

Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Kecepatan Udara Terhadap Performa Heat Exchanger Jenis Compact Heat Exchanger (Radiator) Dengan Susunan Tube Inline Sebagai Pemanas Pada

Irvan Paramananda, Prabowo

Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: prabowo@me.its.ac.id

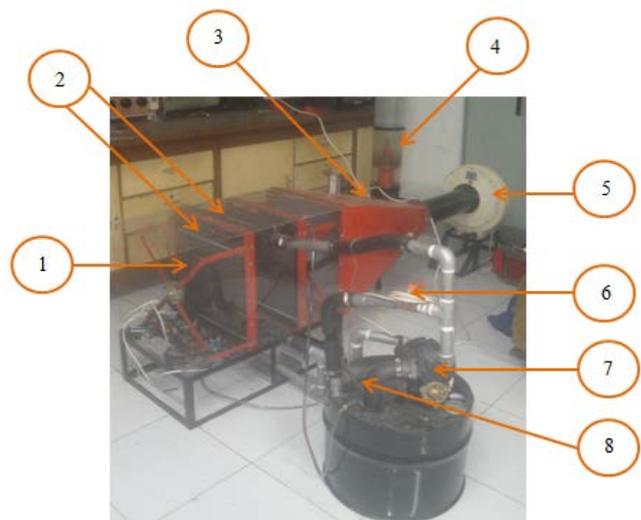
Abstrak—Pengeringan yang dilakukan pada batu bara dengan memanfaatkan udara panas menggunakan konsep *heat exchanger*. Salah satu *heat exchanger* yang sering digunakan adalah *heat exchanger* dengan tipe *single row-fin tube* yaitu radiator. Radiator ini akan dimanfaatkan sebagai penghasil udara panas dari air panas yang mengalir dan dihembuskan oleh kipas radiator. Penelitian ini difokuskan pada *effectiveness* dari komponen radiator fungsi dari kecepatan udara mulai dari kecepatan 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s dan 5 m/s dan fungsi jumlah radiator yang digunakan. Prinsip dari radiator yang digunakan adalah mengalirkan fluida panas berupa air ke dalam *tube-tube* radiator kemudian didinginkan oleh udara yang dihembuskan oleh *fan* yang melewati *fin* sehingga air yang keluar dari *tube* menjadi dingin dan udara yang melewati *fin* menjadi panas. Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini diantaranya kecepatan udara yang optimal terhadap proses pengeringan batu bara yang dipakai pada alat pengering batu bara adalah sebesar 5 m/s dengan menggunakan 2 radiator. q_{hot} untuk penggunaan 2 radiator dengan kecepatan udara sebesar 5 m/s adalah 30121.17 Watt. *Effectiveness* pada penggunaan 2 radiator dengan kecepatan udara sebesar 5 m/s adalah 0.65. Efisiensi *fin* yang terjadi pada kecepatan udara 5 m/s dengan menggunakan 2 radiator sebesar 0.93

Kata Kunci—compact heat exchanger, effectiveness, efisiensi fin, kecepatan udara, udara panas.

I. PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk menghasilkan listrik secara optimal dan efisien, maka suatu PLTU batubara didesain untuk menggunakan batubara dengan kadar air (*moisture*) dan nilai kalor (*heating value*) tertentu. Kadar air pada batubara yang dihasilkan oleh tambang di Indonesia sangat tinggi (termasuk dalam kategori *low rank coal*). Untuk produksi batubara dengan kadar air yang rendah (*high rank coal*) sudah banyak diekspor sehingga PLTU harus menggunakan batubara tipe *low rank coal*. Tetapi saat ini sudah banyak dikembangkan teknologi untuk meningkatkan nilai kalor dari batubara yang semula tergolong batubara dengan nilai kalor rendah menjadi batubara dengan nilai kalor tinggi.

Oleh karena itu, batubara harus di-*treatment* terlebih dahulu untuk mengurangi kadar airnya dengan alat pengering batubara (*coal dryer*) yang salah satu teknologinya menggunakan sistem *cyclone*. *Coal dryer* sistem *cyclone* memanfaatkan aliran udara panas melewati



Gambar 1 . Foto instalasi peralatan

Keterangan gambar:

1. Kipas radiator
2. Radiator
3. Pengarah udara
4. *Drying chamber*
5. *Centrifugal blower*
6. *Valve* utama
7. Pompa air
8. *Heater*

blade yang digunakan untuk mengeringkan batubara yang bergerak karena udara yang berputar melewati *blade*. Aliran udara panas tersebut diperoleh dari udara luar yang dipanaskan oleh air yang mengalir di dalam tube dalam konsep *heat exchanger* [1].

Konsep dari *compact heat exchanger* adalah mengalirkan fluida panas berupa air ke dalam *tube-tube* kemudian didinginkan oleh udara yang dihembuskan oleh *fan* yang melewati *fin* sehingga air yang keluar dari *tube* menjadi dingin dan udara yang melewati *fin* menjadi panas. Udara panas inilah yang selanjutnya dimanfaatkan oleh sistem *coal dryer* untuk mengeringkan batubara.

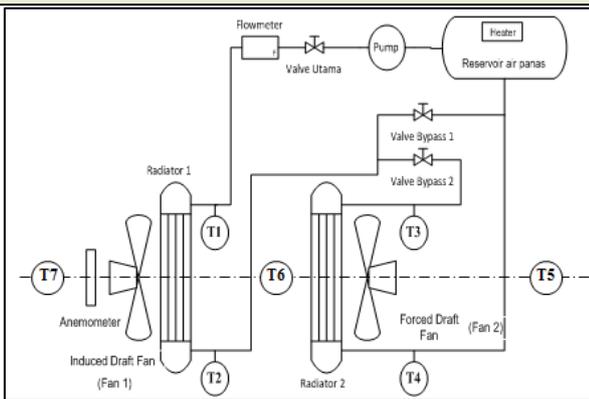
II. METODE PENGUJIAN

A. Metode Penelitian

Berikut berupa skema penelitian yang digunakan secara

Tabel 1.
Data spesifikasi radiator tipe 4K

No	Data	Nilai
1.	Tipe radiator	Compact heat exchanger circular tube continuous fin
2.	Volume radiator	PxLxT = 467 mm x 50 mm x 330 mm
3.	Diameter tube	10 mm
4.	Panjang tube	330 mm
5.	Jumlah baris tube	2
6.	Jumlah tube tiap baris	22
7.	Jarak antar tube	11 mm
8.	Jumlah tube arah trasversal	2
9.	Jumlah tube arah longitudinal	22
10.	Tebal fin	0.3 mm
11.	Panjang fin	440 mm
12.	Lebar fin	50 mm
13.	Jumlah fin	165



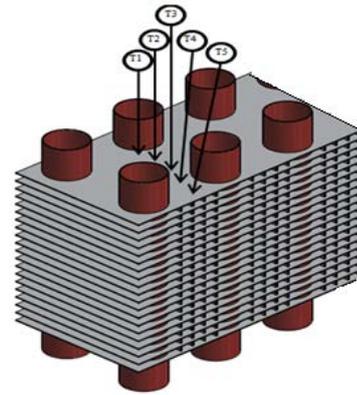
Gambar 2. Skema titik pengukuran pada uji performa radiator

Keterangan gambar :

1. Reservoir untuk menampung air hasil sirkulasi.
2. Heater untuk memanaskan air.
3. Flowmeter untuk mengukur debit air.
4. Pompa untuk mensirkulasikan air panas menuju radiator.
5. Valve untuk memvariasikan debit air.
6. Anemometer untuk menghitung kecepatan angin.
7. T1 : Thermocouple 1, mengukur temperatur air masuk radiator pertama.
8. T2 : Thermocouple 2, mengukur temperatur air keluar radiator pertama.
9. T3 : Thermocouple 3, mengukur temperatur air masuk radiator kedua.
10. T4 : Thermocouple 4, mengukur temperatur air keluar radiator kedua.
11. T5 : Thermocouple 5, mengukur temperatur udara masuk radiator kedua.
12. T6 : Thermocouple 6, mengukur temperatur udara keluar radiator kedua.
13. T7 : Thermocouple 7, mengukur temperatur udara keluar radiator pertama.

keseluruhan ditunjukkan pada gambar 1.

Cara kerja alat pada gambar 1 adalah air dipanaskan oleh heater dan kemudian disirkulasikan oleh pompa air menuju ke radiator. Valve utama dibuka *fully open* kemudian kipas radiator dinyalakan dan disesuaikan untuk variasi yang akan dilakukan (1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s dan 5 m/s), fan berfungsi untuk mengalirkan udara ke radiator agar membawa panas dari air yang mengalir di radiator melewati pengarah udara. Untuk penggunaan 1 radiator, kipas yang digunakan yaitu radiator yang di belakang (dekat dengan



Gambar 3. Sket untuk menunjukkan titik-titik pengukuran pada fin

pengarah udara). Udara panas tersebut dihisap oleh *centrifugal blower* dan dimanfaatkan untuk mengeringkan batubara di dalam *drying chamber*. Dalam hal ini, penulis hanya akan membahas performa radiator dan efisiensi fin dengan variasi kecepatan udara untuk penggunaan 1 dan 2 radiator.

Spesifikasi radiator yang dipakai untuk penelitian ini ditunjukkan dalam tabel 1.

Penelitian kali ini dikhususkan pada pengujian performa radiator sebagai *compact heat exchanger* dan efisiensi fin yang didapat sehingga dapat menghasilkan udara panas pada sistem pengeringan. Titik – titik pengukuran pada pengujian performa radiator seperti dijelaskan pada gambar 2 dan 3.

B. Perhitungan Compact Heat Exchanger

Berikut merupakan rumus yang digunakan dalam perhitungan *compact heat exchanger* [1] :

Laju aliran massa sisi udara (\dot{m}_{udara}) :

$$\dot{m}_{udara} = \rho V Afr \dots \dots \dots (1)$$

Mencari *mass velocity* (G):

$$G = \rho \times v \times \frac{Afr}{Aff} \dots \dots \dots (2)$$

Reynold Number sisi udara (Re_c) :

$$Re_c = \frac{G Dh}{\mu} \dots \dots \dots (3)$$

Nusselt Number (Nu) :

$$Nu = 0.332 Pr^{1/3} Re^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

Mencari *Stanton Number* (St) :

$$St = \frac{Nu}{Pr Re} \dots \dots \dots (5)$$

Koefisien konveksi sisi udara (h_{cold}) :

$$h_{cold} = St G cp \dots \dots \dots (6)$$

Laju perpindahan panas konveksi sisi udara (q_{cold}) :

$$q_{cold} = h_{cold} A_{cold} (T_{c in} - T_{c out}) \dots \dots \dots (7)$$

Effectiveness radiator (ϵ) :

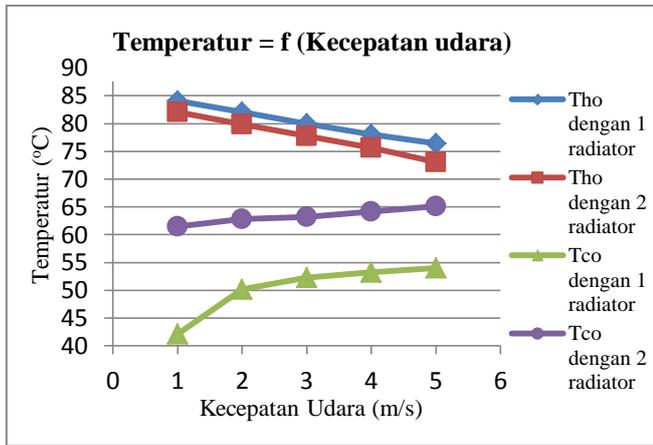
$$\epsilon = \frac{q_{cold}}{q_{maks}} = \frac{Ch (Thi - Tho)}{Cmin (Thi - Tci)} = \frac{Cc (Tco - Tci)}{Cmin (Thi - Tci)} \dots \dots \dots (8)$$

Efisiensi fin (η_f)

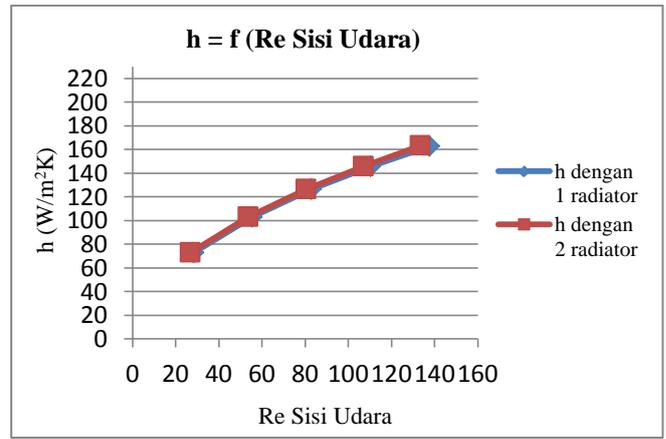
$$\eta_f = \frac{q_f}{q_{max}} = \frac{hAf(T - T_{\infty})}{hAf(T_b - T_{\infty})} \dots \dots \dots (9)$$

Fin Effectiveness (ϵ_f)

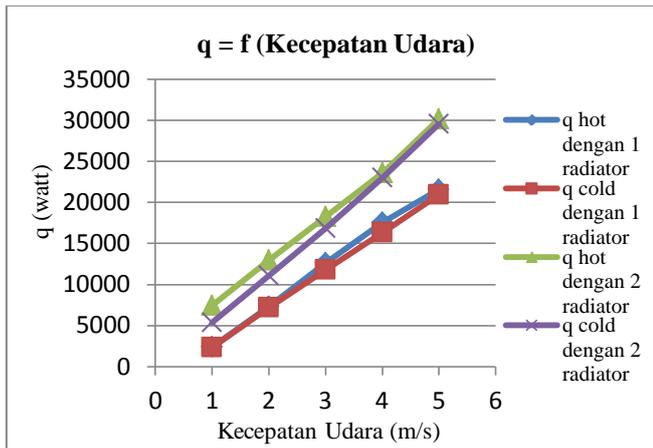
$$\epsilon_f = \frac{q_f}{q_{wf}} = \frac{q_f}{hA_{wf}(T_b - T_{\infty})} \dots \dots \dots (10)$$



Gambar 4. Distribusi temperatur air dan udara keluar radiator terhadap kecepatan udara



Gambar 6. Koefisien konveksi sisi udara terhadap re sisi udara



Gambar 5. q_{hot} dan q_{cold} terhadap kecepatan udara

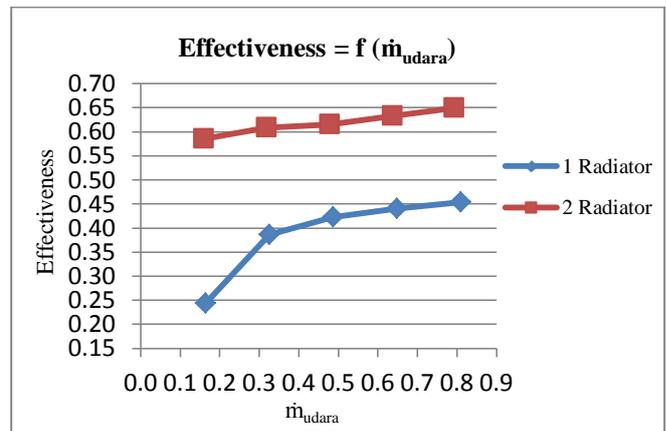
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian pengaruh variasi kecepatan udara terhadap performa heat exchanger jenis compact heat exchanger (radiator) dengan susunan tube inline sebagai pemanas pada sistem pengeringan batubara yang ditunjukkan oleh grafik dari tiap variasi kecepatan udara seperti pada gambar berikut ini

Pada gambar 4 T_{ho} merupakan *Temperature hot out* (temperatur air keluar radiator) dan T_{co} merupakan *Temperature cold out* (temperatur udara keluar radiator). Trendline grafik dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan udara maka semakin besar temperatur yang terjadi. Temperatur air keluar untuk 1 radiator lebih besar dibandingkan dengan temperatur air keluar untuk 2 radiator. Sedangkan temperatur udara keluar untuk 2 radiator lebih besar dibandingkan dengan temperatur udara keluar untuk 1 radiator.

Semakin meningkatnya kecepatan udara dengan debit air yang sama dengan menggunakan 2 radiator maka partikel air yang membawa energi panas akan menurun, akibatnya energi panas yang dipindahkan ke udara semakin tinggi dibandingkan dengan menggunakan 1 radiator.

Pada gambar 5, q_{hot} merupakan laju perpindahan panas sisi air sedangkan q_{cold} merupakan laju perpindahan panas sisi udara. q_{hot} dan q_{cold} meningkat seiring bertambahnya kecepatan udara. q_{hot} dan q_{cold} untuk penggunaan 2 radiator lebih besar daripada q_{hot} dan q_{cold} untuk penggunaan 1 radiator pada kecepatan udara yang sama. Perbedaan q_{hot} maupun q_{cold} untuk penggunaan 2 radiator dan 1 radiator

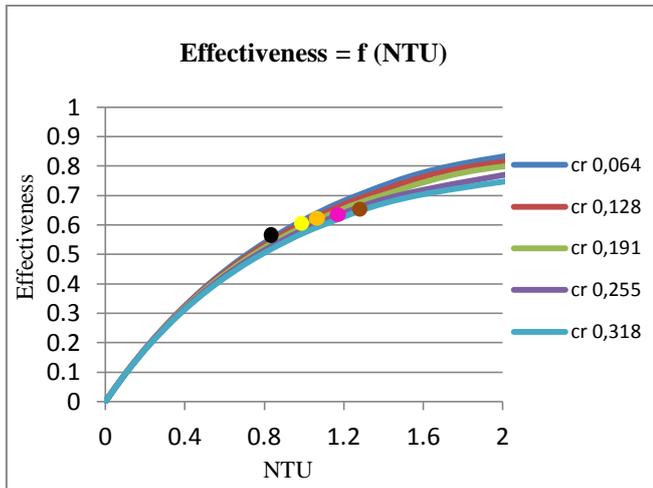


Gambar 7. Effectiveness fungsi \dot{m}_{udara}

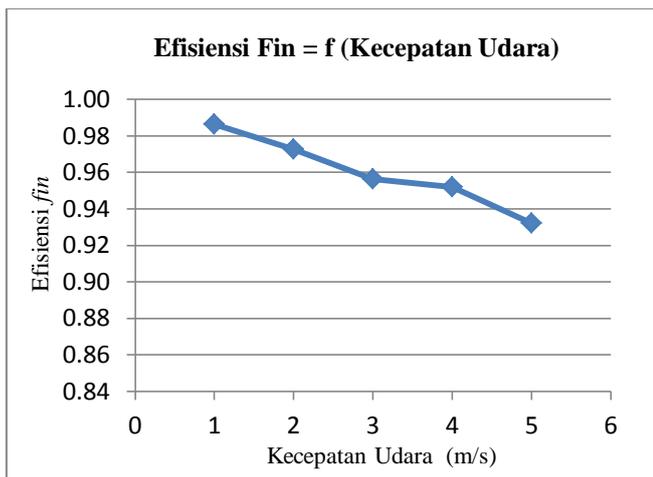
kemungkinan disebabkan karena perbedaan temperatur air dan temperatur udara. Untuk penggunaan 2 radiator, perbedaan temperatur air lebih besar dibandingkan dengan perbedaan temperatur air untuk penggunaan 1 radiator. Serta disebabkan karena luasan perpindahan panas dengan menggunakan 2 radiator yang lebih besar dibandingkan dengan pemakaian 1 radiator.

Pada gambar 6, h merupakan koefisien konveksi sisi udara, dari grafik di atas dapat dilihat bahwa koefisien konveksi udara naik dengan semakin besarnya *Reynold* udara. Hal ini terjadi karena semakin besarnya *Reynold* udara, maka energi yang dipindahkan oleh udara ke permukaan alat penukar panas akan semakin besar. Dengan semakin besarnya kecepatan udara maka potensi perpindahan panasnya juga akan semakin besar, akibatnya temperatur udara keluar radiator naik yang membuat harga properties udara akan semakin besar sehingga koefisien konveksi juga semakin besar. Secara teori semakin besar kecepatan udara dengan ρ konstan maka G juga akan semakin besar sehingga Re akan semakin besar. Semakin besar Re_{cold} , Nu juga akan mengalami kenaikan karena Nu sebanding dengan Re maka jika nilai Re tinggi maka nilai Nu akan tinggi pula. Oleh karena itu semakin besar nilai G (*mass velocity*), semakin besar pula nilai h_{cold} . Sehingga dapat disimpulkan semakin besar nilai Re_{cold} maka nilai h_{cold} juga akan semakin besar.

Gambar 7 dari pengamatan grafik di atas dapat dilihat *trendline* dari grafik yaitu semakin tinggi nilai \dot{m}_{udara} maka *effectiveness* dari radiator juga semakin tinggi, secara teori semakin besar kecepatan udara maka \dot{m}_{udara} juga akan semakin besar sehingga menyebabkan nilai *effectiveness*



Gambar 8. Effectiveness (ϵ) fungsi NTU untuk berbagai cr dengan menggunakan 2 radiator

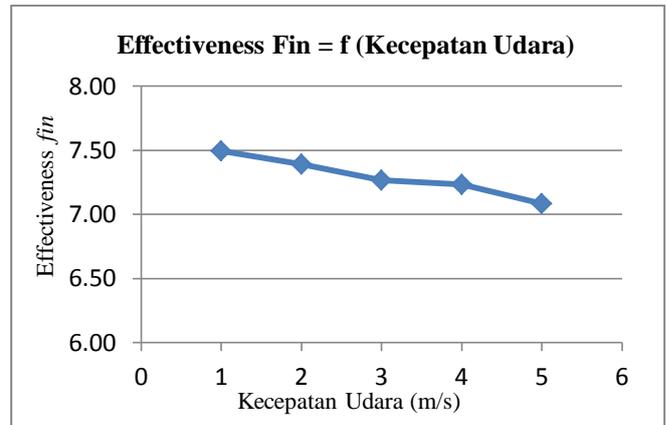


Gambar 9. Efisiensi η_f terhadap kecepatan udara

akan semakin naik. Jika \dot{m}_{udara} semakin tinggi akan mengakibatkan nilai dari q_{actual} akan naik begitu juga dengan nilai q_{max} semakin \dot{m}_{udara} tinggi maka nilai C_{min} akan naik.

Gambar 8 di atas adalah grafik effectiveness terhadap NTU untuk berbagai nilai Cr. Dari pengamatan grafik di atas dapat dilihat *trendline* dari grafik yaitu semakin besar nilai NTU dan semakin kecil nilai Cr maka nilai effectiveness juga semakin besar. Dimana dengan bertambahnya kecepatan udara maka nilai overall heat transfer koefisien akan mengalami kenaikan sehingga, dengan luasan perpindahan panas yang sama dan perubahan nilai Cmin yang relatif tinggi, nilai dari NTU akan naik yang mengakibatkan naiknya nilai effectiveness radiator.

Dari pengamatan grafik di atas dapat dilihat *trendline* dari grafik yaitu semakin tinggi kecepatan udara maka efisiensi η_f semakin turun. Secara teori semakin besar kecepatan udara maka temperatur rata-rata η_f tersebut akan turun. Semakin rendah kecepatan udara yang diberikan maka temperatur rata-rata η_f akan besar sehingga perbedaan temperatur antara permukaan η_f dengan udara akan besar juga begitu pula sebaliknya jika kecepatan udara besar maka temperatur rata-rata η_f akan turun, jadi perbedaan temperatur antara permukaan η_f dengan udara akan kecil sehingga perbandingan dari $\frac{q_f}{q_{maks}}$ semakin turun seiring bertambahnya kecepatan udara.



Gambar 10. Pengaruh kecepatan udara terhadap η_f effectiveness

Efektivitas Fin merupakan rasio perpindahan panas dari sirip ke perpindahan panas jika sirip itu tidak ada (*without fin*). Dari *trendline* pada gambar 9 effectiveness mengalami penurunan, semakin cepat kecepatan udara maka laju perpindahan panas pada η_f akan meningkat dan temperatur rata-rata pada permukaan η_f menjadi tinggi, sehingga perbedaan temperatur antara permukaan η_f dengan udara akan besar. Tetapi di sisi lain dengan meningkatnya laju perpindahan panas η_f , laju perpindahan panas tanpa η_f (q_{wt}) juga mengalami peningkatan, sehingga perbandingan dari laju perpindahan panas η_f (q_f) terhadap laju perpindahan panas tanpa η_f (q_{wt}) akan semakin turun dengan semakin besarnya kecepatan udara. Tetapi dari hasil yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa η_f meningkatkan perpindahan panas sebagaimana mestinya karena η_f effectiveness > 2 [1].

I. KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dalam menguji performa radiator dan efisiensi fin dapat disimpulkan:

1. Laju perpindahan panas aktual (q_{act}) meningkat seiring bertambahnya debit air. Pada debit 2100L/h dengan kecepatan udara 1 m/s, q_{act} untuk penggunaan 1 radiator adalah 2289.47 W dan q_{act} untuk penggunaan 2 radiator adalah 5348.2 W. Pada debit 2100L/h dengan kecepatan udara 5 m/s, q_{act} untuk penggunaan 1 radiator adalah 20.948 KW dan q_{act} untuk penggunaan 2 radiator adalah 29.447 KW.
2. Effectiveness (ϵ) meningkat seiring bertambahnya kecepatan udara. Pada kecepatan udara 1 m/s, effectiveness 1 radiator adalah 0.24 dan penggunaan 2 radiator adalah 0.58. Untuk penggunaan 2 radiator effectiveness sekitar 0.65 dibandingkan effectiveness pada penggunaan 1 radiator sebesar 0.45 untuk kecepatan udara 5 m/s.
3. Temperatur udara keluar untuk 2 radiator dengan kecepatan 5 m/s lebih besar yaitu sebesar 65.13°C dibandingkan dengan temperatur udara keluar untuk 1 radiator yaitu sebesar 54°C jadi kecepatan udara yang optimal untuk proses pengeringan yang dipakai pada alat pengering adalah sebesar 5 m/s.
4. Efisiensi η_f pada compact heat exchanger ini pada kecepatan 1 m/s sebesar 0.99 dan pada kecepatan 5 m/s sebesar 0.93

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Prabowo, M. Eng. Sebagai dosen pembimbing dan laboratorium Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS yang telah banyak mendukung kelancaran penelitian kali dan semua pihak yang membantu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Incropera, Frank P., DeWitt, Bergman, Lavine. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition*. John Wiley & Sons Inc. New York.
- [2] Kays, W. M., A. L. London. *Compact Heat Exchangers second edition*. McGraw – Hill Book Company.