

PENGUJIAN PERFORMANSI MESIN PENGERING TENAGA SURYA DENGAN PRODUK YANG DIKERINGKAN ADALAH CASSAVA DENGAN BENTUK PRODUK BUJUR SANGKAR

Indra Gunawan Purba¹, Tekad Sitepu²

^{1,2}Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 Medan Indonesia
email: indragunawanpurba@gmail.com

Abstrak

Mesin pengering tenaga surya merupakan suatu peralatan yang dapat digunakan untuk mengeringkan produk hasil pertanian dan perkebunan, Contoh salah satu produk hasil pertanian dan perkebunan yang dikeringkan menggunakan mesin pengering adalah singkong. Tujuan pengujian ini adalah membangun model matematik karakteristik pengeringan untuk singkong dan mendapatkan efisiensi rata-rata kolektor surya selama proses pengujian. Pada kolektor surya plat datar, radiasi matahari yang datang akan diteruskan oleh kaca sehingga dapat diserap oleh plat *absorber* panas yang dihasilkan oleh *absorber* akan mengalir ke dalam ruang pengering secara konveksi natural. Di dalam ruang pengering, panas yang datang dari kolektor akan memanaskan ruang pengering. Kadar air yang terdapat pada singkong diuapkan sehingga uap air dan panas bercampur menjadi satu dan keluar dari ruang pengering melewati *chimney*. Pada pengujian yang telah dilakukan didapat model matematik karakteristik pengeringan dari singkong yaitu $MR = \exp(-4.999999939 \times 10^{-3} \times t)$. Efisiensi rata-rata tertinggi untuk kolektor surya selama proses pengujian pengeringan adalah 37,09%.

Kata kunci : singkong, pengeringan, kolektor, konveksi natural

Abstract

Solar drying machine is a device that can be used for drying agricultural products and plantation. One example of agricultural and plantation products are dried using a dryer is cassava. The purpose of testing is to build mathematical models for cassava drying characteristics and obtain an average efficiency of the solar collectors during the testing process. On a flat plate solar collectors, solar radiation coming will be forwarded by the glass so it can be absorbed by the absorber plate heat generated by the absorber will flow into the natural convection drying chamber. In the drying chamber, the heat coming from the collector will heat the drying chamber. Water content contained in the cassava was evaporated to steam and hot water mixed into one and out of the drying chamber through the chimney. In the testing that has been done matematik models obtained from cassava drying characteristics ie $MR = \exp(-4.999999939 \times 10^{-3} \times t)$. The highest average efficiency for the solar collectors during the drying test is 37.09%.

Keywords: cassava, drying, collectors, natural convection

1. Pendahuluan

Singkong merupakan umbi akar dari tanaman pangan berupa perdu yang dikenal dengan nama lain ubi kayu, ketela pohon atau *cassava*. Singkong mudah ditanam dan dibudidayakan, dapat ditanam di lahan yang kurang subur, risiko gagal panen 5 %, dan tidak mudah terserang hama. Dengan perkembangan teknologi, singkong dijadikan bahan dasar pada

industri makanan dan bahan baku industri pakan. Selain itu, digunakan pula dalam industri obat - obatan [1].

Penanganan pasca panen bertujuan untuk mempertahankan mutu produk dan meningkatkan nilai tambah. Agar dapat memperpanjang masa simpan produk, diperlukan proses pengawetan. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan proses pengeringan [1].

Mengingat wilayah Indonesia yang dilalui garis katulistiwa, sinar matahari cukup melimpah di negara kita sehingga pengembangan teknologi tepat guna yang memanfaatkan sinar matahari sebagai energi alternatif sangat sesuai. Aplikasinya dalam bidang pengering berupa Mesin Pengering Tenaga Surya yang memanfaatkan sinar matahari untuk memanaskan udara pengering yang akan diumpankan pada produk.

2. Tinjauan Pustaka

Pengeringan hasil pertanian dan perkebunan merupakan salah satu unit operasi energi paling intensif dalam pengolahan pasca panen. Unit operasi ini diterapkan untuk mengurangi kadar air produk seperti berbagai buah-buahan, sayuran, dan produk pertanian atau perkebunan lainnya setelah panen. Pengeringan adalah proses pemindahan panas dan uap air secara simultan yang memerlukan panas untuk menguapkan air dari permukaan bahan tanpa mengubah sifat kimia dari bahan tersebut. Dasar dari proses pengeringan adalah terjadinya penguapan air ke udara karena perbedaan kandungan uap air antara udara dan bahan yang dikeringkan. Laju pemindahan kandungan air dari bahan akan mengakibatkan berkurangnya kadar air dalam bahan tersebut [2].

Faktor-faktor yang berpengaruh dalam proses pengeringan adalah suhu, kelembaban udara, laju aliran udara, kadar air awal bahan dan kadar air akhir bahan [2].

Jenis-jenis pengeringan berdasarkan karakteristik umum dari beberapa pengering konvensional dibagi atas 8 bagian, yaitu [2] :

- a) Baki atau wadah
- b) Rotary
- c) Flash
- d) *Spray*
- e) *Fluidized bed*
- f) *Vacum*
- g) Membekukan
- h) *Batch dryer*

Pada proses pengeringan selalu diinginkan kecepatan pengeringan yang maksimal. Oleh karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mempercepat pindah panas dan pindah massa (pindah massa dalam hal ini adalah perpindahan air keluar dari bahan yang dikeringkan dalam proses pengeringan tersebut).

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan yang maksimum, yaitu [3] :

- a) Luas Permukaan Bahan
- b) Suhu
- c) Kecepatan Udara
- d) Kelembaban Udara (RH)
- e) Tekanan Atmosfir Dan Vakum
- f) Waktu

Sekilas Tentang Singkong

Cassava (Manihot utilissima) menghasilkan umbi setelah tanaman berumur 6 bulan. Setelah tanaman berumur 12 bulan dapat menghasilkan umbi basah sampai 30 ton/ha. Kerusakan yang biasa timbul pada ubi kayu adalah warna hitam yang disebabkan oleh aktivitas enzim polyphenolase atau biasa disebut dengan kepoyoan [4].

Akar-akaran dan umbi-umbian kandungan patinya tinggi dan kenyataannya bahwa ditanam secara melimpah, akar-akaran dan umbi-umbian merupakan salah satu pangan pokok atau yang utama yang dimakan diberbagai bagian Asia Tenggara. Di samping sayuran akar-akaran semacam itu seperti *cassava* (singkong), talas, kentang, ubi jalar dan uwi, buah-buahan yang berpati seperti pisang untuk dimasak, sukun dan nangka dimasukkan dalam golongan pangan di atas. Pangan tersebut merupakan sumber energi yang baik [5].

Kolektor Surya

Kolektor surya merupakan sebuah alat yang mampu menyerap sinar radiasi matahari, sehingga dapat memanaskan udara yang ada di dalam ruang kolektor tersebut. Panas di dalam ruang kolektor dapat digunakan untuk

berbagai keperluan salah satunya adalah untuk pengeringan di dalam bidang pertanian.

Kolektor datar dan konsentrator merupakan alat yang digunakan untuk mengumpulkan energi radiasi surya sedemikian sehingga energi termal yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih praktis untuk berbagai proses. Kolektor surya yang pada umumnya memiliki komponen-komponen utama, yaitu [6] :

- a) *Cover* (penutup) transparan
- b) *Absorber*
- c) *Kanal*
- d) *Isolator*
- e) *Frame*

Perpindahan Panas

Perpindahan panas dibagi menjadi tiga klasifikasi, yaitu perpindahan panas konduksi, konveksi, dan radiasi. Untuk lebih mengetahui definisi dari klasifikasi perpindahan panas ini dapat kita lihat pada penjelasan di bawah ini [7].

- perpindahan panas konduksi
- perpindahan panas konveksi
- perpindahan panas radiasi

Perpindahan Massa

Koefisien perpindahan massa (*mass transfer coefficient*) mempunyai analogi dengan koefisien perpindahan panas, sehingga dapat didefinisikan seperti halnya perpindahan panas [8].

Difusivitas yang terjadi pada keadaan steady yang melintasi ketebalan lapisan batas setebal Δy , adalah [8] :

Berdasarkan hukum-hukum fenomena dalam persamaan yang mengatur perpindahan massa, momentum dan energi mempunyai keserupaan, sehingga profil suhu, kecepatan dan konsentrasi mempunyai bentuk yang sama dalam fenomena lapisan batas.

3. Metodologi Pengujian

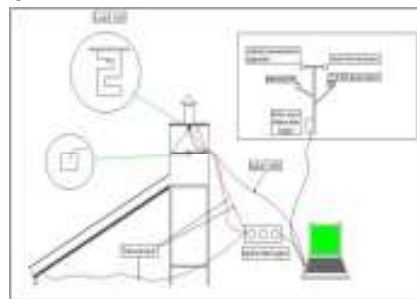
Pengujian performa mesin pengering tenaga surya dengan produk yang dikeringkan adalah singkong (*cassava*) dengan bentuk produk dibentuk seperti bujur sangkar ($\pm 1\text{cm}^3$)

dilakukan di Laboratorium Teknik Pendingin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

Salah satu metode yang digunakan untuk menentukan performansi mesin pengering yaitu membangun model matematik karakteristik pengeringan untuk *cassava* serta mendapatkan efisiensi rata-rata dari mesin pengering, selama proses pengujian diperlukan parameter-parameter yang diukur untuk menentukan performansi mesin pengering tersebut. Parameter utama yang diukur selama pengujian meliputi :

1. Massa (berat)
2. Temperatur
3. Intensitas matahari
4. Aliran Fluida
- 5.

Untuk melihat secara rinci parameter-parameter yang diukur, kita dapat melihat pada sub bab experimental set up pada gambar di bawah ini.



Gambar 3.1 *Experimental set up*

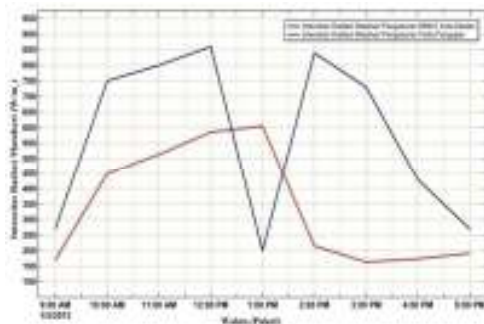
Adapun prosedur pengujian yang dilakukan adalah :

1. Siapkan komponen-komponen mesin pengering (kolektor, bak pengering, dan kaki bak pengering).
2. Pasang mesin pengering dalam posisi yang baik dan benar.
3. Pasang kabel-kabel *termo couple* dari agilent pada plat *absorber*, ruang pengering dan inti ubi kayu.
4. Hidupkan *Load cell* sebelum merekam data *load cell* ditare kan terlebih dahulu agar di layar laptop massa berada pada posisi 0 gr.
5. Hubungkan parameter-parameter yang akan diukur ke *data logger* dan laptop.
6. Timbang *Cassava* dan masukkan kedalam ruang pengering.

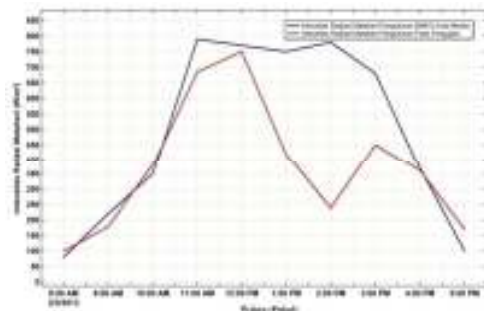
7. Proses perekaman data dimulai.
8. Pengeringan dilakukan sampai massa cassava mencapai titik equilibrium.

4. Data dan Analisa Data

Perbandingan antara data intensitas radiasi matahari hasil pengukuran pada pengujian dengan radiasi surya dengan data intensitas radiasi matahari hasil pengukuran BMKG Kota Medan dapat dilihat pada grafik di bawah ini :



Grafik 4.1 perbandingan data intensitas radiasi matahari hasil pengukuran pada pengujian dengan data BMKG Kota Medan pada tanggal 1 Maret 2013



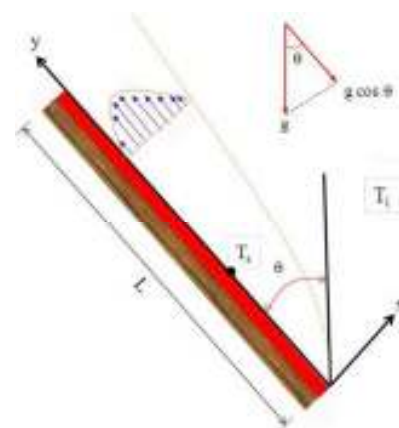
Grafik 4.2 perbandingan data intensitas radiasi matahari hasil pengukuran pada pengujian dengan data BMKG Kota Medan pada tanggal 2 Maret 2013

Pada grafik 4.1 kita melihat penurunan intensitas radiasi matahari pengukuran pada pengujian pukul 13:00 Wib ke pukul 14:00 Wib, hal ini dikarenakan cuaca mulai mendung

sehingga mengakibatkan intensitas matahari pengukuran menurun dari 605,103 W/m² menjadi 214,877 W/m². Sedangkan pada intensitas radiasi matahari pengukuran BMKG nilai intensitas menurun pada pukul 12:00 Wib ke pukul 13:00 Wib. Namun pada pukul 14:00 Wib nilai intensitas kembali naik, hal ini terjadi karena kemungkinan jarak antara Laboratorium Teknik Pendingin, Fakultas Teknik, USU dengan Stasiun Klimatologi Sampali, Medan mempunyai jarak yang cukup jauh sehingga cuaca pada kedua tempat ini kemungkinan ada perbedaan.

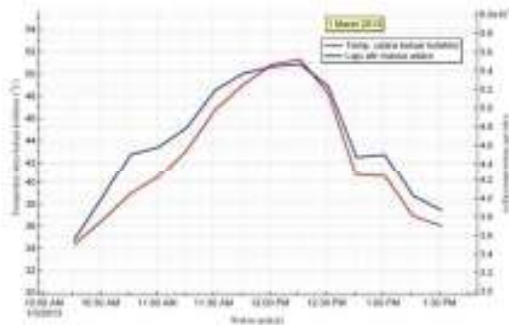
Pada mesin pengering kolektor surya ini perpindahan panas yang terjadi adalah perpindahan panas konveksi natural, sehingga aliran udara yang terjadi melalui kolektor adalah akibat perpindahan panas konveksi natural.

Perpindahan panas pada kolektor dianalisa dengan plat absorber adalah plat miring dan dengan temperatur seragam.

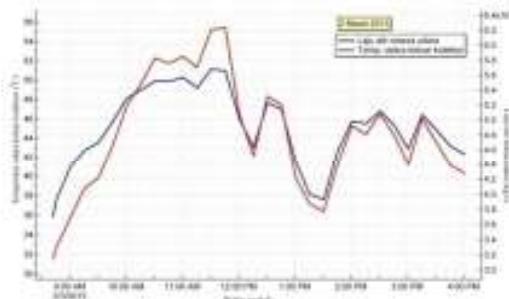


Gambar 4.1 Konveksi natural pada plat absorber [9].

Grafik laju aliran massa udara keluar dari kolektor dan temperatur udara keluar dari kolektor untuk pengujian ditunjukkan pada grafik di bawah ini :

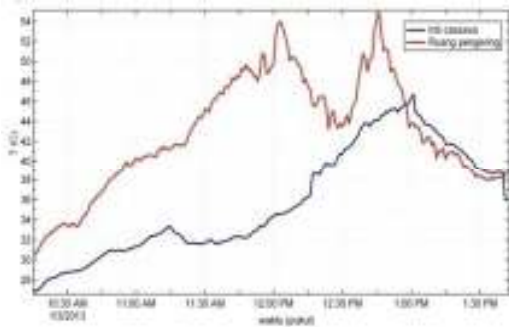


Grafik 4.3 \dot{m} dan \bar{T} untuk pengujian pada tanggal 1 Maret 2013

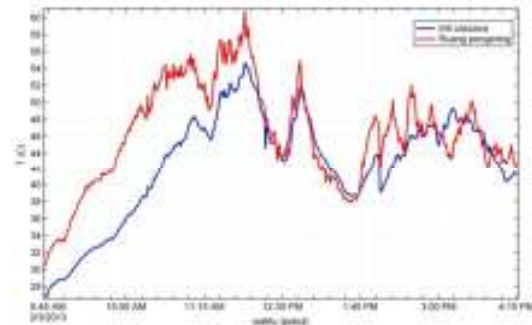


Grafik 4.4 \dot{m} dan \bar{T} untuk pengujian pada tanggal 2 Maret 2013

Temperatur plat absorber sangat berpengaruh terhadap laju alir massa, jika nilai temperatur plat absorber tinggi maka laju alir massa udara pada kolektor akan tinggi. Nilai laju alir massa udara paling tinggi pada tanggal 1 maret 2013 terjadi pada pukul 12:16 Wib -12:30 Wib yaitu 0.00547 kg/s.



Grafik 4. 5 Temperatur ruang pengering dan inti cassava pada tanggal 1 Maret 2013



Grafik 4.6 Temperatur ruang pengering dan inti cassava pada tanggal 2 Maret 2013

Pada grafik 4.5 di atas temperatur inti cassava pada saat awal pengujian sangat rendah karena kadar air dari cassava tersebut. Setelah beberapa jam temperatur inti cassava akan terus naik jika temperatur dari ruang pengering lebih tinggi dari temperatur inti cassava. Setelah kadar air dari cassava sudah kecil sehingga susah untuk menguapkannya lagi, maka temperatur inti cassava dengan temperatur ruang pengering akan relatif sama seperti terlihat seperti grafik 4.6 di bawah ini. Temperatur ruang pengering bias mencapai 58,9°C, temperatur ini cukup baik untuk pengeringan produk hasil pertanian. Data temperatur inti cassava dan ruang pengering dapat dilihat pada lampiran. Begitu juga untuk sampel 2 setelah proses pengeringan kadar air dari cassava mencapai di bawah 10%.

Analisa Moisture Ratio (MR) Pada Pengeringan Cassava

Karakteristik pengeringan cassava dapat di tampilkan dalam bentuk kurva penurunan *moisture ratio* (MR) cassava terhadap waktu pengeringan. Dalam perhitungan teoritis *moisture ratio* telah dibuat di dalam literatur. Model persamaan yang paling sering digunakan untuk perhitungan teoritis *moisture ratio* untuk lapisan tipis (*thin layer*) adalah persamaan Newton [10]. *Moisture ratio* selama proses pengeringan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt)$$

Dimana :

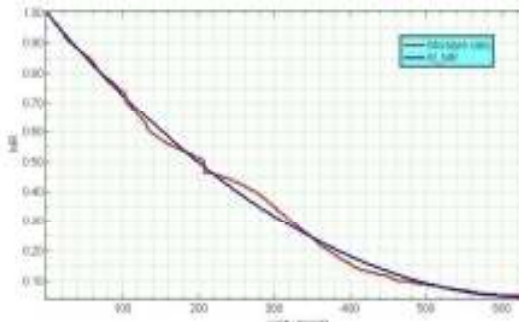
MR = *Moisture Ratio*

M = massa produk pada saat pengeringan (gr)

M_e = massa kering produk (gr)

M_i = massa awal produk (gr)

Grafik *moisture ratio cassava* terhadap waktu yang diuji pada tanggal 1 Maret 2013 dan 2 Maret 2013 seperti pada grafik 4.13 dibawah ini.



Grafik 4.7 *moisture ratio cassava*

Analisa Koefisien Diffusifitas efektif (D_{eff})

Persamaan diffusifitas Fick untuk benda dengan geometri *slab* (lempeng) digunakan untuk perhitungan diffusifitas efektif. Karena *cassava* yang akan dikeringkan kita bentuk dalam bentuk bujur sangkar, maka sampel dianggap dalam bentuk geometri *slab*. Sehingga persamaan dapat dinyatakan sebagai berikut [11] :

$$MR = \frac{8}{\pi^2} \exp \frac{-\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}$$

Dimana :

MR = *moisture ratio*

D_{eff} = diffusifitas kelembaban efektif (m²/menit)

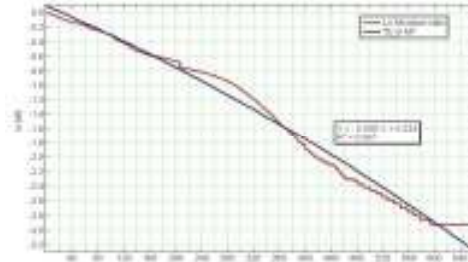
t = waktu pengeringan (menit)

L = setengah dari ketebalan *slab* (ukuran *cassava*) (5. 10⁻³ m)

Koefisien diffusifitas kelembaban efektif biasanya dapat kita hitung dengan memplot data pengeringan eksperimen dalam ln (MR) *versus* waktu pengeringan, sehingga persamaannya menjadi :

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}$$

Maka kita dapat memplot data ln MR vs waktu yang ditunjukkan pada grafik dibawah ini,



Grafik 4.8 ln MR vs waktu

maka didapatkan nilai dari koefisien diffusifitas efektif dari *cassava* adalah :

$$0.005 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}$$

$$D_{eff} = \frac{4L^2(0.005)}{\pi^2}$$

$$D_{eff} = 5.066059182 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{menit}$$

Nilai diffusifitas efektif dari *cassava* adalah 5.066059182 x 10⁻⁸ m²/menit dengan temperatur rata-rata ruang selama pengeringan adalah 45.61 °C.

Analisa Slope (k)

Untuk mendapatkan nilai *slope* (k) kita dapat menggunakan persamaan berikut [11].

$$\text{slope} (k) = \frac{D_{eff} \pi^2}{4L^2}$$

Dimana:

slope (k) = *drying constant* (1 / menit)

D_{eff} = diffusifitas kelembaban efektif (5.066059182 x 10⁻⁸ m²/menit)

L = setengah dari ketebalan *slab* (ukuran *cassava*) (5. 10⁻³ m)

nilai dari *slope* (k) adalah sebagai berikut :

$$\text{slope} (k) = \frac{5.066059182 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{menit} \pi^2}{4 (5 \times 10^{-3} \text{ m})^2}$$

$$\text{slope} (k) = 4.999999939 \times 10^{-3} \text{ 1}/\text{menit}$$

Dari nilai *slope* (k) di atas kita dapat membuat persamaan *moisture*

ratio (MR) untuk cassava dengan bentuk produk bujur sangkar dengan ukuran (1cm x 1cm x 1cm) adalah sebagai berikut :

$$MR = \exp(-4.999999939 \times 10^{-3} \times t)$$

Efisiensi Mesin Pengering

Efisiensi mesin pengering ditentukan oleh besarnya panas yang diterima kolektor (Q_{in}) terhadap panas yang dapat dimanfaatkan (Q_u). Efisiensi mesin pengering dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{in}} = \frac{\dot{m}.C_p.(T_s - T_i)}{A.I}$$

Dimana :

- \dot{m} = laju massa udara masuk (kg/s)
- C_p = panas jenis udara (J/kg.K)
- T_s = temperatur plat (K)
- T_i = temp. udara lingkungan (K)

A = luas permukaan plat absorber kolektor (1 m²)

I = Intensitas radiasi matahari global (W/m²)

Nilai efisiensi rata-rata kolektor surya selama proses pengujian pengeringan adalah :

- Tanggal 1 maret 2013 adalah 27,26%
- Tanggal 2 maret 2013 adalah 37,09%
- Tanggal 5 maret 2013 adalah 36,24%
- Tanggal 6 maret 2013 adalah 32,44%

Energi Untuk Pengeringan

• **Kalor Uap Untuk Singkong**

Kebutuhan energi total untuk pengeringan singkong adalah jumlah dari kebutuhan energi untuk memanaskan singkong, energi untuk memanaskan air yang dikandung singkong dan energi untuk menguapkan air singkong. Massa singkong yang dipergunakan dalam penelitian adalah 421 gr untuk sampel pertama dan setelah mengalami pengeringan menjadi 156 gr. Untuk sampel kedua adalah 448 gr dan setelah mengalami pengeringan menjadi 169 gr. Kadar air awal singkong dalam penelitian adalah 66,54 % untuk sampel pertama dan 65,49 % untuk sampel kedua, kadar air yang

dikandung singkong setelah mengalami pengeringan adalah 9,69 % untuk sampel pertama dan 8,52 % untuk sampel kedua (dianggap kering). Panas spesifik singkong adalah 1,45 kJ/kg.K.

Untuk menghitung energi yang dibutuhkan dalam pengeringan singkong selama pengujian kita ambil pada sampel pertama.

$$E_{md} = M_s.C_{ps}.(T_i - T_o)$$

Dimana,

- M_s = Massa kering (0,14088 kg)
- C_{ps} = Panas spesifik (kJ/kg.K)
- T_i = Suhu inti akhir (41°C = 314 K)
- T_o = Suhu inti awal (26,8°C = 299,8 K)

Maka,

$$E_{md} = (0,14088 \text{ kg}).(1,45 \text{ KJ/kg.K}).(314 \text{ K} - 299,8 \text{ K}) = 2,9 \text{ kJ}$$

$$E_{air} = M_{air} C_{p,air} (T_i - T_o)$$

Dimana,

- E_{air} = Energi yang digunakan untuk memanaskan air (KJ)
- M_{air} = Massa air yan dikandung singkong (0,2801334 kg)
- $C_{p,air}$ = Panas spesifik air (1,0059 kJ/kg.K)
- T_i = Suhu inti akhir singkong (41°C = 314 K)
- T_o = Suhu inti awal singkong (26,8°C = 299,8 K)

Maka,

$$E_{air} = (0,2801334 \text{ kg}).1,0059 \text{ kJ/kg K} .(314 \text{ K} - 299,8 \text{ K}) = 4,00136 \text{ kJ}$$

$$E_{pt} = M_{air} \times h_{fg}$$

Dimana,

h_{fg} =Enthalpy penguapan(2419 kJ/kg) (Sumber:K.A.Kobe and R. E. Lynn. 1993)

Dan selanjutnya harus diketahui berapa massa uap air yang akan dikeluarkan dari 421 gr, yaitu dengan memakai persamaan :

$$M_{air} = \frac{X_o - X_i}{1 - X_i} . M_b$$

Dimana ,
 X_o = Kadar air awal singkong
 X_i = Kadar air akhir singkong
 M_b = Massa singkong basah (kg)

Maka,

$$M_{air} = \frac{0,6654 - 0,0969}{1 - 0,0969} \cdot 421$$

$$= 265,02 \text{ gr}$$

Maka,

$$E_{pt} = (0,26502 \text{ kg}) (2419 \text{ KJ/kg})$$

$$= 641,083 \text{ KJ}$$

Maka kita dapat menghitung harga E_{tot} yaitu :

$$E_{tot} = 2,9 \text{ kJ} + 4,00136 \text{ kJ} + 641,083 \text{ kJ}$$

$$= 647,984 \text{ kJ}$$

Maka nilai rata-rata dari jumlah kalor yang diperlukan untuk mengeringkan singkong per satuan berat (kalor uap untuk singkong) adalah 1533,9935 kJ/kg

• Kalor Yang Diterima Dari Kolektor

Nilai rata-rata dari jumlah kalor panas yang dialirkan oleh kolektor menuju ruang pengering untuk mengeringkan singkong adalah 11837,773 kJ.

Dari jumlah kalor yang digunakan oleh mesin pengering maka dapat dihitung berapa besar jumlah berat singkong maksimum yang dapat dikeringkan oleh mesin pengering yaitu :

$$\text{Berat maksimum} = \frac{11837,773 \text{ kJ}}{1533,9935 \text{ kJ/kg}}$$

$$\text{Berat maksimum} = 7,717 \text{ kg}$$

Jadi berat maksimum yang dapat dikeringkan oleh mesin pengering dengan jumlah kalor yang digunakan dari kolektor adalah sebesar 7,717 kg.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari pengujian didapat data intensitas radiasi matahari hasil pengukuran pada saat pengujian dengan BMKG terdapat perbedaan,

perbedaan hasil pengukuran data yang dilakukan tidak terlalu jauh. Hal ini terjadi karena jarak antara Laboratorium Teknik Pendingin, Fakultas Teknik, USU dengan Stasiun Klimatologi Sampali, Medan mempunyai jarak lumayan cukup jauh sehingga cuaca dan kondisi awan pada kedua tempat ini pasti ada perbedaan dan intensitasnya juga beda. Dan Model matematis karakteristik pengeringan cassava (singkong) adalah

$$MR = \exp(-4.999999939 \times 10^{-3} \times t).$$

Nilai efisiensi rata-rata kolektor surya selama proses pengujian pengeringan adalah :

1 maret 2013 adalah 27,26%

2 maret 2013 adalah 37,09%

5 maret 2013 adalah 36,24%

6 maret 2013 adalah 32,44%

Berat maksimum yang dapat dikeringkan oleh mesin pengering dengan jumlah kalor yang digunakan dari kolektor adalah sebesar 7,717 kg.

Untuk penelitian selanjutnya perlu untuk mengetahui pengaruh jarak kaca ke plat agar mendapat jarak yang ideal antara kaca dan plat pada mesin pengering kolektor surya tipe plat datar. Selain itu perlu Perlu penelitian lebih lanjut mengenai optimasi jumlah berat sampel yang dapat dikeringkan oleh mesin pengering ini dan Perlu pengujian produk hasil pertanian dan perkebunan yang lain untuk mendapatkan model persamaan pengeringannya menggunakan mesin pengering ini.

Daftar Pustaka

- [1] Rahmat Rukmana, H. Ir. 1997. Ubi Kayu, Budidaya dan Pasca Panen. Penerbit Kanisius (Anggota IKAPI), Yogyakarta.
- [2] Law, C. L. and Mujumdar, A. S. 2009. Drying: Biological Materials. Encyclopedia of Industrial Biotechnology: Bioprocess, Bioseparation, and Cell Technology. 1-17, Malaysia Campus, Selangor Malaysia.
- [3] Rohanah, Ainun. 2006. *Teknik pengeringan (TEP421)*. Buku

- ajar, Departemen teknologi pertanian fakultas pertanian USU 2006 : Medan.
- [4] Syarif, R dan A. Irawati, 1988. Pengetahuan Bahan untuk Industri Pertanian. Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- [5] Harper JF, Sussman MR, Schaller GE, Putnam-Evans C, Charbonneau H, Harmon AC (1991) A calciumdependent protein kinase with a regulatory domain similar to calmodulin. *Science* 252: 951–954
- [6] [http://interestingenergyfacts.blogspot.com/Solar energy industry and solar energy jobs](http://interestingenergyfacts.blogspot.com/Solar_energy_industry_and_solar_energy_jobs)
- [7] Yunus, A. Cengel.2002. *HeatTransfer A Practical Approach, Second Edition*. Mc Graw-Hill, Book Company, Inc : Singapore.
- [8] Holman, J.P., 1986. *Heat Transfer, Sixth Edition*. Mc Graw-Hill, Book Company, Inc : Singapore.
- [9] Ambarita, Himsar.2011. *Perpindahan Panas Konveksi dan Pengantar Alat Penukar Kalor*. Medan : Departemen Teknik Mesin FT USU.
- [10] Liu Q., Bakker-Arkema F.W., 1997. Stochastic modelling of grain drying: model development. *J Agric Eng Res* 66, 275-280.
- [11] A.S. Ajala, dkk. 2012. *Drying Characteristics and Mathematical Modelling of Cassava Chips*. Chemical and Process Engineering Research www.iiste.org ISSN 2224-7467 (Paper) ISSN 2225-0913 (Online) Vol 4, 2012.