan *multichannel* untuk 5 titik pengukuran bersifat tertutup (lokasi sulit tercapai secara manual) dan pada pengukuran titik tengah bahan (daging kelapa). Sedangkan *display* nya menggunakan Authonic dengan perantara multiflekser untuk pengukuran lebih dari 5 titik.



Gambar 4. Pengukuran basis termokopel (a,b), multiflekser (c), dan authonic *display* (d)

### Instalasi dan Pengujian Sistem Pengeringan

Instalasi sistem pengeringan meliputi unit pembangkit panas (penukar panas, tungku biomassa dan penampung bahan bakar), unit pengering efek rumah kaca, unit rak dengan landasan rel. Instalasi ini menginte-



Gambar 5. Sistem pengeringan siap uji (a), model rak dalam pengering (b).

grasikan semua unit desain meliputi unit penampung bahan bakar, tungku biomassa, penukar panas (*heat exchanger*), ruang pengering efek rumah kaca dan model pengeringan rak. Semua unit terintegrasi membentuk sistem pengering serbaguna yang berfungsi dengan komoditas yang dikeringkan. Setelah pengerjaan kerangka selesai, dilanjutkan dengan pemasangan dinding polikarbonat membentuk sistem pengeringan siap uji.

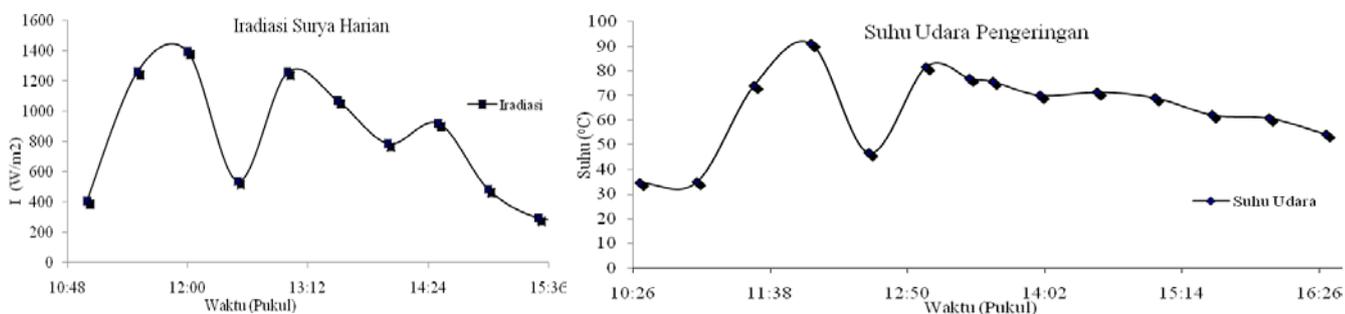
### PEMBAHASAN

Kegiatan desain menghasilkan sistem pengeringan meliputi bangunan pengering transparan, model pengeringan rak yang dapat bergerak di atas landasan rel dengan kapasitas hingga 750 kg, sistem instrumen *multichannel* dengan termokopel, sensor SHT75 dan termometer alkohol serta instalasi terintegrasinya dengan sistem pembangkit panas tungku dan penukar panas.

Uji fungsional terhadap masing-masing unit pengering menunjukkan fungsi yang baik untuk melangsungkan proses pengeringan komoditas yang dicobakan yakni kopra. Pemilihan komoditas kopra mengingat bahan baku yang melimpah untuk dijadikan kopra kering dan produk samping berupa sabuk dan tempurung kelapa sekaligus dijadikan bahan bakar jenis terbarukan. Komoditas ini juga memiliki karakteristik yang dapat diuji pada model pengeringan rak. Pengeringan model rak dilakukan dengan mengatur ketebalan secara terbatas mengikuti pola lapisan tipis pada luasan sekitar 4 m<sup>2</sup> dengan 5 tingkat susunan rak. Proses pemuatan dan pembongkaran bahan yang dikeringkan dilakukan diluar ruang pengering dengan cara menarik

dan mendorong rak pengeringan tersebut di atas landasan rel. Desain ini dilakukan untuk menciptakan suasana yang nyaman bagi operator dari kegerahan saat ruangan sudah memiliki suhu udara yang panas.

Pemilihan pengeringan jenis bangunan berdinding transparan dengan mekanisme efek rumah kaca adalah untuk tetap mengakomodasi pengeringan alamiah yang memanfaatkan panas radiasi surya harian yang melimpah di negara tropis seperti Indonesia. Keunggulan sistem ini dari jenis pengeringan konvensional adalah pemanfaatan luasan lahan yang relatif sempit dan terhindar dari gangguan alam seperti hujan dan serangan burung. Selain itu dengan model ini terbentuk selisih suhu secara alamiah antara ruang pengeringan dengan lingkungan berkisar 2 - 4 °C. Instalasi sistem pengeringan secara terpadu dengan unit pembangkit panas tungku biomassa dan penukar panas merupakan upaya mengatasi kendala alam seperti mendung dan hujan bahkan pengeringan tetap dapat dilangsungkan pada malam hari. Gambar 6 memperlihatkan perubahan iradiasi surya terhadap waktu selama pengujian. Pengamatan terhadap iradiasi surya dengan interval 30 menit pada hari pengujian dengan cuaca cerah dan suhu udara lingkungan rata-rata 33 °C diperoleh nilai rata-rata sebesar 548 W/m<sup>2</sup>. Iradiasi surya kumulatif harian dalam pengujian ini sebesar 4.618 Wh/m<sup>2</sup> atau 4,6 kWh/m<sup>2</sup>. Sebagai bahan pertimbangan besarnya iradiasi surya kumulatif per hari di Indonesia adalah 4,5 kWh/m<sup>2</sup> untuk kawasan barat Indonesia dan 5,1 kWh/m<sup>2</sup> untuk kawasan timur Indonesia [2]. Dengan rata-rata luas penampang alat pengering yang menerima radiasi surya 17,64 m<sup>2</sup> maka energi surya yang bermanfaat bagi pengeringan sebesar 25,5 kWh. Besaran nilai ini dipengaruhi oleh sifat daya tembus panas dinding polikarbonat merek solarlite dengan nilai 48,29% [7] dan sifat memantul bahan sekitar 3%.



Gambar 6. Grafik iradiasi surya harian dan suhu udara pengujian sistem pengeringan

Penggunaan energi surya, biomassa (tongkol jagung dan tempurung kelapa) dan listrik sebagai input pada proses pengujian sistem pengeringan dengan komoditas kopra memiliki perbandingan masing-masing 13,9%, 70,4% dan 15,7% sebagaimana tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Jenis, nilai dan persentase konsumsi energi

Jenis Energi	Nilai Konsumsi (kJ)	Nilai Konsumsi (kW)	Persentase kW (%)
Surya	596.427,9	25,5	13,9
Biomassa	1.140.500,0	129,1	70,4
Listrik	671.628,7	28,7	15,7
Total	2.408.556,6	183,3	100

Dari suhu udara lingkungan rata-rata sebesar 33 °C, suhu udara pengering rata-rata yang terhembus adalah 70 °C dan suhu rata-rata udara ruang pengeringan sebesar 65 °C, suhu panas bahan yang terekam melalui termokopel besarnya adalah 63 °C. Suhu bahan ini menunjukkan panas pada titik tengah yang secara logis dapat dijelaskan bahwa kadar air bahan dan sifat material bahan memiliki sifat mendinginkan dan adanya sifat tahanan tertembus panas. Dengan demikian terbentuk slop penurunan suhu dari udara pengering ke ruangan pengering hingga ke lapisan dalam daging kelapa (kopra). Sebaran suhu yang terbentuk di dalam ruang pengering adalah suhu udara terhembus 70 °C, suhu udara pada titik dekat sumber panas (belakang) 66,9 °C, suhu udara pada titik tengah ruangan 65 °C, dan suhu udara pada titik terjauh (depan) 62 °C.

Perubahan kadar air bahan yang dikeringkan dari berat awal kopra 250 kg dengan kadar air 42,7 %basis basah hingga kadar air akhir rata-rata sebesar 18,4 %basis basah dalam waktu 6 jam 30 menit. Berat akhir kopra yang telah dikeringkan seberat 175,73 kg dengan berat kandungan air yang diuapkan adalah 74,27 kg. Adapun kisaran kadar air pada beberapa titik dalam ruang pengeringan adalah 17,9 – 18,6 %basis basah. Sedangkan laju rata-rata pengeringan sebagai bentuk sifat bahan dalam proses pengeringan diperoleh sebesar 39,8 %bb/jam. Pengeringan lebih lanjut dilakukan secara alami dengan meletakkan kopra tersebut tetap di dalam rak pada ruang pengeringan. Kadar air akhir rata-rata setelah 1-2 hari pengeringan diperoleh sebesar 6,4 %basis basah.

Perhitungan energi total pengeringan menghasilkan nilai 395.141 kJ. Energi berguna berupa panas yang diterima udara pengering sebesar 381.230 kJ, panas untuk menaikkan suhu bahan 940 kJ dan panas untuk

menguapkan air bahan 13.911 kJ. Efisiensi termal sistem pengeringan sebesar 22% dengan konsumsi energi spesifik (KES) sebagai jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air yang diuapkan adalah 31.417 kJ/kg.

Beberapa literatur yang mengkaji aspek efisiensi peralatan pengering dalam kaitannya dengan bahan antara lain [1] yang mengembangkan dan mengevaluasi alat pengering kopra jenis *tray dryer* dengan nilai 19,33%. Dengan rata-rata suhu udara pengering 65 °C berbahan bakar minyak tanah, kopra dari kadar air awal 53,18% hingga 6,84% dengan kapasitas 30 kg ditempuh dalam waktu 14 jam. Pengujian rancangan alat pengering kopra berbahan bakar biomassa (kayu dan tempurung kelapa) dengan kapasitas sekitar 160 kg dengan nilai efisiensi penggunaan energi 6,51% dalam waktu 16 – 18 jam per perioda [10]. Sedangkan perbandingan konsumsi energi pada sistem pengering efek rumah kaca-hibrid dan *in-store dryer (ISD)* terintegrasi untuk jagung pipilan adalah 10,4%, 72,8% dan 16,4% untuk jenis energi surya, biomassa dan listrik dengan nilai KES 5.96 dan 7,96 MJ/kg uap air [5]. Perbandingan pengeringan dengan energi surya murni melalui sistem kolektor radiasi surya untuk pengeringan tandan kosong sawit buangan pengolahan minyak sawit adalah sekitar 66 jam tanpa henti (9 hari) dengan radiasi rata-rata berkisar 293-733 W/m<sup>2</sup> untuk menurunkan kadar air dari 79-4,18 % basis basah [6].

### KESIMPULAN

Beberapa aspek penting yang menjadi kesimpulan adalah sistem pengeringan yang didesain antara lain model rak dengan kapasitas mencapai 750 kg kopra basah. Pengujian yang dilakukan pada model rak dengan berat awal bahan 250 kg menjadi berat akhir 175,73 kg dengan 74,27 kg uap air. Pengujian dengan suhu udara pengeringan rata-rata 65 °C menurunkan kadar air dari 42,7 - 18,4 %basis basah dalam waktu 6 jam 30 menit. Pengeringan lanjutan secara alamiah untuk mencapai kadar air akhir yang dipersyaratkan untuk kopra sebesar 6,4 % basis basah memerlukan waktu sekitar 1-2 hari. Sebaran suhu antar titik pengukuran memiliki perbedaan rata-rata 2,5 °C dengan beda kadar air rata-rata antar titik yang sama 0,4% basis basah. Konsumsi energi surya 596.427,9 kJ, biomassa 1.140.500,0 kJ dan listrik 671.628,7 kJ dengan laju pembakaran tempurung 3,8 kg/jam dan rata-rata iradiasi surya 548 W/m<sup>2</sup> serta nilai efisiensi termal sistem pengering 22%. Sedangkan konsumsi energi spesifik (KES) sebagai jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air yang diuapkan sebesar 31.417 kJ/kg. Energi total pengeringan 395.141 kJ dengan energi berguna 381.230 kJ. Sedangkan energi untuk memanaskan bahan 940 kJ dan untuk menguapkan air bahan 13.911 kJ.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Direktur DP2M DIKTI atas dana hibah pekerti yang diberikan dalam kegiatan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Anderson. Pengembangan dan evaluasi teknis alat pengering kopra jenis *tray dryer*. *Jurnal Teknik Mesin* 3:61-70. 2006.
- [2] Energi dan Sumber Daya Mineral. Pemanfaatan Energi Surya di Indonesia. Tersedia. <http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-di-indonesia.html>. 17 Oktober 2013.
- [3] A. Kamaruddin. *Teknologi berbasis sumber energi terbarukan untuk pertanian*. IPB Press, Bogor. 2007.
- [4] L.O. Nelwan. *Pengeringan Kakao dengan Energi Surya Menggunakan Rak Pengering dengan Kolektor Tipe Efek Rumah Kaca*. Thesis. Program Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor. 1997.
- [5] L.O. Nelwan, D. Wulandani, T. W. Widodo dan R. Paramawati. Konsumsi energi dan biaya pokok pengeringan sistem pengering efek rumah kaca dan *in-store dryer (ISD)* terintegrasi untuk jagung pipilan. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian – Yogyakarta*, 18-19 November 2008.
- [6] F. Sulaiman, N. Abdullah, dan Z. Aliasak. Solar Drying System for Drying Empty Fruit Bunches. *Journal of Physical Science* 24(1):75–93. 2013
- [7] Solarlite Table Diagram. Polycarbonate Solarlite. Available. <http://www.Ciptaprima-perkasa.com/produk-234-polycarbonate-solarlite.html>. 26 September 2013.
- [8] M. Tahir, I.D.M. Subrata dan Y.A. Purwanto. Desain kendali laju aliran udara dan sistem pengumpan bahan bakar biomassa berbasis fuzzy pada pengering ERK-Hybrid. *Jurnal Enjiniring Pertanian VIII(2):95-104*. 2010.
- [9] M. Tahir, Y. Bait dan R. Kasim. Uji performansi desain terintegrasi tungku biomassa dan penukar panas. *Agritech* 33(2):219 – 225. 2013.
- [10] S. Triyono, A. Haryanto dan R.S. Haryati. Rancang bangun dan uji kinerja alat pengering kopra tipe rak berbahan bakar biomassa. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Pertanian – Yogyakarta*, 18-19 November 2008.