
PENINGKATAN UNJUK KERJA KETEL TRADISIONAL MELALUI *HEAT EXCHANGER*

Rianto, W.

Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus
Gondangmanis PO.Box 53-Bae, Kudus, telp 0291 4438229-443844, fax 0291 437198
e-mail : Riantowibowo_umk@yahoo.com

Abstrak

Pada penelitian ini telah dilakukan upaya optimasi sistem energi pada pengolahan kedelai di industri tahu dengan penggunaan heat exchanger dengan memanfaatkan uap panas sebagai pemanas awal bagi ketel uap. Heat exchanger adalah alat penukar kalor, dengan mengalirkan dua fluida didalamnya sehingga terjadi perpindahan kalor dari fluida bersuhu tinggi ke fluida bersuhu rendah. Fluida pemanas yang masuk pada heat exchanger berasal dari pipa uap panas sedangkan fluida yang dipanaskan adalah air yang akan menuju pada ketel uap. Proses desain dan pembuatan heat exchanger tipe counter flow didasarkan atas data-data yang didapat pada sistem ketel uap di usaha pembuatan tahu di kelurahan Mejobo, kabupaten Kudus yang terdiri : suhu air masuk ketel (T_1), suhu air pada ketel (T_2), debit air menuju ketel uap (Q_{in}), suhu uap hasil ketel (t_1) dan tekanan uap air yang dihasilkan ketel uap (P_1). Penurunan suhu uap air pada ketel memiliki hubungan yang kuat dengan panjang heat exchanger yang digunakan, dengan nilai korelasi hubungan 0,988006. Kenaikan suhu air untuk mengisi ketel uap memiliki nilai korelasi 0,998395 terhadap panjang heat exchanger.

***Kata kunci :** ketel uap, counter flow heat exchanger.*

PENDAHULUAN

Penukar kalor / heat exchanger merupakan alat yang berfungsi untuk melakukan transfer energy antara dua fluida, dan saat ini penggunaan heat exchanger telah meluas meliputi : power plant, reaktor nuklir, sistem AC (Air Conditioning), industri otomotif, sistem heat recovery, proses kimia, industri makanan dan lain-lain.

Beberapa kajian tentang performance pada helical heat exchanger telah dilakukan. Naphon (2006) mengamati heat transfer dan pressure drop pada heat exchanger dengan menggunakan *counter flow heat exchanger* dengan diameter *shell* 127 mm – 197 mm, dan diameter tube 9,5 mm. Selain itu, bahwa aliran fluida dalam *counter flow HE* memberikan efek yang positif terhadap nilai heat transfer pada heat exchanger juga telah dieliti oleh Rajavel dan Saravanan (2007).

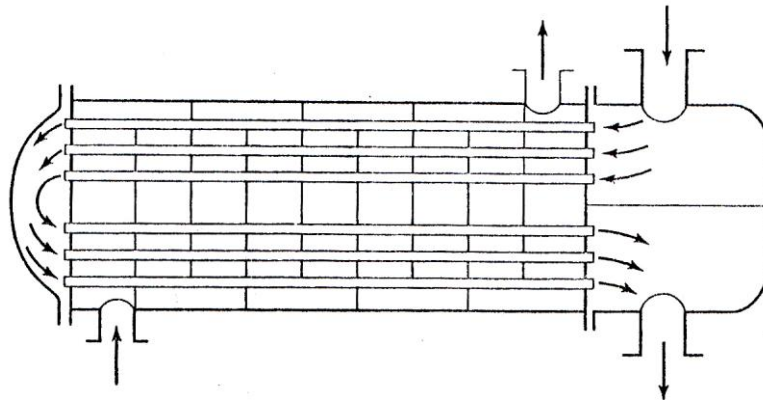
Inti dari beberapa penelitian yang telah dilakukan seperti tercantum diatas adalah mempelajari efek aliran fluida dengan arah berlawanan terhadap performa heat exchanger yang dihasilkan, khususnya heat transfer yang dihasilkan dan pressure drop yang terjadi. Masalahnya adalah belum adanya korelasi antara panjang tube terhadap nilai suhu awal fluida panas dalam ketel uap dalam pemakaian sistem energi di industri, sehingga perlu dilakukan kajian terhadap pengaruh perubahan geometri alat terhadap performanya.

METODE PENELITIAN

1. Geometri Alat Penelitian

Alat penelitian yang digunakan seperti pada gambar 1.1 berupa helical heat exchanger. Beberapa parameter non dimensional yang digunakan pada pembahasan data hasil penelitian ini, meliputi Reynold number (Re), Dean number (De), Nuselt number (Nu), Prandtl number (Pr) dan pitch (γ) dengan persamaan :

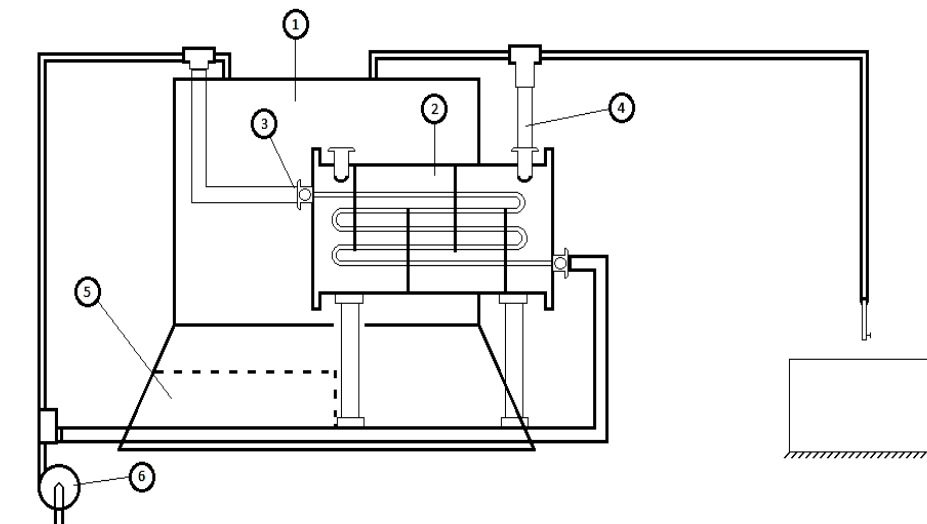
$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} , Pr = \frac{\mu c_p}{k} , Nu = \frac{h d}{k} , De = Re \sqrt{\frac{d}{R}} , \gamma = \frac{p}{\pi D_C}$$



Gambar 1 Geometri seksi uji alat penelitian

2. Set up Alat Penelitian

Diagram skematik dari peralatan penelitian yang digunakan terlihat pada gambar 1.2. Pada penelitian ini type aliran yang digunakan adalah counter flow horisontal pada aliran satu fasa. Dimensi seksi uji yang digunakan seperti tercantum pada tabel 1.1. Air yang akan disirkulasikan dalam heat exchanger berasal dari bak penampungan air dan pemanasannya dengan memanfaatkan uap panas hasil dari ketel uap yang tidak digunakan untuk memanaskan kedelai. Sebagai pengukur laju aliran air, digunakan flow meter dan suhu air pada sisi tube diukur dengan menggunakan termokopel dengan akurasi $0,1^{\circ}\text{C}$. Tekanan pada sisi inlet dan outlet tube diukur dengan menggunakan manometer air dengan menambah pewarna agar mudah dalam pembacaan. Pada bagian body luar shell diisolasi sehingga diharapkan tidak ada heat transfer yang terjadi antara lingkungan dengan heat exchanger.



Keterangan :

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| 1. Ketel Uap | 4. Katup |
| 2. Heat Exchanger | 5. Lorong kayu bakar |
| 3. Alat ukur suhu dan tekanan | 6. Pompa air |

I. Kebutuhan Energi	unit	Jumlah	Keterangan
a. Bahan bakar :			
1. Kayu bakar	m ³ / hari	2,41	kondisi standar
2. Biaya bahan bakar	Rp. / hari	250.000	s.d.a
b. Air tanah			
1. Volume air	m ³	3,5	s.d.a
2. Volume penambahan air	m ³	0,25	s.d.a
3. Laju aliran air (oleh water pump)	kg/s	232,5	s.d.a
4. Biaya pengadaan air	Rp./ hari	2.500	s.d.a
II. Thermal Condition			
a. Temperatur air	°C	27,4	s.d.a
b. Temperatur uap air	°C	120,6	s.d.a
c. Tekanan uap air	Pa	5 x10 ⁵	s.d.a
d. Laju aliran uap air	kg/s	94,8	s.d.a
e. Waktu pemanasan air (awal)	menit	45	s.d.a
f. Waktu pemanasan air (jeda)	menit	10	s.d.a

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa parameter yang digunakan pada penelitian terlihat pada tabel 2. Laju aliran massa air dibuat konstan dengan panjang tube yang digunakan pada heat exchanger divariasikan pada 3 variasi panjang. Perpindahan kalor dalam counter flow heat exchanger ini dirumuskan dengan:

$$q = U A \Delta T_m$$

dimana q merupakan nilai kalor yang dipindahkan, U adalah koefisien perpindahan kalor menyeluruh, dan A adalah luas perpindahan kalor, serta ΔT_m adalah beda suhu rata-rata dalam heat exchanger. LMTD (log mean temperature difference) merupakan fungsi dari ΔT_1 dan ΔT_2 yang dirumuskan dengan :

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

Sedangkan nilai koefisien heat transfer total sebagai fungsi luas permukaan heat transfer dan koefisien konduktivitas dan konvektif dirumuskan dengan persamaan :

$$\frac{1}{U} = \frac{A_o}{A_i h_i} + \frac{A_o \ln \left(\frac{d_o}{d_i} \right)}{2\pi k L} + \frac{1}{h_o}$$

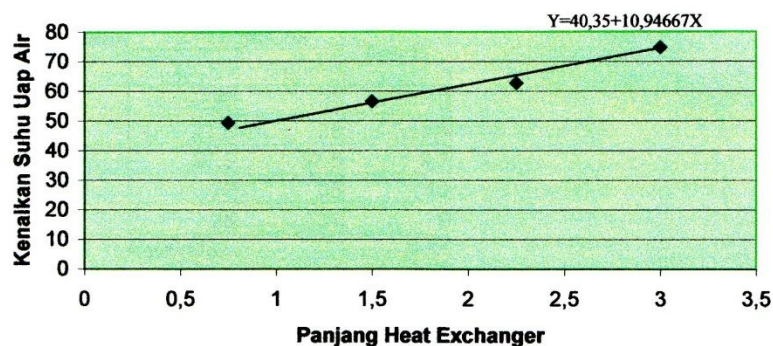
dimana h_i adalah koefisien heat transfer konvektif sisi inner, h_o adalah koefisien heat transfer konvektif sisi outer, k adalah koefisien heat transfer konduktif, A adalah luas permukaan, d adalah diameter pipa tube, L menunjukkan nilai panjang pipa tube.

Tabel 2 Parameter-parameter dalam penelitian

Parameters	Range
Debit air panas	1800 – 2000 ml/menit
Debit air dingin	2200 ml/menit
Temperatur masuk sisi tube	27 °C – 30 °C
Temperatur keluar sisi tube	80 °C – 82.5 °C
Temperatur masuk sisi shell	95 °C – 98.5 °C
Temperatur keluar sisi shell	60 °C – 62.5 °C
Perubahan tekanan pada sisi tube	440 - 450 mmH ₂ O

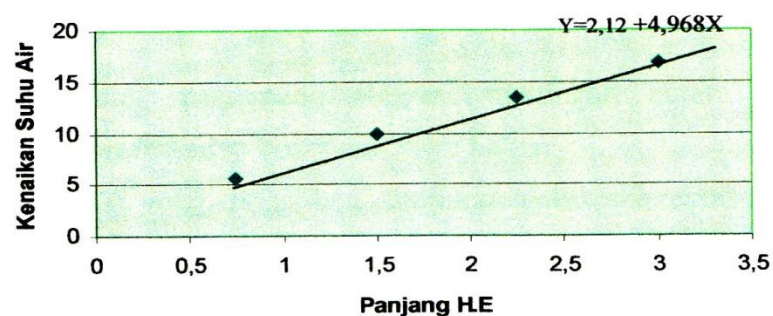
Data hasil penelitian seperti terlihat pada grafik 1. yang menunjukkan temperatur pada bagian *shell heat exchanger* untuk beberapa panjang lintasan tube, terlihat adanya penurunan suhu yang berbeda antara ukuran pitch 0,75 ;1,5 dan 3 m. Demikian pula pada hubungan antara panjang lintasan tube yang digunakan terhadap kenaikan suhu pada sisi output tube heat exchanger menunjukkan semakin besar kenaikan suhu sebanding dengan panjang tube-nya terlihat pada grafik 2.

Grafik Panjang HE vs Penurunan Suhu Uap Air



Grafik 1 Penurunan temperatur air pada sisi tube

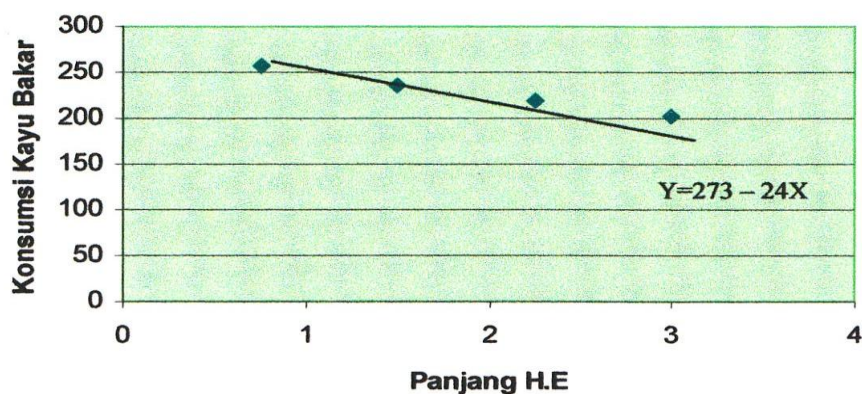
Grafik Panjang H.E vs Kenaikan Suhu Air



Grafik 2 Hubungan antara Kenaikan Suhu Air dan Panjang HE

Berdasar hasil perhitungan optimasi energi terhadap nilai ekonomis bahan bakar yang digunakan berdasar data penelitian didapatkan nilai bahwa makin meningkatnya panjang tube yang digunakan pada HE akan didapatkan penurunan konsumsi bahan bakar yang digunakan (grafik 4) .

Grafik:Panjang H.E v.s Konsumsi Kayu Bakar



Grafik 3. Hubungan Panjang HE dan Konsumsi Bahan Bakar

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasar hasil penelitian didapatkan hasil bahwa penurunan suhu uap air memiliki hubungan yang kuat dengan panjang tube heat exchanger yang digunakan untuk mentransfer kalor dengan nilai korelasi hubungan 0,988.

Kenaikan suhu air yang keluar pada sisi tube heat exchanger juga memiliki korelasi yang kuat dengan panjang tube yang digunakan pada counter flow heat exchanger ini dengan nilai korelasi 0,998.

DAFTAR PUSTAKA

- Holloway and Smith. 1990. *Single and Two Phase Flow In Helical Coils*. Chalk River Laboratory, Ontario, Canada and East Kilbride, United Kingdom. pp. 245 -278.
- Holman, J.P. 2002. *Heat Transfer*. Mc Graw Hill, Singapore. pp.189-203.
- Incropera, Frank P.1996. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons, Inc. New York. pp.205-237.
- Kakac, Hongtan.1997. *Heat Exchangers Selection, Rating, and Thermal Design*. CRC Press, United States of America. pp. 28-97.
- Naphon, P.2006. *Thermal Performance and Pressure Drop of Helical-Coil Heat Exchangers* . Journal of Heat and Mass Transfer. pp.142-149
- Neeras.2004. *Experimental Shell-Side Heat Transfer and Pressure Drop in Gas Flow for Spiral-Wound Heat Exchanger*. International Journal of Heat and Mass Transfer. pp. 353-361.
- Rajavel and Sarvanan.2008. *An Experimental Study of Spiral Plate Heat Exchanger for Electrolytes*. Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy. pp. 255-260.
- Salimpour,M.2008. *Heat Transfer Characteristics of a Temperature-dependent-property fluid in Shell and Coiled Tube Heat Exchanger*. International Communcations in Heat and Mass Transfer. Vol. 35. pp. 1190-1195.