



PAPER – OPEN ACCESS

Rancang Bangun Alat Penukar Kalor Shell And Tube Dengan Satu Laluan Cangkang Dan Dua Laluan Tabung Sebagai Pemanas Air

Author : Farel H. Napitupulu
DOI : 10.32734/st.v1i2.289
Electronic ISSN : 2654-7082
Print ISSN : 2654-7074

Volume 1 Issue 2 – 2018 TALENTA Conference Series: Science & Technology (ST)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Rancang Bangun Alat Penukar Kalor Shell And Tube Dengan Satu Lалан Cangkang Dan Dua Lалан Tabung Sebagai Pemanas Air

Farel H. Napitupulu^a, Tekad Sitepu^a, Jefry Kusuma^a, Agus Wijaya^a

^a*Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, Kampus USU Medan*

Abstrak

Limbah air panas yang dibuang langsung tanpa diproses pasti akan mengakibatkan efek buruk terhadap ekosistem air. Dalam penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu rancang bangun alat penukar kalor yang memanfaatkan energi panas dari limbah air panas pabrik pupuk yang bertujuan untuk memanaskan air dan akan digunakan sebagai air panas di pemandian perumahan karyawan pabrik pupuk. Dengan memanfaatkan energi panas dari limbah air panas tersebut maka temperatur limbah air panas ini juga akan turun dan selanjutnyadapat dibuang ke sungai tanpa membahayakan ekosistem di sungai.

Secara ringkas, didapat alat penukar kalor berukuran panjang 1,64 m, lebar 0,48 m, dan tinggi 2,1 m, Panjang total pipa pada alat penukar kalornya adalah 2,7 m berdiameter 13mm, dan shellnya mempunyai panjang 1,35m dan berdiameter 70mm, volume pada tangki Alat penukar ini sebesar 27 Liter. Pada tabung dalam APK shell & tube, material yang digunakan adalah tembaga dengan nilai konduktivitas sebesar 385 W/mK sedangkan pada APK tabung sepusat, material yang digunakan adalah aluminium dengan nilai konduktivitas sebesar 205 W/mK. Sedangkan efektifitas terbesar setelah dilakukan percobaan adalah 35,4040%.

Kata Kunci: APK tipe shell and tube; satu cangkang dua lалан; pemanas air

1. Pendahuluan

Perlu diketahui bahwa limbah panas yang dibuang langsung tanpa diproses pasti akan mengakibatkan efek buruk terhadap lingkungan. Salah satu contoh dari kondisi inilah adalah limbah air panas dari pabrik pupuk yang langsung dibuang ke sungai. Berdasarkan hasil survei lapangan yang dilakukan tim pengusul bahwa selama ini limbah air panas yang bertemperatur sekitar 55°C - 60°C dari pembangkit pabrik pupuk ini langsung dibuang ke sungai sehingga meningkatkan temperatur air dan menimbulkan pencemaran termal. Kenaikan suhu 10°C derajat dari biasanya dapat mempercepat aktivitas metabolisme biota air, sedangkan masing-masing biota air memiliki kecepatan metabolik yang berbeda, maka biota air hanya dapat hidup pada suhu tertentu yang berbeda-beda untuk tiap kelompok biota. Populasi biota air akan menurun pada suhu tinggi, hanya sedikit jenis hewan yang dapat hidup pada temperatur diatas 45°C. Dampak buruk dari pembuangan limbah air panas ini adalah perubahan temperatur secara tidak alamiah berdampak langsung terhadap biota dimana daya dukung habitatnya menjadi hilang. Sebagai contoh pada habitat terumbu karang dimana dengan berubahnya temperatur maka tingkat kelarutan oksigen dan kalsium karbonat di air akan ikut berubah.

Berdasarkan hal terserbut di atas maka diusulkanlah suatu rancang bangun alat penukar kalor yang digunakan untuk memanfaatkan energi panas dari limbah air panas pabrik pupuk yang bertujuan untuk memanaskan air. Dengan

menmanfaatkan energi panas dari limbah air panas tersebut maka temperatur limbah air panas ini juga akan turun dan selanjutnyadapat dibuang ke sungai tanpa membahayakan ekosistem di sungai.

2. Studi Literatur

2.1. Teori Dasar Alat Penukar Kalor

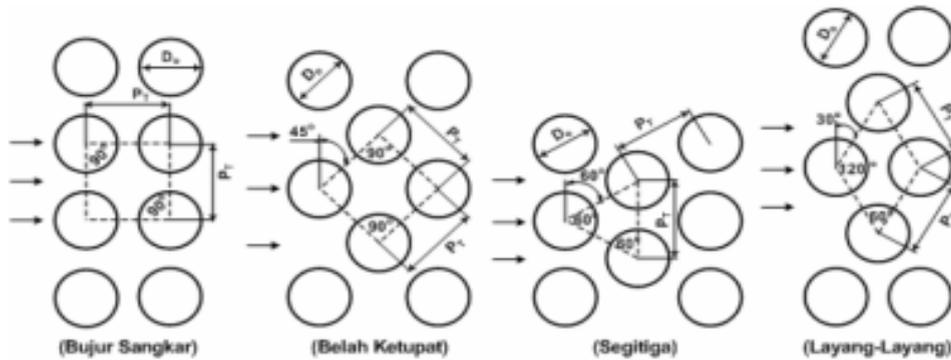
Alat penukar kalor (APK) adalah alat yang memungkinkan terjadinya perpindahan panas diantara dua fluida yang memiliki temperatur yang berbeda tanpa mencampurkan kedua fluida tersebut (Hewitt, 1994). Alat penukar kalor biasanya digunakan secara praktis di dalam aplikasi yang luas, seperti dalam kasus pemanasan dan sistem pengkondisian udara, proses-proses kimia dan proses pembangkitan tenaga (Davood et. al., 2017). Alat penukar kalor berbeda dengan ruangan pencampuran yakni alat penukar kalor tidak memperbolehkan kedua fluida bercampur. Sebagai contoh, pada radiator mobil, panas dipindahkan dari air panas yang mengalir melalui pipa yang terdapat pada radiator yang ditambahkan plat pada jarak yang kecil dengan melewati udara diantaranya. Perpindahan panas pada alat penukar kalor biasanya terdiri dari konveksi pada fluida dan konduksi pada dinding yang memisahkan kedua fluida. Pada saat menganalisa alat penukar kalor, sangat diperlukan untuk menggunakan koefisien perpindahan panas menyeluruh U yang memungkinkan untuk menghitung seluruh efek dari perpindahan panas. Laju perpindahan panas diantara kedua fluida terletak pada alat penukar kalor yang bergantung pada perbedaan temperatur pada suatu titik, yang bervariasi sepanjang alat penukar kalor. Pada saat menganalisis alat penukar kalor, umumnya bekerja dengan menggunakan *logarithmic mean temperature difference* LMTD, yang sebanding dengan perbedaan temperatur rata-rata diantara kedua fluida sepanjang alat penukar kalor. Ketika dua temperatur tidak diketahui sehingga tidak dapat dianalisis maka dapat digunakan metode keefektifan NTU [1][5].

2.2. Standarisasi Tabung Alat Penukar Kalor

Perlu diketahui bahwa untuk alat-alat ini terdapat suatu terminologi yang telah distandarkan untuk menamai alat dan bagian-bagian alat tersebut yang dikeluarkan oleh Asosiasi pembuat Heat Exchanger yang dikenal dengan *Tubular Exchanger Manufacture's Association* (TEMA). Standarisasi tersebut bertujuan untuk melindungi para pemakai dari bahaya kerusakan atau kegagalan alat, karena alat ini beroperasi pada temperature dan tekanan yang tinggi. Di dalam standar mekanik TEMA (TEMA, 2007), terdapat dua macam kelas alat penukar kalor yaitu kelas R, yaitu untuk peralatan yang bekerja dengan kondisi berat, misalnya untuk industri minyak dan kimia berat dan kelas C, yaitu yang dibuat untuk general purpose, dengan didasarkan pada segi ekonomis dan ukuran kecil, digunakan untuk proses-proses umum industri.

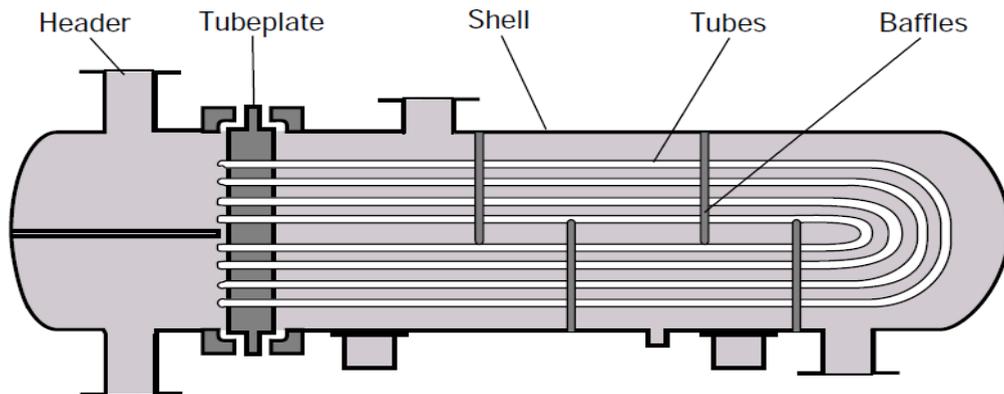
2.3. Alat Penukar Kalor Shell And Tube

Alat penukar kalor *shell and tube heat* umumnya digunakan dalam kondisi tekanan relatif tinggi yang terdiri dari sebuah selongsong yang di dalamnya disusun suatu *annulus* dengan rangkaian tertentu untuk mendapatkan luas permukaan yang optimal (Emerson et.al., 2017). Fluida mengalir di selongsong maupun di *annulus* sehingga terjadi perpindahan panas antara fluida dengan dinding *annulus* misalnya *triangular pitch* (pola segitiga) dan *square pitch* (pola segiempat).



Gambar 2.1 Bentuk susunan tabung (Incropera, 2008)

Keuntungan *square pitch* adalah bagian dalam *tube*-nya mudah dibersihkan dan *pressure drop*-nya rendah ketika mengalir fluida di dalamnya (Gabriel, 2017). Keuntungan dari alat penukar kalor tipe *shell and tube* adalah (Bhanuchandrarao, 2015) antara lain konfigurasi yang dibuat akan memberikan luas permukaan yang besar dengan bentuk atau volume yang kecil, mempunyai *lay-out* mekanik yang baik, bentuknya cukup baik untuk operasi bertekanan, menggunakan teknik fabrikasi yang sudah mapan (*well-established*), dapat dibuat dengan berbagai jenis material, dimana dapat dipilih jenis material yang digunakan sesuai dengan temperatur dan tekanan operasi, mudah membersihkannya dan konstruksinya sederhana, pemakaian ruangan relatif kecil.

Gambar 2.2 Alat penukar kalor tipe *shell and tube*

Kerugian penggunaan *shell and tube heat exchanger* adalah semakin besar jumlah lewatan maka semakin banyak panas yang diserap tetapi semakin sulit perawatannya (Hamed et. al., 2017).

2.4. Aliran Di Dalam Pipa

Cairan atau gas yang melewati pipa atau *duct* biasanya digunakan dalam proses pemanasan ataupun pendinginan. Untuk aliran di dalam pipa yang memiliki penampang lingkaran maka bilangan Reynold didefinisikan sebagai

$$\text{Re} = \frac{\rho V D}{\mu} = \frac{V D}{\nu} \quad (2.1)$$

Dengan menghitung bilangan Reynold, dapat ditentukan jenis aliran yang terjadi (Kuppan, 2005) yaitu $\text{Re} < 2300$ aliran laminar, $2300 \leq \text{Re} \leq 10000$ aliran transisi dan $\text{Re} > 10000$ aliran turbulen. Untuk aliran laminar dengan pipa berbentuk lingkaran dengan panjang L dengan temperatur permukaan yang konstan, bilangan Nusselt rata-rata untuk daerah masuk termal dapat dicari dengan persamaan (Kern D. Q, 1950) :

$$\text{Nu} = 3.66 + \frac{0.065 (D/L) \text{Re Pr}}{1 + 0.04 [(D/L) \text{Re Pr}]^{2/3}} \quad (2.2)$$

Untuk aliran transisi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (Lienhard, 2008)

$$\text{Nu} = \frac{(f/8) (\text{Re} - 1000) \text{Pr}}{1 + 12.7 (f/8)^{0.5} (\text{Pr}^{2/3} - 1)} \quad (2.3)$$

Persamaan ini berlaku dengan ketentuan pada $0,5 \leq \text{Pr} \leq 2000$ dan $3 \times 10^3 < \text{Re} < 5 \times 10^6$.

Untuk menghitung faktor gesekan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan (Lienhard, 2008):

$$f = (0,790 \ln \text{Re} - 1,64)^{-2} \quad (2.4)$$

Untuk aliran turbulen berkembang penuh didalam pipa yang halus, sebuah persamaan sederhana untuk menghitung bilangan Nusselt dapat diperoleh yakni [3]:

$$\text{Nu} = 0,023 \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{1/3} \quad (2.5)$$

dengan syarat bahwa : $0,7 \leq \text{Pr} \leq 160$, $\text{Re} > 10000$

2.5. Faktor Pengotoran

Performansi alat penukar kalor biasanya semakin menurun dengan bertambahnya waktu pemakaian sebagai akibat terjadinya penumpukan kotoran pada permukaan alat penukar kalor (Saleh et. al., 2017). Lapisan kotoran tersebut menimbulkan hambatan tambahan pada proses perpindahan panas dan mengakibatkan penurunan laju perpindahan panas pada alat penukar kalor. Penumpukan kotoran pada alat penukar kalor disebut faktor pengotoran R_f yang menjadi ukuran dalam tahanan termal.

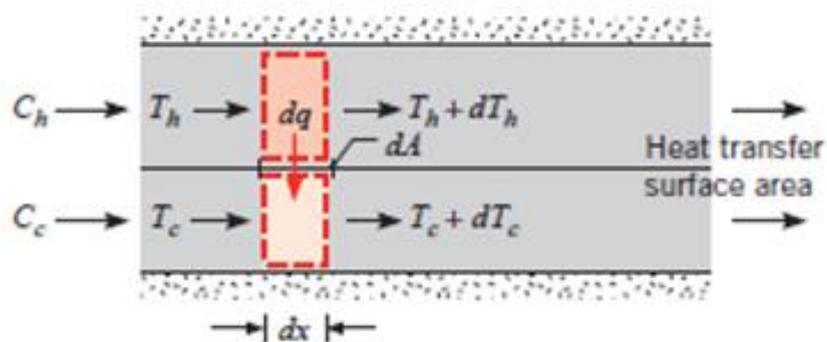
Menurut Hewitt(1994), mekanisme dimana permukaan menjadi berkerak dapat dipisahkan dan diklasifikasikan berdasarkan proses antara lain :

- *Crystallization fouling* ; Pengendapan dan/atau kristal pada permukaan.
- *Particulate fouling* ; Akumulasi partikel dari aliran fluida pada permukaan.
- *Chemical reaction fouling* ; Pengendapan terbentuk akibat dari satu atau lebih reaksi kimia terhadap pereaksi yang terkandung dalam fluida yang mengalir.
- *Corrossion fouling* : Efek dari korosi pada permukaan alat penukar kalor itu sendiri ataupun bagian lain yang terdapat pada bagian proses.

2.6. Analisis Alat Penukar Kalor Dengan Metode Log Mean

2.6.1. Temperature Difference (Lmtd)

Dalam merancang ataupun memprediksi performansi alat penukar kalor, sangatlah perlu untuk menghubungkan antara laju perpindahan panas total terhadap temperatur fluida yang masuk dan keluar, koefisien perpindahan panas menyeluruh, dan luas permukaan total untuk laju perpindahan panas (Weimin et. al., 2017). Persamaan perpindahan panas antara fluida panas dan fluida dingin adalah setimbang. Jika Q adalah laju perpindahan panas antara fluida panas dengan fluida dingin dan dengan mengabaikan perpindahan panas yang terjadi pada alat penukar kalor dengan lingkungan, mengabaikan perubahan energi potensial dan energi kinetik, dan dengan mengaplikasikan persamaan energi *steady*, diperoleh persamaan yang ada di dalam perhitungan, seperti tampak pada gambar 2.3. [5].



Gambar 2.3. Keseimbangan energi total untuk pada sebuah alat penukar kalor

$$q = \dot{m}_c(i_{c,o} - i_{c,i}) = \dot{m}_h(i_{h,i} - i_{h,o}) \quad (2.8)$$

i adalah entalpi fluida. Subscript h dan c adalah menandakan fluida *hot* (panas) dan fluida *cold* (dingin), sedangkan subscript i dan o adalah kondisi *inlet* (masuk) dan *outlet* (keluar) fluida. Jika fluida tidak mengalami perubahan fasa dan diasumsikan pada kondisi panas jenis yang konstan, maka persamaan menjadi

$$Q = \dot{m}_h c_{p,h} (T_{h,i} - T_{h,o}) = \dot{m}_c c_{p,c} (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (2.9)$$

Jika T_h dan T_c adalah suhu kedua fluida yang berada di elemen dA dari permukaan alat penukar kalor maka besarnya laju perpindahan panas yang terjadi diantara kedua fluida melalui elemen dA dapat dituliskan menjadi bentuk

$$dq = U dA (T_h - T_c) \quad (2.10)$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

3.1.1. Alat

Alat yang dipakai dalam penelitian ini terdiri dari :
Alat penukar kalor tabung sepusat



Gambar 3.1 alat penukar kalor

- Termometer digital Alat ukur ini berfungsi untuk mengukur suhu masukan dan suhu keluaran dari masing-masing fluida yaitu fluida panas dan fluida dingin. Suhu yang didapat akan dimunculkan pada *display* yang terdapat pada alat ukur tersebut. Berikut adalah gambar dari alat ukur suhu dari alat penukar kalor tersebut.
- *Flowmeter* berfungsi mengetahui berapa kapasitas aliran yang terjadi pada masing-masing pipa yaitu pada pipa yang mengalirkan fluida panas dan pipa yang mengalirkan fluida dingin.
- *Water Heater* digunakan untuk memanaskan fluida yang ada didalam kotak penampung fluida.
- *Termostat* berfungsi untuk mengatur berapa panas yang akan diberikan kepada air yang akan digunakan sebagai fluida pemanas di dalam penelitian ini.
- Pompa Pompa digunakan untuk mengalirkan fluida panas di dalam alat penukar kalor sedangkan fluida dingin dialirkan melalui keran yang terdapat di dekat apk.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Plat besi yang digunakan sebagai tempat menampung fluida panas, fluida buangan, dan fluida dingin.

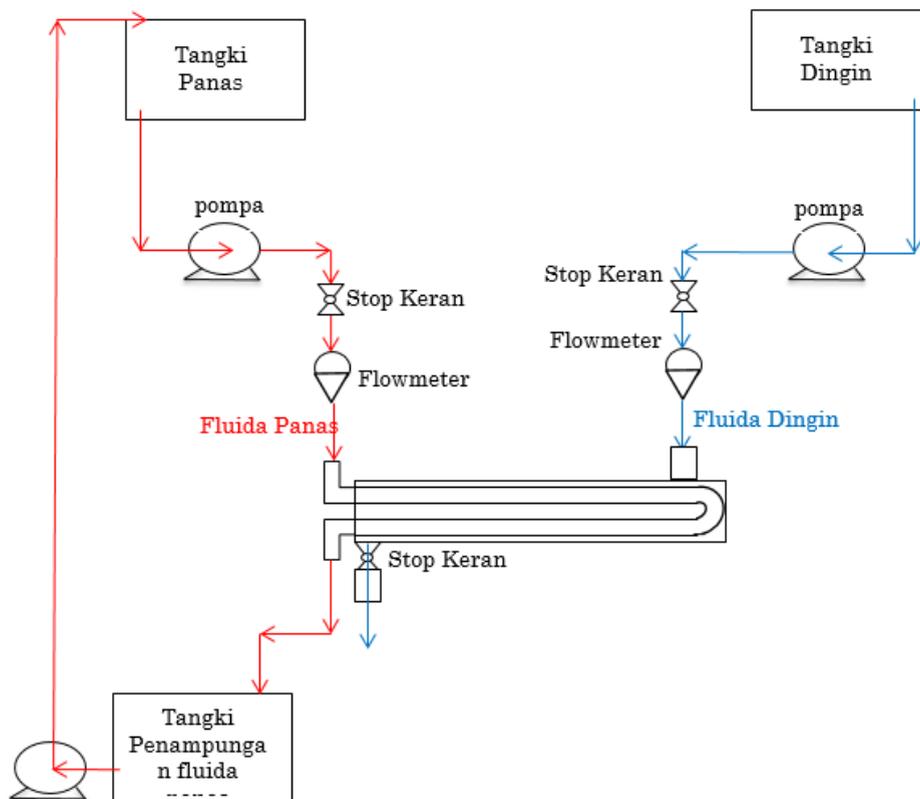
- Besi segi empat yang digunakan sebagai rangka alat penukar kalor .
- Pipa tembaga sebagai tempat mengalirnya fluida
- Flow meter yang digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air dalam satuan liter / menit ataupun galon per menit
- Stop Keran (*Ball Valve* yang digunakan sebagai pemutus atau penyambung aliran fluida.

- Pompa sentrifugal digunakan untuk mengalirkan fluida saat pengujian kinerja alat penukar kalor.
- Pipa Besi digunakan sebagai tempat mengalirnya fluida panas dan .
- Pipa Fitting Besi

Dimana pipe ini digunakan untuk menyambung pipa pada bagian ujung belokan dua arah.

3.3. Skema Uji Alat Penukar Kalor

Skema pengujian untuk mendapatkan kinerja dari alat penukar kalor tipe *shell and tube* satu cangkang dua laluan sebagai pemanas air adalah sebagai berikut.



Gambar 3.2 Skema pengujian

3.4. Prosedur Percobaan

Proses pengujian terdiri dari beberapa langkah-langkah yaitu sebagai berikut :

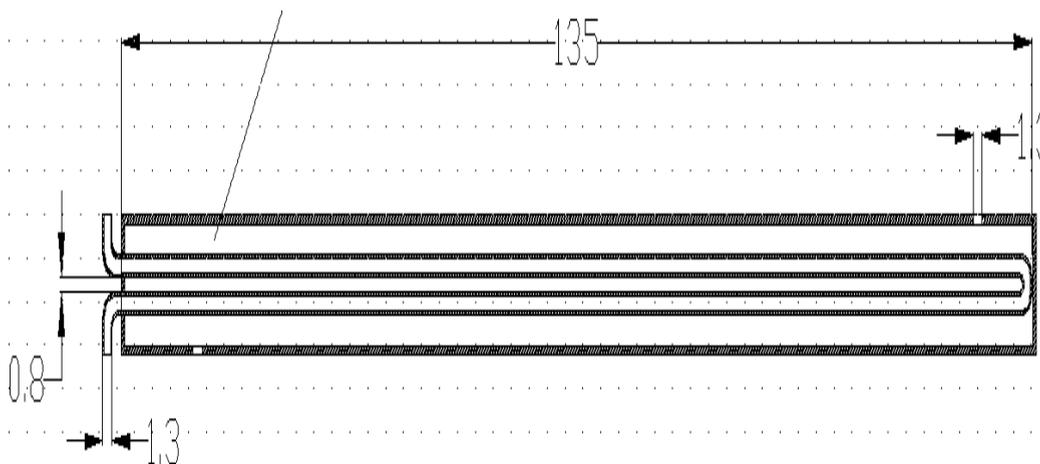
- Memasukkan fluida ke dalam tangki persediaan .
- Masukkan fluida (air) ke dalam tangki air panas dan tangki air dingin, kedua tangki tersebut diisi sampai melimpah.
- Jalankan pompa sirkulasi air panas dan sirkulasi air panas.
- Keluarkan (*vent*) semua udara dari jalur pipa.
- Periksa alat pemanas listrik dengan saklar pada on.

- Atur katup sesuai dengan kapasitas aliran yaitu 108 l/j, 180 l/j, 300 l/j, 510 l/j. Atur thermostat sebesar 40°C untuk menentukan suhu fluida panas.
- Catat data suhu keluaran jalur pipa dingin yang dapat dilihat pada instrument alat ukur suhu.
- Ulangi kembali untuk suhu masukan fluida panas yaitu 50°C, dan 60°C.

4. Hasil Dan Pembahasan

Untuk perhitungan secara teori dengan metode NTU, proses perhitungannya ditampilkan berikut ini untuk kondisi satu titik. Hasil perhitungan secara menyeluruh akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 40 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 29 °C pada debit masuk fluida panas 510l/jam dan debit masuk fluida dingin 108l/jam. Fluida yang dianalisis sebagai fluida panas dan fluida dingin adalah air.

Pada APK terdapat 1 cangkang dan 2 laluan pipa dalam. Diameter pipa cangkang dan pipa dalam APK adalah 70mm dan 12mm. Panjang dari pipa cangkang adalah 1.35m sedangkan panjang laluan pipa dalam adalah 2.7m



Gambar 4.1 Dimensi APK shell & tube

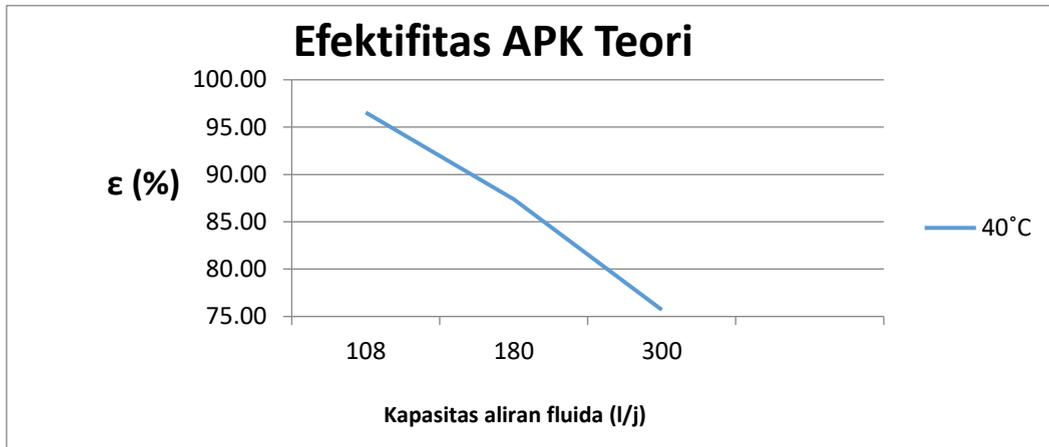
Hasil perhitungan secara teori dengan menyeluruh dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Efektifitas APK Secara Teori (Metode NTU)

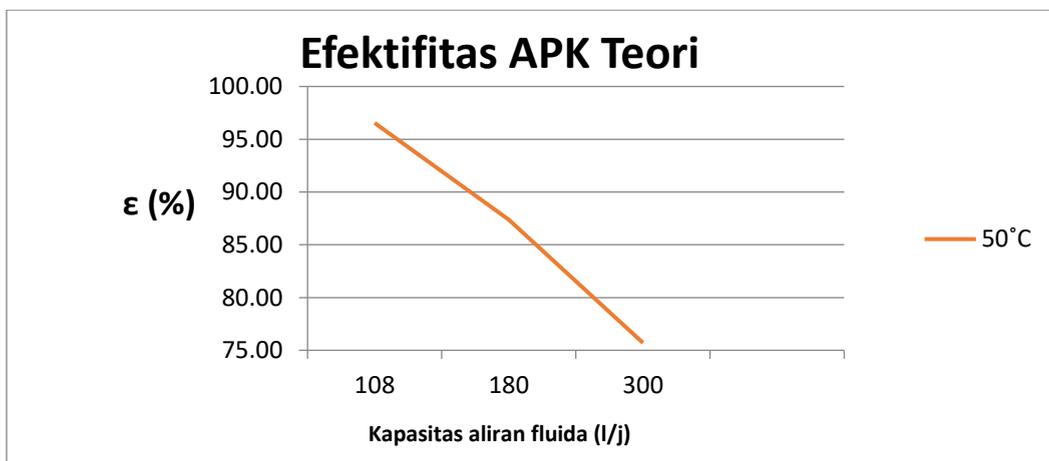
Kapasitas aliran air panas (l/jam)	Kapasitas aliran air dingin (l/jam)	$T_{h,i}(^{\circ}C)$	$T_{c,i}(^{\circ}C)$	$T_{h,o}(^{\circ}C)$	$T_{c,o}(^{\circ}C)$	$\epsilon(\%)$
510	108	40	29	37.7378	31.2621	96.54313
		50	29	45.6812	33.3187	96.54315
		60	29	53.6030	35.3969	96.56460
510	180	40	29	36.5911	32.4088	87.58169
		50	29	43.4904	35.5095	87.38394
		60	29	50.3670	38.6329	87.35387
510	300	40	29	35.0891	33.9108	75.74132
		50	29	40.6099	38.3901	75.70823
		60	29	46.1145	42.8854	75.66885

Dari perhitungan teori dengan metode NTU diperoleh efektifitas APK minimum adalah 75.70823% pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 50 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 29 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 300 l/jam. Sedangkan efektifitas APK maksimum adalah 96.56460 % pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 60°C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 29 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 108 l/jam.

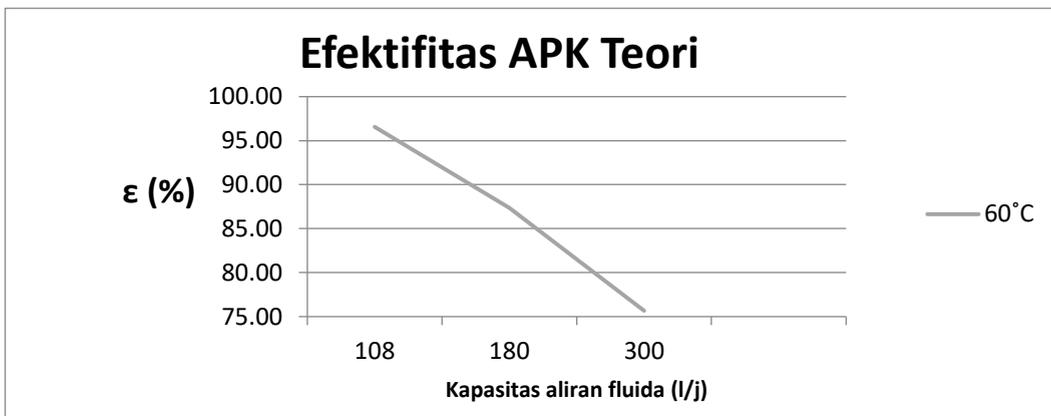
Dari tabel diatas dapat dibuat perbandingan efektifitas APK pada tiga debit aliran fluida dingin berbeda. Berikut ini adalah grafik – grafik efektifitas APK perhitungan teori pada kapasistas aliran fluida dingin 108 l/j, 180 l/j, 300 l/j



Gambar 4.2 Grafik efektifitas teori aliran fluida panas pada suhu 40°C kapasitas aliran fluida dingin 108 l/j ,180 l/j dan 300 l/j



Gambar 4.3 Grafik efektifitas teori aliran fluida panas pada suhu 50°C kapasitas aliran fluida dingin 108 l/j ,180 l/j dan 300 l/j



Gambar 4.4 Grafik efektifitas teori aliran fluida panas pada suhu 60°C kapasitas aliran fluida dingin 108 l/j ,180 l/j dan 300 l/j

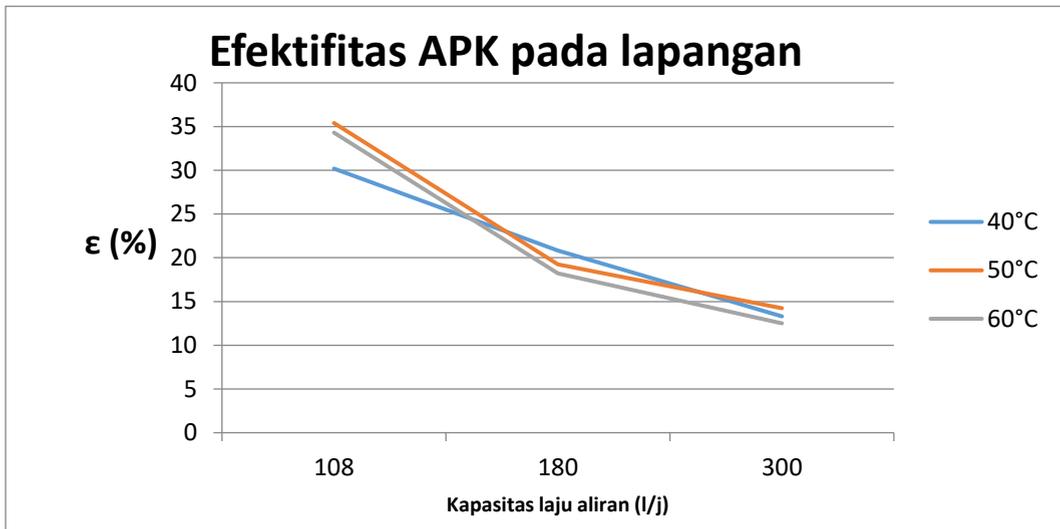
Pada grafik diatas, didapatkan bahwa seiring bertambahnya kapasitas aliran fluida maka efektifitas yang didapatkan juga semakin menurun. ε tertinggi didapatkan pada kapasitas aliran fluida panas sebesar 108 l/j dengan suhu fluida panas 60°C.

Tabel 4.2 Efektifitas APK di Lapangan

Kapasitas aliran air panas (l/jam)	Kapasitas aliran air dingin (l/jam)	$T_{h,i}(^{\circ}C)$	$T_{c,i}(^{\circ}C)$	$T_{h,o}(^{\circ}C)$	$T_{c,o}(^{\circ}C)$	$\epsilon(\%)$
510	108	39.6818	28.2090	39.1727	36.8545	30.1901
		49.4272	29.9636	48.8636	32.8268	35.4040
		59.6090	30.3545	58.5545	40.3909	34.3070
510	180	39.6636	28.3545	39.1545	30.7090	20.8199
		49.3818	29.9818	48.7909	33.7181	19.2596
		59.5818	29.9636	58.5818	35.3545	18.2013
510	300	39.6909	28.2090	39.0272	29.7363	13.3016
		49.5545	28.7272	49.0818	31.6909	14.2295
		59.5727	31.0636	58.5454	34.6272	12.5

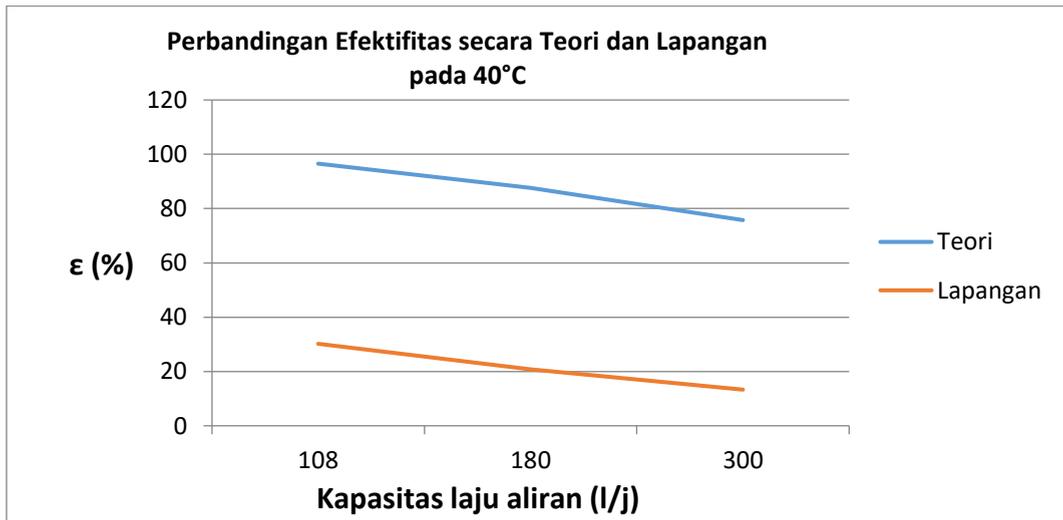
Dari perhitungan data di lapangan diperoleh efektifitas APK minimum adalah 12.5% pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 59.5727 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 31.0636 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 300 l/jam. Sedangkan efektifitas APK maksimum adalah 35.4040 % pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 49.4272 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 30.3545 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 108 l/jam.

Dari perhitungan secara menyeluruh yang telah ditampilkan diatas dapat dilihat bahwa perhitungan efektifitas APK secara teori metode NTU lebih tinggi dibandingkan dengan perhitungan efektifitas APK pada lapangan

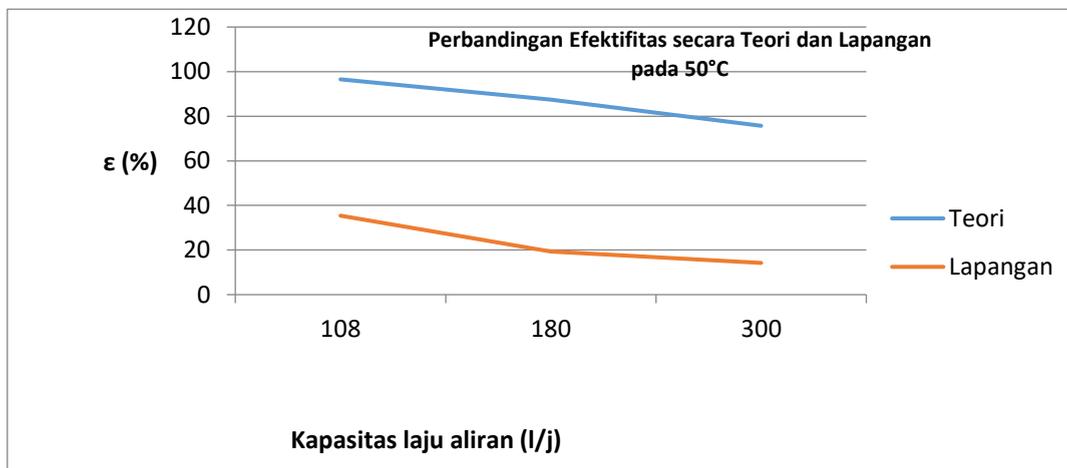


Gambar 4.5 Grafik perbandingan efektifitas lapangan aliran fluida panas variasi 3 suhu pada kapasitas aliran fluida dingin 108 l/j, 180 l/j dan 300l/j.

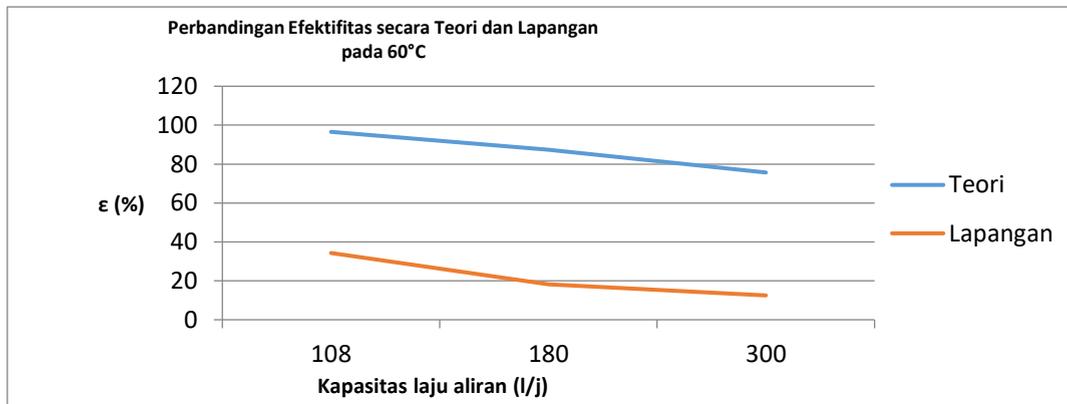
Dari ketiga grafik diatas dapat dilihat kemiringan grafik efektifitas APK hampir mirip dimana efektifitas APK cenderung menurun . Pada grafik kedua terdapat efektifitas APK maksimum yaitu 35.4040 % pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 50 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 29 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 180 l/jam.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan efektifitas secara teori dan lapangan pada suhu 40°C



Gambar 4.7 Grafik perbandingan efektifitas secara teori dan lapangan pada suhu 50°C



Gambar 4.8 Grafik perbandingan efektifitas secara teori dan lapangan pada suhu 60°C

Dari ketiga grafik dapat dilihat bahwa efektifitas yang didapatkan secara teori jauh lebih tinggi dibandingkan efektifitas yang didapatkan pada lapangan dikarenakan isolasi pada tabung apk yang masih kurang sempurna sehingga masih bisa terjadi *heat loss* pada apk tersebut. Adapun penyebab lain yaitu panas pada tabung apk dapat berpindah pada pipa masukan dari fluida dingin, hal tersebut menyebabkan pencatatan data yang kurang akurat sehingga menyebabkan nilai efektifitas yang kurang bagus apabila dibandingkan dengan nilai efektifitas secara teori (metode NTU)

Dari perhitungan data di lapangan oleh tim riset sebelumnya dengan APK tabung sepusat diperoleh efektifitas APK minimum adalah 4,62875% pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 40 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 30°C pada debit masuk fluida panas 180 l/jam dan debit masuk fluida dingin 180 l/jam. Sedangkan efektifitas APK maksimum adalah 31,00435 % pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 55 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 32 °C pada debit masuk fluida panas 180l/jam dan debit masuk fluida dingin 420 l/jam. Perhitungan data pada APK *shell & tube* didapatkan nilai efektifitas APK maksimum yaitu 35.4040 % pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 50 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 32 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 180 l/jam. Dari hasil yang di peroleh apabila dibandingkan, nilai efektifitas terdapat perbedaan yang cukup signifikan, hal tersebut dikarenakan pada tabung dalam yang digunakan adalah pipa tembaga yang memiliki nilai konduktivitas, yaitu 385 W/mK dimana nilai tersebut adalah cukup tinggi dibandingkan dengan nilai konduktivitas pipa aluminium yaitu 205 W/mK

4.1. Analisa Pada Pengujian II

Untuk perhitungan secara teori digunakan metode NTU dan hasil perhitungan secara menyeluruh akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 40 °C , 50°C ,60°C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 28 °C pada debit masuk fluida panas 510l/jam dan variasi debit masuk fluida dingin 108l/jam, 180 l/jam, 300 l/jam. Fluida yang dianalisis sebagai fluida panas adalah air dan fluida dingin adalah methanol.

Dari hasil perhitungan

- T_h yang didapat = $(50+47.7986)/2= 48.8993^\circ\text{C}$ tidak sama dengan pemisalan 50°C
- T_c yang didapat = $(28+30.2014)/2 = 29.1007^\circ\text{C}$ tidak sama dengan pemisalan 28°C

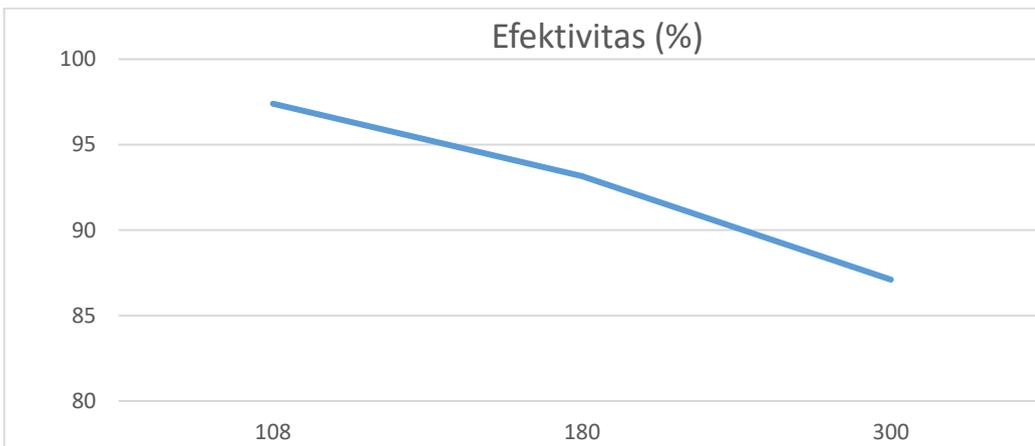
Untuk hasil dari iterasi selanjutnya pada tiap kondisi dikerjakan pada program microsoft excel dan hasil dari iterasi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut beserta data keefektifitasannya.

Berikut merupakan lampiran tabel perhitungan teori dengan laju aliran fluida panas 510L/jam dan variasi laju aliran fluida dingin 108 , 180 , 300 L/jam.

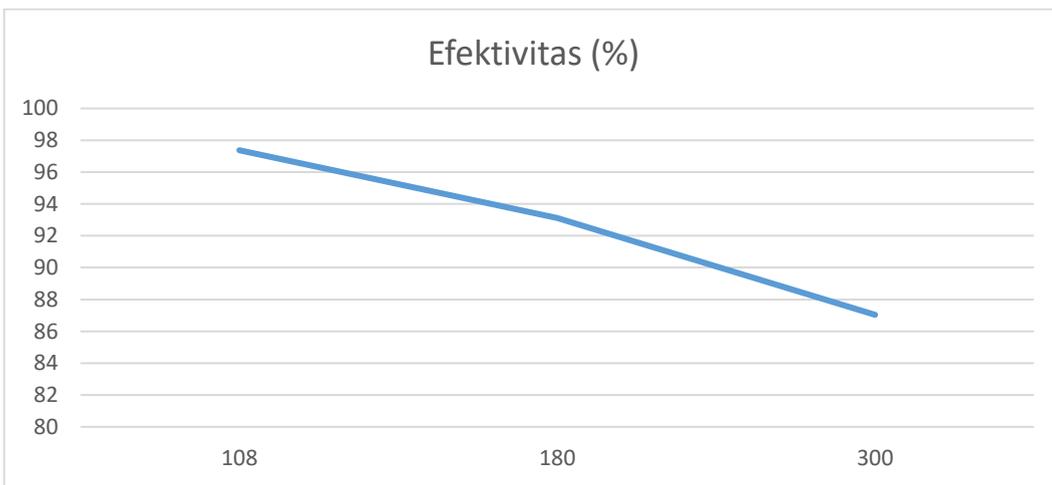
Tabel 4.4 hasil perhitungan berdasarkan metode iterasi

DATA TEORI				Hasil Teori			Efektifitas teori (%)
Kondisi eksperimen	T_{hi} (°C)	Q_h (l/j)	T_{ci} (°C)	Q_c (l/j)	T_{ho} (°C)	T_{co} (°C)	
1	40	510	28	108	38.8037	29.1963	97.396
2				180	38.0923	29.9077	93.1619
3				300	37.0259	30.9741	87.1023
1	50	510	28	108	47.7986	30.2014	97.3743
2				180	46.4891	31.5109	93.1245
3				300	44.5259	33.4741	87.0366
1	60	510	28	108	56.7845	31.2155	97.3497
2				180	54.87076	33.12924	93.08144
3				300	52.00108	35.99892	87.02052

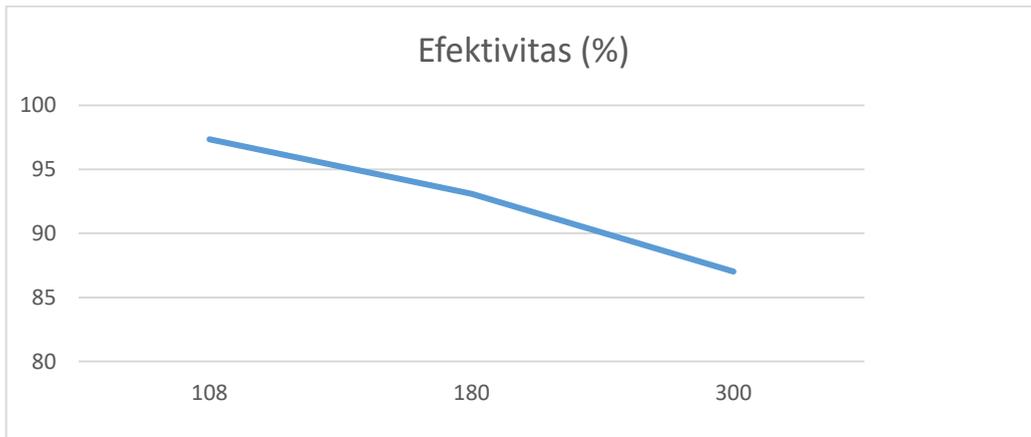
Dan data keefektifitasan dapat dilihat juga dalam grafik seperti di bawah ini,



Gambar 4.9 grafik efektivitas perhitungan teori (kapasitas fluida panas 510 L/j dengan suhu fluida panas 40°C)



Gambar 4.10 grafik efektivitas perhitungan teori (kapasitas fluida panas 510 L/j dengan suhu fluida panas 50°C)



Gambar 4.11 grafik efektivitas perhitungan teori (kapasitas fluida panas 510 L/j dengan suhu fluida panas 60°C)

Pada grafik diatas dapat disimpulkan bahwa seiring bertambahnya kapasitas laju aliran fluida dingin maka efektifitas alat penukar kalor shell and tube ini semakin menurun.

Adapun data hasil pengujian yang telah dilakukan pada APK shell and tube dapat dilihat dibawah ini , dimana kapasitas aliran fluida panas yaitu yang mengalir di dalam tabung dalam (shell) adalah 510 L/j . Kemudian untuk fluida dingin yaitu air yang mengalir didalam tabung (tube) adalah 108 L/j, 180 L/j dan 300 L/j.

Data hasil percobaan tersebut kemudia diolah untuk mendapatkan keefektifitasan hasil pengujian. Dimana rumus efektifitas yaitu,

$$E = \frac{T_{hi} - T_{ho}}{T_{co} - T_{ci}}, \text{ bila } (\dot{m} \cdot C_p)_{\min} = \dot{m}_h \cdot C_{ph}$$

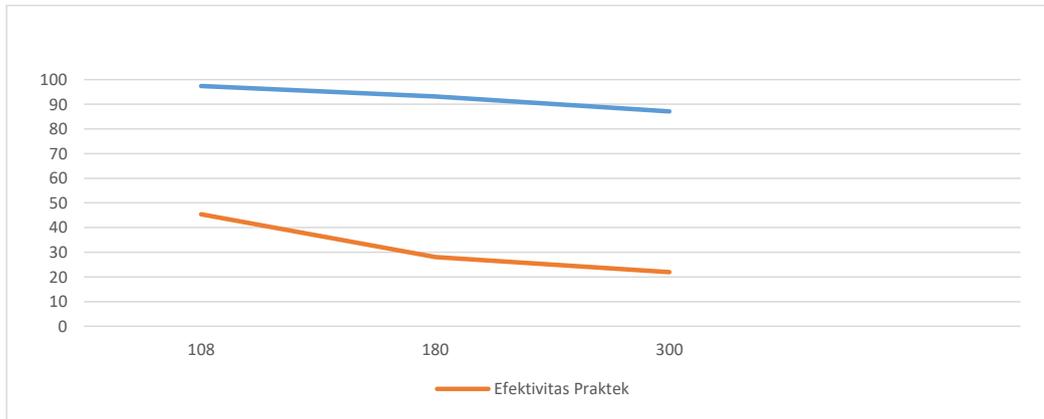
dan

$$E = \frac{T_{co} - T_{ci}}{T_{hi} - T_{ho}}, \text{ bila } (\dot{m} \cdot C_p)_{\min} = \dot{m}_c \cdot C_{pc}$$

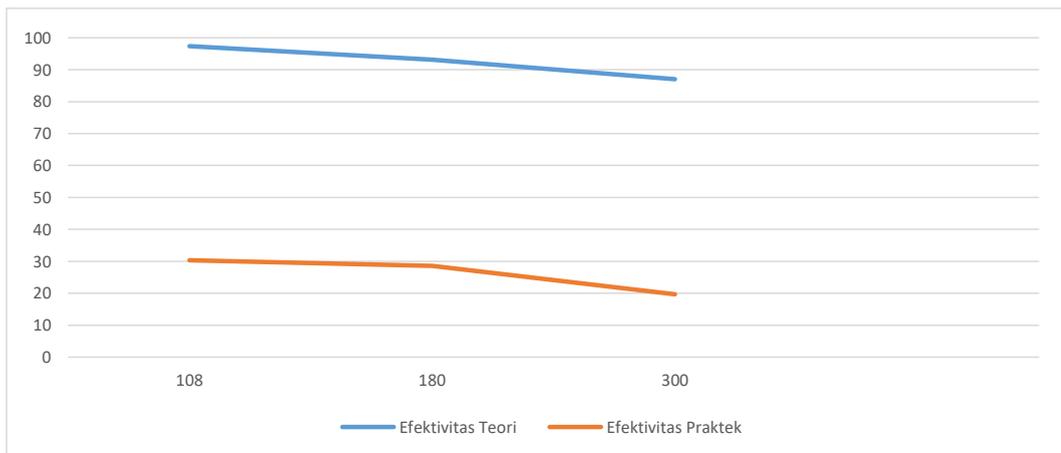
Nilai dari $(\dot{m} \cdot C_p)_{\min}$ dicari untuk menentukan rumus efektifitas yang akan digunakan.

Dikarenakan nilai dari Cc dari methanol yang jauh lebih rendah dari nilai Ch dari air maka nilai dari Cc selalu menjadi nilai Cmin.

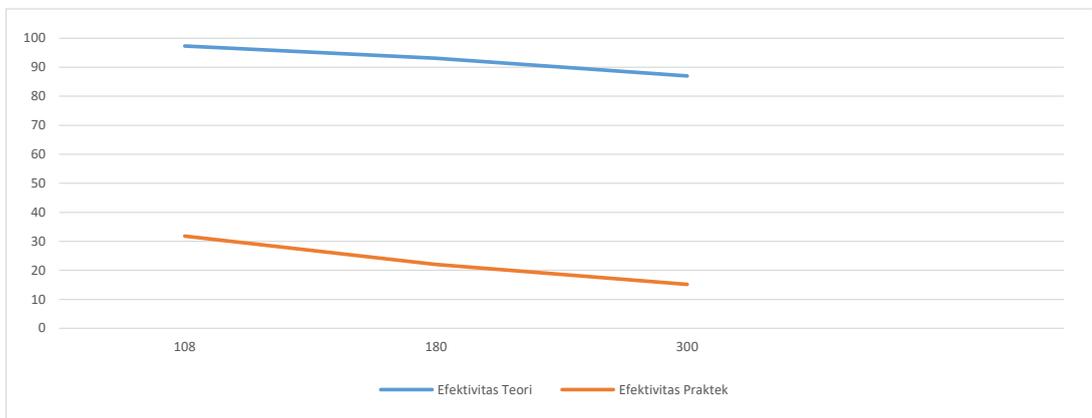
Sehingga didapatkan grafik efektifitas untuk tia p kondisi yaitu sebagai berikut



Gambar 4.12 grafik efektifitas percobaan (kapasitas fluida panas 510 L/j dengan suhu fluida panas 40°C)



Gambar 4.13 grafik efektifitas percobaan (kapasitas fluida panas 510 L/j dengan suhu fluida panas 50°C)



Gambar 4.14 grafik efektifitas percobaan (kapasitas fluida panas 510 L/j dengan suhu fluida panas 60°C)

Berikut adalah tabel perbandingan antara hasil teori (Metode NTU) dengan hasil yang didapat pada eksperimen (Hasil Pengujian) :

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa perbedaan efektivitas teori dengan efektivitas praktek sangat besar. Hal ini disebabkan ada beberapa faktor yang menyebabkan efektivitas teori sangat rendah seperti panas yang keluar (heat loss) pada alat penukar kalor shell and tube karena isolasi yang tidak sempurna dan faktor cuaca .

Adapun data hasil pengujian yang telah dilakukan pada tim sebelumnya tentang APK tabung sepusat (*annulus*) dapat dilihat dibawah ini , dimana variasi yang dibuat yaitu kapasitas aliran fluida panas yaitu yang mengalir di dalam tabung dalam adalah 180 L/j, 240 L/j, 300 L/j, dan 360 L/j. Kemudian untuk fluida dingin yaitu air yang mengalir didalam ruang *annulus* adalah 180 L/j, 240 L/j dan 360 L/j.

Tabel 4.7 Data hasil percobaan APK tabung sepusat (kapasitas fluida dingin 240 L/j)

Data Teori					Hasil eksperimen		efektifitas (%)
Kondisi eksperimen	Thi (°C)	Qh (l/j)	Tci (°C)	Qc (l/j)	Tho (°C)	Tco (°C)	
1	40	180	34	240	39.9150	34.7380	12.3
2		240			39.7000	34.7700	12.83333333
3		300			39.1050	34.8630	14.38333333
4		360			39.0540	34.5320	8.866666667
5	45	180	35	240	42.0250	35.7770	7.77
6		240			41.8720	35.5720	5.72
7		300			42.1980	35.7260	7.26
8		360			42.8490	36.0790	10.79
9	50	180	36	240	46.7270	37.6850	12.03571429
10		240			46.2130	37.6700	11.92857143
11		300			46.9270	37.3810	9.864285714

12		360			46.8500	37.4980	10.7
13	55	180	32	240	48.3560	36.2940	18.66956522
14		240			47.9600	36.4400	19.30434783
15		300			48.4300	36.9840	21.66956522
16		360			49.0130	36.2770	18.59565217

Tabel 4.8 Data hasil percobaan APK tabung sepusat (kapasitas fluida dingin 360 L/j)

DATA TEORI					Hasil eksperimen		efektifitas (%)
Kondisi eksperimen	Thi (°C)	Qh (l/j)	Tci (°C)	Qc (l/j)	Tho (°C)	Tco (°C)	
1	40	180	35	360	40.0620	35.2100	4.2
2		240			39.8120	35.2940	5.88
3		300			39.6430	35.1090	2.18
4		360			37.8990	35.2870	5.74
5	45	180	34	360	42.1250	34.8230	7.481818182
6		240			42.1370	35.0740	9.763636364
7		300			42.2270	35.0940	9.945454545
8		360			41.5930	35.0480	9.527272727
9	50	180	37	360	45.9470	37.5180	3.984615385
10		240			47.4490	37.6810	5.238461538
11		300			47.3350	38.1720	9.015384615
12		360			47.3230	38.3190	10.14615385
13	55	180	9	360	47.0300	37.5230	12.615
14		240			47.7020	36.8670	9.335
15		300			47.9320	37.0030	10.015
16		360			48.3560	37.2300	11.15

Tabel 4.9 Data hasil percobaan APK tabung sepusat (kapasitas fluida dingin 180 L/j)

DATA TEORI					Hasil eksperimen		efektifitas (%)
Kondisi eksperimen	Thi (°C)	Qh (l/j)	Tci (°C)	Qc (l/j)	Tho (°C)	Tco (°C)	
1	40	180	34	180	40.9122	35.1132	18.55333333
2		240			39.4511	35.2130	20.21666667

3		300			39.2911	35.1223	18.705
4		360			39.0235	35.0123	16.87166667
5	45	180	34	180	42.1423	34.3432	3.12
6		240			42.1330	35.0521	9.564545455
7		300			42.0134	35.7623	16.02090909
8		360			42.3421	35.3412	12.19272727
9	50	180	35	180	47.4210	37.7710	18.47333333
10		240			46.7821	37.9120	19.41333333
11		300			46.9660	37.4310	16.20666667
12		360			46.8500	37.3112	15.408
13	55	180	34	180	49.3560	35.9940	9.495238095
14		240			49.1960	36.9210	13.90952381
15		300			48.8210	36.5840	12.3047619
16		360			49.1030	36.2170	10.55714286

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa rata-rata efektivitas APK shell and tube lebih besar dari APK tabung sepusat, hal ini dapat disebabkan oleh bahan yang digunakan. Bahan yang digunakan pada tabung dalam APK sepusat adalah aluminium dengan nilai konduktivitas pipa aluminium yaitu 205 W/mK, lebih rendah dari bahan yang digunakan pada pipa alat penukar kalor shell and tube yang memiliki nilai konduktivitas, yaitu 385 W/mK.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari perancangan alat penukar kalor tabung sepusat adalah sebagai berikut :

Efektifitas terbesar setelah dilakukan percobaan adalah 35,4040%

1. Alat penukar kalor ini berukuran panjang 1,64 m, lebar 0,48 m, dan tinggi 2,1 m, Panjang total pipa pada alat penukar kalornya adalah 2,7 m berdiameter 13mm, dan shellnya mempunyai panjang 1,35m dan berdiameter 70mm, volume pada tangki Alat penukar ini sebesar 27 Liter.
2. Pada perhitungan data secara teoritis didapatkan efektifitas terbesar pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 60 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 29 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 108 l/jam sebesar 96.56460 %.
2. Sedangkan pada eksperimen didapatkan efektifitas terbesar pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 50 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 29 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 180 l/jam yaitu sebesar 35.4040 %.
3. Sebagai perbandingan, perhitungan data di lapangan oleh tim riset sebelumnya dengan APK tabung sepusat diperoleh efektifitas APK minimum adalah 4,62875% pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 40 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 30°C pada debit masuk fluida panas 180 l/jam dan debit masuk fluida dingin 180 l/jam. Sedangkan efektifitas APK maksimum adalah 31,00435 % pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 55 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 32 °C pada debit masuk fluida panas 180l/jam dan debit masuk fluida dingin 420 l/jam. Sedangkan perhitungan data pada APK *shell & tube* didapatkan nilai efektifitas APK maksimum yaitu 35.4040 % pada temperatur fluida panas masuk ($T_{h,i}$) 50 °C dan temperatur fluida dingin masuk ($T_{c,i}$) 32 °C pada debit masuk fluida panas 510 l/jam dan debit masuk fluida dingin 180 l/jam. Nilai efektifitas didapatkan mempunyai perbedaan yang cukup signifikan, hal tersebut dikarenakan terdapat perbedaan material dari tabung apk tersebut. Pada tabung dalam APK *shell & tube*, material yang digunakan adalah tembaga dengan nilai konduktivitas sebesar 385 W/mK sedangkan pada APK tabung sepusat, material yang digunakan adalah aluminium dengan nilai konduktivitas sebesar 205 W/mK.
4. Temperatur fluida panas dan fluida dingin efektif yang keluar dari alat penukar kalor shell and tube adalah untuk hasil eksperimen diperoleh pada debit aliran fluida dingin 108 l/j untuk suhu fluida panas 40°C didapat sebesar 39.6 °C (T_h) dan 33.7 (Tc), dan untuk hasil teori diperoleh pada debit aliran fluida dingin 108 l/j untuk suhu fluida panas 40°C didapat sebesar 38.8037 % (T_h) dan 29.1963 % (Tc).
5. Diperoleh hasil keefektifan maksimum dari eksperimen sebesar 45.3965 % pada keadaan kapasitas aliran fluida panas 510 L/jam dengan suhu 40°C dan aliran fluida dingin 108 L/jam dengan suhu 27.8°C. dan hasil keefektifan alat penukar kalor maksimum dari hasil teori (Metode NTU) sebesar 97.396 % pada keadaan kapasitas aliran fluida panas 510 L/jam dengan suhu 40°C dan aliran fluida dingin 108 L/jam dengan suhu 28°C.
6. Pada alat penukar kalor shell and tube hasil efektifitas eksperimen maksimum diperoleh sebesar 45.3965 % pada keadaan kapasitas aliran fluida panas 510 L/jam dengan suhu 40°C dan aliran fluida dingin 108 L/jam dengan suhu 28°C, sedangkan pada alat penukar kalor tabung sepusat diperoleh hasil efektifitas eksperimen maksimum sebesar 21.66956522% pada keadaan kapasitas aliran fluida panas 300 L/jam dengan suhu 55°C dan aliran fluida dingin 240 L/jam dengan suhu 32°C.

5.2. Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Riset Pendidikan Tinggi dan Lembaga Penelitian Universitas Sumatera Utara yang telah membiayai kegiatan ini melalui penelitian DRPM KEMENRISTEKDIKTI untuk tahun anggaran 2017.

Referensi

- [1] Incropera, Frank P., David P. Dewitt. 1985. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Second Edition. John Wiley & Sons Inc. : New York
- [2] Mullen(2015).Thermo Siphon Re-Boiler .From [http://www.slideshare.net/ carawebbumllen/distillation-basic-training](http://www.slideshare.net/carawebbumllen/distillation-basic-training).
- [3] Tejas M Ghiwala and Dr V k Matawla (2014) *Heat exchanger : Triple concentric,Double Pipe, Sizing, Overall Heat Transfer Coefficients*. ISSN 2321-9939
- [4] Sadik Kakac and Hongtan Liu (March 2002). *Heat Exchangers: Selection, Rating and Thermal Design (2nd Edition ed.)*. CRC Press. ISBN 0-8493-0902-6
- [5] Yunus A. Cengel.2002. *HeatTransfer A Practical Approach*, Second Edition.Mc Graw-Hill, Book Company, Inc : Singapore
- [6] Acusim(2015). Konstruksi alat penukar kalor Sumber :<http://acusim.com/-/images/apps/pfmx.jpg>
- [7] Muchlis (2013).Alat Penukar Kalor. From <http://muchlis88.blogspot.com/2011/01/8-alat-penukar-kalor.html>, 22 Juli 2015.
- [8] Dytrade (2015).Evaporator .From www.dytrade.com
- [9] Aolan (2015) . Cooler. From www.Aolan-China.com
- [10] John (2015). Heat Exchanger Counter Flow Engineering Excel Spreads Sheets Sumber http://www.engineeringexcelspreadsheets.com/wp-content/uploads/2011/08/double-pipe-heat-exchanger_counterflow-w-temps.jpg
- [11] Peter (2013). Hairpin Heat Exchanger .From www.lv-soft.com
- [12] Cheresources (2010). Shell and Tube Heat Exchanger. From www.cheresources.com
- [13] Insiyoer (2015). Pressure Safety Valve. From www.insiyoeer.com
- [14] Eryhartoyo(2012).JenisJenisValve.From:<https://eryhartoyo.wordpress.com/2012/08/14/jenis-jenis-valve/>.
- [15] ejournal.unsri.ac.id/index.php/jrm/article/download/76/pdf