

UJI EFEKTIVITAS *AIR COOLER* DENGAN FLUIDA DINGIN BERUBAH TERHADAP WAKTU

***Dimas Satrio Puspo Menggolo¹, Bambang Yunianto², Muchammad²**

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, S.H., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: dimassatrio2412@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi yang semakin meningkat berpengaruh terhadap meningkatnya penggunaan teknologi tersebut. Salah satunya adalah penggunaan teknologi pada pengkondisian udara atau AC (*Air Conditioner*). *Heat exchanger* merupakan alat yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas dan juga dapat berfungsi sebagai pemanas ataupun pendingin. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar proses perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien dan efektif. Metode penelitian yang dilakukan yaitu secara eksperimental dengan memberi variasi kecepatan udara dan debit aliran air. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh efektivitas *air cooler heat exchanger* dengan fluida air dingin yang berubah terhadap waktu. Metode perhitungan yang digunakan pada penelitian eksperimental ini dilakukan dengan menggunakan metode LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) yang mana merupakan perhitungan rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu aliran panas dan dingin pada suatu *heat exchanger*.

Kata Kunci: *air cooler*; efektivitas; *heat exchanger*

Abstract

Increasing technological developments have influenced the increasing use of such technology. One of them is the use of technology on air conditioning or air-conditioning. (Air Conditioner). Heat exchanger is a device that allows heat transfer and can also serve as a heater or a coolant. Heat exchangers are designed as much as possible so that the heat transfer process between fluids can take place efficiently and effectively. The research method is experimental by giving variation in the speed of air and the flow of water. This research is done to find out the effect of the efficiency of water cooler heat exchanger with cold water fluids that change over time. The calculation method used in this experimental study was performed using the LMTD (Log Mean Temperature Difference) method which is the logarithmic average of the difference in heat and cold flow temperature on a heat exchanger.

Keywords: *air cooler*; effectiveness; *heat exchanger*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang semakin meningkat berpengaruh terhadap meningkatnya penggunaan teknologi tersebut. Salah satu contoh penggunaan teknologi yang mengalami peningkatan yaitu penggunaan teknologi pengkondisian udara atau AC (*Air Conditioner*) [1]. *Heat exchanger* digunakan untuk proses perpindahan panas antar fluida yang memiliki temperatur atau proses perpindahan panas dari temperatur tinggi ke temperatur yang lebih rendah atau sebaliknya [2]. Pada mobil maupun alat transportasi lainnya banyak dijumpai pengkondisian udara kabin serta radiator yang keduanya merupakan bagian dari *heat exchanger* [3]. Berdasarkan jenis-jenis nya *heat exchanger* dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu *shell and tube*, *double pipe heat exchanger*, *plate and frame heat exchanger*, *spiral heat exchanger*, dan *finned tube heat exchanger* [4].

Alat penukar panas atau *heat exchanger* dapat terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida yang bercampur maupun fluida yang terpisahkan oleh sekat. Perubahan laju aliran pada *heat exchanger* tentunya berpengaruh terhadap pendinginan [5]. Penukar panas banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari maupun pada lingkup industri. Pada dunia industri terdapat beberapa alat penukar panas yang umum digunakan seperti *shell and tube heat exchanger*, *air cooled heat exchanger*, *double pipe heat exchanger* dan lainnya [6]. *Air cooler* merupakan salah satu alat penyejuk ruangan yang sangat efektif dalam menyejukan ruangan dan sangat ramah lingkungan. *Air cooler* menggunakan bahan pendingin air yang Dimana uap dingin yang dihasilkan akan dihembuskan melalui *fan* sehingga menghasilkan udara yang sejuk [7]. *Air cooler heat exchanger* menggunakan prinsip kerja konveksi paksa dengan memanfaatkan *fan* dan pompa atau motor sebagai penggerakannya serta *tube* sebagai pembawa fluida dingin. Dimana posisi *tube* tersebut berada di posisi hisap *fan* [8].

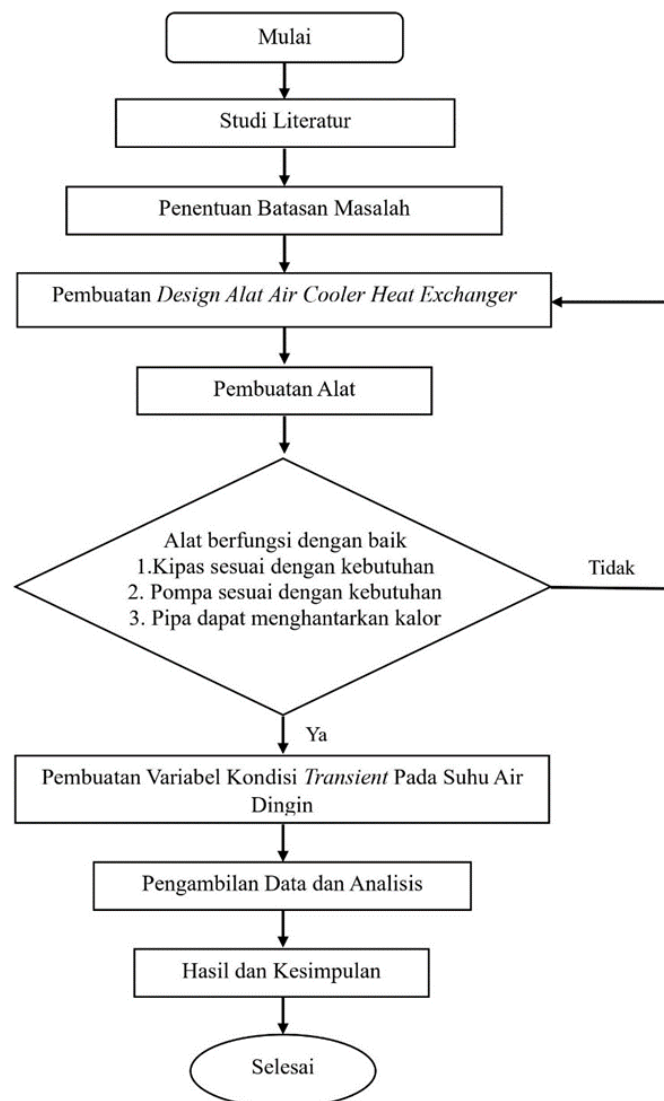
Kinerja dari *heat exchanger* bergantung pada kecepatan aliran fluida, arah aliran, kondisi permukaan, dan sifat-sifat fluida. Lalu, dapat juga dilihat melalui nilai efektivitas perpindahan panas dengan menggunakan metode *Number of Transfer Units* (NTU) ataupun juga dapat menggunakan koefisien perpindahan panas (U) menggunakan metode *Log Mean Temperature Difference* (LMTD). [9]. Efektivitas perpindahan panas pada suatu alat penukar panas dapat diartikan sebagai perbandingan antara laju perpindahan panas yang aktual serta yang terjadi berbanding dengan nilai laju

perpindahan panas ideal atau laju perpindahan panas maksimal yang didapat dari perhitungan termodinamika. Untuk mengetahui kualitas dari suatu *heat exchanger* yaitu dengan cara menghitung nilai efektivitasnya [10].

Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan, penulis ingin melakukan penelitian mengenai uji nilai efektivitas pada suatu alat *air cooler heat exchanger* dengan suhu fluida air dingin yang berubah terhadap waktu (*transient*). Untuk mencapai tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode penelitian eksperimental untuk menguji pengaruh dari suatu kondisi. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan variasi debit aliran dan kecepatan kipas yang digunakan untuk sirkulasi air dan kondisi udara dengan fluida air dingin. Pada Tugas Akhir ini, penulis akan menentukan nilai efektivitas dari alat tersebut dengan menggunakan metode perhitungan LMTD (*Log Mean Temperature Difference*).

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan memberi variasi pada kecepatan debit aliran dan kecepatan udara pada kipas. Pada penelitian ini terdapat diagram alir yang menggambarkan alur proses kerja atau tahap-tahap pengerjaan yang ditunjukkan Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada tahap awal dilakukan identifikasi dengan studi literatur untuk mencari metode yang dapat digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan serta menentukan batasan masalah yang terdapat pada penelitian. Tahap selanjutnya menentukan variabel yang akan dipakai untuk menguji efektivitas dari alat *air cooler heat exchanger* dengan kondisi *transient*, dan dilanjutkan dengan pengambilan data untuk melakukan penelitian dan pengolahan data untuk dilakukan perhitungan nilai efektivitas dengan metode perhitungan LMTD.

3. Perhitungan Efektivitas

Perhitungan efektivitas yang dipakai pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode LMTD (*Log Mean Temperature Difference*) yang mana merupakan perhitungan rata-rata logaritmik dari perbedaan suhu antara aliran fluida panas dan fluida dingin pada suatu *heat exchanger*.

Untuk mengetahui laju kapasitas panas dibutuhkan nilai laju kapasitas panas yang dapat dihitung dengan persamaan (1) dan persamaan (2).

$$C_h = \dot{m}_h c_{ph} \quad (1)$$

$$C_c = \dot{m}_c c_{pc} \quad (2)$$

Dimana \dot{m}_h merupakan laju aliran massa fluida panas (kg/s), \dot{m}_c merupakan laju aliran massa fluida dingin (kg/s), c_{ph} merupakan panas spesifik fluida panas (kJ/kg.K), c_{pc} merupakan panas spesifik fluida dingin (kJ/kg.K), C_h merupakan laju kapasitas panas pada fluida panas (W/K), dan C_c merupakan laju kapasitas panas pada fluida dingin (W/K).

Setelah mendapatkan nilai laju kapasitas panas, dilanjutkan dengan mencari nilai laju perpindahan panas actual yang merupakan laju panas yang dilepaskan oleh fluida panas maupun fluida dingin dengan menggunakan persamaan (3) dan persamaan (4).

$$Q_{act} = C_h \cdot (T_{h1} - T_{h2}) \quad (3)$$

$$Q_{act} = C_c \cdot (T_{c2} - T_{c1}) \quad (4)$$

Dimana Q_{act} merupakan laju perpindahan panas aktual (W), C_h merupakan laju kapasitas panas fluida air (W/K), C_c merupakan laju kapasitas dingin fluida air (W/K), T_{h1} merupakan temperatur fluida panas masuk *heat exchanger* (K), T_{h2} merupakan temperatur fluida panas keluar *heat exchanger* (K), T_{c1} merupakan temperatur fluida dingin masuk *heat exchanger* (K), dan T_{c2} merupakan temperatur fluida dingin keluar *heat exchanger* (K).

Setelah mendapatkan nilai laju perpindahan panas aktual, dilanjutkan dengan mencari nilai laju perpindahan panas maksimal menggunakan persamaan (5).

$$Q_{max} = C_{min} \cdot (T_{h1} - T_{c1}) \quad (5)$$

Dimana Q_{max} merupakan laju perpindahan panas maksimal (W), C_{min} merupakan nilai terkecil diantara nilai C_h dan C_c (W/K), T_{h1} merupakan temperatur fluida panas masuk *heat exchanger* (K), dan T_{c1} merupakan temperatur fluida dingin masuk *heat exchanger* (K). Setelah itu untuk mendapatkan nilai efektivitas dilanjutkan dengan menggunakan persamaan (6).

$$\varepsilon = \frac{Q_{real}}{Q_{max}} \quad (6)$$

Dimana Q_{real} adalah laju perpindahan panas nyata atau panas aktual (W), dan Q_{max} adalah laju perpindahan panas maksimal (W). Jika laju kapasitas panas untuk fluida dingin lebih besar dari laju kapasitas panas, maka dilanjutkan dengan menggunakan persamaan (7).

$$\varepsilon = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{hi} - T_{ci}} \quad (7)$$

Dimana T_{hi} adalah temperatur fluida panas masuk (K), T_{ho} adalah temperatur fluida panas keluar (K), dan T_{ci} adalah temperatur fluida dingin masuk (K). Jika laju kapasitas panas untuk fluida dingin lebih kecil dari laju kapasitas panas, maka menggunakan persamaan (8).

$$\varepsilon = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ci}} \quad (8)$$

Dimana T_{hi} adalah temperatur fluida panas masuk (K), T_{ho} adalah temperatur fluida panas keluar (K), dan T_{ci} adalah temperatur fluida dingin masuk (K).

4. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan pengambilan data berupa pengujian *air cooler* dengan menggunakan beberapa variasi yang dilakukan pada kecepatan kipas dan kecepatan pompa, didapatkan data hasil dari pengujian efektivitas *air cooler heat exchanger* tersebut meliputi suhu air dan suhu udara.

4.1 Hasil Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan alat ukur *thermometer thermistor* serta anemometer sebagai alat ukur manual dan alat akuisisi sebagai alat pengambilan data secara *real time*. Pengambilan data dilakukan setiap interval waktu 10 menit dan dilakukan selama 40 menit, yang dimulai dari menit ke-0 sampai dengan menit ke-40. Pengambilan dan perhitungan data yang pertama dilakukan pada kecepatan udara yang dihisap oleh kipas dengan kecepatan 3,34 m/s, dilanjutkan dengan kecepatan udara 2,50 m/s, dan yang terakhir pada variasi kecepatan udara 1,67 m/s. Serta melakukan variasi kecepatan debit aliran air 5 L/min, 2,5 L/min, dan 0 L/min. Data yang sudah didapat akan dicari nilai efektivitasnya menggunakan persamaan yang tertera pada persamaan (1) hingga persamaan (8) dan dilampirkan dalam bentuk tabel. Dapat dilihat pada tabel 1 hingga tabel 3 berikut.

Tabel 1. Hasil Data Efektivitas Kecepatan Udara 3,34 m/s

Laju Massa (Kg/s)		Waktu	Th,i	Tc,i	Th,o	Tc,o	p	m	Q	Cph	Ch	Qmax	E
Udara	Air												
100%	100%	0	302,15	284,34	292,15	283,15	1,21	0,131	1311,637	1005	131,164	2336,026	0,56148
		10	302,35	290,27	295,35	289,59	1,197	0,129	908,1983	1005	129,743	1567,291	0,57947
		20	302,15	293,65	296,85	293,17	1,191	0,128	684,1612	1005	129,087	1097,24	0,62353
		30	302,45	294,99	297,65	294,77	1,187	0,128	617,9524	1005	128,74	960,401	0,64343
		40	303,25	295,84	298,15	295,59	1,185	0,128	655,4733	1005	128,524	952,3641	0,68826
100%	50%	0	302,35	281,27	292,25	283,9	1,209	0,13	1324,3	1005	131,119	2763,985	0,47913
		10	302,45	288,46	294,85	287,46	1,199	0,129	987,716	1005	129,963	1818,177	0,54325
		20	302,65	293,21	297,35	292,65	1,189	0,128	683,0108	1005	128,87	1216,532	0,56144
		30	302,35	295,71	298,35	295,4	1,185	0,128	513,7521	1005	128,438	852,8284	0,60241
		40	302,55	296,84	298,85	296,96	1,183	0,128	474,4256	1005	128,223	732,1541	0,64799
100%	0%	0	302,45	281,65	292,25	282,59	1,209	0,13	1337,412	1005	131,119	2727,272	0,49038
		10	302,65	291,96	295,85	283,4	1,195	0,129	880,7588	1005	129,523	1384,605	0,63611
		20	302,65	295,95	297,95	284,71	1,186	0,128	604,4691	1005	128,61	861,69	0,70149
		30	302,55	296,84	298,65	285,96	1,183	0,128	500,4051	1005	128,309	732,6444	0,68301
		40	302,95	297,59	299,45	287,21	1,18	0,127	447,8818	1005	127,966	685,8989	0,65299

Tabel 1 diatas merupakan hasil pengambilan data dan perhitungan efektivitas pada variasi kecepatan udara 3,34 m/s dengan memberi variasi pada debit aliran air yang dikeluarkan oleh pompa 5 L/min, 2,5 L/min, dan 0 L/min. Setelah melakukan pengujian pada kecepatan udara 3,34 m/s tersebut dilanjutkan dengan pengujian pada variasi kecepatan udara 2,50 m/s yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil Data Efektivitas Kecepatan Udara 2,50 m/s

Laju Massa (Kg/s)		Waktu	Th,i	Tc,i	Th,o	Tc,o	p	m	Q	Cph	Ch	Qmax	E
Udara	Air												
75%	100%	0	302,95	282,09	292,15	283,09	1,21	0,098	1060,306	1005	98,1764	2047,961	0,51774
		10	303,05	289,46	295,65	288,03	1,195	0,097	717,9051	1005	97,0142	1318,423	0,54452
		20	303,05	293,34	297,45	292,21	1,188	0,096	539,9919	1005	96,4271	936,3074	0,57673
		30	303,05	295,46	298,75	294,84	1,183	0,096	412,8324	1005	96,0075	728,6971	0,56653
		40	303,15	296,4	299,05	295,77	1,182	0,095	393,236	1005	95,9112	647,4007	0,60741
75%	50%	0	302,15	285,77	292,45	284,03	1,209	0,098	951,3346	1005	98,0757	1606,48	0,59219
		10	301,95	291,03	295,45	288,9	1,196	0,097	631,0192	1005	97,0799	1060,112	0,59524
		20	302,15	293,9	297,25	292,03	1,189	0,096	472,8108	1005	96,492	796,059	0,59394
		30	302,15	294,15	298,15	295,46	1,185	0,096	384,8029	1005	96,2007	769,6058	0,5
		40	302,35	296,27	298,75	295,21	1,183	0,096	345,6271	1005	96,0075	583,7257	0,59211
75%	0%	0	301,65	286,21	292,15	283,53	1,21	0,098	932,6762	1005	98,1764	1515,844	0,61528
		10	302,15	284,34	295,55	292,84	1,196	0,097	640,5104	1005	97,047	1728,407	0,37058
		20	302,35	295,4	297,25	285,4	1,189	0,096	492,1092	1005	96,492	670,6194	0,73381
		30	302,45	296,27	297,75	286,27	1,187	0,096	452,7508	1005	96,33	595,3192	0,76052
		40	302,45	296,71	297,95	287,21	1,186	0,096	433,1939	1005	96,2653	552,5629	0,78397

Tabel 2 diatas merupakan hasil pengambilan data dan perhitungan efektivitas pada variasi kecepatan udara 2,50 m/s. Setelah melakukan pengujian pada kecepatan udara 3,34 m/s tersebut dilanjutkan dengan pengujian pada variasi kecepatan udara 1,67 m/s yang ditunjukkan pada tabel 3 berikut.

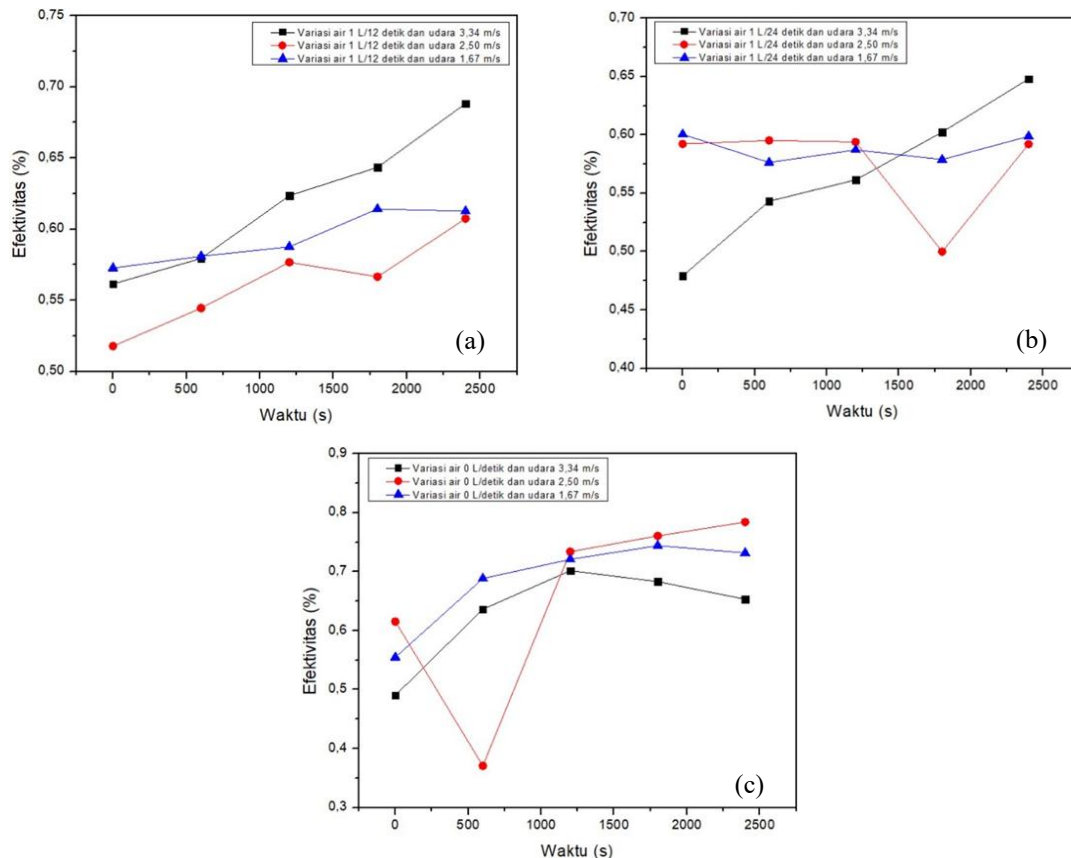
Tabel 3. Hasil Data Efektivitas Kecepatan Udara 1,67 m/s

Laju Massa (Kg/s)		Waktu	Th,i	Tc,i	Th,o	Tc,o	p	m	Q	Cph	Ch	Qmax	E
Udara	Air												
50%	100%	0	301,45	285,21	292,15	283,65	1,21	0,065	609,9113	1005	65,5819	1065,049	0,57266
		10	301,45	289,4	294,45	288,27	1,2	0,065	455,4871	1005	65,0696	784,0886	0,58091
		20	301,65	292,46	296,25	291,71	1,193	0,064	349,2409	1005	64,6742	594,3562	0,5876
		30	301,95	294,46	297,35	293,84	1,189	0,064	296,4009	1005	64,435	482,618	0,61415
		40	301,75	295,71	298,05	295,27	1,186	0,064	237,8495	1005	64,2836	388,2732	0,61258
50%	50%	0	301,85	286,03	292,35	282,21	1,209	0,065	622,6015	1005	65,537	1036,795	0,60051
		10	302,05	289,21	294,65	287,27	1,199	0,065	481,1881	1005	65,0254	834,9265	0,57632
		20	302,35	291,96	296,25	290,65	1,193	0,064	394,5128	1005	64,6742	671,9653	0,5871
		30	302,15	293,34	297,05	292,71	1,19	0,064	328,9503	1005	64,5001	568,2455	0,57889
		40	302,25	294,4	297,55	293,77	1,188	0,064	302,6409	1005	64,3917	505,4746	0,59873
50%	0%	0	302,65	283,9	292,25	282,59	1,209	0,065	681,818	1005	65,5594	1229,239	0,55467
		10	302,75	290,4	294,25	283,84	1,201	0,065	553,4675	1005	65,1138	804,1557	0,68826
		20	302,95	294,21	296,65	284,71	1,191	0,064	406,8983	1005	64,587	564,4906	0,72082
		30	302,75	296,03	297,75	285,59	1,187	0,064	321,7421	1005	64,3484	432,4214	0,74405
		40	302,95	296,8	298,45	286,46	1,184	0,064	288,8887	1005	64,1975	394,8146	0,73171

Tabel 3 diatas merupakan hasil pengambilan data dan perhitungan efektivitas yang terakhir pada pengujian ini yaitu pada variasi kecepatan udara 1,67 m/s.

4.2 Grafik Hasil Efektivitas

Pengambilan dan perhitungan data yang pertama dilakukan pada kecepatan udara yang di hembuskan oleh kipas dengan kecepatan 3,34 m/s, dilanjutkan dengan kecepatan udara 2,50 m/s, dan yang terakhir pada variasi kecepatan udara 1,67 m/s. Serta melakukan variasi kecepatan debit aliran air 5 L/min, 2,5 L/min, dan 0 L/min. Dapat dilihat pada gambar 2a untuk kecepatan debit aliran air 5 L/min, gambar 2b untuk kecepatan debit aliran air 2,5 L/min, dan gambar 2c untuk kecepatan debit aliran air 0 L/min.



Gambar 2. Grafik Efektivitas Kecepatan Debit Aliran Air (a) 5 L/min, (b) 2,5 L/min, dan (c) 0 L/min

Grafik diatas merupakan hasil dari perhitngan efektivitas dari setiap variasi pengujian yang dilakukan. Berdasarkan grafik yang didapat bahwa variasi dengan kecepatan udara 3,34 m/s pada debit aliran air 5 L/min menghasilkan nilai efektivitas pada menit akhir yang tinggi, namun pada menit awal atau $t = 0$ mempunyai nilai efektivitas yang rendah.

Pada kecepatan udara 2,50 m/s dapat dilihat bahwa pada kecepatan udara tersebut dengan semua variasi debit aliran air 5 L/min hingga 0 L/min menghasilkan grafik yang tidak stabil, namun pada variasi debit pompa 0 L/min menghasilkan efektivitas paling besar pada menit terakhir.

Sedangkan jika dilihat pada kecepatan udara 1,67 m/s di seluruh variasi debit aliran pompa pada pengujian cenderung memiliki nilai efektivitas yang paling stabil diantara kecepatan udara 3,34 m/s dan kecepatan udara 2,50 m/s.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari pengujian efektivitas dan analisis pada alat *air cooler* yang mana pengambilan data dilakukan pada suhu yang berubah terhadap waktu (*transient*) didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaplikasian *air cooler* dari berbagai variasi yang dilakukan menghasilkan pengaruh variasi yang berbeda-beda. Dimana semakin kecil kecepatan udara dan debit aliran pada pompa maka nilai efektivitas yang didapat semakin besar. Namun, jika debit aliran pompa dimatikan maka menghasilkan nilai efektivitas yang kecil.
2. Berdasarkan uji efektivitas yang dilakukan dan jika dilihat dari grafik maupun perhitungan efektivitas, maka kondisi terbaik untuk memakai alat *air cooler* ini yaitu dengan menggunakan variasi kecepatan udara 1,67 m/s atau 50% dari kecepatan maksimal yang dihasilkan oleh kipas. Dapat diperhatikan bahwa dengan kecepatan tersebut dapat menghasilkan nilai efektivitas yang stabil.

6. Daftar Pustaka

- [1] Nasution, M., Nasution, A., & Putra, M. M. (2020). 3553-8912-1-Sm. 4(2), 59–63
- [2] Yuniarti, R. *et al.* (2022) ‘Pengaruh Temperatur Dan Arah Aliran Terhadap Efektivitas Penukar Panas Ntu (E - Ntu) Pada Alat Penukar Panas Tipe Plate and Frame’, *Jurnal Integrasi Proses*, 11(1), p. 32. Available at: <https://doi.org/10.36055/jip.v11i1.13989>.
- [3] Septian, B., Aziz, A. and Rey, P.D. (2021) ‘Design of Heat Exchanger Shell and Tube’, *Jurnal Baut dan Manufaktur*, 03(1), pp. 53–60.
- [4] Kriswahyudi and Reza (2018) ‘Perancangan Alat Penukar Kalor Dengan Standar Tema (Standar Of Tabular Exchanger Manufacture Assosiation) Satu Lintas Shell Dan Satu Lintas Tube (One Shell And One Tube) Skala Laboratorium’.
- [5] Fattah, F. and Iskandar, A. (2020) ‘Analisis Kinerja Heat Exchanger Type Shell and Tube Berbahan Tembaga Aliran Searah Dan Aliran Berlawanan Tanpa Radiator’, *Motor Bakar : Jurnal Teknik Mesin*, 4(1), pp. 1–6. Available at: <https://doi.org/10.31000/mbjtm.v4i1.5709>.
- [6] Ikhsan Kamil, M. and Agustina Sari, D. (2023) ‘Komparasi Desain Alat Penukar Panas Tipe Air-Cooled’, *Jurnal Teknologi*, 16(2), pp. 180–186. Available at: <https://doi.org/10.34151/jurtek.v16i2.4512>.
- [7] Nandiati, S., Kirom, M.R. and Ajiwiguna, T.A. (2019) ‘Evaluasi Kinerja Pada Berbagai Variasi Susunan Heat Exchanger Using Lmted and Ntu Methods’, *e-Proceeding of Engineering*, 6(2355–9365), pp. 5058–5065.
- [8] Rohito, K.B., Dantes, K.R. and Nugraha, I.N.P. (2019) ‘Rancang Bangun Air Cooler Dengan Menggunakan Modul Termoelektrik Peltier Type Tec-12706’, *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, 7(3), pp. 122–128. Available at: <https://doi.org/10.23887/jptm.v7i3.26516>.
- [9] Syaifullah, I., Muldiani, R.F. and Sasono, T. (2023) ‘Perancangan Fin-tube Surface Cleaning System Untuk Pembersihan Air-Cooled Heat Exchanger’, *Jurnal Mekanik Terapan*, 4(2), pp. 108–116. Available at: <https://doi.org/10.32722/jmt.v4i2.5811>.
- [10] Robiyanyusra, Gani, U.A. and Taufiqurrahman, M. (2021) ‘Analisis Efektivitas Laju Perpindahan Panas Alat Penukar Kalor Tipe Double Pipe’, *Jurnal Teknologi Rekayas Teknik Mesin (JTRAIN)*, 2(2), pp. 97–104.