

PERANCANGAN *FUEL CONDENSOR* UNTUK MENGHASILKAN BAHAN BAKAR MINYAK DARI JENIS PLASTIK PET

Amrianto Arrashif^{1*}, dan Rudi Hermawan²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

ABSTRAK. Salah satu penyebab permasalahan lingkungan saat ini adalah semakin meningkatnya jumlah sampah yang sulit terurai oleh lingkungan. Dalam kehidupan ini kebutuhan akan energi setiap harinya selalu meningkat. Dimana pemanfaatan sumber energi secara optimal harus dilakukan, seperti pemanfaatan sampah plastik. Salah satu pemanfaatan yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi sampah plastik dengan proses pirolisis. Proses pirolisis adalah proses dimana sampah itu dibakar pada tungku kemudian uap panas hasil pembakarannya didinginkan untuk menjadi bahan bakar minyak. Pada proses pirolisis plastik dibakar pada temperatur tungku pirolisis sebesar 500-800 °C dan hasilnya menjadi uap panas yang kemudian dialirkan ke *fuel condensor* untuk didinginkan menjadi bahan bakar. Pada penelitian ini dilakukan perancangan *fuel condensor* dengan metodologi yang digunakan yaitu perhitungan dengan software *HTRI Xchanger Suite* serta perhitungan secara teoritis untuk mendapatkan hasil perancangan yang dapat bekerja secara optimal. Perancangan alat penukar kalor yang digunakan adalah *shell and tube* bertipe A-E-S. Material *tube* yang digunakan yaitu aluminium. Hasil analisis menggunakan software *htri* di dapatkan laju perpindahan panas sebesar 4800 W, koefisien konveksi 29,97 W/m²·K, *mass flow rate* sebesar 0,05 kg/s, dan koefisien perpindahan panas keseluruhan sebesar 1,972 W/m²·K, dengan dimensi kondensor sesuai target perancangan yaitu Panjang *Tube* 1 m, Diameter *Shell* 310 mm, dan Jumlah *Tube* sebanyak 11 buah berdasarkan perhitungan *HTRI*, 29 buah berdasarkan perhitungan teoritis.

Kata kunci— Pirolisis; *Shell and tube fuel condensor*; *HTRI Xchanger Suite*

PENDAHULUAN

Dengan bertambahnya jumlah populasi penduduk dan adanya perubahan pada pola konsumsi masyarakat maka akan berdampak pada meningkatnya jumlah jenis, volume, dan karakteristik sampah yang semakin beranekaragam. Dampak sampah non organik dapat mencemari lingkungan sekitar masyarakat dikarenakan sulitnya sampah plastik terurai oleh alam dan membutuhkan waktu yang sangat lama yang mengakibatkan menurunnya tingkat kesuburan tanah. [1] Di lain sisi keterbatasan energi yang bergantung pada energi *fossil* maka perlu adanya pencarian energi alternatif baru untuk mengganti energi *fossil*. Salah satu pemanfaatan yang dapat dilakukan adalah dengan mengurangi sampah plastik dengan proses pirolisis. Pirolisis merupakan salah satu pengolahan sampah yang dapat mengurangi berat dan volume sampah, serta dapat menghasilkan produk lain, antara lain : Gas yang mengandung nilai kalori rendah hingga sedang dan residu hasil pembakaran sampah yang mengandung nilai kalori tinggi dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. [2]

Proses pirolisis adalah proses dimana sampah itu dibakar pada tungku kemudian uap panas hasil pembakarannya di dinginkan untuk menjadi bahan bakar minyak. Pirolisis yang memiliki arti proses pengurangan termal dari sampah plastik tanpa membutuhkan oksigen (O) atau pada keadaan kekurangan oksigen (O). Dengan menggunakan metode ini, sampah plastik yang tidak bisa diurai oleh alam dapat direduksi hingga 90%. Pada proses pirolisis plastik dibakar sampai meleleh sampai menjadi uap pada temperatur tungku pirolisis sebesar 500-800 °C. Selanjutnya uap hasil dekomposisi akan di dinginkan menggunakan kondensor bertipe *shell & tube* sehingga mengalami proses kondensasi yang nantinya mengubah bentuk dari uap menjadi cairan. Cairan ini yang nantinya menjadi bahan bakar, baik berupa bahan bakar bensin maupun bahan bakar *diesel*. [3]. Secara umum minyak plastik dapat menggantikan bahan bakar solar, nilai kalori yang tidak berbeda jauh menjadikan layak digunakan sebagai pengganti bahan bakar solar. Namun demikian, ada beberapa sifat yang harus diperbaiki untuk meningkatkan performanya. [4]

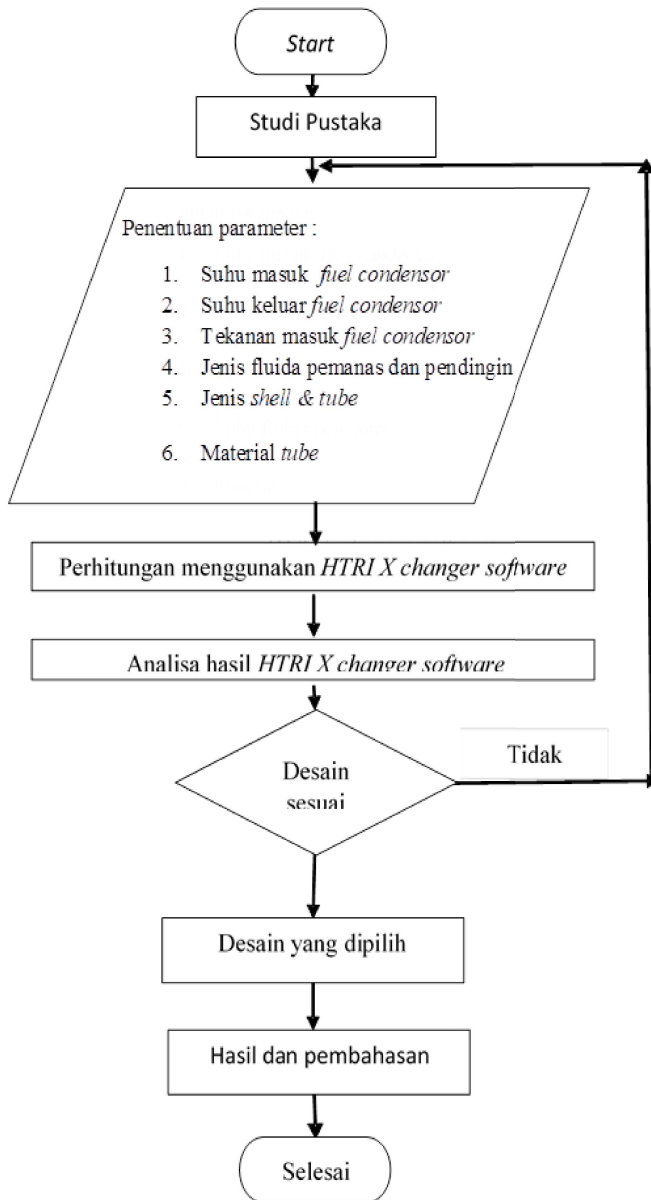
* Corresponding author: aarrashif@gmail.com

Berikut adalah tujuan pada penelitian ini:

1. Melakukan perancangan alat penukar kalor untuk mendinginkan panas buang pirolisis
2. Menganalisa kinerja alat penukar kalor yang sudah dirancang menggunakan software HTRI.
3. Mengetahui tipe alat penukar kalor yang digunakan yaitu *shell and tube* kondensor.

METODE

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penentuan parameter yang dibutuhkan

Dalam perancangan ini parameter yang harus ditentukan misalnya temperatur masuk fluida panas ($T_{hot,in}$) dan temperatur keluar fluida panas ($T_{hot,out}$) pada sisi tube, temperatur masuk pada fluida dingin ($T_{cold,in}$) dan temperatur keluar pada fluida dingin ($T_{cold,out}$) pada sisi shell, tekanan dan debit pompa air untuk menentukan laju aliran massa air, jenis *shell & tube* yang dirancang bertipe A-E-S dan material tube yang digunakan adalah aluminium.

Bahan yang digunakan dalam Penelitian

Dalam penelitian ini, bahan yang digunakan adalah fluida uap untuk fluida panas, untuk fluida dingin digunakan air. Spesifikasi dari fluida yang digunakan adalah :

1. Fluida panas yang digunakan adalah uap panas hasil keluaran dari tungku pirolisis.
2. Fluida dingin yang digunakan dalam kondensor adalah air yang sudah didinginkan.

Alat-alat yang Digunakan dalam Penelitian

1. Penentuan parameter kondensor yang dijadikan acuan adalah *Shell and tube fuel condensor* yang telah dibuat dari jurnal lainnya.
2. Software yang digunakan untuk melakukan Analisa adalah Software HTRI Xchanger Suite 6.0.
3. Alat pengukur Suhu yaitu Thermogun Thermometer Infrared Laser.

Langkah Kerja

1. Menentukan parameter-parameter yang akan ditetapkan pada tiap komponen.
2. Melakukan perhitungan dengan menggunakan *software HTRI Xchanger Suite 6.0* dengan tipe kondensor *Shell and Tube*.
3. Memilih tipe kondensor yang akan digunakan, yaitu tipe *Shell and Tube* Kondensor.
4. Melakukan perhitungan secara teoritis untuk melakukan pendekatan hasil dari perhitungan dengan *software*.
5. Membuat hasil Analisa dan pembahasan perhitungan secara teoritis maupun secara *software*.
6. Melakukan perbandingan hasil analisa, dengan memperhatikan hasil jumlah *tube* dan diameter *tube* dari serta laju perpindahan panas pada fluida panas yang dihitung dll.
7. Membuat kesimpulan hasil perhitungan dan pemberian saran untuk penelitian.

HASIL

a. Data Perhitungan

Dalam sebuah alat penukar kalor dibutuhkan setidaknya dua fluida kerja yang berfungsi untuk mendinginkan fluida kerja yaitu CO₂ dengan media pendingin yaitu air yang telah didinginkan hingga suhu 20°C. Fluida CO₂ ini didinginkan dengan tujuan agar dapat mencapai fasa cairnya sehingga bisa disimpan didalam penampung. Aliran fluida pada alat penukar kalor berlangsung secara berlawanan atau *counter flow*. Data Alat penukar kalor yang telah ditetapkan adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Parameter yang ditetapkan

NO	PARAMETER	PADA SISI SHELL	PADA SISI TUBE
1	Suhu masuk (K)	520	303
2	Suhu keluar (K)	423	304,52
3	Cp (Kj/kg k)	0,997	4,178
4	Diameter (m)	0,31	0,0508
5	Mass Flow Rate (kg/s)	0,05	0,829

b. Perhitungan Teoritis

Pada perancangan kondensor tipe *shell and tube* ini, dilakukan perhitungan secara teoritis dengan. Dengan parameter yang ditetapkan sesuai dengan tabel 1. Dimana telah dilakukan pengujian dengan menggunakan *software HTRI Xchanger suite 6,0* dan telah dilakukan perhitungan manual sebagai pendekatan secara teoritisnya, dengan parameter yang telah ditetapkan dari perhitungan keseluruhan yaitu :

1. Laju perpindahan panas pada fluida panas (q_h) [5]

$$\begin{aligned}
 q_h &= \dot{m}_h \times c_{p_h} \times (T_{h,in} - T_{h,out}) \\
 &= 0,05_{kg/s} \times 0,997_{KJ/kg.k} \times (520_K - 423_K)
 \end{aligned}$$

$$= 4,835_{KJ/s} = 4,835_{KW} = 4835_W$$

2. Menentukan koefisien konveksi pada sisi tube

Mencari nilai μ untuk CO₂ dari *table A-4 continued* literatur Incropera dengan T = 471,5 K didapatkan nilai μ sebesar $\mu = 218 \times 10^{-7} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

$$Re = \frac{4 \times \dot{m}_h}{\pi \times D \times \mu} = \frac{4 \times 0,05 \frac{kg}{s}}{\pi \times 0,0508 \text{ m} \times 0,000218} = 5751,48$$

Mencari nilai Nu untuk CO₂ dari *table A-4 continued* literatur Incropera Dengan T = 471,5 K didapatkan nilai Pr sebesar 0,726

$$\begin{aligned} Nu &= 0,023 \times Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{0,4} \times \frac{\mu}{\mu} \\ &= 0,023 \times (5751,48)^{\frac{4}{5}} \times (0,726)^{0,4} \\ &= 20,60 \end{aligned}$$

Mencari nilai h_h untuk CO₂ dari *table A-4 continued* literatur Incropera dengan T = 471,5 K didapatkan nilai k sebesar $k = 30,03 \times 10^{-3} \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$

$$\begin{aligned} h_h &= Nu \times \frac{k}{D} \\ &= 20,60 \times \frac{0,03003}{0,0508} \\ &= 12,177 \text{ W}/\text{m}^2\cdot\text{K} \end{aligned}$$

Didapatkan nilai koefisien konveksi pada sisi *tube* sebesar 12,177 W/m²·K

3. Menentukan koefisien konveksi pada sisi shell

Mencari nilai μ untuk air dari table A-6 [3] literatur Incropera dengan suhu rata-rata,

T = 303,76 K didapatkan nilai μ sebesar $\mu = 789,4 \times 10^{-6} \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$.

Menghitung diameter shell yang dilalui fluida dikarenakan didalam shell terdapat tube, sehingga untuk diameter shell yang dilalui didapatkan dari : Luas permukaan shell – Luas permukaan tube didalam shell x jumlah tube yang didapatkan dari hasil HTRI, didapatkan nilai masing-masing luas permukaan sebesar : 0,075 m² - 0,07298 m², sehingga didapatkan luas permukaan shell sebesar 0,0202 m². dari nilai luas permukaan tersebut kita dapat mencari nilai diameter shell yang dilalui fluida setelah dikurangi nilai tube.

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \pi D^2, D^2 = \frac{A}{\frac{1}{4} \pi} \\ D^2 &= \frac{0,0202 \text{ m}^2}{0,785} = 0,02573 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D &= \sqrt{0,02573 \text{ m}^2} \\ D &= 0,1604 \text{ m} \end{aligned}$$

$$Re = \frac{4 \times \dot{m}_c}{\pi \times D_{shell} \times \mu} = \frac{4 \times 0,829 \frac{kg}{s}}{\pi \times 0,1604 \text{ m} \times 0,0007894 \text{ N}\cdot\text{s}/\text{m}^2} = 8340,3$$

Mencari nilai Pr untuk air dari table A-6 literatur Incropera [7]

Dengan T=303,76 K didapatkan nilai Pr sebesar Pr = 5,34

$$\begin{aligned} Nu &= 0,023 \times Re^{\frac{4}{5}} \times Pr^{0.4} \\ &= 0,023 \times (8340,3)^{\frac{4}{5}} \times (5,34)^{0.4} \end{aligned}$$

$$= 61,615$$

Mencari nilai k untuk air dari *table A-6* literatur Incropera

Dengan $T = 303,76$ K didapatkan nilai k sebesar $k = 6,18 \times 10^{-3}$ W/m·K

$$\begin{aligned} h_c &= Nu \times \frac{k}{D} \\ &= 61,615 \times \frac{0,00613}{0,1604} \\ &= 2,354 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \end{aligned}$$

Didapatkan nilai koefisien konveksi pada sisi *shell* sebesar $2,354$ W/m²·K

Setelah mendapatkan nilai koefisien konveksi pada sisi *tube* dan sisi *shell*, kita dapat menghitung nilai koefisien konveksi keseluruhan sistem :

$$\begin{aligned} U &= \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_h}} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{2,354} + \frac{1}{12,177}} \\ &= 1,972 \text{ W/m}^2\cdot\text{K} \end{aligned}$$

Didapatkan nilai koefisien konveksi keseluruhan sistem sebesar $1,972$ W/m²·K

4. Menentukan kinerja Alat Penukar Kalor dengan metode NTU

Menghitung kapasitas kalor minimum dan maksimum :

$$\begin{aligned} C_c &= \dot{m}_c \times C_{p_c} \\ &= 0,829 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 4178 \frac{\text{J}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \\ &= 3463,562 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Fluida dingin merupakan fluida maksimum

$$\begin{aligned} C_h &= C_c \times \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ho}} \\ &= 3463,562 \times \frac{(3044,52 - 303)\text{K}}{(520 - 423)\text{K}} \\ &= 54,273 \text{ W/K} \end{aligned}$$

Fluida panas merupakan fluida minimum

Menghitung laju perpindahan maksimum pada APK :

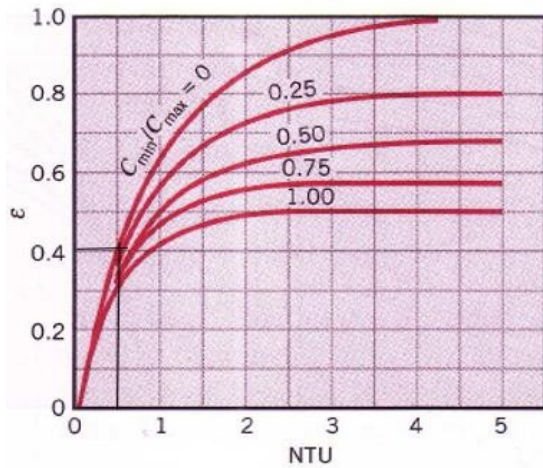
$$\begin{aligned} q_{max} &= C_{min} \times (T_{hi} - T_{ci}) \\ &= 54,273 \text{ W/K} \times (520 - 303)\text{K} \\ &= 11777,241 \text{ W} \end{aligned}$$

Menghitung nilai Cr dan efektifitas untuk mendapatkan nilai NTU dari grafik.

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{4835}{11777,241} = 0,4105$$

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{54,273}{3463,562} = 0,015$$

Mencari NTU dari nilai efektifitas dan nilai Cr yang didapatkan pada grafik dibawah ini :



Gambar 2. Grafik NTU *Counter Flow* [7]

Grafik yang digunakan, adalah grafik *Counter Flow heat exchanger*. Dari hasil penarikan garis, nilai efektifitas terhadap garis C_r , didapatkan nilai NTU berkisar 0,5

$$L = \frac{NTU \times C_{min}}{U \times (N \times 2\pi D)}$$

$$1 = \frac{0,5 \times 54,273 \text{ W/K}}{1,972 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \times (N \times 2\pi \times 0,075 \text{ m})}$$

$$1 = \frac{27,1365 \text{ W/K}}{1,972 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot \text{K} \times N \times 0,471 \text{ m}}$$

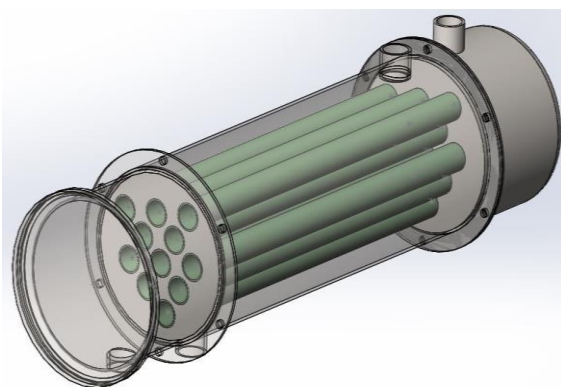
$$1 = \frac{27,1365}{N \times 0,9288}$$

$$N = 29,2$$

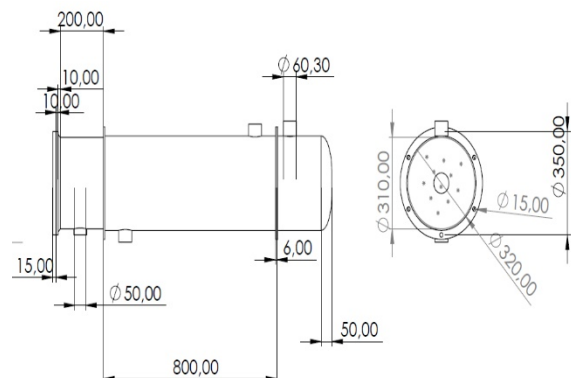
Sehingga didapatkan jumlah *tube* sebanyak 29 buah dengan Panjang *tube* 1 m.

c. Analisa Hasil dan Pembahasan

Gambar Desain Kondensor



(a)



(b)

Gambar 3. Gambar Desain Kondensor: (a) *shell and tube condensor* 1m x 0,31mm; (c) sketsa *drawing* kondensor 1m x 0,31 m

Hasil analisa menggunakan software HTRI

Process Conditions		Hot Shellside		Cold Tubeside	
Fluid name			CO2		Water
Flow rate (kg/s)			0,0500		0,8290
Inlet/Outlet Y (Wt. frac vap.)		1,000	1,000	0,000	0,000
Inlet/Outlet T (Deg C)		247,00	150,00	30,00	31,38
Inlet P/Avg (kPa)		100,001	99,504	200,003	199,113
dP/Allow. (kPa)		0,994	0,000	1,781	0,000
Fouling (m2-K/W)			0,000300		0,000000
Exchanger Performance					
Shell h (W/m2-K)		38,47		Actual U (W/m2-K)	35,07
Tube h (W/m2-K)		538,76		Required U (W/m2-K)	29,97
Hot regime (-)		Sens. Gas		Duty (MegaWatts)	0,0048
Cold regime (-)		Sens. Liquid		Area (m2)	1,004
EMTD (Deg C)		159,1		Overdesign (%)	17,04
Shell Geometry			Baffle Geometry		
TEMA type (-)		AES	Baffle type (-)		Single-Seg.
Shell ID (mm)		310,000	Baffle cut (Pct Dia.)		25,00
Series (-)		1	Baffle orientation (-)		Perpend.
Parallel (-)		1	Central spacing (mm)		35,000
Orientation (deg)		0,00	Crosspasses (-)		7
Tube Geometry			Nozzles		
Tube type (-)		Plain	Shell inlet (mm)		77,927
Tube OD (mm)		50,800	Shell outlet (mm)		77,927
Length (m)		1,000	Inlet height (mm)		62,248
Pitch ratio (-)		1,2500	Outlet height (mm)		17,347
Layout (deg)		45	Tube inlet (mm)		26,645
Tubecount (-)		7	Tube outlet (mm)		26,645
Tube Pass (-)		1			

Gambar 3. Output summary dari software HTRI

Dimana telah dilakukan pengujian dengan menggunakan software HTRI Xchanger suite 6.0 dan telah dilakukan perhitungan manual sebagai pendekatan secara teoritisnya, dengan parameter yang telah ditetapkan dari perhitungan keseluruhan yaitu :

Tabel 2. Hasil perbandingan perhitungan software HTRI dengan manual.

NO	PARAMETER	ANALISIS	
		MANUAL (Satuan)	HTRI (Satuan)
1	Laju perpindahan panas pada fluida panas (q_h)	4835 (W)	4800 (W)
2	Nilai koefisien konveksi pada tube (h_h)	$12,77 \left(\frac{W}{m^2} \cdot K\right)$	$38,47 \left(\frac{W}{m^2} \cdot K\right)$
3	Nilai koefisien konveksi pada shell (h_c)	$2,354 \left(\frac{W}{m^2} \cdot K\right)$	$538,76 \left(\frac{W}{m^2} \cdot K\right)$
4	Nilai rata-rata perpindahan panas keseluruhan (U)	$1,972 \left(\frac{W}{m^2} \cdot K\right)$	$29,97 \left(\frac{W}{m^2} \cdot K\right)$
6	Efektifitas alat	0,41 %	
7	Banyaknya Tube (N)	29	11

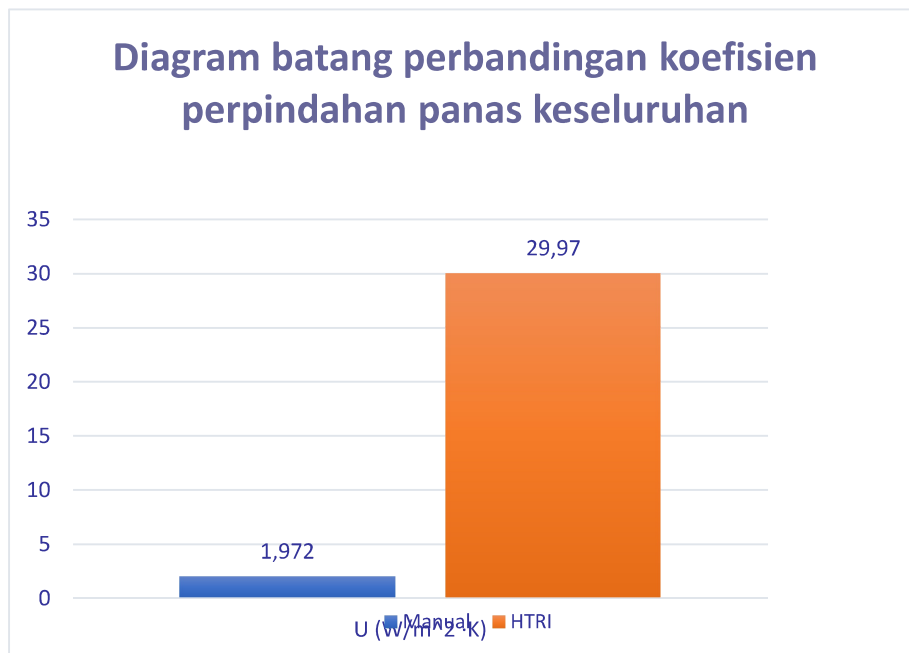
1) Perbandingan Laju Perpindahan panas



Gambar 4. Diagram batang perbandingan laju perpindahan panas

Dari hasil grafik diatas pada hasil perhitungan teoritis laju perpindahan panas yang dibutuhkan sebesar 4835 Watt sedangkan hasil perhitungan *software* sebesar 4800 Watt. Sehingga dari hasil perhitungan laju perpindahan panas secara teoritis maupun *software* apabila kita menginginkan hasil daya yang lebih besar harus dengan spesifikasi dimensi tube yang sudah ditentukan. Dan perbedaan ini karna banyak faktor terutama pendekatan pembulatan pada hasil di *software*.

2) Perbandingan koefisien perpindahan panas keseluruhan



Gambar 5. Diagram batang perbandingan koefisien perpindahan panas keseluruhan

Dari hasil grafik diatas terlihat perbedaan nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan hasil perhitungan secara teoritis dan secara *software* HTRI. Pada hasil perhitungan teoritis nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan sebesar 1,972 W/m²×K sedangkan hasil perhitungan *software* sebesar 29,97 W/m²×K. Perbedaan hasil nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan ini, disebabkan beberapa faktor, salah satu nya oleh perhitungan secara teoritis dilakukan hanya menggunakan jenis perpindahan panas konduksi. Sedangkan pada *software* melakukan perhitungan dengan menggunakan jenis perpindahan panas konveksi, konduksi, dan

radiasi. Perlu dilakukan perhitungan secara konduksi dikarenakan hasil akhir yang akan diperoleh untuk menentukan jumlah tube yang optimal. Sehingga dengan melakukan perhitungan secara konduksi pada tube dan fluida yang mengalir di shell sudah cukup.

Dimana dari perhitungan teoritis yang dihitung, didapatkan hasil bilangan Reynolds >2300 , yang artinya kondisi aliran fluida adalah turbulen. Aliran turbulen lebih baik dibanding aliran laminar dalam proses perpindahan panas dikarenakan koefisien konveksi dan gesekan antara fluida dengan penampang memiliki nilai yang besar sehingga kondisi tersebut membuat perpindahan panas antara dinding penampang dengan cairan fluida yang mengalir menjadi lebih cepat. Nilai koefisien konveksi keseluruhan dipengaruhi oleh nilai koefisien konveksi tiap fluida, dan nilai koefisien konveksi tiap fluida dipengaruhi oleh bilangan Reynold. Sehingga semakin besar bilangan Reynold maka semakin besar juga nilai koefisien konveksi perpindahan panas, yang artinya proses perpindahan panas antar fluida semakin cepat.

KESIMPULAN

1. Pemilihan penggunaan tube pada perancangan kondensor, harus memperhatikan faktor-faktor seperti kemudahan dalam pencarian material, dan konduktivitas termal yang dimiliki material tersebut. Pada perancangan ini material tube yang digunakan adalah aluminium, karena pada umumnya aluminium tahan karat dan bisa digunakan untuk fluida kotor serta koefisien perpindahan panas nya yang baik.
2. Kondensor *shell and tube* yang dirancang menggunakan tipe konstruksi A-E-S, didapatkan hasil perhitungan untuk nilai perpindahan panas keseluruhan sebesar $1,972 \text{ W/m}^2 \times \text{K}$, nilai keefektifan alat 41,05%, dan nilai Overdesign dari *software* HTRI sebesar 17,04 %.
3. Dari hasil analisa perhitungan secara teoritis, parameter yang harus diperhatikan yaitu jumlah *tube* sebanyak 29 buah, diameter *tube* sebesar 50,80 mm, panjang *tube* 1 m, diameter *shell* 310 mm.
4. Dari hasil perhitungan secara komputerisasi menggunakan *software HTRI Xchanger Suite 6.0*. Didapatkan hasil parameter yang harus diperhatikan yaitu jumlah *tube* sebanyak 11 buah, diameter *tube* sebesar 19,05 mm, panjang *tube* 1 m, diameter *shell* 310 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. K. D. Jakarta, "Kondisi Sistem Pengelolaan Sampah DKI Jakarta Tahun 2010-2011," *J. Chem. Inf. Model.*, no. 67, pp. 1–58, 2013.
- [2] Q. Rachmawati and W. Herumurti, "Pengolahan Sampah secara Pirolisis dengan Variasi Rasio Komposisi Sampah dan Jenis Plastik," *J. Tek. ITS*, vol. 4, no. 1, pp. 27–29, 2015.
- [3] E. Maulana, H. Hariri, and A. Permana, "Perancangan Ulang Reaktor Pirolisis Berbahan Baku Sampah Plastik," *Semnastek*, pp. 190–194, 2018.
- [4] R. P. Liestiono, M. S. Cahyono, W. Widyawidura, A. Prasetya, and M. Syamsiro, "Karakteristik Minyak dan Gas Hasil Proses Dekomposisi Termal Plastik Jenis Low Density Polyethylene (LDPE)," *J. Offshore*, vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2017.
- [5] J. P. Holman, "Heat Transfer (10th Edition)," *McGraw-Hill Co.*, 2010.
- [6] F. P. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, vol. 6, no. 8. 2006.
- [7] N. Putra, *Alat Penuka Kalor*. Jakarta: Departemen Teknik Universitas Indonesia, 2012.