

OPTIMISASI MULTI-OBJEKTIF PADA KINETIKA PENGERINGAN KABINET SURYA

Muhammad Burhanuddin Fauzi^{1,2)}, Muhammad Irfan Dzaky²⁾*

¹⁾ Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia,

Jl. PB. Sudirman no 090 Jember, Jawa Timur, Indonesia, 68118

¹⁾ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,

Pondok Cina, Kecamatan Beji, Kota Depok, Jawa Barat 16424

*email korespondensi: muhammad.irfan911@ui.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Received:
28/09/2022

Accepted:
17/10/2022

Online-Published:
25/10/2022

ABSTRAK

Pengeringan merupakan salah satu metode untuk meningkatkan waktu penyimpanan bahan organik seperti buah, biji dan sayur, Metode pengeringan paling murah yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan panas dari sinar matahari. Penelitian yang dilakukan adalah melakukan optimasi terhadap sistem pengeringan yang telah ada dengan menggunakan software Design Expert dan MATLAB dengan menggunakan metode Multiobjective optimization genetic algorithm (MOGA). Berdasarkan optimasi yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa hasil optimasi yang berkaitan dengan variabel pengeringan yaitu laju aliran, panas yang diberikan, beban pengeringan, dan ketebalan yang dilihat berdasarkan hasil nilai kinetika pengeringan minimal serta lama waktu pengeringan minimal pada DE-MOGA, nilai TOPSIS drying time (f1) adalah 35613.9 detik dan drying constant (f2) adalah $6,125 \times 10^{-5}$ 1/detik dengan parameter input flow rate (x1) adalah 0,037178 kg/detik, heat input (x2) adalah 640,036 W/m², loading density (x3) adalah 1,418 kg/m², dan thickness (x4) adalah 0,00662 m. Hasil optimasi ini sangat penting untuk memperoleh hasil produksi pengeringan yang optimal dan data yang ada dapat digunakan untuk perancangan pada material yang lain.

Kata Kunci : Pengering, Optimasi, Pengering kabinet surya, MATLAB, Design Expert

ABSTRACT

Drying is one method to increase the storage time of organic materials such as fruit, seeds and vegetables. The cheapest drying method that can be used is to use heat from the sun. The research carried out is to optimize the existing drying system using Design Expert software and MATLAB using the Multiobjective optimization genetic algorithm (MOGA) method. Based on the optimization that has been done, it can be concluded that the optimization results related to drying variables are flow rate, heat applied, drying load, and thickness which are seen based on the results of the minimum drying kinetics value and the minimum drying time on DE-MOGA, TOPSIS drying value. time (f1) is 35613.9 seconds and drying constant (f2) is $6,125 \times 10^{-5}$ 1/second with parameter flow rate (x1) is 0,037178 kg/second, heat input (x2) is 640,036 W/m², loading density (x3) is 1.418 kg/m², and thickness (x4) is 0.00662 m. The results of this optimization are very important to obtain optimal drying production results and the existing data can be used for design on other materials.

Keywords : Dryer, Optimization, Solar cabinet dryer, MATLAB, Design Expert

© 2022 The Authors. Published by
Machinery: Jurnal Teknologi Terapan

doi:
<http://doi.org/10.5281/zenodo.7246820>

1 PENDAHULUAN

Energi matahari digunakan untuk melakukan pengeringan dengan suhu rendah dan sering dikombinasikan dengan sumber energi lain seperti heater atau energi tidak terbarukan untuk melakukan pengeringan pada suhu tinggi. Pengeringan adalah proses yang kompleks, yang melibatkan fenomena perpindahan panas dan massa secara simultan. Aspek dasar dari pengeringan adalah mengurangi kadar air dengan memanaskan sampel (yang akan dikeringkan) dengan sirkulasi udara yang membawa uap air yang dilepaskan dari sampel. Permasalahan yang umumnya terjadi pada proses pengeringan dengan memanfaatkan sinar matahari adalah tergantungnya proses pengeringan dengan cuaca. Seringkali waktu pengeringan dengan memanfaatkan sinar matahari menjadi lebih lama ketika musim hujan. Suatu alat pengering dapat dipengaruhi oleh flow udara pengering, kalor input ruang pengering, densitas material yang dikeringkan serta ketebalan tumpukan material. Oleh sebab itu dibutuhkan kondisi yang tepat untuk membuat suatu alat pengering yang bekerja secara optimum. *Solar cabinet dryer* (SCD) tipe tidak langsung, campuran, dan hibrid lebih banyak digunakan dari pada pengering kabinet tipe alami atau langsung untuk pengeringan produk pertanian dengan tenaga surya. Perbandingan SCD langsung, campuran, dan hibrid berdasarkan penelitian menunjukkan bahwa SCD mode tidak langsung memiliki performa lebih baik dan dapat menghasilkan produk lebih berkualitas dengan waktu pengeringan yang lebih singkat. Kekurangan dari pengering kabinet langsung dapat menyebabkan sampel yang dikeringkan *burn out* dikarenakan pengeringan berlebihan atau paparan langsung yang menyebabkan penurunan kualitas produk (terutama produk yang harus dihindarkan dari sinar matahari) dan membutuhkan waktu pengeringan yang lebih lama. Hasil penelitian Hegde menyimpulkan bahwa pisang yang dikeringkan dengan kecepatan udara 1 m/s menghasilkan produk dengan kualitas yang lebih baik. Nilai efisiensi pengeringan yang diperoleh untuk aliran atas dan aliran bawah masing-masing adalah 27,5 dan 38,2%. Arun membandingkan pengeringan dua produk pertanian, yaitu irisan pisang dan pare, dengan perbedaan besar dalam kadar air awalnya. Eksperimen di luar ruang yang dilakukan pada SCD tidak langsung menyimpulkan perbedaan nyata dalam perilaku pengeringan di bawah kondisi operasi yang serupa. Irisan pisang berhasil dikeringkan dalam waktu 10 jam, sedangkan irisan pare belum kering dalam waktu yang sama. Investigasi pengeringan serupa dilakukan pada SCD hibrid yang dilakukan oleh Dejchanchaiwong pada lembaran karet; Lakshmi tentang kunyit hitam; Abubakar tentang irisan ubi; César tentang irisan tomat; Arun tentang irisan pisang; Lakshmi tentang daun stevia; dan Kuhe pada jagung, juga dicoba untuk menghitung kurva karakteristik pengeringan terkait, waktu pengeringan, dan efisiensi pengeringan. Literatur yang dikutip menekankan bahwa waktu pengeringan atau efisiensi pengeringan bervariasi sehubungan dengan pilihan produk yang akan dikeringkan dan parameter operasi yang diadopsi, terlepas dari batasan dari SCD. Hal ini meningkatkan kesulitan dalam mengevaluasi efektivitas pengering kabinet, karena setiap variasi parameter akan menghasilkan kurva kinetika pengeringan yang berbeda. Berdasarkan referensi, kinetika dan lama waktu pengeringan dipengaruhi oleh parameter yang berbeda. Tujuan makalah ini adalah mengetahui hasil optimasi yang berkaitan dengan variabel input pengeringan yaitu laju aliran, panas yang diberikan, beban pengeringan, dan ketebalan yang dilihat berdasarkan hasil respon nilai kinetika pengeringan serta lama waktu pengeringan. *Multiobjective optimization genetic algorithm* (MOGA) digunakan untuk mengidentifikasi parameter input yang optimal untuk realisasi kinetika pengeringan dan lama waktu pengeringan yang singkat (minimum).

2. BAHAN DAN METODA

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data eksperimen yang telah dilakukan, lalu dilanjutkan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB. Data yang digunakan untuk optimasi diperoleh dari Raj dan Jayaraj. Data yang diolah berdasarkan jurnal terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data input dan response

<i>Input</i>				<i>Response</i>	
kg/s	W/m ²	kg/m ²	m	s	1/s
<i>Flow rate</i>	<i>Heat input</i>	<i>Loading density</i>	<i>Thickness</i>	<i>Drying Time</i>	<i>Drying constant</i>
0.03	1000	1.5	0.004	32400	0.0000714
0.04	1000	1.5	0.004	28800	0.0000816
0.05	1000	1.5	0.004	25200	0.0000932
0.03	1000	1.5	0.004	39600	0.0000514
0.03	800	1.5	0.004	36000	0.0000591
0.03	500	1.5	0.004	32400	0.0000711
0.03	1000	1	0.004	28800	0.0000820
0.03	1000	1.5	0.004	32400	0.0000704

0.03	1000	2.5	0.004	43200	0.0000478
0.03	1000	1.5	0.002	28800	0.0000812
0.03	1000	1.5	0.004	32400	0.0000708
0.03	1000	1.5	0.008	43200	0.0000481

Variabel keputusan adalah daerah variabel yang dikehendaki yang digunakan untuk mencari nilai optimum dari fungsi objektif. Pada Tabel 2 terlihat variabel keputusan yang digunakan pada penelitian ini beserta dengan rentang nilai yang digunakan.

Tabel 2. Variabel input dan rentang nilai yang digunakan.

Variabel input	Simbol	Rentang nilai
Flow rate	x1	0,03 x1 0,05
Heat input	x2	500 x2 1000
Loading density	x3	1,0 x3 2,5
Thickness	x4	0,002 x4 0,008

Fungsi objektif dapat diperoleh dengan cara mencari 2 respon yang saling berlawanan. Data respon pada jurnal, terlihat bahwa jika drying time semakin besar nilainya maka drying constant akan semakin kecil. Sedangkan yang diinginkan adalah jika drying time semakin kecil maka nilai drying constant juga semakin kecil. Maka formulasi fungsi objektif dapat dituliskan menjadi:

$$f_1 = \text{minutes drying time} = f_1(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad (1)$$

$$f_2 = \text{minutes drying constant} = f_2(x_1, x_2, x_3, x_4) \quad (2)$$

Pada penelitian ini menggunakan metode *Response Surface Methodology* (RSM) dengan menggunakan perangkat lunak Design Expert (DE) 13 dan akan dioptimasi dengan menggunakan metode *Multiobjective optimization genetic algorithm* (MOGA) dengan perangkat lunak Matlab 2015b untuk memperoleh nilai optimum dari f1 dan f2 dari *pareto front*.

Dalam menyelesaikan masalah titik optimum dari hasil optimasi diperlukan metode *Technique For Others Reference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Persamaan yang digunakan antara lain sebagai berikut;

$$i_j = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{ij}^2}} \quad (3)$$

Dengan keterangan, i_j ialah data yang telah dinormalisasi dan x_{ij} ialah data yang belum dinormalisasi.

$$i_{y_j} = \frac{y_j}{\sum_{j=1}^m y_j} \quad (4)$$

Dengan keterangan, i_{y_j} ialah data nilai fungsi objektif dan y_j ialah bobot fungsi objektif.

$$z_j^+ = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot i_{y_j}) \quad (5)$$

Dengan keterangan, z_j^+ ialah jarak terbobot pada solusi ideal positif dan z_j^- ialah solusi ideal positif.

$$z_j^- = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot i_{y_j}) \quad (6)$$

Dengan keterangan, z_j^- ialah jarak terbobot pada solusi ideal negatif dan z_j^+ ialah solusi ideal negatif.

$$a_{ij} = \frac{z_j^+}{z_j^-} \quad (7)$$

Dengan keterangan, a_{ij} ialah nilai preferensi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

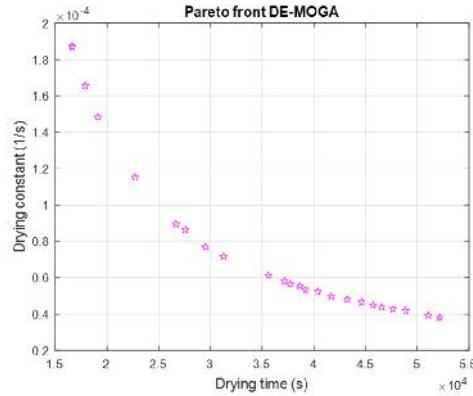
Dengan menggunakan perangkat lunak design expert maka diperoleh rekomendasi model linear pada *drying time* dan *drying constant* sebagai berikut.

$$f_1 = (1.5 * x_1 + 9420 * x_2 + 2355000 * x_3 + 22770 * x_4) \quad (8)$$

(9)

$$\text{Drying constant} = (-2.49179 * x1) + (1.23199 * x2) + (5701.94144 * x3) + (1387370 * x4) - 7532.0056e$$

Selanjutnya persamaan diatas akan dilakukan optimasi dengan menggunakan Matlab dengan menggunakan metode solver *gamultiobj* (MOGA) sehingga diperoleh hasil solusi optimalisasi sebagai berikut.



Gambar 1. Pareto front optimasi dari DE-MOGA Matlab

Optimasi dengan DE-MOGA pada MATLAB juga menghasilkan *function values and decision variables* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Function values and decision variables* DE-MOGA MATLAB

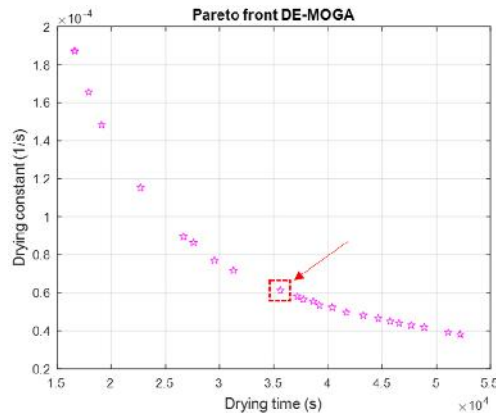
f1	f2	x1	x2	x3	x4
51103.20	3.92E-05	0.031616	601.5685	2.483100	0.007878
52144.95	3.84E-05	0.030142	599.9038	2.495192	0.007985
16617.45	1.87E-04	0.048651	704.1930	1.014338	0.002364
52144.95	3.84E-05	0.030142	599.9038	2.495192	0.007985
22738.97	1.15E-04	0.035956	704.1930	1.045588	0.002364
19107.76	1.48E-04	0.045273	684.7196	1.112037	0.002384
37205.84	5.79E-05	0.033979	680.5233	1.720634	0.005437
48858.11	4.15E-05	0.030172	615.8186	2.145912	0.007983
39158.97	5.33E-05	0.047627	668.8238	2.056229	0.007591
27556.22	8.63E-05	0.038847	663.7475	1.165057	0.004521
44610.30	4.64E-05	0.030658	616.7141	1.963950	0.007001
26702.70	8.95E-05	0.040803	628.5994	1.607277	0.002793
31248.67	7.15E-05	0.045256	686.8418	1.747206	0.004995
29487.87	7.71E-05	0.047623	668.9165	1.560309	0.005467
40408.58	5.20E-05	0.036117	686.9440	1.912599	0.006441
17863.45	1.66E-04	0.046665	701.3943	1.032576	0.002435
47631.44	4.26E-05	0.033146	646.7869	2.483050	0.006673
37720.50	5.66E-05	0.036407	658.2529	2.050716	0.004822
35613.94	6.12E-05	0.037178	640.0358	1.417867	0.006621
38673.71	5.54E-05	0.033131	637.1254	1.367769	0.007334
16617.45	1.87E-04	0.048651	704.1930	1.014338	0.002364
46526.38	4.37E-05	0.036197	633.2811	2.431770	0.007012
43229.36	4.80E-05	0.033003	662.4320	1.948586	0.006904
45759.88	4.47E-05	0.034250	655.3245	2.126460	0.007514
41656.53	4.99E-05	0.040024	686.9446	1.914979	0.007723

Selanjutnya dilakukan TOPSIS untuk hasil optimasi DE-MOGA ditampilkan pada table berikut ini

Tabel 4. TOPSIS DE-MOGA

No.	f1	f2	w1	w2	y1	y2	D+i	D-i	Vi	Rank
1	51103.2	3.924E-05	3	3	0.804	0.265	0.543	1.000	0.648	18
2	52145.0	3.836E-05	3	3	0.820	0.259	0.559	1.006	0.643	19
3	16617.5	0.0001873	3	3	0.261	1.265	1.006	0.559	0.357	24
4	52145.0	3.836E-05	3	3	0.820	0.259	0.559	1.006	0.643	19
5	22739.0	0.0001152	3	3	0.358	0.778	0.528	0.672	0.560	21
6	19107.8	0.0001483	3	3	0.301	1.002	0.744	0.583	0.439	22
7	37205.8	5.795E-05	3	3	0.585	0.391	0.350	0.905	0.721	3
8	48858.1	4.152E-05	3	3	0.769	0.281	0.508	0.986	0.660	17
9	39159.0	5.335E-05	3	3	0.616	0.360	0.369	0.927	0.716	5
10	27556.2	8.632E-05	3	3	0.433	0.583	0.367	0.784	0.681	12
11	44610.3	4.637E-05	3	3	0.702	0.313	0.444	0.959	0.684	11
12	26702.7	8.945E-05	3	3	0.420	0.604	0.380	0.773	0.670	15
13	31248.7	7.146E-05	3	3	0.492	0.483	0.321	0.849	0.726	2
14	29487.9	7.709E-05	3	3	0.464	0.521	0.331	0.825	0.714	7
15	40408.6	5.203E-05	3	3	0.636	0.351	0.385	0.932	0.707	8
16	17863.4	0.0001657	3	3	0.281	1.120	0.861	0.559	0.394	23
17	47631.4	4.258E-05	3	3	0.749	0.288	0.489	0.980	0.667	16
18	37720.5	5.664E-05	3	3	0.593	0.383	0.354	0.911	0.720	4
19	35613.9	6.125E-05	3	3	0.560	0.414	0.336	0.890	0.726	1
20	38673.7	5.545E-05	3	3	0.608	0.375	0.366	0.915	0.715	6
21	16617.5	0.0001873	3	3	0.261	1.265	1.006	0.559	0.357	24
22	46526.4	4.369E-05	3	3	0.732	0.295	0.472	0.974	0.674	14
23	43229.4	4.805E-05	3	3	0.680	0.325	0.424	0.951	0.692	10
24	45759.9	4.473E-05	3	3	0.720	0.302	0.460	0.968	0.678	13
25	41656.5	4.99E-05	3	3	0.655	0.337	0.402	0.943	0.701	9
Solusi ideal positif					0.261	0.259				
Solusi ideal negatif					0.820	1.265				

Sehingga diperoleh hasil optimasi dengan menggunakan DE-MOGA dalam *pareto front* ditunjukkan pada grafik berikut ini



Gambar 2. Titik kondisi optimal pada *Pareto front* dengan metode DE-MOGA.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil optimasi yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan bahwa hasil optimasi yang berkaitan dengan variabel pengeringan yaitu laju aliran, panas yang diberikan, beban pengeringan, dan

ketebalan yang dilihat berdasarkan hasil nilai kinetika pengeringan minimal serta lama waktu pengeringan minimal pada DE-MOGA, nilai TOPSIS *drying time* (f1) adalah 35613.9 detik dan *drying constant* (f2) adalah $6,125 \times 10^{-5}$ 1/detik dengan parameter *input flow rate* (x1) adalah 0,037178 kg/detik, *heat input* (x2) adalah 640,036 W/m², *loading density* (x3) adalah 1,418 kg/m², dan *thickness* (x4) adalah 0,00662 m. Nilai *drying time* dan *drying constant* diperoleh nilai yang optimum jika dibandingkan dengan hasil experiment sebelum dilakukan optimasi, yaitu sebesar 25200 detik dan 0,0000932 1/detik pada kondisi *drying time* minimum, serta nilai *drying time* dan *drying constant* pada kondisi *drying constant* minimum sebesar 43200 detik dan 0,0000478 1/detik.

DAFTAR PUSTAKA

- Raj, A., et al. (2019), *Performance analysis of a double-pass solar air heater system with asymmetric channel flow passages*. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, **136**(1): p. 21-38.
- Raj, A.K. and S. Jayaraj. (2021), *Development and assessment of generalized drying kinetics in multi-tray solar cabinet dryer*. Solar Energy, **226**: p. 112-121.
- Belessiotis, V. and E. Delyannis.(2011), *Solar drying*. Solar energy, **85**(8): p. 1665-1691.
- Kumar, M., S.K. Sansaniwal, and P. Khatak, (2016). *Progress in solar dryers for drying various commodities*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **55**: p. 346-360.
- El-Sebaei, A. and S. Shalaby, (2012). *Solar drying of agricultural products: A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, **16**(1): p. 37-43.
- Hegde, V.N., et al.(2015), *Design, fabrication and performance evaluation of solar dryer for banana*. Energy, sustainability and Society, **5**(1): p. 1-12.
- Arun, K., et al.(2020), *Drying of untreated Musa nendra and Momordica charantia in a forced convection solar cabinet dryer with thermal storage*. Energy, **192**: p. 116697.
- Dejchanchaiwong, R., et al. (2016), *Mathematical modeling and performance investigation of mixed-mode and indirect solar dryers for natural rubber sheet drying*. Energy for Sustainable Development, **34**: p. 44-53.
- Lakshmi, D., et al.(2018), *Drying kinetics and quality analysis of black turmeric (Curcuma caesia) drying in a mixed mode forced convection solar dryer integrated with thermal energy storage*. Renewable Energy, **120**: p. 23-34.
- Abubakar, S., et al.(2018), *Development and performance comparison of mixed-mode solar crop dryers with and without thermal storage*. Renewable energy, **128**: p. 285-298.
- César, L.-V.E., et al.(2020), *Thermal performance of a passive, mixed-type solar dryer for tomato slices (Solanum lycopersicum)*. Renewable Energy, **147**: p. 845-855.
- Arun, K., et al. (2019), *Active drying of unripened bananas (Musa Nendra) in a multi-tray mixed-mode solar cabinet dryer with backup energy storage*. Solar Energy, **188**: p. 1002-1012.
- Lakshmi, D., et al.(2019), *Performance analyses of mixed mode forced convection solar dryer for drying of stevia leaves*. Solar Energy, **188**: p. 507-518.
- Kuhe, A., et al.(2022), *Effect of air mass flow rate on the performance of a mixed-mode active solar crop dryer with a transpired air heater*. International Journal of Ambient Energy, **43**(1): p. 531-538.