

PROTOYPE HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE DITINJAU DARI VARIASI JARAK BAFFLE DAN LAJU ALIR MASSA UDARA PANAS

PROTOYPE HEAT EXCHANGER TYPE SHELL AND TUBE IN TERMS OF VARIATION OF BAFFLE DISTANCE AND HOT AIR FLOW RATE

Gede Marawijaya*¹, Tahdid I, Lety Trisnaliani¹, Candra Purna¹
(Teknik Energi/ Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya)

Jl. Sriwijaya Negara Bukit Besar, +620711353414 / +62711355918
E-mail : gedemarawijaya1996@gmail.com

ABSTRACT

The use of heat exchangers in the industrial world is very widely used both to reduce or where the temperature is in accordance with the needs of various products. The development of technology and science causes heat exchangers to experience various transformations. In its development, the heat exchanger undergoes a form transformation which aims to improve efficiency in accordance with its work function. The form of heat exchanger that is often used is shell and tube. The process in the heat exchanger type of shell and tube is by flowing the hot fluid in the tube and cold fluid in the shell with the type of cross flow flow. In the heat exchange process of shell and tube type heat exchangers, there are several things that need to be considered to obtain the effectiveness of maximum heat transfer, including the type of fluid, flow rate, temperature, heat transfer rate, pressure drop, shell dimension and tube (pipe), baffle distance, pitch distance, tube arrangement, and material type. The influence of various factors can be seen from the effectiveness and efficiency produced. Effectiveness of the highest heat transfer at variations in baffle distance of 15 cm is 82,13% and the highest efficiency at mass flow rate is 45 kg / hour which is 85,27%.

Key words: Heat exchangers, shell and tube, baffles, mass flow rates, and effectiveness.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pada ilmu pengetahuan dan teknologi dalam berbagai bidang semakin modern khususnya dibidang produksi. Salah satunya adalah penggunaan alat penukar kalor (*heat exchanger*) yang semakin banyak digunakan dalam berbagai industri untuk menurunkan atau menaikkan temperatur dalam memenuhi kebutuhan teknis berbagai produk. Untuk itu suatu alat peraga bagi pendidikan khususnya alat penukar kalor (*heat exchanger*) sangat penting sebagai media pembelajaran khususnya dibidang produksi. Namun dalam dunia pendidikan, pembelajaran dengan menggunakan alat peraga *heat exchanger* khususnya pada tipe *shell and tube* kurang banyak diterapkan. Untuk itu pembuatan alat *heat exchanger* tipe shell and tube sangat tepat guna, dalam rangka untuk memahami proses perpindahan panas dan sebagai media pembelajaran praktikum perpindahan panas.

Dalam perkembangannya penukar kalor mengalami transformasi bentuk yang bertujuan meningkatkan efisiensi sesuai dengan fungsi kerjanya. Bentuk Penukar Kalor yang sering digunakan adalah *shell and tube*. Dengan berbagai pertimbangan bentuk ini dinilai memiliki banyak keuntungan baik dari segi fabrikasi, biaya, hingga unjuk kerja. Selain itu keuntungan dari *heat exchanger* jenis ini adalah konstruksi yang kuat, pemeliharaan dan perawatan yang mudah serta konstruksinya yang dapat dipisah-pisah bukan merupakan satu kesatuan sehingga memudahkan dalam segi perawatan (*fleksibel*).

Kinerja *heat exchanger type shell and tube* dipengaruhi oleh beberapa parameter. Beberapa

parameter tersebut adalah efektivitas dan koefisien perpindahan panas. Pada *heat exchanger* tipe *shell and*

tube ini, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memperoleh efektivitas perpindahan panas maksimal, antara lain adalah jenis fluida, laju aliran, temperatur, laju perpindahan kalor, penurunan tekanan, dimensi *shell* (selosong) dan *tube* (pipa), jarak *baffle*, jarak *pitch*, susunan tabung, dan jenis material. Didalam *heat exchanger shell and tube* fluida yang satu mengalir melalui selosong (*shell*) dan fluida lainnya mengalir melalui pipa-pipa kecil (*tube*). Untuk itu dalam rangka meningkatkan performa ini adalah dengan mengatur jarak antar *baffle* (*baffle spacing*). Aliran *cross flow* yang didapat dengan menambahkan *baffle* akan membuat luas kontak fluida dalam *shell* dengan dinding *tube* makin besar, sehingga perpindahan panas diantara kedua fluida meningkat. Selain untuk mengarahkan aliran agar menjadi *cross flow*, *baffle* juga berfungsi sebagai penyangga *tube* dan mengurangi kemungkinan adanya vibrasi atau getaran oleh fluida (Handoyo, 2001).

Secara teoritis, *baffle* yang dipasang terlalu berdekatan akan meningkatkan perpindahan panas yang terjadi diantara kedua fluida dengan kata lain efektivitas meningkat, namun hambatan yang terjadi pada aliran yang melalui celah antar *baffle* menjadi besar sehingga penurunan tekanan menjadi besar. Sedangkan jika *baffle* dipasang terlalu berjauhan penurunan tekanan yang terjadi akan kecil, akan tetapi perpindahan panasnya yang terjadi kurang

baik dan akan terjadi vibrasi. Hal ini menunjukkan bahwa jarak antar *baffle* tidak boleh terlalu dekat ataupun jauh. Oleh karena itu, diperlukan suatu analisis dan penelitian untuk mengetahui pengaruh jarak *baffle* terhadap efektivitas *heat exchanger type shell and tube* (Pamuji dan Arsana, 2016).

Karakteristik aliran didalam *heat exchanger type shell and tube* dengan pendekatan simulasi numerik 1-Dimensi menggunakan software HTRI terjadi peningkatan koefisien perpindahan panas sisi *shell* dan efektivitas meningkat jika laju massa ditingkatkan (Ariwibowo dkk, 2015).

Dari penjelasan diatas, penulis ingin membuat *prototype heat exchanger type shell and tube* dan mengamati pengaruh jarak *baffle* dan laju alir terhadap proses perpindahan panas yang terjadi.

Teori Dasar

Alat penukar kalor merupakan suatu peralatan dimana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi kepada fluida yang temperaturnya lebih rendah. Proses perpindahan panas tersebut dapat dilakukan secara langsung atau tidak. Maksudnya ialah :

- Alat penukar kalor yang langsung, ialah dimana fluida yang panas akan bercampur secara langsung dengan fluida dingin (tanpa adanya pemisah) dalam suatu bejana atau ruangan tertentu.
- Alat penukar kalor yang tidak langsung, ialah dimana fluida panas tidak berhubungan langsung (*indirect contact*) dengan fluida dingin. Jadi proses perpindahan panasnya itu mempunyai media perantara, seperti pipa, pelat atau peralatan jenis lainnya (Adhitiya dan Ichسانی, 2013).

Dalam praktek, fungsi penukar kalor yang dipergunakan di industri lebih diutamakan untuk menukarkan energi dua fluida (boleh sama zatnya) yang berbeda temperaturnya. Pertukaran energi dapat berlangsung melalui bidang atau permukaan perpindahan panas yang memisahkan kedua fluida atau secara kontak langsung (fluidanya bercampur). Energi yang dipertukarkan akan menyebabkan perubahan temperatur fluida (panas sensibel) atau kadang dipergunakan untuk berubah fasa (panas laten). Laju perpindahan energi dalam penukar kalor dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kecepatan aliran fluida, sifat-sifat fisik yang dimiliki oleh kedua fluida yang saling dipertukarkan energinya (viskositas, konduktivitas termal, kapasitas panas spesifik, dan lain-lain), beda temperatur antara kedua fluida, dan sifat permukaan bidang perpindahan panas yang memisahkan kedua fluida. Bagaimana pengaruh setiap parameter terhadap laju perpindahan panas akan dibahas secara lebih detail dalam modul yang lain. Walaupun fungsi penukar kalor adalah untuk menukarkan energi dua fluida atau dua zat, namun jenisnya banyak sekali. Hal ini terjadi karena biasanya desain penukar kalor harus menunjang fungsi utama proses yang akan terjadi di dalamnya.

Baffles (sekat) pada Shell and Tube

Baffle adalah sebuah lempeng sirkular yang dipotong sebagian (tergantung nilai *baffle cut*) yang terpasang pada sepanjang aliran dalam *shell* berfungsi untuk memaksimalkan perpindahan panas yang terjadi

antar fluida, menahan *tube-bundle* dan untuk mencegah atau menahan getaran pada pipa-pipa.

Baffle atau sekat pada *heat exchanger tipe shell and tube* mempunyai beberapa fungsi antara lain:

- Mengarahkan aliran fluida menjadi *cross flow* yang mengalir di luar *tube*.
- Dengan adanya *cross flow* akan membuat luas kontak fluida dalam *shell* dengan dinding *tube* makin besar dan lebih lama bersentuhan.
- Sebagai penahan *tube* untuk mencegah terjadinya getaran (Prihambodo, 2013).

Komputasi-komputasi pada Alat Heat Exchanger Type Shell and Tube untuk Mengetahui Pengaruh Jarak Baffle dan Laju Alir terhadap Perpindahan Kalor

1. Menghitung Neraca Panas (*Heat Balance*)

Untuk menghitung neraca panas, dapat dirumuskan sebagai berikut Kern, 1965).

$$Q = W \times C_p \times (T_1 - T_2) = w \times c_p \times (t_2 - t_1)$$

Dimana :

Q = Kalor Jenis, Btu/hr

W = Laju alir fluida panas, lb/hr

w = Laju alir fluida dingin, lb/hr

C_p = Kapasitas panas fluida panas, Btu/lb°F

c_p = Kapasitas panas fluida dingin, Btu/lb°F

T₁ = Temperatur fluida panas masuk, °F

T₂ = Temperatur fluida panas keluar, °F

t₁ = Temperatur fluida dingin masuk, °F

t₂ = Temperatur fluida dingin keluar, °F

2. Menghitung Log Mean Temperature Different, LMTD

Untuk menghitung perbedaan temperatur antara sisi *tube* dengan sisi *shell*, dapat dirumuskan sebagai berikut (Kern, 1965).

$$LMTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \Delta t_2 / \Delta t_1}$$

Dimana :

T₁ = Temperatur fluida panas masuk, °F

T₂ = Temperatur fluida panas keluar, °F

t₁ = Temperatur fluida dingin masuk, °F

t₂ = Temperatur fluida dingin keluar, °F

3. Menghitung Pressure Drop

Untuk menghitung penurunan tekanan pada sisi *tube* dan sisi *shell*, dapat dirumuskan sebagai berikut (Kern, 1965).

Pada Annulus :

$$\Delta P_s = \frac{(\Delta F_s + F_L) \cdot G}{144}$$

Pada Inner Pipe :

$$\Delta P_t = \frac{\Delta F_p \cdot G}{144}$$

4. Efektivitas perpindahan kalor heat exchanger type shell and tube

Untuk mendefinisikan efektifitas suatu penukar kalor, laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin terjadi, q_{max} untuk penukar kalor itu harus ditentukan terlebih dahulu.

Untuk menentukan laju perpindahan kalor maksimum pada suatu penukar kalor, pertama-tama harus dipahami terlebih dahulu bahwa nilai maksimum akan didapat bila salah satu fluida

mengalami perubahan temperatur sebesar beda temperatur maksimum yang terdapat dalam penukar kalor itu, yaitu selisih antara temperature masuk fluida panas $T_{h,i}$ dan fluida dingin $T_{c,i}$. Fluida yang mengalami beda temperatur maksimum adalah fluida yang kapasitas kalornya minimum, karena kesetimbangan energi menyaratkan bahwa energi yang diterima oleh fluida satu harus sama dengan energi yang dilepaskan oleh fluida yang satu lagi. Jika fluida yang mempunyai nilai kapasitas yang lebih besar mengalami beda beda temperature maksimum, maka fluida yang satu lagi akan mengalami perubahan temperatur yang lebih besar dari maksimum, dan ini tentu saja tidak mungkin. Jadi laju perpindahan kalor maksimum dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$Q_{maks} = C_{min} (T_{h,i} - T_{c,i})$$

dimana : C_{min} adalah harga yang paling kecil diantara besaran C_h atau C_c .

jika $C_c < C_h$ maka $q_{maks} = C_c (T_{h,i} - T_{c,i})$

jika $C_c > C_h$, maka $q_{maks} = C_h (T_{h,i} - T_{c,i})$

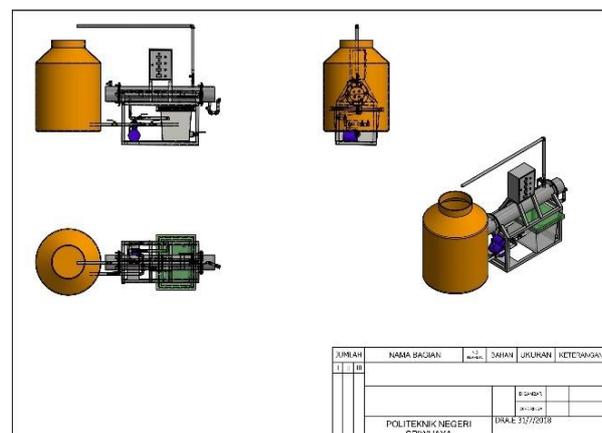
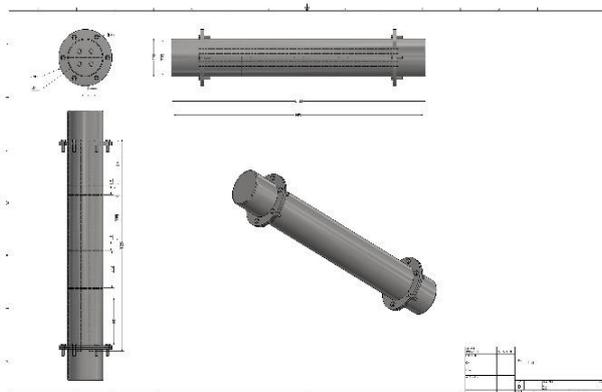
dimana $C = m \cdot cp$.

Efektifitas suatu penukar kalor didefinisikan sebagai rasio antara laju perpindahan kalor sebenarnya untuk suatu penukar kalor terhadap laju perpindahan kalor maksimum yang mungkin. Secara umum efektifitas dapat dinyatakan sebagai berikut (Bizzy, 2013).

$$\epsilon = \frac{q}{q_{maks}}$$

2. METODE

Desain gambar peralatan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

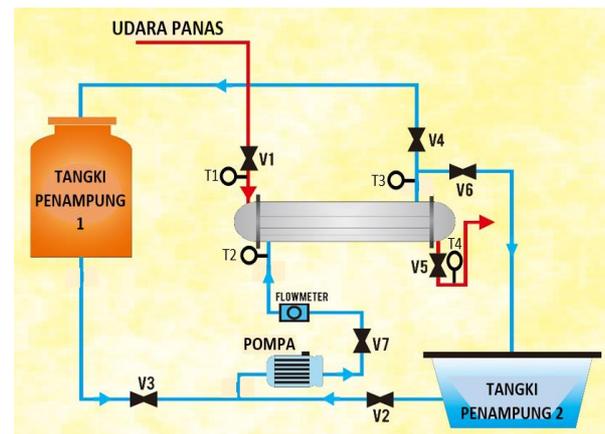


Gambar 1. Desain Peralatan *Prototype Heat Exchanger Type Shell and Tube*

Fluida panas yang digunakan pada penelitian ini yaitu udara panas sedangkan fluida dingin yang digunakan pada penelitian ini yaitu air.

Prinsip Kerja Alat

Diagram alir proses pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Prose Peralatan *Prototype Heat Exchanger Type Shell and Tube*

Udara panas di suplai dari proses pemanasan udara dari kompresor melalui pipa-pipa. Udara panas tersebut dialirkan melalui pipa menuju kedalam *tube* dari atas alat pada alat *heat exchanger type shell and tube*, sebelum udara panas masuk kedalam *tube* terdapat sensor temperatur (TI_1) untuk mengetahui suhu udara panas masuk. Pengaturan laju alir udara panas dengan mengatur *valve* (V_1) dan mengukurnya dengan alat *anemometer*. Sedangkan untuk fluida dingin atau air di suplay dari tangki penampung 2 dengan bantuan pompa dari bawah alat *heat exchanger type shell and tube* sebelum air masuk kedalam *shell* terdapat sensor temperatur (TI_2) untuk mengetahui suhu fluida dingin masuk. Pengaturan laju alir air dengan mengatur *valve* (V_3) dan dengan melihat pembacaan laju alir pada alat *flow meter* tipe K24. Selanjutnya terjadi pertukaran panas pada alat *heat exchanger type shell and tube*, dimana fluida panas melewati *tube* sedangkan fluida dingin melewati *shell*. Aliran yang terjadi yaitu berlawanan arah (*countercurrent flow*). Udara panas akan keluar pada bagian bawah alat *heat exchanger type shell and tube*. Pada bagian ini juga terdapat sensor temperatur (TI_4) untuk mengetahui temperatur sesudah terjadinya proses pertukaran panas sebelumnya. Begitupun dengan fluida dingin yang keluar pada bagian atas alat *heat exchanger type shell and tube* juga terdapat sensor temperature untuk mengetahui suhu air setelah proses pertukaran panas terjadi, yang nantinya air ini akan di alirkan kembali menuju tangki penampung 2. Pada keluaran ini juga terdapat

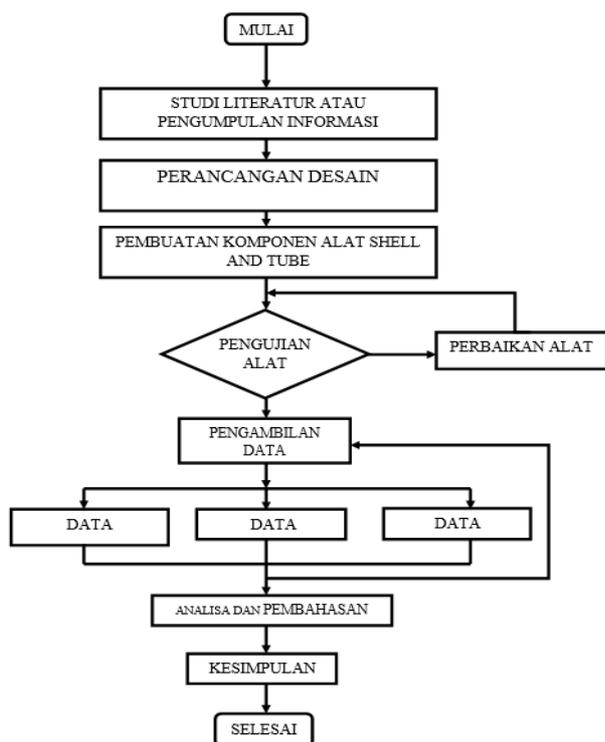
sensor temperatur (TI_3) untuk mengetahui suhu air keluar setelah terjadi pertukaran panas.

Perlakuan dan Analisis Statistik Sederhana

Pada penelitian ini dilakukan dengan variasi jarak baffle untuk mengetahui pengaruhnya terhadap proses perpindahan yang terjadi. Air yang dialirkan dalam shell akan mengalami lintasan yang lebih panjang akibat adanya baffle sehingga proses perpindahan panas yang terjadi akan semakin lama.

Untuk laju alir udara panas, variasi dilakukan dengan memutar valve yang ada dan mengamati pengaruh perpindahan panas yang terjadi. Pengaruh laju alir dilihat dari penurunan tekanan yang terjadi pada sisi tube dan peningkatan efisiensi thermal.

Secara umum, proses yang dilakukan digambarkan dalam diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram Tahapan Penelitian

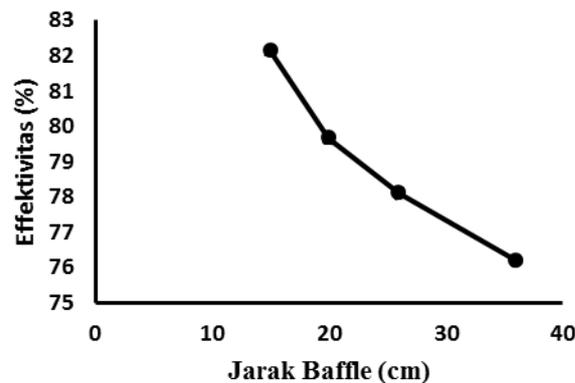
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memfokuskan pendataan pada variasi jarak baffle dan variasi laju alir massa, untuk mendapatkan kondisi optimum perpindahan panas

Hasil dari perhitungan akan diulas dalam bentuk grafik hubungan antara variasi jarak *baffle* dengan nilai ΔP_s dan efektifitas perpindahan panas dan grafik hubungan antara variasi laju alir massa dengan ΔP_t dan efisiensi. Masing-masing akan dibahas serta ditinjau apa saja kecenderungan-kecenderungan dan teori-teori yang mendukung hasil grafik tersebut.

Pengaruh Variasi Jarak *Baffle* terhadap Efektivitas Perpindahan Kalor

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapatkan grafik hubungan pengaruh waktu pemanasan terhadap kadar air dapat terlihat pada Gambar 4.



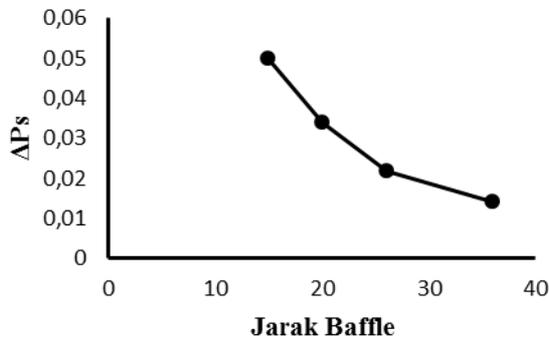
Gambar 4. Grafik Perbandingan Jarak *Baffle* Vs Efektivitas

Dari Gambar 4 diatas dapat diketahui bahwa efektifitas perpindahan kalor tertinggi terdapat pada jarak antar *baffle* 15 cm sebesar 82,13 %. Hal ini disebabkan karena jarak antar *baffle* semakin rapat dan jumlah *baffle* yang terpasang semakin banyak sehingga akan memperpanjang lintasan (aliran menyilang) fluida dingin didalam shell yang menyebabkan titik kontak antara fluida panas dan fluida dingin semakin lama dan perpindahan panas antara fluida panas dan fluida dingin terjadi semakin lama. Sedangkan untuk efektifitas perpindahan kalor minimum terdapat pada jarak antar *baffle* 36 cm sebesar 76,20 %. Hal ini disebabkan karena lintasan aliran fluida dingin yang pendek sehingga perpindahan panas yang terjadi semakin singkat. Sedangkan untuk efektifitas perpindahan kalor tanpa *baffle* sebesar 73,96 %, jarak antar *baffle* 20 cm sebesar 79,67 %, jarak antar *baffle* 26 cm sebesar 78,10 %.

Pada penelitian Pamuji dan Arsana, (2016) efektifitas perpindahan kalor pada jarak antar *baffle* 16 cm sebesar 20 %. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan efektifitas perpindahan kalor yang sangat menonjol pada penelitian ini. Terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk memperoleh efektifitas perpindahan panas maksimal, antara lain adalah jenis fluida, laju aliran, temperatur, laju perpindahan kalor, penurunan tekanan, dimensi *shell* (selosong) dan *tube* (pipa), jarak *baffle*, jarak *pitch*, susunan tabung, dan jenis material.

Pengaruh Variasi Jarak *Baffle* terhadap Penurunan Tekanan Didalam Shell (ΔP_s)

Hubungan antara temperatur pemanasan terhadap kadar air dapat terlihat pada Gambar 5.



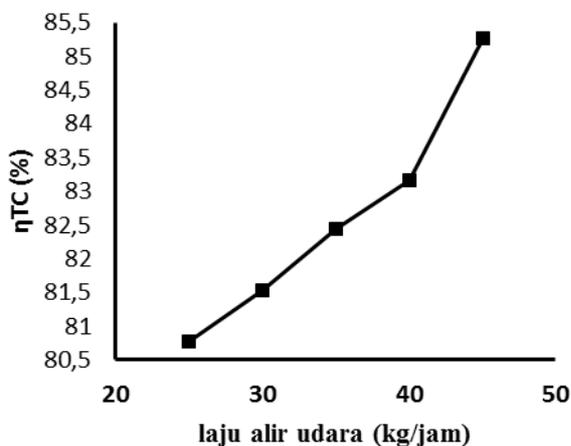
Gambar 5. Grafik Perbandingan Jarak Baffle Vs ΔPs

Dari Gambar 5 diatas dapat diketahui bahwa penurunan tekanan tertinggi terjadi pada jarak baffle 15 cm sebesar 0,0498 dan penurunan tekanan terendah pada jarak baffle 36 cm sebesar 0,01417. Sedangkan jarak baffle 20 cm penurunan tekanan sebesar 0,0339, dan jarak baffle 26 cm penurunan tekanan sebesar 0,02173. Hal ini disebabkan karena semakin berdekatan jarak baffle maka jumlah baffle yang terpasang semakin yang menyebabkan luas aliran melintang (*cross flow*) dari air semakin kecil dan lintasan yang ditempuh oleh fluida dingin semakin jauh.

Untuk laju alir massa yang sama jika dibandingkan antara jarak baffle yang berdekatan dan jarak baffle yang berjauhan, jarak baffle berdekatan akan membuat kecepatan fluida dingin dalam *shell* meningkat sehingga penurunan tekanan membesar (Handoyo, 2001).

Pengaruh Variasi Laju Alir Massa terhadap Efektivitas Perpindahan Panas

Hubungan antara temperatur pemansasan terhadap kadar air dapat terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan laju alir massa Vs Efisiensi

Semakin cepat laju alir udara maka semakin meningkat pula efisiensi alat, karena panas yang terserap lebih besar dari pada panas yang masuk, sehingga nilai efisiensi nya meningkat. Adapun nilai panas yang terserap dari data yang diamati adalah sebesar 5195,186475 KJ dengan nilai efisiensi yang di dapatkan yaitu 85,27 %, dengan laju alir udaranya sebesar 45kg/jam. Sedangkan pada laju udara paling rendah yaitu 25 kg/jam, di dapatkan panas yang terserap yaitu hanya sebesar 2929,80 KJ dengan efisiensi yang di dapatkan 80,78 %

Kenaikan kecepatan aliran fluida membuat efektivitas heat exchanger meningkat. Namun, kenaikan ini tidak berlangsung terus, setelah mencapai harga maksimum, efektivitas dan temperatur keduanya turun. Hal ini menunjukkan bahwa besar perpindahan panas selain dipengaruhi oleh kecepatan aliran juga di pengaruhi oleh lama waktu kontak antara fluida panas dan fluida dingin. Karena meningkatnya kecepatan aliran membuat waktu kontak semakin singkat (Handoyo, 2001).

4. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh jarak baffle terhadap efektivitas yang dihasilkan yang meningkat seiring dengan jarak baffle yang berdekatan, dimana jarak baffle yang semakin dekat akan memperbanyak titik kontak antara fluida panas dengan fluida dingin. Jarak baffle juga menyebabkan aliran menyilang (*cross flow*) yang menyebabkan lintasan yang ditempuh fluida semakin panjang sehingga perpindahan panas yang terjadi semakin lama. Efektivitas tertinggi pada jarak baffle 15 cm sebesar 82,13 %. Sedangkan pada variasi laju alir massa didapatkan efisiensi terbesar pada laju alir 45 kg/jam sebesar 85,27 %.

DAFTAR PUSTAKA

Adhitiya, A., dan Ichسانی, D. 2013. Simulasi Performasi *Heat Exchanger Type Shell and Tube* dengan *Segmental Baffle* terhadap *Helical Baffle*. *Teknik POMTS*.

Ariwibowo, T. H., Permatasari, P. D., Ardhiyangga, N., dan Triyono, S. 2015. Studi Eksperimen Karakteristik *Shell and Tube Heat Exchanger* dengan Variasi Jenis *Baffle* dan Jarak antar *Baffle*. Surabaya: Politeknik Elektronika Negeri Surabaya.

Bizzy, I., dan R. Setiadi. 2013. Study Perhitungan Alat Penukaran Kalor Tipe *Shell and Tube* dengan Program *Heat Transfer Research Inc.* (HTRI). Palembang: Rekayasa Mesin Universitas Sriwijaya.

- Handoyo, E. A. 2001. Pengaruh Penggunaan *Baffle* pada *Shell and Tube Heat Exchanger*. Universitas Kristen Petra.
- Kern, Donald. Q. 1965. *Process Heat Transfer*. New York : Mc Graw Hi Book Company.
- Pamuji, L., dan Arsana, I. 2016. Pengaruh Jarak *Baffle* terhadap Efektifitas *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube* dengan *Double Segmental Baffle*. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.
- Prihambodo, D. 2013. Efektivitas *Heat Exchanger* Tipe *Shell and Tube* Akibat Variasi Jarak *Baffle* dan *Baffle Cut*. Universitas Jember.

