

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Jaelani. 2015. *Analisis Energi Panas pada Manisan Pepaya (Carica papaya L.) Proses Pengeringan menggunakan Pengereng Tipe Rak*. Skripsi. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Edi Suhendar. 2017. *Uji Kinerja Rack-Dryer Untuk Pengeringan Keripik Sukun Menggunakan Energi Listrik*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Efendi, M. 2017. *Perancangan Alat Pengereng Biji Kakao dengan Sistem Rotari Sederhana pada Usaha Mandiri di Desa Wiyono Kabupaten Pesawaran*. Skripsi, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Hariyadi, P. 1984. *Mempelajari Kinetika Gelatinisasi Pati Sagu (Metroxylon sp.)*. Skripsi. Jurusan Teknologi Pangan dan Gizi, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Irfan FK. 2015. *Desain Sistem Kendali Pengeringan Gabah dengan Kolektor Surya dan Air Sebagai Media Penyimpan Panas*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Jading, A. Eduard T., Paulas P., dan Sarman G. 2011. Karakteristik Fisiokimia Pati Sagu Hasil Pengeringan Secara Fluidisasi Menggunakan Alat Pengereng Cross Flow Fluidized Bed Bertenaga Surya dan Biomassa. *Jurnal: Reaktor*, Vol. 13 No. 3, Juni 2011.
- Kustiyo, A. Nur AA., dan Marimin. 2013. *Perancangan Sistem Pakar Fuzzy Untuk Penentuan Efektivitas Kultivasi Cendawan Mikoriza Arbuskula Sebagai Pupuk Hayati*. Insitut Pertanian Bogor : Bogor.
- Lestari, D. 2012. *Definisi sistem pakar*. Arsip Teknik Informatika UMMI: Sukabumi.
- Negnevitsky, M. 2005. *Artificial Intelligence*. Pearson Education : England.
- Ogata, K. (1997). *Automatic Control System 4th ed*. New Jersey: Prentice Hall.
- Risdianti, D. Mirad., dan Guyup MDP. 2016. *Kajian Pengeringan Jahe (Zingiber Officinale Rosc) Berdasarkan Perubahan Geometrik dan Warna Menggunakan Metode Image Analysis*. Universitas Mataram: Mataram.
- Singh P. dan Dennis RH. 1984. *Introduction To Food Engineering*. Academic Press: London.

- Sukmawaty, Asih P. Guyup MDP. Diah AS. Sirajuddin HA. 2019. *Introduksi Alat Pengering Tipe Rak Berputar Sebagai Upaya Mempercepat Proses Pengeringan Hasil Pertanian*. Universitas Mataram: Mataram.
- Taufiq, M. 2004. *Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Pengeringan Jagung pada Pengering Konvensional dan Fluidized Bed*. Skripsi, Universitas Seelas Maret, Surakarta, Indonesia.
- Wahid, A., Junaidi dan Iqbal A. 2014. *Analisis Kapasitas dan Kebutuhan Daya Listrik Untuk Menghemat Penggunaan Energi Listrik di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura*. Universitas Tanjungpura, Pontianak, Indonesia.
- Widyaningrum., Purwani, E.Y., dan Munarso, S.J. 2005. Kajian Terhadap SNI Mutu Pati Sagu, *J. Standardisas*. 7(3), hal. 91-98.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel sifat udara

No.	S u h u		Density (ρ) (kg/m^3)	Panas Spesifik (C_p) ($\text{kJ/kg } ^\circ\text{K}$)
	$^\circ\text{C}$	$^\circ\text{K}$		
1	30	303,15	1,127	1,013
2	40	313,15	1,092	1,014
3	50	323,15	1,057	1,016
4	60	333,15	1,025	1,017
5	70	343,15	0,996	1,018
6	80	353,15	0,968	1,019

sumber: Singh dan Heldman, 2009

Lampiran 2. Hasil pengukuran kecepatan udara dan luas penampang udara pengering.

Sudut Buka-an Katup ($^\circ$)	Kecepatan Udara Dalam (m/s)	Saluran Rata-Rata (m^3/s)
0	0,11	0,00094
30	1,64	0,01398
60	2,41	0,02055
90	4,55	0,03879

Ukuran Saluran (T×L) cm	Luas Saluran
9,8×8,7 cm	85,26 cm^2
0,098×0,087 m	0,008526 m^2

Lampiran 3. Suhu udara pengeringan di awal proses pengeringan pada 1500 Watt, setting point 60 °C.

Waktu (menit)	Suhu Pengering (°C)	
	<i>Non hybrid</i>	<i>Hybrid</i>
0	27	33
2	36	43
4	46	49
6	52	57
8	59	61
10	60	60
12	59	60
14	61	61

Lampiran 4. Suhu udara pengeringan selama proses pengeringan pada 1500 Watt, setting point 60 °C

Waktu (menit)	Suhu Pengering (°C)	
	<i>Non- hybrid</i>	<i>Hybrid</i>
0	27	33
60	60	60
120	59	60
180	60	61
240	59	61
300	59	60
360	60	60
420	60	61

Lampiran 5. Berat hasil pengeringan pati sagu pada sistem *hybrid* dan *non-hybrid* daya 1500 Watt.

Talang	Berat awal (kg)	Berat akhir hibrid (kg)	Berat akhir non-hibrid (kg)
1	1	0,613	0,584
2	1	0,606	0,586
3	1	0,612	0,587
4	1	0,606	0,582
5	1	0,604	0,584
6	1	0,606	0,582
7	1	0,611	0,596
8	1	0,609	0,597
9	1	0,611	0,699
10	1	0,620	0,624
Berat Total	10	6,098	6,021
Berat air yang Diuapkan		3,908	3,979

Lampiran 6. Laju pengeringan rata-rata pada proses pengeringan 10 kg pati sagu dengan daya 1500 Watt

Waktu (menit)	Hybrid		Non Hybrid	
	KA (%bb)	Laju Pengeringan (gram H20/kg.h)	KA (%bb)	Laju Pengeringan (gram H20/kg.h)
0	42,35		42,35	
60	40,94	0,12	41,57	0,07
120	38,05	0,24	39,17	0,28
180	34,62	0,26	34,45	0,28
240	30,07	0,30	29,60	0,32
300	24,48	0,32	23,72	0,33
360	17,67	0,33	16,93	0,32
420	12,80	0,20	13,14	0,16
Rata-rata	-	0,25	-	0,25

Lampiran 7. Hasil pengukuran rata-rata kadar air pada pengeringan 10 kg pati sagu dengan daya 1500 Watt.

Waktu (menit)	Kadar Air (%bb)	
	Hybrid	Non Hybrid
0	42,35	42,35
60	40,94	41,57
120	38,05	38,17
180	34,62	34,45
240	30,07	29,60
300	24,48	23,72
360	17,67	16,93
420	12,80	13,14

Lampiran 8. Suhu bahan dan udara pengering selama proses pengeringan hybrid dan non-hybrid pada 1500 Watt, setting point 60 °C.

Waktu (Menit)	Hibrid (°C)			Non-hibrid (°C)		
	SU lingkungan	SU Pengering Masuk	Tout	SU lingkungan	SU Pengering Masuk	Tout
0	33	33	31	30	27	28
60	33	60	46	31	59	44
120	34	60	48	31	60	46
180	34	61	51	32	59	48
240	33	61	53	33	59	50
300	34	60	55	32	59	51
360	33	60	57	32	60	53
420	34	61	59	30	60	53
Rata-rata	33	60	53	32	59	49

Lampiran 9. Suhu masuk dan RH keluar pada ruang pengering selama proses pengeringan *hybrid*.

Waktu (menit)	RH (%)	T _L (°C)	Ket	T _{in} (°C)
0	63	33	<i>Dryer</i>	60
60	54	33	<i>Hybrid</i>	39,5
120	47	34	<i>Hybrid</i>	41
180	42	34	<i>Hybrid</i>	42,5
240	35	33	<i>Hybrid</i>	43
300	29	34	<i>Hybrid</i>	44,5
360	25	33	<i>Hybrid</i>	45
420	23	34	<i>Oven</i>	59

Rata-rata suhu udara pengering input saat *Hybrid* (T_{in}) = 43 °C

Rata-rata suhu udara lingkungan (T_L) = 34 °C

Lampiran 10. Konsumsi energi listrik pada pengeringan sagu segar pada daya *heater* 1500 Watt.

Lama Pengeringan (Jam)	Konsumsi Energi Listrik <i>Heater</i> (kWh)		Konsumsi Energi Listrik <i>Blower</i> (kWh)	
	Hibrid	Non-Hibrid	Hibrid	Non-Hibrid
0				
1	1,07	1,26		
2	0,97	1,12		
3	0,84	1,12		
4	0,81	1,01		
5	0,77	0,97	1,2197	1,2197
6	0,71	1,11		
7	0,64	1,07		
Konsumsi Total (kWh)	5,8	7,66		
Konsumsi <i>Heater</i> (kWh)	4,5803	6,4403		
Penghematan (%)	29,16			

Spesifikasi Blower (mesin pengering)

$$V = 220 \text{ V}; A = 1,32 \text{ A}, \cos \Theta = 0,6$$

$$P = V.I. \cos \Theta = 220 * 1,32 * 0,6 = 174,24 \text{ Watt}$$

Energi Listrik yang dikonsumsi *blower* selama 7 jam aktif pada sistem *hybrid* dan *non-hybrid*

$$E_{bl} = P * t = 174,24 * 7 = 1219,7 \text{ Wh} = 1,2197 \text{ kWh}$$

Penghematan Energi Listrik

$$Q_p = \left(\frac{Q_{non\ hybrid} - Q_{hibrid}}{Q_{non\ hybrid}} \right) \times 100\%$$

$$Q_p = \left(\frac{6,4803 \text{ kWh} - 4,5903 \text{ kWh}}{6,4803 \text{ kWh}} \right) \times 100\%$$

$$Q_p = 29,16\%$$

Panas latent penguapan pada suhu jenuh 60 °C

$$\begin{aligned} H_{fg} &= 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})T \\ &= 2,501 - (2,361 \times 10^{-3})60 \\ &= 2,359 \text{ kJ/kg air} \end{aligned}$$

Lampiran 11. Perhitungan Energi Udara Pengering

A) Sistem *hybrid*

Diketahui:

- Suhu udara pengering rata rata, T_2 (T_{up}) = 60 °C = 333,15 °K (hasil ukur)
- Suhu udara pengering input rata-rata saat *hybrid* $(T_L + T_o)/2 = 43$ °C = 316,15 °K (hasil ukur)
- Suhu udara pengering rata rata saat oven, T_1 (T_{out}) = 59 °C = 332,15 °K (hasil ukur)
- Suhu udara lingkungan rata rata, $T_L = 34$ °C = 307,15 °K (hasil ukur)
- Kecepatan udara pada saluran $v = 0.03879$ m³/s
- Berat spesifik udara, $\rho = 1,025$ kg/m³
- panas spesifik udara, $C_p = 1,017$ kJ/kg °K
- lama pengeringan, $t = 7$ jam, yaitu = 5 jam *hybrid* (18.000 s), 1 jam *dryer* (3.600 s) dan 1 jam *oven* (3.600 s)

Perhitungan

- a. Kondisi *hybrid* = 5 jam = 18.000 s

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot \{ T_2 - (T_o + T_L)/2 \}$$

$$= v \cdot \rho \cdot C_p \cdot \{ T_2 - (T_o + T_L)/2 \}$$

$$Q = 0,03879 \text{ (m}^3/\text{s)} \cdot 1,025 \text{ (kg/m}^3) \cdot 1,017 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} \cdot \{ 333,15 - (316,15) \}$$

$$= 0,6868 \text{ kJ/s}$$

$$E_1 = Q \cdot t = 0,6868 \cdot 18.000 = 12362 \text{ kJ} = 12,362 \text{ MJ}$$

- b. Kondisi *oven* = 1 jam = 3600 s

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

$$= v \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q = 0,03879 \text{ (m}^3/\text{s)} \cdot 1,025 \text{ (kg/m}^3) \cdot 1,017 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} \cdot (333,15 - 332,15)$$

$$= 0,0404 \text{ kJ/s}$$

$$E_2 = Q \cdot t = 0,0404 \cdot 3.600 = 145,44 \text{ kJ} = 0,14544 \text{ MJ}$$

- c. Kondisi *dryer* = 1 jam = 3600 s

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_L)$$

$$= v \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_L)$$

$$Q = 0,03879 \text{ (m}^3/\text{s)} * 1,025 \text{ (kg/m}^3) * 1,017 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} * (333,15 - 307,15)$$

$$= 1,0513 \text{ kJ/s}$$

$$E_3 = Q * t = 1,0513 * 3.600 = 3784,68 \text{ kJ} = 3,78468 \text{ MJ}$$

$$E_{\text{total}} = E_1 + E_2 + E_3 = 12,362 \text{ MJ} + 0,14544 \text{ MJ} + 3,78468 \text{ MJ} = 16,29212 \text{ MJ}$$

B) Sistem *non-hybrid*

Diketahui:

- Suhu udara pengering, T_1 (T.out) = 49 °C = 322,15 °K
- Suhu udara lingkungan, T_L = 32 °C = 305,15 °K
- Kecepatan udara pada saluran $v = 0,03879 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\rho = 1,025 \text{ kg/m}^3$ (berat spesifik udara)
- $C_p = 1,017 \text{ kJ/kg}^\circ\text{K}$ (panas spesifik udara)
- $T = 7 \text{ jam} = 25.200 \text{ s}$ (lama pengeringan)

Perhitungan

$$Q = \dot{m} * C_p * (T_1 - T_L) = v \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_1 - T_L)$$

$$Q = 0,03879 \text{ (m}^3/\text{s)} * 1,025 \text{ (kg/m}^3) * 1,017 \text{ (kJ/kg } ^\circ\text{K)} * (322,15 - 305,15)$$

$$= 0,6874 \text{ kJ/s}$$

$$E_{ud} = Q * t = 0,6874 * 25.200 = 17322 \text{ kJ} = 17,322 \text{ MJ}$$

Lampiran 12. Perhitungan Efisiensi Mesin dengan Mekanisme *Non-Hybrid*

- Kadar air bahan mula-mula, $M_1 = 42,3 \%$
- Kadar air akhir bahan rata-rata, $M_2 = 13 \%$
- Berat bahan baku, $W_{\text{awal}} = 10 \text{ kg}$
- Berat setelah dikeringkan, $W_{\text{akhir}} = 6,021 \text{ kg}$
- Suhu mula-mula sagu, $T_o = 25 \text{ }^\circ\text{C}$
- Suhu sagu selama pengeringan, $T_s = 37 \text{ }^\circ\text{C}$
- Panas spesifik sagu, $C_{ps} = 1,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$
- Panas spesifik air, $C_{pa} = 4,23 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$
- Energi heater yg digunakan, $Q_{\text{in}} = 6,4403 \text{ kWh} = 23,1851 \text{ MJ}$
- Energi udara pengering, $Q_{\text{up}} = 17,322 \text{ MJ}$

- **Panas latent penguapan pada suhu jenuh 60 °C**

$$\begin{aligned}
 H_{fg} &= 2,501 - (2,361 \times 10^{-3}) T \\
 &= 2,501 - (2,361 \times 10^{-3}) 60 \\
 &= 2.359 \text{ kJ/kg air}
 \end{aligned}$$

Perhitungan energi pengeringan

- a. **Berat air yang diuapkan,**

$$W_a = 10 \text{ kg} - 6,021 \text{ kg} = 3,979 \text{ kg}$$

Berat sagu 10 kg, $K_a = 42,3\%$,

maka berat air $(42,3/100) \times 10 = 4,23 \text{ kg}$

berat patih = $10 - 4,23 = 5,77 \text{ kg}$

- b. **Panas sensible air sagu untuk menaikkan suhu air sagu**

$$\begin{aligned}
 Q_{as} &= m_{as} \cdot C_{as} (T_{s2} - T_{s1}) = 4,23 \times 4,23 \cdot (37 - 25) \\
 &= 214,7 \text{ KJ} = 0,214 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

- c. **Panas sensible pati sagu**

$$\begin{aligned}
 Q_{ps} &= m_s \cdot C_{ps} (T_{s2} - T_{s1}) \\
 Q_{ps} &= 5,77 \times 1,2 \cdot (37 - 25) = 83,1 \text{ kJ} = 0,8083 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

- d. **Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam sagu**

$$\begin{aligned}
 \text{Energi penguapan air, } Q_p &= W_a \cdot h_{fg} = 3,979 \cdot 2359 = \\
 9386 \text{ kJ} &= 9,386 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

- e. **Panas total yg diperlukan pengeringan pati sagu**

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q_{as} + Q_{ps} + Q_p = 0,214 + 0,8083 + 9,386 \\
 &= 9,683 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

- **Efisiensi pengeringan**

$$\begin{aligned}
 h_p &= (Q_t / Q_{up}) \cdot 100 \% \\
 &= (9,683 / 17,322) \times 100 \% \\
 &= 0,56 \times 100\% = \mathbf{56 \%}
 \end{aligned}$$

- **Efisiensi thermal tungku listrik mesin**

$$\begin{aligned}
 h_{tk} &= (Q_{up} / Q_{in}) \cdot 100 \% = (17,322 / 23,1851) \times 100 \% \\
 &= 0,75 \times 100\% = \mathbf{75 \%}
 \end{aligned}$$

- **Efisiensi termal mesin pengering**

$$\begin{aligned}
 h_{ms} &= (Q_t / Q_{in}) = (9,683 / 23,1851) \times 100 \% \\
 &= 0,42 \times 100\% = \mathbf{42 \%}
 \end{aligned}$$

Lampiran 13. Perhitungan Efisiensi mesin dengan mekanisme *Hybrid*

Diketahui data berikut,

- Kadar air bahan mula-mula, $M_1 = 42 \%$
- Kadar air akhir bahan rata-rata, $M_2 = 12 \%$
- Berat bahan baku, $W_{awal} = 10 \text{ kg}$
- Berat setelah dikeringkan, $W_{akhir} = 6,098 \text{ kg}$
- Suhu mula-mula sagu $T_o = 28^\circ\text{C}$
- Suhu sagu selama pengeringan, $T_s = 37^\circ\text{C}$
- Panas spesifik sagu, $C_{ps} = 1,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$
- Panas spesifik air, $C_{pa} = 4,23 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$
- Panas latent penguapan pada suhu jenuh 60°C , $h_{fg} = 2359 \text{ kJ/kg air}$
- Energi listrik yang digunakan, $Q_{in} = 4,5803 \text{ kWh} = 16,4891 \text{ MJ}$
- Energi heater = (energi total-energi blower) = $4,5803 \text{ kWh}$
- Energi udara pengering, $Q_{up} = 16,29212 \text{ MJ}$

Perhitungan energi pengeringan

Berat air yang diuapkan, $W_a = 10\text{kg} - 6,098 \text{ kg} = 3,902 \text{ kg}$

Berat sagu 10 kg , $K_a = 42\%$,

maka berat air $(42/100)*10 = 4,23 \text{ kg}$

berat patih $= 10 - 4,23 = 5,77 \text{ kg}$

Panas sensible untuk menaikkan suhu air sagu

$$Q_{as} = m_{as} * C_{as} (T_{s2}-T_{s1}) = 4,23*4,23*(37-28) = 161,03 \text{ KJ} = 0,16103 \text{ MJ}$$

Panas sensible untuk menaikkan suhu pati sagu

$$Q_{ps} = m_s * C_{ps} (T_{s2}-T_{s1}) = 5,77*1,2* (37-28) = 62,31 \text{ kJ} = 0,06231 \text{ MJ}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam sagu

$$\begin{aligned} \text{Energi penguapan air, } Q_p &= W_a * h_{fg} = 3,902 * 2359 \\ &= 9.204 \text{ kJ} = 9,204 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Panas total yg diperlukan pengeringan pati sagu

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_{as} + Q_{ps} + Q_p = 0,16103 + 0,06231 + 9,204 \\ &= 9,42 \text{ MJ} \end{aligned}$$

• Efisiensi pengeringan η_p

$$= (Q_t/Q_{up}) * 100\% = (9,42/ 16,29212) \times 100\%$$

$$= 0,58 \times 100\% = \mathbf{58\%}$$

- **Efisiensi termal tungku listrik mesin η_{tk}**

$$= (Q_{up}/Q_{in}) * 100\%$$

$$= (16,29212/16,4891) \times 100 \%$$

$$= 0,98 \times 100\% = \mathbf{98\%}$$

- **Efisiensi termal mesin pengering, η_{ms}**

$$= (Q_t/Q_{in}) = (9,42 / 16,4891) \times 100 \%$$

$$= 0,57 \times 100\% = \mathbf{57\%}$$

Lampiran 14. Mutu Bahan



a) Sebelum dilakukan pengeringan



b) Setelah dilakukan pengeringan

Lampiran 15. Dokumentasi Penelitian



a. mengupload program



b. pengukuran laju udara



c. memasukan bahan



d. pengukuran suhu bahan



e. penimbangan sampel



f. penimbangan sagu kering



g. pengukuran kadar air (oven)



h. sagu hasil pengeringan

Lampiran 16. Spesifikasi Mesin Pengering



Spesifikasi:

- 1) Dinding mesin = *Stainless steel*,
- 2) Dimensi (P x L x T) = 66 x 79 x 127 cm,
- 3) Talang (PxL) = 56 x 56 x 2,5 cm (10 talang),
- 4) Daya heater = 1500 watt,
- 5) Tenaga penggerak listrik = 220 V, 6 A
- 6) Sistem kontrol = Sistem fuzzy *expert*