

# KAJI EKSPERIMENTAL PENGARUH PANJANG TERHADAP LAJU PERPINDAHAN PANAS ALAT PENUKAR PANAS PIPA KONSENTRIK

Budi Santoso \*)

**Abstract:** *This research analyzed the effect of length to the performance of the concentric pipe heat exchanger in parallel flow and counter flow. Three meter of length in concentric pipe heat exchanger were used, where lubricant SAE 20W-50 flowed in the shell side and water is flowed in the tube side. The heat exchanger was also analyzed for parallel flow and counter flow of the cold fluid. After testing, the performance of the heat exchanger with each temperature measurement distance, for counter flow heat exchanger shorter theoretic length obtained compared to the parallel flow. The heat transfer coefficient obtained for counter flow in three different temperature distance 1 meter, 2 meter and 3 meter were 166.27 W/m<sup>2</sup>.K, 128.45 W/m<sup>2</sup>.K and 128.5 W/m<sup>2</sup>.K, and for parallel flow 166.29 W/m<sup>2</sup>.K, 128.5 W/m<sup>2</sup>.K and 124.52 W/m<sup>2</sup>.K respectively. The heat exchanger effectiveness obtained from the experiment in three different temperature measurements 1 meter, 2 meter and 3 meter were 5.9 %, 10 % and 14.3 % for counter flow, and for parallel flow 7.2 %, 11.4 % and 13 % respectively.*

**Keywords:** *concentric pipe, heat exchanger, parallel flow, counters flow*

## PENDAUULAN

Dalam dunia industri menggunakan penukar panas. Alat penukar panas ini digunakan untuk memindahkan panas dari satu fluida ke fluida lain. Perpindahan panas dapat terjadi dengan cara bercampur dan tidak bercampur tergantung tipe/jenis alat penukar kalor.

Dalam penelitian yang dilakukan (Mokamati, S.V. dan Prasad, R.C., 1998) dengan penukar panas panjang 500 mm, diameter dalam tabung 7 mm, diameter luar tabung 8 mm, diameter dalam selongsong 13 mm dan diameter luar selongsong 14 mm, untuk fluida panas berada di dalam tabung dan fluida panas di luar tabung. Penilitain menggunakan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) untuk mensimulasikan perpindahan panas dan rugi tekanan (*pressure drop*). Simulasi tersebut dilakukan pada rentang Bilangan Reynolds dengan memberikan variasi kecepatan fluida panas dari 3 m/s s.d. 10 m/s,

sedangkan fluida dingin dijaga pada kecepatan 6 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien perpindahan panas semakin besar dengan semakin besarnya harga bilangan Reynolds.

Menurut (Thorud, B., 2003) Yang melakukan penelitian tentang penukar panas dan ejektor SOFC – GT (*system of solid oxide fuel cells and a gas turbine*) mengemukakan bahwa penukar panas paling sederhana adalah tipe tabung konsentrik, dari penelitian tersebut diketahui bahwa pada aliran searah temperatur keluar fluida dingin tidak akan dapat melebihi emperatur fluida panas keluar, hal tersebut berbeda dengan aliran berlawanan, jika tidak ada batasan panjang maka aliran berlawanan memiliki kemungkinan temperatur keluar fluida dingin dapat melebihi temperatur keluar fluida panas. Oleh sebab itu aliran berlawanan adalah desain yang paling bagus.

Percobaan untuk mengetahui pengaruh dari panjang sebuah penukar panas terhadap

---

\*)Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT UNS

laju perpindahan panas pada penukar panas (*heat exchanger*) pipa ganda (konsentrik) dan perbandingan efektifitas perpindahan panas antara penukar panas aliran sejajar dan berlawanan arah. Batasan permasalahan adalah (1) fluida kerja adalah fluida *incompressible*, dengan fluida panas adalah minyak oli SAE 20W-50 dalam kondisi baru dan fluida dingin adalah air, (2) pengambilan data dilakukan pada kondisi aliran dan temperatur *steady*, (3) seksi uji adalah penukar panas (*heat exchanger*) berupa pipa ganda (konsentrik) selongsong dan tabung (*shell and tube*) horizontal, (4) penelitian dilakukan dengan variasi jarak pengambilan data temperatur pada satu meter, dua meter dan tiga meter sepanjang penukar panas (*heat exchanger*), (5) penelitian dilakukan dengan aliran sejajar (*parallel flow*) dan aliran berlawanan arah (*counter flow*), (6) alat penukar panas diisolasi dari lingkungan, dimana diharapkan panas yang hilang ke lingkungan dapat seminimal mungkin sehingga diharapkan pula hanya terdapat perpindahan panas antara fluida panas dan dingin, (7) konduksi pada arah aksial dari tabung diabaikan, (8) perubahan energi potensial dan energi kinetik diabaikan, (9) tidak ada perubahan fase dalam fluida, (10) aliran fluida sisi selongsong (Oli) secara gravitasi.

### LANDASAN TEORI

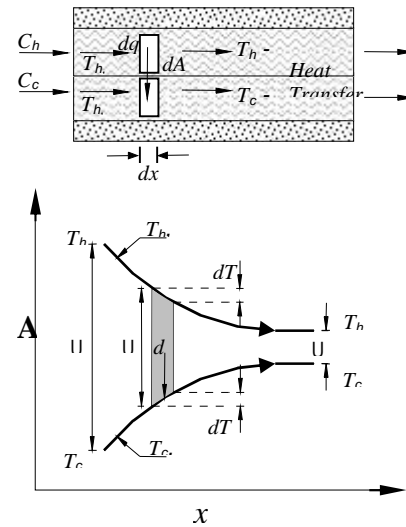
Mekanisme perpindahan panas dari penukar panas pipa ganda aliran searah (*parallel flow*) dan aliran berlawanan (*counter flow*) dapat dilihat pada Gambar 1. dan Gambar 2.

Panas yang dipindahkan dapat dituliskan sebagai,

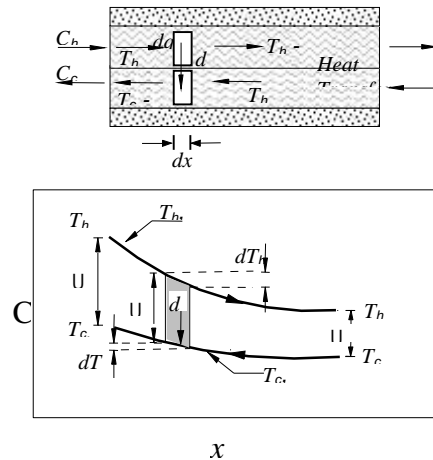
$$dq = -m.c_{p,h}.dT_h = m.c_{p,c}.dT_c \quad (1)$$

Dapat pula dinyatakan dengan

$$dq = U(T_h - T_c) dA \quad (2)$$



Gambar 1. Perpindahan panas pada penukar panas pipa ganda aliran searah



Gambar 2. Perpindahan panas pada penukar panas pipa ganda aliran berlawanan arah

atau,

$$q = UA\Delta T_{LMTD} \quad (3)$$

dan

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h2} - T_{c2}) - (T_{h1} - T_{c1})}{\ln((T_{h2} - T_{c2}) / (T_{h1} - T_{c1}))}$$

Efektifitas suatu penukar panas (*heat-exchanger effectiveness*) didefinisikan sebagai berikut,

$$\text{Efektifitas} = \epsilon = \frac{\text{perpindahan panas nyata}}{\text{perpindahan panas yang mungkin}}$$

perpindahan panas nyata (*actual*) dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin. Untuk penukar panas aliran searah (*parallel flow*) dirumuskan sebagai berikut,

$$q = m_h c_h (T_{hi} - T_{ho}) = m_c c_c (T_{co} - T_{ci}) \quad (4)$$

untuk aliran berlawanan arah (*counter flow*):

$$q = m_h c_h (T_{hi} - T_{ho}) = m_c c_c (T_{ci} - T_{co}) \quad (5)$$

Perpindahan panas maksimum dari suatu alat penukar panas diperoleh bila salah satu fluida mengalami perubahan suhu mengalami beda suhu maksimum yang terdapat dalam penukar panas tersebut, yaitu selisih fluida masuk dari fluida panas dan fluida dingin. Fluida yang memiliki beda suhu maksimum adalah fluida yang memiliki harga  $mc$ -nya minimum, hal ini disebabkan pada kesetimbangan energi mensyaratkan bahwa energi yang diterima fluida sama dengan energi yang lepas oleh fluida yg lain. Sehingga persamaan untuk perpindahan panas maksimum diperoleh :

$$q_{maks} = (mc)_{\min} (T_{h_{masuk}} - T_{c_{masuk}}) \quad (6)$$

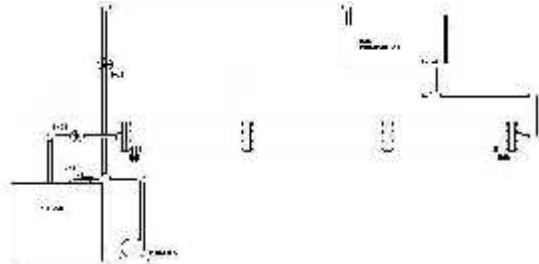
fluida minimum dapat terjadi pada fluida panas maupun fluida dingin tergantung dari laju aliran massa dan panas-spesifiknya. Efektifitas suatu penukar panas adalah,

$$\epsilon = \frac{q}{q_{\max}} \quad (7)$$

## PERALATAN

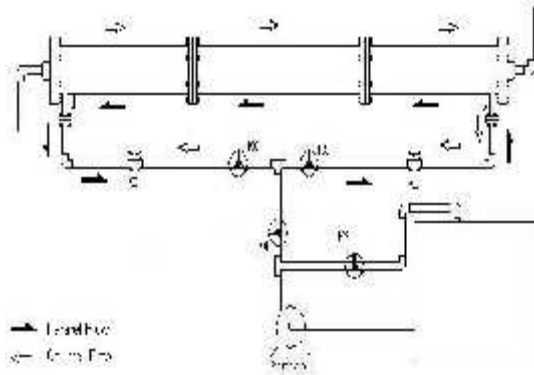
Untuk fluida panas pipa yang digunakan adalah pipa besi  $\frac{3}{4}$  dengan sambungan berupa sambungan ulir dengan maksud agar

mudah dalam bongkar pasang. Pada sistem perpipaan fluida panas terdapat tiga buah katup untuk pengaturan fluida, seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



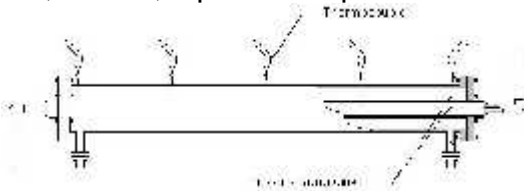
Gambar 3. Sistem perpipaan fluida panas

Untuk fluida dingin pipa yang digunakan adalah pipa PVC, seperti diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Sistem perpipaan fluida dingin

Untuk mengetahui temperatur ini digunakan *thermocouple* tipe K dengan dilengkapi satu set personal komputer (PC) untuk display data yang diperoleh. Thermocouple dipasang pada jarak 0 m, 1 m, 2 m, dan 3 m, seperti terlihat pada Gambar 5.

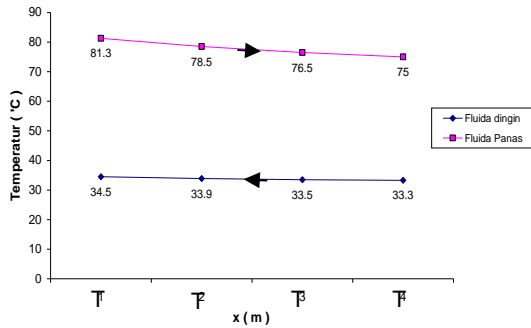


Gambar 5. Penempatan Thermocouple

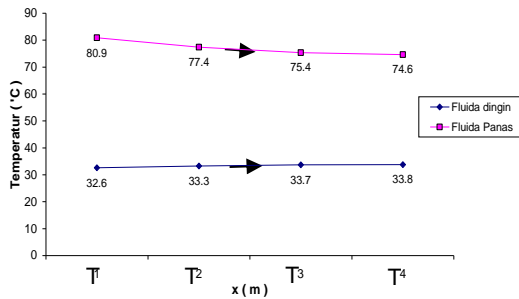
Parameter-parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah (1) temperatur Oli masuk ( $T_{hi}$ ), (2) temperatur Oli keluar ( $T_{ho}$ ), (3) temperatur air masuk ( $T_{ci}$ ), (4) temperatur air keluar ( $T_{co}$ ), (5) debit aliran oli ( $m$ ), dan (6) debit aliran air, ( $m_b$ )

### HASIL DAN PEMBAHASAN

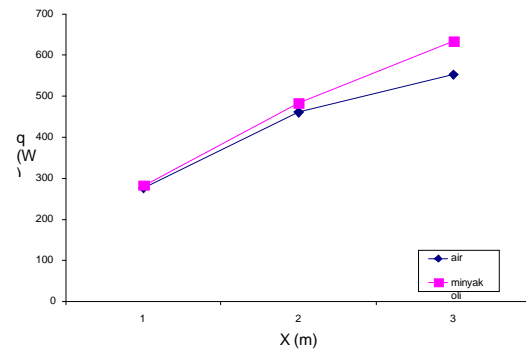
Dari pengujian aliran berlawanan dan aliran sejajar diperoleh rata-rata temperatur pada tiap-tiap titik pengambilan data seperti terlihat pada Gambar 6a dan Gambar 6b.



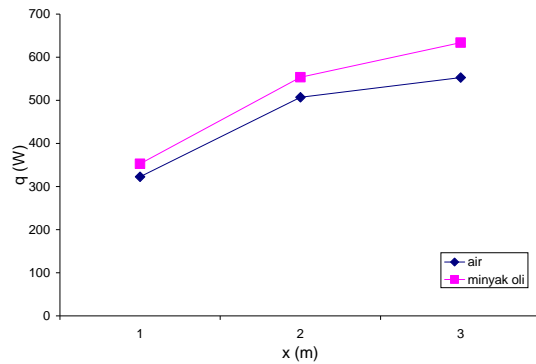
Gambar 6a. Grafik hasil pengujian temperatur untuk aliran berlawanan



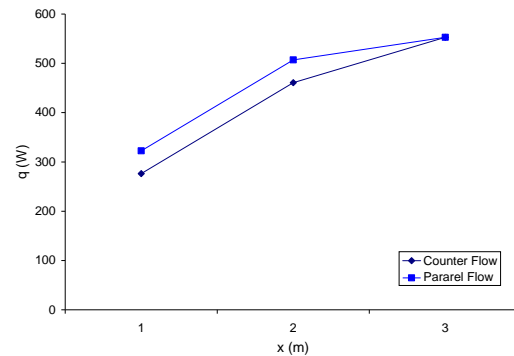
Gambar 6b. Grafik hasil pengujian temperatur untuk aliran sejajar



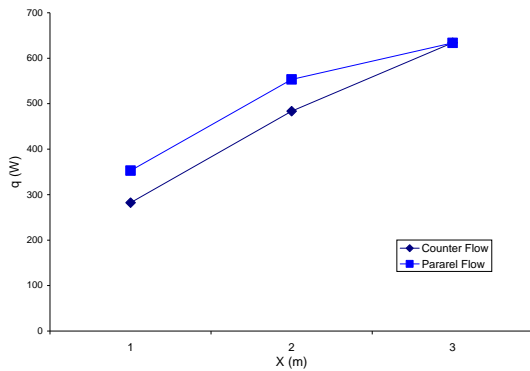
Gambar 7a. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas pada aliran berlawanan,



Gambar 7b. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas pada aliran sejajar



Gambar 7c. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas air untuk aliran searah dan berlawanan,

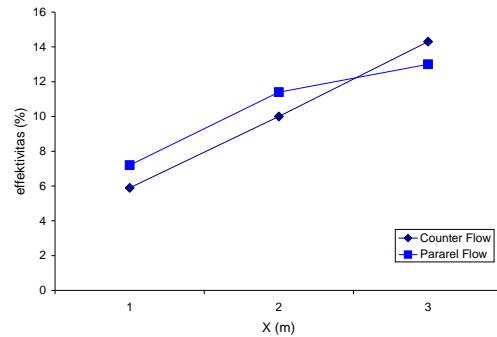


Gambar 7d. Grafik hubungan panjang penukar panas dengan laju perpindahan panas minyak oli untuk aliran searah dan berlawanan

Dari Gambar 7 terlihat bahwa semakin panjang penukar panas maka laju perpindahan panas akan makin besar, hal ini dikarenakan semakin panjang penukar panas maka luas permukaan kontak akan semakin besar, kondisi ini mengakibatkan temperatur keluar ( $T_{hi}$ ) minyak oli akan makin turun dan temperatur air ( $T_{\infty}$ ) akan bertambah naik sehingga selisih beda temperatur akan makin besar untuk masing masing fluida.

Dari Gambar 7 juga terlihat laju perpindahan panas pada penukar panas aliran sejajar lebih tinggi dari penukar panas aliran berlawanan, Laju perpindahan panas pada aliran berlawanan pada panjang 1 meter 275,48 W untuk air dan 280,31 W untuk oli, pada panjang 2 meter 459,14 W untuk air dan 479,4 W untuk oli, pada panjang 3 meter 551,5 W untuk air dan 628,6 W untuk oli. Laju perpindahan panas pada aliran sejajar panjang 1 meter 321,4 W untuk air dan 349,9 W untuk oli, pada panjang 2 meter 505,1 W untuk air dan 548,5 W untuk oli, pada panjang 3 meter 551 W untuk air dan 628 W untuk oli. Hal ini dikarenakan pada aliran berlawanan temperatur air yang memasuki penukar panas lebih tinggi dibandingkan dengan yang akan memasuki penukar panas aliran sejajar, hal

tersebut mengakibatkan perbedaan temperatur ( $\Delta T$ ) menjadi lebih kecil. Pada penukar panas aliran berlawanan temperatur air yang memasuki penukar panas adalah 33,3°C, sedangkan temperatur air yang memasuki penukar panas aliran sejajar adalah 32,6°C seperti terlihat pada Gambar 6a. dan 6b.



Gambar 8. Grafik hubungan dimensi panjang dengan efektifitas penukar panas

Dari Gambar 8 terlihat bahwa semakin panjang penukar panas maka efektifitas akan makin meningkat hal tersebut dikarenakan semakin bertambah panjang penukar panas maka beda temperatur yang dihasilkan akan makin besar, hal tersebut menyebabkan laju pendinginan oli ( $q_{oil}$ ) akan makin besar sedangkan perubahan pada laju pendinginan maksimum ( $q_{max}$ ) hanya dipengaruhi oleh konduktivitas termal dari minyak oli, karena temperatur masing masing fluida yang akan memasuki penukar panas tidak mengalami perubahan sehingga perubahan yang terjadi pada laju pendinginan maksimum ( $q_{max}$ ) ini tidak terlalu signifikan.

Dari hasil perhitungan efektifitas yang di tunjukkan pada Gambar 8. terlihat bahwa pada panjang penukar panas 1 meter dan 2 meter penukar panas aliran sejajar memiliki harga efektifitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penukar panas aliran berlawanan, sedangkan pada panjang 3

meter penukar panas aliran berlawanan lebih tinggi dibandingkan aliran sejajar. Seperti yang telah di utarakan sebelumnya dari penukar panas diperoleh hasil untuk aliran sejajar pada panjang 1 meter adalah 5,9 %, untuk 2 meter adalah 10 % dan untuk 3 meter diperoleh harga 14,3 %. Sedangkan untuk aliran berlawanan diperoleh hasil pada panjang penukar panas 1 meter adalah 7,2 %, untuk 2 meter 11,4 % dan untuk 3 meter 13 %.

## KESIMPULAN

Dari hasil-hasil yang di paparkan di atas terlihat bahwa pada penukar panas aliran sejajar memiliki harga efektifitas yang lebih tinggi dari aliran berlawanan, hal ini dikarenakan pada aliran berlawanan air yang akan memasuki penukar panas melewati tepat diatas boiler sehingga menyebabkan temperatur air yang akan memasuki penukar panas naik dan mengakibatkan efektifitas penukar panas aliran berlawanan menjadi lebih rendah dibandingkan dengan aliran sejajar. Pengaruh dari temperatur masuk ini makin lama akan makin berkurang sehingga pada panjang 3 meter diperoleh efektifitas penukar panas berlawanan lebih tinggi dari penukar panas aliran sejajar.

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan bahwa laju pendinginan minyak oli akan bertambah seiring dengan pertambahan panjang penukar panas. Laju pendinginan pada aliran berlawanan pada titik 1 meter 280,31 W, pada titik 2 meter 479,4 W, pada titik 3 meter 628,6 W. Laju pendinginan pada aliran sejajar titik 1 meter 349,9 W, pada titik 2 meter 548,5 W, pada titik 3 meter 628 W. Efektivitas perpindahan panas dari penukar panas (*heat exchanger*) jenis pipa konsektrik akan meningkat seiring dengan panjang dari penukar panas. Pada penukar panas aliran sejajar pada panjang 1 meter adalah 5,9%, untuk 2 meter adalah 10 % dan untuk 3 meter

diperoleh harga 14,3%. Sedangkan untuk aliran berlawanan diperoleh hasil pada panjang penukar panas 1 meter adalah 7,2 %, untuk 2 meter 11,4 % dan untuk 3 meter 14 %.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Sukimo dan Metri yang telah membantu terlaksananya penelitian ini dan Program Semi-Que IV yang telah memberikan dukungan peralatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P. 1994, *Perpindahan Kalor*, Erlangga, Jakarta
- Incropera, F.D. 1996, *Fundamental Heat and Mass Transfer*, John Wiley and Sons, Canada.
- Kreith Frank, 1997, *Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas*, Erlangga, Jakarta
- Saunders, E.A.D, 1988, *Heat Exchanger Selection, Design And Construction*, Longman Grup UK Limited, England.
- The American Society for Testing Material, 1978 *Annual Handbook of ASTM Standart*, Part 1
- Mokamati, S.V. and Prasad, R.C., 1998. *Numerical Simulation of Fluid Flow and Heat Transfer In a Concentric Tube Heat Exchanger*, University of British Columbia, Vancouver, BC, Canada.
- Thorud, B. 2003, *Heat exchangers and ejectors for the SOFC-GT system*, The Norwegian University of Science and Technology.