

## DAFTAR PUSTAKA

- Asiah, N., Djaeni, M. 2021. *Konsep Dasar Proses Pengeringan Pangan*. AE Publishing: Malang.
- Fahrizal, Nggandung, Y. & Kartiwan. *Optimasi Produksi Gula Cetak dan Gula Semut Lontar Terintegrasi Dengan Metode Linear Programming*. Seminar Nasional Hasil Penelitian (SNHP)-VII Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas PGRI Semarang. 2017: 505 – 510.
- Kartasapoetra, A.G. 1994. *Tenologi Penanganan Pasca Panen*. Penerbit Rineka Cipta: Jakarta.
- Launda, A.P., Dringhuzen, J.M., Allo, E.K. *Prototipe System Pengering Biji Pala Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*. Jurnal Teknik Elektro dan Komputer vol 6 no 3, (2017). Universitas Sam Ratulangi: Manado.
- Mujumdar, A. S., 1995. *Handbook of Industrial Drying*. New York: Marcel Decker.Inc
- Pratama, P., Faisal, M., Muhtadin. *Aplikasi Oven Pengering Biji Pala Dengan Memanfaatkan Udara Panas Tungku Pembakaran*. Semdi Unaya-2019, 774-781 Desember 2019.
- Pratiwi, D.E., Auliah, A. Maryono<sup>3</sup>. *Pembuatan Gula Semut dari Gula Merah Kelapa di Kabupaten Bulukumba*. Jurnal Dedikasi, Vol. 21, No. 1, April 2019.
- Rachmawan, O. 2011. *Pengeringan, Pendinginan dan Pengemasan Komoditas Pertanian*. Depdiknas. Jakarta.
- Ridhatullah, M.A., Hasibuan, R. *Pengaruh Ketebalan Bahan dan Jumlah Desikan terhadap Laju Pengeringan Jahe (Zingiber officinale Roscoe) pada Pengering Kombinasi Surya dan Desikan*. Jurnal Teknik Kimia USU. Vol. 08, No. 2, September 2019 | 61-66.
- Setiawan, B., Ilham, M.M., Fauzi, A.S. *Analisis Temperatur Terhadap Hasil Pengeringan pada Mesin Pengering Cengkeh*. Seminar Nasional Inovasi Teknologi UN PGRI Kediri, 24 Juli 2021.
- Subandi, Suparman, Sukiyadi. 2015. *Modifikasi Oven Bekas sebagai Alat Pengering Multi Fungsi*. TekTan Jurnal Ilmiah Teknik Pertanian. Volume 7, Nomor 2.
- Sudarsono. 2015. *Analisis Sistem Energi Hibrid Di Waduk Lodan Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang Menggunakan Software Homer*. Naskah Publikasi. Universitas Muhammadiyah Surakarta: Surakarta.

- Suhendar, E., Tamrin., Novita, D.D., 2017. *Test Performance of Rack-Dryer for Drying Chips Breadfruit Uses Electrical Energy*. Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol.6, No. 2: 125-132.
- Syahrul, S., Romdhani, R., Mirmanto, M. *Pengaruh variasi kecepatan udara dan massa bahan terhadap waktu pengeringan jagung pada alat fluidized bed*. Dinamika Teknik Mesin 6 (2016) 119-126.
- Syarif, A.H.A., Suwandi., Rosdiana. *Pengaruh Penguapan Air Terhadap Suhu dan Kelembaban Udara di Suatu Ruangan*. e-Proceeding of Engineering: Vol.8, No.2, (2021). 1844-1851.
- Valarmathi, T.N., Sekar, S., Purushothaman, M., Sekar, S.D., Reddy, M., Reddy, K.R.N.K. *Recent developments in drying of food products*. Frontiers in Automobile and Mechanical Engineering. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 197 (2017).
- Zuliana, C., Widyastuti, E., Susanto, W.H. *Pembuatan Gula Semut Kelapa (Kajian PH Gula Kelapa dan Konsentrasi Natrium Bikarbonat)*. Jurnal Pangan Dan Agroindustri Vol. 4 No 1 (2016) 109-119.

## LAMPIRAN

**Lampiran 1. Tabel Respon Dinamis Suhu Pengering**

Waktu (Menit)	Suhu Pengering (°C)	
	<i>Hybrid</i>	<i>Non-Hybrid</i>
0	31	31
2	35	33
4	41	37
6	44	40
8	48	42
10	51	45
12	53	46
14	56	48
16	57	49
18	59	50
20	60	50
22	60	51
24	60	51
26	60	52
28	60	52
30	60	53

**Lampiran 2 Tabel Respon Statis Suhu Pengering**

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Suhu Pengering (°C)</b>	
	<i>Hybrid</i>	<i>Non-Hybrid</i>
0	31	31
30	60	53
60	59	55
90	58	56
120	61	57
150	61	58
180	59	58
210	61	58
240	61	59
270	61	59
300		59

**Lampiran 3 Berat Hasil Pengeringan *Hybrid***

<b>Talang</b>	<b>Berat Bahan Sebelum Pengeringan (g)</b>	<b>Berat Bahan Sesudah Pengeringan (g)</b>
1	500	456,11
2	500	440,01
3	500	470,08
4	500	434,03
5	500	457,44
6	500	453,07
Total	3000	2710,74

**Lampiran 4 Berat Hasil Pengeringan *Non-Hybrid***

<b>Talang</b>	<b>Berat Bahan Sebelum Pengeringan (g)</b>	<b>Berat Bahan Sesudah Pengeringan (g)</b>
1	500	474,65
2	500	472,31
3	500	478,28
4	500	477,58
5	500	474,69
6	500	471,19
Total	3000	2848,7

**Lampiran 5 Berat Sampel Selama Proses Pengeringan *Hybrid***

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Berat Sampel (g)</b>		
	<b>Rak Atas</b>	<b>Rak Bawah</b>	<b>Rata-Rata</b>
0	29,41	31,09	30,25
30	29,2	30,96	30,08
60	28,95	30,64	29,795
90	28,84	30,49	29,665
120	28,76	30,39	29,575
150	28,68	30,33	29,505
180	28,65	30,29	29,47
210	28,62	30,23	29,425
240	28,6	30,21	29,405
270	28,58	30,2	29,39

**Lampiran 6 Berat Sampel Selama Proses Pengeringan *Non-Hybrid***

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Berat Sampel (g)</b>		
	<b>Rak Atas</b>	<b>Rak Bawah</b>	<b>Rata-Rata</b>
0	21,56	23,25	22,405
30	21,26	23,09	22,175
60	21,05	22,85	21,95
90	21,01	22,75	21,88
120	20,94	22,72	21,83
150	20,87	22,69	21,78
180	20,84	22,67	21,755
210	20,82	22,64	21,73
240	20,8	22,61	21,705
270	20,78	22,6	21,69
300	20,76	22,59	21,675



**Lampiran 7 Laju Pengeringan Rata-Rata pada Proses Pengeringan**

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Laju Pengeringan (Kg H<sub>2</sub>O/kg.h)</b>	
	<i>Hybrid</i>	<i>Non-Hybrid</i>
0	0	0
30	0,0051	0,0069
60	0,0086	0,00675
90	0,0039	0,0021
120	0,0027	0,0015
150	0,0021	0,0015
180	0,0011	0,00075
210	0,0014	0,00075
240	0,0006	0,00075
270	0,0005	0,00045
300		0,00045

**Lampiran 8 Tabel Pengukuran Kadar Air pada Pengeringan *Hybrid***

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Kadar Air (%bb)</b>		
	<b>Rak Atas</b>	<b>Rak Bawah</b>	<b>Rata-Rata</b>
0	5,60	5,57	5,59
30	4,92	5,18	5,05
60	4,10	4,19	4,14
90	3,74	3,71	3,73
120	3,47	3,40	3,43
150	3,20	3,21	3,20
180	3,10	3,08	3,09
210	3,00	2,89	2,94
240	2,93	2,82	2,88
270	2,86	2,79	2,83

**Lampiran 9 Tabel Pengukuran Kadar Air pada Pengeringan *Non-Hybrid***

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Kadar Air (%bb)</b>		
	<b>Rak Atas</b>	<b>Rak Bawah</b>	<b>Rata-Rata</b>
0	6,51	5,63	6,07
30	5,19	4,98	5,09
60	4,25	3,98	4,11
90	4,07	3,56	3,81
120	3,74	3,43	3,59
150	3,42	3,31	3,36
180	3,28	3,22	3,25
210	3,19	3,09	3,14
240	3,1	2,96	3,03
270	3,00	2,92	2,96
300	2,91	2,88	2,895

**Lampiran 10 Tabel Suhu, Daya dan Energi pada Proses Pengeringan dengan Mekanisme *Hybrid***

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Suhu Pengering (°C)</b>	<b>Suhu Bahan (°C)</b>	<b>Daya (Watt)</b>	<b>Energi (kWh)</b>
0	31	32	500	79,75
30	60	41	361	79,86
60	59	46	523	80,03
90	58	49	557	80,16
120	61	53	304	80,25
150	61	57	304	80,35
180	59	58	523	80,52
210	61	60	521	80,62
240	61	60	304	80,71
270	60	60	569	80,87

**Lampiran 11 Tabel Suhu, Daya dan Energi pada Proses Pengeringan *Non-Hybrid***

<b>Waktu (Menit)</b>	<b>Suhu Pengering (°C)</b>	<b>Suhu Bahan (°C)</b>	<b>Daya (Watt)</b>	<b>Energi (kWh)</b>
0	31	31	500	81
30	53	40	500	81,17
60	55	45	500	81,35
90	56	49,5	500	81,51
120	57	53	500	81,69
150	58	55	500	81,86
180	58	55	500	82,08
210	58	56	500	82,2
240	58	56	500	82,39
270	58	56	500	82,56
300	58	56	500	82,73

### Lampiran 12 Perhitungan Penghematan Energi Listrik

Diketahui : Energi listrik *non-Hybrid*,  $E_n = 1,56$  kWh

Energi listrik *Hybrid*,  $E_h = 1,12$  kWh

Ditanyakan : Penghematan, H?

Penyelesaian :  $H = \frac{E_n - E_h}{E_n} 100\%$

$$= \frac{1,73 - 1,12}{1,56} \times 100\%$$

$$= 35,26 \%$$

**Lampiran 13 Tabel sifat udara [diambil dari Singh dan Heldman, 2009]**

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

**Lampiran 14 Tabel sifat Gula aren [diambil dari Rao, dkk, 2009]**

<b>Kadar Air (%bk)</b>	<b>Kepadatan Massal (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Konduktivitas Thermal (W/m.K)</b>	<b>Panas Spesifik (kJ/kg.K)</b>
2,1	590	0,09	1,24
6,1	880	0,17	1,96
6,4	920	0,21	2,32
7,4	970	0,27	2,81
10,2	1230	0,36	2,95



### **Lampiran 15 Hasil Pengukuran Kecepatan Udara dan Luas Penampang Udara Pengering**

Kecepatan udara dan luas penampang udara masuk ke ruang pengering

$$V = 2.35 \text{ m/s (hasil pengukuran)}$$

$$A = P \times L = 6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm (hasil pengukuran)}$$

$$= 36 \text{ cm}^2 = 0.0036 \text{ m}^2$$

Kecepatan volume udara pada saluran,  $v = 0,00846 \text{ m}^3/\text{s}$

## Lampiran 16 Perhitungan Energi Udara Pengering

### A. Dengan Mekanisme Non-Hybrid

Diketahui:

- Suhu udara pengering rata-rata,  $T_a$  = 54,82 °C (327,97 K)
- Suhu udara lingkungan rata-rata,  $T_1$  = 28,64 °C (301,79 K)
- Kecepatan volume udara pada saluran  $v$  = 0,00846 m<sup>3</sup>/s
- Massa jenis udara,  $\rho$  = 1,025 kg/m<sup>3</sup>
- Panas spesifik udara,  $C_p$  = 1,017 kJ/kg<sup>o</sup>K
- Lama pengeringan,  $t$  = 300 menit (18000 s)

Dicari:

Energi yang digunakan untuk memanaskan bahan,  $Q_{up}$ ?

Penyelesaian:

$$Q = m \times C_p \times \Delta T = v \times \rho \times C_p \times (T_2 - T_1)$$

$$\begin{aligned} Q &= 0,00846 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,025 \text{ kg/m}^3 \times 1,017 \text{ kJ/kg} \times (327,97 - 301,79) \text{ K} \\ &= 0,2249 \text{ kJ/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{up} &= Q \times t \\ &= 0,2249 \times 18000 = 4155,83 \text{ kJ} \\ &= 4,16 \text{ MJ} \end{aligned}$$

### B. Dengan Mekanisme Hybrid

Diketahui:

- Suhu udara pengering rata-rata saat oven,  $T_o$  = 52,89 °C (326.04 K)
- Suhu udara pengering rata-rata saat dryer,  $T_d$  = 60,5 °C (333,65 K)
- Suhu udara lingkungan rata-rata,  $T_1$  = 33,1 °C (306,25 K)
- Kecepatan volume udara pada saluran,  $v$  = 0,00846 m<sup>3</sup>/s
- Massa jenis udara,  $\rho$  = 1,025 kg/m<sup>3</sup>
- Panas spesifik udara,  $C_p$  = 1,017 kJ/kg<sup>o</sup>K
- Lama pengeringan dengan oven,  $t_o$  = 180 menit (10800 s)
- Lama pengeringan dengan dryer,  $t_d$  = 90 menit (5400 s)

Dicari:

Energi yang digunakan untuk memanaskan bahan,  $Q_{up}$ ?

Penyelesaian:

a. Kondisi oven

$$Q = m \times Cp \times \Delta T = v \times \rho \times Cp \times (T_2 - T_1)$$

$$Q = 0,00846 \times 1,025 \times 1,025 \times 1,017 \times (326, -306,25)$$

$$Q = 0,1745 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{upo} = Q \times t = 0,1745 \times 10800$$

$$= 1884,88 \text{ kJ}$$

b. Kondisi dryer

$$Q = m \times Cp \times \Delta T = v \times \rho \times Cp \times (T_1 - T_0)$$

$$Q = 0,00846 \times 1,025 \times 1,017 \times (333,65 - 306,25 )$$

$$Q = 0,2416 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{upd} = Q \times t = 0,2416 \times 5400$$

$$= 1304,85 \text{ kJ}$$

$$Q_{up} = Q_{upo} + Q_{upd}$$

$$Q_{up} = 1884,88 + 1304,85$$

$$Q_{up} = 3189,73 \text{ kJ} = 3,19 \text{ MJ}$$

**Lampiran 17 Panas Laten Penguapan pada Suhu 60 °C**

$$\begin{aligned} Hfg &= 2501 - (2361 \times 10^{-3})T \\ &= 2501 - (2.361)60 \\ &= 2501 - 141.66 \\ &= 2359.34 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

## Lampiran 18 Perhitungan Energi yang Diupakan Untuk Pengeringan

### A. Pengeringan *Non-Hybrid*

Diketahui:

- Berat awal gula,  $W_{awal} = 3000 \text{ g} = 3 \text{ kg}$
- Berat gula setelah pengeringan,  $W_{akhir} = 2848,7 \text{ g} = 2,85 \text{ kg}$
- Beban uap air,  $W_{uap}$   
$$W_{uap} = W_{awal} - W_{akhir}$$
$$= 3 \text{ kg} - 2,85 \text{ kg}$$
$$= 0,15 \text{ kg}$$

Dicari:

Energi yang digunakan untuk penguapan,  $Q_{uap} \dots ?$

Penyelesaian:

$$Q_{uap} = W_{uap} \times H_{fg}$$
$$= 0,15 \text{ kg} \times 2359,34 \text{ kJ/kg}$$
$$= 353,901 \text{ kJ}$$

### B. Pengeringan *Hybrid*

- Berat awal gula,  $W_{awal} = 3000 \text{ g} = 3 \text{ kg}$
- Berat gula setelah pengeringan,  $W_{akhir} = 2710,74 \text{ g} = 2,71 \text{ kg}$
- Beban uap air,  $W_{uap}$   
$$W_{uap} = W_{awal} - W_{akhir}$$
$$= 3 \text{ kg} - 2,71 \text{ kg}$$
$$= 0,29 \text{ kg}$$

Dicari:

Energi yang digunakan untuk penguapan,  $Q_{uap} \dots ?$

Penyelesaian:

$$Q_{uap} = W_{uap} \times H_{fg}$$
$$= 0,29 \text{ kg} \times 2359,34 \text{ kJ/kg}$$
$$= 684,209 \text{ kJ}$$

## Lampiran 19 Perhitungan Efisiensi Mesin pada Pengeringan

### A. Energi Pengeringan dengan Mekanisme *Non-Hybrid*

Diketahui:

- Kadar air bahan mula-mula,  $M_0$  = 6,07%
- Kadar air akhir bahan rata-rata,  $M_t$  = 2,9%
- Suhu mula-mula bahan,  $T_{b0}$  = 31 °C = 304,15 °K
- Suhu bahan selama pengeringan,  $T_{bt}$  = 56 °C = 329,15 °K
- Panas spesifik gula,  $Cp_g$  = 2,32 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>
- Panas spesifik air,  $Cp_a$  = 4,2 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>
- Panas laten penguapan pada suhu 60 °C,  $Hfg$  = 2359,34 kJ/kg
- Energi listrik yang digunakan,  $Q_{in}$  = 1,73 kWh = 6,23 MJ
- Energi udara pengering  $Q_{up}$  = 4,05 MJ
- Energi penguapan,  $Q_{uap}$  = 353,901 kJ
- Beban uap air,  $W_{uap}$  = 0,15 kg
- Berat air,  $M_{ag}$  =  $\frac{6,07}{100} \times 3 = 0,1821$  kg
- Berat padatan gula  $M_g$  = 3 - 0,1821 = 2,8179 kg
- Panas *sensible* air untuk menaikkan suhu air bahan

$$\begin{aligned} Q_{ag} &= m_{ag} \times Cp_a \times \Delta T \\ &= 0,1821 \times 4,2 \times (327,97 - 301,79) \\ &= 18,711 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- Panas *sensible* padatan gula,

$$\begin{aligned} Q_g &= m_g \times Cp_g \times \Delta T \\ &= 2,8179 \times 1,96 \times (329,97 - 301,79) \\ &= 163,664 \text{ kJ} \end{aligned}$$

- Panas total yang diperlukan untuk pengeringan bahan

$$\begin{aligned} Q_{out} &= Q_{ag} + Q_g + Q_{uap} \\ &= 18,711 + 163,664 + 353,901 \\ &= 536,276 \text{ kJ} = 0,54 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Dicari:

- a. Efisiensi Pengeringan,  $\eta_p$ .....?
- b. Efisiensi termal tungku listrik mesin,  $\eta_{tk}$  ...?

c. Efisiensi termal mesin pengering,  $\eta_{ms}$  ...?

Penyelesaian:

$$a. \eta_p = \frac{Q_{out}}{Q_{up}} \times 100\% = \frac{0,54}{4,16} \times 100\%$$

$$= 12,98 \%$$

$$b. \eta_{tk} = \frac{Q_{up}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{4,16}{6,23} \times 100\%$$

$$= 66,77\%$$

$$c. \eta_{ms} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{0,54}{6,23} \times 100\%$$

$$= 8,67\%$$

## B. Energi Pengeringan dengan Mekanisme *Hybrid*

Diketahui:

- Kadar air bahan mula-mula,  $M_0$  = 5,17%
- Kadar air akhir bahan rata-rata,  $M_t$  = 2,83%
- Suhu mula-mula bahan,  $T_{b0}$  = 32 °C = 305,15 °K
- Suhu bahan selama pengeringan,  $T_{bt}$  = 60 °C = 333,15 °K
- Panas spesifik gula,  $Cp_g$  = 2,32 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>
- Panas spesifik air,  $Cp_a$  = 4,2 kJ kg<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>
- Panas laten penguapan pada suhu 60 °C,  $Hfg$  = 2359,34 kJ/kg
- Energi listrik yang digunakan,  $Q_{in}$  = 1,12 kWh = 4,03 MJ
- Energi udara pengering  $Q_{up}$  = 3,55 MJ
- Energi penguapan,  $Q_{uap}$  = 754,989 kJ
- Beban uap air,  $W_{uap}$  = 0,32 kg
- Berat air,  $M_{ag}$  =  $\frac{5,17}{100} \times 3 = 0,1551$  kg
- Berat padatan gula  $M_g$  = 3 - 0,1782 = 2,8449 kg
- Panas *sensible* air untuk menaikkan suhu air bahan

$$Q_{ag} = m_{ag} \times Cp_a \times \Delta T$$

$$= 0,1551 \times 4,2 \times (333,15 - 305,15)$$

$$= 18,2398 \text{ kJ}$$

- Panas *sensible* padatan gula,

$$Q_g = m_g \times Cp_g \times \Delta T$$

$$= 2,8449 \times 2,32 \times (333,15 - 305,15)$$

$$= 184,805 \text{ kJ}$$

- Panas total yang diperlukan untuk pengeringan bahan

$$Q_{out} = Q_{ag} + Q_g + Q_{uap}$$

$$= 18,2398 + 184,805 + 684,209$$

$$= 887,253 \text{ kJ} = 0,89 \text{ MJ}$$

Dicari:

- Efisiensi Pengeringan,  $\eta_p$ .....?
- Efisiensi termal tungku listrik mesin,  $\eta_{tk}$  ...?
- Efisiensi termal mesin pengering,  $\eta_{ms}$  ...?

Penyelesaian:

- $$\eta_p = \frac{Q_{out}}{Q_{up}} \times 100\% = \frac{0,89}{3,19} \times 100\%$$

$$= 27,9\%$$
- $$\eta_{tk} = \frac{Q_{up}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{3,19}{4,03} \times 100\%$$

$$= 79,16\%$$
- $$\eta_{ms} = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{0,89}{4,03} \times 100\%$$

$$= 22,08 \%$$