

DESAIN DAN KAJIAN SIMULATIF HEAT EXCHANGER BERPROFIL 'SPIRAL TUBE IN PIPE' SEBAGAI PEMINDAH PANAS ANTARA ETHANOL DAN AIR

Remon Lapisa, Donny Fernandez & Dwi Sudarno Putra ^{*)}

ABSTRACT

The energy crisis has stimulated scientists to begin developing the concept of zero energy building through residual energy conservation and turn it into something useful, One of them is the use of ethanol in PEM fuel cells are obtained through distillation. To change the temperature Ethanol and can be distilled, will be designed heat exchanger that has a function : raising the temperature of ethanol in order to evaporates with intermediate high temperature water, and then lowering the temperature back pure ethanol with low-temperature water heat convection. 'Spiral Tube In Pipe' heat exchanger is designed to transfer heat that brought by ethanol with the temperature 80°C to the cooling water in a spiral tube wrapped with a pipe. Hopefully, through this method can achieve maximum heat transfer value, with low cost on ethanol output temperature 35°C . The basic principles in the development of this heat exchanger are the achievement of maximum heat transfer, Simple in design and economic value. Tube material made of copper wich has good conduction coefficient. Water pipes made of PVC plastic gutter is easily available and cheap. Minimum pipe size is designed to be more flexible, easily placed anywhere and is simple to maintain. In this paper also included a CFD simulation to determine the flow characteristics that occur along the copper tube. Mathematical equations of physical phenomena was resolved through a linear regression methods.

Keywords: heat transfer, Spiral tube , efficiency, CFD simulation

^{*)} Jurusan Teknik Otomotif FT UNP Padang. Email: remonlapisa@yahoo.com, fernandez_79@yahoo.co.uk, dwisudarnoputra@gmail.com

PENDAHULUAN

Konsep *Zero Energy Building* (ZEB) adalah pemanfaatan sumber energi alami yang tersedia tanpa harus menggunakan energi migas dan listrik yang selama ini masyarakat kita sangat tergantung dengan kedua sumber daya tersebut. Kita harus mampu memanfaatkan energi dengan cermat. Aplikasi dari konsep ZEB akan meningkatkan efisiensi dan mendorong produksi *onsite power generation*. Salah satu piranti yang bekerja berdasarkan ZEB adalah *PEM Fuel Cell*, sebuah membran elektrolit untuk mengkonversi energi elektrokimia dengan menghasilkan gas reaktan hidrogen dan oksigen.

Pada *PEM Fuel Cell* ini diperlukan suplai alkohol yang berbentuk Ethanol yang diperoleh melalui destilasi dan kon densasi. Maka akan dibuat sebuah alat yang bertujuan mengkondensasikan kem bali ethanol setelah

melalui proses destilasi yang terjadi pada evaporator.

Untuk mempermudah proses peran cangan maka dilakukan sebuah simulasi yang bisa menjelaskan fenomena yang akan terjadi selama proses berlangsung. Simulasi ini menggunakan teknik CFD (*Computational Fluid Dynamic*) dengan software Solidwroks 2010. Melalui pen dekatan motode kontrol volume dengan berbagai pemodelan persamaan mate matika yang terjadi selama proses ber langsung.

Dalam rancangan alat ini bebe rapa kasus perpindahan panas akan ber langsung dalam fluida yaitu konduksi dan Konveksi. Konduksi terjadi pada tube tembaga dan pipa paralon, sedangkan konveksi terjadi pada aliran ethanol dan air yang berada disepanjang arah aliran.

METODA PENELITIAN

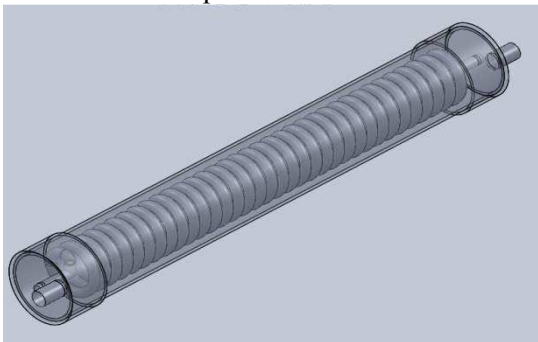
Metode yang dipakai dalam analisa ini adalah simulasi numerik dengan program *Visual Basic dan Computational Fluid Dynamics* dengan flow simulation pada program Solidwork 2010.

Formulasi dan pemodelan matematis didasarkan pada persamaan umum heat exchanger. Untuk penyelesaian pemodelan matematisnya digunakan regresi linear untuk mendapatkan model umum dari persamaan fisik

Bentuk Rancangan

Ada beberapa tipe alat penukar kalor antara lain jenis *shell and tube* dan jenis plat. Perancangan yang kita buat merupakan modifikasi dari tipe shell and tube. Prinsip dasarnya sama, yaitu menempatkan tube didalam sebuah shell untuk memindahkan kalor. Desainnya berbentuk spiral tube yang terbuat dari tembaga ditempatkan dalam sebuah pipa.

Beberapa keuntungan dari rancangan ini adalah: cost yang rendah dan mudah di fabrikasi, alat dan material banyak tersedia dipasaran. Tujuan kondenser adalah menurunkan suhu fluida ethanol dengan media air yang bertemperatur rendah. Selama berada dalam heat exchanger yang berisi air, ethanol akan melepas panas secara konveksi melalui tube tembaga. Air yang digunakan pada kondenser bertemperatur 30 °C di titik inlet.



Gambar 1. Heat Exchanger

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknis Rancangan

1. Tube tembaga :
 - Diameter (D) : ¼ Inchi
 - Koefisien Konduksi : 401 W/m.K
 - Tebal : 0,5 mm
 - Pipa :

- Diameter : 4 in
 - Panjang : 0,4 m
2. Ethanol :
 - Tekanan : 104000Pa
 - Mass Flow rate : 0,0026kg/s
 - Massa Jenis : 735,81kg/m³
 - h_{eth} : 4239 w/ m².K
 - Temperatur inlet : 79⁰ C
 3. Air :
 - Tekanan : 7443Pa
 - rate : 0,06 kg/s
 - Temperatur inlet : 30⁰ C
 - h_{airh} = 890w/ m².K
 - Specific heat : 4.187 kJ/kgK
 - Specific Heat: : 385 J/kg-K

Membuat Persamaan Umum

Dari tabel properties ethanol yang tersedia, diperoleh 8 pasang titik antara nilai Cp (*Specific heat*) dengan temperatur, seperti yang tercantum dalam tabel di bawah :

Tabel 1. Nilai Cp terhadap suhu

Temperatur Ethanol	Nilai Specific Heat (Cp)
351,45 K	3,0 kJ/kg.K
373 K	3,3 kJ/kg.K
393 K	3,61 kJ/kg.K
413 K	3,96 kJ/kg.K
433 K	4,65 kJ/kg.K
453 K	5,51 kJ/kg.K
473 K	6,16 kJ/kg.K
483 K	6,61 kJ/kg.K

Dari metode regresi linear, maka dapat dibuat sebuah persamaan umum untuk nilai specific heat : $C_p = a_1T + a_0$

Dimana nilai a_1 dan a_0 dapat ditentukan dengan rumus :

$$a_1 = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 \sum_{i=1}^n Y_i - \sum_{i=1}^n X_i \sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n \sum_{i=1}^n X_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}$$

Setelah dilakukan perhitungan secara

numerik, maka persamaan Cp ethanol ditulis dalam bentuk:

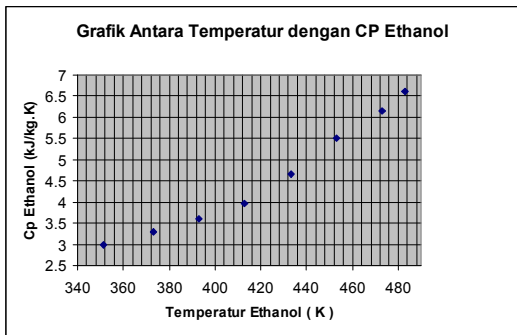
$$C_p = 0,02815T - 7,2654$$

Langkah Perhitungan Matematis

Kalor Pendinginan

Pada kondenser, air akan menurun kan suhu erhanol dari 79⁰ C menjadi 40⁰ C .Kalor yang diperlukan untuk men dinginkan ethanol :

$$Q = m_h.C_p(dT)$$



Grafik 1. Nilai Cp Terhadap Suhu

Setelah diturunkan persamaannya, maka kalor yang dilepaskan oleh ethanol adalah

$$Q = 2,46 - [(7,319.10^{-4}T_x^2 - 0,0188T_x)]kW$$

Dimana T_x = Temperatur ethanol dititik outlet

Kalor ini harus sama dengan kalor yang akan diserap oleh air pendingin, dengan asumsi tidak ada kalor yang terbuang.Diperoleh temperatur air di titik outlet :

$$T_{air,o} = \frac{2,46 - [(7,319.10^{-4}T_x^2 - 0,0188T_x)]}{0,25122} + 303,15$$

Temperatur outlet Ethanol-Air

Temperatur outlet air yang dihasilkan tergantung dengan temperatur outlet ethanol yang ditetapkan. Dibawah ini adalah tabel temperatur output air dan output ethanol.

Tabel.2. Nilai suhu dititik output

Suhu Ethanol outlet	Suhu output air
308,15 K	308,32 K
313,15 K	307,8 K
318,15 K	307,24 K
323,15 K	306,68 K

Kecepatan Aliran Ethanol (V_{eth})

Kecepatan aliran ethanol dapat diper oleh dengan persaman konservasi massa :

$$\vec{V}_{eth} = \frac{\dot{m}}{\rho.A} = \frac{0,0026}{735,81 \times 0,00003165} = 0,11164 \frac{m}{s}$$

dimana

- \dot{m}_{eth} : massa ethanol
- ρ_{eth} : massa jenis ethanol
- A : luas permukaan normal aliran

LMTD dan faktor koreksi :

$$LMTD = \frac{(T_{eth,in} - T_{air,out}) - (T_{eth,out} - T_{air,ii})}{\text{Lon}\left(\frac{(T_{eth,in} - T_{air,out})}{(T_{eth,out} - T_{air,in})}\right)} \cdot 6$$

$$LMTD = \frac{34,35}{\text{Lon}(4,435)} = 23,0^0 C$$

Faktor Koreksi Temperatur :

$$S = \frac{T_{air,out} - T_{air,in}}{T_{eth,in} - T_{air,in}}$$

$$S = \frac{307,8 - 303,15}{352,15 - 303,15} = \frac{4,65}{49} = 0,095$$

$$R = \frac{T_{eth,in} - T_{eth,out}}{T_{air,out} - T_{air,in}}$$

$$R = \frac{352,15 - 313,15}{307,8 - 303,15} = 8,387$$

Dari nilai S dan R yang diperoleh , maka lihat tabel faktor koreksi temperatur maka nilai faktor koreksinya

(Ft) : 0,95

Perbedaan temperatur setelah terkoreksi

$$\Delta T_m = F_t \cdot LMTD$$

$$\Delta T_m = 0,95 \times 23^0 C = 21,9^0 C$$

Koefisien Perpindahan Panas (U) dan Heat Transfer Area :

Nilai faktor koefisien perpindahan overall (U) dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$U \frac{1}{\frac{1}{h_{eth}} + \frac{x}{k_{tombaga}} + \frac{1}{h_{air}}} = 681,5W / m^2 K$$

Dimana:

- h_{eth} : koef konv ethanol: 4239 W/m2.K
- $k_{tombaga}$: koef konduksi tube: 401 W/m.K
- h_{air} : koef konveksi air: 890 W/m2.K

Luas Permukaan Heat Transfer

Dari Persamaan umum perpindahan kalor
 $Q = U \cdot A_0 \Delta T_m (k.W)$

Maka Luas permukaan yang diperlukan untuk menghasilkan kondisi tersebut diatas adalah

$$A_0 = \frac{m_{air} C_{air,c} (T_{air,out} - T_{air,in}) \times 1000 (\text{dalam watt})}{U F_r \cdot \frac{34215 - T_{air,out}}{\ln(35215 - 0,1T_{air,out})}}$$

$$A_0 = 0,078m^3$$

Panjang Tube Tembaga (L)

Diameter tube tembaga (d) : ¼ in
 Kel = $\pi \cdot d = 3,14 \times 6,35mm = 0,02m$

Maka Panjang Tube

$$L_{tube} = \frac{(12,56(3078) - 38078) Lr(35,2 - 0,1(3078))}{681,5 \times 0,95(34215 - 3078)}$$

$$L_{tube} = 3,9m$$

Rancangan Spiral Tube Tembaga

- Diameter pipa : 2 in
- Diameter tube (d_{tube}) : 6,35 mm
- Panjang Pipa : 40 cm
- Diameter lilitan (d_{lt}) : 3,5 cm
- Panjang tube : 3,85m

Tabel 2. Hasil Simulasi CFD

Goal Name	Unit	Value	Ave Value	Min Value	Max Value	Prog[%]	Conv	Delta	Criteria
GG Temperatur Fluida	[K]	305.233004	305.1783176	305.096365	305.296329	100	Yes	0.062890332	0.069059041
SG Temperatur Output air	[K]	303.881378	303.8783261	303.870916	303.893309	100	Yes	0.009627541	0.012093836
SG Temp Output Ethanol	[K]	302.530755	300.0539603	294.296978	303.737309	100	Yes	2.407201869	6.986225796
GG Heat Transfer	[W]	0.96751681	-0.23701703	-3.78886951	1.36058082	100	Yes	0.996919523	86.8198817
GG Tekanan	[Pa]	99329.436	99232.07064	97707.078	103212.485	13.5	Yes	1339.227574	182.0820674
SG Tekanan Output Air	[Pa]	101183.299	101183.1811	101182.991	101183.362	100	Yes	0.088898858	2.655559691
SG Tekanan Output ethanol	[Pa]	87219.0969	77049.18372	37164.1575	159862.946	100	Yes	31169.73997	8.44929E+19
SG Density Output Air	[kg/m^3]	994.570126	994.5710817	994.566388	994.573403	100	Yes	0.003015998	0.003785646
SG Densitas Output Ethanol	[kg/m^3]	1.52849505	1.319619131	0.53680643	2.87200098	12.2	Yes	0.591243384	0.072379159
SG Mass FR Output Air	[kg/s]	-0.06	-0.06	-0.06	-0.06	100	Yes	0	0.00006
SG Mass FR Output Ethanol	[kg/s]	-0.0026	-0.0026	-0.0026	-0.0026	100	Yes	0	0.0000026
SG Kecepatan Output Air	[m/s]	0.50340341	0.503400459	0.50339098	0.50341513	100	Yes	1.73331E-05	7.98775E-05
SG Kecepatan Output Ethanol	[m/s]	62.8194131	97.27311273	36.8690409	166.545692	100	Yes	35.17632532	46.4515964
SG Temperatur Tube	[K]	304.89478	304.9402064	304.89478	304.992679	100	Yes	0.029121948	0.319196764
SG Temperatur Pipa	[K]	303.549234	303.5450624	303.540766	303.550086	100	Yes	0.002915744	0.294077523

Jumlah lilitan (n_{lit}) :

$$n_{lit} = \frac{Pjg \text{ Tube yg bentukspiral}}{\text{Panjang 1 kali lilitan}} = \frac{385cm}{11m} = 34$$

Jarak antar lilitan (l_1) :

$$l_1 = \frac{Pjg \text{ pipa area lilitan}}{\text{Jumlah lilitan}} = \frac{35cm}{34} = 1,0294cm$$

Kecepatan fluida di titik outlet

$$\text{Kecepatan : } \vec{V} = \frac{\dot{m}}{\rho \cdot A} \dots$$

Kecepatan alir Ethanol

Kecepatan ethanol outlet

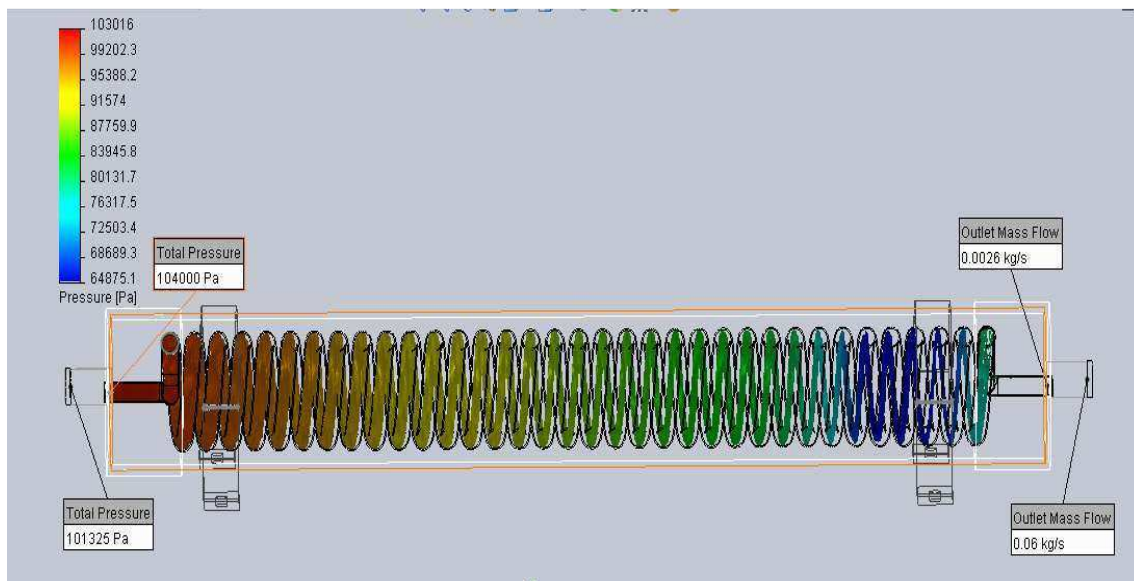
$$\vec{V}_{eth} = \frac{\dot{m}_{eth}}{\rho_{eth} \cdot A_{tube}} = \frac{0,0026}{1,435 \times 0,0000316532}$$

$$\vec{V}_{eth} = 57,24 \frac{m}{s}$$

Kecepatan Alir Air

$$\vec{V}_{air} = \frac{\dot{m}_{air}}{\rho_{air} \cdot A_{pipa}} = \frac{0,06}{1000 \times 0,0001266} = 0,4739 \frac{m}{s}$$

Data dititik outlet hasil Simulasi (*Project Final*)



Gambar.2. Distribusi Tekanan yang Terjadi Dalam Tube Tembaga

Temperatur

Tabel.3. Temperatur inlet dan outlet fluida

	Inlet	Ootlet
Suhu Ethanol	352,15 K	305,178 K
Suhu Air	303 K	303,9 K

Penurunan suhu ethanol yang diperoleh cukup signifikan dari 79°C menjadi 40°C terjadi akibat : transfer kalor dari ethanol ke air melalui tube tembaga yang cukup bagus sebagai penghantar panas. Pada perhitungan manual, dinding pipa mampu mentransfer panas kelingkungan. Untuk fluida air, mengalami peningkatan temperatur yang tidak terlalu signifikan karena pipa berhubungan langsung dengan udara luar.

Untuk memperoleh penurunan temperature ethanol yang besar pada bagian outlet, panjang rancangan tube sangat berpengaruh. Dari hasil perhitungan, panjang tube yang diperlukan untuk menurunkan suhu ethanol dari 79°C menjadi 40°C sebesar 3,9 m. Agar tube portable dan bisa ditempatkan pada ruangan yang tidak terlalu besar, maka tube dibuat berbentuk spiral yang dimasukan dalam pipa.

Tekanan

Dari hasil simulasi, tekanan ethanol mengalami penurunan dari 104000 Pa menjadi 77049 Pa. Penyebabnya adalah : gesekan yang terjadi antara ethanol dengan permukaan dalam tube tembaga. Disamping itu, karena aliran ethanol dalam tube merupakan aliran tertutup, maka berlaku persamaan gas ideal

$P.V = m.R.T$. Untuk massa, volume dan konstanta R akan bernilai konstan, karena materialn dan ruangnya tetap. Hal ini menyatakan bahwa tekanan berbanding lurus dengan temperature. Jika temperature turun, secara otomatis tekanan fluidapun akan turun.

Densitas

Densitas ethanol mengalami perubahan karena temperaturenya turun secara drastis dari 79°C menjadi 40°C . Selain itu fase nya pun mengalami perubahan. Pada temperature 79°C ethanol berbentuk uap sedangkan pada temperatur 35°C sudah berbentuk liquid

Densitas air relative konstan karena temperaturnya tidak mengalami perubahan drastis. Fase airpun tetap berada dalam bentuk liquid.

Temperatur Solid Tube dan Pipa

Temperatur Tube lebih tinggi dari temperatur pipa. Hal ini disebabkan karena bersentuhan langsung dengan ethanol panas, sedangkan pipa bersentuhan dengan air dibagian dalam dan lingkungan pada bagian luarnya. Karena bersentuhan dengan lingkungan, maka temperature pipa sangat terpengaruh oleh suhu ambient.

SIMPULAN DAN SARAN

Rancangan Heat exchanger dengan model *spiral tube in pipe* ini memiliki efektifitas yang

tinggi dalam perpindahan panas antara ethanol dengan air. Hal ini disebabkan oleh luasnya permukaan sentuh tube yang berisi ethanol bertemperatur tinggi dengan air didalam pipe sebagai media pendingin. Semakin luas bidang sentuh akibat profil yang berbentuk spiral maka semakin tinggi nilai efektifitas. Keuntungan lain dari rancangan ini adalah sederhana dalam fabrikasi, biaya produksi yang rendah, tidak memakan tempat dan ketersediaan alat dan material yang cukup.

DAFTAR RUJUKAN

- Cengel, Yunus A. (1994). **Thermodynamics; An Engineering Approach**. McGraw Hill, IncGra., New York.
- Incropera, Frank P. (2002). **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. John Wiley & Sons (Asia) Pte. Ltd., Singapore.
- Jie Ji, Tin-tai Chow, Cs. (2003). *Domestic Air-conditioner and Integrated Water Heater for Subtropical Climate*. **Applied Thermal Engineering**. Volume 23, Issue 5, April 2003, Pages 581-592.
- Nandy Putra, dkk. (2005). *Kinerja Alat Penukar Kalor pada Air Conditioner Water Heater*. **Prosiding Seminar Nasional Efisiensi dan Konservasi Energi (FISERGI)**. Desember 2005. Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia.
- Shah, R.K. (2003). **Fundamentals of Heat Exchanger Design**. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Saunders, E.A.D. (1988). **Heat Exchangers, Selection, Design and Construction**. Longman Scientific & Technical. England.
- Stoecker, Wilbert F. (1994). alih bahasa Ir. Supratman Hara. **Refrigrasi dan Pengkon disian Udara**. Penerbit Erlangga. Jakarta.