

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia R. 2007. *Uji Performa Mesin Pengering Tipe Rak Dengan Dehumidifier Menggunakan Tenaga Listrik Untuk Pengeringan Gelatin Pada Pilot Plan Gelatin Pt. Muhara Dwi Tunggal Laju Citeureup, Bogor*: Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Efendi, M. 2017. *Perancangan Alat Pengering Biji Kakao Dengan Sistem Rotari Sederhana pada Usaha Mandiri di Desa Wiyono, Kabupaten Pesawaran*. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung. Indonesia.
- Ega, L. dan Cynthia GCL. 2015. *Modifikasi Pati Sagu dengan Metode Heat Moisture Treatment*. Universitas Pattimura: Ambon
- Geankoplis C. John. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)*. (Edisi ke-4). Pearson. United Kingdom.
- Hani, A.M. (2012). *Pengeringan Lapisan Tipis Kentang (Solanium Tuberosum.L) Varietas Granola*. Skripsi. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Hayati, R., Yusmanizar, Mustafiril dan Harir F. 2012. Kajian Fermentasi dan Suhu Pengeringan pada Mutu Kakao (*Theobroma Cacao L*). *Jurnal. Keteknik Pertanian*, 26(2), 129-135. Universitas Syiah Kuala Darussalam Banda Aceh. Aceh. Indonesia.
- Hasibun, R. (2005). *Proses Pengeringan*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Sumatra Utara.
- Himawanto. D. A dan M. Nadjib. 2013. Pengeringan Tembakau dengan Sistem Hybrid. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*. Vol. 16 No.1:1-9
- Irfan FK. 2015. *Desain Sistem Kendali Pengeringan Gabah dengan Kolektor Surya dan Air Sebagai Media Penyimpan Panas*. Institut Pertanian Bogor: Bogor
- Ishak. 2013. Model Pengeringan Lapisan Tipis Cengkeh (*Syzygium aromaticum*). Skripsi. Universitas Hasanuddin, Makassar. Indonesia.
- Jhondri, 2017. Performa Alat Pengering Tipe Rak pada Pengeringan Ransum Berbentuk Pellet. *Jurnal Ilmu Peternakan*. Vol. 1. No. 2. Juni 2017 Hal. 28-31. Fakultas Peternakan. Universitas Padjadjaran: Bandung.
- Manfaati, R., Baskoro, H., dan Rifai, M, M. 2019. Pengaruh Waktu dan Suhu Terhadap Proses Pengeringan Bawang Merah Menggunakan Tray Dryer.

Jurnal Fluida Vol. 12, No. 2, November 2019, Hal. 43 – 49. Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung: Bandung

- Negnevitsky, M. 2005. *Artificial Intelligence*. Pearson Education : England.
- Ogata, Katsuhiko. (2010). *Modern Control Engineering 5th Ed*. New Jersey: Prentice Hall.
- Saripudin, U. (2006). *Rekayasa Proses Tepung Sagu (Metroxylon Sp) dan Beberapa Karakternya*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Suhendar, E., Tamrin, Dwi, D, D. 2017. Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Rak Pada Pengeringan Chip Sukun menggunakan Energi Listrik. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol.6, No. 2: 125-132*. Universitas Lampung.
- Taufiq, M. 2004. *Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Pengeringan Jagung pada Pengering Konvensional dan Fluidized Bed*. Skripsi, Universitas Seelas Maret, Surakarta, Indonesia.
- Widaningrum., Purwani E, Y., dan Munarso, S, J. 2005. Kajian Terhadap SNI Mutu Pati Sagu. *Jurnal Standardisasi Vol. 7 No. 3, November 2005: 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 Saluran Rata-Rata	
	(m/s)	(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 awal (respon dinamis) daya
1500 Watt, setting point 60 °C**

Waktu (menit)	Suhu Pengering (°C)	
	Non hibrid	Hibrid
0	27	28
2	36	35
4	46	45
6	52	53
8	59	59
10	60	61
12	59	60
14	61	60

**Lampiran 4. Suhu udara pengeringan (respon statis) selama
proses setting point 60 °C**

Waktu (menit)	Suhu Pengering (°C)	
	Non hibrid	Hibrid
0	27	28
60	60	60
120	60	60
180	59	60
240	59	61
300	59	61
360	60	61
420	60	-

Lampiran 5. Berat hasil pengeringan pada sistem hibrid dan non hibrid daya 1500 Watt

Talang	Berat awal (kg)	Berat akhir hibrid (kg)	Berat akhir non-hibrid (kg)
1	1	0,683	0,584
2	1	0,690	0,586
3	1	0,688	0,587
4	1	0,682	0,582
5	1	0,693	0,584
6	1	0,695	0,582
7	1	0,702	0,596
8	1	0,696	0,597
9	1	0,720	0,699
10	1	0,697	0,624
Berat total	10	6,946	6,021
Berat air yang di uapkan		3,054	3,979

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

Waktu (menit)	Hibrid		Non Hibrid	
	KA (%bb)	LP (gram H₂O/kg.h)	KA (%bb)	LP (gram H₂O/kg.h)
	42,30		42,35	
60	39,84	0,21	41,57	0,07
120	36,25	0,28	38,17	0,28
180	31,03	0,36	34,45	0,28
240	22,86	0,46	29,60	0,32
300	15,73	0,33	23,72	0,33
360	12,96	0,11	16,93	0,32
420	-	-	13,14	0,16
Rata-rata		0,294		0,252

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

Waktu (menit)	Kadar Air (%bb)	
	Hibrid	Non Hibrid
0	42,30	42,35
60	39,84	41,57
120	36,25	38,17
180	31,03	34,45
240	22,86	29,60
300	15,73	23,72
360	12,96	16,93
420	-	13,14

Lampiran 8. Suhu bahan dan udara pengering (°C) pada proses pengeringan hibrid dan non-hibrid 10 kg pati sagu, setting point 60 °C

Waktu (Menit)	Hibrid (°C)				Non- Hibrid (°C)			
	Suhu Bahan	T _L	T _{in}	T _{out}	Suhu Bahan	T _L	T _{in}	T _{out}
0	28	28	28	30	25	30	27	28
60	37	36	60	48	32	31	59	44
120	39	34	60	52	33	31	60	46
180	37	33	61	60	34	32	59	48
240	39	32	61	50	36	33	59	50
300	40	34	61	55	37	32	59	51
360	43	28	61	59	40	32	60	53
420	-	-	-	-	44	30	60	53
Rata-rata	39	33	61	54	37	32	59	49

Lampiran 9. Konsumsi energi listrik yang digunakan selama pengeringan sistem hibrid dan non hibrid 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
1	1,10	1,26		
2	1,12	1,12		
3	1,04	1,12		
4	0,77	1,01	0,6019	1,2197
5	0,86	0,97		
6	0,89	1,11		
7	-	1,07		
Konsumsi Total (kWh)	5,78	7,66		
Konsumsi <i>Heater</i> (kWh)	5,1781	6,4403		
Penghematan (%)		19,60		

Spesifikasi Blower (mesin pengering) Hibrid

$$V = 220 \text{ V} \quad A = 0,76 \text{ A} \quad \cos \Theta = 0,6$$

$$P = V.I. \cos \Theta = 220 * 0,76 * 0,6 = 100,32 \text{ Watt}$$

Spesifikasi Blower (mesin pengering) Non Hibrid

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

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

Energi Listrik yang dikonsumsi *blower* selama 6 jam aktif pada sistem (hibrid) dan 7 jam aktif (non-hibrid)

$$E_{bl} = P * t = 100,32 * 6 = 601,92 \text{ Wh} = 0,60192 \text{ kWh}$$

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

Penghematan Energi Listrik

$$Q_p = \left(\frac{Q_n - Q_h}{Q_n} \right) \times 100\%$$

$$Q_p = \left(\frac{6,4403 \text{ kWh} - 5,1781 \text{ kWh}}{6,4403 \text{ kWh}} \right) \times 100\%$$
$$Q_p = 19,60 \%$$

Panas latent penguapan pada suhu jenuh 60 °C

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

Lampiran 10. Perhitungan Energi Udara Pengering

A) Sistem hibrid

Diketahui:

- T1 (oven) = 54 °C = 327,15 °K (Lampiran 8)
- T2 (dryer) = 61 °C = 334,15 °K (Lampiran 8)
- T_L = 33 °C = 306,15 °K (Lampiran 8)
- v = 0,03879 m³/s (kecepatan udara pada saluran) (Lampiran 2)
- ρ = 1,025 kg/m³ (berat spesifik udara) (Lampiran 1)
- C_p = 1,017 kJ/kg°K (panas spesifik udara) (Lampiran 1)
- t = 6 jam, yaitu = 4,5 jam oven (16.200 s)
1,5 jam *dryer* (5.400 s)

Perhitungan

a. Kondisi *oven* = 4,5 jam = 16.200 s

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

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

$$Q = 0,03879 \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 1,017 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{K)} \cdot (334,15 - 327,15)$$

$$= 0,2830 \text{ kJ/s}$$

$$E_1 = Q \cdot t = 0,2830 \cdot 16.200 = 4585 \text{ kJ} = 4,585 \text{ MJ}$$

b. Kondisi *dryer* = 1,5 jam = 5.400 s

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

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

$$Q = 0,03879 \text{ (m}^3\text{/s)} * 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)} * 1,017 \text{ (kJ/kg}^\circ\text{K)} * (334,15-306,15)$$

$$= 1,132 \text{ kJ/s}$$

$$E_2 = Q * t = 1,132 * 5.400 = 6.113 \text{ kJ} = 6,113 \text{ MJ}$$

$$E \text{ total} = E_1 + E_2 = 4,585 \text{ MJ} + 6,113 \text{ MJ} = 10,698 \text{ MJ}$$

B) Sistem non-hibrid

Diketahui:

- T_1 (T_{out}) = 49 °C = 322,15 °K (Lampiran 8)
- T_L = 32 °C = 305,15 °K (Lampiran 8)
- v = 0,03879 m³/s (kecepatan udara pada saluran) (Lampiran 2)
- ρ = 1,025 kg/m³ (berat spesifik udara) (Lampiran 1)
- C_p = 1,017 kJ/kg°K (panas spesifik udara) (Lampiran 1)
- t = 7 jam = 25.200 s (lama pengeringan)

Perhitungan

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

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

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

$$E_{ud} = Q * t = 0,6874 * 25.200 = 17.322 \text{ kJ} = 17,322 \text{ MJ}$$

Lampiran 11. Perhitungan Efisiensi Mesin dengan Mekanisme Non-Hibrid daya 1500 Watt

Diketahui data berikut:

- Kadar air bahan mula-mula, M_1 = 42,3% (Lampiran 7)
- Kadar air akhir bahan rata-rata, M_2 = 13% (Lampiran 7)
- Berat bahan baku, W_{awal} = 10 kg (Lampiran 5)
- Berat setelah dikeringkan, W_{akhir} = 6,021 kg (Lampiran 5)
- Suhu mula-mula sagu, T_0 = 25 °C (Lampiran 8)
- Suhu sagu selama pengeringan, T_s = 37 °C (Lampiran 8)
- Panas spesifik sagu, C_{ps} = 1,2 kJ/kg°K
- Panas spesifik air, C_{pa} = 4,23 kJ/kg°K
- Panas latent penguapan pada suhu jenuh 60 °C, h_{fg} = 2,359 kJ/kg air

- Energi *heater* yang digunakan, $Q_{in} = 6,4403 = 23,1851$ MJ (Lampiran 9)
- Energi udara pengering , $Q_{up} = 17,322$ MJ (Lampiran 10)

Perhitungan energi pengeringan

a. Berat air yang diuapkan,

$$W_a = 10\text{kg} - 6,021\text{ kg} = 3,979\text{ kg} \quad (\text{Lampiran 5})$$

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

maka berat air $(42,3/100) * 10 = 4,23$ kg

berat patih = $10 - 4,23 = 5,77$ kg

Panas sensible air sagu untuk menaikkan suhu air sagu

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

Panas sensible pati sagu

$$\begin{aligned} Q_{ps} &= m_s * C_{ps} (T_{s2} - T_{s1}) = 5,77 * 1,2 * (37 - 25) \\ &= 83,1\text{ kJ} = 0,083\text{ MJ} \end{aligned}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam sagu

$$\text{Energi penguapan air, } Q_p = W_a * h_{fg} = 3,979 * 2,359 = 9,386\text{ kJ} = 9,386\text{ MJ}$$

Panas total yg diperlukan pengeringan pati sagu

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_{as} + Q_{ps} + Q_p = 0,214 + 0,083 + 9,386 \\ &= 9,683\text{ MJ} \end{aligned}$$

- Efisiensi pengeringan

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

- Efisiensi thermal tungku listrik mesin

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

- Efisiensi termal mesin pengering

$$\begin{aligned} \eta_{ms} &= (Q_t / Q_{in}) \\ &= (9,683 / 23,1851) * 100\% \end{aligned}$$

$$= 0,42 \times 100\% = 42 \%$$

Lampiran 12. Perhitungan Efisiensi Mesin dengan Mekanisme Hibrid daya 1500 Watt

Diketahui data berikut:

- Kadar air bahan mula-mula, $M_1 = 42,3 \%$ (Lampiran 7)
- Kadar air akhir bahan rata-rata, $M_2 = 12 \%$ (Lampiran 7)
- Berat bahan baku, $W_{awal} = 10 \text{ kg}$ (Lampiran 5)
- Berat setelah dikeringkan, $W_{akhir} = 6,946 \text{ kg}$ (Lampiran 5)
- Suhu mula-mula sagu, $T_O = 28 \text{ }^\circ\text{C}$ (Lampiran 8)
- Suhu sagu selama pengeringan, $T_S = 39 \text{ }^\circ\text{C}$ (Lampiran 8)
- 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 $60 \text{ }^\circ\text{C}$, $h_{fg} = 2,359 \text{ kJ/kg}$ air (Lampiran 9)
- Energi *heater* yang digunakan, $Q_{in} = 5,1781 \text{ kWh} = 18,641 \text{ MJ}$ (Lampiran 9)
- Energi udara pengering, $Q_{up} = 10,698 \text{ MJ}$ (Lampiran 10)

Perhitungan energi pengeringan

Berat air yang diuapkan, $W_a = 10 \text{ kg} - 6,946 \text{ kg} = 3,054 \text{ kg}$ (Lampiran 5)

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

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

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

Panas *sensible* air sagu untuk menaikkan suhu air sagu

$$Q_{as} = m_{as} * C_{as} (T_{s2} - T_{s1}) = 4,23 * 4,23 * (39 - 28) \\ = 196,8 \text{ kJ} = 0,196 \text{ MJ}$$

Panas *sensible* pati sagu,

$$Q_{ps} = m_s * C_{ps} (T_{s2} - T_{s1}) = 5,77 * 1,2 * (39 - 28) \\ = 76,2 \text{ kJ} = 0,076 \text{ MJ}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam sagu

$$\text{Energi penguapan air, } Q_p = W_a * h_{fg} = 3,054 * 2,359$$

$$= 7,204 \text{ kJ} = 7,204 \text{ MJ}$$

Panas total yg diperlukan pengeringan pati sagu

$$\begin{aligned} Q_t &= Q_{as} + Q_{ps} + Q_p = 0,196 + 0,076 + 7,204 \\ &= 7,476 \text{ MJ} \end{aligned}$$

- Efisiensi pengeringan

$$\begin{aligned} \eta_p &= (Q_t/Q_{up}) * 100\% \\ &= (7,476/10,698) \times 100\% \\ &= 0,70 \times 100\% = 70\% \end{aligned}$$

- Efisiensi termal tungku listrik mesin

$$\begin{aligned} \eta_{tk} &= (Q_{up}/Q_{in}) * 100\% \\ &= (10,698/18,641) \times 100\% \\ &= 0,57 \times 100\% = 57\% \end{aligned}$$

- Efisiensi termal mesin pengering

$$\begin{aligned} \eta_{ms} &= (Q_t/Q_{in}) \\ &= (7,476/18,641) \times 100\% \\ &= 0,40 \times 100\% = 40\% \end{aligned}$$

Lampiran 13. Dokumentasi Penelitian



(a). Alat pengering;



(b). Hardware sistem



(c). Mengupload program



(d). Pengukuran Laju Udara



(e). Pengukuran suhu bahan



(f). Penimbangan bahan



(g). Pemasukan bahan



(h). Penimbangan sampel



(i). Pengukuran kadar air



(j). Menghitung Kadar Air



(j). Hasil Pengeringan

Lampiran 14. 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*