

Efektivitas *Keel Cooler* pada Sistem Pendingin Mesin Penggerak Utama Kapal

Hendra Mahesa¹, Faisal Mahmuddin*¹, Syerly Klara¹

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino Km. 6, Kecamatan Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171, Indonesia

*Email: f.mahmuddin@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.112023.05

Abstrak

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh nelayan ketika melaut adalah terbatasnya ketersediaan air tawar di atas kapal. Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian dengan memanfaatkan panas gas buang mesin penggerak kapal dengan membuat desain dan prototipe destilator. Namun pada penelitian tersebut didapati masalah pada panjang pipa yang digunakan, sehingga berpengaruh terhadap efektivitas destilator. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan panjang pipa terhadap efektivitas destilator dan mengetahui panjang pipa optimal untuk mencapai efektivitas destilasi yang baik. Metode penelitian ini menggunakan software ansys fluent dan analisis rumus-rumus perpindahan panas untuk menentukan berapa temperatur gas buang keluar (T_{ho}) dan temperatur air keluar (T_{co}) kemudian menghitung dan membandingkan ketiga variasi panjang pipa 5m, 7m, dan 9m untuk diketahui laju perpindahan panas dan efektifitasnya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efektifitas perpindahan panas untuk variasi panjang 5m sebesar 45,5%, variasi panjang 7m sebesar 50,19%, variasi panjang 9m sebesar 66,41%. Terjadi peningkatan nilai efektifitas perpindahan panas seiring dengan penambahan ukuran panjang pipa dengan ukuran diameter yang sama sebesar 0,8cm, sehingga dari ketiga variasi panjang pipa yang telah dibuat diketahui bahwa panjang pipa yang optimal terdapat pada destilator dengan panjang pipa sebesar 9 m.

Abstract

Simulation of the Effect of Pipe Length on the Efficiency of a Distillator Utilizing Waste Heat from Engine Exhaust Gases. One of the main problems faced by fishermen while at sea is the limited availability of fresh water on board. In a previous study, research was conducted by utilizing the heat from the engine exhaust of the ship by designing and prototyping a distiller. However, in that study, problems were found with the length of the pipe used, affecting the distiller's effectiveness. The purpose of this study is to determine the effect of increasing pipe length on the distiller's effectiveness and to find the optimal pipe length to achieve good distillation effectiveness. The research method uses ANSYS Fluent software and heat transfer formulas analysis to determine the exhaust gas exit temperature (T_{ho}) and the water exit temperature (T_{co}), then calculates and compares the heat transfer rates and effectiveness for three pipe length variations 5m, 7m, and 9m. The results show that the heat transfer effectiveness for the 5m pipe length variation is 45,5%, for the 7m variation is 50,19%, and for the 9m variation is 66,41%. There is an increase in heat transfer effectiveness with the increase in pipe length, with the same diameter of 0,8 cm, so it is concluded that the optimal pipe length for the distiller is 9 m.

Kata Kunci: Distillator, ANSYS Fluent, Pipe length

1. Pendahuluan

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh nelayan ketika melaut adalah terbatasnya ketersediaan air tawar di atas kapal. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan daya muat yang dimiliki oleh kapal dalam mengangkut air tawar yang diperoleh dari darat, sehingga air tawar yang dapat dibawa juga terbatas.

Berdasarkan uraian di atas maka rencana pemecahan masalah untuk mengatasi kendala yang dihadapi nelayan yaitu mendesain suatu teknologi tepat guna berupa destilator dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin penggerak kapal. Destilator tersebut diharapkan

dapat menjadi solusi dalam pemenuhan kebutuhan air tawar di atas kapal dan pengurangan polusi yang dihasilkan oleh kapal yang dapat mencemari lingkungan.

Destilasi adalah proses pemisahan komponen-komponen yang terdapat pada suatu zat cair untuk mendapatkan salah satu atau beberapa komponen tertentu. Pada destilasi air laut dapat diasumsikan bahwa yang dipisahkan hanya dua komponen yaitu air dan garam, meskipun sebenarnya masih terdapat unsur kimia lain dalam air [1].

Untuk memperoleh air tawar, air laut dipanaskan agar air laut tersebut menguap dan dikondensasi untuk mendapatkan air tawar.

Proses tersebut dinamakan sebagai proses destilasi. Di banding metode lain, proses destilasi ini menghasilkan air tawar yang sangat tinggi tingkat kemurniannya. Adapun titik didih air laut yaitu pada suhu 100oC tekanan atmosfer, namun titik didih dapat di bawah 100oC apabila tekanan diturunkan. Penguapan air memerlukan panas penguapan yang tertahan pada uap air yang terjadi sebagai panas laten. Apabila uap air dikondensasi maka panas laten akan dilepaskan yang dapat dimanfaatkan untuk pemanasan awal air laut [2].

Kebutuhan air tawar di kapal sangat bergantung pada ukuran kapal, jumlah awak kapal, dan durasi perjalanan. Air tawar dibutuhkan untuk berbagai keperluan seperti minum, mencuci, pendingin mesin, dan keperluan lainnya. Kebutuhan air tawar untuk diminum berkisar antara 10-20 kg/orang/hari, kebutuhan air tawar untuk mencuci berkisar antara 80-200 kg/orang/hari, dan kebutuhan air tawar untuk pendinginan mesin berkisar antara 2-5 kg/BHP [3].

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian dengan memanfaatkan panas gas buang mesin penggerak kapal dengan membuat desain dan prototipe destilator. Selain itu, pada penelitian sebelumnya juga telah dilihat bagaimana pengaruh bentuk dan kemiringan penutup distilator terhadap jumlah hasil distilasi. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa energi panas gas buang mesin dapat digunakan untuk menghasilkan uap, yang kemudian dapat dikondensasikan menjadi air tawar melalui proses destilasi. Namun pada penelitian tersebut didapati masalah pada panjang pipa yang digunakan, sehingga berpengaruh terhadap efektivitas destilator.

Pipa destilator memiliki peranan penting dalam proses perpindahan panas antara energi panas gas buang dan air yang akan didestilasi. Pipa yang lebih panjang akan memberikan area permukaan yang lebih besar dan juga mempengaruhi waktu kontak antara energi panas gas buang dan air dalam destilator. Sehingga semakin panjang pipa yang digunakan, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan air untuk berinteraksi dengan gas buang dalam menyerap panas.

Mesin bensin adalah salah satu jenis motor bakar dalam yang menggunakan bahan bakar bensin dengan sistem pengapian menggunakan busi [4]. Saat ini efisiensi termal yang optimal

yang bisa dimanfaatkan hanya berkisar antara 25-30%, sedangkan sisanya hanya terbuang ke dalam berbagai bentuk seperti 30-35% terbuang pada gas buang, 30-35% terbuang melalui sistem fluida pendingin, dan 5-10% terbuang akibat gesekan dan lain-lain. Melihat besarnya energi yang terbuang percuma atau tidak termanfaatkan dan semakin langkanya penyediaan energi maupun mahalnya biaya pemakaian energi, maka dilakukan berbagai upaya dalam memanfaatkan berbagai energi alternatif termasuk pemanfaatan panas buang (limbah panas) dari mesin baik mesin bensin atau mesin diesel [5].

Untuk analisa transfer panas yang sempurna, maka perlu memahami tiga mekanisme transfer panas yaitu: konduksi, konveksi dan radiasi. Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor dari suatu partikel ke partikel lainnya dimana keduanya saling bersentuhan. Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan kalor dari satu bagian fluida ke bagian fluida lainnya yang disebabkan oleh adanya pergerakan fluida itu sendiri. Perpindahan panas konveksi terdiri dari dua cara yaitu perpindahan panas konveksi secara alamiah dan perpindahan panas konveksi secara paksa. Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan kalor yang terjadi antara dua badan tanpa melalui medium perantara [6]. Pada gas buang dalam knalpot mesin juga terjadi proses perpindahan panas konveksi paksa karena pergerakan gas buang tersebut diakibatkan oleh gaya dorong torak di dalam mesin [7].

2. Metodologi

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Permesinan Kapal dan Laboratorium Sistem Bangunan Laut, Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2.2 Benda Uji & Alat

Berikut ini merupakan spesifikasi mesin bensin yang menjadi objek penelitian seperti yang ditampilkan pada Gambar 1:

Merk Bensin	: Starke Prima
Tipe Mesin	: 4 Tak
Model	: GX 420
RPM	: 3600
Daya Mesin	: 16 HP
Torsi	: 29.3 N.m

Kapasitas Tangki BB : 6.5 Liter
 SFOC : 260 gr/HP-jam
 Suhu Gas Buang : 200°C

- Panjang pipa (L) = 5m, 7m, 9m
- Menggunakan pipa berbahan tembaga
- Menggunakan wadah berbahan stainless steel



Gambar 1. Mesin Starke Prima

Adapun *software* yang digunakan untuk melakukan simulasi adalah *software Ansys*. *Ansys* adalah sebuah *software* yang dapat memodelkan elemen hingga (*finite element*), bisa digunakan untuk menyelesaikan yang berhubungan dengan mekanika, termasuk di dalamnya masalah statik, dinamik, analisis struktural (baik linier maupun nonlinier), masalah perpindahan panas, masalah fluida dan juga masalah yang berhubungan dengan akustik dan elektromagnetik. Secara umum penyelesaian elemen hingga menggunakan *ansys* dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu *preprocessing*, *solution*, dan *postprocessing*.

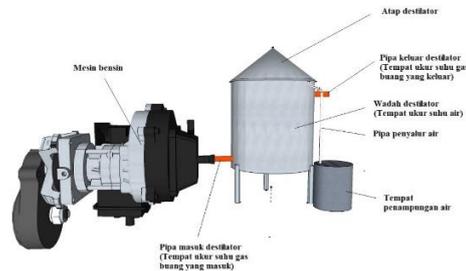


Gambar 2. Software Ansys

2.3 Desain Destilator

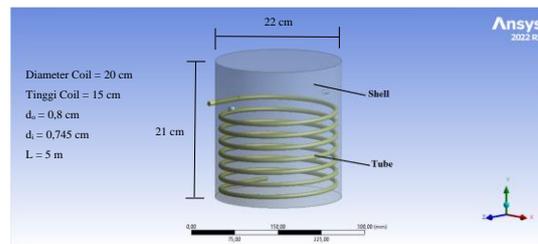
Berikut dimensi destilator yang diperoleh berdasarkan penelitian sebelumnya dengan volume wadah destilator sebesar 9000 cm³ sebagai berikut dan diilustrasikan pada Gambar 3:

- Diameter wadah = 220 mm
- Tinggi wadah = 240 mm
- Diameter helical coil = 200 mm
- Tinggi helical coil = 150 mm
- Diameter luar pipa (d_o) = 8 mm
- Diameter dalam pipa (d_i) = 7,45 mm

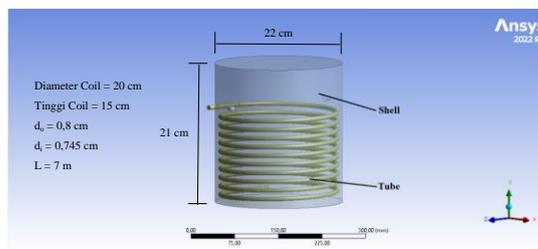


Gambar 3. Desain Destilator

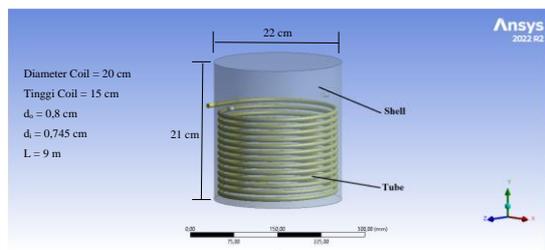
Destilator ini dirancang dengan memanfaatkan panas gas buang mesin bensin secara tidak langsung, dimana gas buang tersebut mengalir melalui pipa masuk destilator sedangkan air laut yang akan didestilasi diletakkan diluar pipa agar tidak terkontaminasi oleh gas buang. Air laut yang dipanasi akan mengalami penguapan, sehingga uap air akan naik ke ruang atap sehingga berubah fase menjadi cair yang selanjutnya akan mengalir melalui plat miring, kemudian disalurkan ke penampungan air hasil destilasi melalui talang yang terpasang di ujung penutup.



Gambar 4. Variasi Panjang 5m



Gambar 5. Variasi Panjang 7m



Gambar 6. Variasi Panjang 9m

Pada gambar desain destilator dari Gambar 4, 5, 6, desain destilator memiliki perbedaan yaitu variasi panjang pipa yang berbeda mulai dari panjang 5m, 7m, dan 9m dengan ukuran diameter pipa yang sama. Adapun tujuan panjang pipa divariasikan adalah untuk mengetahui apakah semakin panjang pipa yang digunakan akan berpengaruh terhadap efektifitas alat penukar kalor.

Adapun dalam pemilihan material pipa yang direncanakan menggunakan bahan yang memiliki nilai konduktivitas termal yang tinggi, sehingga bahan yang cocok digunakan adalah pipa berbahan tembaga. Sedangkan untuk pemilihan material wadah yang direncanakan menggunakan bahan yang memiliki nilai konduktivitas yang rendah, sehingga bahan yang cocok digunakan adalah wadah berbahan stainless steel.

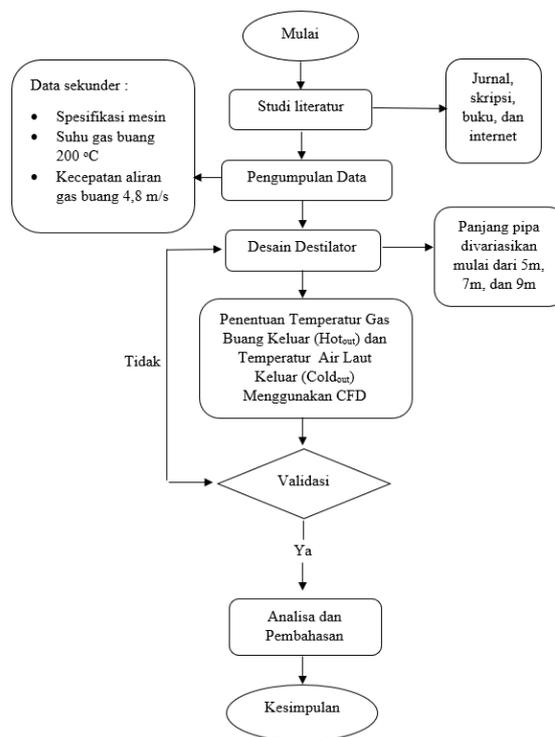
2.4 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode berbasis desain sistem. Metodologi penelitian skripsi ini mencakup semua kegiatan yang diperlukan untuk memecahkan masalah atau melakukan analisis terhadap permasalahan desain sistem. Dibawah ini merupakan diagram alir penelitian yang menjelaskan secara jelas alur penelitian dari awal hingga akhir tahap pengerjaan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penentuan Temperatur Gas Buang Keluar (Hot_{out}) dan Temperatur Air Laut Keluar ($Cold_{out}$)

Dalam analisis termal destilator rancangan ini dihitung dengan model aliran fluida yaitu gas buang knalpot di dalam pipa dan air laut di luar pipa. Pada model aliran fluida yang terdapat pada pipa termasuk aliran fluida searah.

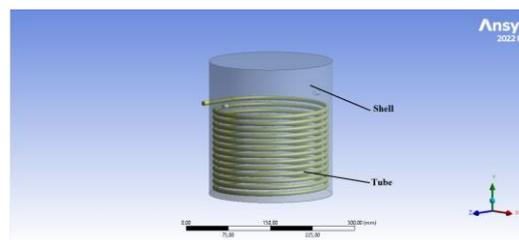


Gambar 7. Diagram Alir Penelitian

Pada perhitungan destilator ini data awal yang diketahui yakni : suhu gas buang masuk (Hot_{in}) : 200°C, suhu air laut masuk ($Cold_{in}$) : 28°C. Untuk mengetahui efektifitas alat penukar kalor pada ketiga model maka diperlukan data suhu tambahan yaitu suhu gas buang keluar (Hot_{out}) dan suhu air laut keluar ($Cold_{out}$). Sehingga untuk mendapatkan data suhu tambahan diatas maka data awal yang telah didapatkan disimulasikan menggunakan software *ansys fluent*.

1) Tahap Geometri

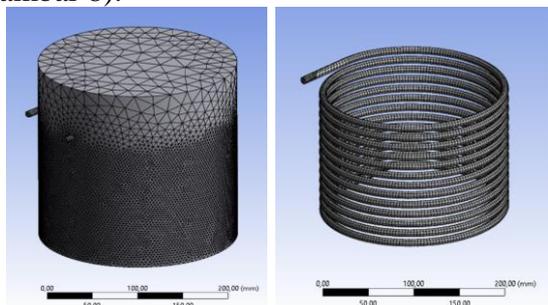
Pada tahap ini model geometri dibuat di Design Modeller Ansys yang selanjutnya akan disimulasikan menggunakan Ansys Fluent (Gambar 7). Kemudian menentukan bagian yang akan disimulasi dalam hal ini pipa destilator untuk melihat kontur yang menunjukkan proses perubahan temperatur.



Gambar 7. Tahapan Desain Geometri

2) Tahap *Meshing*

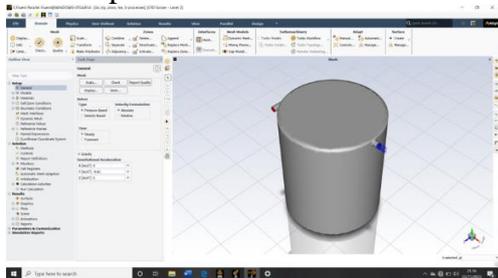
Proses *meshing* adalah salah satu proses yang penting dalam *CFD*, kualitas mesh sangat menentukan hasil keluaran dari simulasi. *Meshing* adalah proses membagi domain menjadi beberapa *cell*. Secara garis besar mesh dibagi menjadi 2 yaitu *mesh* dengan *grid* terstruktur dan *mesh* dengan *grid* tidak terstruktur (Gambar 8).



Gambar 8. Tahapan *Meshing*

3) Tahap *Setup*

Setelah proses *meshing* selesai, selanjutnya masuk ke tahapan *setup*. Adapun proses simulasi yang akan dilakukan menggunakan Ansys Fluent. Proses awal di perangkat lunak Fluent adalah pada bagian domain melakukan *mesh check*, karena penelitian ini aliran fluidanya tunak dan tak termampatkan maka *solver* yang digunakan adalah *steady* dan *pressure based*. *Steady* adalah kondisi sewaktu sifat-sifat suatu sistem tak berubah dengan berjalannya waktu atau dengan kata lain, konstan. Adapun nilai gravitasi di bumi adalah 9,81, pemberian tanda minus berarti arah dari gravitasi berlawanan dengan sumbu Y. Selanjutnya, menentukan model persamaan energi dan jenis aliran pada simulasi. Kemudian menentukan material, jenis fluida dan temperatur aliran. Pengaturan tersebut dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tahap *Setup*

4) Tahap *Solution*

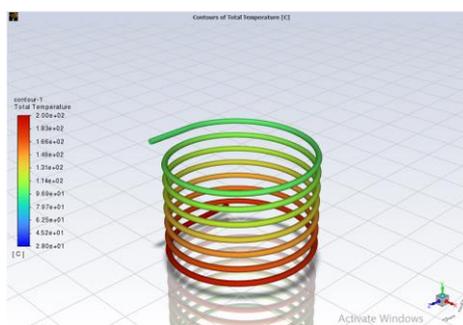
Tahap terakhir adalah memasukan jumlah iterasi sebagai batas atas dari perhitungan yang dilakukan oleh perangkat lunak. Pada perangkat lunak ANSYS Fluent ini jika perhitungan sudah

konvergen di iterasi tertentu maka perhitungan sudah selesai.

5) Tahap *Result*

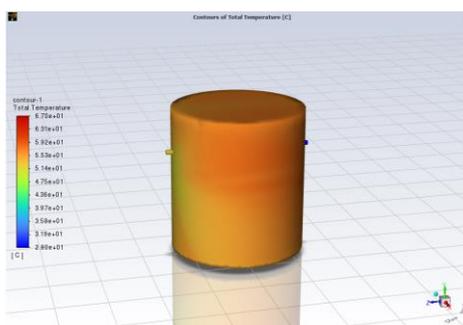
Setelah semuanya selesai maka tahap selanjutnya menampilkan hasil simulasi berupa kontur temperatur untuk melihat proses perubahan temperatur dari inlet menuju outlet.

Dari hasil simulasi menunjukkan kontur yang ada disepanjang pipa, warna menunjukkan perubahan temperatur yang ada di pipa, semakin merah suatu titik, maka menunjukkan temperatur semakin tinggi, sebaliknya semakin warna semakin biru, maka titik tersebut mengalami penurunan temperatur.



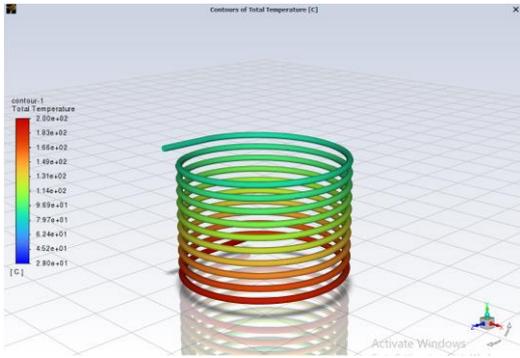
Gambar 10. Kontur Temperatur Pipa Variasi Panjang 5m

Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur fluida panas (gas buang) semakin turun yang mulanya 200°C menjadi 99,54°C akibat efek pendinginan dari fluida dingin (air laut) (Gambar 10).



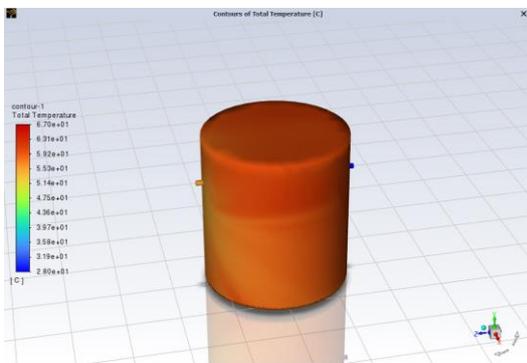
Gambar 11. Kontur Temperatur Wadah Variasi Panjang 5m

Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur fluida dingin (air laut) semakin naik yang mulanya 28°C menjadi 52,127°C akibat efek pemanasan dari fluida panas (gas buang) (Gambar 11).



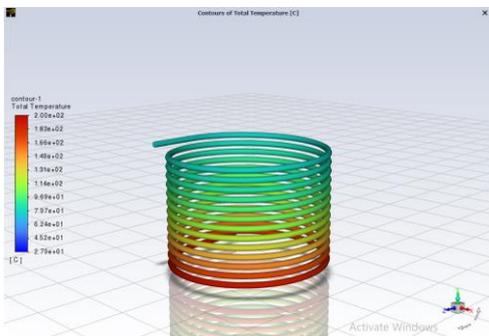
Gambar 12. Kontur Temperatur Pipa Variasi Panjang 7m

Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur fluida panas (gas buang) semakin turun yang mulanya 200°C menjadi 86,745°C akibat efek pendinginan dari fluida dingin (air laut) (Gambar 12).



Gambar 13. Kontur Temperatur Wadah Variasi Panjang 7m

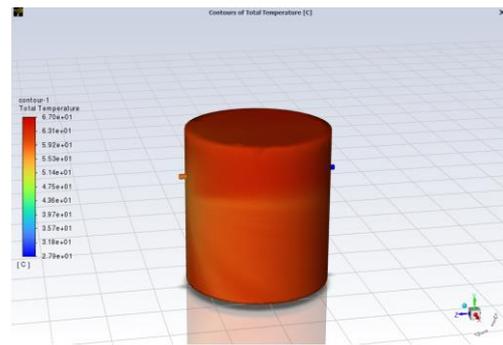
Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur fluida dingin (air laut) semakin naik yang mulanya 28°C menjadi 55,22°C akibat efek pemanasan dari fluida panas (gas buang) (Gambar 13).



Gambar 14. Kontur Temperatur Pipa Variasi Panjang 9m

Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur fluida panas (gas buang) semakin turun yang mulanya 200°C menjadi 79,338°C akibat efek

pendinginan dari fluida dingin (air laut) (Gambar 14).



Gambar 15. Kontur Temperatur Wadah Variasi Panjang 9m

Dari hasil simulasi menunjukkan temperatur fluida dingin (air laut) semakin naik yang mulanya 28°C menjadi 57,032°C akibat efek pemanasan dari fluida panas (gas buang) (Gambar 15). Hasil data simulasi dapat dilihat rangkumannya pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Simulasi

Uraian	Satuan	Destilator		
		Panjang g 5m	Panjang g 7m	Panjang g 9m
Hot_{in}	°C	200	200	200
Hot_{out}	°C	99,54	86,745	79,338
$Cold_{in}$	°C	28	28	28
$Cold_{ou}$	°C	52,127	55,22	57,032

4.2 Analisa Laju Perpindahan Kalor dan Efektifitas Peperindahan Panas

Tabel 2. Tabulasi Hasil Perhitungan Laju Peperindahan Kalor dan Efektifitas Peperindahan Panas Variasi Panjang 5m, 7m, dan 9m

Uraian	Satuan	Destilator		
		Panjang g 5m	Panjang g 7m	Panjang g 9m
Th_i	°C	200	200	200
Th_o	°C	99,54	86,745	79,338
Tc_i	°C	28	28	28
Tc_o	°C	52,166	55,244	57,025
A_o	m ²	0,125	0,175	0,226
A_i	m ²	0,116	0,163	0,21
R_o	°C/W	0,546	0,390	0,303
R_s	°C/W	5,891 x 10 ⁻⁶	4,208 x 10 ⁻⁶	3,273 x 10 ⁻⁶
R_i	°C/W	0,246	0,176	0,137

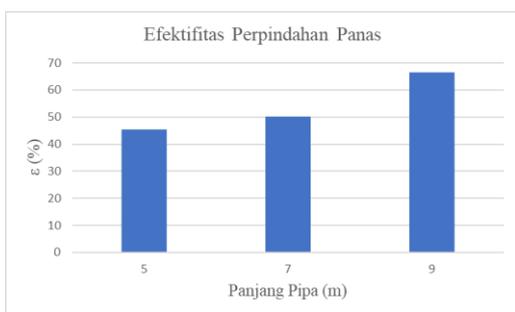
U_o	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	1,232	1,725	2,218
U_i	$W/m^2 \cdot ^\circ C$	1,323	1,853	2,382
ΔT_m	$^\circ C$	96,652	82,769	73,292
Q_o	W	14,964	25,118	36,767
Q_i	W	14,964	25,118	36,767
ϵ	%	45,50	50,19	66,41

Tabel 2 diatas dapat dilihat bahwa semakin besar nilai luas selubung pipa maka nilai efektifitas yang diperoleh semakin besar. Hal ini disebabkan karena semakin besar luas permukaan pipa, semakin besar area kontak yang tersedia untuk perpindahan panas. Hal ini meningkatkan laju perpindahan panas karena lebih banyak panas yang dapat ditransfer dalam waktu yang sama.

Tabel 3 diatas dapat dilihat bahwa luas selubung pipa yang lebih besar mengurangi hambatan termal antara fluida panas dan fluida dingin, sehingga mempengaruhi nilai efektifitas yang didapatkan. Semakin kecil nilai tahanan termalnya, maka nilai efektifitasnya semakin besar.

Dari tabel 3 diatas juga dapat dilihat terjadi peningkatan nilai laju perpindahan kalor. Hal ini disebabkan karena luas selubung pipa makin besar dan nilai koefisien perpindahan kalor menyeluruh makin besar, meskipun nilai beda suhu rata-ratanya (ΔT_m) makin kecil.

Dibawah ini dapat dilihat gambar 14 yang memperlihatkan nilai efektifitas ketiga variasi panjang pipa.



Gambar 16. Grafik Efektifitas Perpindahan Panas Destilator

Dari gambar 16 diatas dapat dilihat bahwa semakin panjang pipa yang digunakan dengan diameter yang sama maka efektifitas perpindahan panasnya semakin besar. Oleh karena itu bisa disimpulkan bahwa destilator dengan panjang pipa sebesar 9 m merupakan

model terbaik. Adapun nilai efektifitas yang diperoleh yakni, efektifitas 66,41%. Hal ini sesuai dengan prinsip efektifitas perpindahan panas yang menyatakan bahwa kinerja suatu alat penukar dapat dinilai dari besaran *effectiveness* (ϵ).

Tabel 3. Validasi Nilai Efektifitas Perpindahan Panas

Variasi panjang g	Metode		
	e CFD (%)	Metode Eksperimen (%)	Persentase Error (%)
5m	45,50	48,38	6,33
7m	50,19	53,38	5,97
9m	66,41	74,23	10,53
Rata-rata	54,03	58,66	7,61

Validasi adalah upaya untuk menunjukkan bahwa data hasil simulasi CFD pada tabel 3 dapat dibuktikan dengan metode eksperimen. Berdasarkan tabel 3 dapat dilihat rata-rata nilai eror berdasarkan hasil perbandingan keduanya sebesar 7,61%.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nilai efektifitas perpindahan panas meningkat seiring dengan penambahan panjang pipa pada sistem dengan diameter tetap sebesar 0,8 cm, yaitu sebesar 45,5% untuk panjang 5 m, 50,19% untuk panjang 7 m, dan 66,41% untuk panjang 9 m. Peningkatan panjang pipa menyebabkan luas selubung pipa juga bertambah, yang secara langsung mempengaruhi laju perpindahan kalor karena semakin banyak panas yang dapat ditransfer dalam waktu yang sama. Dari ketiga variasi tersebut, panjang pipa optimal terdapat pada destilator dengan panjang 9 m, karena luas selubung yang lebih besar mampu mengurangi hambatan termal antara fluida panas dan fluida dingin, serta menghasilkan nilai laju perpindahan kalor tertinggi dibandingkan dengan panjang 5 m dan 7 m. Meskipun nilai beda suhu rata-rata (ΔT_m) pada panjang 9 m lebih kecil, namun hal ini dapat dikompensasi oleh luas perpindahan kalor dan koefisien perpindahan kalor

menyeluruh yang lebih besar, sehingga sistem menjadi lebih efektif.

Referensi

- [1] L. Baride and Y. E. K. Maturbongs, "Desain Destilator Dua Atap Miring dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Diesel," *INTEK J. Penelit.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–6, 2018, doi: 10.31963/intek.v5i1.192.
- [2] N. I. Said, *Pengolahan Payau Menjadi Air Minum dengan Teknologi Reverse Osmosis*. Jakarta: Direktorat Teknologi Lingkungan – BPPT, 2011.
- [3] W. Arismunandar, *Penggerak Mula: Motor Bakar Torak*, 1st ed. Bandung: Penerbit ITB, 1980.
- [4] G. Suhardjito, "Tentang Rencana Umum," 2006.
- [5] A. Mahmudi, "Kajian Potensi dan Pemanfaatan Panas Buang Mesin pada Kendaraan Bermotor," Politeknik Negeri Bandung, 2012.
- [6] J. P. Holman, *Perpindahan Kalor*, 6th ed. Jakarta: Erlangga, 1991.
- [7] S. Rahardjo and J. Al Fijjar, "Peluang Pemanfaatan Panas Gas Buang Mesin Diesel untuk Memanasi Air," in *Prosiding Seminar Nasional & Internasional*, 2004.