

# PERANCANGAN ALAT PENUKAR KALOR (APK) DENGAN PEMANFAATAN PANAS PIROLISIS

Rafika Mutiara Putri<sup>1</sup>, I Gede Eka Lesmana<sup>2</sup>, Roviada Camalia H<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila

<sup>2</sup>Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila

<sup>3</sup>Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Pancasila

**ABSTRAK.** Sampah plastik yang ada dapat dimanfaatkan menjadi energi bahan bakar alternatif. Melalui proses pirolisis, plastik dipanaskan dengan suhu tertentu dengan oksigen yang sangat sedikit atau tanpa oksigen sehingga mengalami dekomposisi senyawa kimianya. Pada tungku pirolisis, nilai pembakaran tinggi dapat dimanfaatkan panasnya untuk menaikkan suhu fluida. Dengan prinsip itu, dirancang APK tipe *tube* dalam tungku pirolisis yang berfungsi untuk menaikkan suhu fluida kerja pada *tube*. Panas pembakaran pada tungku pirolisis akan diserap fluida dalam *tube*, sehingga terjadi pertukaran kalor antara fluida kerja dalam tube (oli) dan gas pembakaran yaitu gas karbon dioksida (

$CO_2$ )

. Oli yang memiliki temperature tinggi dapat digunakan untuk memanaskan yang dapat menggerakkan turbin pada siklus *Organic Rankine Cycle*. Perancangan APK bertujuan untuk mengetahui alat yang akan digunakan dalam pemanfaatan panas pirolisis dapat bekerja dengan efisien untuk meningkatkan suhu fluida dingin (oli). Metodologi perancangan yang digunakan dengan perhitungan teoritis prinsip perpindahan panas (LMTD dan NTU) serta digunakan aplikasi desain *software SolidWorks*. Dari hasil perhitungan teoritis didapatkan hasil perancangan APK tipe *tube* dengan diameter 0,095 m (9,5 mm) dan panjang 2 m, laju perpindahan kalor sebesar 11315,5 W, dan nilai keefektifan (*effectiveness*) sebesar 16,67%. Perancangan APK ini kurang efisien, namun mencukupi kebutuhan siklus *Organic Rankine Cycle* yang diharapkan.

**Kata kunci** — Sampah, Pirolisis, APK, Perpindahan Panas, *Tube*

## PENDAHULUAN

rumah tangga adalah sampah yang dihasilkan dari kegiatan harian dan jenis yang dihasilkan berasal dari kegiatan komersil dari kawasan industry, kawasan komersil, fasilitas sosial, fasilitas umum, kawasan khusus, dan fasilitas lainnya dikutik dari Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 81 Tahun 2012 Tentang Pengolahan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga [1].

Dengan masalah tersebut, sampah plastik yang ada dapat dimanfaatkan menjadi energi bahan bakar alternatif. Plastik harus melalui proses pirolisis, dimana plastik akan dipanaskan dengan suhu tertentu dengan kadar oksigen yang sangat sedikit atau tanpa oksigen sehingga mengalami dekomposisi senyawa kimianya [2]. Pada penelitian pirolisis plastik ini, tungku pirolisis menggunakan bahan bakar kayu.. Pada tungku pirolisis, memiliki nilai pembakaran tinggi yang dapat dimanfaatkan panasnya untuk menaikkan suhu fluida tertentu. Karena itu dirancang Alat Penukar Kalor (APK) dalam tungku pirolisis untuk memanaskan fluida kerja.

Alat Penukar Kalor (APK) adalah suatu alat yang berfungsi untuk memindahkan kalor dari suatu fluida dengan fluida lain. Pada penelitian ini, APK digunakan untuk memanfaatkan kembali panas dari pirolisis. Panas dari pirolisis yang dimanfaatkan oleh APK bertujuan untuk meningkatkan temperatur fluida dalam APK. Prinsip APK yang digunakan adalah dengan perpindahan panas atau *heat transfer*.

Dengan prinsip itu, dirancang APK dengan tipe *tube* dalam tungku pirolisis yang berfungsi untuk menaikkan suhu fluida kerja pada *tube*. Panas pembakaran pada tungku pirolisis akan diserap oleh fluida dalam *tube*, sehingga terjadi penukaran kalor antara fluida kerja dalam tube yang berupa oli

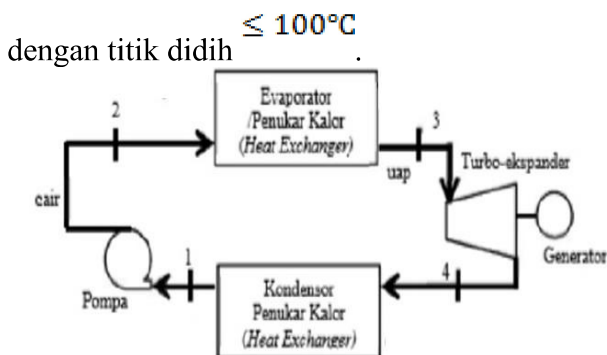
dan gas pembakaran yang diasumsikan sebagai gas karbondioksida ( $CO_2$ ) panas. Oli yang memiliki temperature tinggi dapat digunakan untuk memanaskan fluida R134A agar berubah wujud menjadi uap dan dapat menggerakkan turbin pada siklus *Organic Rankine Cyclenya*.

Perancangan APK bertujuan untuk mengetahui alat yang akan digunakan dalam pemanfaatan gas pembakaran pirolisis dapat bekerja dengan efisien untuk meningkatkan suhu fluida dingin (oli). Dalam perancangan ini digunakan aplikasi desain *software SolidWorks* dan perhitungan teoritis berdasarkan teori yang ada

### A.Organic Rankine Cycle

*Organic Rankine Cycle* merupakan modifikasi dari siklus uap *rankine*. Perbedaan yang mendasar antara siklus *rankine* dengan ORC adalah fluida kerja yang digunakan. Pada ORC, digunakan fluida kerja organik dengan titik didih yang relative rendah, sedangkan pada siklus *rankine* digunakan fluida kerja air. Hal ini dikarenakan pemanasan yang terjadi pada ORC berbeda dengan pemanasan yang terjadi pada siklus *rankine*.

Pada siklus *rankine* alat pemanas yang merubah air dari wujud cair menjadi wujud gas adalah *boiler*. Sedangkan pada ORC, pemanas yang digunakan adalah dengan penyerapan panas dari alam atau panas dari gas buang mesin. Karena pemanasan yang terjadi pada ORC relatif rendah, maka pemilihan fluida kerja organik juga harus diperhatikan. Biasanya pada ORC digunakan fluida kerja



**Gambar 1.** Skema ORC Sederhana

Pada ORC biasanya komponen utamanya terdiri dari fluida kerja organik, pompa, evaporator, kondensor, dan turbin yang ditunjukkan oleh gambar 2.1. Pada proses 1-2 adalah proses dimana pompa mengalami kompresi isentropik. Pada proses 2-3 adalah proses dimana fluida kerja mengalami pemanasan pada evaporator dengan tekanan konstan. Pada proses 3-4 adalah proses dimana turbin mengalami ekspansi. Pada proses ini, fluida kerja dapat menggerakkan turbin dan menghasilkan daya listrik. Pada proses 4-1 adalah proses dimana fluida melepaskan panasnya dan mengalami penurunan suhu [4].

### Pirolisis

Pirolisis adalah suatu proses dimana plastik akan mengalami proses perubahan struktur komposisi pada senyawa organiknya melalui pemanasan dengan suhu tertentu tanpa melibatkan oksigen atau dengan melibatkan oksigen dengan kadar yang sangat sedikit. Proses pirolisis yang dilakukan dapat menghasilkan plastik menjadi bahan bakar alternatif.

Pada tungku reaktor pirolisis, memiliki suhu yang tinggi untuk memanaskan plastik hingga berubah wujud. Suhu tinggi tersebut dapat dimanfaatkan kembali untuk pemanasan fluida kerja. Dengan prinsip perpindahan panas, maka didalam tungku reaktor pirolisis dirancang sebuah alat penukar kalor yang dapat menyerap panas dari gas pembakaran pirolisis. Dengan alat penukar kalor

yang terdapat dalam tungku reactor pirolisi, pemanfaat panas dari gas pembakaran pirolisis bertujuan untuk menaikkan suhu fluida kerja pada alat penukar kalor tersebut [5].

### Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah perpindahan energi thermal atau panas yang terjadi akibat dari perbedaan suhu. dimanapun ada perbedaan suhu antara suatu media dengan media lainnya, maka akan terjadi perpindahan panas. Perpindahan panas dibagi menjadi 3, yaitu perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. [6].

### Alat Penukar Kalor (APK)

Alat penukar kalor adalah alat yang berfungsi untuk memindahkan energi kalor diantara dua fluida atau lebih, dengan media antara permukaan padatan dan fluida, atau antara partikel padatan dan fluida, dengan kondisi suhu yang berbeda dalam keadaan kontak termal. Pada alat penukar kalor interaksi panas dan kerja hanya terjadi dalam alat penukar kalor, sehingga tidak berdampak pada lingkungan luar dan sekitarnya.[7].

### Tube

Istilah *tube* sering dipergunakan pada bidang teknik, khususnya bidang mekanik, pabrik kimia, pengolahan minyak, pembangkit listrik tenaga uap dan lain-lain. Beberapa jenis *tube* yang sudah ditetapkan ialah, *boiler tubes* (pipa-pipa ketel), *superheater tubes* (pipa-pipa pemanas lanjut), *furnace tubes* (pipa-pipa dapur), *drilling tubes* (pipa-pipa bor), *copper tubes* (pipa-pipa tembaga). Tebal *tube* dinyatakan dengan BWG (*Birmingham Wire Gage*), dan ukuran dalam *gage size* mulai No. 0 sampai No.24. *Tube* dapat dikatakan sebagai urat nadi APK. Oleh karena di bagian dalam dan di luar *tube* mengalir fluida. Kedua jenis fluida itu mempunyai kapasitas, suhu, tekanan, kerapatan, serta jenis yang berbeda. *Tube* juga harus mampu memindahkan kalor di antara fluida dalam *tube* dengan di luar *tube* [8].

**Tabel 2.** Tabel Dimensi untuk Ukuran Tube Komersial [8]

Dimensional Data for Commercial Tubing								
OD of Tubing (in.)	BWG Gauge	Thickness (in.)	Internal Flow Area (in. <sup>2</sup> )	Sq. Ft.	Sq. Ft.	Weight	ID Tubing (in.)	OD/ID
				External Surface per Ft. Length	Internal Surface per Ft. Length	per Ft. Length		
1/4	22	0.028	0.0295	0.0655	0.0508	0.066	0.194	1.289
1/4	24	0.022	0.0333	0.0655	0.0539	0.054	0.206	1.214
1/4	26	0.018	0.0360	0.0655	0.0560	0.045	0.214	1.168
3/8	18	0.049	0.0603	0.0982	0.0725	0.171	0.277	1.354
3/8	20	0.035	0.0731	0.0982	0.0798	0.127	0.305	1.233
3/8	22	0.028	0.0799	0.0982	0.0835	0.104	0.319	1.176
3/8	24	0.022	0.0860	0.0982	0.0867	0.083	0.331	1.133
1/2	16	0.065	0.1075	0.1309	0.0969	0.302	0.370	1.351
1/2	18	0.049	0.1269	0.1309	0.1052	0.236	0.402	1.244
1/2	20	0.035	0.1462	0.1309	0.1126	0.174	0.430	1.163
1/2	22	0.028	0.1548	0.1309	0.1162	0.141	0.444	1.126
5/8	12	0.109	0.1301	0.1636	0.1066	0.602	0.407	1.536
5/8	13	0.095	0.1486	0.1636	0.1139	0.537	0.435	1.437
5/8	14	0.083	0.1655	0.1636	0.1202	0.479	0.459	1.362
5/8	15	0.072	0.1817	0.1636	0.1259	0.425	0.481	1.299
5/8	16	0.065	0.1924	0.1636	0.1296	0.388	0.495	1.263
5/8	17	0.058	0.2035	0.1636	0.1333	0.350	0.509	1.228
5/8	18	0.049	0.2181	0.1636	0.1380	0.303	0.527	1.186
5/8	19	0.042	0.2298	0.1636	0.1416	0.262	0.541	1.155
5/8	20	0.035	0.2419	0.1636	0.1453	0.221	0.555	1.136

### Perhitungan APK

Beberapa perhitungan yang digunakan dalam merancang APK shell and tube adalah sebagai berikut:

Perhitungan laju perpindahan panas

Laju perpindahan panas adalah nilai kalor yang dilepas dari fluida panas ke fluida dingin atau nilai kalor yang diserap oleh fluida dingin dari fluida panas.

$$Q = U A L M T D \quad (1)$$

Dimana :

- A = Luas perpindahan panas (m<sup>2</sup>)
- Q = Beban panas yang di transfer (W)
- U = Koefisien perpindahan panas total (W/m<sup>2</sup>K)
- LMTD = *Log mean temperature different* (K)

Dari perpindahan kalor tersebut, terdapat 4 temperatur yaitu  $T_{hi}$  ( Temperatur panas masuk),  $T_{ho}$  (Temperatur panas keluar),  $T_{ci}$  (Temperatur dingin masuk), dan  $T_{co}$  (Temperatur dingin keluar).

$$Q_h = Q_c \quad (2)$$

dimana :

Untuk menghitung laju perpindahan panas fluida panas (*hot*) dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_h = (m_h C_{p_h} \Delta T_h) \quad (3)$$

Untuk menghitung laju perpindahan panas fluida dingin (*cold*) dapat dihitung dengan rumus :

$$Q_c = (m_c C_{p_c} \Delta T_c) \quad (4)$$

Dimana :

$Q_h$  = Panas/kalor yang di transfer oleh media panas (kJ/s)

$Q_c$  = Panas/kalor yang di transfer oleh media dingin (kJ/s)

m = Laju aliran massa (kg/s)

Cp = Panas spesifik jenis fluida (kJ/kgK)

Perhitungan LMTD

Besarnya nilai LMTD atau perbedaan temperatur rata rata logaritma bergantung pada jenis *heat exchanger* yang digunakan, dimana pada dasarnya dibagi menjadi 3 (tiga) jenis *heat exchanger* berdasarkan arah alirannya yaitu *parallel flow* (searah), *counterflow* (berlawanan), dan *multi pass and cross flow (shell and tube)*. Persamaan untuk menghitung nilai LMTD dari masing masing jenis *heat exchanger* yaitu:

*Parallel Flow* dan *Counter Flow*

$$\Delta T_{LM} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (5)$$

Dimana untuk *Parallel Flow* :

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c1} \quad (6)$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c2} \quad (7)$$

Dimana untuk *Counter Flow* :

$$\Delta T_1 = T_{h1} - T_{c2} \quad (8)$$

$$\Delta T_2 = T_{h2} - T_{c1} \quad (9)$$

$$\Delta T_{LM,CF} = \text{LMTD counterflow} \left( \frac{K}{\text{}} \right)$$

NTU (*Number Transfer Unit*)

Metode dengan menggunakan LMTD (*logarithmic mean temperature Difference*)

dapat kita gunakan dengan mudah apabila suhu masuk dari fluida telah kita ketahui dan suhu keluar dapat diketahui dari persamaan neraca energi (*energy balance*). Untuk mendefinisikan suatu  $\epsilon$ -NTU dari suatu APK, kita harus terlebih dahulu mengetahui perpindahan kalor maksimum yang terjadi (*maximum possible heat transfer rate*),  $Q_{max}$ . Efektivitas suatu APK didefinisikan sebagai berikut:

$$\epsilon = \frac{Q}{Q_{max}}$$

(10)

Dimana :

$Q$  = Laju perpindahan panas ( $\frac{W}{\text{}} \text{ )}$

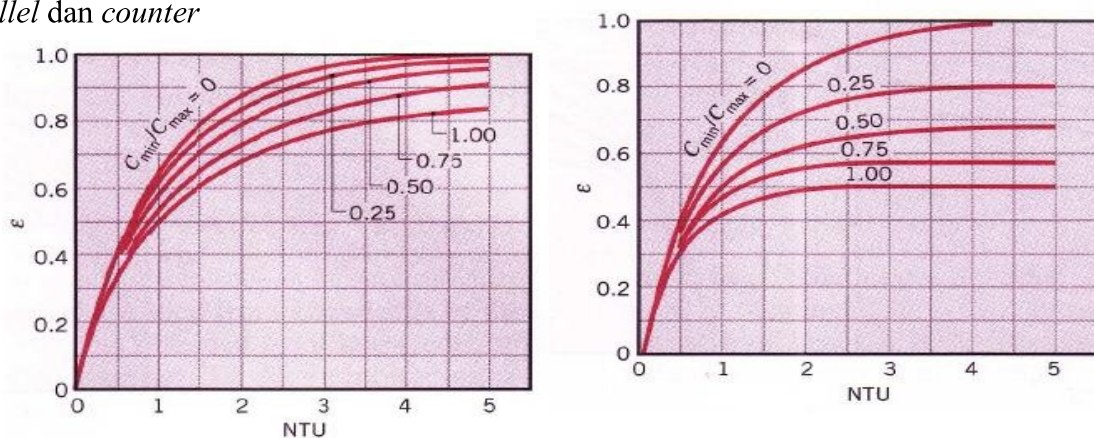
$Q_{max}$  = Laju perpindahan panas maksimal ( $\frac{W}{\text{}} \text{ )}$

$\epsilon$  = efektivitas APK [9]

$$C = \frac{C_{min}}{C_{max}}$$

(11)

Setelah mendapatkan hasil dari  $\epsilon$  dan  $C$  kita bisa mencari nilai NTU berdasarkan grafik yang sesuai dengan jenis aliran Seperti grafik untuk jenis aliran fluida *parallel* dan *counter*. fluida yang mengalir di dalam APK. Seperti grafik untuk jenis aliran fluida *parallel* dan *counter*



**Gambar 2.** Diagram NTU *Parallel flow & Counter flow* [10]

Sesudah mencari nilai NTU dari grafik, maka dapat mencari nilai luas penampang (A) dengan persamaan:

$$NTU = U A C_{min} \quad (12)$$

## METODE PENELITIAN



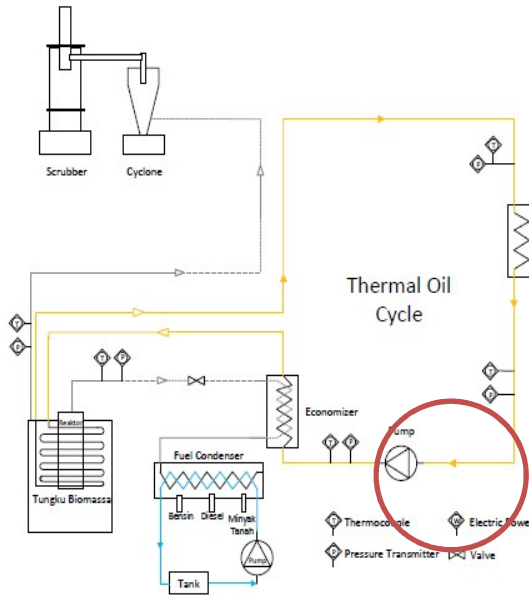
Gambar 2. Diagram alir penelitian

Metodologi Penelitian didalam penelitian ini menjelaskan tentang langkah yang dilakukan untuk hasil dari tujuan penelitian, berdasarkan batasan dan rumusan masalah. Metodologi yang dilakukan dibagi menjadi 4 tahapan.

Tahap pertama adalah Studi Literatur. Studi literatur digunakan sebagai landasan teori dalam penyelesaian masalah secara ilmiah. Dalam tahap ini digunakan teori dan prinsip Alat Penukar Kalor dan prinsip perpindahan panas sebagai tahap awal untuk merancang APK dengan tipe tube untuk pemanfaatan panas pirolisis

Tahap kedua adalah Spesifikasi dan Kondisi APK. Pada tahapan ini dilakukan pengumpulan parameter yang sifatnya tidak berubah sebagai data awal perancangan APK tipe *tube*, meliputi temperatur masuk, temperatur keluar, *mass flow rate*, laju aliran massa dan material yang digunakan. Tahap ketiga adalah Perhitungan dan Perancangan APK. Pada tahapan ini akan dilakukan perhitungan secara teoritis untuk mendapatkan dimensi desain *tube* yang akan digunakan menggunakan parameter yang sudah ada. Dari perhitungan akan didapatkan kondisi termal dan dapat dibuat desain menggunakan *software solidworks*.

Tahap keempat adalah Kesimpulan. Dalam tahap ini menarik semua kesimpulan berdasarkan perhitungan untuk ukuran dimensi yang telah dilakukan dalam perancangan APK serta keefektifan dari rancangan APK serta dimensi.

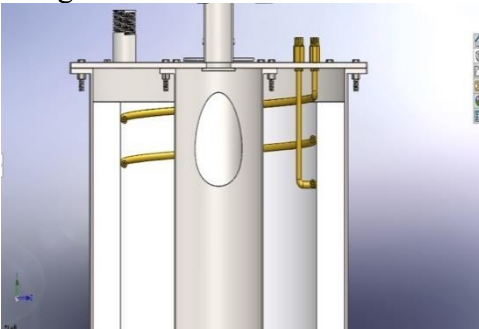


**Gambar 3.** Perancangan APK pada siklus Organic Rankine Cycle  
Pada skema diatas dapat dilihat APK yang dirancang terletak dalam tungku pirolisis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Spesifikasi Alat Penukar Kalor

Untuk mendapatkan ukuran dan keefektifan APK adalah dengan menentukan parameter yang tetap sebagai data perhitungan dan pemilihan bahan yang efektif. Dalam merancang APK diharapkan ukuran-ukuran yang ditentukan sesuai dengan standar yang ada, hal itu akan mempermudah dalam Dengan demikian data-data perancangan awal yang diketahui untuk perhitungan awal antara lain sebagai berikut.



**Gambar 4.** Desain APK Pada Tungku Pirolisis



**Gambar 5.** Tube yang menempel pada tutup tungku pirolisis

Untuk merancang panjang tube yang diperlukan, maka terdapat beberapa parameter yang sudah ditentukan, yaitu:

Tabel 2. Nilai Parameter

Parameter	Nilai
$T_{cin}$	373 K
$T_{hin}$	623 K
$T_{co}$	393 K
$\dot{m}_h$	0,25 kg/s
$\dot{m}_c$	0,21 kg/s
$Cp_c$	2263,1 J/kg.K
$Cp_h$	1081,48 J/kg.K

#### Analisa Hasil Perhitungan teoritis Perancangan APK

Laju Perpindahan Kalor (Q)

Besarnya laju perpindahan kalor dari fluida panas ke fluida dingin dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q_c = (0,25 \text{ kg/s}) (2263,1 \text{ J/kgK}) (20 \text{ K})$$

$$Q_c = 11315,5 \text{ W}$$

Perbedaan Temperatur ( $\Delta T$ )

$$\Delta T_h = \frac{Q_h}{Cp_h \dot{m}_h}$$

$$\Delta T_h = \frac{11315,5 \text{ J/s}}{(1081,48 \text{ J/kgK}) (0,20 \text{ kg/s})}$$

$$\Delta T_h = 50 \text{ K}$$

Menghitung Beda Temperatur Rata-Rata Logaritma (LMTD)

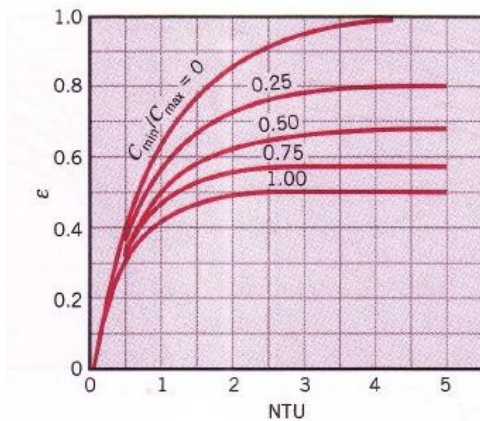
$$\Delta T_{LM} = \frac{(673 - 393) - (623 - 373)}{\ln \left( \frac{673 - 393}{623 - 373} \right)}$$

Menentukan keefektifan alat penukar kalor

$$\varepsilon = \frac{Q}{Q_{max}}$$

Menentukan nilai *Number Transfer Unit* (NTU)





**Gambar 6** Diagram NTU untuk aliran Parallel Flow

Dari diagram diatas, dengan nilai keefektifan dan  $C_r$  yang ada, maka diketahui bahwa nilai NTU nya adalah 0,2

$$\varepsilon = \frac{11315 \text{ J/s}}{67896 \text{ J/s}}$$

Menghitung Panjang Penampang yang dibutuhkan

Ukuran diameter tube yang akan dirancang adalah  $\frac{1}{4}$  inchi atau 6,4 mm dengan ketebalan 1,2 mm sesuai dengan standar tema yang diperbolehkan. Maka untuk mencari panjang penampang ( $l$ ) yang dibutuhkan adalah:

Dengan metode LMTD

$$Q = U A LMTD$$

Dari persamaan diatas, dapat ditentukan luas penampang adalah

$$A = \frac{Q}{U A LMTD}$$

$$A = \frac{11611,6}{809,7 \cdot 263,45}$$

$$A = 0,06 \text{ m}^2, \text{ dimana } A = \pi D l$$

$$l = \frac{A}{\pi D}$$

Maka

$$l = \frac{0,06 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0095 \text{ m}}$$

$$l = 2,01 \text{ m}$$

Dari perhitungan diatas maka diketahui bahwa ukuran panjang tubenya dengan menggunakan metode

LMTD adalah 2,01 m  $\approx$  2 m  
Dengan metode NTU

$$NTU = \frac{U A}{C_{min}}$$

Maka, untuk mencari luas penampang

$$A = \frac{NTU C_{min}}{U}$$

$$A = \frac{0,2 \cdot 232,2}{809,7}$$

$$A = 0,057$$

$$A = 0,057 \text{ m}^2, \text{ dimana } A = \pi D l$$

$$l = \frac{A}{\pi d}$$

$$l = \frac{0,057 \text{ m}^2}{\pi \cdot 0,0095 \text{ m}}$$

$$l = 1,93 \text{ m}$$

Dari perhitungan diatas maka diketahui bahwa ukuran panjang tubenya dengan menggunakan metode

NTU adalah  $1,93 \text{ m} \approx 2 \text{ m}$

## KESIMPULAN

Dari perhitungan teoritis yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa laju perpindahan panas yang dilepaskan oleh fluida panas adalah sebesar 11315 J/s atau 11315 W . Dengan perbedaan temperatur yang terjadi sebesar 50 K, maka diketahui LMTD sebesar 263 K. Diketahui luas penampang (A)

dengan metode LMTD  $0,006 \text{ m}^2$  dan panjang sebesar 2,01 m.

Dengan nilai efektivitas adalah sebesar 16,67 %. Dan nilai NTU sebesar 0,2. Dengan metode NTU

diketahui nilai luas penampang adalah sebesar  $0,057 \text{ m}^2$  dan panjang sebesar 1,93 m.

Dari metode NTU dan LMTD maka dilakukan pembulatan angka terhadap panjang *tube* menjadi 2 m.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada Bapak I Gede Eka Lesmana S.T., M.T. dan Ibu Rovida Camalia Hartantrie, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang mendukung serta membimbing penulis dengan kesabaran dan mengajarkan dengan ilmu yang sangat bermanfaat . Serta dukungan dari kedua orang tua dan Nimrot Sarbono Sidabutar selaku suami penulis yang selalu memberikan doa serta dukungan yang tiada henti. Dan juga tidak lupa dukungan dari Rekan-rekan Program Studi Teknik Mesin Universitas Pancasila: Rendy Redifan, Sabda Mochammad, Noor Zahran Kamarullah .

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] E. Maulana, H. Hariri, and A. Permana, "Perancangan Ulang Reaktor Pirolisis Berbahan Baku Sampah Plastik," *Semin. Nas. Teknol.*, pp. 190–194, 2018.
- [2] K. Endang, G. Mukhtar, A. Nego, and F. X. A. Sugiyana, "Pengolahan Sampah Plastik dengan Metoda Pirolisis menjadi Bahan Bakar Minyak," *Semin. Nas. Tek. Kim. Kejuangan*, vol. 0, no. 0, p. 6, 2016.
- [3] D. P. Incropera, F.P., Dewitt, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 5th Editio. Canada: John Wiley & Sons, 1993.
- [4] C. Anggradiar and B. K. P. Ary, "Studi Eksperimen Pengaruh Pembebanan Generator Pada Performa Sistem Organic Rankine Cycle," *J. Tek. POMITS*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2012.
- [5] E. Maulana, E. Djatmiko, and A. Saefudin, "PERANCANGAN ALAT PENGAPIAN PADA TUNGKU KAPASITAS 10 Kg," *Semin. Nas. Teknol.*, pp. 227–232, 2018.
- [6] I. R. S. Bizzy, "STUDI PERHITUNGAN ALAT PENUKAR KALOR TIPE SHELL AND TUBE DENGAN PROGRAM HEAT TRANSFER RESEARCH INC," *J. Tek. Mesin*, vol. Vol. 13, N, 2013.
- [7] H. Syah, "Kajian Kinerja Penukar Panas Tipe Shell and Tube Satu Haluan dengan Pengontrolan Suhu Outlet," *J. Rekayasa Kim. Lingkung.*, vol. 9, no. 4, p. 158, 2017.
- [8] N. Putra, *ALAT PENUKAR KALOR*, vol. 3. Depok: Department of Mechanical Engineering University of Indonesia, 1981.
- [9] J. P. Holman, *Heat Transfer*, 10th Editi. New York: McGraw-Hill Companies, 2010.
- [10] N. Putra, *Alat Penukar Kalor*. Jakarta: Departemen Teknik Universitas Indonesia, 2012.