

# Studi Eksperimen Analisa Performa Compact Heat Exchanger Circular Tubes Continuous Plate Fin Untuk Pemanfaatan Waste Energy

Rachmadi Gewa Saputra, Ary Bachtiar Khrisna Putra

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: arybach@me.its.ac.id

**Abstrak**—Harga minyak dunia cenderung mengalami peningkatan dalam beberapa tahun terakhir sehingga manusia berfikir untuk memanfaatkan setiap penggunaan minyak bumi. Dengan berkembangnya teknologi saat ini waste energy yang berupa gas hasil pembakaran pada engine dapat dimanfaatkan menjadi bentuk energi lain menggunakan heat recovery system. Pada tugas akhir ini dilakukan desain sebuah heat exchanger tipe circular tubes continuous plate fin dengan susunan tube aligned yang digunakan untuk menyerap waste energy yang berupa exhaust gas. Untuk mendapatkan dimensi desain yang sesuai digunakan metode  $\Delta T_{LMTD}$ . Metode ini digunakan untuk menentukan nilai dari overall heat transfer desain dari heat exchanger, kemudian dilakukan perhitungan untuk nilai overall heat transfer hitung. Setelah didapatkan nilai dari overall heat transfer secara desain dan hitung maka dilakukan iterasi untuk mendapatkan dimensi heat exchanger yang memiliki nilai error paling kecil antara nilai overall heat transfer desain dan hitung. Untuk pengujian performa dari heat exchanger yang telah didesain maka dilakukan variasi kecepatan exhaust gas yang melewati heat exchanger, yaitu 0.4 m/s, 0.3 m/s, dan 0.2 m/s. Exhaust gas yang digunakan memiliki temperatur 280°C. Pada tugas akhir ini didapatkan desain compact heat exchanger dengan dimensi panjang 0.38 m, lebar 0.45 m, dan tebal 0.04m. Setelah dilakukan pengujian dengan memvariasikan kecepatan dari exhaust gas yang melewati heat exchanger maka didapatkan bahwa nilai dari  $Q_{aktual}$  dari heat exchanger mengalami kenaikan dengan bertambahnya reynolds number akibat bertambahnya kecepatan exhaust gas, kemudian nilai dari effectiveness akan mengalami penurunan untuk setiap kenaikan dari reynold number exhaust gas. Selain itu nilai dari NTU heat exchanger juga mengalami penurunan dengan bertambahnya reynold number exhaust gas. Untuk nilai overall heat transfer dari heat exchanger yang didesain akan mengalami kenaikan akibat bertambahnya nilai reynold number exhaust gas.

**Kata Kunci**—Compact heat exchanger, Waste energy, Heat recovery system.

## I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun kebelakang harga minyak dunia mengalami kenaikan yang cukup tinggi. Hal tersebut memberikan dampak pada hampir semua sektor kehidupan manusia. Keresahan yang terjadi akibat kenaikan harga minyak tersebut mengakibatkan banyak orang untuk memikirkan cara yang terbaik dalam memanfaatkan penggunaan bahan bakar minyak. Dengan perkembangan teknologi yang ada saat ini hasil dari pembakaran bahan bakar pada mesin yang berupa *exhaust gas* dan memiliki temperatur tinggi dapat dimanfaatkan kembali dengan menggunakan *waste heat recovery system*.

*Waste heat recovery system* sendiri merupakan proses yang digunakan untuk memanfaatkan kembali panas yang terbuang pada sebuah sistem yang menghasilkan *waste heat*

Tabel 1.

Data awal perancangan Heat exchanger

| No | Data   | Nilai        |
|----|--|--------------|
| 1  | Temperatur inlet Exhaust Gas ( $T_{h,i}$ )             | 280 °C       |
| 2  | Temperatur outlet Air ( $T_{c,o}$ )                    | 120.4 °C     |
| 3  | Temperatur inlet Air ( $T_{c,i}$ )                     | 27 °C        |
| 4  | Mass Flowrate Exhaust Gas ( $\dot{m}_{Exhaust\ gas}$ ) | 0.4838 Kg/s  |
| 5  | Mass Flowrate Air ( $\dot{m}_{air}$ )                  | 0.01024 Kg/s |

sehingga dapat dimanfaatkan kembali [1]. Pada mesin yang menghasilkan energi panas akibat pembakaran yang terjadi pada ruang bakar banyak dari energi panas tersebut yang dibuang melalui *muffler*. *Waste heat recovery system* ini menggunakan *heat exchanger* yang berguna untuk menangkap energi panas tersebut yang kemudian diubah menjadi bentuk energi lain sehingga dapat dimanfaatkan.

Dari banyak tipe *heat exchanger* yang ada untuk penelitian ini digunakan *compact heat exchanger*. Pemilihan *compact heat exchanger* itu sendiri dikarenakan salah satu dari fluida yang mengalir dalam bentuk gas. Selain itu *compact heat exchanger* memiliki luas permukaan perpindahan panas per unit volume yang sangat besar ( $\geq 700 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ) sehingga dapat menangkap panas dengan baik [2].

Penelitian yang dilakukan ini dapat dijadikan sebagai salah satu solusi dalam pemanfaatan *waste energy* yang berupa panas. Selain itu dengan penggunaan *waste heat recovery system* ini akan mengurangi polusi temperatur karena panas yang seharusnya dibuang menuju atmosfer akan diserap terlebih dahulu oleh *heat exchanger*.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Desain Compact Heat Exchanger

Dalam penelitian ini dilakukan desain *compact heat exchanger* tipe *circular tube continuous plate fin*. Tabel 1 merupakan data awal yang digunakan untuk mendesain *heat exchanger*.

Dengan data yang telah ada maka dapat dicari nilai dari temperatur *outlet exhaust gas* dengan menggunakan konsep *balance energy*. Setelah diketahui nilai dari temperatur *outlet exhaust gas* maka metode perancangan yang

digunakan adalah  $\Delta T_{LMTD}$  untuk mendapatkan nilai dari *overall heat transfer*. Perumusan untuk perhitungan nilai *overall heat transfer* adalah sebagai berikut [2]:

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln \left( \frac{T_{h,i} - T_{c,o}}{T_{h,o} - T_{c,i}} \right)} \dots\dots\dots (1)$$

$$UA_{desain} = \frac{q_{desain}}{\Delta T_{LMTD}} \dots\dots\dots (2)$$

Setelah didapatkan nilai dari *overall heat transfer coefficient* secara desain maka dapat dilanjutkan dengan melakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari *overall heat transfer* secara perhitungan dengan dimensi *heat exchanger* yang telah ditentukan. Perumusanya dapat dilihat sebagai berikut [2] :

$$\frac{1}{UA_{hitung}} = \frac{1}{\eta A_h h_h} + \frac{1}{A_c h_c} \dots\dots\dots (3)$$

Dari perhitungan nilai *overall heat transfer* secara perhitungan dilakukan iterasi untuk dimensi *heat exchanger* yang memiliki nilai *error* terkecil dengan nilai *overall heat transfer* desain. Dari hasil iterasi yang sudah dilakukan didapatkan dimensi heat exchanger pada tabel 2.

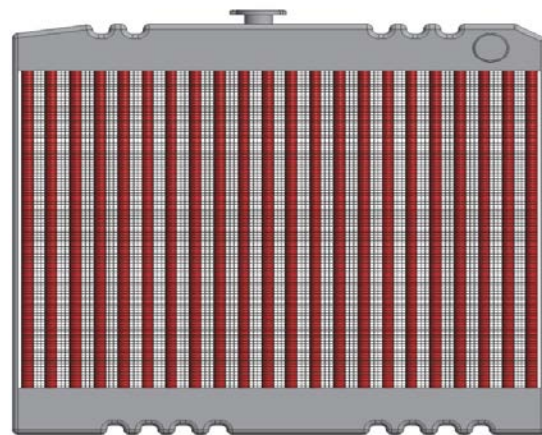
Gambar 2 diatas menunjukkan skema instalasi yang digunakan dalam pengujian compact heat exchanger yang telah didesain. Untuk susunan peralatan yang digunakan dijelaskan sebagai berikut, simbol A menunjukkan tangki air yang berguna untuk menampung air sebagai fluida kerja. Simbol B merupakan *gear pump* yang bertujuan untuk mengalirkan fluida kerja. Simbol C merupakan *pressure gauge* yang berfungsi untuk mengetahui tekanan keluar dari *gear pump*. Simbol D merupakan *gate valve* yang berfungsi untuk mengatur pembebanan pada *heat exchanger*. Simbol E merupakan *flowmeter* yang berfungsi untuk mengetahui debit air yang masuk *heat exchanger*. Simbol F merupakan *burner* yang berfungsi untuk menghasilkan *exhaust gas* sebagai pengganti dari mesin. Simbol G merupakan *anemometer digital* yang berfungsi untuk mengetahui kecepatan *exhaust gas* yang melewati *heat exchanger*. Simbol H merupakan *thermocouple* yang berfungsi untuk mengetahui temperature air yang masuk ke dalam *heat exchanger*. Simbol I merupakan *thermocouple* yang berfungsi untuk mengetahui temperatur air setelah keluar dari heat exchanger. Simbol J merupakan *thermocouple* yang berfungsi untuk mengetahui temperatur *exhaust gas* yang masuk *heat exchanger*. Simbol K merupakan *thermocouple* yang berfungsi untuk mengetahui temperatur *exhaust gas* keluar dari *heat exchanger*. Simbol L merupakan *standard exhaust fan* yang berguna mengatur kecepatan *exhaust gas* yang melewati *heat exchanger*. Simbol M merupakan *compact heat exchanger* yang sudah didesain. Simbol N merupakan *ducting* yang berfungsi sebagai tempat duduk *heat exchanger* dan pengarah aliran *exhaust gas*.

Cara kerja alat pada gambar 2 dimulai dari air yang berada didalam tangki penyimpanan air yang dihisap oleh *gear pump* dan dialirkan masuk menuju *compact heat exchanger* yang telah didesain.

Air yang dipompa oleh *gear pump* tadi akan melewati *compact heat exchanger* yang kemudian akan menuju

Tabel 2.  
Dimensi desain *compact heat exchanger*

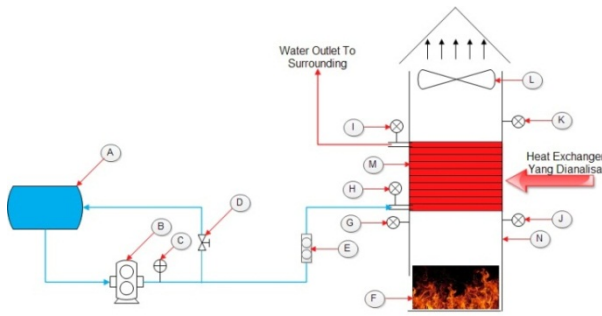
| No | Data                     | Nilai   |
|----|--------------------------|---|
| 1  | Tipe Heat Exchanger      | Compact Heat Exchanger Circular tube countinuous plate fin. |
| 2  | Volume Heat Exchanger    | PxLxT = 380 mmx450 mmx40 mm                                 |
| 3  | Diameter Tube            | 10 mm   |
| 4  | Jumlah Baris Tube        | 2 baris   |
| 5  | Jumlah Tube tiap Baris   | 22.45 tube  |
| 6  | ST                       | 20 mm   |
| 7  | SL                       | 20 mm   |
| 8  | Fin pitch                | 315/m   |
| 9  | Tebal Fin                | 0.3 mm  |
| 10 | $A_{fr}$                 | 0.170 m <sup>2</sup>  |
| 11 | $N_{fin}$                | 119.7   |
| 12 | $A_{fin}$                | 1.728 m <sup>2</sup>  |
| 13 | $A_{tube}$               | 0.485 m <sup>2</sup>  |
| 14 | $A_{total}$              | 2.213 m <sup>2</sup>  |
| 15 | $A_{air}$                | 0.536 m <sup>2</sup>  |
| 16 | $A_{fin}/A_{total}$      | 0.781   |
| 17 | $A_{ff}$                 | 0.105 m <sup>2</sup>  |
| 18 | $A_{ff}/A_{fr} (\sigma)$ | 0.616   |



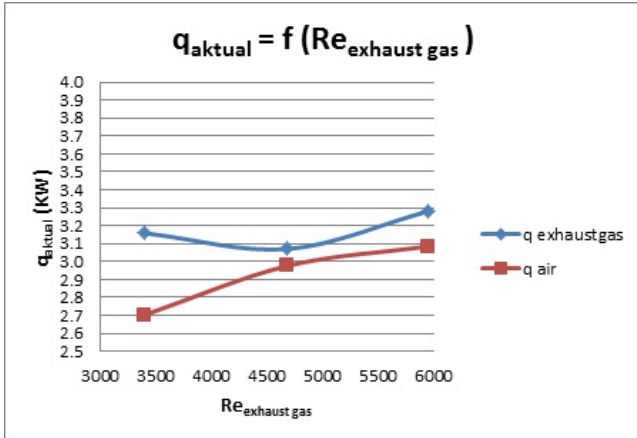
Gambar 1. Heat exchanger hasil desain

*surrounding*. Selama melewati *heat exchanger* air tersebut akan dikenai proses pemanasan dari *burner* yang berada didalam *ducting* sehingga air yang sebelum masuk *heat exchanger* memiliki temperatur rendah setelah keluar dari heat exchanger memiliki temperature yang tinggi.

B. Metode Penelitian



Gambar 2 . Skema instalasi pengujian compact heat exchanger



Gambar 3. Grafik  $q_{air}$  dan  $q_{exhaust\ gas}$  fungsi Reynolds Number exhaust gas

C. Perhitungan Performa Compact Heat Exchanger

Setelah dilakukan pengujian pada heat exchanger yang telah didesain dan didapatkan data-data yang diperlukan maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk performa dari heat exchanger dengan rumus sebagai berikut[2,3]:

$$q_{aktual} = \dot{m}_{air} (h_{c,o} - h_{c,i}) \dots \dots \dots (4)$$

$$q_{max} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i}) \dots \dots \dots (5)$$

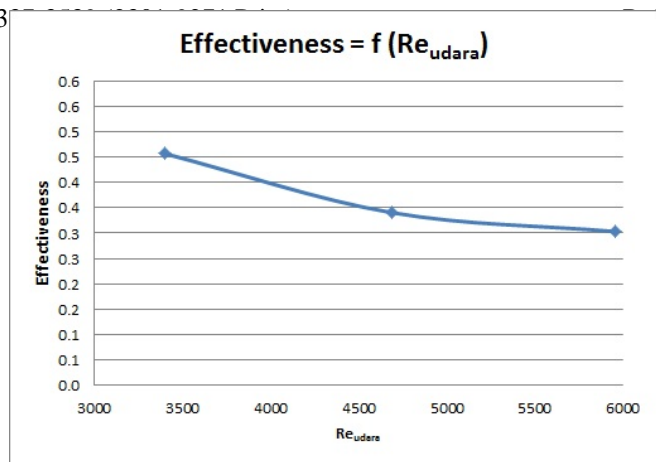
$$Effectiveness \ \varepsilon = \frac{q_{akt}}{q_{max}} \dots \dots \dots (6)$$

$$NTU = \text{grafik} \dots \dots \dots (7)$$

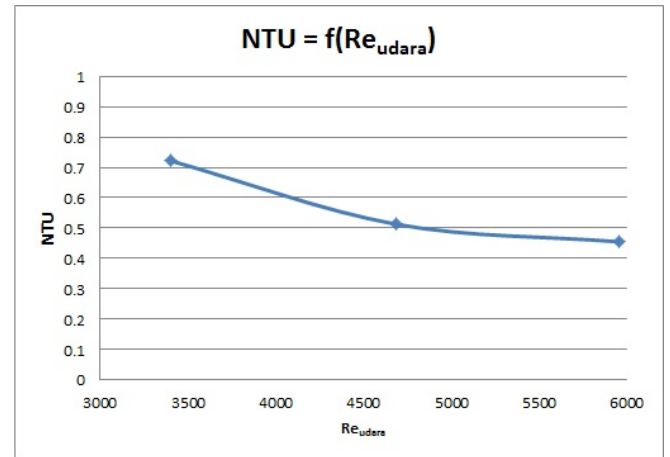
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian eksperimen compact heat exchanger circular tube continuous plate fin didapatkan dimensi dari heat exchanger yang telah didesain selain itu didapatkan beberapa grafik untuk analisa performa dari heat exchanger yang telah didesain.

Pada gambar 3 terlihat bahwa trendline grafik dari  $q_{air}$  semakin meningkat dengan bertambahnya nilai Reynolds Number exhaust gas, sedangkan untuk  $q_{exhaust\ gas}$  nilainya selalu berada diatas dari  $q_{air}$ . Seharusnya untuk nilai  $q_{air}$  dan  $q_{exhaust\ gas}$  adalah sama. Ketidaksamaan antara nilai  $q_{air}$  dan  $q_{exhaust\ gas}$  ini dikarenakan adanya  $q_{loss}$  akibat adanya bagian dari heat exchanger yang tidak diisolasi.



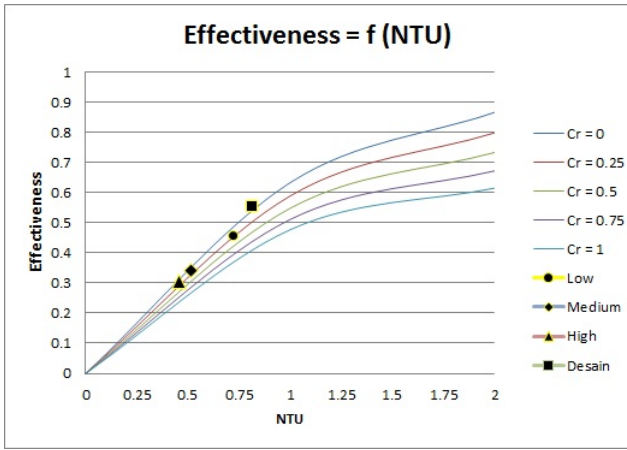
Gambar 4. Grafik effectiveness fungsi Reynolds Number exhaust gas



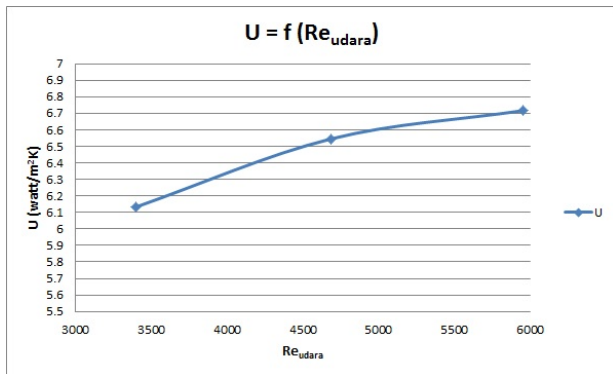
Gambar 5. Grafik NTU fungsi Reynolds Number exhaust gas

Pada gambar 5 terlihat bahwa trendline grafik dari nilai NTU heat exchanger mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai dari Reynolds Number. Penurunan nilai dari NTU tersebut diakibatkan dengan setiap kenaikan Reynolds Number akan diikuti kenaikan nilai dari minimum heat capacity yang akan mengakibatkan penurunan nilai dari NTU dengan luasan perpindahan panas heat exchanger yang sama.

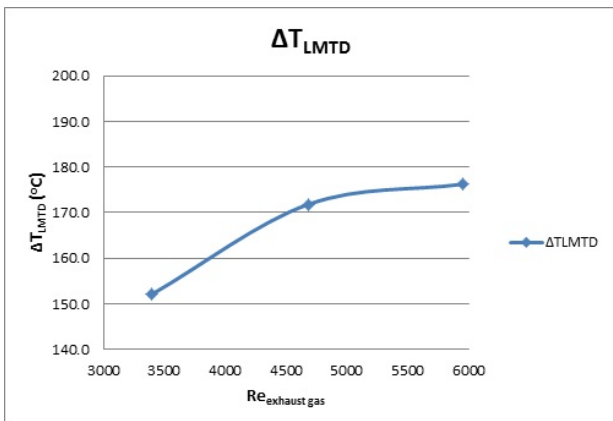
Pada gambar 6 terlihat bahwa dari percobaan yang sudah dilakukan dengan variasi mass flowrate exhaust gas nilai dari effectiveness akan mengalami penurunan begitu juga dengan nilai NTU. Nilai effectiveness tertinggi terjadi pada nilai mass flowrate exhaust gas terendah yaitu sebesar 0.457 dengan nilai NTU sebesar 0.722. Hal tersebut dikarenakan untuk nilai mass flowrate exhaust gas terendah memiliki nilai  $q_{max}$  yang rendah juga, sehingga akan meningkatkan nilai effectiveness.



Gambar 6. Grafik effectiveness fungsi NTU



Gambar 7. Grafik Overall Heat Transfer fungsi Reynolds Number



Gambar 8. Grafik ΔTLMTD fungsi Reynolds Number exhaust gas

Pada gambar 7 terlihat bahwa trendline grafik dari overall heat transfer mengalami kenaikan dengan bertambahnya nilai Reynolds Number. Kenaikan nilai dari overall heat transfer dikarenakan dengan bertambahnya nilai Reynolds Number akan meningkatkan nilai koefisien konveksi pada sisi exhaust gas. Akibat dari kenaikan koefisien konveksi tersebut adalah menurunnya nilai dari tahanan thermal dari heat exchanger yang mengakibatkan kenaikan nilai overall heat transfer coefficient.

Pada gambar 8 terlihat bahwa trendline grafik dari ΔTLMTD mengalami kenaikan dengan bertambahnya nilai Reynolds Number. Kenaikan nilai dari ΔTLMTD tersebut dikarenakan dengan bertambahnya nilai Reynolds Number akan meningkatkan nilai dari temperatur keluar dari heat exchanger.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dalam menguji performa compact heat exchanger circular tube continuous plate fin dapat disimpulkan:

1. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan untuk setiap kenaikan nilai dari Reynolds Number exhaust gas nilai dari  $q_{air}$  terus mengalami peningkatan dan ketika Reynold Number 5953,624  $q_{air}$  memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 3,09 KWatt.
2. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan untuk setiap kenaikan nilai dari Reynolds Number exhaust gas nilai dari effectiveness heat exchanger terus mengalami penurunan dan ketika Reynold Number 3398,589 heat exchanger memiliki effectiveness tertinggi yaitu sebesar 0,457.
3. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan untuk setiap kenaikan nilai dari Reynolds Number exhaust gas nilai dari NTU heat exchanger terus mengalami penurunan dan ketika Reynold Number 3398,589 heat exchanger memiliki NTU tertinggi yaitu sebesar 0,722.
4. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan didapatkan untuk setiap kenaikan nilai dari Reynolds Number exhaust gas nilai dari overall heat transfer terus mengalami peningkatan dan ketika Reynold Number 5953,624 overall heat transfer memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 6.72 W/m<sup>2</sup>K

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada laboratorium Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri ITS yang telah banyak mendukung kelancaran penelitian kali ini serta bapak dosen pembimbing dan semua pihak yang membantu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. [http://en.wikipedia.org/wiki/Waste\\_heat\\_recovery\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Waste_heat_recovery_system)
- [2]. Incropera, F.P., Dewitt, D.P. 2007. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 6th ed. New York : John Wiley and Sons inc.
- [3]. Kays, W.M., London, A.L. 1964. Compact Heat Exchanger. 2<sup>nd</sup> ed. New York : McGraw Hill Book Company.