

KINERJA GAS PENUKAR PANAS ALIRAN BALIK SHELL AND TUBE UNTUK PENGERING PERTANIAN

THE PERFORMANCE OF THE SHELL AND TUBE COUNTER FLOW HEAT EXCHANGER GASES FOR AGRICULTURAL DRYERS

Dandung Rudy Hartana^{1*}, Eka Yawara², Daru Sugati³, Amat Agus Salim⁴

¹Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Jalan Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281, Indonesia

*Email corresponding: dandung@itny.ac.id

²Email: eka.yawara@itny.ac.id

³Email: daru.tm@itny.ac.id

⁴Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jalan Ahmad Yani Tromol Pos I, Surakarta, 57102, Indonesia

⁴Email: u100220001@student.ums.ac.id

Cara sitasi : D. R. Hartana, E. Yawara, D. Sugati, A. A. Salim “Kinerja gas penukar panas aliran balik *shell and tube* untuk pengering pertanian”, *Kurvatek*, vol. 7, no. 2 (*Special Issue*), pp. 25 - 34, 2022, doi: 10.33579/krvtek.v7i2.3761 [Online].

Abstrak—Salah satu proses penting pasca panen padi adalah pengeringan. Pengeringan terbagi menjadi dua yaitu pengering alami (menggunakan sinar matahari) dan pengering buatan (menggunakan bantuan alat). Dalam penelitian ini pengeringan yang memanfaatkan panas dari tungku biomassa dan konfigurasi pipa penukar panas. Dimana pemanfaatan panas dan konfigurasi pipa penukar panas dalam desain dapat meningkatkan efisiensi termal karena udara panas buangan bercampur asap tetap dapat dimanfaatkan untuk pengeringan. Konfigurasi pipa penukar panas sangat berpengaruh terhadap tingkat kadar air yang diharapkan. Tujuan penelitian ini dilaksanakan untuk mengetahui kinerja penukar kalor *shell and tube counter flow* gas-gas alat pengering hasil pertanian dengan sumber panas dari biomassa dan menemukan pengaruh konfigurasi susunan pipa penukar panas (*heat exchanger*) pada proses kerja mesin pengering. Metode penelitian ini adalah sebuah deskriptif sistematis dan uji eksperimental kinerja pipa penukaran panas dengan sumber kalor dari tungku biomassa. Parameter kinerja pipa penukaran yang harus diketahui adalah suhu dan waktu. Hasil dari penelitian ini bahwa laju aliran udara yang dipanaskan berpengaruh terhadap LMTD (*log-mean temperature difference*), temperatur keluar udara yang dipanaskan, koefisien perpindahan panas dan efisiensi dengan variasi laju aliran udara yang dipanaskan sebesar 0,11 kg/s, 0,16 kg/s, 0,20kg/s, 0,24kg/s. Efisiensi tertinggi sebesar 94% pada laju aliran udara yang dipanaskan 0,24 kg/s dan efisiensi terkecil sebesar 74% terdapat pada nilai laju aliran udara yang dipanaskan 0,11 kg/s.

Kata kunci : pengeringan, biomassa, konfigurasi pipa, pipa penukar panas (*heat exchanger*)

Abstract—One of the important post-harvest processes of rice is drying. Drying is divided into two, namely natural drying (using sunlight) and artificial drying (using tools). In this study drying utilizes heat from a biomass furnace and a configuration of heat exchanger pipes. Where the utilization of heat and the configuration of heat exchanger pipes in the design can increase thermal efficiency because the exhaust hot air mixed with smoke can still be used for drying. The configuration of the heat exchanger pipe greatly influences the expected moisture content level. The purpose of this study was carried out to determine the performance of the shell and tube counter flow heat exchanger for agricultural dryer gases with a heat source from biomass and to find the effect of the configuration of the heat exchanger pipe arrangement on the working process of the drying machine. This research is an experimental test of the performance of heat exchange pipes with a heat source from a biomass furnace. The exchange pipe performance parameters that must be known are temperature and time. The method used in this study refers to experimental and descriptive methods, namely research conducted in a systematic, factual and accurate manner. The results of this study are that the heated air flow rate affects LMTD, heated air outlet temperature, heat transfer coefficient, and efficiency, with variations in the heated air flow rate of 0.11 kg/s, 0.16 kg/s, 0.20kg/s, 0.24kg/s. Highest efficiency of 94% at a heated air flow rate of 0.24 kg/s. and the smallest efficiency of 74% is found in the value of the heated air flow rate of 0.11 kg/s.

Keywords : dewatering, biomass, pipe configuration, heat exchanger pipe

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara agraris dengan sebagian besar penduduknya bekerja pada bidang pertanian salah satunya yaitu petani padi. Perlakuan pasca panen padi meliputi panen, perontokan, pengeringan, penyimpanan, penggilingan dan penyosohan [1]. Salah satu proses penting pasca panen padi adalah pengeringan [2] menjelaskan bahwa, pengeringan adalah cara pengawetan makanan dengan biaya rendah. Tujuan pengeringan adalah menghilangkan kadar air, mencegah fermentasi atau pertumbuhan jamur dan memperlambat perubahan kimia pada makanan.

Pengeringan terbagi menjadi dua yaitu pengering alami (menggunakan sinar matahari) dan pengering buatan (menggunakan bantuan alat). Pada pengeringan sinar matahari (*direct sundrying*), produk yang akan dikeringkan langsung dijemur di bawah sinar matahari [3] sedangkan pada pengeringan menggunakan alat pengering, produk yang akan dikeringkan diletakkan di dalam suatu alat pengering [4]. Pada konteks pengeringan modern, panas dipisah dari komponen asap dan gas buang lainnya melalui prinsip penukaran panas. Prosesnya berkembang sedemikian rupa hingga memandang bahwa komponen asap, gas dan material buang lainnya adalah kontaminan bagi bahan tertentu yang dikeringkan. Pemisahan panas dari asap, gas dan material buang lainnya menjadi salah satu tonggak pemanfaatan peralatan penukar panas [5]. menyatakan bahwa penggunaan penukar panas terutama untuk mengatasi kendala asap pengeringan dari pembakaran langsung disamping untuk mengefektifkan pengendalian suhunya. Penggunaan penukar panas dapat lebih mengefektifkan pengendalian suhu pengeringan dibandingkan dengan pengeringan langsung [6]. Pengembangan desain pengeringan sangat mempertimbangkan aspek bahan bakar. Dengan demikian desain peralatan didasarkan pada ketersediaan bahan bakar biomassa yang tersedia di Indonesia. Bahan bakar biomassa adalah sumber energi terbarukan. Penelitian yang memanfaatkan sumber energi terbarukan telah banyak dilakukan di berbagai negara untuk menghasilkan teknologi pengeringan [7]. melakukan diseminasi pengering surya tipe *green house effect* (GHE) di Indonesia untuk mengeringkan berbagai komoditas hasil pertanian dan perikanan yang memanfaatkan energi surya dan biomassa.

Hasil penelitian [8] pada uji tungku penukar kalor ini menunjukkan bahwa temperatur rata-rata di dalam tungku adalah 3400 °C dan *output* rata-rata temperatur yang dikeluarkan oleh pipa spiral adalah 1890 °C dengan waktu pembakaran selama 5 jam 10 menit dengan jumlah bahan bakar biomassa 11 kg. *Output* temperatur ini selanjutnya diteruskan ke oven pengering sehingga dapat digunakan untuk menurunkan kelembaban dari biji-bijian, buah-buahan hasil dari pertanian dan perkebunan. Hasil penelitian [9] menunjukkan bahwa penambahan sirip dan pipa penukar panas dapat meningkatkan kinerja tungku pembakaran biomassa. Panas yang dihasilkan kemudian dipindahkan ke dalam ruang pengering untuk menguapkan air bahan pangan yang akan dikeringkan. Muhazir dkk. [10] menyatakan bahwa laju perpindahan panas pada tungku biomassa terjadi peningkatan dengan seiring jalannya waktu pembakaran yang diberikan dan diberikan kecepatan udara yang bervariasi. Pada proses pembakaran pada tungku biomassa bahan bakar yang paling bagus adalah bahan bakar tempurung kelapa karena temperatur tertinggi pembakaran pada tungku biomassa mencapai 337°C dengan kecepatan udara 8.5 m/s. Dengan variasi kecepatan udara pada proses pengujian, hal ini menyebabkan semakin tinggi kecepatan udara maka akan semakin tinggi laju aliran massa dengan rata-rata sebesar 41.67 kg/s pada kecepatan udara sebesar 14.5 m/s.

Kinerja penukar panas memainkan peran penting dalam pemanfaatan energi yang efisien. Desain dan analisis penukar panas dapat dilakukan secara umum oleh LMTD [11]. Metode analisis penukar panas meliputi beda temperatur udara logaritmik atau *log-mean temperature difference* (LMTD) dan *effectivity of Number Transfer Unit* (ϵ -NTU) [12]. Efisiensi penukar panas didefinisikan sebagai perbandingan laju pindah panas aktual (q) dengan laju pindah panas optimum (q_{opt}). Laju pindah panas optimum adalah hasil perkalian UA penukar panas tersebut dengan beda temperatur udara aritmetiknya atau *Arithmetic Mean Temperature Difference* (AMTD). Adapun perbedaan penggunaan metode LMTD dengan ϵ -NTU adalah terletak pada jenis parameter yang diketahui untuk menentukan atau menghitung kondisi parameter [13]. Efisiensi penukar panas dapat dihitung dengan menilai koefisien perpindahan panas keseluruhan dan penurunan tekanan, tetapi peningkatan perpindahan panas harus lebih besar dari penurunan tekanan [14]. Penukar panas yang paling umum adalah *shell and tube due* karena mudah untuk perbaikan, pemeliharaan, dan fleksibilitas penggunaan [15]. Berdasarkan uraian sebelumnya maka tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui kinerja penukar kalor *shell and tube caunter flow* gas-gas alat pengering hasil pertanian dengan sumber panas dari biomasa dan menemukan pengaruh konfigurasi susunan pipa penukar panas (*heat exchanger*) pada proses kerja mesin pengering. Dimana pemanfaatan panas dan konfigurasi pipa penukar panas dalam desain dapat meningkatkan efisiensi termal karena udara panas buangan bercampur asap tetap dapat dimanfaatkan untuk pengeringan. Konfigurasi pipa penukar panas sangat berpengaruh terhadap tingkat kadar air yang diharapkan.

II. METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian dilakukan di laboratorium Aero Hidrodinamika Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Yogyakarta. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pipa penukar panas mana yang efisien dengan cara mengambil beberapa data yang dijadikan sebagai acuan. Data yang diambil berupa waktu (jam), suhu pada *inlet* pipa penukar panas ($^{\circ}\text{C}$), suhu pada *outlet* pipa penukar panas ($^{\circ}\text{C}$), suhu pada *inlet* udara blower ($^{\circ}\text{C}$), suhu pada *outlet* udara blower ($^{\circ}\text{C}$), suhu pada lingkungan ($^{\circ}\text{C}$). Data tersebut dapat dilihat pada alat ukur yang sudah dipasang seperti termometer kemudian data tersebut ditulis untuk diolah menggunakan perangkat komputer agar lebih cepat untuk membuat grafiknya sehingga meminimalisir terjadinya *human error*. Skema pengujian ini memiliki beberapa komponen utama diantaranya adalah tungku biomassa, pipa penukar panas, blower, serta beberapa alat ukur yang digunakan untuk pengambilan data. Skema pengujian ditunjukkan pada Gambar 1. Persamaan yang dapat digunakan dalam perpindahan panas adalah :

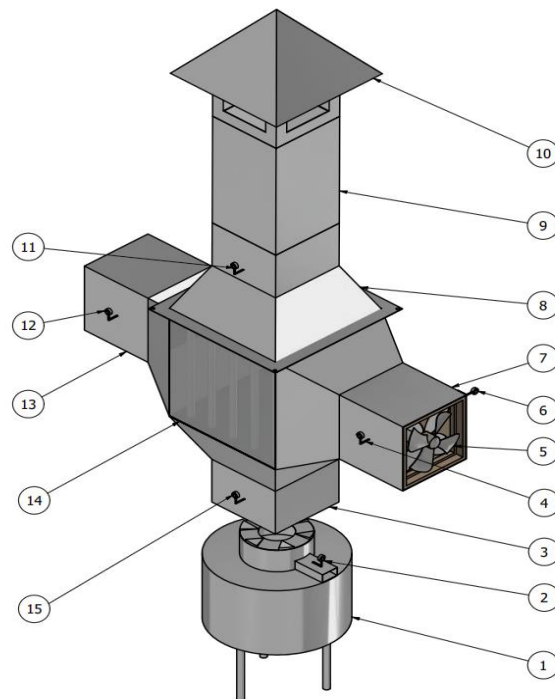
$$Q = U A \Delta T \quad (1)$$

LMTD digunakan dalam memperoleh nilai selisih temperatur dari fluida masuk dan keluar dari kalor

$$LMTD = \frac{\Delta T_{max} - \Delta T_{min}}{\ln \frac{\Delta T_{max}}{\Delta T_{min}}} \quad (2)$$

Efisiensi dapat diperoleh dari persamaan 3

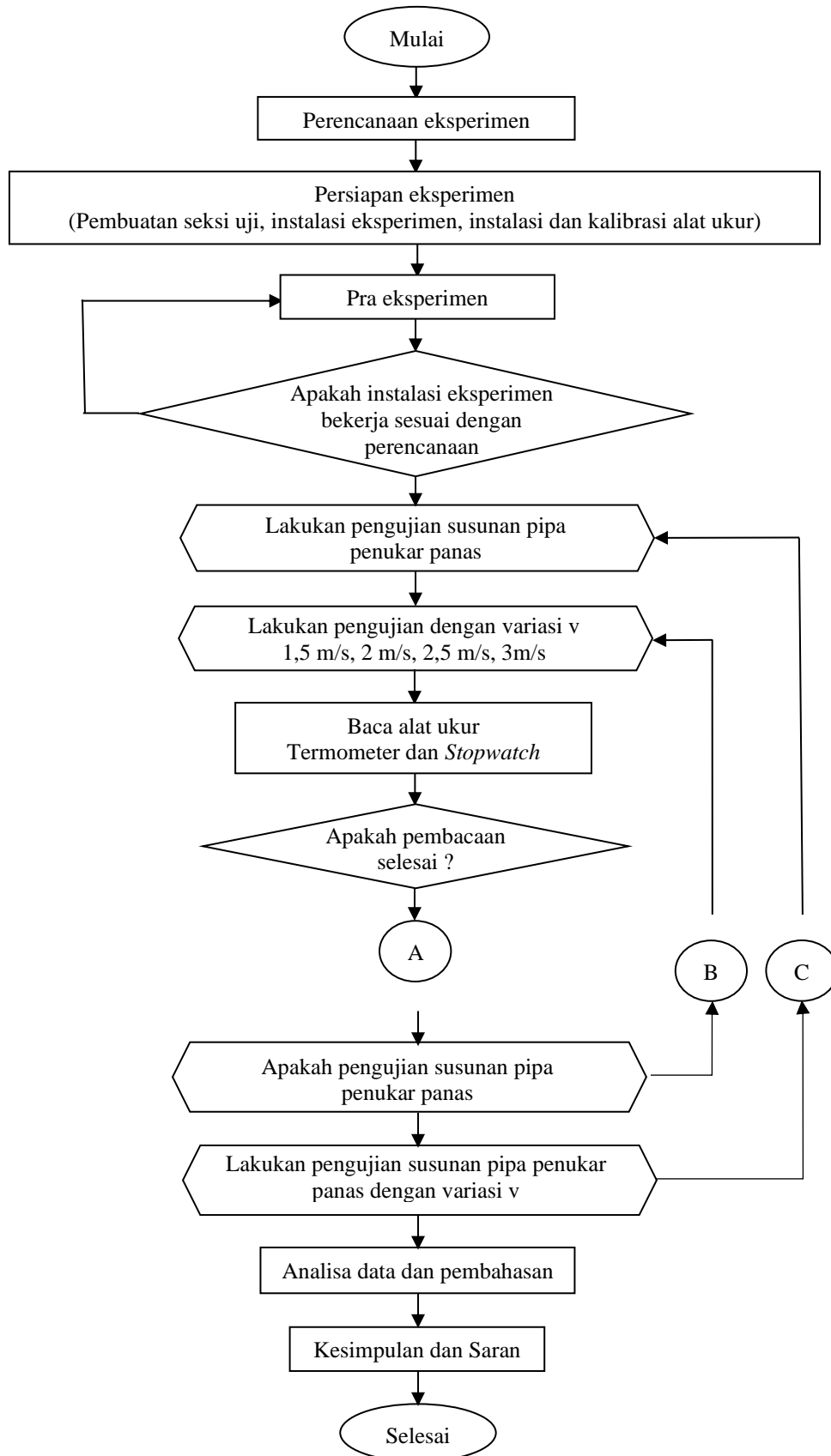
$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (3)$$



Gambar 1. Skema pengujian pengering dengan biomassa

Keterangan :

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. Tungku biomassa | 9. Saluran buang |
| 2. Anemometer | 10. Penutup dan saringan |
| 3. <i>Inlet</i> pipa penukar panas | 11. Termometer <i>outlet</i> pipa penukar panas |
| 4. Termometer <i>inlet</i> blower | 12. Termometer <i>outlet</i> blower |
| 5. Blower | 13. <i>Outlet</i> udara blower |
| 6. Anemometer | 14. Pipa penukar panas |
| 7. <i>Inlet</i> udara blower | 15. Termometer <i>inlet</i> pipa penukar panas |
| 8. <i>Outlet</i> pipa penukar panas | |



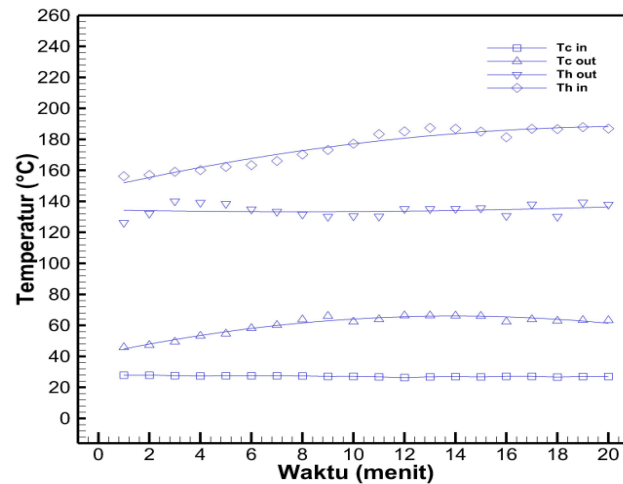
Gambar 2. Flowchart penelitian

III. HASIL DAN DISKUSI

Pad heat exchanger, suhu udara masuk ke pipa (*Thin*) berdasarkan suhu rata-rata dari tungku sebesar 270 °C, kemudian untuk suhu yang keluar dari pipa diukur menggunakan termokopel (*Thout*). Untuk suhu udara yang masuk dari blower (*Tcin*) dimana kecepatan udara divariasikan untuk mengetahui suhu udara yang diperoleh dari penukar kalor tersebut (*Tcout*). Pengujian pertama dilakukan untuk melihat pola distribusi temperatur pada setiap perubahan waktu. Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa pola distribusi temperatur memiliki pola yang hampir sama untuk variasi kecepatan udara yang sama seperti terlihat pada Gambar 3. Temperatur lingkungan tidak mengalami perubahan yang signifikan, sedangkan *Thout* temperatur yang masuk ke dalam penukar panas. *Tcout* merupakan temperatur keluar dari pipa penukar kalor. Ketika *Thin* mengalami kenaikan suhu maka temperatur yang ada pada *Thout* juga akan naik begitu juga dengan *Tcin* dimana temperatur udara yang masuk akan berpengaruh terhadap temperatur yang keluar.

Tabel 1. Data hasil pengujian

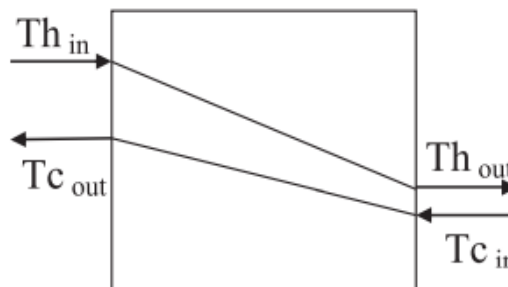
Waktu (min)	Tcin (°C)	Tcout (°C)	Thin (°C)	Thout (°C)
1	27,9	45,9	126,2	156,3
2	27,9	47,3	132,2	157,1
3	27,6	49,4	140,1	159,1
4	27,4	53,3	139,1	160,2
5	27,5	54,7	138,5	162,3
6	27,5	58,2	134,9	163,4
7	27,5	60,2	133,3	166,1
8	27,4	63,8	131,6	170,3
9	27,1	66,1	130,1	173,2
10	27,1	62,4	130,5	177,2
11	26,8	63,9	130,3	183,4
12	26,3	66,4	135,1	185,2
13	26,8	66,4	135,1	187,5
14	26,9	66,3	135,2	186,9
15	26,8	66,1	135,6	185,1
16	27,1	62,4	130,6	181,4
17	27,1	63,9	138,1	186,8
18	26,7	63	130,1	186,6
19	27	63,4	139,3	187,9
20	27	63,3	138	187



Gambar 3. Pola distribusi temperatur

A. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap LMTD

Dengan mengukur temperatur pada *Thin* suhu dari tungku sumber panas menggunakan termokopel kemudian pada keluar dari *outlet Thout* diukur juga menggunakan termokopel. Untuk *Tcin* dialirkan secara berlawanan arah menuju *Tcout* yang diukur temperaturnya menggunakan termokopel.

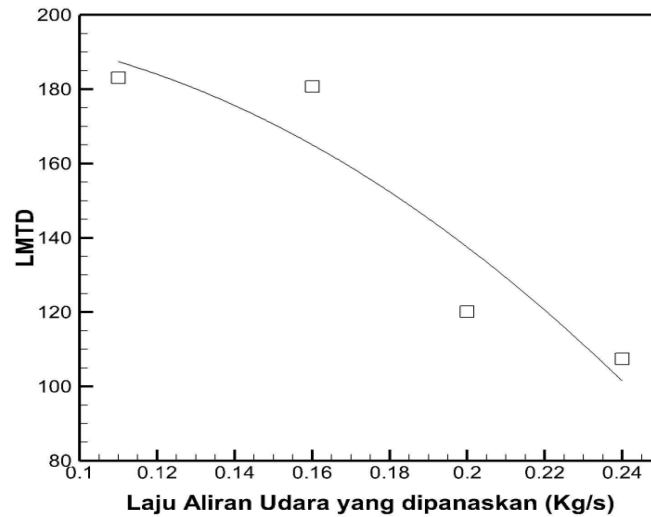


Gambar 4. Skema LMTD

Pada Gambar 4 diperlihatkan bahwa laju aliran udara yang dipanaskan berpengaruh terhadap penurunan nilai LMTD yang diperoleh dengan menggunakan persamaan 2, pada variasi laju aliran udara yang dipanaskan sebesar 0,11 kg/s, 0,16 kg/s, 0,20 kg/s, 0,24 kg/s dimana nilai LMTD tertinggi terdapat pada variasi laju aliran udara yang dipanaskan sebesar 0,11 kg/s dengan nilai LMTD 181,13 dan untuk nilai LMTD terkecil sebesar 107,46 pada variasi laju aliran udara yang dipanaskan 0,24 kg/s.

Tabel 2. Perhitungan laju aliran udara yang dipanaskan dan LMTD

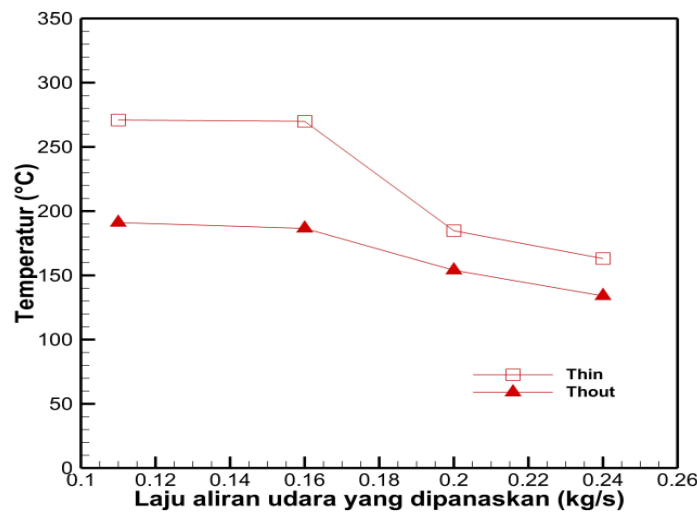
\dot{m}	LMTD
0.11	181.13
0.16	180.68
0.20	120.17
0.24	107.46



Gambar 5. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap LMTD

B. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap penurunan temperatur

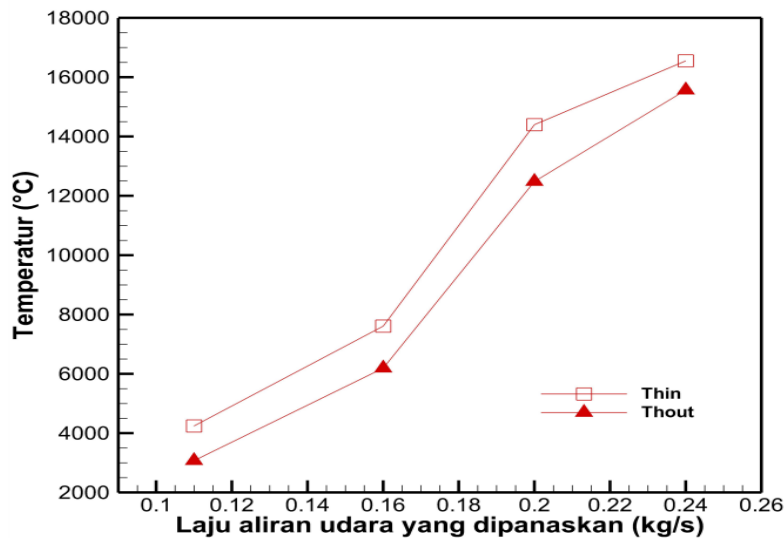
Analisis penurunan temperatur diperoleh dengan memvariasikan laju aliran udara yang dipanaskan yaitu 0,11 kg/s, 0,16 kg/s, 0,20 kg/s, 0,24 kg/s. Gambar 6 memperlihatkan bahwa pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan semakin besar maka temperatur keluar fluida panas atau *Thout* dan temperatur fluida masuk atau *Thin* semakin menurun dikarenakan laju aliran yang dipanaskan terlalu cepat kontak dengan fluida dingin *Tcin*.



Gambar 6. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap penurunan temperatur

C. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap perpindahan panas

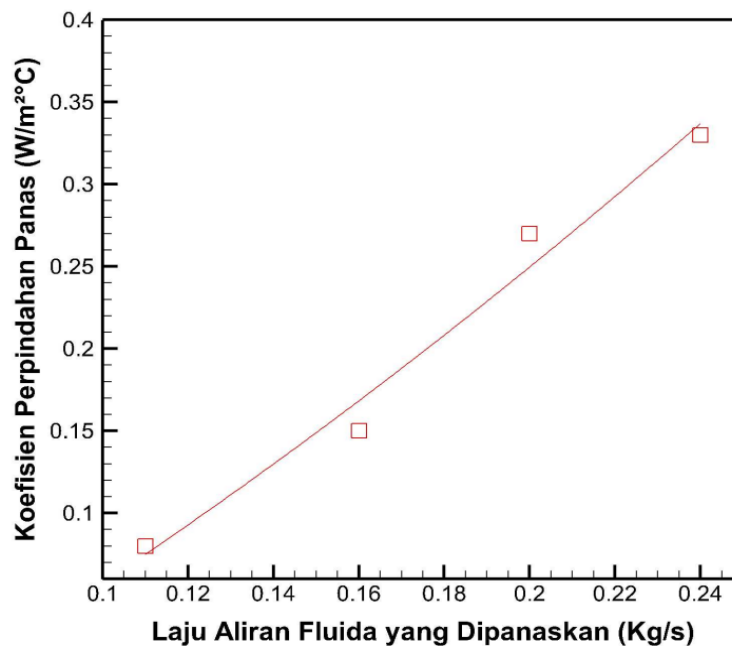
Pada Gambar 7 memperlihatkan bahwa laju aliran udara yang dipanaskan sangat berpengaruh terhadap perpindahan panas dimana semakin besar nilai laju aliran udara yang dipanaskan maka semakin besar pula nilai perpindahan panasnya. Tetapi perpindahan panas juga dipengaruhi oleh perbedaan suhu fluida yang masuk dan keluar, semakin tinggi perbedaannya maka semakin tinggi pula perpindahan panasnya. Laju aliran udara yang dipanaskan sebesar 0,24 kg/s menghasilkan nilai perpindahan panas tertinggi dan pada laju aliran udara yang dipanaskan sebesar 0,11 kg/s menghasilkan nilai perpindahan panas terkecil.



Gambar 7. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap perpindahan panas

D. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap koefisien perpindahan panas

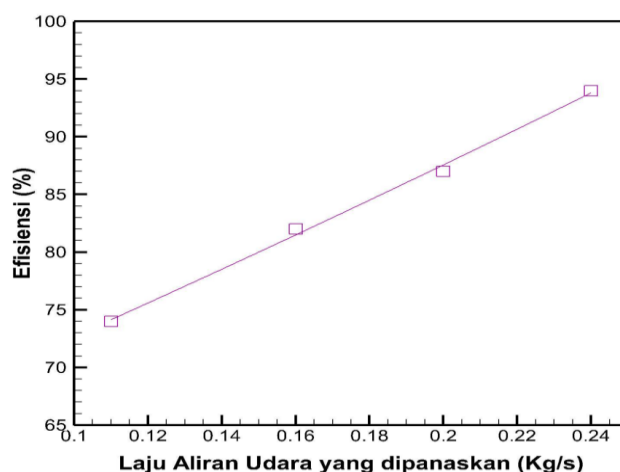
Laju aliran udara yang dipanaskan mempengaruhi koefisien perpindahan panas, dimana semakin tinggi nilai laju aliran udara yang dipanaskan maka semakin tinggi pula koefisien perpindahan panasnya. Pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa pada laju aliran udara yang dipanaskan 0,11 kg/s merupakan koefisien perpindahan panas terendah dan untuk koefisien perpindahan panas tertinggi pada laju aliran udara yang dipanaskan sebesar 0,24 kg/s.



Gambar 8. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap koefisien perpindahan panas

E. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap efisiensi

Pada Gambar 9 diperoleh hasil pengujian bahwa semakin besar nilai laju aliran fluida yang dipanaskan pada kecepatan fluida panas dan temperatur masuk fluida panas dan dingin konstan, maka semakin besar juga efisiensinya dimana efisiensi terbesar diperoleh pada nilai laju aliran fluida yang dipanaskan sebesar 0,24 kg/s dan efisiensi terkecil terdapat pada laju aliran fluida yang dipanaskan pada nilai 0,11 kg/s.



Gambar 9. Pengaruh laju aliran udara yang dipanaskan terhadap efisiensi

IV. KESIMPULAN

Penukar kalor *shell and tube counter flow* gas-gas dapat meningkatkan kinerja dari mesin pengering hasil pertanian dimana *counter flow* yang dipanaskan berpengaruh terhadap LMTD, temperatur keluar udara yang dipanaskan, koefisien perpindahan panas, dan efisiensi. Semakin besar *counter flow* yang dipanaskan maka semakin besar juga koefisien perpindahan panas dan efisiensinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian, Pengabdian Masyarakat dan Inovasi (LPPMI) Institut Teknologi Nasional Yogyakarta (ITNY) yang telah memfasilitasi pendanaan kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. B. Alit, I. Gede, and B. Susana, "Pengaruh kecepatan udara pada alat pengering jagung dengan mekanisme penukar kalor," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 11. No. 1, 2020.
- [2] M. R. Daneshparvar and R. Beigzadeh, "Multi-objective optimization of helical baffles in the shell-and-tube heat exchanger by computational fluid dynamics and genetic algorithm," *Energy Reports*, vol. 8, pp. 11064–11077, 2022. doi: 10.1016/j.egy.2022.08.249.
- [3] P. Durán-Plazas, J. I. Minchaca-Mojica, and M. Picón-Núñez, "Selection of tube inserts in heat exchanger retrofit applications for increased energy recovery," *Cleaner Energy Systems*, vol. 3, p. 100024, 2022. doi: 10.1016/j.cles.2022.100024.
- [4] A. Fakheri, "Heat exchanger efficiency," *J Heat Transfer*, vol. 129, no. 9, pp. 1268–1276, 2007. doi: 10.1115/1.2739620.
- [5] K. Gunasekaran, V. Shanmugam, and P. Suresh, "Modeling and analytical experimental study of hybrid solar dryer integrated with biomass dryer for drying coleus forskohlii stems," 2012. <https://ipcscit.com/vol28/006-CoimbatoreConferences-P0011.pdf>
- [6] Z. Y. Guo, X. B. Liu, W. Q. Tao, and R. K. Shah, "Effectiveness-thermal resistance method for heat exchanger design and analysis," *Int J Heat Mass Transf*, vol. 53, no. 13–14, pp. 2877–2884. doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2010.02.008
- [7] I. Bizzy, and R. Setiadi, (HTRI). (n.d.). Studi perhitungan alat penukar kalor tipe shell and tube dengan program heat transfer research Inc., *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 67-77, 2013.
- [8] A. Kamaruddin, "Teknologi berbasis sumber energi terbarukan untuk pertanian," Bogor, IPB Press, 2007.

- [9] W. P. Aman, A. Jading, and Y. Meidodga, "Peningkatan kinerja tungku biomassa melalui penambahan sirip dan pipa penukar panas," Seminar Nasional Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia, Yogyakarta, 5-6 September 2014, pp. 38-41. <https://www.researchgate.net/publication/325757208>.
- [10] M. Muhazir and M. T. Isa, "Ibrahim, "Rancang bangun tungku penukar kalor menggunakan pipa spiral dengan bahan bakar biomassa, *Semdi Unaya*, pp. 402-416, 2019.
- [11] T. Panggabean, A. N. Triana, and A. Hayati, "Kinerja pengeringan gabah menggunakan alat pengering tipe rak dengan energi surya, biomassa, dan kombinasi, *Agritech* vol. 37, no. 2, pp. 229. <https://doi.org/10.22146/agritech.25989>, 2017.
- [12] M. Tahir, R. Kasim, and Y. Bait, "uji performansi desain terintegrasi tungku biomassa dan penukar panas," *Agritech*, vol. 33, no. 2, pp. 219-225, 2013. <https://media.neliti.com/media/publications/99892-none-da918bc3.pdf>.
- [13] L. Sulaiman, S. Ilham, et al., "Perpindahan Panas," *L. XII Jilid I* No. 79, 2018.
- [14] A. H. Tambunan, L. Manalu, and W. Purwanto, "*Pendugaan sebaran suhu pada penukar panas pipa vertikal*,
- [15] E. Yani, and A. Pratoto, "*analisis efisiensi pengeringan ikan nila pada pengering surya aktif tidak langsung*," vol. 2, no. 31, 2009.



©2022. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.