

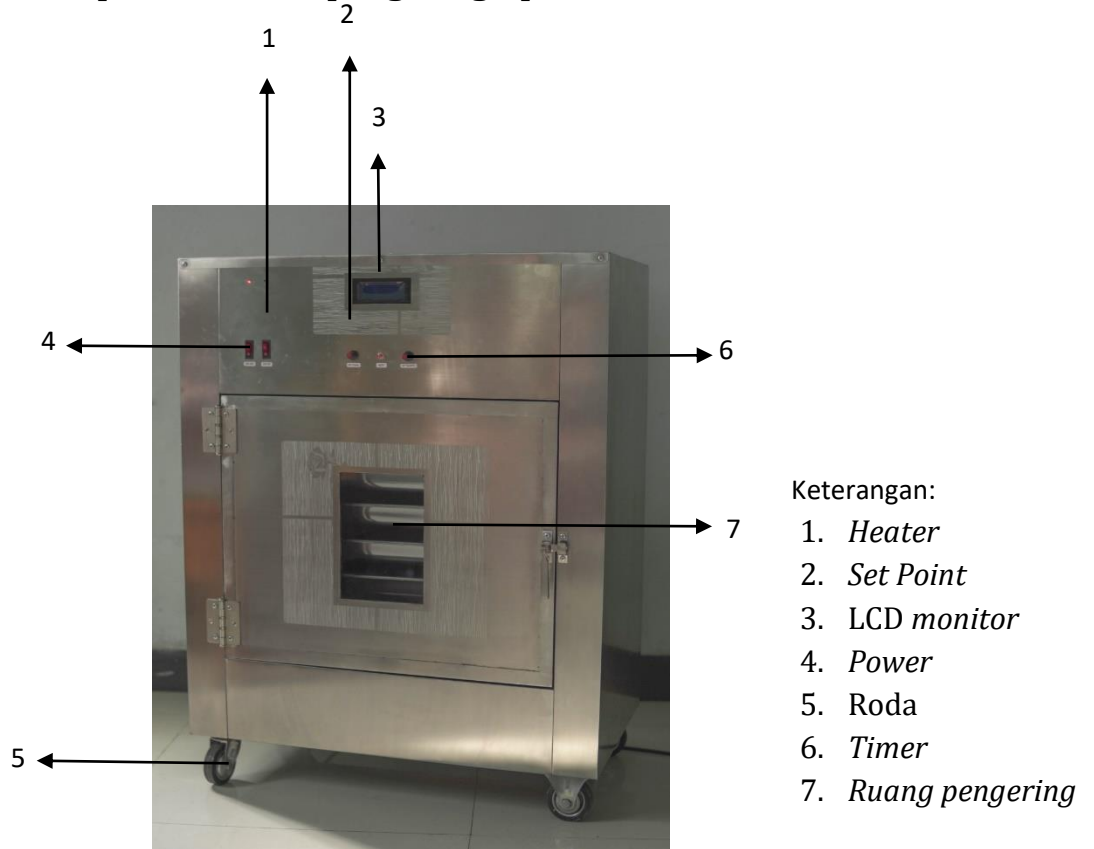
DAFTAR PUSTAKA

- Anonim^a. 2020. Macam-macam Alat Pengering (*Dryer*), <https://www.caesarvery.com/2014/08/macam-macam-alat-pengering-dryer.html>, diakses pada 12 Desember 2019.
- Anonim^b. 2019. Mikrokontroler Atmega32, <https://www.makerlab-electronics.com/product/>, diakses pada 11 Oktober 2019.
- Allo, D. Kendek, Dringhuzen J. M., Bahrin, dan Novi M. T. 2013. *Rancang Bangun Alat Ukur Temperatur untuk Mengukur Selisih Dua Keadaan*. E-Journal Teknik Elektro dan Komputer. Manado. Universitas Sam Ratu Langi.
- Bag, Bijaya B. 2018. *Ginger processing in India (Zingiber officinate): A Review*. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. ISSN: 2319-7706 Vol. 7 No. 4. India: Excellent Publishers.
- Berk, Zeki. 2013. *Food Process Engineering and Technology, 2nd Ed*. Elsevier. United Kingdom.
- Bolton, W. 2004. *Instrumentation and Control Systems*. ISBN: 0750664320. Publisher: Elsevier Science and Technology Books.
- Buchanan, Bruce G., dan Edward H. S. 1984. *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of The Stanford Heuristic Programming Project*. Canada: Addison-Wesley Publishing Company.
- Dahria, Muhammad. 2011. *Pengembangan Sistem Pakar dalam Membangun Suatu Aplikasi*. STMIK Triguna Dharma. Sumatera Utara.
- Direktorat Sayuran dan Tanaman Obat .2019. *Standar Operasional Prosedur (SOP) Budidaya Jahe (Zingiber officinale)*. Cetakan ke VI. ISBN :979-99060-3-2. Jakarta: Kementrian Pertanian.
- Delgado, J.M.P.Q. dan Antonio G. B. de Lima, ed. 2015. *Drying and Energy Technologies*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Guin é, Raquel P. F. 2018. *The Drying of Foods and Its effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properties*. International Journal of Food Engineering vol 5, No. 2. Portugal. Polytechnic Institute of Viseu.
- Hapsah, Yaya H. dan Elisa J. 2010. *Budidaya dan Teknologi Pascapanen Jahe*. Medan: USU Press.
- Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. *Agricultural Process Engineering*. 3rd ed. The AVI Publ. Co., Inc, Westport, Connecticut, USA.
- Horowitz, Paul dan Winfield Hill. 2015. *The Art of Electronics*. 3rd ed. United States of America: Cambridge University Press.

- Kaur, B. Pal, Vijay S. S., dan Prabhat K. N. 2015. *Fundamentals of Drying*. New Delhi: New India Publishing Agency.
- Kurniawan, A. Muhammad. 2016. *Aplikasi Accelerometer pada Penstabil Monopad Menggunakan Motor Servo*. Tugas Akhir, disusun untuk menyelesaikan pendidikan Diploma III. Palembang. Politeknik Sriwijaya.
- Misha, S. S. Matt, M. H. Ruslan, K. Sopian dan E. Salleh 2013. *Review on the Application of a Tray Dryer System for Agricultural Products*. Malaysia. Universitas Kebangsaan Malaysia.
- Negnevitsky, Michael. 2015. *Artificial Intelligence: A Guide to Intelligent System*. Second eddition. United Kingdom: Addison Wesley.
- Ogata, Katsuhiko. 2010. *Modern Control Engineering* 5th Ed. Pearson. New Jersey
- Olugbade, T. Olumide dan Oluwole T. O. 2018. *Development and Performance Evaluation of An Improved Electric Baking Oven*. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies. ISSN 1583-1078. Nigeria
- Rahman, A. Fazlul, Sukmawaty, dan Rahmat S. 2017. *Evaluasi Pengeringan Pisang Sale (*Musa paradisiaca* L.) pada Alat Pengering Hybrid (Surya-Listrik) Tipe Rak*. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, Vol. 5, No.1, Maret. Nusa Tenggara Barat. Universitas Mataram.
- Sari, I. Novita, Warji dan D. D. Novita. 2014. *Uji Kinerja Alat Pengering Hybrid Tipe Rak pada Pengeringan Chip Pisang Kepok*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung* Vol. 3, No. 1: 59-68. Lampung. Universitas Lampung.
- Tim Penerbit KBM Indonesia. 2020. *Ensiklopedi Jahe: Deskripsi, Filosofi, Manfaat, Budidaya, dan Peluang Bisnisnya*. Jawa: Penerbit Karya Bakti Makmur (KBM) Indonesia.
- Verma, Nidhi, Kartik G., Sheila M. 2015. *Implementation of Solid State Relays For Power System Protection*. *International Journal of Scientific and Technology Research* Volume 4, Issue 06, June 2015. ISSN 2277-8616. India. ITM University.
- Warwick, Kevin. 1996. *An Introduction to Control Systems*. Edisi ke dua. Singapura: World Scientific.
- Yadollahinia, A.R., M. Omid and S. Rafiee. 2008. *Design and Fabrication of Experimental Dryer for Studying Agricultural Products*. Vol. 10, Page 61-65, *Int. J. Agri.Bio*.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Spesifikasi alat pengering tipe rak



Gambar 19. Alat pengering *hybrid* sistem oven dan dryer

Kategori	Keterangan
Ukuran Alat	PxLxT = 73x43x75 cm
Bahan body luar	Stainless steel, tebal=0.8mm
Bahan body dalam	Stainless steel 201, tebal 0,6mm
Bahan Talang	Stainless steel SS 201, tebal=0,8mm
Ukuran Talang	PxLxT = 40x35x4 cm, 6 buah
Tenaga Penggerak	Listrik 220V, 550W
Sistem Kontrol	Fuzzy logic, hybrid oven-dryer

Lampiran 2. Pengukuran

Tabel L-1. Respon dinamis suhu pengering dengan daya 500 Watt

Waktu (mnt)	Suhu Pengering (°C)		
	<i>Non-hybrid</i>	<i>Hybrid</i>	<i>Fuzzy</i>
0	28	29	28
2	33	32	31
4	35	39	40
6	41	43	43
8	42	47	47
10	45	51	50
12	46	54	53
14	48	56	55
16	49	58	57
18	49	59	59
20	49	59	59
22	50	60	59
24	51	60	59
26	51	60	60
28	51	60	60
30	51	60	60

Tabel L-2. Tabel respon statis suhu pengering dengan daya 500 Watt

Waktu (Menit)	Suhu	
	<i>Hybrid</i>	<i>Non-hybrid</i>
0	29	28
60	60	57
120	61	57
180	61	58
240	61	58
300	58	59
360	61	59
420	61	60
450	61	60

Tabel L-3. Berat hasil pengeringan pada sistem *non-hybrid* daya 500 Watt

Talang	Berat Bahan Sebelum	Berat Bahan
	pengeringan (g)	Sesudah pengeringan (g)
1	502,23	66,88
2	503,24	65,30
3	502,79	68,37
4	500,65	63,89
5	500,87	63,89
6	502,83	74,57
Total	3012,61	402,90

Tabel L-4. Berat hasil pengeringan pada sistem *hybrid* daya 500 Watt

Talang	Berat Bahan Sebelum pengeringan (g)	Berat Bahan Sesudah pengeringan (g)
1	502,02	79,63
2	502,52	76,54
3	502,02	73,05
4	500,34	70,10
5	502,71	77,77
6	501,5	78,28
Total	3011,11	455,37

Tabel L-5. Laju pengeringan rata-rata pada proses pengeringan dengan berat bahan 3 kg

Waktu (Menit)	Laju pengeringan (kg H₂O/kg.h)	
	<i>non-hybrid</i>	<i>hybrid</i>
0	0	0
60	0,401	0,366
120	0,471	0,410
180	0,508	0,478
240	0,511	0,468
300	0,405	0,405
360	0,282	0,312
420	0,109	0,194
450	0,016	0,0215

Tabel L-6. Hasil pengukuran rata-rata kadar air basis basah (ka bb) pada pengeringan *non-hybrid* 3 kg jahe dengan daya 500 Watt

Waktu (Menit)	Kada Air (%bb)		
	Rak Atas	Rak Tengah	Rak Bawah
0	87,55	87,11	87,10
60	85,85	84,69	85,56
120	83,21	80,46	83,08
180	78,54	73,19	79,10
240	69,30	59,73	69,69
300	54,08	38,52	60,27
360	28,41	12,58	40,17
420	9,01	6,28	18,84
450	6,53	5,18	12,99
Rata-Rata		8,24	

Tabel L-7. Hasil pengukuran rata-rata kadar air basis basah (ka bb) pada pengeringan *hybrid* 3 kg jahe dengan daya 500 Watt

Waktu (Menit)	Kada Air (%bb)		
	Rak Atas	Rak Tengah	Rak Bawah
0	85,91	86,29	86,37
60	84,41	83,97	84,66
120	81,95	80,56	82,28
180	77,85	74,65	78,00
240	71,69	63,29	71,44
300	61,49	43,13	61,51
360	44,16	18,32	44,07
420	15,53	7,39	17,80
450	11,16	5,76	12,69
Rata-Rata		9,87	

Tabel L-8. Tabel suhu, daya dan energi pada proses pengeringan *non-hybrid* 3 kg jahe dengan daya 500 Watt

Waktu (menit)	Suhu pengering (°C)	Suhu bahan (°C)	Daya (Watt)	Energi (kWh)
0	28	26	500	0
60	57	36,75	500	0,49
120	57	39,5	500	1
180	58	43,25	500	1,51
240	58	48,5	500	2,03
300	59	52	500	2,56
360	59	54	500	3,11
420	60	56,25	500	3,56
450	60	58,25	500	3,82

Tabel L-9. Tabel suhu, daya dan energi pada proses pengeringan hybrid 3 kg jahe dengan daya 500 Watt

Waktu (Menit)	Suhu pengering	Suhu bahan (°C)	Daya (Watt)	kWh meter
0	29	26	500	0
60	60	23,75	350	0,4
120	61	45,25	300	0,77
180	61	47	300	1,13
240	61	47,75	300	1,49
300	58	46,5	450	1,84
360	61	54,75	325	2,09
420	61	56,5	325	2,39
450	61	58	325	2,53

Tabel L-10. Tabel sifat udara [diambil dari Singh dan Heldman, 2009]

No.	S u h u		Density (ρ)	Panas Spesifik
	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{K}$	(kg/m^3)	C_p ($\text{kJ}/\text{kg } ^{\circ}\text{K}$)
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

Tabel L-11. Tabel sifat Jahe [diambil dari Jayaashree dan R. Visvanathan, 2011]

<i>Category</i>	<i>Fresh ginger</i>	<i>Dry ginger</i>
<i>Thermal conductivity</i> ($\text{W m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	0,2916	0,076
<i>Specific heat</i> ($\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)	3566,87	1918,81
<i>Thermal diffusivity</i> η (m s)	$0,8609 \times 10^{-7}$	$1,7339 \times 10^{-7}$

Lampiran 3. Perhitungan

1) Perhitungan penghematan energi listrik

Diketahui: energi listrik *non-hybrid*, $E_n = 3,82$ kWh

Energi listrik *hybrid*, $E_h = 2,53$ kWh

Ditanyakan, penghematan, H ?

$$\begin{aligned} \text{Penyelesaian: } H &= \frac{E_n - E_h}{E_n} 100\% \\ &= \frac{3,82 - 2,53}{3,82} \times 100\% \\ &= 33,76\% \end{aligned}$$

2) Hasil pengukuran kecepatan udara dan luas penampang udara pengering

$$V_1 = 2,109 \text{ m/s (hasil pengukuran)}$$

$$A_1 = P \times L = 8 \text{ cm} \times 8 \text{ cm (hasil pengukuran)}$$

$$= 64 \text{ cm}^2 = 0,0064 \text{ m}^2$$

3) Perhitungan energi udara pengering

A. Dengan Mekanisme Non-hybrid

Diketahui:

- Suhu udara pengering rata-rata, T_2 = 58 °C = 331,15 °K
- Suhu udara lingkungan rata-rata, T_1 = 28,5 °C = 301,15 °K
- Kecepatan udara pada saluran, v = 0,0195 m³/s
- Massa jenis udara, ρ = 1,025 kg/m³
- Panas spesifik udara, C_p = 1,017 kJ/kg^oK
- Lama pengeringan, t = 450 menit = 27000 s

Ditanyakan: Energi yang digunakan untuk memanaskan jahe, Q_{ud}?

Perhitungan:

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

$$Q = 0,0135 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,025 \text{ kg/m}^3 \times 1,017 \text{ kJ/kgK} \times (328,15 - 301,15) \text{ K}$$
$$= 0,423 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{up} = Q \times t$$

$$= 0,423 \times 27000 = 14,544 \text{ kJ} = 11,42 \text{ MJ}$$

B. Dengan Mekanisme Hybrid

Diketahui:

- Suhu udara pengering rata-rata saat oven, T_2 = 60 °C = 333,15 °K
- Suhu udara pengering rata-rata saat dryer, T_1 = 40,5 °C = 313,65 °K
- Suhu udara lingkungan rata-rata, T_0 = 31 °C = 304,15 °K
- Kecepatan udara pada saluran, v = 0,0195 m³/s
- Massa jenis udara, ρ = 1,025 kg/m³
- Panas spesifik udara, C_p = 1,017 kJ/kg^oK
- Lama pengeringan, t = 450 menit, 360 menit (21600 s) oven dan 90 menit dryer (5400 s)

Ditanyakan: Energi yang digunakan untuk memanaskan jahe, Q_{ud}?

Perhitungan:

- a. Kondisi oven 360 menit, $t = 21600$ s

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

$$Q = 0,0135 \times 1,025 \times 1,017(333,15 - 304,15)$$

$$Q = 0,274 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{upo} = Q \times t = 0,271 \times 21600$$

$$= 5927,43 \text{ kJ}$$

b. Kondisi *dryer* 90 menit= 5400 s

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

$$Q = 0,0195 \times 1,025 \times 1,017(323,15 - 304,25)$$

$$Q = 0,408 \text{ kJ/s}$$

$$Q_{upd} = Q \times t = 0,408 \times 5400$$

$$= 2203,79 \text{ kJ}$$

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

$$Q_{up} = 5927,43 + 2203,79$$

$$Q_{up} = 8131,22 \text{ kJ} = 8,13 \text{ MJ}$$

4) Perhitungan energi yang diuapkan untuk pengeringan

Diketahui :

- Panas laten penguapan pada suhu 60 °C, H_{fg}

$$H_{fg} = 2501 - (2361 \times 10^{-3})T$$

$$= 2501 - (2,361)60$$

$$= 2501 - 141,66$$

$$= 2359,34 \text{ kJ/kg}$$

a. Pengeringan *non-hybrid*

- Berat simplisia jahe awal, $W_{awal} = 3011,11 \text{ g} = 3,01111 \text{ kg}$

- Berat simplisia setelah pengeringan, $W_{akhir} = 402,90 = 0,40290 \text{ kg}$

- Beban uap air, W_{uap}

$$W_{uap} = W_{awal} - W_{akhir}$$

$$= 3,01261 \text{ kg} - 0,45537 \text{ kg}$$

$$= 2,60821 \text{ kg}$$

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

Penyelesaian:

$$Q_{uap} = W_{uap} \times H_{fg}$$

$$= 2,60821 \text{ kg} \times 2359,34 \text{ kJ/kg}$$

$$= 6153,65 \text{ kJ}$$

b. Pengeringan *hybrid*

- Berat simplisia jahe awal, W_{awal} = 3012,61 g = 3,012,61 kg
- Berat simplisia setelah pengeringan, W_{akhir} = 455,37g = 0,45537 kg
- Beban uap air, W_{uap}

$$\begin{aligned} W_{uap} &= W_{awal} - W_{akhir} \\ &= 3,01261 \text{ kg} - 0,45537 \text{ kg} \\ &= 2,57724 \text{ kg} \end{aligned}$$

Ditanyakan: Energi yang digunakan untuk penguapan, Q_{uap}?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned} Q_{uap} &= W_{uap} \times H_{fg} \\ &= 2,57724 \text{ kg} \times 2359,34 \text{ kJ/kg} \\ &= 6080,58 \text{ kJ} \end{aligned}$$

5) Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme *non-hybrid*

Energi Pengeringan dengan mekanisme non *hybrid* daya 500 Watt

Diketahui:

- Kadar air bahan mula-mula, M_1 = 87%
- Kadar air akhir bahan rata-rata, M_2 = 8,24%
- Suhu mula-mula jahe, T_{jm} = 26 °C = 299,15 °K
- Suhu jahe selama pengeringan, T_{jp} = 48,56°C = 321,71 °K
- Panas spesifik jahe, Cp_j = 2,74 kJ kg⁻¹ K⁻¹
- Panas spesifik air, Cp_a = 4,18 kJ kg⁻¹ K⁻¹
- Panas laten penguapan pada suhu 60 °C, H_{fg} = 2359,34 kJ/kg
- Energi listrik yang digunakan, Q_{in} = 3,82 kWh = 13752 kJ=13,75

MJ

- Energi udara pengering Q_{up} = 11,42 MJ
- Energi penguapan, Q_{uap} = 6116,73 kJ
- Beban uap air, W_{uap} = 2,59256 kg
- Berat air, M_{aj} = $\frac{87}{100} \times 3,01261 = 2,62 \text{ kg}$
- Berat simplisia jahe = 3,01261-2,62 = 0,39 kg

- Panas *sensible* air simplisia jahe untuk menaikkan suhu air simplisia jahe

$$\begin{aligned}
 Q_{aj} &= m_{aj} \times Cp_a \times \Delta T \\
 &= 2,62 \times 4,18 \times (321,71 - 299,15) \\
 &= 247,06 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

- Panas *sensible* simplisia jahe,

$$\begin{aligned}
 Q_j &= m_j \times Cp_j \times \Delta T \\
 &= 0,39 \times 2,74 \times (321,71 - 299,15) \\
 &= 24,10 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

- Panas total yang diperlukan untuk pengeringan simplisia jahe

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q_{aj} + Q_j + Q_{uap} \\
 &= 247,06 + 24,10 + 6153,65 \\
 &= 6424,81 \text{ kJ} = 6,42 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Ditanyakan: A.) Efisiensi Pengeringan, η_p?

B.) Efisiensi termal tungku listrik mesin, η_{tk} ...?

C.) Efisiensi termal mesin pengering, η_{ms} ...?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \text{A.) } \eta_p &= \frac{Q_t}{Q_{up}} \times 100\% = \frac{6,42}{11,42} \times 100\% \\
 &= 56,21\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{B.) } \eta_{tk} &= \frac{Q_{up}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{11,42}{13,75} \times 100\% \\
 &= 83,05\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{C.) } \eta_{ms} &= \frac{Q_t}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{6,42}{13,75} \times 100\% \\
 &= 46,69\%
 \end{aligned}$$

6) Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme *hybrid*

Energi Pengeringan dengan mekanisme non *hybrid* daya 500 Watt

Diketahui:

- Kadar air bahan mula-mula, M_1 = 86%
- Kadar air akhir bahan rata-rata, M_2 = 9,87%
- Suhu mula-mula jahe, T_{jm} = 26 °C = 299,15 °K
- Suhu jahe selama pengeringan, T_{jp} = 59,5°C = 332,65°K
- Panas spesifik jahe, Cp_j = 2,74 kJ kg⁻¹ K⁻¹

- Panas spesifik air, C_{p_a} = 4,18 kJ kg⁻¹ K⁻¹
- Panas laten penguapan pada suhu 60 °C, Hfg = 2359,34 kJ/kg
- Energi listrik yang digunakan, Q_{in} = 2,53 kWh = 9108 kJ = 9,108 MJ
- Energi udara pengering Q_{up} = 8,13 MJ
- Energi penguapan, Q_{uap} = 6081,10 kJ
- Beban uap air, W_{uap} = 2,57746 kg
- Berat air, M_{aj} = $\frac{86}{100} \times 3,01111 = 2,58$ kg
- Berat simplisia jahe, m_j = 3,01111 - 2,58 = 0,42 kg
- Panas *sensible* air simplisia jahe untuk menaikkan suhu air simplisia jahe

$$\begin{aligned}
 Q_{aj} &= m_{aj} \times C_{p_a} \times \Delta T \\
 &= 2,58 \times 4,18 \times (332,65 - 299,15) \\
 &= 335,39 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

- Panas *sensible* simplisia jahe,

$$\begin{aligned}
 Q_j &= m_j \times C_{p_j} \times \Delta T \\
 &= 0,42 \times 2,74 \times (332,65 - 299,15) \\
 &= 35,78 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

- Panas total yang diperlukan untuk pengeringan simplisia jahe

$$\begin{aligned}
 Q_t &= Q_{aj} + Q_j + Q_{uap} \\
 &= 335,39 + 35,78 + 6080,58 \\
 &= 6471,75 \text{ kJ} = 6,47 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

Ditanyakan: A.) Efisiensi Pengeringan, η_p?

B.) Efisiensi termal tungku listrik mesin, η_{tk} ...?

C.) Efisiensi termal mesin pengering, η_{ms} ...?

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 \text{D.) } \eta_p &= \frac{Q_t}{Q_{up}} \times 100\% = \frac{6,47}{8,13} \times 100\% \\
 &= 79,58\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{E.) } \eta_{tk} &= \frac{Q_{up}}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{8,13}{9,10} \times 100\% \\
 &= 89,34\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{F.) } \eta_{ms} &= \frac{Q_t}{Q_{in}} \times 100\% = \frac{6,47}{9,10} \times 100\% \\
 &= 71,09\%
 \end{aligned}$$

Lampiran 4. Dokumentasi



Gambar 20. Merajang jahe



Gambar 21. Memasukkan bahan ke mesin pengering



Gambar 22. Simplisia jahe sebelum dikeringkan



Gambar 23. Simplisia jahe sesudah dikeringkan



olisia jahe sesudah
ngakan