

Keragaan Pengering *Hybrid* Energi Surya dan Biomasa untuk Pengeringan Sawut Ubi Kayu Terfermentasi

Performance of Hybrid Dryer of Solar and Biomass Energy for Drying of Fermented Cassava Chip

Farid R. Abadi^{1*}, Noor Roufiq Ahmadi², dan Ana Nurhasanah³

¹Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi
Jl. Raya Kendalpayak. KM 8. PO Box 66 Malang 65101

²Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Timur, Jl. PM. Noor Sempaja, Samarinda, 75119

³Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Jl. Sinarmas Boulevard, Situ Gadung, Pagedangan, Tangerang, Banten 15338

*e-mail: faridra1998@gmail.com

NASKAH DITERIMA 24 MEI 2018; DISETUJUI UNTUK DITERBITKAN 13 OKTOBER 2018

ABSTRAK

Penggunaan pengering bertenaga *hybrid* memiliki keunggulan dapat memanfaatkan tenaga matahari dan biomasa sehingga dapat digunakan pada kondisi cuaca kurang baik, diantaranya untuk pengeringan sawut ubi kayu terfermentasi. Tujuan penelitian ini mengevaluasi keragaan Pengering *Hybrid* Energi Surya dan Biomasa arang kayu (PHESB) untuk mengeringkan sawut ubi kayu terfermentasi. Keragaan PHESB dievaluasi menggunakan model linier dan eksponensial untuk menentukan laju pengeringan (% bb/jam), kapasitas pengeringan (kg/jam), dan kelayakan finansial penerapannya. Mutu hasil pengeringan dianalisis dengan uji homogenitas koefisien regresi (laju pengeringan) dari model pengeringan yang mempunyai tingkat koefisien determinasi (R^2) terbesar dari pengamatan kadar air sawut dalam arah tegak (atas, tengah, bawah) dan mendatar (depan, tengah, belakang). Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kadar air awal sawut ubi kayu 71,45% bb dan rata-rata suhu pengeringan $40,51 \pm 3,61$ °C, penurunan kadar air sawut ubi kayu mengikuti model linier dengan R^2 dari 0,969 sampai 0,984 dengan laju pengeringan homogen baik dalam arah tegak maupun mendatar. Karakteristik PHESB dapat dinyatakan dengan model linier $y = -5,081x + 78,30$ ($R^2=0,978$). Dengan model ini diperoleh kapasitas pengeringan 20,86 kg/jam untuk mencapai kadar air sawut ubi kayu 14% bb. Dengan harga alat pengering Rp. 40 juta/unit dan ongkos jasa pengeringan sawut ubi kayu basah Rp 600/kg diperoleh nisbah keuntungan dengan biaya pengeringan (B/C) < 1,0. Secara teknis PHESB layak digunakan, tetapi secara finansial masih belum layak diterapkan dalam bentuk penjualan jasa pengering sawut ubi kayu.

Kata kunci: Ubi kayu, pengering *hybrid*, energi surya, biomasa

ABSTRACT

The application of hybrid dryer has advantages in utilizing of both solar and biomass energies, thus it can be used even during the rainy season or minimum solar radiation, particularly for drying of fermented cassava chips. The aim of this study was to evaluate the

performance of a hybrid dryer using solar and charcoal biomass energy (PHESB) for drying of fermented cassava chips. This was performed using a simple linear and exponential drying model to determine the drying rate (% wet basis/hour), drying capacity (kg/hour), and financial feasibility of its application. The drying performance (drying rate) was analyzed using the homogeneity test of regression coefficient of the drying model, which had the largest value of determination coefficient (R^2) based on the observation of chip moisture in vertical (up, middle, bottom) and horizontal (front, middle, back) directions. The results showed that at the initial moisture content of 71,45% wet basis and the average drying temperature of $40,51 \pm 3,61$ °C, the decrease in cassava chips moisture content followed a linear model with R^2 from 0.969 to 0.984. The drying rate was homogeneous for both vertical and horizontal directions. The characteristic of PHESB dryer can be expressed with a simple linear model of $y = -5,081x + 78,30$ ($R^2 = 0,978$). Using this model, the drying capacity was obtained about 20.86 kg/hour to reach the final moisture content of 14% wet basis. Based on the machine price of Rp 40 million/unit and drying cost of wet cassava chips of Rp 600/kg, the benefit and cost ratio (B/C) was < 1.0. This suggests that the PHESB dryer was technically feasible but was not financially feasible yet for drying service business.

Keywords: cassava, hybrid dryer, solar energy, biomass

PENDAHULUAN

Pengeringan diperlukan dalam kegiatan pasca-panen untuk memperpanjang daya simpan (Wankhade *et al.* 2013), sebagai bagian dari proses pengolahan produk pertanian (Ginting 2009), dan untuk meningkatkan nilai tambah (Makki *et al.* 2008). Karakteristik bahan hasil pengeringan dengan kadar air rendah memungkinkan untuk memperpanjang umur simpan. Kebutuhan sumberdaya pengeringan perlu mempertimbangkan kebutuhan daya dan karakteristik sumberdaya maupun bahan yang dikeringkan. Secara umum sumberdaya ideal yang menjadi pilihan adalah: nilai energi (kalor) tinggi, harga rendah,

mudah didapat, dapat diperbarui (*renewable*), dan ramah lingkungan. Untuk mendapatkan keuntungan optimal, penggunaan beberapa sumberdaya dalam proses pengeringan dapat diterapkan dalam desain struktural dan fungsional mesin pengering sesuai dengan sumberdaya yang digunakan (Makki *et al.* 2008; Wankhade *et al.* 2013; Ayala dan Topete 2014; Neba dan Nono 2017). Salah satu mesin pengering yang menerapkan hal ini adalah pengering bertenaga *hybrid* surya dan biomasa yang memanfaatkan sumber energi surya dan biomasa (Putra *et al.* 2014; Sari *et al.* 2014; Yahya *et al.* 2017). Energi surya dapat dimanfaatkan baik melalui penggunaan sel surya maupun kolektor datar (Eltawil *et al.* 2018) atau penggunaan efek rumah kaca (ERK).

Pengering *hybrid* tenaga surya dan biomasa telah dikenal dan banyak diterapkan di daerah tropis seperti Indonesia yang memiliki potensi energi surya cukup besar dan relatif konstan berdasarkan migrasi relatif tahunan matahari (Septiadi *et al.* 2009). Penggunaan energi surya memiliki keunggulan yaitu ketersediaannya melimpah dan cuma-cuma. Pengering bertenaga surya memiliki potensi sangat besar terutama dalam pengeringan bersuhu rendah untuk produk pertanian. Selain itu, penggunaan energi surya untuk pemanasan udara pengering dapat langsung digunakan dalam proses pengeringan (Vidana *et al.* 2013), karena tidak bersifat kontaminan. Namun penggunaan energi surya memiliki kelemahan diantaranya hanya bisa digunakan pada siang hari, tidak dapat bekerja optimal pada cuaca berawan dan efisiensi yang rendah. Kekurangan ini dapat diatasi dengan pemanfaatan sumber energi tambahan biomasa (Yahya *et al.* 2017). Penggunaan energi biomasa dapat menyesuaikan dengan ketersediaan sumber energi biomasa yang tersedia berupa kayu bakar, arang kayu, sekam padi, maupun biogas. Biomasa arang kayu yang berupa bongkahan berwarna hitam pekat merupakan hasil konversi material dengan cara pembakaran bahan berkayu agar lebih mudah digunakan sebagai sumber energi (Arhamsyah 2010). Pengering *hybrid* ini dapat digunakan sebagai pengering sawut ubi kayu yang selama ini banyak mendapat hambatan karena cuaca kurang baik atau radiasi matahari kurang.

Ubi kayu (*Manihot esculenta* L.) dikenal sebagai komoditas potensial baik untuk konsumsi lokal maupun ekspor. Produksi ubi kayu di Indonesia mencapai 22.819.484 ton dengan tingkat konsumsi mencapai 3,6 kg/kapita/tahun pada tahun 2015, dan rata-rata volume ekspor produk segar dan olahan mencapai 96,21% pada tahun 2000-2015. Ubi kayu dikenal untuk dikonsumsi segar sehingga perlu ditambahkan pola konsumsi ubi kayu dalam

bentuk olahan atau turunannya (Hanafie *et al.* 2016; Pusdatin 2016). Di samping itu, kerusakan fisiologis pascapanen ubi kayu segar dapat mengurangi kualitas pati, rasa, dan nilai jual (Zainuddin *et al.* 2017), sehingga pengolahan ubi kayu menjadi alternatif untuk meningkatkan nilai tambah.

Salah satu produk turunan ubi kayu adalah tepung ubi kayu yang berupa tepung tapioka dan tepung ubi kayu termodifikasi dengan fermentasi yang dikenal dengan *modified cassava flour (mocaf)* (Haloho 2014; Suryaningrat *et al.* 2015; Ahaotu *et al.* 2017), yang salah satu tahapan proses pembuatannya adalah pengeringan (Ginting 2009; Yulifianti *et al.* 2012; Wanita dan Wisnu 2013). Fermentasi menyebabkan warna tepung ubi kayu lebih cerah sehingga dapat menjadi bahan pengganti tepung terigu (Ramadhan dan Sari 2015). Proses ini dapat dilakukan dengan penjemuran secara konvensional menggunakan sinar matahari ataupun mesin pengering *hybrid*.

Penerapan pengering *hybrid* telah banyak dilakukan diantaranya pada pengeringan irisan tipis umbi kentang (Abadi 2015), dan pengeringan pisang (Sari *et al.* 2014). Pengering *hybrid* tersebut menunjukkan kinerja fungsional yang baik dan mampu mengeringkan bahan pertanian hingga kadar air yang diinginkan. Hal ini menunjukkan penerapan pengering bertenaga *hybrid* sangat potensial untuk digunakan dalam pengolahan tepung ubi kayu terfermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keragaan pengering *hybrid* energi surya dan biomasa arang kayu untuk mengeringkan sawut ubi kayu terfermentasi.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di Desa Embalut, Kecamatan Tenggarong Sebrang, Kabupaten Kutai Kertanegara, Provinsi Kalimantan Timur pada bulan Februari sampai November 2015. Bahan uji berupa ubi kayu varietas Gajah yang merupakan komoditas unggulan setempat (Hidayanto 2016).

Spesifikasi teknis mesin PHESB yang digunakan memiliki rancangan fungsional yang bekerja dengan memanfaatkan energi matahari dari efek rumah kaca (ERK) menggunakan bahan dinding *polycarbonate* (Janjai *et al.* 2011; Abadi 2015) transparan pada ruang pengering dengan kerangka besi. Dimensi ruang pengering berupa rumah kaca yang digunakan adalah panjang 8 m, lebar 3 m, dan tinggi 2,6 m (Gambar 1). Untuk menambah sumber energi, mesin dilengkapi dengan tungku biomasa yang direkatkan pada sisi depan mesin pengering. Bagian-bagian mesin pengering disajikan pada Gambar 2. Panas yang dihasilkan dari tungku biomasa disalurkan melalui alat penukar kalor untuk menghindari kontak

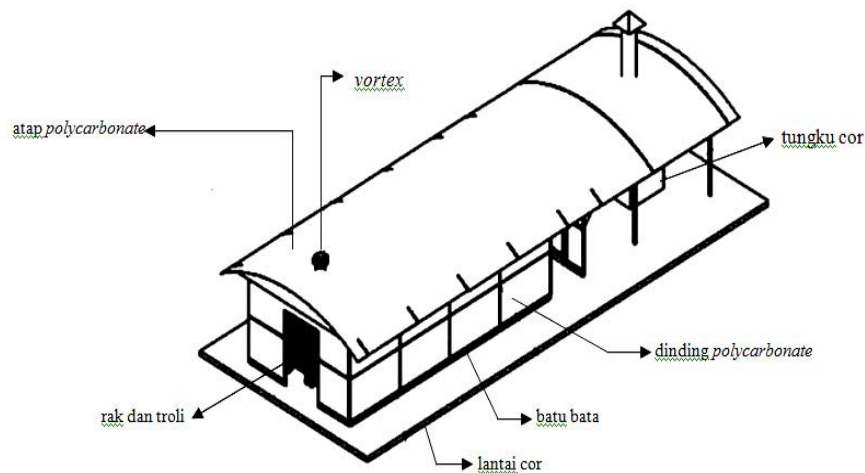
residu pembakaran dengan bahan yang dikeringkan serta *blower* yang digerakkan dengan mesin diesel untuk mengalirkan udara pengering (Prakash dan Kumar 2014).

Secara umum, mesin pengering bertenaga *hybrid* (PHESB) yang diuji memiliki lima komponen utama, yaitu (1) rumah pengering, (2) rak dan troli, (3) tungku pembakaran, (4) *blower*, dan (5) turbin (*vortex*) yang tersusun seperti Gambar 3. Rumah pengering berfungsi sebagai tempat pengeringan bahan di mana di dalamnya diletakkan rak (60 cm x 91,2 cm) bertroli bersusun dengan jarak tegak 10 cm untuk mempermudah pemasukan bahan dengan 12 rak di dalam satu troli. Rangka rak terbuat dari besi siku 20 mm dan kawat mesh untuk sirkulasi udara pengering.

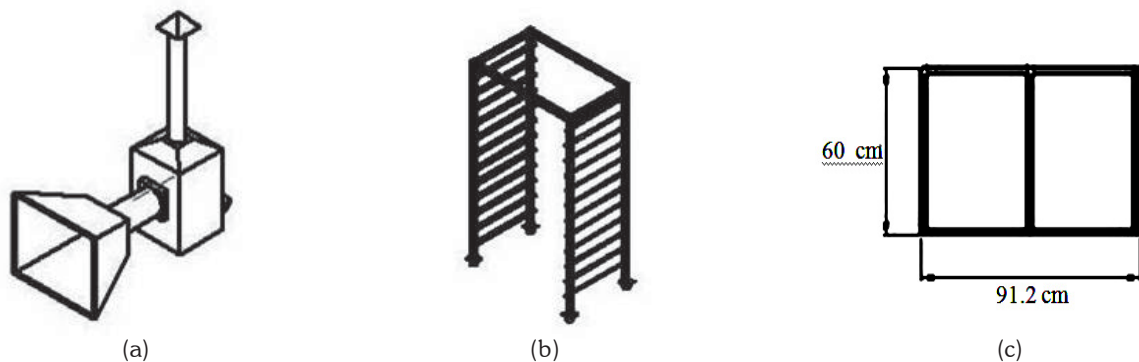
Tungku pembakaran digunakan untuk membakar biomasa. Panas yang dihasilkan dari pembakaran tersebut selanjutnya akan memanaskan penukar panas (*heat exchanger*). Penukar panas yang digunakan berupa pipa besi diameter 2 inci dengan panjang 1 m sebanyak 60 buah dilengkapi dengan cerobong pengeluaran asap yang terbuat dari pipa galvanish dengan tebal 2 mm, diameter 6 inci, dan

tinggi 3 m. Kipas (*blower*) digunakan untuk meratakan dan mensirkulasi udara pengering. Udara panas yang melalui *heat exchanger* dihembuskan ke ruang pengering melewati bahan yang dikeringkan dan keluar melalui turbin yang ditempatkan di bagian atas ruang pengering. *Blower* yang digunakan adalah tipe aksial berdiameter 24 inci (50 cm). Turbin (*vortex*) berfungsi untuk membantu sirkulasi udara pengering yang membawa uap air dari bahan yang dikeringkan ke luar dari rumah pengering. Turbin berjumlah satu buah dengan diameter lubang pemasukan 400 mm dan dipasang pada atap rumah pengering.

Bahan uji sawut ubi kayu dihasilkan dari ubi kayu yang dikupas kemudian dirajang (Gambar 4a) dengan mesin perajang sehingga dihasilkan irisan tipis ubi kayu (+ 2 mm). Bentuk irisan tipis diharapkan akan memudahkan dalam fermentasi ubi kayu disamping dapat memfungsikan mesin perajang ubi kayu untuk produksi keripik dan bahan baku tepung ubi kayu. Selanjutnya sawut ubi kayu dimasukkan ke dalam bak fermentasi untuk dicampur starter mikroba, dan dibiarkan selama 12 jam. Campuran air dengan starter fermentasi sebanyak 0,1% dengan perbandingan bobot chip dan larutan adalah 1:1 (Gambar 4b).



Gambar 1. Desain pengering *hybrid* energi surya dan biomasa



Gambar 2. Desain tungku biomasa (a), rak dengan troli (b) dan nampan pengering (c)



Gambar 3. Bangunan pengering *hybrid* dengan tungku biomasa dan *blower*.

Setelah itu sawut ubi kayu diangkat dan dipres untuk mengurangi kandungan air. Sebelum dikeringkan, sawut ubi kayu diambil sampelnya untuk diuji kadar air berdasarkan metode gravimetri (%bb). Proses pembuatan sawut ubi kayu terfermentasi mengacu pada Wanita dan Wisnu (2013). Selanjutnya sawut ubi kayu dimasukkan ke dalam ruang pengering dan diletakkan pada rak-rak pengering (Gambar 4c). Kegiatan selanjutnya adalah memulai pengeringan dengan pembakaran biomasa dan *blower* dinyalakan hingga udara pengering mengalir memasuki ruang pengering. Pengeringan hingga mencapai laju pengeringan konstan selama 8 jam. Pengeringan dilanjutkan pada hari berikutnya dengan menggunakan sumber energi surya dengan asumsi tidak ada laju pengeringan selama malam hari pada kondisi ruang pengering tertutup.

Keragaan PHESB dievaluasi menggunakan model regresi linier dan eksponensial, untuk menentukan laju pengeringan (% bb/jam), kapasitas pengeringan (kg/jam), dan kelayakan finansial penerapannya. Mutu hasil pengeringan dianalisis dengan uji homogenitas koefisien regresi (laju pengeringan) dari model pengeringan yang mempunyai tingkat koefisien determinasi (R^2) terbesar, dari pengamatan kadar air sawut dalam arah tegak (atas, tengah, dan bawah) dan mendatar (depan, tengah, dan belakang).

Karakteristik pengeringan sawut ubi kayu terfermentasi ditentukan dan menggunakan model dari Tastra dan Patriyawati (2013) sebagai berikut:

$$Y = A + B * X \quad (1)$$

$$Y = A * \text{Exp} (B * X) \quad (2)$$

dimana,

Y : Kadar air sawut (% bb)

A, B : Konstanta

X : lama pengeringan (jam)



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Perlakuan bahan meliputi: (a) perajangan; (b) fermentasi; (c) peletakkan pada rak pengering.

Model yang mempunyai koefisien determinasi (R^2) terbesar adalah model yang paling tepat untuk menggambarkan proses pengeringan yang terjadi. Laju pengeringan (LP, % bb/jam) dihitung dari turunan pertama model pengeringan yang didapat.

Untuk menghitung kapasitas efektif pengeringan (KE, kg/jam) digunakan rumus sebagai berikut:

$$KE = VB/WP \quad (3)$$

dimana,

VB : Total daya tampung pengeringan *hybrid* dalam bentuk sawut ubi kayu basah (kg).

WP : Lama pengeringan hingga kadar air sawut 14% bb, dihitung dari model pengeringan yang mempunyai R^2 terbesar.

Berdasarkan data teknis kapasitas efektif pengeringan, dilakukan analisis kelayakan finansial yang meliputi perhitungan: biaya pokok (BP), titik impas (BEP), waktu pengembalian modal (PBP), nilai keuntungan sekarang (NPV), nisbah keuntungan dengan biaya (B/C) dan tingkat pengembalian modal (IRR) (Tastra dan Patriyawati 2013). Alat pengering dinilai layak untuk pengeringan sawut ubi kayu apabila $NPV > 0$, $B/C > 1,0$ dan $IRR >$ tingkat bunga bank (18%/tahun).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Pengeringan

Hasil analisis keragaan pengeringan berdasarkan model linier maupun eksponensial menunjukkan bahwa proses pengeringan dalam tiap lokasi pada arah tegak

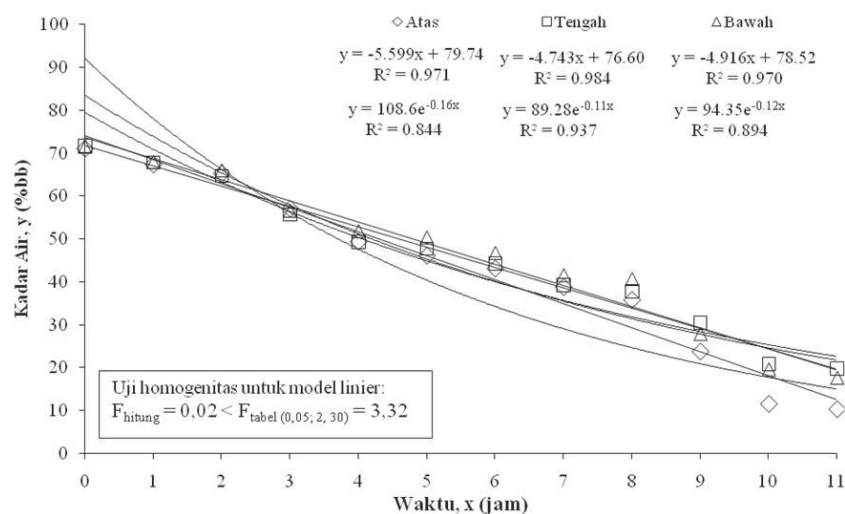
mengikuti model linier (Gambar 5). Hal ini ditunjukkan oleh koefisien determinasi model linier ($R^2=0,970$ s.d. $0,984$) yang lebih besar dari model eksponensial ($R^2=0,844$ s.d. $0,937$). Demikian juga dalam arah mendatar, proses pengeringan mengikuti model linier dengan koefisien determinasi model linier ($R^2=0,969$ s.d. $0,984$) yang lebih besar dari model eksponensial dengan $R^2= 0,878$ s.d. $0,908$ (Gambar 6).

Hasil uji homogenitas koefisien regresi menunjukkan bahwa penurunan kadar air pada tiap lokasi

Tabel 1. Uji t-Student kadar air sawut ubi kayu menggunakan pengering *hybrid* energi surya dan biomasa arang kayu (PHESB)

Ulangan	Kadar air sawut ubi kayu (% bb)	
	Arah tegak	Arah mendatar
1	71,45	71,28
2	67,72	67,69
3	65,32	65,15
4	56,46	57,26
5	50,20	50,36
6	48,09	48,20
7	44,73	44,60
8	39,88	39,78
9	38,11	37,90
10	27,41	28,06
11	17,41	17,26
12	15,96	16,14
X (Rata-rata)	45,23	45,31
S^2	344,01	342,43
t-Hitung	0,01tn	
t-Tabel (22; 0,05)	2,07	

Ket: tn = tidak nyata.



Gambar 5. Model pengeringan sawut ubi kayu dalam arah tegak (atas, tengah dan bawah) dan uji homogenitas untuk model pengeringan yang linier. Kutai Kertanegara, 2015.

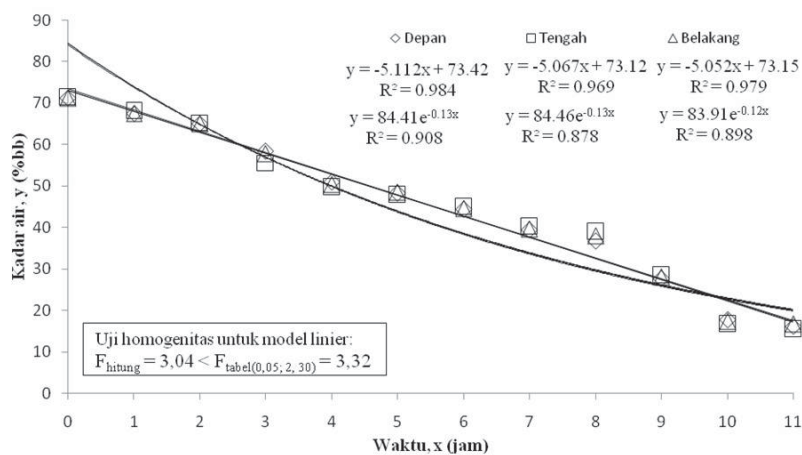
dalam arah tegak dan mendatar adalah homogen ($F_{hitung} < F_{tabel}$; $\alpha=0,05$) (Gambar 5 dan 6). Hal ini menunjukkan bahwa laju pengeringan pada tiap lokasi (titik pengamatan) dalam ruang pengering adalah seragam sehingga secara teknis PHESB yang diuji layak diterapkan.

Lebih lanjut, hasil uji homogenitas koefisien regresi linier penurunan kadar air rata-rata dalam tiap lokasi pada arah tegak dan mendatar adalah homogen ($T_{hitung} < T_{tabel}$; $\alpha=0,05$) (Gambar 7). Hal ini menunjukkan bahwa keragaan pengeringan antar tiap bagian lokasi ruang pengering adalah seragam. Sementara itu, hasil uji-t Student juga menunjukkan tidak ada perbedaan nyata antara kadar air sawut dalam arah tegak dan mendatar (Tabel 1). Untuk itu, karakteristik PHESB untuk pengeringan sawut ubi kayu terfermentasi dapat dinyatakan dalam persamaan regresi linier rata-rata pengamatan kadar air

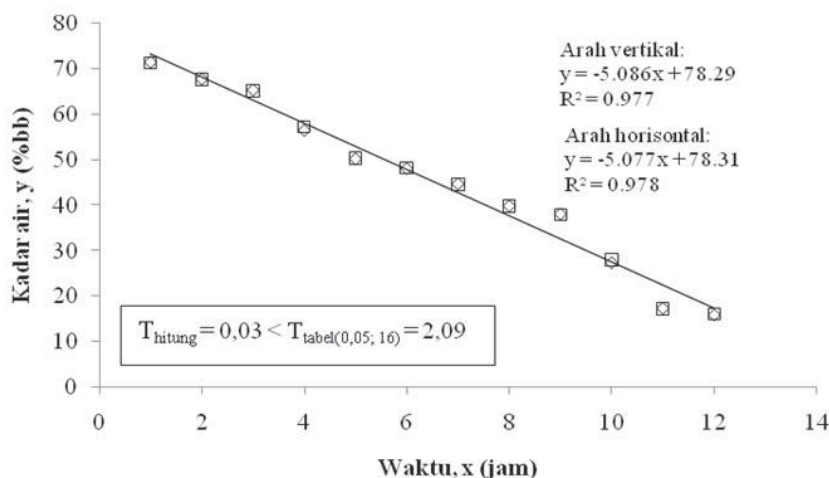
sawut ubi kayu dalam arah tegak dan mendatar (Gambar 8).

Laju Pengeringan

Laju pengeringan sawut ubi kayu dapat dihitung dari turunan pertama persamaan karakteristik PHESB (Gambar 8). Dalam hal ini sama dengan koefisien linier (-5,081% bb/jam). Sebagai perbandingan dengan metode yang sama, pada tingkat kadar air awal bahan yang tinggi (71,45% bb), laju pengeringan sawut ubi kayu lebih besar dibandingkan dengan pengeringan benih kedelai yang kadar air awalnya lebih rendah (18-20% bb) (Tastra dan Patriyawati 2013). proses pengeringan pada tingkat kadar air awal 18-20% bb mengikuti model eksponensial. Di samping kadar air awal, perbedaan karakteristik lainnya dari bahan umbi/akar dengan biji juga menentukan laju pengeringan.



Gambar 6. Model pengeringan sawut ubi kayu dalam arah mendatar (depan, tengah, dan belakang) dan uji homogenitas untuk model pengeringan yang linier. Kutai Kertanegara, 2015.



Gambar 7. Uji homogenitas koefisien regresi linier rata-rata penurunan kadar air dalam arah tegak dan mendatar. Kutai Kertanegara, 2015.

Tabel 2. Analisis Biaya Pokok (BP), Titik Impas (BEP) dan Waktu Pengembalian Modal (PBP) mesin pengering *hybrid* dengan kapasitas kerja 20,86 kg/jam

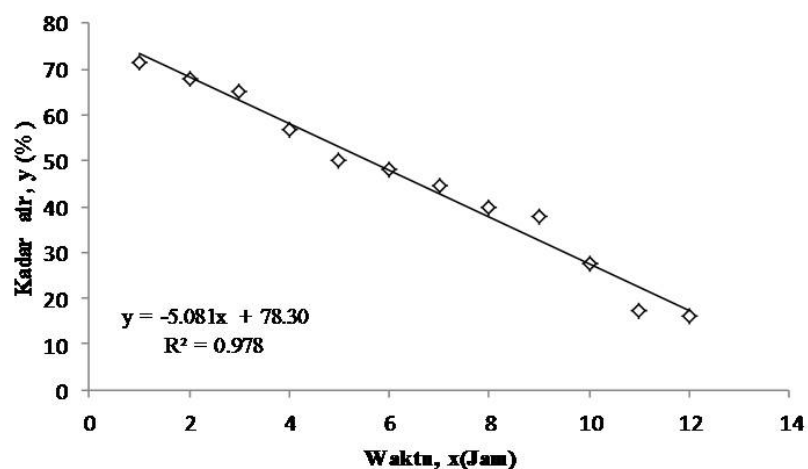
Uraian	Tahun					
	T 0	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5
A. Penerimaan :						
a. Ongkos pengeringan (Rp)	-	28.836.864	28.836.864	28.836.864	28.836.864	28.836.864
b. Nilai sisa mesin (SM) (Rp)	-	-	-	-	-	16.000.000
Keuntungan kotor (Rp)	-	28.836.864	28.836.864	28.836.864	28.836.864	44.836.864
B. Biaya :						
a. Harga mesin (M) (Rp/unit)	40.000.000	-	-	-	-	-
b. Biaya tidak tetap (BTT):						
1. Upah operator (Rp/th)	-	46.080.000	46.080.000	46.080.000	46.080.000	46.080.000
2. Bahan bakar (BBM) (Rp/th)	-	6.756.480	6.756.480	6.756.480	6.756.480	6.756.480
3. Bahan bakar biomasa (Rp/th)	-	6.283.008	6.283.008	6.283.008	6.283.008	6.283.008
4. Oli (Rp/th)	-	12.875	12.875	12.875	12.875	12.875
Total BTT (Rp/th)		59.132.363	59.132.363	59.132.363	59.132.363	59.132.363
c. Biaya tetap (BT)						
1. Penyusutan (Rp/th)	-	4.800.000	4.800.000	4.800.000	4.800.000	4.800.000
2. Bunga Modal (Rp/th)	-	9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000	9.600.000
3. Perawatan (Rp/th)	-	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000	4.000.000
4. Pajak & Asuransi (Rp/th)	-	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000	2.000.000
Total BT (Rp/th)		20.400.000	20.400.000	20.400.000	20.400.000	20.400.000
Total biaya	40.000.000	79.532.363	79.532.363	79.532.363	79.532.363	79.532.363
C. Keuntungan (P) (Rp/th)	-40.000.000	-50.695.499	-50.695.499	-50.695.499	-50.695.499	-34.695.499

Asumsi:

1. Hari kerja (H)	: 288	hari/th	11. Upah 2 orang operator	: 160,000	Rp/hari
2. Jam kerja harian	: 8	jam/hari	12. Ongkos pengeringan (OP)	: 600	Rp/kg
3. Total jam kerja	: 2,304	jam/th	13. Bahan bakar solar	: 0,1	lt/jam/hp
4. Kapasitas (KE)	: 20,86	kg/jam	14. Bahan bakar biomassa	: 9,09	kg/jam
5. Bunga (i)	: 24	%/th	15. Pelumas	: 0,12	lt/200 jam
6. Perawatan mesin	: 10	%*M	16. Harga solar	: 6,900	Rp./lt
7. Umur ekonomis (N)	: 5	th	17. Harga biomasa	: 300	Rp/kg
8. Pajak/asuransi (c4)	: 5	%*M	18. Harga pelumas	: 9,500	Rp/lt
9. Bunga modal $c2=i*M$			19. Tenaga Penggerak	: 8,5	hp
10. Penyusutan $c1=(M-S)/N$					

Perhitungan :

1. Biaya pokok (BP) = $(BTT+BT)/(H*KE)$ = 1.655 Rp/kg bahan
2. Titik impas (BEP) = $BT/(OP-BTT/(H*KE))$ = -32,363 kg
3. Waktu pengembalian modal PBP = $M/(P)$ = -0,8 tahun



Gambar 8. Karakteristik pengering *hybrid* energi surya dan biomasa arang kayu (PHESB) untuk peneringan sawut ubi kayu terfermentasi. Kutai Kertanegara, 2015.

Tabel 3. Analisis nisbah keuntungan (B/C), nilai keuntungan (NPV) dan tingkat pengembalian modal (IRR) mesin pengering *hybrid* dengan kapasitas 20,86 kg/jam

Tahun	Hasil kotor	Biaya kotor	Hasil bersih	DF (50 %)	Discount hasil	Discount biaya	Percobaan I		Percobaan II	
	(Rp)	(Rp)	(Rp)		(1*4)	(2*4)	DFP (50%) (3*7)	NPV (3*7)	DFN (70%) (3*7)	PV (3*9)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0	0	40.000,000	-40.000,000	1,00	0	40.000,000	1,00	-40.000,000	1,00	-40.000,000
1	28.836,864	79.532,363	-50.695,499	0,67	19.224,576	53.021,576	0,67	-33.797,000	0,59	-29.820,882
2	28.836,864	79.532,363	-50.695,499	0,44	12.816,384	35.347,717	0,44	-22.531,333	0,35	-17.541,695
3	28.836,864	79.532,363	-50.695,499	0,30	8.544,256	23.565,145	0,30	-15.020,889	0,20	-10.318,644
4	28.836,864	79.532,363	-50.695,499	0,20	5.696,171	15.710,096	0,20	-10.013,926	0,12	-6.069,791
5	44.836,864	79.532,363	-34.695,499	0,13	5904,443	10.473,398	0,13	-4.568,955	0,07	-2.443,591
Total	160.184,320	437.661,816	-277.477,496		52.185,829 (B)	178.117,931 (C)	(125.932,101) (PVP)		(106.194,603) (PVN)	

Perhitungan:

1. Nilai Keuntungan (NPV) = PVP = Rp. -125.932.102,-

2. Nisbah keuntungan dan biaya (B/C) = 0,3

3. Tingkat pengembalian modal (IRR) = $DFP + (PVP * (DFN-DFP) / (PVP-PVN)) = 177,61 \%$

Kapasitas Pengeringan

Kapasitas efektif pengeringan dapat dihitung dari bobot bahan awal yang dimasukkan dalam alat pengering dan waktu yang diperlukan untuk mencapai kadar air 14% bb. Evaluasi kinerja mesin pengering menggunakan bahan sawut ubi kayu (kadar air 71,45 % bb) sebanyak 264 kg. Dari persamaan karakteristik pengeringan (Gambar 8) diperlukan waktu 12,65 jam pengeringan untuk mencapai kadar air 14% bb dan didapatkan kapasitas efektif pengeringan kontinyu sebesar 20,86 kg/jam. Lebih lanjut, kapasitas pengeringan dibatasi oleh dimensi ruang pengering dan besarnya energi yang dapat dimanfaatkan untuk pengeringan. Semakin besar ruang pengering maka kapasitas tumpukan (*batch*) dalam satu kali proses akan lebih besar dan sebaliknya, di mana proses pengeringan akan membutuhkan energi yang lebih besar.

Kelayakan Finansial

Analisis kelayakan finansial dilakukan selama lima tahun berdasarkan beberapa asumsi sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Mesin pengering dapat beroperasi optimal dengan 288 hari kerja atau 2.304 jam kerja tiap tahun dan dua orang operator dengan biaya HOK Rp 80.000.- /hari. Penerimaan berasal dari jasa sewa mesin, sedangkan komponen biaya tidak tetap (BTT) meliputi upah operator, bahan bakar solar dan biomasa arang kayu serta pelumas. Selanjutnya komponen biaya tetap (BT) meliputi biaya penyusutan, bunga modal, perawatan, pajak serta asuransi. Harga satu unit mesin ditetapkan Rp. 40.000.000,- dengan ongkos pengeringan Rp 600,-/kg.

Hasil analisis kelayakan finansial dengan beban bahan uji sebesar 264 kg dan kapasitas pengeringan 20,86 kg/jam menunjukkan titik impas yang tidak tercapai (minus) dengan B/C rasio 0,3 (Tabel 2 dan 3). Dengan beban uji tersebut, secara finansial PHESB masih belum layak diterapkan. Hasil analisis kelayakan teknis, menunjukkan bahwa laju pengeringan PHESB masih bersifat linier. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada potensi untuk meningkatkan kapasitas pengeringan. Atas dasar ini maka dilakukan simulasi kelayakan finansial pada kapasitas yang lebih tinggi. Berdasarkan asumsi kelayakan finansial dengan nisbah keuntungan dan biaya (B/C) > 1, maka dalam penerapannya, PHESB perlu ditingkatkan kapasitasnya menjadi 78 kg/jam (B/C=1,1) atau minimum 987 kg dalam satu kali proses. Dengan demikian didapatkan titik impas (BEP) 75,288 kg dengan waktu pengembalian modal selama 1,4 tahun (Tabel 4), serta nisbah keuntungan dan biaya (B/C) 1.1 (Tabel 5).

Lebih lanjut nilai keuntungan (NPV) didapatkan sebesar Rp 11.244.531,- (>0), nisbah keuntungan dan biaya (B/C) sebesar 1,1 (>1), serta hasil interpolasi NPV dengan *discount factor* (DF) positif 50% dan negatif 70%, didapatkan tingkat pengembalian modal (IRR) sebesar 67,93% (Tabel 5).

KESIMPULAN

Karakteristik PHESB (pengering *hybrid* energi surya dan biomasa) untuk pengeringan sawut ubi kayu mengikuti model linier $y = -5,081x + 78,30$ ($R^2 =$

Tabel 4. Analisis biaya pokok (BP), titik impas (BEP) dan waktu pengembalian modal (PBP) mesin pengering hybrid dengan kapasitas kerja 78 kg/jam

Uraian	Tahun					
	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅
A. Penerimaan :						
a. Ongkos pengeringan (Rp)	-	107,827,200	107,827,200	107,827,200	107,827,200	107,827,200
b. Nilai sisa mesin (SM) (Rp)	-	-	-	-	-	16,000,000
Keuntungan kotor (Rp)	-	107,827,200	107,827,200	107,827,200	107,827,200	123,827,200
B. Biaya :						
a. Harga mesin(M) (Rp/unit)	40,000,000	-	-	-	-	-
b. Biaya tidak tetap (BTT):						
1. Upah operator (Rp/th)	-	46,080,000	46,080,000	46,080,000	46,080,000	46,080,000
2. Bahan bakar (BBM) (Rp/th)	-	6,756,480	6,756,480	6,756,480	6,756,480	6,756,480
3. Bahan bakar biomasa (Rp/th)	-	6,283,008	6,283,008	6,283,008	6,283,008	6,283,008
4. Oli (Rp/th)	-	12,875	12,875	12,875	12,875	12,875
Total BTT (Rp/th)		59,132,363	59,132,363	59,132,363	59,132,363	59,132,363
c. Biaya tetap (BT)						
1. Penyusutan (Rp/th)	-	4,800,000	4,800,000	4,800,000	4,800,000	4,800,000
2. Bunga Modal (Rp/th)	-	9,600,000	9,600,000	9,600,000	9,600,000	9,600,000
3. Perawatan (Rp/th)	-	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000
4. Pajak & Asuransi (Rp/th)	-	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
Total BT (Rp/th)		20,400,000	20,400,000	20,400,000	20,400,000	20,400,000
Total biaya	40,000,000	79,532,363	79,532,363	79,532,363	79,532,363	79,532,363
C. Keuntungan (P) (Rp/th)	-40,000,000	28,294,837	28,294,837	28,294,837	28,294,837	44,294,837
Asumsi:						
1. Hari kerja (H)	: 288	hari/th	11. Upah 2 orang operator	: 160,000	Rp/hari	
2. Jam kerja harian	: 8	jam/hari	12. Ongkos pengeringan (OP)	: 600	Rp/kg	
3. Total jam kerja	: 2,304	jam/th	13. Bahan bakar solar	: 0,1	lt/jam/hp	
4. Kapasitas (KE)	: 78,00	kg/jam	14. Bahan bakar biomassa	: 9,09	Kg/jam	
5. Bunga (i)	: 24	%/th	15. Pelumas	: 0,12	lt/200 jam	
6. Perawatan mesin	: 10	%*M	16. Harga solar	: 6,900	Rp/lt	
7. Umur ekonomis (N)	: 5	th	17. Harga biomasa	: 300	Rp/kg	
8. Pajak/asuransi (c4)	: 5	%*M	18. Harga pelumas	: 9,500	Rp/lt	
9. Bunga modal $c2=i*M$			19. Tenaga Penggerak	: 8,5	hp	
10. Penyusutan $c1=(M-S)/N$						
Perhitungan:						
1. Biaya pokok (BP) = $(BTT+BT)/(H*KE)$	=	443 Rp/kg bahan				
2. Titik impas (BEP) = $BT/(OP-BTT/(H*KE))$	=	75,288 kg				
3. Waktu pengembalian modal PBP = $M/(P)$	=	1,4 tahun				

0,978) pada tingkat kadar air awal 71,45 % bb dan rata-rata suhu pengeringan 40,51 + 3,61 °C. Laju pengeringan sawut ubi kayu dalam arah tegak dan mendatar adalah homogen, sehingga secara teknis PHESB layak digunakan untuk pengeringan sawut ubi kayu.

Pada tingkat kapasitas pengering sawut 20,86 kg/jam dengan harga alat pengering Rp 40.000.000, secara finansial pengering PHESB belum layak dioperasikan dalam bentuk penjualan jasa pengeringan sawut ($B/C < 1,0$). Untuk itu disarankan mengoptimalkan kinerja PHESB pada beberapa tingkat kapasitas pengeringan untuk mengetahui karakteristik pengeringan dengan beban pengeringan sawut ubi kayu yang layak finansial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Bambang dari PT. Kitadin-Kukar dan Bapak M. Chary Septyadi, Bapak Rujiansyah serta Bapak Darwin dari Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Timur, atas bantuannya dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi FR. 2015. Greenhouse dryer performance for drying thin slices of potato tuber. *Proceeding of the 6th International Conference on Green Technology*, UIN Malang. 18-19 September 2015.
- Ahaotu NN, Anyogu A, Obioha P, Aririatu L, Ibekwe VI, Oranusi S, Sutherland JP, Ouoba LII. Influence of protein fortification on microbial diversity during

Tabel 5. Analisis nisbah keuntungan (B/C), nilai keuntungan (NPV) dan tingkat pengembalian modal (IRR) mesin pengering hybrid dengan kapasitas 78 kg/jam

Tahun	Hasil Kotor	Biaya Kotor	Hasil Bersih	DF (50%)	Discount Hasil	Discount Biaya	Percobaan		Percobaan	
							I		II	
	(Rp)	(Rp)	(Rp)		(1*4)	(2*4)	DFP (50 %)	NPV (3*7)	DFN (70 %)	NPV (3*9)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
0	0	40.000.000	-40.000.000	1,00	0	40.000.000	1,00	-40.000.000	1,00	-40.000.000
1	107.827.200	79.532.363	28.294.837	0,67	71.884.800	53.021.576	0,67	18.863.224	0,59	16.644.022
2	107.827.200	79.532.363	28.294.837	0,44	47.923.200	35.347.717	0,44	12.575.483	0,35	9.790.601
3	107.827.200	79.532.363	28.294.837	0,30	31.948.800	23.565.145	0,30	8.383.655	0,20	5.759.177
4	107.827.200	79.532.363	28.294.837	0,20	21.299.200	15.710.096	0,20	5.589.104	0,12	3.387.751
5	123.827.200	79.532.363	44.294.837	0,13	16.306.463	10.473.398	0,13	5.833.065	0,07	3.119.669
Total	555.136.000	437.661.816	117.474.184			189.362.462,55		178.117.931,32		11.244.531,23
					(B)	(C)		(PVP)		(PVN)

PERHITUNGAN:

1. Nilai keuntungan (NPV) = PVP = Rp. 11.244.531
2. Nisbah keuntungan dan biaya (B/C) = 1,1
3. Tingkat pengembalian modal (IRR) = $DFP + (PVP * (DFN-DFP) / (PVP-PVN)) = 67,93\%$

cassava fermentation and subsequent biochemical composition of garri. Food Microbiology (2017), doi:10.1016/j.fm.2017.04.019. (Diakses tanggal 10 Juni 2018).

Arhamsyah. 2010. Pemanfaatan biomassa arang kayu sebagai sumber energi terbarukan. Jurnal Riset Industri Hasil Hutan 2(1):42-48.

Ayala DG, Topete AC. 2014. Pineapple drying using a new solar hybrid dryer. Energy Procedia 57(2014): 1642-1650.

Eltawil MA, Azam MM, Alghannam AO. 2018. Energy analysis of hybrid solar tunnel dryer with PV system and solar collector for drying mint (*Mentha viridis*). Journal of Cleaner Production 181(2018):352-364.

Ginting E. 2009. Penanganan Pascapanen. Dalam: Wargiono J. Hermanto Suniardi (eds). Ubikayu, inovasi dan kebijakan pengembangan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Indonesia.

Haloho J D. 2014. Pengolahan ubikayu dalam upaya percepatan diversifikasi pangan di Kalimantan Barat. Hlm 776-786. Prosiding Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi 2014, Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Malang.

Hanafi R, Suwarta, Alfiana. 2016. Variety and characteristic of processed food industry based on cassava. Agriculture and Agricultural Science Procedia 9(2016):258-263.

Hidayanto M. 2016. BPTP Kaltim: Manfaatkan lahan bekas tambang menjadi lumbung pangan. Majalah Sains Indonesia, edisi 54 tahun 2016.

Janjai S, Intawee P, Kaewkiew J, Sritus C, Khamvongsa V. 2011. A large-scale greenhouse

dryer using polycarbonate cover: modelling and testing in a tropical environment of Lao People's Democratic Republic. Renewable Energy 36(3):1053-1062.

Makki M, Vonny IM, Azrifirwan. 2008. Rancang bangun alat pengering tipe rak dengan sistem Hybrid untuk usaha pisang sale. Jurnal Teknologi Pertanian Andalas 12 (2):19-25.

Neba FA, Nono YJ. 2017. Modeling and simulated design: a novel hybrid dryer and dryer design software, Computers and Chemical Engineering - <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.04.002>.

Pusat Data dan Informasi Pertanian [Pusdatin]. 2016. Ubikayu, Outlook Komoditas Pertanian Sub Sektor Tanaman Pangan. Pusat Data dan Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.

Prakash O, Kumar A. 2014. Solar greenhouse drying: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29(2014):905-910.

Putra GMD, Sutoyo E, Hartini S. 2014. Uji kinerja alat pengering efek rumah kaca (ERK) Hybrid dengan tungku biomasa sebagai sistem pemanas tambahan untuk pengeringan biji pala. (*Myristica sp.*). Jurnal Teknik Pertanian Lampung 3(2): 183-194.

Ramadhan A Sari E.R. 2015. Variasi perbandingan tepung terigu dan mocaf (*modified cassava flour*) dalam pembuatan mie mocaf. Agritepa 1(2): 211-219.

Sari IN, Warji, Novita DD. 2014. Uji kinerja alat pengering hybrid tipe rak pada pengeringan pisang kepok. Jurnal Teknik Pertanian Lampung 3(1):59-68.

- Septiadi D, Nanlohy P, Souissa M, Rumlawang FW. 2009. Proyeksi potensi energi surya sebagai energi terbarukan (studi wilayah Ambon dan sekitarnya). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* 10(1): 22-28.
- Suryaningrat IB, Amilia W, Choiron M. 2015. Current condition of agroindustrial supply chain of cassava product: a case survey of East Java, Indonesia. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 3(2015):137-142.
- Tastra IK, Patriyawati NR. 2013. Evaluasi hasil rekayasa pengering tipe bak kayu blower ganda dengan sumber energi gas LPG untuk pengeringan benih kedelai pada sistem jabalsim. *Penelitian Tanaman Pangan* 32(2): 126-137.
- Vidana ECL, Lagunaz LLM, Ramirez JR. 2013. Efficiency of a hybrid solar-gas dryer. *Solar Energy* 93(2013):23-31.
- Wanita YP, Wisnu E. 2013. Pengaruh cara pembuatan mocaf terhadap kandungan amilosa dan derajat putih tepung. Hlm 588-596. Prosiding. Seminar Hasil Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi 2013, Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi, Malang.
- Wankhade PK, Sapkal RS, Sapkal VS. 2013. Design and performance evaluation of solar dryer. *IOSR Journal of Mechanical & Civil Engineering (ICAET-2014)*,11(2013): 70-73.
- Yahya M, Fudholi A, Sopian K. 2017. Energy and exergy analyses of solar-assisted fluidized bed drying integrated with biomass furnace. *Renewable Energy* 105(2017):22-29.
- Yulifianti R, Ginting E, Utomo JS. 2012. Tepung kasava modifikasi sebagai bahan substitusi terigu mendukung diversifikasi pangan. *Buletin Palawija* 23(11)1-12.
- Zainuddin IM, Fathoni A, Sudarmonowati E, Beeching JR, Gruissem W, Vanderschuren. 2017. Postharvest Biology and Technology (2017). <http://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2017.09.004>. (Diakses tanggal 10 Juni 2018).