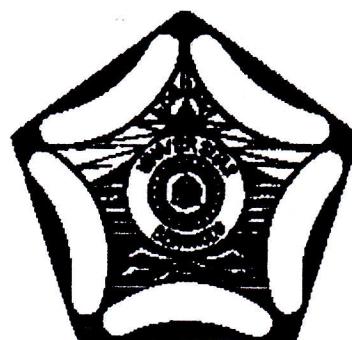


TEKNOLOGI

LAPORAN PENELITIAN HIBAH BERSAING



MODEL PENGERINGAN IKAN EFEK RUMAH KACA DENGAN PEMANFAATAN SUMBER ENERGI TERBARUKAN

**Dr. Ir. Muhamad Syaiful, MS
Ir. Sigit Mujiharjo, MSAE
Ir. Meizul Zuki, MS**

**UNIVERSITAS BENGKULU
NOPEMBER 2009**

DAFTAR PUSTAKA

- Bala B.K. and M.R.A. Mondol. 1999. Experimental Investigation on Solar Drying of Fish Using Solar Tunnel Drier. Proceedings of First Asian-Australian Dring Conference. Bali
- Bird, R.B., W.E. Stewart dan E.N. Lightfoot. 1960. Transport Phenomena. Jhon Wiley & Sons, Inc. New York
- Carslow, H.S. and J.C. Jaeger. 1971. Conduction of Heat and Solid. Oxford At the Clarendon Press.
- Devahastin. S. 2000. Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying. Exergex Corporation 3795 Navarre, Brossard, Quebec, Canada.
- Dyah. W. 1997. Analisa Pengeringan pada Alat Pengering Kopi Efek Rumah Kaca Berenergi Surya. Thesis. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Kamaruddin A, A.H. Tambunan, Thamrin, F. Wenur dan Dyah. M. 1994. Optimasi Dalam Perencanaan Alat Pengering Hasil Pertanian dengan Energi Surya. Laporan Penelitian Hibah Bersaing. Bogor
- ✓Kamaruddin. A. 2002. Fish Drying Using Solar Energy. Regional Workshop On Dring Technology 22nd – 26nd April 2002. Bangkok.
- Lunde. P.J. 1980. Solar Thermal Engineering Space Heating and Hot Water Syistems. John Wiley and Sons, New York.
- Mursalim. 1995. Uji Performansi Sistem Pengeringan Energi Surya dan Tungku Batubara Dengan Bangunan Tembus Cahaya sebagai Pembangkit Panas untuk Pengeringan Vanili. Fateta IPB. Bogor.
- Nelwan, L.O. 1997. Pengeringan Kakao dengan Energi Surya Menggunakan rak Pengering Dengan Kolektor Tipe Efek Rumah Kaca. Thesis. Program Pascasarjana IPB. Bogor
- Perry. R.H. and W.C. Chilton. 1973. Chemical Engineers Handbook. fifth edition McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. Tokyo
- Tarigan, A.S. 1999. Uji Kinerja Rumah Kaca Pengering dengan Bantuan Sel Surya Sebagai Penggerak Kipas. Fateta IPB. Bogor.
- Treybal, R.E. 1981. Mass Transfer Operation. Third edition. McGraw-Hill Book Company. Japan.
- Versteeg. H.K. and W. Malalasekera. 1995. An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method. Longman Sc & Technical. Malaysia.

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. Judul Penelitian : Model Pengeringan Ikan Efek Rumah Kaca Dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan

2. Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Dr. Ir. M. Syaiful, MS
b. Jenis Kelamin : L
c. NIP : 131688810
d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
e. Jabatan Struktural : Pembina
f. Bidang Keahlian : Konversi Energi
g. Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Mersin
h. Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu
i. Tim Peneliti

No.	Nama	Bidang Keahlian	Fakultas/ Jurusan	Perguruan Tinggi
1	Dr. Ir. M. Syaiful, MS	Konversi Energi	Teknik/Teknik Mesin	UNIB
2	Ir. Sigit Mujiharjo, MSAE	Teknik Pertanian	TIP Faperta UNIB	UNIB
3	Ir. Meizul Zuki, MS	Alat & Mesin Pertanian.	TIP Faperta UNIB	UNIB

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 1 tahun
c. Biaya yang disetujui tahun : Rp. 40.000.000,-



Bengkulu, Nopember 2009
Ketua Peneliti

Dr. Ir. M. Syaiful, MS
NIP 131688810



DAFTAR ISI

	Halaman
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Urgensi/Keutamaan Penelitian	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Prinsip Dasar Pengeringan	3
2.2. Proses Pengeringan Ikan	3
2.3. Pengeringan Dengan Energi Surya	4
2.4. Penegringan dengan Energi Biomassa	6
III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	8
3.1. Tujuan Penelitian	8
3.2. Manfaat Penelitian	8
IV. METODA PENELITIAN	10
4.1. Sistem Penegring Yang Diusulkan	10
4.2. Pemodelan Distribusi Kondisi Udara	11
4.3. Tahapan Simulasi	12
4.4. Model Persamaan Atur Dalam Alat Pengering	12
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
5.1. Hasil Pengujian	15
5.2. Menentukan Gradien Kecepatan, Suhu dan Massa Tak Berdimensi	18
5.3. Validasi Distribusi Kecepatan dan Suhu Udara Pengering	19
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	25
6.1. Kesimpulan	25
6.2. Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	28

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri pengolahan ikan kering dapat ditinjau sebagai suatu sistem produksi, yang mengubah masukan-masukan menjadi suatu produk yang dapat dipasarkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Masukan-masukan kedalam sistem produksi ini adalah bahan baku (ikan), tenaga kerja, modal, energi dan informasi.

Mengingat sifat komoditas ikan adalah tidak terlalu kuat, sehingga tidak memungkinkan untuk menumpuk bahan baku muda terjadinya pembusukan (*perishable*), sering bersifat musiman, maka konsistensinya secara tidak terbatas. Oleh karena itu, begitu ikan ditangkap memerlukan teknik penanganan (*handling*) dan pengolahan (*processing*) yang baik. Teknologi penanganan dan pengolahan ikan harus dimulai sejak penangkapan ikan hingga pemasaran kepada konsumen. Hal ini sangat penting untuk meningkatkan daya saing produk ikan dan juga akan meningkatkan nilai tambah.

Pengeringan bahan pangan umumnya bertujuan untuk mengawetkan bahan yang mudah rusak sehingga mutu dapat dipertahankan selama penyimpanan. Tujuan lainnya adalah mengurangi biaya dan memudahkan pengemasan, penanganan, penyimpanan dan transportasi dengan berkurangnya berat dan volume bahan serta untuk memperoleh cita rasa yang khas. Proses pengeringan terjadi melalui penguapan air, cara ini dilakukan dengan menurunkan kelembaban nisbi udara dengan mengalirkan udara panas disekeliling bahan, sehingga uap air bahan lebih besar dari pada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara. Faktor utama yang mempengaruhi kecepatan pengeringan dari suatu bahan pangan adalah sifat fisik dan kimia bahan, pengaturan geometris bahan dalam alat pengering, sifat fisik lingkungan dan karakteristik alat pengering. Sifat fisik dan kimia bahan meliputi bentuk, ukuran, komposisi dan kadar airnya.

Pengaturan geometris bahan berhubungan dengan permukaan alat atau media pemindah panas, sedangkan sifat fisik lingkungan dan karakteristik pengering meliputi suhu, kelembaban, kecepatan udara dan efisiensi perpindahan panas. Pengeringan sebagai salah satu bagian dari penanganan pasca panen yang merupakan proses untuk meningkatkan karakteristik fisik bahan hasil pertanian maupun perikanan. Peningkatan karakteristik fisik bahan diperlukan untuk meningkatkan mutu. Oleh karena itu mutu dari proses pengeringan menjadi penting bila dikaitkan dengan peningkatan mutu hasil penanganan pasca panen.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian terhadap sistem pengering ikan dengan menggunakan kombinasi energi surya, angin dan biomassa. Dalam kajian dilakukan analisa mendalam terhadap masing-masing unit kondisi operasi energi surya, angin dan biomassa.

Secara keseluruhan kajian dalam penelitian ini meliputi :

1. Menghasilkan rancang bangun proses termal berupa rancangan alat pengering sistem kombinasi energi surya, angin dan biomassa dalam upaya penggunaan energi terbarukan.
2. Pengujian penggunaan alat pengering sistem kombinasi energi surya, angin dan biomassa untuk mendapatkan unjuk kerja alat pengering skala laboratorium
3. Mendapatkan dimensi komponen system pengering yang optimal dengan menggunakan teknik pemodelan matematika, simulasi dan optimasi

1.3. Urgensi/Keutamaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat mengatasi permasalahan dalam proses pengeringan yaitu penurunan kualitas seperti distribusi kadar air yang besar, kerusakan akibat jamur atau perubahan biokimia yang tidak diinginkan. Bila distribusi aliran udara tidak merata atau seragam akan menyebabkan laju pengeringan bahan juga tidak merata.

Dari penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan dan dikaji sistem pengering yang menggunakan energi terbarukan yaitu energi surya, biomassa dan angin. Proses rancang bangun sistem pengeringan yang tepat, sangat membantu mengurangi masalah yang timbul pada saat sistem beroperasi, termasuk distribusi udara pengering. Alternatif yang dapat dipilih untuk membuat distribusi udara yang merata adalah geometri dari alat pengering yang dilengkapi dengan fan (kipas) sebagai alat pendistribusi aliran udara pada setiap rak yang ada dalam sistem pengering (tipe rak).

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

1. Prinsip Dasar Pengeringan

Pengeringan adalah operasi rumit yang meliputi perpindahan panas dan massa secara transient serta beberapa laju proses, seperti tranportasi fisik atau kimia, yang pada gilirannya dapat menyebabkan perubahan mutu hasil maupun mekanisme perpindahan panas dan massa. Perubahan fisik yang mungkin dapat terjadi meliputi: pengkerutan, penggumpalan, kristalisasi dan transisi gelas.

Pada pengeringan produk bahan makanan merupakan suatu upaya memindahkan kandungan air dengan penerapan panas dan secara praktis dikatakan sebagai upaya untuk menjaga kualitas suatu produk selama penyimpanan, untuk menekan bakteri dan jamur dan perkembang biakan insekta.

Pengeringan terjadi melalui penguapan cairan dengan pemberian panas ke bahan basah yang akan dikeringkan. Sebagai sumber panas pada proses pengeringan dapat disediakan melalui konveksi (pengering langsung), konduksi (pengering sentuh atau tak langsung) dan radiasi. Seluruh cara pengeringan , kecuali dielektrik, menyediakan panas pada objek yang dikeringkan sehingga panas harus berdifusi ke dalam padatan dengan cara konduksi. Cairan harus bergerak ke batas bahan sebelum diangkut keluar oleh udara pembawa.

2. Proses Pengeringan Ikan

Industri pengolahan ikan kering dapat ditinjau sebagai suatu sistem produksi, yang mengubah masukan-masukan menjadi suatu produk yang dapat dipasarkan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Masukan-masukan kedalam sistem produksi ini adalah bahan baku (ikan), tenaga kerja, modal, energi dan informasi.

Mengingat sifat komoditas ikan adalah muda terjadinya pembusukan (perishable), sering bersifat musiman, maka konsistensinya tidak terlalu kuat, sehingga tidak memungkinkan untuk menumpuk bahan baku secara tidak terbatas.

Oleh karena itu, begitu ikan ditangkap memerlukan teknik penanganan (handling) dan pengolahan (processing) yang baik. Teknologi penanganan dan pengolahan ikan harus dimulai sejak penangkapan ikan hingga pemasaran kepada konsumen. Hal ini sangat penting untuk meningkatkan daya saing produk ikan dan juga nilai tambah.

Pengeringan adalah suatu cara untuk mengeluarkan atau menghilangkan sebagian air dari suatu bahan dengan penguapan melalui penggunaan energi panas. Kandungan air tersebut dikurangi sampai batas tertentu sehingga mikroorganisme tidak dapat tumbuh lagi didalamnya. Pengeringan ikan umumnya bertujuan untuk mengawetkan bahan yang mudah rusak sehingga mutu dapat dipertahankan selama penyimpanan. Tujuan lainnya adalah mengurangi biaya dan memudahkan pengemasan, penanganan, penyimpanan dan transportasi dengan berkurangnya berat dan volume bahan serta untuk memperoleh cita rasa yang khas.

Proses pengeringan ikan terjadi melalui penguapan air, cara ini dilakukan dengan menurunkan kelembaban nisbi udara dengan mengalirkan udara panas disekeliling bahan, sehingga uap air bahan lebih besar dari pada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara. Faktor utama yang mempengaruhi kecepatan pengeringan dari suatu bahan pangan adalah sifat fisik dan kimia bahan, pengaturan geometris bahan dalam alat pengering, sifat fisik lingkungan dan karakteristik alat pengering. Sifat fisik dan kimia bahan meliputi bentuk, ukuran, komposisi dan kadar airnya. Pengaturan geometris bahan berhubungan dengan permukaan alat atau media pemindah panas, sedangkan sifat fisik lingkungan dan karakteristik pengering meliputi suhu, kelembaban, kecepatan udara dan efisiensi perpindahan panas.

Carpio dan Prabu di dalam Kamaruddin (2002) menyatakan bahwa laju aliran udara pada proses pengeringan ikan berkisar antara 1,5 – 2 m/dtk. Pada beberapa kasus di Philipina diperoleh hasil yang relatif baik dengan kecepatan udara 0,8 – 2,9 m/dtk. Dimana suhu udara pengeringan direkomendasikan pada kisaran 40 – 50 °C. Sedangkan RH berkisar antara 50 – 60 %.

3. Pengeringan Dengan Energi Surya

Alat pengeringan dengan menggunakan energi surya, dilakukan dengan cara mengumpulkan energi surya dan mengkonversikannya menjadi energi panas. Pada dasarnya ada beberapa cara mengumpulkan dan konversi energi surya dalam penerapan pengeringan. Adapun cara-cara tersebut antara lain, secara tradisional dimana bahan yang akan dikeringkan diletakkan dalam satu wadah yang dihamparkan diatas permukaan tanah di alam terbuka yang dapat disinari surya secara langsung.

Keadaan pengeringan yang demikian, menyebabkan berbagai kerugian, diantaranya kehilangan energi panas sangat besar, bahan yang dikeringkan tidak dapat dikontrol dengan baik. Sedangkan cara lain yaitu dengan meletakkan bahan pada suatu wadah yang

dimasukkan ke dalam suatu bangunan tertutup yang sekaligus berfungsi sebagai penyerap energi panas (absorber). Cara ini merupakan salah satu cara pengumpulan energi surya yang relative baik, dengan kehilangan panas relative kecil. Panas yang diterima, dikonversikan secara efektif dan terperangkap dalam bangunan tersebut sehingga pendistribusian panas dalam ruang pengering melalui mekanisme pindah panas dapat lebih efektif. Dengan demikian kehilangan panas ke lingkungan selama proses pengeringan dapat diminimalisir.

Iridiasi energi surya yang diterima dan fluktuasinya pada proses pengeringan merupakan karakteristik energi surya yang tergantung pada keadaan cuaca pada setiap lokasi. Total iridiasi energi surya harian (I_h) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan integral simpson berikut ini :

4. Pengeringan Dengan Energi Biomassa

Pada dasarnya sumber energi biomassa dapat digunakan dari berbagai bahan baku, baik itu bahan dari hasil limbah atau bahan-bahan yang dikhususkan sebagai bahan biomassa. Pembakaran langsung bahan biomassa merupakan suatu cara mengkonversi energi biomassa menjadi energi panas, energi panas yang diperoleh dalam proses pembakaran diukur sebagai nilai kalori. Jenis bahan biomassa yang sudah digunakan sebagai sumber energi panas tertera pada Tabel 2. Nilai kalori actual dari bahan biomassa tergantung pada kadar air dan kadar abu serta sifat fisik dari bahan.

Tabel 2. Jenis bahan biomassa, kadar air dan nilai kalor

Bahan Biomassa	Kadar Air (%)	Nilai Kalor (MJ/kg)
Bubuk kayu (papan)	8	17,5
Bubuk kayu padat	12	16,6
Serbuk gergaji (papan)	10	17,6
Serbuk gergaji kayu padat	15	15,9
Serutan kayu (shaving)	15	15,9
Kepingan kayu (wood chip)	15	15,9
Balak kering udara	20	15,3
Balak basah	60	10,7
Kulit kayu	60	10,5

Sumber : Philip, 1980 didalam Budiman,N (1990)

Pembakaran biomassa dapat berlangsung dengan baik, dipengaruhi beberapa hal, antara lain bentuk tungku, kemudahan kontak oksigen dengan partikel karbon pada bahan bakar, kelancaran pembuangan gas hasil pembakaran. Pada dasarnya pembakaran biomassa merupakan reaksi kimia dari udara luar dengan unsure-unsur yang terdapat dalam ruang pembakaran dan dalam bahan bakar biomassa tersebut. Semakin besar kandungan karbon atau zat arang dalam bahan bakar biomassa per satuan bobotnya, maka semakin besar energi panas yang dapat dihasilkan untuk proses pengeringan berbagai produk.

5. Prinsip Dasar Proses Penguapan Air

Pada proses penguapan air (pengeringan) bahan produksi pertanian merupakan suatu upaya memindahkan kandungan air dengan penerapan panas dan secara praktis dikatakan sebagai upaya untuk menjaga kualitas suatu produk selama penyimpanan, untuk menekan bakteri dan jamur serta perkembang biakan insekta (Henderson and Perry, 1976).

Pengeringan terjadi melalui penguapan cairan dengan pemberian panas ke bahan basah yang akan dikeringkan. Sebagai sumber panas pada proses pengeringan dapat disediakan melalui konveksi (pengering langsung), konduksi (pengering sentuh atau tak langsung) dan radiasi. Seluruh cara pengeringan, kecuali dielektrik, menyediakan panas pada objek yang dikeringkan sehingga panas harus berdifusi ke dalam padatan dengan cara konduksi. Cairan harus bergerak ke batas bahan sebelum diangkat keluar oleh udara pembawa.

Pergerakan air di dalam padatan dapat terjadi melalui salah satu atau lebih dari mekanisme pindah massa berikut ini (Mujumdar,A.S.dan S.,Devahastin, 2001) :

- 1). Difusi cairan, jika padatan basah berada pada suhu dibawah titik didih cairannya.
- 2). Difusi uap, jika cairan tersebut menguap dalam bahan.
- 3). Difusi Knudsen, jika pengeringan berlangsung pada suhu dan tekanan vakum.
- 4). Beda tekanan hidrostatik, bila laju penguapan internal melampaui laju pergerakan uap melalui padatan ke lingkungan sekitar.
- 5). Kombinasi dari mekanisme diatas.

Struktur fisik padatan atau bahan yang dikeringkan dapat berubah selama pengeringan, karena perpindahan uap air juga berubah dengan bertambahnya waktu pengeringan.

Untuk suatu model alat pengering yang menggunakan sumber energi udara panas, ada beberapa kondisi yang perlu diperhatikan, yaitu meliputi:

- (i). Kondisi suhu dan RH udara pengeringan,
- (ii). Aliran udara (*airflow*), berkaitan dengan spesifikasi *blower* (kipas),
- (iii). Spesifikasi heater (alat pindah panas), berkaitan dengan pemanasan udara sebagai media pengering,
- (iv). Spesifikasi ruang pengeringan, dan
- (v). Perhitungan waktu pengeringan.

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat model alat pengering ikan dengan menggunakan energi surya (energi terbarukan). Panas matahari yang diserap oleh absorber (plat hitam) digunakan sebagai sumber pemanasan langsung alat pengering dan apabila keadaan iklim mendung atau kurang sinar matahari, sebagian sumber panas digunakan energi biomassa. Lebih jauh penelitian ini bertujuan merancang alat pengering hasil perikanan, secara khusus, penelitian ini bertujuan antara lain :

1. Membuat rancang bangun model alat pengering ikan efek rumah kaca dengan memanfaatkan energi terbarukan.
2. Menentukan parameter pengeringan untuk mendapatkan kondisi operasi yang optimum
3. Mengetahui karakteristik lama waktu pengeringan, besar suhu dan kelembaban terhadap produk perikanan yang dikeringkan.
4. Sebagai acuan dalam meningkatkan atau pengembangkan teknologi tepat guna yang dapat dengan mudah digunakan oleh masyarakat petani maupun nelayan.

3.2. Manfaat Penelitian

Hasil panen tangkapan ikan yang berlimpah pada suatu keadaan tertentu dimana nilai jual menurun dan kondisi ini tentu akan mengurangi pendapatan para nelayan. Karena sifat fisik ikan yang mudah rusak (membusuk) para nelayan umumnya langsung menjual hasil tangkapannya, dan ada juga yang melakukan pengawetan dengan cara tradisional yaitu menjemur langsung pada area terbuka. Untuk mengeringkan ikan hasil tangkapan cara tradisional ini memerlukan waktu yang cukup lama (berhari-hari) disamping itu hasil pengeringan tidak higienis karena terkontaminasi dengan kotaran dan debu serta polutan-polutan lainnya. Guna membantu para nelayan ini perlu diupayakan alat pengering yang sederhana dengan memanfaatkan energi terbarukan yaitu sinar matahari dan biomassa yang mudah untuk mendapatkannya.

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN AKHIR

1. Judul Penelitian : Model Pengeringan Ikan Efek Rumah Kaca Dengan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan

2. Ketua Peneliti

- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. M. Syaiful, MS
b. Jenis Kelamin : L
c. NIP : 131688810
d. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
e. Jabatan Struktural : Pembina
f. Bidang Keahlian : Konversi Energi
g. Fakultas/Jurusan : Teknik/ Teknik Mersin
h. Perguruan Tinggi : Universitas Bengkulu
i. Tim Peneliti

No.	Nama	Bidang Keahlian	Fakultas/ Jurusan	Perguruan Tinggi
1	Dr. Ir. M. Syaiful, MS	Konversi Energi	Teknik/Teknik Mesin	UNIB
2	Ir. Sigit Mujiharjo, MSAE	Teknik Pertanian	TIP Faperta UNIB	UNIB
3	Ir. Meizul Zuki, MS	Alat & Mesin Pertanian	TIP Faperta UNIB	UNIB

3. Pendanaan dan jangka waktu penelitian

- a. Jangka waktu penelitian yang diusulkan : 1 tahun
c. Biaya yang disetujui tahun : Rp. 40.000.000,-



Dr. Ir. Muhammad Syaiful, MS
NIP 131688810

Bengkulu, Nopember 2009
Ketua Peneliti

Dr. Ir. M. Syaiful, MS
NIP 131688810



Drs. Sarwit Sarwono, M.Hum
NIP 131601662

DAFTAR ISI

	Halaman
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Urgensi/Keutamaan Penelitian	2
II. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1. Prinsip Dasar Pengeringan	3
2.2. Proses Pengeringan Ikan	3
2.3. Pengeringan Dengan Energi Surya	4
2.4. Penegringan dengan Energi Biomassa	6
III. TUJUAN DAN MANFAA PENELITIAN	8
3.1. Tujuan Penelitian	8
3.2. Manfaat Penelitian	8
IV. METODA PENELITIAN	10
4.1. Sistem Penegring Yang Diusulkan	10
4.2. Pemodelan Distribusi Kondisi Udara	11
4.3. Tahapan Simulasi	12
4.4. Model Persamaan Atur Dalam Alat Pengering	12
V. HASIL DAN PEMBAHASAN	15
5.1. Hasil Pengujian	15
5.2. Menentukan Gradien Kecepatan, Suhu dan Massa Tak Berdimensi	18
5.3. Validasi Distribusi Kecepatan dan Suhu Udara Pengering	19
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	25
6.1. Kesimpulan	25
6.2. Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	28

Dengan pemanfaatan energi terbarukan dalam proses pengeringan dapat mengurangi konsumsi energi BBM dan disamping itu penggunaan energi biomassa dapat mengatasi permasalahan cuaca atau iklim yang selalu berubah-ubah.

Keberhasilan dari penelitian ini akan memberikan kontribusi berupa :

1. Alternatif model alat pengering ikan efek rumah kaca yang di dukung oleh penggunaan energi terbarukan sebagai sumber energi panas yang ketersediaannya tidak terbatas dan murah serta ramah lingkungan. Kajian ini akan menjadi landasan pemikiran dan referensi tambahan untuk pengembangan lebih mendalam mengenai pemanfaatan energi surya dimasa yang akan datang dalam rangka mengurangi konsumsi energi BBM yang keberadaannya terbatas.
2. Meningkatnya kualitas dan kuantitas hasil tangkapan produk perikanan, sehingga meningkatkan taraf hidup masyarakat nelayan melalui pemasaran produk perikanan kering dengan nilai jual yang lebih tinggi.

1. Sistem Pengering Yang Diusulkan

Pada penelitian ini, sistem alat pengering yang diusulkan efek rumah kaca (ERK) dengan menggunakan kombinasi energi surya, angin dan biomassa. Alat pengering yang diusulkan seperti terlihat pada Gambar 1.

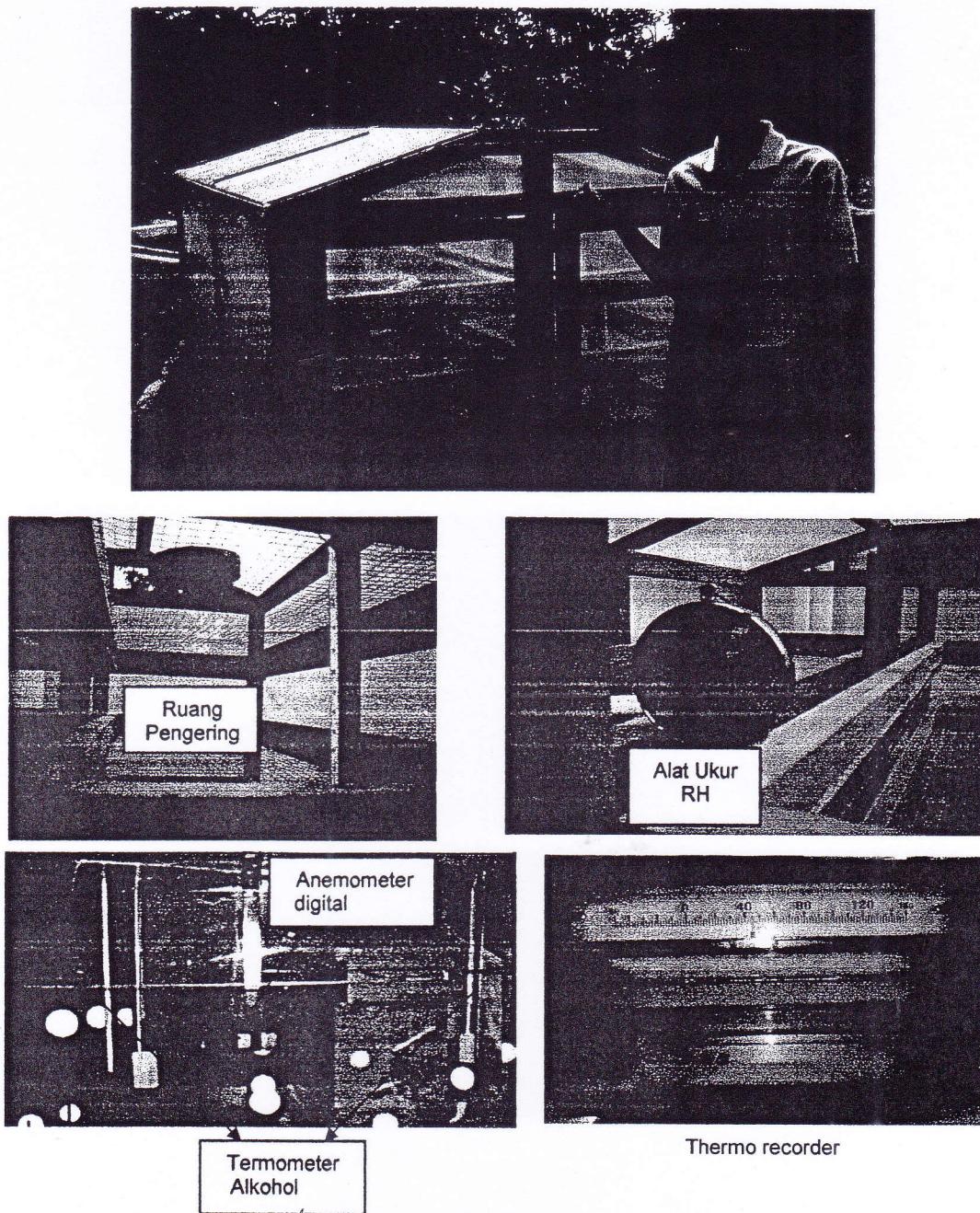
Guna meningkatkan performansi pengeringan yang lebih baik, dilakukan rancang bangun alat pengering ERK untuk lebih meningkatkan distribusi aliran udara panas dalam ruang pengering agar lebih merata pada setiap rak pengering, dipergunakan 2 buah kipas yang berfungsi sebagai pengaduk. Kipas-kipas ini diletakan pada bagian depan dan belakang diatas rak pengering dan digerakan oleh tenaga angin melalui suatu poros yang dihubungkan pada savornius. Dengan cara ini diharapkan sirkulasi udara pengering akan lebih merata dan seluruh udara pengering dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan, sehingga akan lebih meningkatkan efisiensi pengering.

Tungku biomassa dirancang sedemikian rupa agar asap pembakaran tidak masuk ke dalam ruang pengering, yang diatasnya terdapat silinder udara yang dilengkapi dengan kipas isap udara yang digerakkan oleh savornius.

Sedangkan untuk mendapatkan suhu udara pengering yang lebih tinggi, lantai bangunan dibuat dari plat hitam agar penyerapan iradiasi surya dapat lebih banyak disamping itu juga diberikan tambahan energi panas dari tungku biomassa yang energi panasnya dialirkan melalui lantai bangunan penegring yang dilengkapi dengan kipas isap udara yang digerakkan oleh savornius.

Udara yang mengandung uap air dari bahan yang dikeringkan dikeluarkan melalui lubang pengeluaran pada bagian atas bangunan pengering.

Untuk mengatasi hawa panas yang ada dalam ruang pengeringan pada saat orang mengeluarkan produk (rak), maka pada setiap sisi kiri dan kanan sepanjang bangunan dibuat jendela-jendela sehingga setiap rak dapat dikeluarkan atau dimasukkan melalui jendela ini. Jendela ini dibuat sedemikian rupa agar tidak ada udara panas yang hilang.



Gambar 1. Rancangan bangunan alat pengering energi surya dan biomassa yang digunakan dalam percobaan.

2. Pemodelan Distribusi Kondisi Udara

Pemodelan distribusional berfungsi untuk melihat penyebaran panas berdasarkan distribusi suhu dan aliran udara di dalam ruang pengering. Model matematis dalam simulasi menggunakan persamaan keseimbangan energi, massa dan momentum (Navier-Stokes).

Udara digambarkan dalam persamaan diferensial, sebagai fluida *Newtonion* dalam koordinat *Cartesian* dan dipecahkan menggunakan analisa numerik dengan formulasi *finite volume*.

3. Tahapan Simulasi

3.1. Pendefinisian boundary condition dan initial condition berdasarkan bentuk saluran dalam ruang pengering yang digambarkan dalam koordinat *Cartesian* dengan sumbu terletak pada kiri dalam bawah, dengan dimensi : panjang arah x, tinggi arah y dan lebar arah z.

Demikian pula dengan suhu dalam arah x, y dan z dalam t_x , t_y dan t_z

Kondisi batas dinyatakan sebagai berikut :

- Kecepatan udara pada semua dinding dan atap pengering pada arah x, y dan z adalah 0
- Kecepatan udara pada dinding rak pengering arah x, y dan z adalah 0
- Kecepatan udara pada kipas besarnya ditentukan berdasarkan kebutuhan udara untuk menghilangkan uap air dari sejumlah massa bahan.
- Suhu udara pengering disemua dinding dan atap pengering pada arah x, y, dan z sama dengan suhu lingkungan T_a .

3.2. Asumsi yang digunakan

- Bilangan Prandtl udara konstan (panas jenis, konduktivitas dan viskositas udara konstan).
- Aliran udara pada penampang kipas mempunyai kecepatan yang seragam.
- Udara bergerak dalam kondisi steady

3.3. Persamaan atur yang berkaitan dengan dinamika fluida meliputi persamaan atur kontinuitas, konservasi momentum, energi dan uap air.

Model persamaan matematis yang diperoleh dipecahkan dengan cara analisa numeric menggunakan bantuan software MS Exell dan Computation Fluid Dynamics (CFD), (Fluent 6.1 dan Gambit 5.1).

4. Model Persamaan Atur Dalam Alat Pengering

Model Persamaan atur yang digunakan pada sistem pengeringan ini adalah :

4.1. Keseimbangan Energi Plat Penyerap

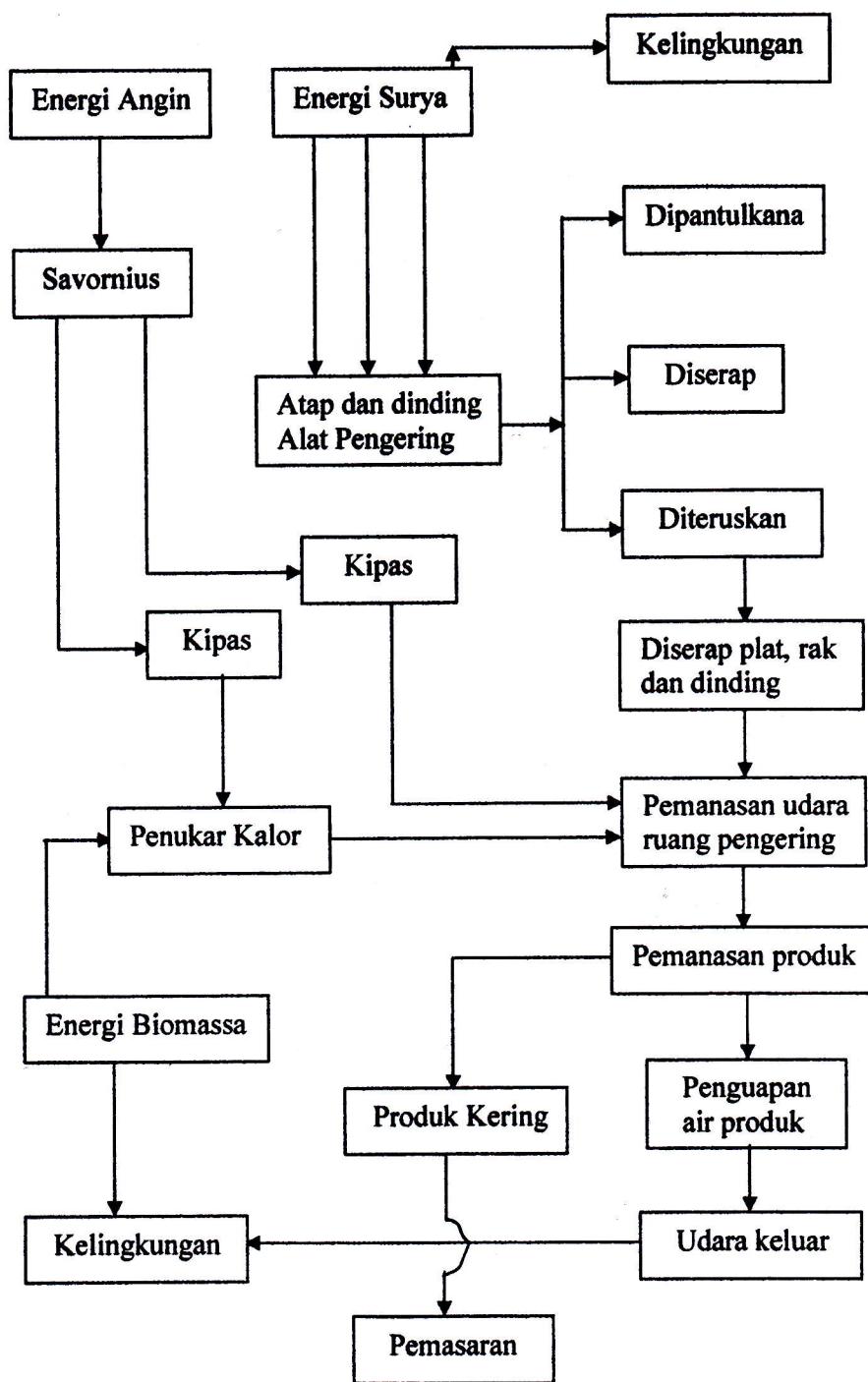
Plat penyerap (absorber) menerima iradiasi surya yang diteruskan atap dan dinding bangunan alat pengering. Perpindahan panas yang terjadi adalah pindah panas radiasi dan konveksi. Bentuk persamaan keseimbangan energi yang terjadi adalah :

4.2. Keseimbangan Energi Dalam Ruang Pengering

4.3. Keseimbangan Energi Untuk Produk

4.4. Suhu Udara Lingkungan

4.5. Keseimbangan Energi Pada Tungku Biomassa



Gambar 2. Blok diagram prinsip operasi alat pengering yang digunakan

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Model pengeringan ikan yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat seperti pada Gambar 1. Sistem pengering menggunakan pemanasan tidak langsung dengan sirkulasi udara, udara panas dari plat kolektor (absorber) yang berfungsi sebagai penyerap panas sinar matahari dialirkan ke ruang pengering. Energi radiasi dari matahari digunakan untuk memanaskan plat kolektor. Kemudian, udara sebagai fluida kerja dialirkan ke ruang pengering yang berisi 3 tingkat rak dan setiap tingkat terdapat 2 buah rak pengering melalui plat kolektor oleh *fan* agar temperaturnya mencapai 65 °C. Udara panas ini kemudian langsung memanaskan rak-rak pengering dimana terdapat ikan yang akan dikeringkan yang diletakan berjajar secara horizontal. Setelah itu, udara akan mengalir ke luar dari ruang pengering. Proses berlanjut hingga waktu pengeringan selesai. Dari perhitungan yang dilakukan untuk mengeringkan 12 kg ikan dengan kadar air aal 62% wb menjadi 25% wb dalam 3,5 jam, didapat hasil:

- Besar beban kebasahan: 0,65 gram/s.
- Dimensi ruang pengering: $1,2 \times 1,5 \times 1,95 \text{ m}^3$ dengan konstruksi dinding terbuat dari kayu dengan dinding terbuat dari plastik transparan dengan tebal 0.5 mm yang pada bagian bawah terdapat plat absorber penyerap panas.
- Besar kalor yang diperlukan untuk proses pengeringan adalah : 2.05 kWatt.
- Besar kalor yang hilang dari ruang pengering ke sekeliling : 0,34 kWatt.
- Laju aliran udara pengering yang diperlukan adalah : 0,20 m³/det
- Tekanan statis yang diperlukan *fan* untuk mengalirkan udara pengering mulai dari masuk plat absorber hingga ke luar ruang pengering adalah: 145 Pa.

5.1. Hasil Pengujian

Untuk menguji hasil rancangan alat pengering yang dibuat guna mengeringkan ikan hasil tangkapan nelayan dilakukan dengan menguji model. Pengujian alat dilakukan dengan 4 kali percobaan yang secara berturut-turut hasilnya disajikan pada Tabel 1.

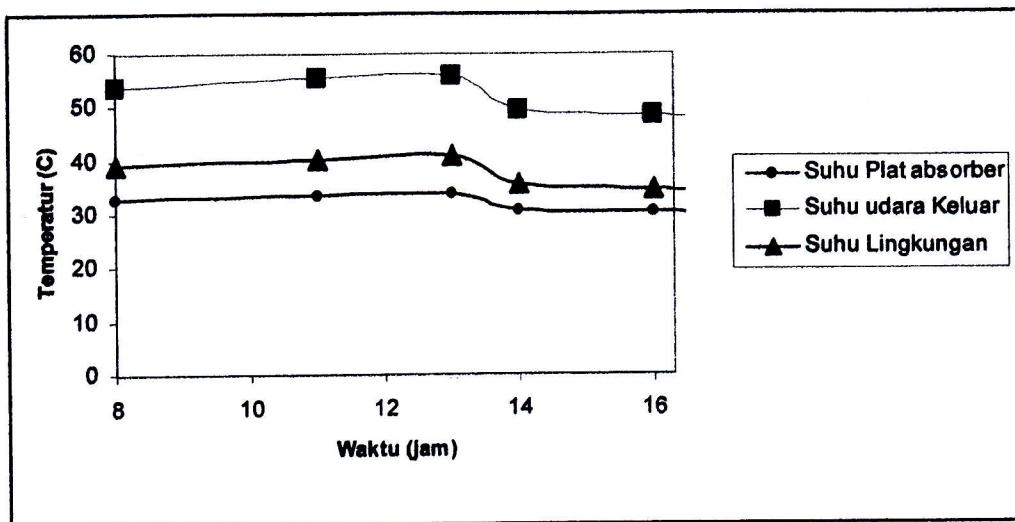
Jenis ikan yang dikeringkan adalah jenis ikan asalan yang terdiri dari beberapa jenis ikan maco, ikan geleberan dan ikan belat kecil.

Pengujian dilakukan pada tanggal 21 (percobaan 1) dan 22 Oktober 2009 (percobaan 2) serta tanggal 3 (percobaan 3) dan 4 Nopember 2009 (percobaan 4).

Tabel 1. Hasil pengukuran pengeringan ikan

Tanggal	Jam	m _{pengering-ikan} gram/rak	T _{lingkungan} °C	T _{absorber} °C	T _{out} °C	Keterangan
21 Okt 2009	8.30	2050.0	32.9	53.6	39.3	cerah
	11.00	1986.2	33.5	55.3	40.4	cerah
	13.00	1874.6	33.8	55.8	40.9	cerah
	15.00	1708.3	30.6	49.4	35.8	cerah
	16.30	1689.2	30.2	48.2	34.7	cerah
22 Okt 2009	9.00	1978.4	30.4	50.6	36.0	sedikit mendung
	11.00	1883.1	31.8	51.9	37.2	cerah
	13.00	1804.5	33.8	52.6	36.9	cerah
	15.00	1736.9	30.6	49.8	34.8	mendung
	16.00	1649.7	29.8	47.2	33.0	mendung
3 Nop 2009	9.00	2037.8	33.5	50.7	39.4	cerah
	11.00	1974.0	33.8	52.2	37.7	cerah
	13.00	1868.4	30.6	49.4	35.6	cerah
	15.00	1696.9	29.6	47.8	34.1	cerah
	16.45	1677.0	29.2	43.2	32.8	mendung
4 Nop 2009	9.00	2011.2	32.4	50.6	36.2	cerah
	11.00	1918.7	31.7	49.3	35.8	cerah
	13.00	1897.2	32.8	51.0	38.4	cerah
	15.00	1767.4	30.1	48.7	35.3	sedikit mendung
	16.30	1678.3	29.7	46.3	33.9	mendung

Dari hasil pengukuran yang dilakukan antara pk. 08.30 hingga pk. 16.30 pada setiap percobaan (percobaan 1-4), didapatkan temperatur rata-rata plat kolektor saat cerah 37 °C dengan standar deviasi 2.34 °C. Dari semua percobaan ternyata temperatur plat absorber tidak ada yang mencapai suhu 65 °C, keadaan ini juga menyebabkan udara panas yang masuk ruang pengering tida mencapai suhu 65 °C. Tempertaur plat absorber tinggi yaitu 55.8 °C yaitu pada percobaan 1(tanggal 21 Oktober 2009) jam 13.00 dimana kondisi lingkungan sangat cerah sedangkan temperatur plat absorber terendah adalah pada percobaan 3 (tanggal 2 Nopember 2009) jam 16.45 dimana kondisi udara mendung, pada keadaan ini temperatur plat absorber 43.2 °C.



Gambar 3. Kurva lisaran suhu plat absoeber, suhu udara keluar alat pengering dan suhu lingkungan pada kondisi cuaca cerah

Tebal lapisan ikan yang dikeringkan berkisar antara 0.8 – 1.0 cm, kondisi udara yang masuk ruang pengering rata-rata pada suhu 36.8 °C dengan kecepatan 0.26 m/dtk. Bilangan Reynold aliran udara panas dalam ruang pengering yaitu,

$$Re_x = \frac{(0.33)(0.25)}{1.671 \times 10^{-5}} = 4940.2$$

Dari hasil perhitungan bilangan Reynold lokal sepanjang permukaan ikan yaitu arah x , untuk semua percobaan yang dilakukan mempunyai bilangan Re_x lebih kecil dari 8×10^4 sehingga aliran yang terjadi pada permukaan gabah adalah laminar.

Tabel 2. memperlihatkan kondisi kelembaban udara (RH) lingkungan dan kelembaban udara dalam ruang pengering selama percobaan, penentuan RH ini didasari data pengukuran suhu bola basah dan bola kering.

Tabel2. Kelembaban udara lingkungan dan ruang pengering selama percobaan.

Waktu (menit)	Lingkungan (RH), %	Percobaan 1 RH (%)	Percobaan 2 RH (%)	Percobaan 3 RH (%)	Percobaan 4 RH (%)
0	55.4	52.4	48.6	49.8	49.0
30	59.0	52.0	52.3	50.4	49.0
60	55.2	52.2	48.5	49.4	49.2
90	54.0	49.6	49.2	50.8	49.8
120	55.2	47.8	47.5	50.2	49.4
150	53.4	49.5	48.2	49.6	49.6
180	53.6	48.2	49.0	50.2	49.3
210	54.0	50.6	49.0	50.4	49.6
240	54.7	50.2	49.4	50.8	49.6
270	54.0	49.8	48.8	50.7	50.4
300	55.0	49.8	49.2	51.5	50.0
330	59.0	49.3	50.4	51.4	50.2
360	54.0	50.7	49.0	51.2	51.0
390	57.0	50.2	48.4	51.6	51.0
420	54.7	50.5	48.3	51.5	51.0
Rata-rata	55.2	50.2	49.1	50.6	49.9
St. Dev	1.78	1.32	1.11	0.72	0.71

Rata-rata RH udara lingkungan adalah 55.2 % dengan standar deviasi sebesar 1.78 %. Rata-rata RH ruang pengering pada percobaan 1 adalah 50.2 % dengan nilai standar deviasi sebesar 1.32, percobaan 2 adalah 49.1 % dengan standar deviasi 1.11 %, percobaan 3 adalah 50.6 % dengan standar deviasi 0.72 % dan pada percobaan 4 rata-rata nilai RH adalah 49.9 % dengan standar deviasi 0.71%.

5.2. Menentukan Gradien Kecepatan, Suhu dan Massa Tak Berdimensi

Gradien kecepatan, suhu dan massa tak berdimensi didasari pada model persamaan matematik seperti yang telah jelaskan pada bagian terdahulu, diperoleh profil kecepatan, suhu dan massa secara teori dapat diketahui. Untuk menentukan besarnya gradien tak berdimensi, kondisi sifat fisik udara dan uap air dalam ruang pengering dipergunakan suhu rata-rata dari percobaan.

Guna melihat adanya proses perpindahan massa dalam lapisan batas, perlu ditentukan fluks massa tak berdimensi (K). Nilai K untuk menunjukkan terjadi atau tidaknya

perpindahan massa. Bila nilai $K = 0$, berarti tidak terdapat perpindahan massa dalam lapisan batas dan $K > 0$ menunjukkan adanya perpindahan massa dalam lapisan batas.

Nilai fluks massa tak berdimensi untuk percobaan 1, 2, 3 dan percobaan 4 secara berturut-turut adalah 0.68, 0.72, 0.77, dan 0.79. Dalam menentukan nilai fluks massa uap air dalam aliran udara panas, sifat fisik udara yang digunakan adalah seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Sifat fisik udara dan uap air pada suhu rata-rata kondisi operasi $36.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Geankoplis,C.J, 1983, Kreith, F., 1973
alih bahasa Prijono, 1986)

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Massa jenis udara	Kg/m^3	1.1386
Panas jenis udara	kJ/kg K	1.005
Konduktivitas panas udara	$\text{W/m }^{\circ}\text{K}$	0.02670
Viskositas dinamik udara	Kg/m dtk	1.897×10^{-5}
Viskositas kinematik udara	M^2/dtk	1.672×10^{-5}
Bilangan Prandtl udara	-	0.711
Berat molekul udara (M_B)	kgmol/kg	29
Berat molekul uap air (M_A)	kgmol/kg	18
Densitas uapa air	kg/m^3	0.045147
Viskositas uap air	Kg/m dtk	0.0105×10^{-3}

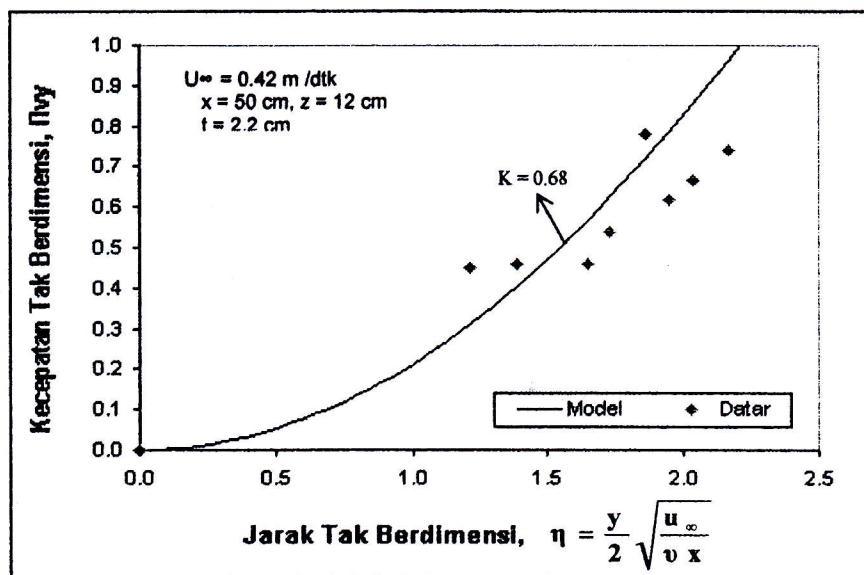
5.3. Validasi Distribusi Kecepatan dan Suhu Udara Pengering

Udara panas dari penukar panas dihembuskan kedepan oleh kipas aksial 55 watt melewati penyearah aliran ke ruang pengering. Kecepatan udara dari lingkungan ke penukar panas yang dihasilkan kipas rata-rata adalah 1.628 m/dtk dan masuk ruang pengering kecepatan udara panas berkisar antara 0.39 m/dtk sampai 0.48 m/dtk dan ini merupakan kecepatan aliran bebas (*free stream velocity*) dalam ruang pengering selama proses penguapan air produk gabah. Kecepatan aliran bebas U_{∞} merupakan kecepatan arah x dari udara panas yang akan mengangkut uap air keluar dari sistem.

Pada percobaan yang dilakukan dalam pengujian model alat pengering, dimana kecepatan udara panas dalam aliran bebas 0.24 m/dtk. Distribusi kecepatan udara panas dalam ruang pengering untuk panjang lapisan permukaan rak pengering pada ketinggian arah y antara 20 – 50 mm diperlihatkan pada Tabel 4. Dengan kecepatan aliran bebas sebesar 0.22 m/dtk dan suhu $37.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, kecepatan rata-rata tertinggi adalah 0.33 m/dtk yaitu pada ketinggian 35 mm. Pada percobaan 1 kadar air akhir ikan rata-rata adalah 18.93 % (bk) (Pengukuran Oven)

Tabel 4. Nilai ragam kecepatan udara dalam ruang pengering pada percobaan 1

Parameter	$Y = 15$ (mm)	$Y = 20$ (mm)	$Y = 25$ (mm)	$Y = 30$ (mm)	$Y = 35$ (mm)	$Y = 40$ (mm)	$Y = 45$ (mm)	$Y = 50$ (mm)
Kecepatan rata-rata (m/dtk)	0.19	0.20	0.20	0.23	0.33	0.26	0.28	0.31
Kecepatan tak berdimensi (π_{vy})	0.45	0.47	0.47	0.54	0.78	0.62	0.67	0.74

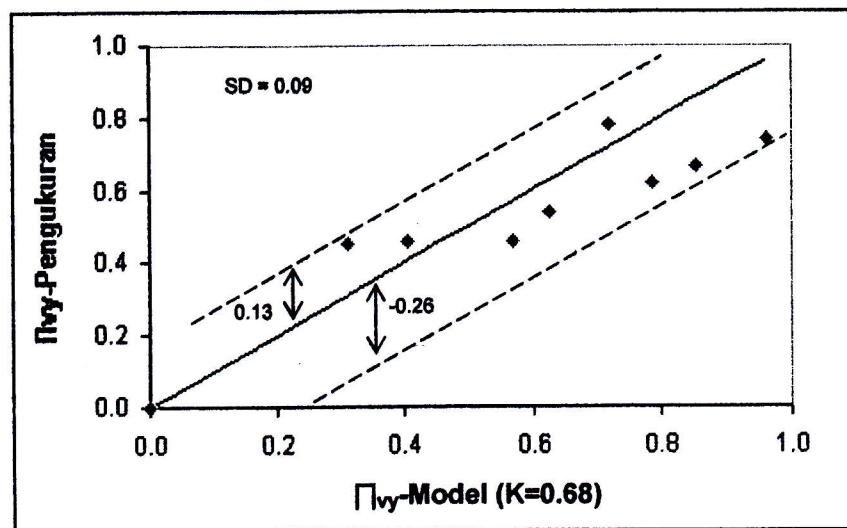


Gambar 4. Distribusi pengukuran kecepatan udara dalam ruang pengering

Gambar 4 memperlihat distribusi pengukuran kecepatan udara dalam ruang pengering untuk panjang lapisan batas 50 cm pada kecepatan aliran bebas 0.33 m/dtk dengan hasil perhitungan model persamaan matematik. Perbedaan hasil pengukuran kecepatan dengan model persamaan ini diverifikasi, yang perbedaannya dinyatakan dalam standar deviasi.

Profil verifikasi pengukuran kecepatan udara dalam ruang pengering untuk panjang lapisan permukaan gabah 50 cm dengan hasil perhitungan model persamaan matematik lapisan batas ditunjukkan seperti pada Gambar 5. Dimana hasil pengukuran kecepatan agak tersebar diantara hasil perhitungan model persamaan matematik, perbedaan hasil pengukuran ini ditunjukkan dengan nilai standar deviasi sebesar 0.09 m/dtk, dan pada selang kepercayaan

95 % batas atas perbedaan hasil pengukuran dengan model adalah 0.13 m/dtk dan batas bawah sebesar -0.26 m/dtk.

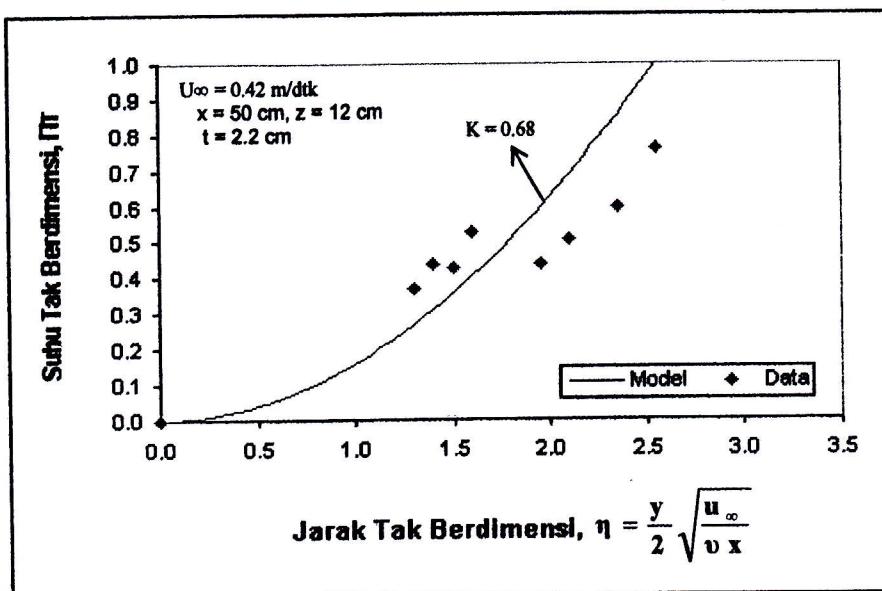


Gambar 5. Validasi pengukuran kecepatan udara dengan model persamaan matematika pada permukaan rak pengering

Nilai ragam hasil pengukuran suhu dalam ruang pengering disajikan dalam Tabel 4 dan bentuk kurva distribusi suhu diperlihatkan pada Gambar 6.

Tabel 5. Nilai ragam suhu udara tak berdimensi dalam ruang pengering

Titik Pengukuran Y (mm)	Suhu Rata-rata (°C)	Suhu Tak Berdimensi (Π_T)
0	30.60	0.00
15	33.70	0.37
20	33.60	0.44
25	34.30	0.43
30	34.70	0.53
35	34.25	0.44
40	35.00	0.51
45	35.29	0.60
50	35.84	0.76

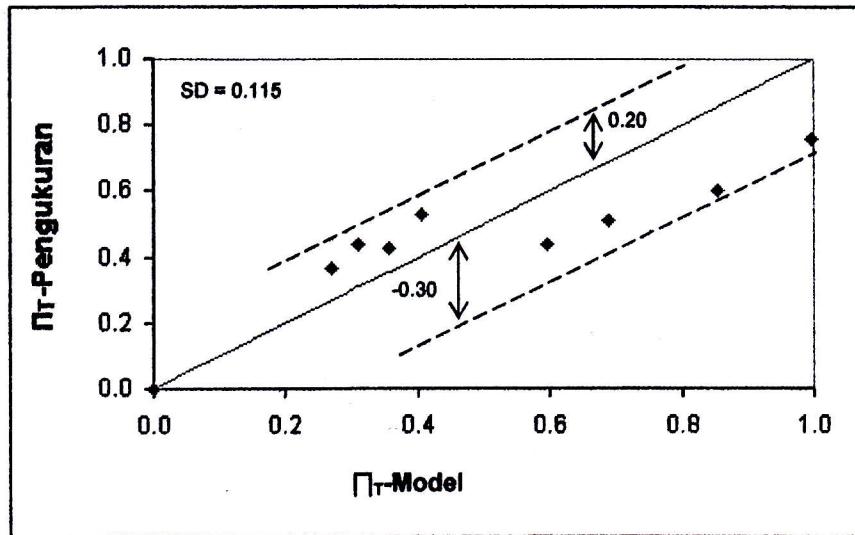


Gambar 6. Distribusi pengukuran suhu dalam ruang pengering

Dari Gambar 6 terlihat bahwa hasil pengukuran suhu dalam ruang pengering penyebar disekitar kurva model persamaan matematik lapisan batas, namun profil suhu hasil pengukuran dengan suhu yang diperoleh dari model matematik relatif sama.

Suhu rata-rata dalam ruang pengering adalah 36.80°C , dan suhu tertinggi 55.0°C yaitu pada ketinggian 45 mm diatas rak pengering.

Hasil verifikasi data pengukuran suhu tak berdimensi dengan teori lapisan batas ditunjukkan seperti pada Gambar 7, dimana nilai sebaran suhu hasil pengukuran lebih tinggi dari suhu model matematik dan secara keseluruhan sebarannya berada disekitar suhu model persamaan matematika. Perbedaan suhu pengukuran dengan hasil perhitungan model dinyatakan dengan nilai standar deviasi sebesar 0.115°C . Untuk selang kepercayaan 95 %, batas atas perbedaan pengukuran dengan model adalah 0.20°C dan batas bawah adalah -0.30°C .



Gambar 7. Validasi pengukuran suhu dengan suhu hasil model persamaan matematika.

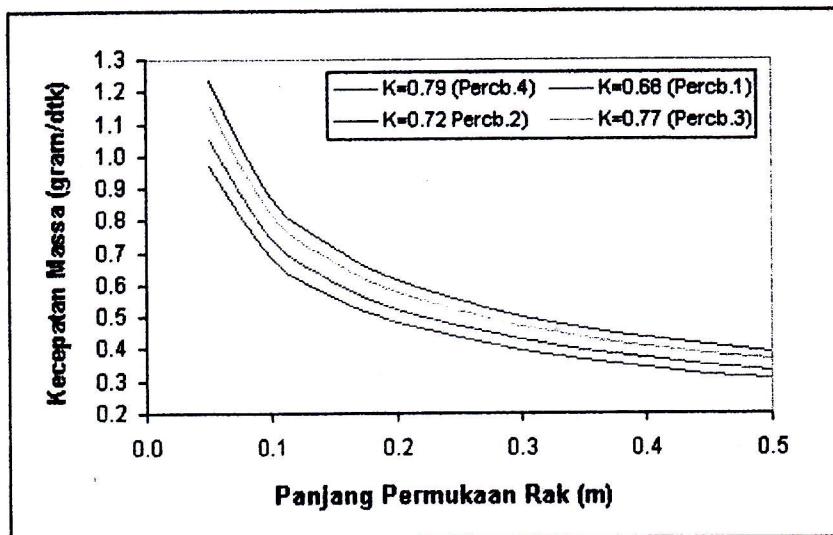
Fluks massa uap air yang terdapat dalam lapisan batas aliran bebas yaitu laju massa uap air per satuan luas, menunjukkan laju difusi uap air dalam udara, besarnya fluks massa uap air ini di sajikan dalam Tabel 6 sedangkan bentuk kurvanya terlihat seperti pada Gambar 8.

Dari Gambar 8 juga dapat dilihat perbandingan nilai fluks massa tak berdimensi hasil percobaan 1 ($K = 0.68$), percobaan 2 ($K = 0.72$), percobaan 3 ($K = 0.77$) dan percobaan 4 ($K = 0.79$). Nilai K mencerminkan terjadinya proses perpindahan massa uap air dalam lapisan batas ($K = 0$, tidak terdapat proses transfer massa). Semakin besar nilai K , maka proses perpindahan massa makin tinggi dan proses penguapan air akan lebih cepat. Untuk memperbesar nilai K ini harus dilakukan kontrol terhadap laju aliran bebas dan perbandingan antara ketinggian lapisan batas dengan panjang permukaan lapisan batas serta laju difusi uap air dalam udara.

Pada percobaan , nilai fluks massa total percobaan 1, percobaan 2, percobaan 3 dan percobaan 4 secara berturut-turut nilainya adalah $0.149 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{dtk}$, $0.235 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{dtk}$, $0.170 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{dtk}$ dan $0.274 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^2\text{dtk}$. Hal ini berarti bila nilai K dapat dikontrol maka proses penguapan air produk dapat berlangsung lebih cepat.

Tabel 6-27. Fluks massa uap air dalam lapisan batas sepanjang permukaan gabah

Panjang Rak Pengering (m)	Fluks Massa Uap, $\times 10^{-3}$ (kg/m ² dtk)			
	Percob. 1	Percob. 2	Percob. 3	Percob. 4
0				
0.05	0.473	0.525	0.538	0.552
0.10	0.334	0.371	0.381	0.403
0.15	0.273	0.303	0.311	0.382
0.20	0.236	0.263	0.269	0.326
0.25	0.211	0.235	0.241	0.274
0.30	0.193		0.220	
0.35	0.179		0.203	
0.40	0.167		0.190	
0.45	0.158		0.179	
0.50	0.149		0.170	



Gambar 8. Perubahan fluks massa uap air dalam ruang pengering terhadap jarak tak berdimensi pada permukaan rak.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

- 1). Kecepatan udara dan suhu merupakan parameter penting dalam proses pengeringan produk perikanan. Jenis aliran laminar sangat menentukan dalam memperoleh kecepatan dan suhu yang seragam sepanjang permukaan rak pengering serta ketebalan lapisan batas yang terbentuk, dimana udara panas masuk dalam ruang pengering tersebut akan memanaskan air yang terdapat pada lapisan permukaan dan mengangkat uap air yang terjadi keluar sistem menuju udara lingkungan.
- 2). Model persamaan matematika perpindahan energi secara simultan pada sistem pengering dapat memberikan gambaran tentang profil kecepatan, suhu dan massa udara pengering terhadap dimensi panjang rak pengering, tinggi ruangan kosong di atas rak serta dapat menentukan fraksi massa uap air yang terbawa oleh aliran udara keluar sistem.
- 3). Nilai fluks massa tak berdimensi (K) yang merupakan gambaran tentang terjadinya perpindahan massa uap air dalam lapisan batas, untuk percobaan 1 nilai K adalah 0.68, percobaan 2 sebesar 0.72, percobaan 3 sebesar 0.77, dan untuk percobaan 4 nilai K adalah 0.79. Semua percobaan memberikan nilai $K > 0$ ini berarti terdapat perpindahan massa uap air dalam lapisan batas.
- 4). Pada percobaan 1, dengan kecepatan aliran bebas sebesar 0.42 m/dtk dan suhu 37.6 °C, kecepatan rata-rata tertinggi diatas rak pengering adalah 0.33 m/dtk dengan nilai standar deviasi sebesar 0.02 m/dtk yaitu pada ketinggian 35 mm. Rasio kecepatan tak berdimensi ($\pi = u_\infty/v$) pada keadaan ini adalah 0.78. Percobaan 2, kecepatan rata-rata tertinggi adalah 0.34 m/dtk dengan nilai standar deviasi 0.014 m/dtk, yaitu pada ketinggian 50 mm. Rasio kecepatan tak berdimensi pada kecepatan ini adalah 0.81. Pada percobaan 3, nilai kecepatan tertinggi adalah 0.31 m/dtk dengan nilai standar deviasi sebesar 0.016 m/dtk, dengan rasio kecepatan tak berdimensi pada percobaan 3 adalah sebesar 0.78 pada ketinggian 40 mm dan kecepatan tak berdimensi ini juga terdapat pada ketinggian 50 mm. Untuk percobaan 4 kecepatan tertinggi terdapat pada ketinggian 25 mm yaitu 0.30 m/dtk dengan rasio kecepatan tak berdimensi sebesar 0.68.
- 5). Suhu rata-rata tertinggi dalam ruang pengering pada percobaan 1 besarnya adalah adalah 36.8 °C dengan nilai standar deviasi sebesar 0.29 °C yaitu pada ketinggian 45 mm dan suhu tak berdimensi sebesar 0.76, percobaan 2 suhu rata- rata tertinggi yang dicapai adalah 36.20 °C yaitu pada ketinggian 50 mm dengan suhu tak berdimensi sebesar 0.83, untuk percobaan

3 suhu rata-rata tertingginya adalah 36.5°C yaitu pada ketinggian 45 mm dan suhu tak berdimensi sebesar 0.84.

Pada percobaan 4 suhu rata-rata tertinggi adalah 34.60°C dengan nilai suhu tak berdimensi sebesar 0.58.

6). Kondisi RH dalam ruang pengering pada percobaan 1 adalah 50.01 % dengan standar deviasi 1.59 %, percobaan 2 adalah 49.14 % dan nilai standard deviasinya sebesar 1.42, percobaan 3 adalah 50.71 % dengan standar deviasi 1.10 % dan pada percobaan 4 besarnya RH adalah 50.49 % dengan standar deviasi 1.32 %.

7). Besarnya fluks massa uap air dalam lapisan batas, lamanya waktu proses penguapan air serta kebutuhan energi penguapan lapisan batas untuk percobaan 1 adalah 0.00149 kg/m^2 dtk, 7.30 jam dan 10.146 J/dtk , untuk percobaan 2 nilainya adalah 0.00235 kg/m^2 dtk, 7.16 jam dan 16.576 J/dtk , sedangkan untuk percobaan 3 nilainya adalah 0.00170 kg/m^2 dtk, 7.16 jam dan 8.355 J/dtk

Kadar air akhir produk ikan kering dari percobaan 1 untuk panjang permukaan rak 50 cm adalah 18.80 % (bk) dan percobaan 2 adalah 19.57 % (bk), kondisi udara pada aliran bebas dari kedua percobaan sama. Sedangkan untuk percobaan 3 dan percobaan 4 masing-masing nilai kadar air akhir gabah adalah 17.94 % (bk) dan 18.35 % (bk).

7.2. Saran

- (1). Untuk meningkatkan ketelitian model persamaan matematika pada sistem pengering perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mempelajari kecepatan aliran udara yang membentuk aliran turbulen pada lapisan permukaan produk yang dikeringkan, sehingga dimensi rak pengering terhadap kondisi operasi proses penguapan dapat dioptimalkan. Disamping itu perlu juga dikaji dalam penelitian lebih lanjut terhadap lapisan termal yang terjadi pada permukaan bahan yang dikeringkan, mengingat secara toritis panjang lapisan termal mulai terbentuk setelah adanya pembentukan tebal lapisan massa.
- (2). Dengan bertambahnya panjang permukaan rak mulai dari bagian tengah, dimana kondisi udara yaitu suhu, kecepatan dan RH mengalami penurunan, sehingga dibagian hilir rak kondisinya berbeda nyata dengan bagian depannya.
Guna mendapatkan kondisi udara yang seragam pada seluruh permukaan panjang rak perlu diupayakan penambahan kipas yang dapat meningkatkan kecepatan mulai dari bagian tengah rak, sehingga diperoleh kadar air akhir bahan yang seragam.

Disarankan untuk dapat dipergunakan dalam aplikasi pada sistem pengering perlu dilakukan modifikasi alat terutama yang berkaitan dengan rasio perbandingan panjang rak pengering dengan tinggi bagian kosong untuk aliran bebas serta kontrol suhu dan kecepatan untuk menjaga aliran tetap laminar. Untuk mendapatkan kondisi operasi (suhu, kecepatan dan RH) yang lebih seragam perlu dilakukan penelitian lanjut untuk diaplikasikan dalam skala lapang, terutama untuk mengatur letak inlet dan kipas. Disamping itu disarankan pula untuk memperkecil ketinggian ruang kosong diatas rak.