

KAJIAN VARIASI OD TUBE HEAT EXCHANGER SHELL & TUBE TERHADAP TEMPERATUR DAN LAJU PERPINDAHAN PANAS DENGAN HEAT TRANSFER RESEARCH INC

Aji Abdillah Kharisma^(1*) dan Rangga Triatmaja⁽¹⁾

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma
Depok, Jawa Barat, Indonesia

^(*)E-mail *Corresponding Author* : ajiabdillah@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Pada proses produksi lempengan plat (*metal slab*) membutuhkan mesin yang bekerja secara terus-menerus. Mesin yang digunakan dalam produksi *metal slab* adalah mesin *hot strip mill* yang dijalankan dengan sistem hidrolik. Proses produksi lempengan plat membutuhkan waktu yang lama sehingga menimbulkan suhu panas yang tinggi pada mesin, oleh karena itu perlu membutuhkan suatu alat penukar panas untuk mencegah terjadinya *overheat* yang berlebihan. Pada penelitian ini akan dilakukan kajian dari alat penukar panas *shell & tube* dari variasi *OD tube* terhadap *output* yang akan dihasilkan yaitu temperature dan laju perpindahan panas. Tipe aliran yang digunakan adalah *counterflow*, *baffle* bertipe *double segmental*, *tubepasses* berjumlah dua pass dengan fluida air dari *cooling tower* pada sisi *tube* dan fluida oli pada sisi *shell* serta desain variasi *OD tube* yang dibuat adalah 19,050 mm, 22,225 mm dan 25,400 mm pada software HTRI.

Kata Kunci: OD tube, laju perpindahan panas, HTRI, shell & tube.

Abstract

The metal slab production process requires a machine that works continuously. The machine used in the production of the metal slab is a hot strip mill which is run by a hydraulic system. The plate production process takes a long time, causing high heat temperatures in the machine, therefore it is necessary to require a heat exchanger to prevent excessive overheating. In this research, a study of the shell & tube heat exchanger will be carried out from the variation of the OD tube to the output to be produced, namely the heat transfer rate. The type of flow used is counterflow, double segmental baffle, two-pass tube passes with water fluid from the cooling tower on the tube side and oil fluid on the shell side and the design variations of the OD tube made are 19,050 mm, 22,225 mm, and 25,400 mm in the HTRI software.

Keywords: OD Tube, Heat Transfer Rate, HTRI, Shell & tube.

1 PENDAHULUAN

Kinerja produksi memerlukan tingkat efektifitas yang sangat tinggi untuk memenuhi kuantitas dan kualitas suatu produk yang dihasilkan khususnya pada proses produksi lempengan plat (*metal slab*) pada mesin *Hot Strip Mill*. Selain itu, kinerja dari suatu mesin juga mengacu pada pencapaian stabilitas yang baik serta kontinuitas (*continuity*) pada proses beroperasinya suatu mesin. Produksi lempengan plat memerlukan sebuah mesin *hot strip mill* yang bekerja secara terus-menerus setiap hari dalam memproduksi suatu lempengan plat baja dalam kapasitas yang besar, sehingga untuk menghindari *overheat* yang berlebihan pada mesin produksi tersebut khususnya mesin *hot strip mill*, maka akan digunakan alat penukar panas (*heat exchanger*) jenis *shell and tube*. *Heat exchanger* adalah suatu *equipment* yang berfungsi untuk menukar panas antara jenis fluida

dingin dan panas dengan konsep perpindahan panas atau disebut dengan *heat transfer*. Perancangan *heat exchanger* memerlukan perhitungan matematis berdasarkan perpindahan panas yang terjadi sehingga prediksi nilai matematis harus sesuai dengan teori yang sudah ada, rangkaian perhitungan *heat exchanger* cukup rumit mulai menentukan luas area perpindahan panas, jumlah *pass* dan *tube* yang sesuai, diameter *shell*, menghitung koreksi koefisien perpindahan kalor keseluruhan yang harus kurang dari 30%, dan menghitung over desain yang kurang dari 30%. Jika nilai koreksi koefisien perpindahan kalor keseluruhan dan nilai over desain memenuhi berdasarkan syarat tersebut maka desain layak dilanjutkan[1].

Pengaruh variasi *baffle spacing* dan *flowrate* untuk mencari nilai efektifitas tertinggi dari standar yang ditetapkan ($\epsilon > 0,5$) menggunakan jenis alat penukar

panas *heat exchanger shell and tube*. Semakin banyak jumlah *baffle* akan memperbesar nilai *pressure drop*, lalu semakin tinggi *flowrate* maka besar juga nilai *heat transfer* serta banyaknya jumlah *baffle* dan *flowrate* akan memengaruhi nilai *pressure drop* dan *heat transfer*[2].

Penukar kalor type *shell* dan *tube* dengan media pendingin adalah air. Air terlebih dahulu didinginkan oleh unit *chiller*, kemudian disuplai dan bersirkulasi ke *shell* dan *tube* sehingga ketika biogas masuk ke dalam unit *heat exchanger*, temperatur biogas turun dan mendapat temperatur yang dibutuhkan. Dari hasil perencanaan diperoleh kapasitas *heat transfer* yang dilepas air cukup besar yang melalui 248 tube panjang 2000 mm, dan kecepatannya aliran biogas menjadi laminar karena harus melewati 6 *baffle*[3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju perpindahan kalor dengan melakukan variasi temperatur *inlet* pada *tube* dan mengetahui efisiensi efektif pada *heat exchanger* jenis *shell and tube*. Alat penukar kalor yang digunakan dalam penelitian ini terbuat dari *carbon steel* dengan spesifikasi diantaranya yaitu spesifikasi pada *shell* terdiri dari diameter dalam (IDs) 10", jumlah *baffle* (N) 4 buah, fluida yang digunakan berupa udara panas, sedangkan spesifikasi pada *tube* yaitu diameter luar (ODt) ¾ in, jumlah *tube* (Nt) 40 buah, panjang *tube* (L) 70 cm, fluida yang digunakan yaitu udara dingin[4].

Sejumlah pendekatan telah digunakan untuk desain dan analisis penukar panas dua fluida. Pendekatan ini mencakup metode efektivitas (ϵ atau P) jumlah unit transfer (NTU), metode perbedaan suhu rata-rata, dan metode yang menggunakan diagram *Mueller* dan *Roetzel*. Tinjauan komprehensif disajikan tentang metode solusi untuk mendapatkan hubungan efektivitas-NTU untuk unit penukar panas dan penukar panas yang sederhana dan kompleks[5].

Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas tentang kajian pengaruh desain variasi OD tube yaitu 19,050 mm, 22,225 mm dan 25,400 mm pada alat penukar panas jenis *shell and tube* terhadap laju perpindahan panas yang terjadi pada mesin produksi lempengan plat baja (*metal slab*) divisi *Hot Strip Mill*.

2 METODOLOGI

Kajian variasi desain OD tube *heat exchanger shell* dan *tube* ini menggunakan jenis tipe aliran *counterflow*, jenis *baffle double segmental*, 2 *tubepasses* dengan fluida air dari *cooling tower* pada sisi tube. Berdasarkan literatur yang berkaitan dengan efektivitas pada *heat exchanger*, perhitungan yang berkaitan adalah sebagai berikut :

Persamaan laju aliran massa dan debit aliran

Luas penampang (A) dalam rumus atau formula adalah luas penampang yang tidak berubah-ubah, atau luas penampang yang konstan, seperti pipa dan lainnya. Maka persamaan laju aliran massa dan debit

aliran jika $Q_c = v \cdot A$, diperlihatkan pada persamaan (1) :

$$\dot{m} = \rho \cdot Q_c \tag{1}$$

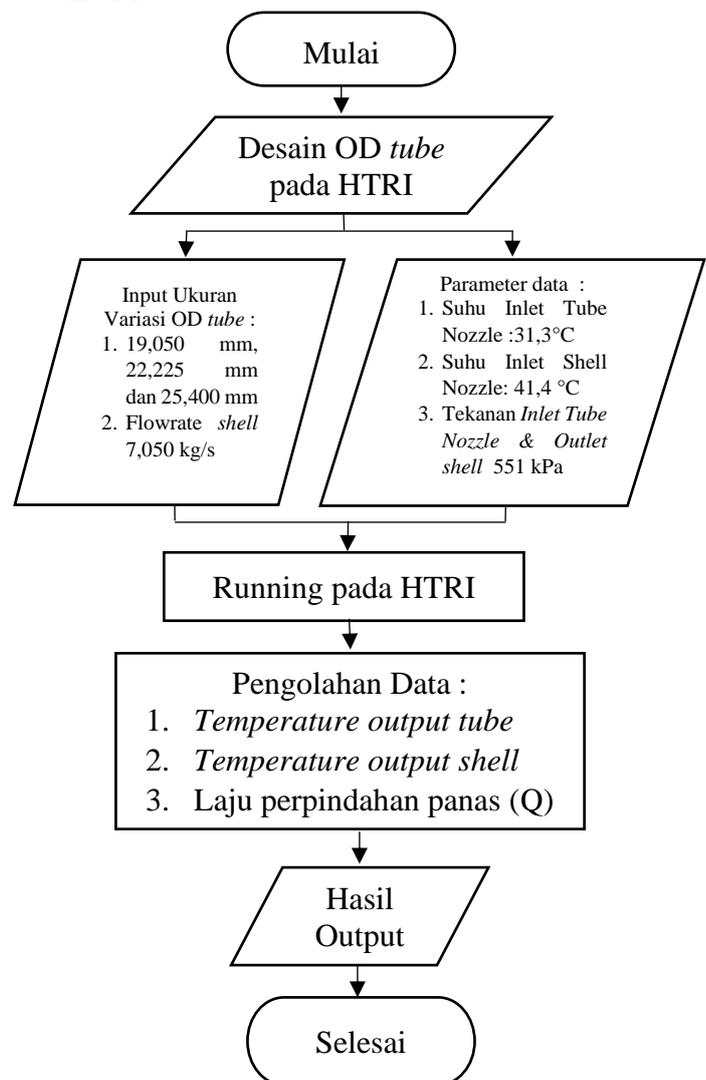
Persamaan Laju Perpindahan Panas

Laju perpindahan panas merupakan nilai perpindahan panas yang mungkin terjadi pada alat penukar kalor yang diperlihatkan pada persamaan (2).

$$Q_{laju\ perpindahan\ panas} = m \cdot c \cdot \Delta T \tag{2}$$

Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini memfokuskan pada pengaruh variasi OD tube yang memiliki 3 dimensi masing-masing pada *Heat Exchanger* terhadap *transfer rate* menggunakan *software Heat Transfer Research Inc.* (HTRI). Diagram alir penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Spesifikasi Heat Exchanger Shell-and-Tube

Spesifikasi *heat exchanger* tipe *shell-and-tube* yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Table 1.

Tabel 1. Spesifikasi Heat Exchanger MOES B

TEMA Type	AEU
Diameter Shell	800 mm
Panjang	3,658 m
Material Tube	Tembaga/Nikel
Tebal Tube	1,651 mm
Tipe Baffle	Double Segmental
Tube passes	2
Tube layout angle	45°
Arah Aliran	Countercurrent
Shell Orientation	Horizontal

Pengukuran dan Pengambilan Data

Heat Exchanger MOES B mempunyai diameter berukuran 800 mm dan panjang 3,658 m. Pengukuran suhu dilakukan dengan *thermometer gun digital* pada pipa inlet nozzle shell sebesar 41,4 °C dan inlet nozzle tube sebesar 31,3 °C Heat Exchanger.

Karakteristik Fluida Air

Karakteristik air yang digunakan pada *heat exchanger* khususnya pada sisi tube diperlihatkan pada Table 2.

Tabel 2. Karakteristik Fluida Air

No.	Karakteristik Fluida Air	Data
1.	Massa jenis (ρ_h)	994 kg/m ³
2.	Panas jenis (c)	4,18 kJ/kg.°C
3.	Debit Aliran (Q_c)	425 l/min

Data parameter flow rate dengan mengubah debit aliran.

$$Q_{air} = 425 \text{ L/min}$$

$$Q_{air} = \frac{425 \text{ L}}{\text{Min}} \times \frac{1}{L} \times \frac{1}{1000} \times \frac{1}{60} = 0,00708 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m}_4 = Q_4 \times \rho_h$$

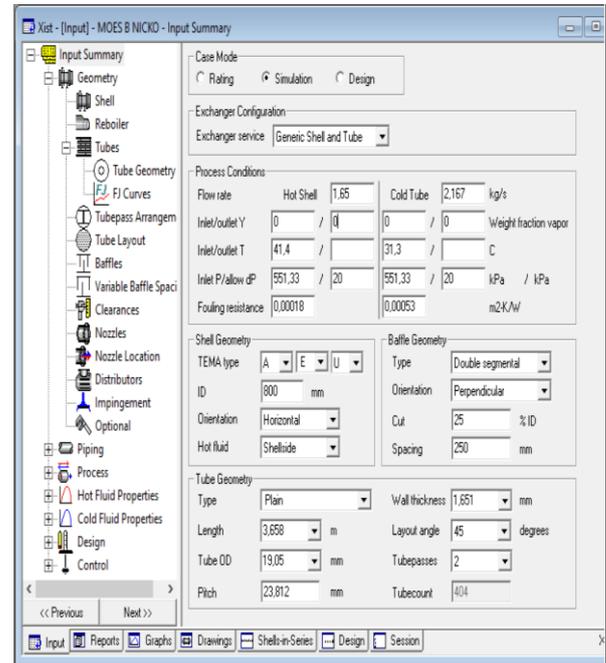
$$\dot{m}_4 = 0,00708 \text{ m}^3/\text{s} \times 995,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\dot{m}_4 = 7,050 \text{ kg/s}$$

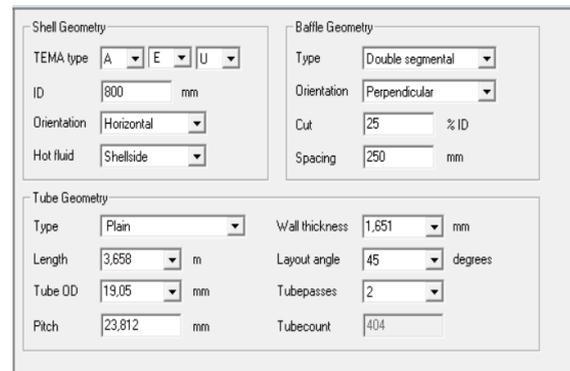
Flow rate yang digunakan pada sisi tube sebesar 7,050 kg/s.

Input Pengolahan Data pada Software HTRI

Data-data mengenai spesifikasi Heat Exchanger unit MOES B diinput ke dalam *software Heat Transfer Research Inc. (HTRI)* diperlihatkan pada Gambar 2.

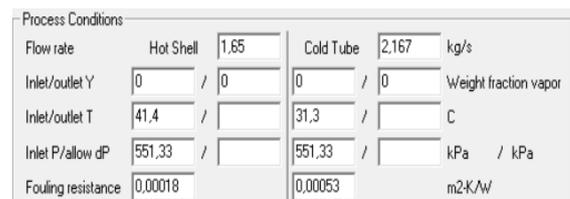


Gambar 2. Heat Exchanger Specification Sheet



Gambar 3. Input Geometry Software HTRI

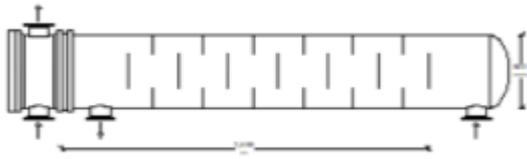
Data-data mengenai *flowrate*, tekanan inlet pada shell dan tube, serta suhu inlet pada shell dan tube diinput pada kolom 'Process Condition' diperlihatkan pada Gambar 4.



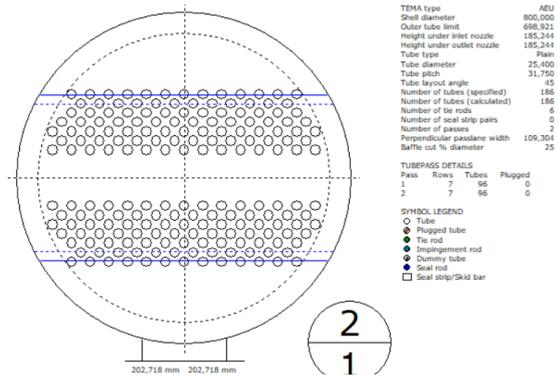
Gambar 4. Input Process Condition

Perancangan *heat exchanger shell-and tube horizontal multi passes flow* TEMA AEU

Gambar hasil perancangan heat exchanger shell-and-tube horizontal multi passes flow TEMA AEU diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. *Desain Heat Exchanger Shell-and-Tube horizontal multi passes flow*



Gambar 8. *Tube Layout* dengan Ukuran 25,400 mm

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil desain gambar Heat Exchanger Shell and Tube dari aplikasi HTRI dengan variasi OD TUBE

Hasil desain gambar Heat Exchanger Shell and Tube dari aplikasi HTRI dengan variasi OD TUBE 19,050 mm, 22,225 mm, dan 25,400 mm diperlihatkan pada Gambar 6,7, dan 8.

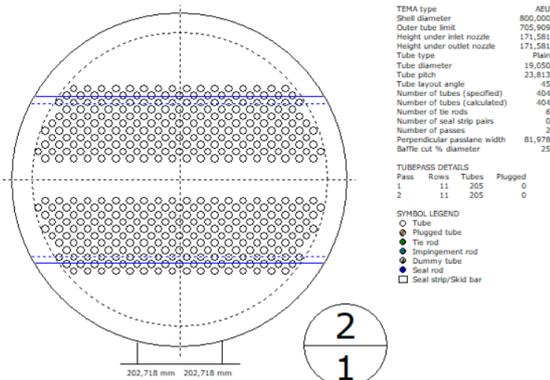
Dari hasil desain alat penukar panas dengan variasi OD tube dapat disimpulkan semakin kecil ukuran OD (*outside diameter*) Tube, maka semakin banyak jumlah tube yang bisa di tempatkan kedalam *heat exchanger* MOSE B ini. Sementara itu jarak antara satu tube dengan yang lainnya (*Pitch*) berbanding terbalik dengan jumlah tube yang dimana semakin banyak jumlah tube maka semakin sempit jarak antar tube.

Hasil temperature output Tube dan Shell

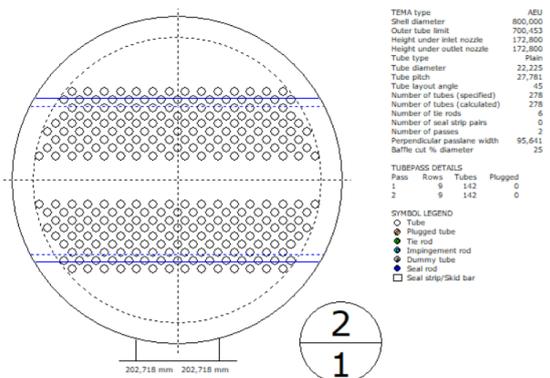
Adapun hasil temperature tube dan shell dari variasi OD tube yang dihasilkan diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil *temperature output* Tube dan Shell hasil dari simulasi menggunakan HTRI

OD Tube (mm)	Jumlah Tube	Suhu output Tube (°C)	Suhu output shell (°C)
19,050	205	34,45	35,08
22,225	142	33,83	36,34
25,400	96	33,77	36,46

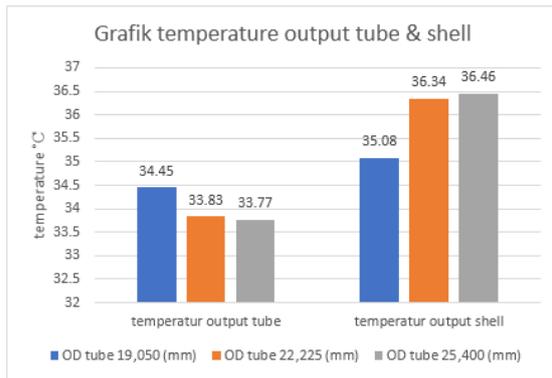


Gambar 6. *Tube Layout* dengan Ukuran 19,050 mm



Gambar 7. *Tube Layout* dengan Ukuran 22,225 mm

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa Tube yang menggunakan OD berukuran 19,050 mm mempunyai *temperature output shell* lebih kecil dibandingkan tube yang menggunakan OD berukuran 22,225 mm dan 25,400 mm. selain ukuran OD tube, jumlah tube yang digunakan juga berpengaruh terhadap perpindahan panas pada *heat exchanger* MOSE B. semakin banyak jumlah tube yang digunakan semakin besar penurunan temperatur pada shell.



Gambar 9. Hasil grafik *temperature output Tube dan Shell*

Hasil laju aliran panas yang terjadi pada heat exchanger dengan variasi ukuran OD tube

Laju aliran panas yang dihasilkan dari OD tube berukuran 19,050 mm

$$\Delta T = (34,45 \text{ } ^\circ\text{C} - 31,30 \text{ } ^\circ\text{C}) = 3,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{air}} = 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 7,050 \text{ kg/s}$$

Sehingga, nilai laju aliran panas (Q) sebesar :

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 7,050 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times 3,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 92,827 \text{ kW}$$

Laju aliran panas yang dihasilkan dari OD tube berukuran 22,225 mm

$$\Delta T = (33,83 \text{ } ^\circ\text{C} - 31,30 \text{ } ^\circ\text{C}) = 2,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{air}} = 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\dot{m} = 7,050 \text{ kg/s}$$

Sehingga, nilai laju aliran panas (Q) sebesar :

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 7,050 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times 2,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 74,556 \text{ kW}$$

Laju aliran panas yang dihasilkan dari OD tube berukuran 25,400 mm

$$\Delta T = (33,77 \text{ } ^\circ\text{C} - 31,30 \text{ } ^\circ\text{C}) = 2,47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_{\text{air}} = 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

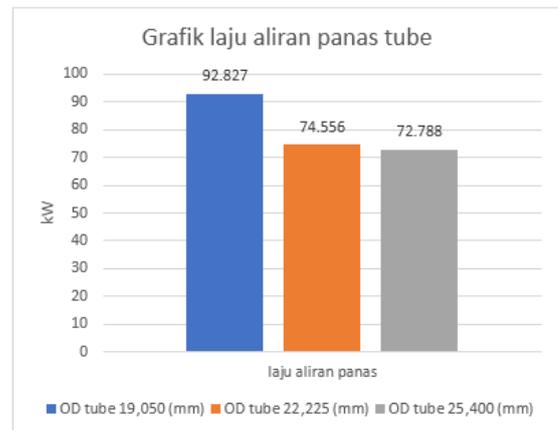
$$\dot{m} = 7,050 \text{ kg/s}$$

Sehingga, nilai laju aliran panas (Q) sebesar :

$$Q = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 7,050 \text{ kg/s} \times 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times 2,47 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 72,788 \text{ kW}$$



Gambar 10. Hasil grafik laju aliran panas di dalam tube.

Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui bahwa ukuran OD *tube* laju aliran panas, yang dimana kerapatan antar *tube* semakin tinggi laju aliran panas. Nilai laju aliran panas tertinggi didapat yaitu sebesar 92,827 kW yang menggunakan OD *tube* ukuran 19,050 mm, selanjutnya nilai laju aliran panas terendah didapat yaitu sebesar 72,788 kW yang menggunakan OD *tube* dengan ukuran 25,400 mm.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan dari *heat exchanger shell-and-tube* dengan variasi ukuran OD TUBE, dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan ukuran dari OD *tube* mempengaruhi perubahan *temperature fluida* pada saat masuk dan keluar dari *tube*, yang mengakibatkan pada saat fluida yang keluar dari *tube* mempunyai temperatur yang berbeda-beda. Banyaknya *tube* yang digunakan juga mempengaruhi perubahan temperatur pada saat fluida keluar dari *tube*. semakin banyak *tube* yang digunakan maka semakin besar perubahan temperatur yang terjadi didalam proses *heat exchanger*, sebaliknya semakin sedikit *tube* yang digunakan maka semakin kecil perubahan temperatur yang terjadi di dalam proses *heat exchanger*. Pada *tube* dengan diameter luar (OD) 19,050 mm dan menggunakan *tube* sebanyak 205 buah, pada saat masuk temperatur fluida sebesar 31,30 °C dan pada saat keluar menjadi 34,45 °C, sehingga ΔT sebesar 3,15 °C. Pada *tube* dengan diameter luar (OD) 22,225 mm dan menggunakan *tube* sebanyak 142 buah, pada saat masuk temperatur fluida sebesar 31,30 °C dan pada saat keluar menjadi 33,83 °C, sehingga ΔT sebesar 2,53 °C.

Pada *tube* dengan diameter luar (OD) 25,400 mm dan menggunakan *tube* sebanyak 96 buah, pada saat masuk temperatur fluida sebesar 31,30 °C dan pada saat keluar menjadi 33,77 °C, sehingga ΔT sebesar 2,47 °C. maka perubahan temperatur terbesar didapat oleh *tube* yang menggunakan ukuran diameter luar (OD) 19,050 mm dan *tube* sebanyak 205 buah.

2. Ukuran OD *tube* dan jumlah tube mempengaruhi laju aliran panas, yang dimana semakin banyak jumlah *tube* dan kerapatan antar *tube* semakin tinggi laju aliran panas. Nilai laju aliran panas tertinggi didapat yaitu sebesar 92,827 kW yang menggunakan OD tube sengan ukuran 19,050 mm. sementara nilai laju aliran panas terendah didapat yaitu sebesar 72,788 kW yang menggunakan OD *tube* dengan ukuran 25,400 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aji, Abdillah K. Perancangan Heat Exchanger Tipe Shell dan Tube secara Metode Matematis dan Simulasi Software. Jurnal Rekayasa Mesin. 2020.
- [2] Aji, Abdillah K, dan Pangestu, Wisnu. Pengaruh Variasi Baffle Spacing dan Flow Rate Terhadap Efektifitas Heat Exchanger Shell and Tube menggunakan Metode NTU (Number of Transfer Unit) dan HTRI. Jurnal Rekayasa Mesin. 2021.
- [3] Iriansyah, Putra. Studi Perhitungan Heat Exchanger Type Shell and Tube dehumidifier biogas limbah sawit untuk pembangkit listrik tenaga biogas. Jurnal Polimesin : Politeknik Negeri Lhoksumawe. 2017.
- [4] Muhammad, Furqan, Syukran, Sariyusda. Kaji Eksperimental dan Analisa Kinerja Penukar Panas Udara Type Shell and Tube jenis aliran berlawanan. Jurnal Mesin Sains Terapan. 2020.
- [5] Sekulic´, D. P., R. K. Shah, and A. Pignotti. A Review of Solution Methods for Determining Effectiveness–NTU Relationships for Heat Exchangers with Complex Flow Arrangements. 1999.