

## KAJIAN KINETIKA, ANALISIS ENERGI, DAN ANALISIS EKSERGI PENGERINGAN UBI JALAR CILEMBU DENGAN TRAY DRYER

Tifa Paramitha<sup>1\*</sup>, Dhyna Analyses Trirahayu<sup>1</sup>, Ahmad Fauzan<sup>1</sup>, Ghusrina Prihandini<sup>1</sup>, Retno Dwi Jayanti<sup>1</sup>, Sudrajat Harris Abdulloh<sup>1</sup>, Robby Sudarman<sup>1</sup>, Tika Paramitha<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung  
<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Sebelas Maret

Email: tifa.paramitha@polban.ac.id

### ABSTRAK

Proses pengeringan ubi jalar (*Ipomoea batatas*) varietas cilembu dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan daya simpan bahan. Proses pengeringan ubi jalar cilembu dikerjakan dengan menggunakan alat pengering jenis tray dryer pada suhu 50 °C dan laju alir 2 m/s. Kajian kinetika diperoleh bahwa model yang paling akurat dalam merepresentasikan kinetika pengeringan ubi jalar cilembu adalah model Page dengan persamaan kinetika adalah  $MR = \exp(-0,0033t^{1,3894})$ . Hasil analisis energi diketahui bahwa penggunaan energi dan rasio penggunaan energi mengalami kenaikan pada awal proses hingga menit ke-40 dan selanjutnya mengalami penurunan karena kadar air dalam sampel rendah. Nilai penggunaan energi dan rasio penggunaan energi berturut-turut pada rentang 7,96-9,19 kJ/s dan 0,51-0,61. Sementara itu, efisiensi eksergi berada pada rentang 28-31%. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi eksergi relatif rendah karena sebagian besar eksergi yang disediakan terbawa oleh udara keluar tray dryer.

**Kata kunci:** ubi jalar cilembu, kinetika, energi, eksergi, pengeringan

### ABSTRACT

The drying of sweet potato (*Ipomoea batatas*) cilembu varieties was done with the aim of increasing the shelf life. Drying process of cilembu sweet potato was done using a tray dryer at a temperature of 50 °C and flow rate of 2 m/s. Kinetics studies were obtained that the most accurate model that representing the kinetics of drying of cilembu sweet potato was Page Model with the kinetic equation was  $MR = \exp(-0,0033t^{1,3894})$ . The results of the energy analysis were known that energy utilization and energy utilization ratio increase at the beginning of the process until the 40th minutes and subsequently decrease due to low water content in the sample. The value of energy utilization and energy utilization ratio were in the range of 7,96-9,19 kJ/s and 0,51-0,61, respectively. Meanwhile, the exergy efficiency was in the range of 28-31%. This result showed that the exergy efficiency was relatively low because most of the energy provided was lost in the air outflow the tray dryer.

**Key words:** cilembu sweet potato, kinetic, energy, exergy, drying

## **PENDAHULUAN**

Sebagai negara tropis, Indonesia merupakan negara yang kaya dengan aneka komoditas pertanian. Salah satu komoditas pertanian yaitu ubi jalar (*Ipomoea batatas*). Ubi jalar termasuk tanaman yang mengandung karbohidrat yang tinggi (Suharyon dan Edi, 2020). Terdapat beberapa daerah sebagai tempat penghasil ubi jalar yaitu provinsi Sumatera Utara, Irian Jaya, Jawa Timur, Jawa Tengah, dan Jawa Barat (Mahmudatussa'adah, 2014).

Ubi jalar cilembu adalah salah satu jenis ubi jalar yang banyak diminati oleh masyarakat karena rasa yang manis. Ubi jalar cilembu mengandung pati dengan jumlah yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan ubi jalar yang lainnya. Saat pemanenan, kadar pati ubi jalar cilembu sekitar 35-36% (Onggo, 2006).

Ubi jalar cilembu biasanya dikonsumsi dengan cara sederhana, seperti direbus dan dipanggang. Namun, pengolahan ubi jalar cilembu yang sederhana menyebabkan ubi jalar cilembu tidak dapat bertahan lama. Oleh karena itu, perlu diupayakan cara pengolahan yang tepat agar ubi jalar cilembu memiliki waktu simpan yang lama dan kondisinya baik.

Pengeringan ubi jalar cilembu dalam bentuk irisan tipis adalah salah satu cara untuk meningkatkan daya simpannya. Pengeringan adalah salah satu metode yang dapat menghilangkan sebagian air yang terkandung dalam bahan dengan cara menggunakan energi panas. Tujuan pengeringan bahan pangan adalah menghilangkan air hingga

diperoleh kadar air tertentu yang mana aktivitas enzim dan mikroorganisme yang dapat menyebabkan pembusukan akan terhambat.

Proses pengeringan memerlukan energi panas agar air dalam bahan dapat teruapkan. Evaluasi proses pengeringan didasarkan pada hukum pertama termodinamika dan hukum kedua termodinamika. Analisis energi dari proses pengeringan didasarkan pada hukum pertama termodinamika (keseimbangan energi). Dengan analisis energi dapat diketahui penggunaan energi, rasio penggunaan energi, dan efisiensi energi. Sementara itu, analisis eksergi dari proses pengeringan didasarkan pada hukum kedua termodinamika. Hukum kedua termodinamika menyatakan bahwa energi bersifat tidak dapat kembali (irreversibel) dengan terjadinya perubahan entropi (Suherman dan Trisnaningtyas, 2016). Analisis eksergi digunakan untuk mengetahui seberapa optimal energi yang masuk telah digunakan dari sisi kualitas.

Selain itu, kajian kinetika perlu dilakukan untuk memprediksi karakteristik pengeringan. Karakteristik pengeringan secara umum dapat ditentukan secara eksperimen melalui pengeringan lapisan tipis bahan pangan (Da Silva, dkk., 2014, Manikantan, dkk., 2014, Sadin, dkk., 2017). Selanjutnya, data eksperimen diplot ke dalam kurva untuk mendapatkan model pengeringan, yang mana model ini dapat digunakan untuk melakukan simulasi kurva pengeringan pada kondisi pengeringan yang berbeda.

Hingga saat ini, masih sedikit literatur yang melakukan kajian kinetika, analisis energi, dan analisis eksergi dari proses pengeringan ubi jalar cilembu. Dengan demikian,

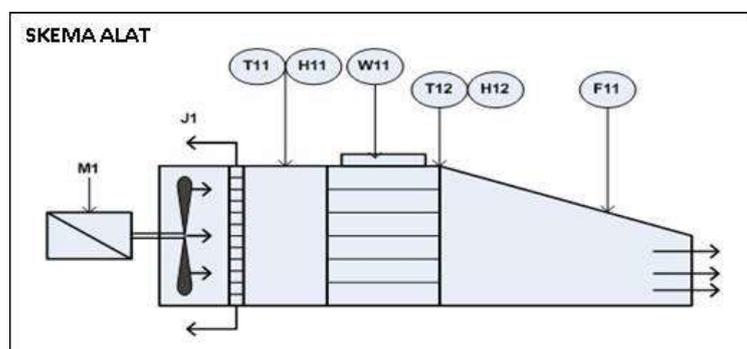
penelitian ini dilakukan pengeringan ubi jalar cilembu menggunakan alat pengeringan jenis *tray dryer* dan dilakukan kajian kinetika, analisis energi, dan analisis eksergi terhadap pengeringan tersebut.

## BAHAN DAN METODE

### Alat dan Bahan

*Tray dryer* merupakan alat utama yang digunakan pada penelitian ini (Gambar 1). *Tray dryer* terdiri dari *tray*, blower,

pemanas, dan neraca. Mekanisme pengeringan dengan *tray dryer* dilakukan dengan menyalakan blower yang berfungsi untuk mensirkulasikan udara dari lingkungan sekitar ke dalam ruang pengeringan. Sebelum kontak dengan sampel, udara dilewatkan pemanas sehingga suhu udara meningkat dan kelembaban relatif udara menurun. Sementara itu, sampel yang akan dikeringkan diletakkan di *tray* dan penurunan massa sampel diukur dengan neraca.



Gambar 1. Alat *Tray Dryer*

Bahan yang digunakan adalah ubi jalar (*Ipomoea batatas*) varietas cilembu. Bahan diperoleh dari penjual di daerah Bandung Barat. Bahan dikupas kulitnya, dicuci dengan air hingga bersih, dan diiris dengan ketebalan yang sama (2 mm). Ketebalan irisan dibuat tipis agar proses pengeringan dan difusi massa air menjadi lebih cepat. Kadar air awal ubi jalar cilembu ditentukan dengan menggunakan oven pada suhu  $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  hingga massa ubi jalar cilembu konstan.

### Metode

Irisan sampel diletakkan dalam *tray* dengan luas permukaan sebesar  $464\text{ cm}^2$  (29 cm x 16 cm). Proses pengeringan dilakukan pada suhu

udara masuk  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  dengan kecepatan udara dijaga sebesar 2 m/s. Data yang diambil selama proses pengeringan meliputi perubahan massa, suhu udara masuk dan keluar *tray dryer*, serta kelembaban relatif masuk dan keluar *tray dryer*. Suhu dan kelembaban relatif udara diukur dengan alat *Relative Humidity* meter setiap 5 menit sekali sampai diperoleh massa sampel konstan.

### Kajian kinetika pengeringan lapis tipis ubi jalar cilembu

Data eksperimen digunakan untuk menentukan *moisture ratio* (MR) sampel selama proses pengeringan. Persamaan (1) merupakan rumus untuk menentukan *moisture ratio*.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_o - M_e} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana, MR adalah *moisture ratio*, Mo = kadar air awal, Mt = kadar air pada waktu t, Me = kadar air pada saat kesetimbangan.

Beberapa model pengeringan lapis tipis telah dikemukakan untuk mengetahui hubungan antara *moisture*

*ratio* terhadap waktu. Tiga model pengeringan lapis tipis pada Tabel 1 digunakan dalam penelitian ini untuk mencari model terbaik yang dapat mendeskripsikan kinetika pengeringan ubi jalar cilembu dengan alat *tray dryer*.

**Tabel 1.** Model kinetika pengeringan lapis tipis

Nama Model	Model	Ref
Henderson dan Pabis	MR = a exp (-kt)	
Newton	MR = exp (-kt)	Afifah, 2017
Page	MR = exp (-kt <sup>n</sup> )	

Analisis kesesuaian data prediksi dari persamaan model-model terhadap data eksperimen dievaluasi dengan menggunakan parameter koefisien determinasi (R<sup>2</sup>), *reduced chi-square* (χ<sup>2</sup>), dan *root mean square error* (RMSE) berdasarkan persamaan (2) dan (3) berikut:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N-z} \dots\dots\dots(2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp,i} - MR_{pre,i})^2}{N}} \dots\dots(3)$$

Dimana MR<sub>exp</sub> = *Moisture ratio* eksperimen, MR<sub>pre</sub> = *Moisture ratio* prediksi.

Untuk kualitas kesesuaian, nilai R<sup>2</sup> mendekati satu, sementara nilai SSE dan RMSE mendekati nol.

**Analisis energi dan eksergi**

Massa umbi cilembu dan data-data terkait karakteristik udara masuk dan udara keluar digunakan untuk menentukan penggunaan energi dan rasio penggunaan energi dari proses pengeringan dengan persamaan (4) dan (5) sebagai berikut (Aviara dkk., 2014):

$$EU = M_a (h_{ai} - h_{ao}) \dots\dots\dots(4)$$

$$EUR = \frac{M_a (h_{ai} - h_{ao})}{M_a (h_{ai} - h_{\infty})} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana EU = penggunaan energi (kJ/s), EUR = rasio penggunaan energi, Ma = laju alir massa udara (kg/s), hai = entalpi udara masuk (kJ/kg), hao = entalpi udara keluar (kJ/kg), h∞ = entalpi pada kondisi ambient (kJ/kg).

Sementara itu, untuk menentukan eksergi pada masukan ruang pengeringan, eksergi pada keluaran ruang pengeringan, kehilangan eksergi, dan efisiensi eksergi dihitung dengan persamaan (6)-(9) sebagai berikut:

$$EX_i = C_{pa} \left[ (T_{ai} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ai}}{T_{\infty}} \right] (6)$$

$$EX_o = C_{pa} \left[ (T_{ao} - T_{\infty}) - T_{\infty} \ln \frac{T_{ao}}{T_{\infty}} \right] \dots\dots\dots(7)$$

$$EX_L = EX_i - EX_o \dots\dots\dots(8)$$

$$\eta_{eks} = 1 - \frac{EX_L}{EX_i} \dots\dots\dots(9)$$

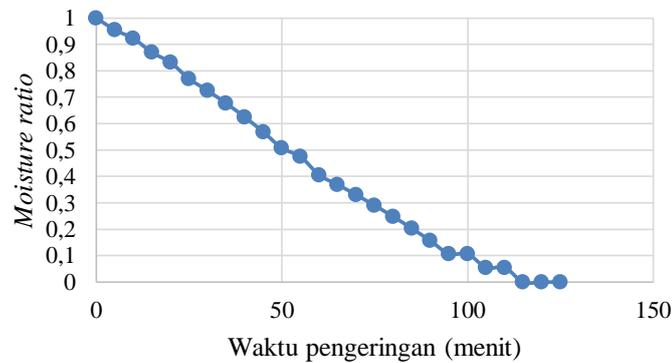
Dimana EX<sub>i</sub> = eksergi pada masukan (kJ/kg), EX<sub>o</sub> = eksergi pada keluaran (kJ/kg), EX<sub>L</sub> = kehilangan eksergi (kJ/kg), η<sub>eks</sub> = efisiensi

eksergi,  $C_{pa}$  = kapasitas spesifik udara (kJ/kg),  $T_{ai}$  = suhu udara masuk ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{ao}$  = suhu udara keluar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{\infty}$  = udara ambient ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bahan baku yang digunakan adalah ubi jalar cilembu. Kadar air awal ubi jalar cilembu sebesar 60% (basis berat basah). Pada penelitian ini, proses pengeringan ubi jalar cilembu dilakukan pada suhu  $50^{\circ}\text{C}$  dan laju alir massa 2 m/s dengan *tray dryer*. Pengeringan dengan suhu yang

lebih tinggi dari suhu lingkungan menyebabkan kelembaban relatif udara menjadi lebih rendah dan kemudian berdampak terhadap semakin banyaknya air yang dapat diuapkan selama proses pengeringan dan proses pengeringan menjadi lebih cepat. Kelembaban relatif udara masuk alat pengering sebesar 24,3%. Kurva *moisture ratio* terhadap waktu pengeringan diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Moisture ratio* terhadap waktu pengeringan



Gambar 3. (a) Irisan ubi jalar cilembu sebelum proses pengeringan, (b) Irisan ubi jalar cilembu setelah proses pengeringan

Gambar 2 menunjukkan *moisture ratio* ubi jalar cilembu menurun dengan semakin lamanya

waktu pengeringan. Hal ini disebabkan kandungan air dalam ubi jalar cilembu semakin sedikit dengan

semakin lamanya waktu pengeringan karena air yang telah teruapkan semakin besar. Pada menit ke-110, *moisture ratio* ubi jalar cilembu sebesar 5%. Penurunan *moisture ratio* terjadi secara cepat pada saat awal pengeringan kemudian semakin melambat mendekati akhir pengeringan. Gambar 3 menunjukkan irisan ubi jalar cilembu sebelum dan

setelah proses pengeringan dengan *tray dryer*.

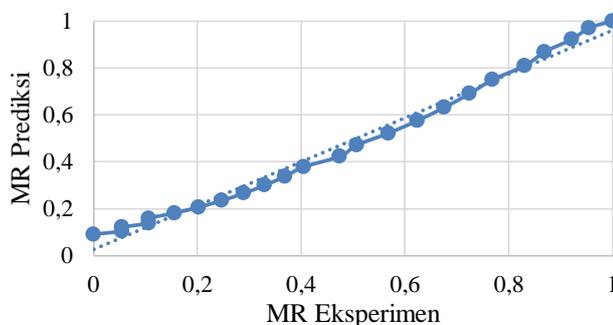
Data eksperimen berupa MR digunakan sebagai data input untuk tiga model pengeringan lapis tipis (Tabel 2). Hasil dari perhitungan diperoleh nilai konstanta dan parameter pengeringan tiap model-model,  $R^2$ ,  $\chi^2$  serta RMSE disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Nilai konstanta dan parameter pengeringan serta  $R^2$ ,  $\chi^2$ , dan RMSE

Model	Konstanta dan Parameter Pengeringan	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
Henderson dan Pabis	k = 0,0253 a = 1,4645	0,9118	0,0204	0,1374
Newton	k = 0,0202	0,9404	0,0129	0,1112
Page	k = 0,0033 n = 1,3894	0,9796	0,0019	0,0422

Model terbaik yang dapat mendeskripsikan kinetika pengeringan lapis tipis irisan ubi jalar cilembu dipilih berdasarkan nilai  $R^2$  yang terbesar dan nilai  $\chi^2$  dan RMSE yang terkecil. Berdasarkan nilai  $R^2$ ,  $\chi^2$ , dan RMSE, Model Page merupakan model yang cocok untuk mewakili kinetika pengeringan lapis tipis irisan ubi jalar cilembu dengan *tray dryer*. Hasil tersebut sama

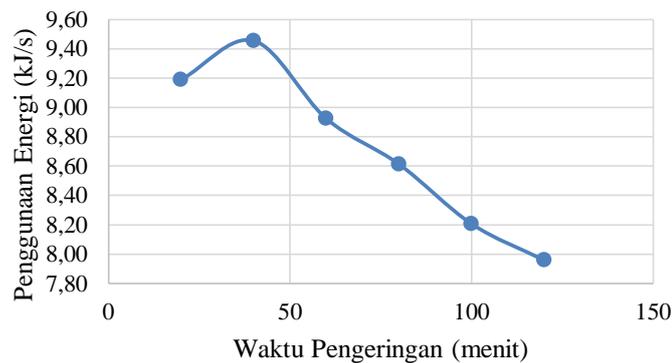
dengan hasil penelitian Afifah dkk. (2017) yang mana model Page paling akurat untuk mempresentasikan kinetika pengeringan bahan pertanian (singkong, pisang, dan kacang tanah). Gambar 4 menampilkan hubungan nilai MR eksperimen dengan MR persamaan Model Page. Dari Gambar 4 diketahui bahwa persamaan Model Page mendekati hasil eksperimen (diwakili dengan garis lurus).



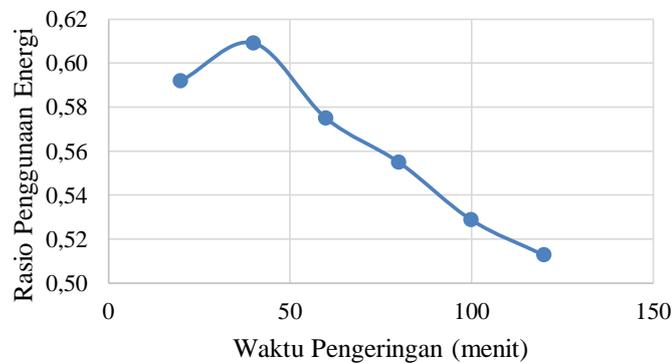
**Gambar 4.** MR prediksi terhadap MR eksperimen

Analisis energi dari proses pengeringan lapis tipis ubi jalar cilembu dilakukan dengan menggunakan data eksperimen. Hasil analisis energi disajikan dalam Gambar 5 dan 6. Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa penggunaan energi yang lebih tinggi

pada awal proses pengeringan hingga menit ke-40 karena kadar air yang masih tinggi dalam sampel dan selanjutnya penggunaan energi mengalami penurunan karena kadar air dalam sampel yang rendah di akhir proses. Hasil yang sama dijelaskan pada penelitian Corzo dkk. (2008).



**Gambar 5.** Penggunaan energi terhadap waktu pengeringan



**Gambar 6.** Rasio penggunaan energi terhadap waktu pengeringan

Gambar 6 menunjukkan rasio penggunaan energi (EUR) terhadap waktu. Nilai EUR meningkat diawal proses dan mengalami penurunan dengan bertambahnya waktu pengeringan. Nilai EUR sebesar 0,59 diawal proses dan 0,51 diakhir proses pengeringan. Hal ini berarti masih terdapat energi yang terkandung

dalam udara keluar alat pengeringan. Agar penggunaan energi lebih efektif, udara buangan dapat digunakan kembali sehingga energi yang meninggalkan alat pengering dapat dimanfaatkan.

Analisis eksergi dari proses pengeringan lapis tipis ubi jalar cilembu juga dilakukan dengan

menggunakan data eksperimen. Hasil analisis eksergi diperoleh bahwa efisiensi eksergi berada pada rentang 28-31%. Hasil yang relatif rendah disebabkan sebagian besar eksergi yang tersedia terbawa udara yang keluar alat pengeringan.

### KESIMPULAN

Kajian kinetika, analisis energi, dan analisis eksergi proses pengeringan ubi jalar cilembu dengan *tray dryer* telah dilakukan pada penelitian ini. Berdasarkan kajian kinetika diketahui bahwa model Page yang paling akurat untuk merepresentasikan kinetika pengeringan ubi jalar cilembu dengan persamaan kinetiknya adalah  $MR = \exp(-0,0033t^{1,3894})$ . Hasil analisis energi diketahui bahwa penggunaan energi dan rasio penggunaan energi mengalami kenaikan pada awal proses dan selanjutnya mengalami penurunan karena kadar air dalam sampel rendah. Sementara itu, hasil eksergi menunjukkan bahwa efisiensi eksergi relatif rendah, yang mana sebagian besar eksergi yang disediakan terbawa udara yang keluar *tray dryer*.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih ditujukan kepada Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Bandung dalam penyediaan sarana dan prasarana penelitian. Selain itu, ucapan terima kasih ditujukan kepada Angelina Putri, Angely Luviana, dan Anggita Cahya Maulida yang telah membantu dalam pengambilan data.

### DAFTAR PUSTAKA

Afifah, N., Rahayuningtyas, A., dan

Kuala, S. I. (2017). Pemodelan Kinetika Pengeringan Beberapa Komoditas Pertanian Menggunakan Pengereng Inframerah, *AGRITECH*, 37(2): 220-228,

<http://doi.org/10.22146/agritech.10394>

Aviara, N. A., Onuoha, L. N., Falola, O. E., dan Igbeka, J.C. (2014). Energy and Exergy Analyses of Native Cassava Starch Drying in a Tray Dryer, *Energy*, 73: 809-817, doi:10.1016/j.energy.2014.06.087

Corzo, O., Bracho, N., Vasquez, A., and Pereira, A. (2008). Energy and Exergy Analyses of Thin Layer Drying of Coroba Slices, *Journal of Food Engineering*, 86: 151-161, 10.1016/j.jfoodeng.2007.05.008

Da Silva, W.P., E Silva, C.M.D.P.S., Gama, F.J.A., Gomes, J.P., (2014) Mathematical models to describe thin-layer drying and to determine drying rate of whole bananas, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13: 67-74, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2013.01.003>

Manikantan, M. R., Barnwal, P., Goyal, R. K. (2014) Drying characteristics of paddy in an integrated dryer, *J Food Sci Technol* 51(4): 813-819, <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1250-1>

Muhmudatussa'adah, A. (2014). Komposisi Kimia Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L) Cilembu pada Berbagai Waktu Simpan sebagai Bahan Baku Gula Pasir. *Jurnal Pangan*, 23(1): 53-64,

<https://doi.org/10.33964/jp.v23i1.51>

- Onggo, T. M. (2006). Perubahan Komposisi Pati dan Gula Dua Jenis Ubi Jalar Nirkum “Cilembu” Selama Penyimpanan, *Jurnal Bionatura*, 8(2): 161-170,
- Sadin, R., Chegini, S., Khodadadi, M. (2017) Drying characteristics and modeling of tomato thin layer drying in combined infrared-hot air dryer, *CIGR Journal* 19(1): 150-157
- Suharyon dan Edi, S. (2020). Potensi dan Peluang Pengembangan Komoditas Ubi Jalar di Kabupaten Kerinci Provinsi Jambi. *Jurnal Sains Sosio Humaniora*, 4(2): 777-785, <https://doi.org/10.22437/jssh.v4i2.11542>.
- Suherman dan Trisnaningtyas, R. (2016). Analisis Energi dan Eksergi pada Pengeringan Tepung Tapioka Menggunakan Pengereng Kontinu Unggun Fluidisasi Getar, *REAKTOR*, 16(1): 24-31, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.1.24-31>