

Rancang Bangun, Uji Performa dan Analisa Biaya Pengeringan Irisan Singkong Menggunakan Pengering Inframerah

Design, Performance Evaluation, and Cost Analysis of Cassava Chips Drying Using Infrared Dryer

Ari Rahayuningtyas dan Nok Afifah

Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna LIPI
Jl.K.S.Tubun No. 5 Subang, Jawa Barat
Email : arirahayuningtyas@gmail.com

Diterima : 4 Februari 2016

Revisi : 2 Maret 2016

Disetujui : 16 April 2016

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang bangun pengering inframerah berbahan bakar gas. Tahap kegiatan yang dilakukan adalah melakukan perancangan, terdiri dari perancangan struktural dan fungsional, konstruksi, pengujian, dan analisis biaya. Pengujian dilakukan pada *setting* temperatur 50°C dan kelembaban relatif mendekati 20 persen dengan kecepatan udara masuk 3,4 m/detik. Parameter pengujian terdiri dari distribusi temperatur, kelembaban relatif, kadar air, dan kebutuhan energi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari perancangan struktural dan fungsional diperoleh dimensi ruang pengering berukuran 2000 mm x 2000 mm x 2000 mm, dengan 2 buah rak berukuran 1500 mm x 500 mm x 1400 mm dan 44 buah loyang berukuran 600 mm x 400 mm x 30 mm. Evaluasi kinerja pengering menggunakan 36 kg irisan singkong. Kadar air awal 60,23 persen turun menjadi 7,56 persen membutuhkan waktu pengeringan selama 5 jam menghasilkan produk sebesar 17 kg. Konsumsi LPG yang dibutuhkan sebesar 2,5 kg dengan energi yang dibutuhkan sebesar 135 MJ. Besarnya biaya pokok yang harus dikeluarkan untuk mengkonstruksi pengering ini adalah Rp. 69.644.959,00 sedangkan biaya pokok pengeringan singkong pada kapasitas penuh sebesar Rp. 5.683,00/kg.

kata kunci: pengering, rancang bangun, analisis biaya

ABSTRACT

The research is purposed to design and construct infrared dryer using gas fuel. The design consists of structural and functional design, construction, testing, and cost analyzing. The testing is done at the temperature of 50°C and relative humidity of about 20 percent with air velocity inlet 3,5 m/s. Testing parameters consists of temperature distribution, relative humidity, moisture content, and energy requirement. The result of structural and functional design show that the dryer dimension was 2000 mm x 2000 mm x 2000 mm, with 2 rack sized 1500 mm x 500 mm x 1400 mm and with 44 trays sized 600 mm x 400 mm x 30 mm. The performance is evaluated using 36 kg cassava chips. The Initial moisture content of 60,23 percent decreases to 7,56 percent, drying time needs 5 hours to produce about 17 kg. The LPG needs to dry those chips is 2,5 kg, equivalent with 135 MJ. The total cost for construction is amount Rp 69.644.959,00 while the total cost for cassava drying at full capacity is amount Rp 5.683,00/kg.

keywords: dryer, design and construction, cost analysis

I. PENDAHULUAN

Singkong atau ubikayu (*Manihot esculenta* Scrantz) merupakan salah satu sumber karbohidrat lokal Indonesia yang menduduki urutan ketiga terbesar setelah padi dan jagung (Chalil, 2003). Kandungan gizi singkong tidak kalah dengan beras dan gandum selain sebagai

sumber karbohidrat, mengandung vitamin B1, vitamin C juga mempunyai serat yang membantu proses pencernaan (Prabawati, dkk. 2011). Produksi singkong segar pada tahun 2014 sekitar 23.436 ribu ton (BPS, 2015). Umbi singkong merupakan produk *perishable* dan mulai mengalami penurunan mutu setelah 2-3 hari pasca panen sehingga pengolahan

lebih lanjut perlu segera dilakukan diantaranya dengan pengeringan (Bentil, 2011). Irisan singkong kering dapat digunakan untuk produk yang dapat dimakan, untuk persiapan tepung, juga digunakan dalam formulasi pakan ternak, dan dalam industri digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan pati, dekstrin, glukosa dan etil alkohol (Osuntokun, dkk. 1981 dalam Liberty dan Dzivana, 2013).

Pengeringan adalah proses pemindahan atau pengeluaran kandungan air bahan hingga mencapai kandungan air tertentu. Pengeringan makanan memiliki dua tujuan utama yaitu sebagai sarana memperpanjang umur simpan dengan cara mengurangi kadar air makanan untuk mencegah pertumbuhan mikroorganisme pembusuk dan meminimalkan biaya distribusi bahan makanan karena berat dan ukuran makanan menjadi lebih rendah (Natipulu, dkk. 2012; Wicaksono, 2012). Geometri (bentuk dan ukuran) irisan singkong, beban tiap unit area pengering, kandungan air singkong awal, kecepatan udara, temperatur, dan kelembaban berpengaruh terhadap waktu pengeringan (Eko, 2003; Bentil, 2011).

IITA (2005) mengidentifikasi empat metode pengeringan singkong, yaitu secara alami (pengeringan matahari), pengeringan artifisial (menggunakan udara pengering dari listrik, biomassa, *solar*, sumber energi terbarukan dan bahan bakar fosil lain), rotari, dan *flash drying*. Pengeringan singkong oleh masyarakat pada umumnya dengan cara penjemuran secara langsung dibawah sinar matahari yang membutuhkan waktu 2 sampai 3 hari untuk menjadi kering. Kondisi iklim yang tidak dapat diandalkan juga membuat penjemuran secara terus menerus menjadi sulit. Kontaminasi oleh udara, debu dan puing-puing tidak dapat sepenuhnya dihindari selama penjemuran terutama di hari berangin. Pengeringan buatan memiliki kelebihan diantaranya menghemat waktu dan ruang pengering, memungkinkan pengeringan lanjutan di malam hari, terutama selama periode puncak panen dan memperbaiki mutu produknya (Liberty dan Dzivana, 2013; Jading, dkk. 2014).

Salah satu alternatif teknologi pengeringan bahan pertanian yang saat ini menjadi perhatian adalah pengeringan inframerah. Pengeringan

ini memberikan beberapa keuntungan dibandingkan pengeringan konvensional dalam kondisi pengeringan yang sama, diantaranya memberikan produk yang terpapar panas lebih seragam sehingga menghasilkan produk dengan karakteristik kualitas yang lebih baik, penurunan waktu pengeringan, dan efisiensi energi yang tinggi (Nowak dan Lewicki, 2004; Sharma, dkk. 2005).

Penelitian mengenai rancang bangun pengering tipe rak telah dilakukan diantaranya oleh Hardanto dan Sulistyono (2010) untuk mengeringkan klanting dengan sumber bahan bakar kompor. Uji performansi menggunakan beban menunjukkan kapasitas rak pengering total 15 kg dengan kapasitas rata-rata 1,501 kg, temperatur terendah 37-47°C, jumlah energi 2,52 kWh. Dengan Kadar air awal 56,15 persen dan kadar air akhir 28,21 persen. Liberty dan Dzivana (2013) mengkonstruksi pengering irisan singkong berbahan bakar kayu dengan kapasitas 6 kg per batch. Rancang bangun *mixed-mode solar dryer* dengan kapasitas 100 kg telah dilakukan oleh Lawrence, dkk. (2013) dan memperlihatkan temperatur rata-rata pengeringan 40,9°C dengan kehilangan berat 1,56 kg per jam pada beban 50 persen kapasitas.

Untuk alasan ini, dikonstruksi pengering tipe rak berbahan bakar LPG dengan memanfaatkan gelombang inframerah. Penelitian ini bertujuan untuk merancang (struktural dan fungsional), mengkonstruksi, dan mengevaluasi kinerja pengering inframerah untuk mengeringkan irisan singkong. Parameter pengujian meliputi pemerataan temperatur, kelembaban relatif, kadar air produk, dan kebutuhan energi. Evaluasi disertai analisis biaya pembuatan pengering tersebut dan biaya pengeringan produk.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan di Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna-LIPI Subang, Jawa Barat dengan tahapan sebagai berikut :

2.1. Perancangan

Pada penelitian ini menggunakan konsep rancang bangun yang terdiri dari beberapa tahapan antara lain perancangan, konstruksi dan pengujian.

2.1.1. Perancangan fungsional

Bagian utama pengering ini adalah : ruang pengering, rak pengering, loyang pengering, jendela udara, kipas, *exhaust fan* dan *burner* pemanas. Loyang digunakan sebagai wadah untuk menempatkan irisan singkong, jendela udara sebagai lubang masuknya udara ke dalam ruang pengering, kipas untuk meratakan udara panas dalam ruang pengering, *exhaust fan* untuk menyedot udara keluar ruang pengering dan *burner* pemanas berfungsi sebagai sumber penghasil panas.

2.1.2. Perancangan struktural

Dimensi ruang pengering mempunyai ukuran 2000 mm x 2000 mm x 2000 mm, rangka tersusun dari besi *hollow* berukuran 40 mm x 20 mm. Bagian dalam ruangan terdiri dari *styrofoam* dilapisi plat *stainless steel 304* tebal 1 mm sebagai pemantul radiasi elektromagnetik, sedangkan dinding bagian luar menggunakan plat aluminium bermotif kulit jeruk, dengan tebal 0,8 mm. Bagian lantai menggunakan *T Block* dengan tebal 20 mm dan menggunakan lapisan yang sama seperti dinding. Ruang pengering ini memiliki 2 buah rak terbuat dari *stainless steel hollow* 40 mm x 20 mm dengan jarak antar rak 800 mm. Tiap rak mempunyai ukuran panjang 1500 mm, lebar 500 mm dan tinggi 1400 mm. Rak digunakan untuk menempatkan loyang yang terbuat dari aluminium dan *wiremesh stainless steel* dengan jarak antar loyang diatur 200 mm.

2.2. Peralatan Pendukung Rancang Bangun

Peralatan yang digunakan dalam kegiatan ini antara lain: peralatan pendukung perancangan mekanik dan perbengkelan yaitu gerinda tangan, mesin las, mesin bor, mesin lipat, gunting lipat stang rivet serta alat pendukung lainnya.

2.3. Persiapan Bahan

Bahan mekanik logam dan sistem kontrol diperoleh dari *supplier* Bandung. Singkong segar diperoleh dari hasil panen perkebunan singkong di daerah Dawuan – Subang. Singkong dikupas dan diiris tipis dengan menggunakan mesin *slicer*. Ketebalan irisan singkong sekitar 3 mm.

2.4. Perhitungan Desain dan Analisis Biaya

2.4.1. Pertimbangan Perancangan

Pertimbangan (asumsi) yang diambil dalam rancang bangun ini adalah berdasarkan survei tingkat kebutuhan usaha kecil menengah (UKM) dalam mengeringkan produk hasil pertanian, rata-rata dalam satu kali proses pengeringan antara 35 sampai dengan 50 kg.

2.4.2. Persamaan Perancangan Dimensi Tray dan Kamar Pengering

Luas permukaan irisan singkong (A_s) dan luasan loyang dihitung dengan persamaan (1) dan (2) sebagai berikut:

$$A_{IS} = \frac{\pi}{4} d_{IS}^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$A_L = A_{IS} \times N_{IS} \dots \dots \dots (2)$$

keterangan :

A_{IS} : luas irisan singkong, m²

d_{IS} : diameter irisan singkong, m

N_{IS} : jumlah irisan singkong

A_L : luasan loyang, m²

Berat irisan singkong tiap loyang dan jumlah loyang yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan (3) dan (4) sebagai berikut,

$$W_{SL} = N_{IS} \times W_{IS} \dots \dots \dots (3)$$

$$N_L = \frac{W_T}{W_{SL}} \dots \dots \dots (4)$$

keterangan :

W_{IS} : berat tiap irisan singkong, kg

W_{SL} : berat irisan singkong tiap loyang, kg

W_T : berat total irisan singkong, kg

N_L : Jumlah loyang

2.4.3. Perhitungan Energi

Perhitungan energi yang diperlukan untuk mengeringkan singkong dapat dilihat pada persamaan (5) sampai dengan (9) sebagai berikut:

$$Q_T = Q_S + Q_A + Q_U + Q_L \dots \dots \dots (5)$$

$$Q_S = W_T \times C_{pS} \times (T_a - T_0) \dots \dots \dots (6)$$

$$Q_A = W_A \times C_{pA} \times (T_a - T_0) \dots \dots \dots (7)$$

$$Q_U = W_U \times h_{fg} \dots \dots \dots (8)$$

$$Q_T = W_F \times H_F \dots \dots \dots (9)$$

keterangan

- Q_T : Energi panas pengeringan (kJ),
- Q_S : Energi untuk memanaskan bahan (kJ),
- Q_A : Energi untuk memanaskan air pada bahan (kJ),
- Q_U : Energi untuk menguapkan air pada bahan (kJ)
- Q_L : Energi yang hilang (kJ)
- W_A : berat total air dalam bahan, kg
- W_U : berat air diuapkan, kg
- W_F : berat bahan bakar, kg
- Cp_s : panas jenis bahan, kJ/kg.°C
- Cp_A : panas jenis air, kJ/kg.°C
- h_{fg} : panas laten air, kJ/kg
- H_F : nilai kalor bahan bakar, kJ/kg
- T_a : temperatur akhir, °C
- T_i : temperatur awal, °C

2.4.4. Analisis Biaya

Biaya pokok produksi adalah total biaya yang diperlukan untuk memproduksi setiap unit produk. Penentuan biaya pokok produk menggunakan metode biaya pokok pesanan yaitu metode pengumpulan biaya produksi untuk menentukan harga pokok produk yang dibuat atas dasar pesanan. Biaya total produksi merupakan penjumlahan biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya tidak tetap (*variable cost*). Komponen yang termasuk biaya tetap dalam perancangan ini adalah biaya penyusutan (depresiasi) alat yang dihitung menggunakan metode garis lurus tanpa memperhitungkan bunga modal seperti persamaan (10)

$$D = \frac{(P-S)}{L} \dots\dots\dots(10)$$

keterangan :

- D = Biaya penyusutan tiap tahun (Rp/hari)
- P = Harga awal (Rp)
- S = Harga akhir (Rp)
- L = Perkiraan umur ekonomis (hari)

Biaya tidak tetap terdiri dari biaya bahan baku, tenaga kerja, listrik, biaya perbaikan atau pemeliharaan, dan biaya operasional atau transportasi. Biaya pokok pembuatan alat/ mesin pengering dan biaya pokok produk hasil pengeringan dihitung menggunakan persamaan (11)

$$BPP = \frac{BT}{K.X} + \frac{BTT}{K} \dots\dots\dots(11)$$

keterangan :

- BPP = Biaya pokok produksi (Rp/unit produk)
- BT = Biaya tetap (Rp/tahun)
- BTT = Biaya tidak tetap (Rp/hari)
- K = kapasitas alat (unit produk/hari)
- X = perkiraan hari kerja dalam satu tahun (hari/tahun)

2.5. Prosedur Uji Kinerja Pengering

Rancangan percobaan uji kinerja pengering dilakukan dengan dua kali ulangan. Uji kinerja kontrol temperatur dan kelembaban dalam ruang pengering dilakukan dengan beban kosong. Pengamatan ini bertujuan untuk menguji parameter teknis yang terkait dengan unjuk kerja sistem elektrik pada pengering meliputi sebaran temperatur dan kelembaban udara dalam ruang pengering. Temperatur diatur pada 50–60°C pada kelembaban mendekati 20 persen. Untuk meratakan distribusi udara panas dalam ruang pengering digunakan dua buah kipas angin dengan kecepatan kipas pertama 3,9 m/s dan kipas kedua 5,6 m/s.

Uji kinerja pengering dengan beban dilakukan dengan menggunakan 36 kg irisan singkong. Pengujian dilakukan pada temperatur dan kecepatan udara tetap. Temperatur diatur pada 50°C, kecepatan udara masuk 3,4 m/detik, dan kecepatan udara keluar melalui *exhaust fan* 3,0 m/detik.

Tahapan penelitian dilakukan dengan meratakan 1,5 kg irisan singkong dalam tiap loyang. Sebanyak 24 loyang dimasukkan ke dalam pengering. *Burner* pemanas, kipas, *exhaust fan* dinyalakan dan ditetapkan sebagai jam ke nol. Setiap jam diukur temperatur dan kelembaban relatifnya dan diambil sampel untuk dianalisa kadar airnya dengan metode gravimetri. Pengeringan berlangsung sampai kadar air di bawah 14 persen yang nilainya diperkirakan dari hasil pengukuran digital *moisture tester HB43-S Halogen Mettler Toledo*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perancangan Ruang Pengering

Pendekatan rancang bangun yang dilakukan adalah dengan merancang pengering tipe rak. Perancangan didasarkan untuk mengeringkan irisan singkong dengan tebal

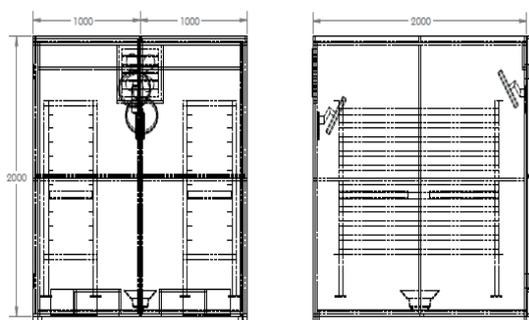
irisan singkong sekitar 3 mm, diameter 35 mm, dan berat tiap irisan singkong 15 g. Tiap loyang dirancang untuk mengeringkan 100 buah irisan singkong, dimana irisan tersebut menempati setengah luasan loyang dan dengan menggunakan persamaan (1) sampai (2) diperoleh luas permukaan tiap irisan singkong dan luasan loyang masing-masing sebesar 963 mm² dan 192.500 mm². Lebar loyang didesain 2/3 panjangnya dengan tinggi loyang 10 kali tebal irisan sehingga diperoleh dimensi loyang seperti Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Ruang Pengering

Keterangan	Spesifikasi ukuran
Ukuran loyang	600mm x 400mm x 500mm
Jumlah rak	2 buah
Kapasitas rak	44 loyang
Ukuran rak	1500mm x 1400mm x 500mm
Dimensi ruang	2000mm x 2000mm x 2000mm

Menggunakan persamaan (3) dan (4) diperoleh berat total irisan singkong tiap loyang yaitu 1,5 kg dengan jumlah loyang sebanyak 24 loyang untuk pengeringan 36 kg irisan singkong. Sesuai Tabel 1, dengan mempertimbangkan kemungkinan kenaikan kapasitas pengeringan, maka jumlah loyang dibuat sebanyak 44 loyang yang dapat ditempatkan dalam 2 rak. Antara kedua rak diberi ruang untuk mempermudah gerak operator saat menempatkan loyang, sehingga diperoleh dimensi ruang pengering 2000 mm x 2000 mm x 2000 mm.

Rangka dinding pengering terbuat dari baja holo (*Rectangular Hollow Section/ RHS*). Lapisan luar menggunakan aluminium kulit jeruk dan pada bagian dinding dilapisi *styrofoam (polystyrene)* sebagai insulator panas. Gambar rancangan pengering dapat dilihat pada Gambar 1.

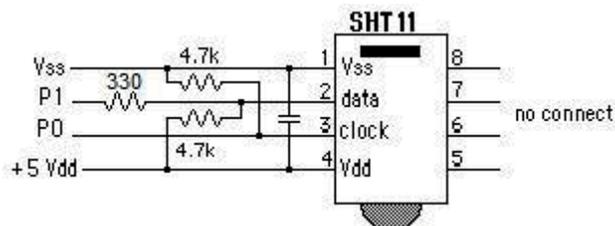


Gambar 1. Gambar Pengering Tipe Rak

Burner pemanas menggunakan burner inframerah (gasolec tipe S8) dengan bahan bakar LPG. Pengering dilengkapi dengan panel kontrol temperatur dan kelembaban, 2 buah kipas untuk membantu sirkulasi udara panas dalam pengering, dan *exhaust fan* untuk menjaga kelembaban udara dalam ruang pengering. Daya listrik yang dibutuhkan 400 Watt/220 volt.

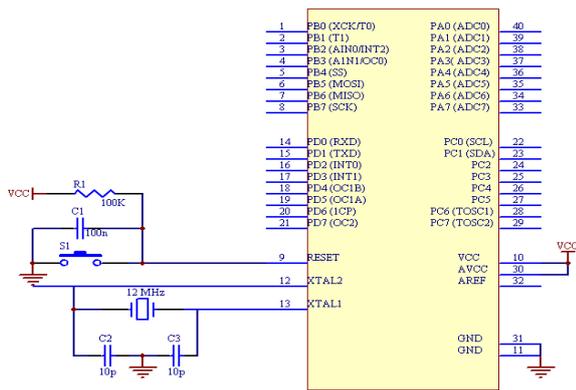
3.2. Perancangan Kontrol Temperatur dan Kelembaban

Temperatur dan kelembaban merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap suatu pengeringan. Pada pengering ini temperatur dan kelembaban diatur pada temperatur antara 50–60°C dengan kelembaban mendekati 20 persen disesuaikan dengan karakter produk untuk pengeringan singkong iris. SHT11 seperti terlihat pada Gambar 2 digunakan sebagai sensor temperatur dan kelembaban yang berfungsi untuk mengubah suatu besaran fisis menjadi besaran listrik dan mampu mendeteksi nilai temperatur dan kelembaban tertentu. Karakteristik dari sensor ini mampu mendeteksi temperatur dan kelembaban dengan kisaran -40 sampai 123,8°C dengan kelembaban relatif 0 sampai 100 persen (Anonim, 2015).



Gambar 2. Gambar Rangkaian Sensor Temperatur dan Kelembaban (sumber anonim 2015)

Rangkaian *switching* sebagai pengatur *exhaust fan* dan katub *solenoid valve* berfungsi untuk mengarah-kendalikan rangkaian elektronika bertegangan 220 Volt AC (listrik PLN). Prinsip kerja rangkaian ini adalah memanfaatkan suatu masukan dengan arus searah 15 mA untuk menghidupkan LED MOC 3021. Sinyal pemicuan dari mikrokontroler yang berupa pulsa *high* selama waktu tertentu akan mengalirkan arus ke dalam komponen LED dari MOC 3021. Selanjutnya LED akan mengaktifkan *output* yaitu *triac*. Akibatnya *triac* *BT139* akan terpicu sehingga beban akan



Gambar 3. Gambar Rangkaian Minimum Sistem Mikrokontroler ATMEGA8535 (sumber Wardana, 2006)

teraliri arus. Rangkaian *switching* ini dibuat dua buah dan terpisah, rangkaian *switching* pertama digunakan untuk mengatur buka tutup *exhaust fan* dan rangkaian *switching* kedua untuk mengatur katub *selenoid valve*. Rangkaian minimum sistem Mikrokontroler ATMEGA 8535 dapat dilihat pada Gambar 3. Pemrograman dengan menggunakan bahasa C. Tegangan yang digunakan sebesar 5 Volt DC *power supply*.

pengeringan agar uap air tidak kembali jatuh ke produk.

3.3.2. Uji Kerataan Temperatur dan Kelembaban dalam Ruang Pengering

Pada Tabel 2. disajikan pengujian kontrol temperatur dan kelembaban plenum dalam ruang pengering dengan beban kosong. Pengamatan ini bertujuan untuk menguji parameter teknis yang terkait dengan unjuk kerja sistem elektrik pada pengering meliputi sebaran temperatur dengan konveksi paksa menggunakan kipas mekanik. Setiap 10 menit data temperatur pada 6 titik diambil dalam ruang pengering.

Pada pengering ini temperatur dan kelembaban diatur pada temperatur antara 50–60°C dengan kelembaban mendekati 20 persen. Tabel 2 menunjukkan bahwa kontrol temperatur pada ruang pengering telah bekerja dengan baik dan sesuai fungsinya dengan kisaran temperatur 51–54°C dan kelembaban relatif 77,0 persen s.d 13,5 persen. Tabel 2 juga memperlihatkan bahwa distribusi temperatur pada masing-masing titik relatif rata, perbedaan temperatur pada keenam titik paling besar 3°C. Keenam titik tersebut adalah 3 titik pada rak sebelah kiri (T1, T2, T3) dan 3 titik pada rak

Tabel 2. Temperatur dan Kelembaban Plenum dalam Ruang Pengering pada Beban Kosong

No	Waktu (menit)	Suhu termometer (°C)						Kelembaban (%)
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	
1	0	34	31	33	34	35	32	77,0
2	10	51	52	53	52	52	51	33,6
3	20	53	52	55	53	54	54	20,8
4	30	54	52	54	51	54	54	13,5

3.3. Pengujian

3.3.1. Prinsip Kerja Ruang Pengering

Prinsip kerja pengering ini adalah *burner* gasolec S8 berbahan bakar LPG akan memanaskan ruang pengering menggunakan panas dari gelombang inframerah. Udara masuk melalui lubang angin pada ruang pengering. Kipas menyebarkan panas ke seluruh bagian ruang sehingga ruang pengering memiliki panas yang merata. Sedangkan *exhaust fan* akan mengeluarkan uap air hasil dari proses

Tabel 3. Temperatur dan Kelembaban Plenum dalam Ruang Pengering pada Beban 36 kg Irisan Singkong

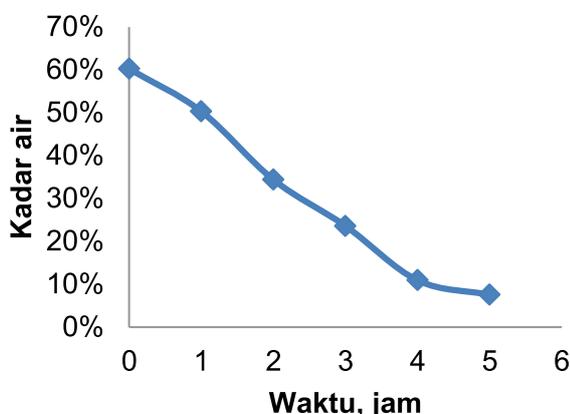
Waktu (jam)	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)
0	28,2	70,9
1	49,0	50,3
2	50,4	30,1
3	51,9	20,9
4	51,3	20,0
5	51,0	17,3

sebelah kanan (T4, T5, T6). Posisi titik T1 dan T4 pada rak paling atas, T2 dan T5 pada posisi rak nomer 6, T3 dan T6 pada rak paling bawah.

Tabel 3 berikut adalah tabel uji kinerja kontrol temperatur dan kelembaban pada ruang pengering dengan beban 36 kg irisan singkong. Pada pengeringan menggunakan beban, terlihat bahwa seiring penambahan waktu terjadi peningkatan temperatur dan mulai stabil pada pada jam ke-3. Menurut Wenlapatit (2004) dan Bentil (2011) pengeringan singkong sebaiknya dilakukan pada temperatur 40°C–60°C, karena pada temperatur sekitar 60°C dapat terjadi gelatinisasi pati singkong. Kelembaban pada saat jam ke-0 tinggi yaitu 70 persen, akan mengalami penurunan seiring waktu mendekati *setting* RH 20 persen. Dari sini terlihat bahwa kontrol temperatur dan kelembaban telah berfungsi dengan baik untuk mengatur temperatur dan kelembaban ruang pengering. Produk irisan singkong yang diperoleh setelah pengeringan selama 5 jam sebanyak 17 kg.

3.3.3. Pengujian Kadar Air Bahan

Kadar air awal irisan singkong sebesar 60,23 persen dan mengalami penurunan selama pengeringan seperti terlihat pada Gambar 4 berikut. Kadar air produk akhir irisan singkong yang direkomendasikan berkisar pada 9–15 persen (Wenlapatit, 2004; IITA, 2005), sedangkan menurut SNI 01-2905-1992 harus dibawah 14 persen (BSN, 1992). Gambar 4 memperlihatkan setelah pengeringan selama 4 jam, kadar air irisan singkong mencapai 10,93 persen. Pada nilai ini, irisan singkong sudah



Gambar 4. Kadar Air Irisan Singkong Selama Pengeringan

cukup aman untuk disimpan. Pengeringan selama 5 jam mampu menguapkan kadar air singkong sebanyak 52,67 persen dengan kadar air akhir produk 7,56 persen. Pengeringan irisan singkong yang dilakukan oleh Liberty dan Dzivana (2013) mampu menurunkan kadar air singkong dari 65,03 persen menjadi 13,11 persen selama 4 jam.

3.3.4. Analisis Energi

Bahan bakar yang digunakan pada pengeringan ini adalah LPG dengan *heating value* LPG 54 MJ/kg, panas jenis singkong 98,3 kJ/kg.°C, panas jenis air 41,7 kJ/kg.°C dan panas laten air 22,7 kJ/kg (Anonim, 2010). Pengeringan selama 5 jam menghabiskan gas sebanyak 2,5 kg dengan air yang teruapkan sebanyak 18,96 kg. Dengan memasukkan data-data tersebut ke dalam persamaan (5) sampai (9) diperoleh nilai panas seperti terlihat pada Tabel 4. Panas yang hilang selama pengeringan kemungkinan disebabkan ada sebagian panas yang ditransfer ke lingkungan melalui dinding dan panas yang terbuang bersama udara panas melalui *exhaust fan*.

Tabel 4. Kebutuhan Energi untuk Pengeringan 36 kg Irisan Singkong

Jenis panas	Nilai kalor, kJ
Energi panas pengeringan (Q_T)	135.000
Energi memanaskan bahan (Q_S)	30.962
Energi memanaskan air (Q_A)	25.386
Energi menguapkan air (Q_U)	539
Energi yang hilang (Q_L)	78.113

3.4. Analisis Biaya

Analisis biaya digunakan untuk menentukan besarnya biaya yang harus dikeluarkan saat membuat alat pengering ini. Tabel 5 berikut memperlihatkan nilai penyusutan alat mesin

Tabel 5. Biaya Depresiasi Peralatan Mesin

Nama alat	Harga (Rp)	Umur alat (tahun)	De- presiasi (Rp/hari)
Gerinda tangan 4'	1.000.000	2	1.233
Gerinda tangan 14'	1.500.000	2	1.849
Mesin las	2.400.000	5	1.184
Mesin bor tangan	1.000.000	2	1.233
Mesin lipat	10.000.000	10	2.466
Gunting lipat	1.000.000	5	493
Stangrivet	300.000	1	740
Total depresiasi, Rp/hari			9.197

Tabel 6. Biaya Tidak Tetap Pembuatan Alat Pengering

Jenis biaya	Biaya (Rp/unit)
Biaya bahan baku:	
- Ruang pengering	26.421.000
- Rak dan loyang	2.020.000
- Burner pemanas	27.320.000
- Kontrol elektrik	4.239.000
- Bahan aus	4.135.000
Biaya tenaga kerja	4.500.000
Biaya listrik	200.000
Biaya pemeliharaan alat mesin	172.000
Biaya operasional	500.000
Total biaya tidak tetap, Rp/unit	69.507.000

yang digunakan dalam pembuatan pengering ini berdasarkan persamaan (10). Pembuatan pengering ini memerlukan waktu 15 hari sehingga harus disediakan biaya penyusutan sebesar Rp. 137.959,00/unit

Biaya tidak tetap dapat dilihat pada Tabel 6 terdiri dari biaya material, biaya tenaga kerja, biaya listrik dan biaya operasional lain. Pembuatan pengering ini membutuhkan biaya bahan baku mencapai Rp. 64.135.000,00 karena komponen terbesar terdiri dari bahan mekanik dan logam *stainless steel* yang harganya relatif lebih tinggi dibanding komponen lainnya. Biaya pembuatan ruang pengering berdasarkan

jumlah tenaga kerja sebanyak 5 orang, dengan jam kerja 7 jam/ hari, selama 15 hari kerja dengan upah per orang Rp. 60.000,00.

Berdasarkan biaya yang disebutkan pada Tabel 4 dan 5 dan menggunakan persamaan (11), biaya pokok produksi (BPP) yang diperlukan sebesar Rp. 69.644.959,00 per unit. Ahmad dan Mirani (2012) membuat *mobile flatbed dryer* dengan menggunakan tenaga mesin diesel 7,4 kW dengan perkiraan harga mencapai US\$ 4705 atau setara dengan Rp 65.870.000,00.

Biaya pengeringan singkong menggunakan alat pengering *infrared* dapat dilihat pada Tabel 7 berikut. Depresiasi alat dihitung menggunakan persamaan (10) untuk pengering *infrared* dan mesin *slicer* (pengiris singkong). Pertimbangan lain yang diambil diantaranya pengeringan

Tabel 7. Biaya Pengeringan Singkong

Jenis biaya	Biaya (Rp/hari)
<i>Biaya tetap:</i>	
Depresiasi alat	12.928
<i>Biaya tidak tetap:</i>	
- Bahan baku (singkong)	99.000
- Tenaga kerja	50.000
- Bahan bakar (LPG)	28.000
- Listrik	2.266
- Pemeliharaan alat	1.990
<i>Total biaya, Rp/hari</i>	194.184

dilakukan pada kapasitas penuh menggunakan 44 loyang (setara dengan 66 kg singkong), harga singkong sebesar Rp 1.500,00/kg, dan biaya pemeliharaan alat sebesar 1 persen dari harga alat.

Tenaga kerja dibutuhkan terutama untuk penyiapan bahan baku yaitu untuk proses pengupasan dan pengirisan singkong menggunakan mesin *slicer*. Total biaya yang dibutuhkan per harinya adalah Rp 194.1840,00.

Dalam analisis ini, kadar air akhir irisan singkong diasumsikan 12 persen sehingga produk yang dihasilkan sebanyak 34 kg/hari. Biaya pokok pengeringan singkong menggunakan pengering inframerah sebesar Rp 5.683,00/kg. Apabila dibandingkan dengan harga gaplek singkong di pasaran yaitu Rp 2.600,00/kg

(anonim 2015), harga gaplek singkong dengan pengering inframerah lebih mahal. Umumnya, pembuatan gaplek di masyarakat dilakukan dengan penjemuran di bawah sinar matahari sehingga tidak membutuhkan biaya bahan bakar. Faktor lain adalah harga bahan baku singkong di Subang lebih mahal dibandingkan di Yogyakarta. Pengeringan dengan menggunakan pengering inframerah menjamin produk dari kontaminasi debu maupun pengotor lain. Kondisi ini telah dilaporkan Motaveli, dkk. (2014) bahwa kelemahan pengeringan inframerah adalah membutuhkan biaya operasi yang tinggi. Oleh karena itu, pengering inframerah sebaiknya digunakan untuk komoditi yang bernilai tinggi dan membutuhkan penanganan secara khusus.

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang dan dikonstruksi pengering tipe rak dengan dimensi ruang pengering 2000 mm x 2000 mm x 2000 mm, dilengkapi dua buah rak berukuran 1500 mm x 1400 mm x 500 mm dan 44 loyang ukuran 600 mm x 400 mm. Pengujian fungsi dan kerja sistem kontrol (temperatur dan kelembaban) dilakukan tanpa menggunakan beban, terlihat bahwa temperatur pada 6 titik ditempat yang berbeda dalam ruang pengering relatif rata. Pada pengujian menggunakan beban (iris singkong) temperatur diatur pada 50°C, kecepatan udara masuk 3,4 m/detik, dan kelembaban mendekati 20 persen. Pada kondisi ini, terlihat bahwa untuk mengeringkan 36 kg irisan singkong diperlukan waktu selama 5 jam, membutuhkan konsumsi bahan bakar LPG 2,5 kg setara dengan 135 MJ. Proses pengeringan mampu menurunkan kadar air irisan singkong dari 60,23 menjadi 7,56 persen dengan hasil akhir pengeringan sebesar 17 kg irisan singkong kering. Besarnya biaya pokok yang harus dikeluarkan untuk mengkontruksi pengering ini adalah Rp. 69.644.959,00 dengan biaya pokok pengeringan singkong pada kapasitas penuh sebesar Rp 5.683,00/kg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Pusbang TTG-LIPI sebagai penyandang dana kegiatan penelitian melalui Program Perancangan Pengering Infra Red Serbaguna Berbahan Bakar Biogas untuk Pengeringan Produk Pertanian, rekan-rekan peneliti dan teknisi yang tergabung dalam kegiatan penelitian

ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M. dan Mirani A.A. 2012. Heated air drying of groundnut. *Pakistan of Journal Agriculture*. Vol.25. April : 272-279.
- Anonim. 2015. *Temperature and Hummidity Sensor SHT1x*, <http://www.sensirion.com>, [Diakses 18 Februari 2015]
- Anonim. 2015. *Pertanian Gunungkidul Harga Gaplek Wonosari Turun, Rp 2.400 per kilo*. <http://www.harianjogja.com/baca/2015/11/03/pertanian-gunungkidul-harga-gaplek-wonosari-turun-rp2-400-per-kg-657824>. [Diakses 8 Maret 2016].
- Badan Standarisasi Nasional. 1992. SNI 01-2905-1992: Gaplek. Jakarta : BSN
- Bentil, B. 2011. *Assessment of three different drying technologies (sun, solar, and bin) used for the production of cassava (Manihot esculenta Crants) chips in Ghana*. http://ir.knust.edu.gh/bitstream/123456789/2173/1/Finalpersen20Thesispersen202011_BENJAMINpersen20BENTIL.pdf. [Diakes 27 Januari 2016]
- Biro Pusat Statistik. 2015. *Produksi Ubi Kayu*. <http://www.bps.go.id/site/resultTab>. [Diakses 7 September 2015]
- Eko, Rachman. 2003. *Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Efek Rumah Kaca dan Tungku Biomassa sebagai Sistem Pemanas Tambahan untuk Proses Pengeringan*. Skripsi Jurusan Teknik Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Hardanto dan Sulistyono. 2010. Rancang Bangun Alat Pengering Klanting Tipe Rak dengan Sumber Panas Kompor Listrik. *Jurnal keteknikaan Pertanian*. Vol. 24 No.1 : 25-32
- IITA .2005. Cassava Starch Production. *Integrated Cassava Project*. Nigeria.
- Jading, A., Payung, P. dan Reniana. 2014. Kajian Teknis Ekonomi Alat Pengering Pati sagu Model Coss Flow Vibro Fluidized Bed. *Jurnal AGRITECH*. Vol.6 No. 4 : 448-455
- Lawrence, D., Folyan, C. O., Pam, G. Y. 2013. Design, Construction and Performance Evaluation of A Mixed- Mode Solar Dryer. *The International Journal Of Engineering And Science (IJES)* Vol. 2 : 08-16.
- Liberty, J.T,A.U Dzivana. 2013. Design, Construction and Performance Evaluation of Cassava Chips Dryer Using Fuel Wood. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* Vol. 2 : 187-191
- Motevali, A., Minaei, S., Banakar, A., Ghobadian, B., Khoshtaghaza, M. H. 2014. Comparison of Energy Parameters in Various Dryers. *Jurnal Energy Conversion and Management*. Vol 87:

- Napitupulu, F.H. dan Tua, P.M. 2012. Perancangan dan Pengujian Alat Pengering Kakao dengan Tipe *Cabinet Dryer* untuk Kapasitas 7,5 Kg Per-Siklus. *Jurnal Dinamis*. Vol. II. No.10. Jan : 8-18.
- Nowak, D. dan Levicki, P.P. 2004. Infrared Drying of Apple Slices. *Innovative Food Science Emerging Technologies* 5: 353–360.
- Osuntokun B.O.1981. Cassava Diet, Chronic Cyanide Intoxication and Neuropathy in Nigeria. *World Review of Nutrition and Dietics*. 36,141-173.
- Prabawati, Rhicana, Suismono. 2011. Inovasi Pengolahan Singkong Meningkatkan Pendapatan dan Diversifikasi Pangan. *Majalah Agroinovasi*. Edisi 4-10. No.3404. Tahun XLI .Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Sharma, G. P., Verma, R. C. dan Pathare, P. B. 2005. Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering* 67: 361-366.
- Wardhana, L. 2006. *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri AT Mega 8535*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Wenlapatit S. 2004. *Manufacturing Process Development in Thai Cassava Starch Industry*. Cassava and Starch Technology Research Unit. Kasetsart University.
- Wicaksono, W. 2012. *Modifikasi Mesin Pengering Ikan Teri dengan Menggunakan Sistem Rotary*. Tugas Akhir pada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang.

BIODATA PENULIS :

Ari Rahayuningtyas lahir di Kediri, 11 Januari 1981. Pendidikan S1 Teknik Elektro Universitas Gadjah Mada, Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna - LIPI

Nok Afifah lahir di Pemasang, 30 Mei 1978. Pendidikan S1 Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada S2 Teknik Kimia Universitas Indonesia Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna - LIPI