

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Kadir. 2012, *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroller dan Pemrograman Menggunakan Arduino*, Andi Yagyakarta. Yogyakarta.
- Ahmad Jaelani. 2015, *Analysis of Thermal Energy in Candied Papaya (Carica papaya L.) Drying Process using Shelf Type Dryer*
- Astutik, Sri Mulia. (2008). *Teknik Pengeringan Bawang Merah Dengan Cara Perlakuan Suhu Dan Tekanan Fakum*. Buletin Teknik Pertanian Vol.13 No.2.
- Averill M. Law & W. David Kelton, *Simulation Modeling & Analysis, second edition*, McGraw-Hill, 1991; International.
- Bolton W. 2004. *Instrumentation and Control Systems*. Elsevier Science and Technology Books: Amsterdam Belanda.
- Dorf, Richard C. 1983. *Robotics and automated manufacturing*.
- Dwi yulita. 2016 *Analysis of Thermal Energy in Candied Papaya (Carica papaya L.) Drying Process using Shelf Type Dryer*. Universitas Lampung.
- Edi Suhendar. 2017, *Test Performance Of Rack-Dryer For Drying Chips Breadfruit Uses Electrical Energy*
- Geankoplis C. John. 2003. *Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations)*. (Edisi ke-4). Pearson. United Kingdom.
- Guiné, Raquel P. F. 2018. *The Drying of Food and Its Effect on the Physical-Chemical, Sensorial and Nutritional Properpertis*. International Journal of Food Engineering, vol. 4, no. 2. Polytechnic Institute of Viseu, Portugal.

- Hamzah, N. 1986. *Pengaruh Cara Pengolahan Tradisional Terhadap Mutu Tepung Sagu di Sumatra Barat*. Fakultas Pertanian, Universitas Andalas: Padang.
- Harrison, 2000, "*Preserving Food Drying fruit and vegetable*", University of Geordgia.
- Haryanto, B. dan P. Pangloli. 1992. *Potensi dan Manfaat Sagu*. Kanisius: Yogyakarta.
- Henderson, S. M. and R. L. Perry. 1976. "*Agricultural Process Engineering*." 3rd edd. The AVI Publ. Co., Inc, Wesport, Connecticut, USA.
- Hengky, N., 2003, *Sagu Untuk Ketahanan Pangan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan*, Manado
- Jones S. 2009. *Hydraulic Application*. Elsevier: New Orleans
- Katriani Laila. Darmawan Denny. Noer Ahmad Awaluddin. 2015. *Rancang Bangun Sistem Kontrol Box UV Sebagai Media Sterilisasi Menggunakan Sensor*.
- Kusuma Rida A. 2013. *Rancang Bangun Alat Pendeteksi dan Penanggulangan Kebocoran Gas LPG Berbasis Sensor TGS2610*. Teknik Elektro UKI: Bandung.
- Legowo Anang M. dan Nurwantoro. 2004. *Diktat Analisis Pangan*. Fakultas Peternakan Undip: Semarang.
- Mc.Cabe, Warren L. 2002. *Unit Operation of Chemical Engineering. Edition 4th*. Mc. Grow Hill International Book Co: Singapore
- Misha, S. dkk., 2013. *Review on the Application of a Tray Dryer System for Agricultural Products*. Malaysia. Universitas Kebangsaan Malaysia.

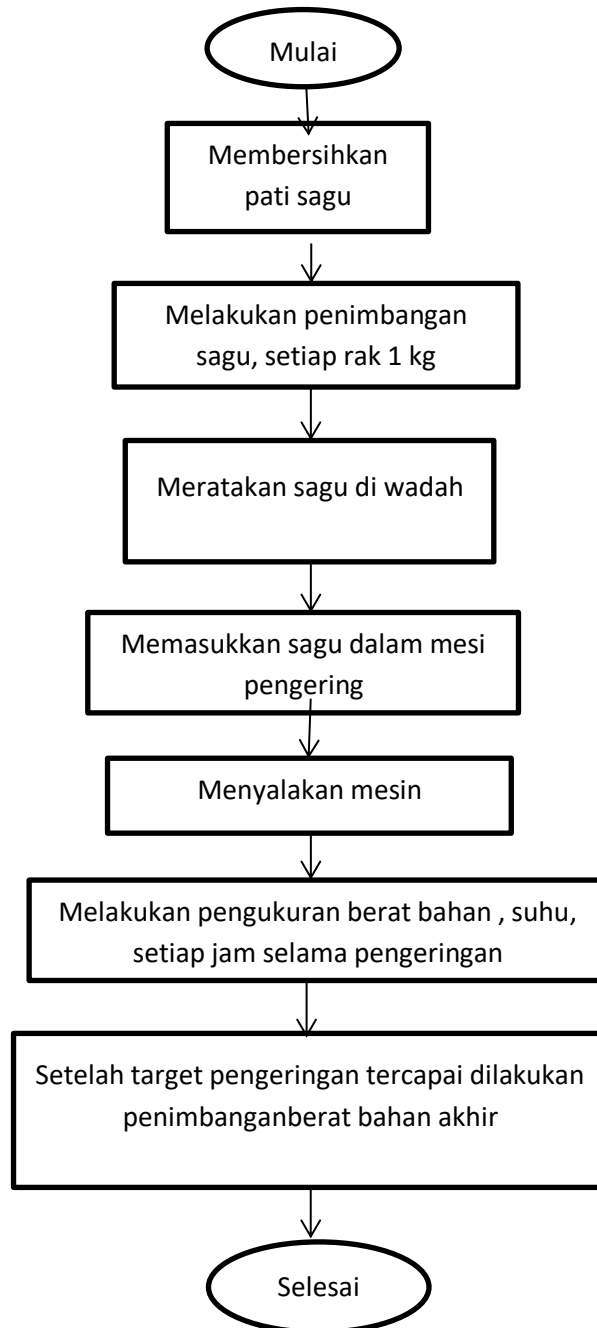
- Mühlbauer, Warner dan Joachim M. 2020. *Drying Atlas Drying Kinetics and Quality of Agricultural Products*. Woodhead Publishing, an Imprint of Elsevier.
- Mujumdar, A.S. and A.S. Menon. (1995). *Drying of Solid: Principles, Classification, and Selection of Dryers*. In Arun S. Mujumdar (ed.). *Handbook of Industrial Drying*, 2nd ed. Marcel Dekker, Inc., New York
- Mujumdar, Arun S. (Ed). 2006. *Handbook of Industrial Drying*. (Edisi ke-3). Taylor & Francis Group. United Kingdom.
- Ogata, (1995) (tanunnya) Katsuhiko, *Automatic Control System 4th ed, New Jersey* : Prentice Hall
- Pinem. (2004). *Rancangan Bangun Alat Pengeringan Ikan Teri Kapasitas 12kg/jam*. Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin. Politeknik Negri Malang. *Jurnal Teknik Simetrika* Vol.3.No.3.249-253.
- Saripudin U. 2006. *Rekayasa Proses Tepung Sagu (Metroxylon Sp.) Dan Beberapa Karakternya*. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Siswanto. 2010. *Kecerdasan Tiruan*. Graha Ilmu: Yogyakarta.Swadaya Swadaya, Jakarta.
- Syahwil Muhammad, 2013, "Panduan Mudah Simulasi dan Praktik: Mikrokontroler Arduino." Yogyakarta: Andi Publisher.
- Taib,G., Sa'id ,E.G. , Wiraatmaja, S., 1988, *Operasi Pengeringan Pada Pengolahan Hasil Pertanian*, Mediyatama Sarana Perkasa, Jakarta.
- Treybal, R. E., 1955, *Mass Transfer Operation, International Student Edition*, Kogakusha Company, Tokyo.
- Utami Rizqi. 2011. *Alat Bantu Ajar Penerapan Metode Forward Chaining dan Backward Chaining Pada Sistem Pakar. Tugas Akhir Teknik Informatika UII* : Yogyakarta.

Wina, E., A.J. Evans dan J.B. Lowry 1986. *The Composition of Pith from the Sago Palms (Metroxylon sagu and Arenga pinnata)*. Journal of the Science of Food and Agriculture 37 (4):352-35

Wirakartakusumah, M.A., A. Apriyantono, MS. Ma'arif, Suliantari, dan D. Muchtadi. 1986. *Studi Tentang Ekstraksi, Sifat-Sifat Fisiko Kimia Pati Sagu dan Pengkajian Enzim*. Laporan Penelitian. FATETA IPB, Bogor

LAMPIRAN

Lampiran 1. Diagram alir proses pengeringan.



Lampiran 2. Hasil pengamatan suhu saat uji gain pada sistem *hybrid* dan *non hybrid* dengan menggunakan heater 1500 Watt

Waktu (menit)	Suhu Udara Pengeriing (°C)	
	Sistem <i>Hybrid</i>	Sistem <i>Non Hybrid</i>
0	38	33
2	40	35
4	44	40
6	47	42
8	50	44
10	53	48
12	55	48
14	57	48
16	59	49
18	60	50
20	62	50
22	63	51
24	65	51
26	65	52
28	66	52
30	67	52

Lampiran 3. Hasil pengamatan suhu pada uji kontrol *Fuzzy* dan kontrol *Ekspert* dengan menggunakan heater 1500 Watt

Waktu (menit)	Suhu Udara Pengering (°C)	
	Kontrol <i>Fuzzy</i>	Kontrol <i>Ekspert</i>
0	28	30
2	35	47
4	45	50
6	53	54
8	59	61
10	61	60
12	60	60
14	60	61

Lampiran 4. Hasil pengamatan suhu pada sistem *hybrid* dan *non hybrid* dengan menggunakan heater 1500 Watt

Waktu (menit)	Suhu Udara Pengeriing (°C)	
	Sistem <i>Hybrid</i>	Sistem <i>Non Hybrid</i>
0	30	27
2	47	36
4	50	46
6	54	52
8	61	59
10	60	60
12	60	59
14	61	61

Lampiran 5. Hasil pengukuran suhu udara pengering dengan sistem *hybrid* dan *non hybrid* selama proses pengeringan

Waktu (menit)	suhu udara pengering (°C)	
	Sistem <i>Non Hybrid</i>	Sistem <i>Hybrid</i>
0	27	28
60	59	35
120	60	45
180	59	53
240	59	59
300	59	61
360	60	60
420	60	-

Lampiran 6. Hasil pengukuran suhu dan daya listrik yang digunakan pada sistem hybrid dan non hybrid.

Waktu (menit)	Suhu (°C)		Daya listrik (Watt)	
	Sistem <i>Non Hybrid</i>	Sistem <i>Hybrid</i>	Sistem <i>Non Hybrid</i>	Sistem <i>Hybrid</i>
0	27	28	1480	1480
60	59	35	1480	800
120	60	45	1480	800
180	59	53	1480	500
240	59	59	1480	500
300	59	61	1480	800
360	60	60	1480	800
420	60	-	1480	-

Lampiran 7. Hasil pengukuran berat tepung sagu setelah proses pengeringan pada sistem *hybrid* dan *non hybrid*

Rak	Berat bahan (g)	Berat tepung sagu setelah pengeringan (g)	
		Sistem <i>Hybrid</i>	Sistem <i>Non hybrid</i>
1	1000	584,44	683,34
2	1000	586,39	690,14
3	1000	587,28	687,56
4	1000	581,99	681,74
5	1000	583,65	692,95
6	1000	581,79	695,52
7	1000	596,09	702,08
8	1000	596,65	695,86
9	1000	609,04	719,86
10	1000	624,48	697,43

Lampiran 8. Hasil pengukuran kadar air setiap wadah

NO	Waktu (menit)	Wadah atas (g)	Wadah tengah (g)	Wadah bawah (g)
1	60	51.75	52.07	52.47
2	120	49.91	50.54	51.68
3	180	48.14	48.29	50.33
4	240	45.48	45.58	48.59
5	300	44.06	43.39	47.41
6	360	42.32	41.52	45.24

Lampiran 9. Hasil pengukuran penggunaan energi listrik

Waktu (menit)	Sistem <i>Non Hybrid</i>		Sistem <i>Hybrid</i>		rata- rata
	Energi listrik (kWh)	Laju penggunaan energi listrik (kWh/h)	Energi listrik (kWh)	laju penggunaan energy listrik (kWh/h)	
0	120.96	0	106.84	0	0
60	121.24	0.28	107.94	1.1	0.69
120	122.36	1.12	109.06	1.12	1.12
180	123.48	1.12	110.1	1.04	1.08
240	124.54	1.06	110.87	0.77	0.915
300	125.51	0.97	111.73	0.86	0.915
360	126.57	1.06	112.62	0.89	0.975
420	127.84	1.27	-	-	-
Total	6.88		5.78	-	5.695

Lampiran 10. Penghematan energi listrik

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

$$Q_p = \left(\frac{5,66 \text{ kWh} - 4,74 \text{ kWh}}{5,66 \text{ kWh}} \right) \times 100\%$$

$$Q_p = 16,25 \%$$

Lampiran 11. Hasil pengamatan pada kWh meter penggunaan energi listrik pada pengeringan sagu segar dengan daya heater 1500 Watt

Lama pengeringan (jam)	Suhu udara pengeringan (°C)		kWh meter (kWh)		Blower	
	Hybrid	Non-Hybrid	Heater, Hybrid	Heater non-hybrid	Hybrid	Non Hybrid
0	28	28	-	-	-	-
1	60	44	1,48	1,72	-	-
2	60	46	1,54	1,56	-	-
3	60	48	0,82	1,72	-	-
4	61	50	1,22	1,70	-	-
5	61	51	1,17	1,74	-	-
6	61	53	1,43	1,72	-	-
7	-	53	1,40	1,73	1,044	1,218
Konsumsi listrik total (kWh)			5,78	6,88		
(kWh meter hybrid/non hybrid – Energi blower)			4,736	5,662		
Penghematan %			16,25			

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

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

Blower aktif = 6 jam

Listrik yang dikonsumsi blower = $174 * 6 = 1.044 \text{ Wh} = 1,044 \text{ kWh}$

Blower aktif = 7 jam

Listrik yang dikonsumsi blower = $174 * 7 = 1.218 \text{ Wh} = 1,218 \text{ kWh}$

Lampiran 12. Perhitungan energi udara pengering

A) Dengan Mekanisme Hybrid

Data-data yang digunakan:

- Suhu udara pengering rata rata, $T_2 = 56 \text{ }^\circ\text{C} = 329,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- Suhu udara pengering rata rata, $T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C} = 323,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- Suhu udara lingkungan rata rata, $T_1 = 34 \text{ }^\circ\text{C} = 307,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- Kecepatan udara pada saluran $v = 0,032 \text{ m}^3/\text{s}$
- Berat spesifik udara, $\rho = 1,025 \text{ kg/m}^3$
- panas spesifik udara, $C_p = 1,017 \text{ kJ/kg }^\circ\text{K}$
- lama pengeringan, $t = 6 \text{ jam}$, yaitu = 4 jam (14.400 s) Oven, 2 jam *dryer* (7.200 s)

Perhitungan

a. Kondisi Oven = 4 jam = 14.400 s

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

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

$$Q = 0,032(\text{m}^3/\text{s}) * 1,025(\text{kg}/\text{m}^3) * 1.017(\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{K}) * (329,15 - 323,15)$$
$$= 0,20015 \text{ kJ/s}$$

$$E_1 = Q * t = 0,20015 * 14.400 = 2.882 \text{ kJ}$$
$$= 2,88 \text{ MJ}$$

b. Kondisi *Dryer* = 2 jam = 7.200 s

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

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

$$Q = 0,032(\text{m}^3/\text{s}) * 1,025 (\text{kg}/\text{m}^3) * 1.017(\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{K}) * (329,15 - 307,15) = 0,734 \text{ kJ/s}$$

$$E_2 = Q * t = 0,734 * 7.200 = 5.283 \text{ kJ} = 5,283 \text{ MJ}$$

$$E \text{ total} = E_1 + E_2 = 8,816 \text{ MJ (pada sistem hibryd)}$$

$$E_{ud} = Q * t = 0,734 * 21.600 = 15.854 \text{ MJ (pada sistem hibryd)}$$

B) Dengan Mekanisme Non Hybrid

Data-data yang digunakan sebagai berikut:

- Suhu udara pengering, $T_2 = 53 \text{ }^\circ\text{C} = 326,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- Suhu udara lingkungan, $T_1 = 34 \text{ }^\circ\text{C} = 307,15 \text{ }^\circ\text{K}$
- Kecepatan udara pada saluran $v = 0,0529 \text{ m}^3/\text{s}$
- $\rho = 1,025 \text{ kg}/\text{m}^3$ (berat spesifik udara)
- $C_p = 1,017 \text{ kJ}/\text{kg }^\circ\text{K}$ (panas spesifik udara)
- $T = 7 \text{ jam} = 52.200 \text{ s}$ (lama pengeringan)

Perhitungan

a. Kondia oven 5 jam = 18.000 s

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

$$Q = 0,0328 (\text{m}^3/\text{s}) * 1,025(\text{kg}/\text{m}^3) * 1.017(\text{kJ}/\text{kg}^\circ\text{K}) * (326,15 - 307,15) = 0,6497 \text{ kJ/s}$$

$$E_{ud} = Q * t = 0,6497 * 25.200 = 16,372 \text{ MJ (pada sistem non hybrid)}$$

Lampiran 13. Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme Non Hybrid

Energi Pengeringan dengan mekanisme hybrid daya 1500 Watt

Data-data

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 $W_{akhir} = 6,946 \text{ kg}$

Suhu mula-mula sagu, $T_o = 28 \text{ }^\circ\text{C}$

Suhu sagu selama pengeringan, $T_s = 44 \text{ }^\circ\text{C}$

Panas spesifik sagu, $C_{ps} = 1,2 \text{ kJ}/\text{kg }^\circ\text{C}$

Panas spesifik air, $C_{pa} = 4,2 \text{ KJ}/\text{kg}^\circ\text{K}$

Panas latent penguapan pada suhu jenuh 60°C, $h_{fg} = 2358 \text{ kJ/kg}$ air

Energi listrik yang digunakan, $Q_{in} = 5,662 \text{ kWh} = 20,3832 \text{ MJ}$

Energi udara pengering, $Q_{up} = 13,288 \text{ MJ}$

Perhitungan energi pengeringan

b. Berat air yang diuapkan,

$$W_a = 10 \text{ kg} - 6,94 \text{ kg} = 3,06 \text{ kg}$$

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

$$\text{maka berat air } (42/100) * 10 = 4,2 \text{ kg}$$

$$\text{berat patih} = 10 - 4,2 = 5,8 \text{ kg}$$

Panas sensible air sagu untuk menaikkan suhu air sagu

$$Q_{as} = m_{as} * C_{as} (T_{s2} - T_{s1}) = 4,2 * 4,2 * (44 - 28) \\ = 282,24 \text{ KJ} = 0,282 \text{ MJ}$$

$$\text{Panas sensible pati sagu, } Q_{ps} = m_s * C_{ps} (T_{s2} - T_{s1}) \\ = 5,8 * 1,2 * (44 - 28) = 0,109 \text{ MJ}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam sagu

$$\text{Energi penguapan air, } Q_p = W_a * h_{fg} = 3,06 * 2358 \\ = 7.215 \text{ kJ} = 7,215 \text{ MJ}$$

Panas total yang diperlukan pengeringan sagu pada non hybrid

$$Q_t = Q_{as} + Q_{ps} + Q_p = 0,282 + 0,109 + 7,215 \\ = 7,606 \text{ MJ}$$

- Efisiensi pengeringan pada *non hybrid* $\eta_p = (Q_t / Q_{up}) * 100 \%$
 $= (7,606 / 16,372) * 100 \%$
 $= 46,56 \%$
- Efisiensi termal tungku listrik mesin pada *non hybrid* η_{tk}
 $= (Q_{up} / Q_{heater}) * 100 \%$
 $= (16,372 / 20,38) * 100 \%$
 $= 80,33 \%$
- Efisiensi termal mesin pengering pada *non hybrid*, η_{ms}
 $= (7,606 / 16,372) * 100 \%$
 $= 37,29 \%$

Lampiran 14. Perhitungan efisiensi mesin dengan mekanisme *hybrid*

Energi Pengeringan dengan mekanisme *hybrid* daya 1500 Watt

Data-data

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 $W_{akhir} = 5,931 \text{ kg}$

Suhu mula-mula sagu, $T_o = 28 \text{ }^\circ\text{C}$

Suhu sagu selama pengeringan, $T_s = 41 \text{ }^\circ\text{C}$

Panas spesifik sagu, $C_{ps} = 1,2 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$

Panas spesifik air, $C_{pa} = 4,2 \text{ KJ/kg}^\circ\text{K}$

Panas latent penguapan pada suhu jenuh 60°C , $h_{fg} = 2358 \text{ kJ/kg air}$

Energi listrik yang digunakan, $Q_{in} = 4,736 \text{ kWh} = 17,0496 \text{ MJ}$

Energy heater = (energy total-energi blower)

Energy udara pengering, $Q_{up} = 14,26 \text{ MJ}$

Perhitungan energi pengeringan

c. Berat air yang diuapkan, $W_a = 10\text{kg} - 5,931 \text{ kg} = 4,069 \text{ kg}$

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

maka berat air $(42/100) * 10 = 4,2\text{kg}$ dan berat pati = $10 - 4,2 = 5,8 \text{ kg}$

Panas sensible air sagu untuk menaikkan suhu air sagu

$$Q_{as} = m_{as} * C_{as} (T_{s2} - T_{s1}) = 4,2 * 4,2 * (42 - 28) = 282,24 \text{ KJ}$$

$$= 0,246 \text{ MJ}$$

Panas sensible pati sagu, $Q_{ps} = m_s * C_{ps} (T_{s2} - T_{s1}) = 5,8 * 1,2 * (42 - 28)$

$$= 97,44 \text{ kJ} = 0,097 \text{ MJ}$$

Panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air di dalam sagu

$$\text{Energi penguapan air, } Q_p = W_a * h_{fg} = 4,069 * 2358 = 9.594 \text{ kJ} = 9,594 \text{ MJ}$$

Panas total yg diperlukan pengeringan sagu dengan sistem *hybrid*

$$Q_t = Q_{as} + Q_{ps} + Q_p = 0,246 + 0,097 + 9,594 \\ = 9,937 \text{ MJ}$$

- Efisiensi pengeringan pada *hybrid* η_p
 $= (Q_t / Q_{up}) * 100\% = 9,937 / 15,854) \times 100\%$
 $= 62,67 \%$
- Efisiensi termal tungku listrik mesin pada *hybrid* $\eta_{tk} = (Q_{up} / Q_{in}) * 100\%$
 $= (15,854 / 17,0496) \times 100 \%$
 $= 92,98 \%$
- Efisiensi termal mesin pengering pada *hybrid*, η_{ms}
 $= (9,937 / 17,0496) \times 100 \%$
 $= 58,28 \%$
- Perbandingan efisiensi
 $= \text{efisiensi mesin pengering } hybrid - \text{efisiensi pengering } non \text{ hybrid}$
 $= 58,28 \% - 37,29 \%$
 $= 20,99 \%$
 $= 21 \%$

Lampiran 16. Dokumentasi Penelitian.



(a). Alat pengering;



(b). Hardware sistem kontrol



(d). Mengupload program



(e). Pengukuran laju udara



(f). Pengukuran suhu bahan



(e). Penimbangan bahan



(f). Pemasukan bahan



(g). Penimbangan sampel



(h) Penimbangan bahan



(i) Pengukuran kadar air (oven)



(j) Hasil pengeringan