

## DAFTAR PUSTAKA

- Angriani, A. (2019). *Kinerja Mesin Pengering Tipe Rak Bertenaga Hibrid Surya LPG pada Pengeringan Sagu*. Skripsi. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Astuti., & Sri, M. (2008). *Teknik Pengeringan Bawang Merah dengan Cara Perlakuan Suhu dan Tekanan Fakum*. Buletin Teknik Pertanian Vol.13 No.2.
- Brooker, D. B. (1992). *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. The AVI Publishing Company Inc, USA. New York.
- Dairoh., Khambali, M., & Mustofa, T. (2019). Implementasi Fuzzy Logic dalam Pembuatan Kontrol Navigasi Mobile Robot. *Jurnal Fisika Flux*. Vol 16 No 1.
- Fitriani, H., Ali, A., & Widiastuti. (2013). Pengaruh Suhu dan Lama Pengeringan Terhadap Mutu Manisan Kering Jahe (*Zingiber Officinale Rose.*) dan Kandungan Antioksidannya. *Jurnal Sagu*, 12(2), 1-8.
- Handoko. (1986). *Pengantar Unsur-Unsur Cuaca dan Iklim*. Jurusan Geofisika dan Meteorologi FMIPA-IPB. Bogor.
- Hani, A.M. (2012). *Pengeringan Lapisan Tipis Kentang (Solanum Tuberosum.L) Varietas Granola*. Skripsi. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Hardianti, N., Damayanti, R, W., & Fahma, F. (2017). *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Proses Pengeringan Simplisia Menggunakan Solar Dryer dengan Konsep Udara Ekstra*. Prosiding SNST ke-8. Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Solo.
- Hayati, R., Yusmanizar, Mustafri 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.
- Ishak. (2013). *Model Pengeringan Lapisan Tipis Cengkeh (Syzygium aromaticum)*. Skripsi. Universitas Hasanuddin Makassar.
- Jhondri. (2017). Performa Alat Pengering Tipe Rak pada Pengeringan Ransum Berbentuk Pellet. *Jurnal Ilmu Peternakan.*, 1(2). 28-31.
- Manfaati, R., Baskoro, H., & Rifai, M, M. (2019). Pengaruh Waktu dan Suhu Terhadap Proses Pengeringan Bawang Merah Menggunakan *Tray Dryer*. *Jurnal Fluida*, 12(2), 43–49.
- Negnevitsky, Michael. 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.
- Septiana, T. (2019). Analisis Efisiensi Termal Mesin Oven Rotary Tipe NFX-320 pada Proses Pengeringan Bahan Dasar Roti. *Jurnal POLBAN*. Universitas Majalengka.
- Sudirman, N, A., Andi, S., & Subari, Y. (2018). Pengaruh Pengeringan Menggunakan Room Dryer Terhadap Kualitas Tepung Sagu. *Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian*, 4, 104-112.
- Suhendar, E., Tamrin., & Dwi, D, D. (2017). Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Rak pada Pengeringan Chip Sukun Menggunakan Energi Listrik. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 6(2), 125-132.
- Syafarudin, A. R. 2018. *Rancangan Sistem Pemanasan dan Uji Kinerja pada Pengering Gabah Tipe Bak dengan dan Tanpa Tempering*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Taufik, M. (2004). *Pengaruh Temperatur Terhadap Laju Pengeringan Jagung pada Pengering Konvensional dan Fluidized*. Skripsi. Universitas Sebelas Maret Solo.
- Widaningrum., Purwani E, Y., & Munarso, S, J. (2005). Kajian Terhadap SNI Mutu Pati Sagu. *Jurnal Standardisasi*, 7(3), 91 – 98.

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Tabel sifat udara

No.	S u h u		Density ( $\rho$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	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	
	( $\text{m/s}$ )	( $\text{m}^3/\text{s}$ )
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 $\text{cm}^2$
0,098×0,087 m	0,008526 $\text{m}^2$

**Lampiran 3. Suhu udara pengeringan awal (respon dinamis) pada daya 1.500 Watt, setting point 60 °C**

Waktu (menit)	Suhu Pengering ( °C)	
	Non-hibrid	Hibrid
0	27	30
2	36	47
4	46	50
6	52	54
8	59	61
10	60	60
12	59	60
14	61	61

**Lampiran 4. Suhu udara pengeringan (respon statis) selama proses pengeringan pada daya 1.500 Watt, setting point 60 °C**

Waktu (menit)	Suhu Pengering ( °C)	
	Non-hibrid	Hibrid
0	27	30
60	60	60
120	60	61
180	59	61
240	59	61
300	59	60
360	60	60
420	60	60

**Lampiran 5. Berat pati sagu hasil pengeringan pada sistem hibrid dan non-hibrid daya 1.500 Watt**

<b>Talang</b>	<b>Berat awal (kg)</b>	<b>Berat akhir hibrid (kg)</b>	<b>Berat akhir non-hibrid (kg)</b>
1	1	0,594	0,584
2	1	0,579	0,586
3	1	0,568	0,587
4	1	0,569	0,582
5	1	0,566	0,584
6	1	0,576	0,582
7	1	0,588	0,596
8	1	0,582	0,597
9	1	0,589	0,699
10	1	0,614	0,624
<b>Berat Total</b>	10	5,825	6,022
<b>Berat air yang diuapkan</b>		4,175	3,978

**Lampiran 6. Laju pengeringan rata-rata pada proses pengeringan 10 kg pati sagu dengan daya 1.500 Watt**

<b>Waktu (menit)</b>	<b>Hybrid</b>		<b>Non-Hybrid</b>	
	<b>KA (%bb)</b>	<b>LP (gram H<sub>2</sub>O/kg.h)</b>	<b>KA (%bb)</b>	<b>LP (gram H<sub>2</sub>O/kg.h)</b>
0	42,35		42,35	
60	40,29	0,18	41,57	0,07
120	37,99	0,19	38,17	0,28
180	34,81	0,24	34,45	0,28
240	30,24	0,30	29,60	0,32
300	23,35	0,39	23,72	0,33
360	16,09	0,34	16,93	0,32
420	12,66	0,14	13,14	0,16
<b>Rata-rata</b>		0,255		0,252

**Lampiran 7. Hasil pengukuran rata-rata kadar air pada pengeringan 10 kg pati sagu, daya 1.500 Watt**

Waktu (menit)	Kadar Air (%bb)	
	Hybrid	Non Hybrid
0	42,35	42,35
60	40,29	41,57
120	37,99	38,17
180	34,81	34,45
240	30,24	29,60
300	23,35	23,72
360	16,09	16,93
420	12,66	13,14

**Lampiran 8. Suhu bahan dan udara pada proses pengeringan 10 kg pati sagu, setting point 60 °C**

Lama Pengeringan (menit)	SP (°C)	Hibrid (°C)			Non-hibrid (°C)		
		TL	Tin	Tout	TL	Tin	Tout
0	60	30	30	30	30	27	28
60	60	36	60	48	31	59	44
120	60	33	61	48	31	60	46
180	60	32	61	50	32	59	48
240	60	33	61	55	33	59	50
300	60	28	60	57	32	59	51
360	60	27	60	58	32	60	53
420	60	26	60	58	30	60	53
<b>Rata-rata</b>		31	60	53	32	59	49

**Lampiran 9. Konsumsi energi listrik pada pengeringan sagu segar pada daya heater 1.500 Watt**

Lama Pengeringan (Jam)	Konsumsi Energi Listrik Heater (kWh)		Konsumsi Energi Listrik Blower (kWh)	
	Hybrid	Non- Hybrid	Hybrid	Non-Hybrid
1	0,95	1,26		
2	0,95	1,12		
3	0,91	1,12		
4	0,86	1,01	1,2197	1,2197
5	0,85	0,97		
6	0,77	1,11		
7	0,81	1,07		
<b>Konsumsi Total (kWh)</b>	6,1	7,7		
<b>Konsumsi Heater (kWh)</b>	4,8803	6,4403		
<b>Penghematan (%)</b>	24,22			

**Spesifikasi Blower (mesin pengering)**

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

$$\begin{aligned}
 P &= V.I. \cos \Theta \\
 &= 220 \times 1,32 \times 0,6 \\
 &= 174,24 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

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

$$E_{bl} = P \times t = 174,24 \times 7 = 1219,7$$

$$W_h = 1,2197 \text{ kWh}$$

**Penghematan Energi Listrik**

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

$$Q_p = \left( \frac{6,4403 \text{ kWh} - 4,8803 \text{ kWh}}{6,4403 \text{ kWh}} \right) \times 100\%$$

$$Q_p = 24,22\%$$

### Panas laten penguapan pada suhu jenuh 60 °C

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

## Lampiran 10. Perhitungan Energi Udara Pengering

### A) Sistem hibrid

Diketahui data berikut:

- T1 (*oven*) = 53 °C = 326,15 °K (lampiran 8)
- T2 (*dryer*) = 60 °C = 333,15 °K (hasil ukur)
- T<sub>L</sub> = 31 °C = 304,15 °K (lampiran 8)
- v = 0,03879 m<sup>3</sup>/s (kecepatan udara pada saluran) (lampiran 2)
- ρ = 1,025 kg/m<sup>3</sup> (berat spesifik udara) (lampiran 1)
- C<sub>p</sub> = 1,017 kJ/kg °K (panas spesifik udara) (lampiran 1)
- t = 7 jam, yaitu = 5 jam oven (18.000 s)

2 jam *dryer* (7.200 s) (lama pengeringan)

Perhitungan

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

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \\ &= v \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \\ Q &= 0,03879 \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 1,017 \text{ (kJ/kg }^\circ\text{K)} \cdot (333,15 - 326,15) \\ &= 0,283 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

$$E_1 = Q \cdot t = 0,283 \cdot 18.000 = 5094,894 \text{ kJ} = 5,095 \text{ MJ}$$

- b. Kondisi *dryer* = 2 jam = 7.200 s

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_L) \\ &= v \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_2 - T_L) \\ Q &= 0,03879 \text{ (m}^3\text{/s)} \cdot 1,025 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 1,017 \text{ (kJ/kg }^\circ\text{K)} \cdot (333,15 - 304,15) \\ &= 1,173 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

$$E_2 = Q \cdot t = 1,173 \cdot 7.200 = 8442,967 \text{ kJ} = 8,443 \text{ MJ}$$

$$E_{\text{total}} = E_1 + E_2 = 5,095 \text{ MJ} + 8,443 \text{ MJ} = 13,538 \text{ MJ}$$

### B) Sistem non-hibrid

Diketahui data berikut:

- T1 (T.out) = 49°C = 322,15 °K (lampiran 8)



- $T_L = 32\text{ }^\circ\text{C} = 305,15\text{ }^\circ\text{K}$  (lampiran 8)
- $v = 0,03879\text{ m}^3/\text{s}$  (kecepatan udara pada saluran) (lampiran 2)
- $\rho = 1,025\text{ kg}/\text{m}^3$  (berat spesifik udara) (lampiran 1)
- $C_p = 1,017\text{ kJ}/\text{kg }^\circ\text{K}$  (panas spesifik udara) (lampiran 1)
- $t = 7\text{ jam} = 25.200\text{ s}$  (lama pengeringan)
- Perhitungan  

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

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

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

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

## Lampiran 11. Perhitungan Efisiensi Mesin pengering dengan daya 1.500 Watt

### A) Sistem non-hibrid

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,  $W_{awal} = 10\text{ kg}$  (lampiran 5)
- Berat setelah dikeringkan,  $W_{akhir} = 6,021\text{ kg}$  (lampiran 5)
- Suhu mula-mula sagu,  $T_o = 25^\circ\text{C}$  (lampiran 8)
- Suhu sagu selama pengeringan,  $T_s = 37^\circ\text{C}$  (lampiran 8)
- Panas spesifik sagu,  $C_{ps} = 1,2\text{ kJ}/\text{kg }^\circ\text{C}$
- Panas spesifik air,  $C_{pa} = 4,23\text{ kJ}/\text{kg }^\circ\text{K}$
- Panas latent penguapan pada suhu jenuh  $60^\circ\text{C}$ ,  $h_{fg} = 2.359\text{ kJ}/\text{kg}$  air (lampiran 9)
- Energi heater yg digunakan,  $Q_{in} = 6,4403\text{ kWh} = 23,1851\text{ MJ}$  (lampiran 9)
- Energi udara pengering,  $Q_{up} = 17,322\text{ MJ}$  (lampiran 10)

### Perhitungan energi pengeringan

a. Berat air yang diuapkan,

$W_a = 10\text{ kg} - 6,021\text{ kg} = 3,979\text{ kg}$  Berat sagu  $10\text{ kg}$ ,  $K_a = 42,3\%$ ,  
 maka berat air  $(42/100) \cdot 10 = 4,23\text{ kg}$  berat patih =  $10 - 4,23 = 5,77\text{ kg}$   
 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

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

- Efisiensi pengeringan

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

- Efisiensi thermal tungku listrik mesin

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

- Efisiensi thermal mesin pengering,

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

## B) Sistem hibrid

Diketahui data berikut:

- Kadar air bahan mula-mula,  $M_1$  = 42 % (lampiran 7)
- Kadar air akhir bahan rata-rata,  $M_2$  = 12 % (lampiran 7)
- Berat bahan baku,  $W_{awal}$  = 10 kg (lampiran 5)
- Berat setelah dikeringkan,  $W_{akhir}$  = 5,825 kg (lampiran 5)
- Suhu mula-mula sagu  $T_o$  = 30 °C (lampiran 6)
- Suhu sagu selama pengeringan,  $T_s$  = 39 °C (lampiran 6)
- Panas spesifik sagu,  $C_{ps}$  = 1,2 kJ/kg °C

- Panas spesifik air,  $C_{pa} = 4,23 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{K}$
- Panas latent penguapan pada suhu jenuh  $60^\circ\text{C}$ ,  $h_{fg} = 2.359 \text{ kJ/kg air}$  (lampiran 9)
- Energi heater yang digunakan,  $Q_{in} = 4.8803 \text{ kWh} = 17,5691 \text{ MJ}$  (lampiran 9)
- Energi udara pengering,  $Q_{up} = 13,538 \text{ MJ}$  (lampiran 10)

### Perhitungan energi pengeringan

Berat air yang diuapkan,  $W_a = 10\text{kg} - 5,825 \text{ kg} = 4,175 \text{ kg}$

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

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

$$Q_{as} = m_{as} * C_{as} (T_{s2} - T_{s1}) = 4,23 * 4,23 * (39 - 30) = 161,04 \text{ KJ} = 0,161 \text{ MJ}$$

Panas sensible pati sagu,

$$Q_{ps} = m_s * C_{ps} (T_{s2} - T_{s1}) = 5,77 * 1,2 * (39 - 30) = 62,32 \text{ kJ} = 0,062 \text{ MJ}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam sagu

Energi penguapan air,

$$Q_p = W_a * h_{fg} = 4,175 * 2.359 = 9.848 \text{ kJ} = 9,848 \text{ MJ}$$

Panas total yg diperlukan pengeringan pati sagu

$$Q_t = Q_{as} + Q_{ps} + Q_p = 0,161 + 0,062 + 9,848 = 10,072 \text{ MJ}$$

#### • Efisiensi pengeringan

$$\begin{aligned} \eta_p &= (Q_t / Q_{up}) \times 100\% \\ &= (10,072 / 13,538) \times 100\% \\ &= 0,74 \times 100\% = 74\% \end{aligned}$$

#### • Efisiensi termal tungku listrik mesin

$$\begin{aligned} \eta_{tk} &= (Q_{up} / Q_{in}) \times 100\% \\ &= (13,538 / 17,5691) \times 100\% \\ &= 0,77 \times 100\% = 77\% \end{aligned}$$

#### • Efisiensi termal mesin pengering,

$$\begin{aligned} \eta_{ms} &= (Q_t / Q_{in}) \times 100\% \\ &= (10,072 / 17,5691) \times 100\% \\ &= 0,57 \times 100\% = 57\% \end{aligned}$$

## Lampiran 12. Mutu bahan (berdasarkan warna)



a) Sebelum pengeringan



b) Setelah pengeringan



c) Perlakuan penjemuran

## Lampiran 13. Dokumentasi penelitian



a) Mesin pengering



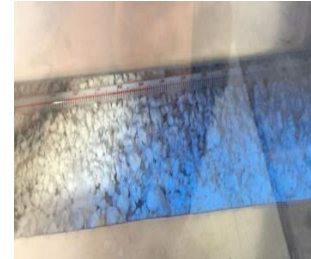
b) Hardware sistem kontrol



c) Mengupload program



d) Pengukuran laju udara



e) Pengukuran suhu bahan



f) Pemasukan bahan



g) Penimbangan sampel



h) Penimbangan bahan



i) Pengukuran KA (oven)



j) Menghitung kadar air



k) Hasil pengeringan

## Lampiran 14. Spesifikasi mesin pengering



Spesifikasi mesin pengering:

- 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*