

Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Menggunakan CFD

Andi Husni Sitepu^{1,*}, Rahimuddin¹, Muhammad Rusydi Alwi¹, Surya Hariyanto¹,
Muhammad Iqbal Nikmatullah¹, Muhammad Ilham Nur¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

*Email: andihusnisitepu@unhas.ac.id

Abstrak

Heat exchanger type shell and tube merupakan alat penukar kalor yang banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, kemudahan dari segi perawatan dan terhitung ekonomis. Salah satu industri perkapalan yang mengaplikasikan heat exchanger type shell and tube adalah KM. Sirimau sebagai oil cooler untuk mendinginkan oil. Oil menjadi hal yang sangat penting dalam operasional permesinan kapal karena merupakan lapisan pelindung untuk memisahkan dua permukaan pada mesin yang saling bergesekan. Kenaikann suhu oil dapat menurunkan efisiensi kerja yang dapat berakibat fatal pada bagian permesinan. Sehingga perlunya pengkajian mengenai oil cooler khususnya heat exchanger type shell and tube agar suhu oil dapat dipertahankan pada suhu tertentu. Analisis dilakukan menggunakan ANSYS untuk mengetahui selisih temperatur rata-rata logaritmik dan efektivitas heat exchanger dengan variasi tekanan pada fresh water. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan ANSYS CFX, pada tekanan 2,2 bar diperoleh selisih temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) sebesar 31,221 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,73% dan efektivitas hasil perhitungan 63,29%. Pada tekanan 2,3 bar diperoleh nilai LMTD sebesar 31,341 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,47% dan efektivitas hasil perhitungan 62,27%. Pada tekanan 2,4 bar nilai LMTD sebesar 31,444 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,24% dan efektivitas hasil perhitungan 61,31%.

Abstract

Analysis of the Effectiveness of Shell and Tube Type Heat Exchanger Using CFD. Heat exchanger type shell and tube is a heat exchanger device that is widely used because it has a simple, sturdy construction, is easy to maintain and is relatively economical. One of the shipping industries that applies heat exchanger type shell and tube is KM. Sirimau as an oil cooler to cool oil. Oil is very important in ship machinery operations because it is a protective layer to separate two surfaces on the machine that rub against each other. An increase in the temperature of the oil can reduce work efficiency which can have fatal consequences for machine parts. So it is necessary to study oil coolers, especially heat exchanger type shell and tube so that the temperature of the oil can be maintained at a certain temperature. Analysis was carried out using ANSYS to determine the difference in logarithmic average temperature and heat exchanger effectiveness with variations in pressure in fresh water. Based on the simulation results conducted using ANSYS CFX, at a pressure of 2.2 bar, a logarithmic mean temperature difference (LMTD) difference of 31.221 °C was obtained with a simulation effectiveness of 65.73% and a calculation effectiveness of 63.29%. At a pressure of 2.3 bar, an LMTD value of 31.341 °C was obtained with a simulation effectiveness of 65.47% and a calculation effectiveness of 62.27%. At a pressure of 2.4 bar, the LMTD value was 31.444 °C with a simulation effectiveness of 65.24% and a calculation effectiveness of 61.31%.

Kata kunci: Heat exchanger type shell and tube; oli; tekanan

1. Pendahuluan

Heat Exchanger adalah suatu alat yang digunakan untuk mentransfer energi panas antara dua fluida atau lebih, antara permukaan padat dengan fluida, atau juga antara fluida dengan partikel padat. Dimana keduanya memiliki perbedaan temperatur sehingga menyebabkan kontak termal antara fluida dengan

partikel padat tersebut [1]. Salah satu bentuk heat exchanger yang banyak digunakan adalah heat exchanger type shell and tube karena memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, kemudahan dari segi perawatan dan terhitung ekonomis [2].

Heat exchanger tipe ini adalah salah satu jenis alat heat exchanger memiliki konstruksi sekumpulan tube

yang dipasangkan di dalam shell berbentuk silinder di mana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing-masing melalui sisi tube dan sisi shell. Satu fluida mengalir di dalam pipa, sementara fluida lain dialirkan dalam shell. Agar aliran dalam shell turbulen dan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada shell dipasang penghalang (baffle) [3].

Adapun komponen dari heat exchanger type shell and tube adalah antara lain tube, Shell, tube sheet dan baffle. Susunan pipa tube pada heat exchanger type shell and tube memiliki beberapa bentuk utama yaitu square (90°), rotated triangular (60°), triangular (30°), rotated square (45°). Dari keempat susunan tube di atas, susunan tube dengan sudut 30° atau triangular memiliki nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar, dan susunan tube square (90°) memiliki nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terkecil [4].

Dalam pengaplikasian heat exchanger type shell and tube, salah satu industri perkapalan yang mengaplikasikannya adalah PT. Pelni. Contohnya pada kapal KM. Sirimau. Dimana oil cooler pada kapal ini menggunakan Heat Exchanger Type Shell and Tube. Oil cooler berfungsi sebagai pendingin minyak pelumas dengan media fresh water. Minyak pelumas (oil) yang mengalir pada sisi shell sedangkan fresh water sebagai pendingin mengalir melalui pipa tube.

Oil merupakan zat kimia berupa cairan yang berada diantara dua benda yang saling bergesekan untuk mengurangi gaya gesek. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang saling bergesekan. Cairan (minyak pelumas) merupakan salah satu dari empat fase benda yang volumenya tetap dalam kondisi suhu dan tekanan tetap. Dari empat fase benda tersebut adalah zat cair, padat, gas, dan massa jenis [5].

Oil menjadi hal yang sangat penting dalam operasional permesinan kapal karena merupakan lapisan pelindung untuk memisahkan dua permukaan pada mesin yang saling bergesekan. Penurunan kinerja pada oli dapat menyebabkan kerusakan pelumasan mesin yang menyebabkan terjadinya keausan mekanis, korosi kimia, dan panas berlebih sehingga dapat berakibat fatal pada permesinan [6].

Salah satu faktor yang menurunkan kinerja dari oil adalah suhu yang terlalu tinggi yang dapat menurunkan viskositas dari oil tersebut. Sehingga oil tidak bekerja secara efisien. Oleh karena itu, perlunya pengkajian mengenai oil cooler khususnya Heat Exchanger Type Shell and Tube agar suhu oil dapat dipertahankan pada suhu tertentu.

Salah satu software yang dapat digunakan untuk mensimulasikan fluida pada heat exchanger adalah ANSYS. Software ANSYS merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk memberikan solusi

numerik berdasarkan metode volume of fluid model beserta simulasi visualnya [7]. Salah satu bagain ANSYS yang digunakan dalam simulasi adalah ANSYS CFX. Software tersebut salah satu program simulasi numerik yang paling umum digunakan untuk menganalisa aliran fluida. Didalamnya terdapat CFX-Pre yang digunakan dalam proses setup [8].

Penelitian terkait dengan pengujian heat exchanger dengan variasi mass flow rate telah dilakukan oleh Arif Suryanto [9] dengan judul penelitian rancang bangun dan pengujian heat exchanger cross flow mixed, tube non finned four pass, untuk mengeringkan empon-empon dengan variasi mass flow rate. Salah satu tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh mass flow rate fluida dingin terhadap efisiensi heat exchanger. Dimana hasil yang didapatkan adalah semakin besar mass flow rate fluida dingin maka semakin kecil efisiensi kalor yang diserap heat exchanger tersebut.

Penelitian mengenai heat exchanger type shell and tube juga dilakukan oleh Mika Patayang dan Shanty, [10] dengan judul Analisis laju perpindahan panas Locooler type shell and tube aliran berlawanan arah pada KM. Pantokrator. Penelitian tersebut menganalisis minyak pelumas SAE 30 sebagai fluida yang didinginkan dan air laut sebagai media pendingin. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh data temperatur minyak pelumas dan air laut masuk dan keluar dan berdasarkan perhitungan diperoleh rata-rata temperatur logaritmik (LMTD) adalah 78°C dan besarnya perpindahan panas adalah 6395,9402 Kw.

Penelitian sebelumnya mengenai simulasi heat exchanger yang dilakukan oleh Anggareza, dkk [11] dengan judul Simulasi performa heat exchanger type shell and tube dengan double segmental Baffle terhadap helical Baffle. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi baffle spacing terhadap nilai temperatur keluaran fluida. Penelitian tersebut menggunakan ANSYS FLUENT dalam mensimulasikan heat exchanger dengan menggunakan turbulence model k-epsilon.

Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Mulyanto, A., dkk. [12] mengenai simulasi heat exchanger type shell and tube pada ANSYS. Dimana pada penelitian tersebut menggunakan k-epsilon realizable sebagai turbulence model. Penelitian tersebut menganalisis pengaruh variasi jarak antar baffle dari diameter shell pada koefisien perpindahan panas dan pressure drop dengan mempertimbangkan empat nilai persentase pemotongan baffle yang berbeda.

Dari uraian latar belakang diatas, pada penelitian ini dilakukan simulasi heat exchanger tipe shell and tube terhadap sistem pendingin oil KM. Sirimau menggunakan ANSYS CFX, dimana menggunakan turbulence model jenis k-epsilon dengan variasi tekanan fresh water untuk mengetahui beda

temperatur (LMTD) tiap variasi tekanan dan mengetahui pengaruh perubahan tekanan fresh water terhadap efektivitas heat exchanger type shell and tube.

2. Metodologi

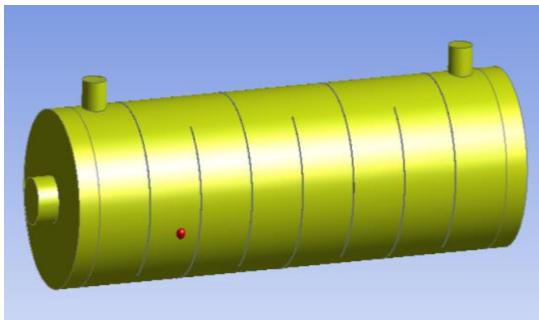
Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan *heat exchanger type shell and tube* menggunakan software ANSYS CFX. Berikut dimensi utama dari *heat exchanger type shell and tube*:

1. *Tube length* : 1000 mm
2. *Tube Od* : 17,44 mm
3. *Tube ID* : 15,44 mm
4. Jarak antar *tube* : 6 mm
5. *Number of tube* : 91 buah
6. *Shell length* : 1000 mm
7. *Shell OD* : 335 mm
8. *Shell ID* : 320 mm
9. *Number of shell* : 1 buah
10. Tekanan L.O : 3 Bar
11. Temperatur *Oil Inlet* : 65 °C
12. Temperatur *Oil Out* : 55 °C
13. Tekanan *Fresh Water* : 2,2; 2,3; 2,4 Bar
14. Jumlah *buffle* : 7 buah
15. Jarak antar *buffle* : 125 mm
16. Jenis fluida pada *shell* : *Lubricating Oil*
17. Jenis fluida pada *tube* : *Fresh Water*

Dalam melakukan simulasi CFX dilakukan bebrapa tahap yaitu:

2.1. Tahap Pemodelan

Tahap pertama yang dilakukan adalah membuat model penelitian dalam hal ini *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Dimana terdiri dari pipa *tube*, pipa *shell* dan *buffle*. Penggambaran model dilakukan pada *spaceclaim* yang merupakan bagian dari *Software ANSYS*. Gambar 1 menunjukkan tampilan *spaceclaim* pada *software ANSYS*. Berikut hasil pemodelan *heat exchanger type shell and tube* pada Gambar 1.



Gambar 1. Model *heat exchanger type shell and tube*

2.2. Tahap Meshing

Setelah membuat model pada ANSYS *spaceclaim*, langkah selanjutnya yaitu melakukan *meshing* atau membagi model menjadi beberapa elemen sederhana

untuk proses perhitungan. Selain itu, dalam proses *meshing* juga dilakukan *named selection* yaitu, *inwater*, *outwater*, *inoil* dan *outoil*. Dalam melakukan tahap *meshing* dilakukan *body sizing* dan *face sizing* untuk mengatur ukuran *mesh* dari *body* dan *face*. Gambar 2 memperlihatkan hasil *meshing* dari *heat exchanger type shell and tube*.

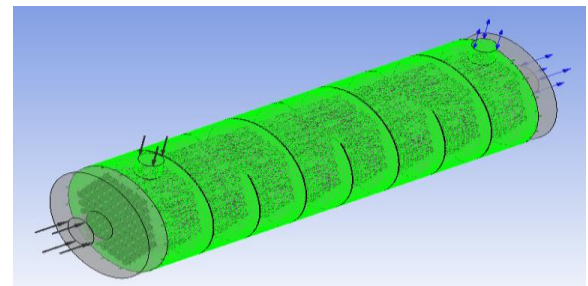


Gambar 2. *Meshing*

2.3. Tahap Setup

Setelah melakukan *mesh*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *setup* pada *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Pada *setup* ini dibagi menjadi dua domain yaitu domain *oil (shell)* dan domain *water (tube)*.

1. Pada domain *oil* dibagi menjadi beberapa bagian seperti pengaturan kondisi batas domain *oil*. Pengaturan kondisi batas pada domain *oil (shell)* dibagi menjadi empat boundary yaitu, *inoil*, *outoil*, *oil default* dan *Default Fluid Fluid Interface side 1*. Gambar 3 menunjukkan pengaturan kondisi batas domain *oil*.



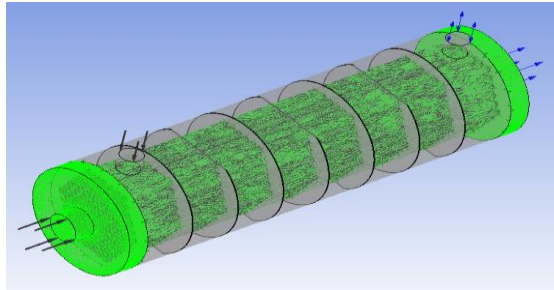
Gambar 3. Pengaturan kondisi batas domain *oil*

2. Setelah melakukan proses *setup* pada domain *oil (shell)*, langkah selanjutnya adalah pemberian batas kondisi fisik pada bagian domain pipa *tube*. Pengaturan kondisi batas pada domain *water* dibagi menjadi empat boundary yaitu, *inwater*, *outwater*, *water default* dan *Default Fluid Fluid Interface side 2 1*. Pengaturan kondisi batas domain *water* seperti pada Gambar 4.

2.4. Solution

Setelah melakukan *setup*, tahap selanjutnya yaitu *solution*. Dimana dalam tahapan ini proses perhitungan (*running*) model akan dilakukan berupa iterasi. Jumlah iterasi yang dilakukan pada simulasi

Shell And Tube sebanyak 50 iterasi. Berikut gambar yang menunjukkan apabila proses *solution* telah selesai. Tampilan konvergensi dari hasil simulasi pada ANSYS CFX seperti pada Gambar 5.



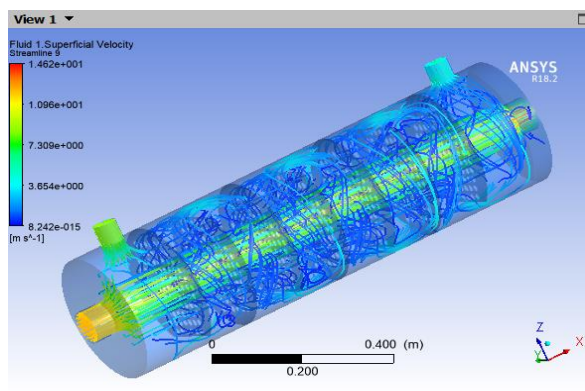
Gambar 4. Pengaturan batas kondisi domain water



Gambar 5. Tampilan CFX solver

2.5. Results

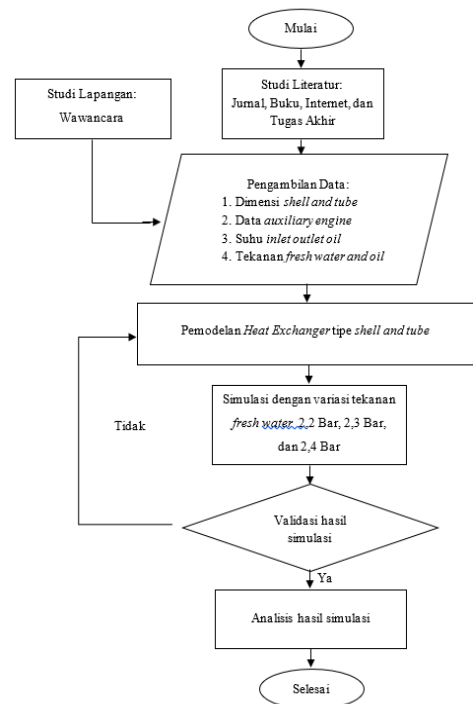
Setelah proses *running* selesai, maka hasil simulasi dari *Heat Exchanger Type Shell and Tube* dapat dilihat pada bagian *result*. Dalam penelitian ini hasil yang diinginkan adalah nilai temperatur *oil* yang keluar dan koefisien perpindahan panas pada bagian pipa *tube* dari *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Selain itu, pada tahap *result*, dapat melihat *contour* suhu yang terdapat pada *heat exchanger* dan juga bentuk aliran yang masuk pada *heat exchanger* tersebut. Gambar 6 menggambarkan proses tersebut.



Gambar 6. Bentuk aliran *heat exchanger type shell and tube*

2.6. Kerangka Penelitian

Adapun alur penelitian ini digambarkan berdasarkan *flow chart* pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alur penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik

Log Mean Temperature Different (LMTD) merupakan pendekatan analisis dimana suhu masuk dan keluar dari heat exchanger harus diketahui untuk menentukan besar selisih keduanya. Suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada saat masuk dan keluar dari heat exchanger tidaklah sama, maka perlu menentukan nilai rata-rata untuk menentukan jumlah kalor yang dipindahkan pada heat exchanger.

1. Perubahan Suhu Terhadap Variasi Tekanan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan pada ANSYS CFX terjadi perubahan suhu akbit dari perubahan tekanan *fresh water*, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh tekanan terhadap perubahan suhu *heat exchanger type shell and tube*

Tekana Fresh Water	Tekanan Oil	T _{c_i} (°C)	T _{c_o} (°C)	T _{h_i} (°C)	T _{h_o} (°C)
2,2 Bar	3 Bar	27	29,423	65	54,237
2,3 Bar	3 Bar	27	29,163	65	54,237
2,4 Bar	3 Bar	27	28,935	65	54,236

Pada tabel tersebut, dapat dilihat bahwa dengan penambah tekanan 0,1 bar pada tiap tekanan *Fresh Water* sangat mempengaruhi suhu out dari *Fresh Water*, namun tidak begitu berpengaruh pada suhu out dari *oil*. Semakin besar tekanan *fresh water* maka perubahan suhu dari dingin menjadi panas semakin

rendah. Hal ini, disebabkan karena dengan bertambahnya tekanan pada *fresh water* maka kecepatan fluida dingin yang melewati pipa *tube* juga semakin besar, mengakibatkan kontak antar fluida panas dan fluida dingin semakin singkat.

2. Perbandingan Temperatur Hasil Simulasi dengan Data Lapangan

Berdasarkan data yang ada dilapangan suhu *oil* yang keluar dari *Heat Exchanger Type Shell and Tube* ini sebesar 55 °C atau 273,15 K pada pada suhu masuk *oil* sebesar 65 °C atau 338,15 K, dengan tekanan *oil* yang masuk sebesar tiga bar dan tekanan *fresh water* yang masuk sebesar 2,2 bar. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan pada ANSYS CFX suhu masuk dengan tekanan *oil* dan *fresh water* yang sama, didapatkan suhu *oil* yang keluar dari *Heat Exchanger* sebesar 54,237 °C atau 327,387 K. dari hasil perbandingan data tersebut maka didapatkan error sebesar 1,387%.

3. Perhitungan Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik (LMTD) Hasil Simulasi

Selisih temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) berpengaruh terhadap temperatur *oil* dan *fresh water* yang masuk maupun keluar dari *Heat Exchanger*. Dalam menghitung nilai LMTD, suhu yang digunakan merupakan hasil simulasi dari ANSYS CFX. Dalam menghitung LMTD digunakan persamaan menurut buku J.P Holman [13].

$$LMTD = \frac{(T_{hin} - T_{cout}) - (T_{hout} - T_{cin})}{\ln \frac{(T_{hin} - T_{cout})}{(T_{hout} - T_{cin})}}$$

$$= 31,221 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dimana T_{hin} adalah suhu oli panas masuk ke sistem, T_{cout} adalah suhu air pendingin keluar, T_{hout} adalah suhu oli keluar dari sistem dan T_{cin} adalah suhu air pendingin yang masuk ke sistem, semuanya dalam satuan °C.

Dengan menggunakan prinsip perhitungan yang sama dengan perhitungan sebelumnya, maka diperoleh nilai beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD), dimana nilai suhu yang digunakan dalam persamaan merupakan hasil simulasi dari ANSYS CFX. Berikut tabel nilai LMTD pada tiap perubahan tekanan

Tabel 2. Pengaruh tekanan terhadap nilai LMTD

Tekanan <i>Fresh Water</i>	Tekanan <i>Oil</i>	LMTD (°C)
2,2 Bar	3 Bar	31,221
2,3 Bar	3 Bar	31,341
2,4 Bar	3 Bar	31,444

Tabel 2 merupakan nilai perhitungan LMTD dari suhu hasil simulasi yang telah dilakukan. Dimanan nilai beda temperatur rata-rata yang disimulasikan setara dengan nilai beda temperatur rata-rata eksperimen. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa, dengan penambahan 0,1 bar tekanan *fresh water* yang

masuk ke *heat exchanger* memberikan pengaruh terhadap nilai selisih temperatur rata-rata logaritmik. Dimana nilai LMTD terbesar pada tekanan 2,4 bar sebesar 31,441 °C, dan nilai LMTD terkecil pada tekanan 2,2 bar sebesar 31,221 °C.

3.2. Efektivitas Heat Exchanger Type Shekk and Tube

Dalam menghitung efektivitas pada heat exchanger type shell and tube menggunakan metode NTU (Number of Transfer Units). Dimana terlebih dahulu koefisien perpindahan panas menyeluruh harus dihitung terlebih dahulu.

1. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U_i)

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan di ANSYS CFX terjadi perubahan koefisien perpindahan panas menyeluruh akibat perubahan tekanan dari *fresh water*. Dimana koefisien perpindahan panas menyeluruh pada *Heat Exchanger Shell and Tube* pada penelitian ini ditinjau pada bagain pipa *tube*, dan dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 3. Pengaruh tekanan terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa *tube*

Tekanan <i>Fresh Water</i>	Tekanan <i>Oil</i>	U_i (W/m ² °C)
2,2 Bar	3 Bar	14980,3
2,3 Bar	3 Bar	15501,6
2,4 Bar	3 Bar	16000,4

Table 3 merupakan hasil simulasi koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa *tube* dengan variasi tekanan pada *Fresh Water*. dari table tersebut, diketahui bahwa dengan penambah tekanan 0,1 bar pada *Fresh Water* mempengaruhi koefisien perpindahan panas pada pipa *tube*. Dimana koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar yaitu 16000,4 (W/m²°C) dengan tekanan 2,3 bar dan koefisien perpindahan panas menyeluruh terkecil yaitu 14980,3 (W/m²°C) dengan tekanan 2,2 bar.

2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Dengan Rumus Empiris

Selain menggunakan hasil simulasi, koefisien perpindahan panas menyeluruh yang terjadi pada pipa *tube* juga bisa ditentukan menggunakan pendekatan rumus empiris. Dimana rumus yang digunakan dalam menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh pada bagian pipa digunakan rumus pada persamaan menurut Buku Ozisik M. Necati [14].

$$U_i = \frac{1}{R_{Ai}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \left[\frac{1}{2k} \right] Di \ln \left(\frac{d_o}{d_i} \right) + \left(\frac{d_i}{d_o} \right) \left(\frac{1}{h_o} \right)}$$

$$= 14018,96 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

Dengan menggunakan prinsip perhitungan yang sama dengan perhitungan sebelumnya, maka diperoleh

nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada bagian dalam pipa tube adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh menggunakan rumus emperis

Tekanan <i>Fresh Water</i>	Tekanan <i>Oil</i>	U_i (W/m ² °C)
2,2 Bar	3 Bar	14018,96
2,3 Bar	3 Bar	14207,07
2,4 Bar	3 Bar	14379,87

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa tube. Dari tabel tersebut, diketahui bahwa dengan penambahan tekanan pada *Fresh Water* sebesar 0,1 Bar maka, memberikan pengaruh pada nilai dari koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa tube. Dimana koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar yaitu 14379,87 (W/m²°C) dengan tekanan 2,4 bar dan koefisien perpindahan panas menyeluruh terkecil yaitu 14018,96 (W/m²°C) dengan tekanan 2,2 bar.

3. Perhitungan Efektivitas *Heat Exchanger Type Shell and Tube* Hasil Simulasi

Untuk mengetahui nilai efektivitas dari alat *heat exchanger* maka dapat digunakan persamaan menurut buku cengel, Yunus A:

$$\mathcal{E} = 1 - \exp(-NTU)$$

Sedangkan untuk nilai NTU didapatkan dari:

$$NTU = U_i \times A_s / C_{min} = 1,002$$

Jadi nilai efektivitas dari *heat exchanger* kalor jenis *shell and tube* pada kondisi tekanan *fresh water* 2,2 bar sebesar 63,29 %. Terdapat perbedaan antara efektivitas hasil perhitungan dan efektivitas hasil simulasi. Untuk mengetahui nilai *error* dari efektivitas *heat exchanger type shell and tube* tersebut digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \%Error &= \frac{\text{efektivitas perhitungan} - \text{efektivitas simulasi}}{\text{efektivitas perhitungan}} \times 100 \\ &= \frac{63,29\% - 65,73\%}{63,29\%} \times 100 = 3,85\% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan prinsip perhitungan yang sama dengan perhitungan sebelumnya, maka diperoleh nilai efektivitas dari alat penukat kalor *shell and tube* sebagai berikut.

Dari Tabel 5 dapat dilihat perbandingan perhitungan efektivitas *heat exchanger type shell and tube* dari hasil perhitungan dan hasil simulasi. Dimana nilai efektivitas tertinggi hasil simulasi sebesar 65,75 % dan hasil perhitungan sebesar 63,39 % dengan tekanan *fresh water* sebesar 2,2 bar. Adapun nilai

efektivitas terkecil yaitu pada tekanan *fresh water* 2,4 bar dengan nilai efektivitas hasil simulasi sebesar 65,24 % dan hasil perhitungan sebesar 61,31%. Nilai *error* terbesar antara efektivitas hasil simulasi dan hasil perhitungan sebesar 6,40%. Hal ini terjadi karena nilai koefisien perpindahan panas yang dihitung dan yang disimulasikan pada tekanan *fresh water* 2,4 bar memiliki perbedaan yang paling besar diantara variasi tekanan yang disimulasikan. Dan nilai *error* terkecil yaitu 3,85%. Pada tekanan 2,2 bar, nilai *error* terkecil karena nilai koefisien perpindahan panas yang dihitung dan yang disimulasikan pada tekanan *fresh water* 2,2 bar memiliki perbedaan yang paling kecil diantara variasi tekanan yang disimulasikan.

Tabel 5. Pengaruh Tekanan Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Shell and Tube

Tekanan <i>fresh water</i>	Tekanan <i>Oil</i>	Efektivitas Simulasi (%)	Efektivitas Hitung (%)	Error (%)
2,2 bar	3 bar	65,73	63,29	3,85
2,3 bar	3 bar	65,47	62,27	5,15
2,4 bar	3 bar	65,24	61,31	6,40

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) terhadap variasi tekanan *fresh water* pada simulasi *heat exchanger type shell and tube* adalah sebagai berikut. Pada tekanan 2,2 bar nilai LMTD sebesar 31,221 °C, pada tekanan 2,3 bar nilai LMTD sebesar 31,341 °C dan pada tekanan 2,4 bar nilai LMTD sebesar 31,444 °C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan pada *fresh water* maka semakin besar pula selisih temperatur rata-rata logaritmik pada *heat exchanger* tersebut. Sedangkan tekanan *fresh water* mempengaruhi efektivitas *heat exchanger type shell and tube*. Semakin besar tekanan pada *fresh water* maka semakin kecil efektivitas dari *Heat Exchanger* tersebut. Nilai efektivitas terbesar didapatkan pada tekanan *fresh water* 2,2 bar dengan efektivitas hasil simulasi sebesar 65,73% dan efektivitas hasil perhitungan sebesar 63,29%. Sedangkan nilai efektivitas terkecil pada tekanan *fresh water* 2,4 bar dengan efektivitas hasil simulasi sebesar 65,24% dan efektivitas hasil perhitungan sebesar 61,31%.

Referensi

- [1] Burmawi, Mulyanef, and A. P. Saputra, "Analisa Unjuk Kerja dari Heat Exchanger Tipe Shell and Tube menggunakan Air sebagai Fluida Panas dan Fluida Dingin," *J. Penelit. dan Kaji. Ilm. Univ. Muhammadiyah Sumatera Barat*, vol. 15, pp. 1–8, 2021.
- [2] A. Husen, T. M. I. Akbar, and N. Cholis, "Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Dingin Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger," *Bina Tek.*, vol. 16, pp. 1–10, 2020.

- [3] I. Bizzy and R. Setiadi, "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, pp. 67–77, 2013.
- [4] D. Nilasari, "Analisis Pengaruh Susunan Sudut Pitch Tube Terhadap Karakteristik Aliran Fluida dan Perpindahan Panas Yang Melintasi Serrated Fin Tube," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [5] T. Tona, "Analisa Naiknya Temperatur Minyak Lumas pada Mesin Induk di Kapal MT. PALUH TABUAN," *J. Venus*, vol. 10, no. 1, pp. 26–37, 2022.
- [6] A. Hendrawan, A. S. Dwiono, and S. Pramono, "Perilaku Temperatur Minyak Lumas Pada Kapal," *Din. Bahari*, vol. 3, pp. 52–59, 2022.
- [7] P. Ramadhany, "Komputasi Dinamika Fluida pada T-Micro Mixer," *J. Rekayasa Proses*, vol. 11, pp. 43–53, 2017.
- [8] R. M. Hutauruk, "Simulasi Numerik Tahanan Kapal Gillnet Menggunakan Pendekatan Computational Fluids Dynamics," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 18, no. 1, pp. 53–62, 2013.
- [9] Y. Wijanarko and S. Putro, "Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Finned Tube Four Pass, untuk Mengeringkan Empon-Empon dengan Variasi Mass Flow Rate," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- [10] M. Patayang and Shanty, "Analisa Laju Perpindahan Panas Locooler Tipe Shell and Tube Aliran Berlawanan Arah Pada KM Pantokrator," *SNITT Politek. Negeri Balikpapan*, vol. 2, pp. 26–32, 2017.
- [11] A. Adhitiya and D. Ichani, "Simulasi Performansi Heat Exchanger Type Shell And Tube Dengan Double Segmental Baffle Terhadap Helical Baffle," *J. Tek. ITS*, vol. 2, pp. 419–424, 2013.
- [12] A. Mulyanto, P. R. Suryanto, R. D. Putra, and M. A. Salim, "Pengaruh Parameter Segmental Baffle pada Shell and Tube Terhadap Koefisien Perpindahan Panas dan Pressure Drop Menggunakan Simulasi ANSYS," *J. Tek. Mesin*, vol. 13, pp. 1–9, 2023.
- [13] J. P. Holman, *Heat Transfer*. McGraw-Hill, 1986.
- [14] M. N. Ozisik, *Heat Transfer: A Basic Approach*, 10th ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1985.