

SKRIPSI

**SIMULASI PENGARUH PANJANG PIPA TERHADAP
EFEKTIFITAS DESTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN
ENERGI PANAS GAS BUANG MESIN**

Disusun dan diajukan oleh:

**HENDRA MAHESA
D091191041**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**SIMULASI PENGARUH PANJANG PIPA TERHADAP
EFEKTIFITAS DESTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN
ENERGI PANAS GAS BUANG MESIN**

Disusun dan diajukan oleh

**Hendra Mahesa
D091191041**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 08/08/2021
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

Ir. Syerly Klara, M.T
NIP 19640501 199002 2 001

Dr. Eng. Faisal M, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. IPM
NIP 19810211 200501 1 003



Ketua, Program Studi,

Dr. Eng. Faisal M, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. IPM
NIP 19810211 200501 1 003



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Hendra Mahesa
NIM : D091191041
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{SIMULASI PENGARUH PANJANG PIPA TERHADAP EFEKTIFITAS
DESTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI PANAS GAS BUANG
MESIN}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Agustus 2024

Yang Menyatakan



Hendra Mahesa



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ABSTRAK

HENDRA MAHESA. *SIMULASI PENGARUH PANJANG PIPA TERHADAP EFEKTIFITAS DESTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI PANAS GAS BUANG MESIN* (dibimbing oleh Ir. Syerly Klara, S.T.,M.T. dan Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T.,M.Inf.Tech.,M.Eng.)

Salah satu permasalahan utama yang dihadapi oleh nelayan ketika melaut adalah terbatasnya ketersediaan air tawar diatas 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_{h0}) dan temperatur air keluar (T_{c0}) 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.

Kata Kunci: Destilator, *Software Ansys Fluent*, Panjang Pipa



ABSTRACT

HENDRA MAHESA. *SIMULATION OF THE EFFECT OF PIPE LENGTH ON THE EFFECTIVENESS OF A DISTILLER UTILIZING ENGINE EXHAUST HEAT ENERGY* (supervised by Ir. Syerly Klara, S.T., M.T. and Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng.)

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_{h_o}) and the water exit temperature (T_{c_o}), 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.

Keywords: Distiller, ANSYS Fluent Software, Pipe Length



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	viii
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	2
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Perpindahan Kalor.....	4
2.2 Kebutuhan Air.....	5
2.3 Gas Buang Mesin Bensin.....	6
2.4 Destilasi Air Laut	7
2.5 Aliran Fluida	8
2.6 Konduktivitas Termal	11
2.7 <i>Computational Fluid Dynamic</i>	11
2.8 Analisa Perhitungan	15
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	20
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	20
3.2 Benda Uji dan Alat.....	20
3.3 Desain Destilator.....	22
3.4 Metodologi.....	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	26
4.1 Penentuan Temperatur Gas Buang Keluar (<i>Hot_{out}</i>) dan Temperatur Air Laut Keluar (<i>Cold_{out}</i>).....	26
4.2 Analisa Laju Perpindahan Kalor dan Efektifitas Perpindahan Panas	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA	41



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Aliran Laminar	10
Gambar 2 Aliran Transisi.....	10
Gambar 3 Aliran Turbulen	10
Gambar 4 Mesin Starke Prima	20
Gambar 5 Laptop.....	21
Gambar 6 <i>Software Ansys</i>	22
Gambar 7 Rancangan Destilator	22
Gambar 8 Variasi Panjang 5m	23
Gambar 9 Variasi Panjang 7m	23
Gambar 10 Variasi Panjang 9m	24
Gambar 11 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 12 Tahapan Desain Geometri	26
Gambar 13 Tahapan <i>Meshing</i>	27
Gambar 14 Tahapan <i>Setup</i>	28
Gambar 15 Kontur Temperatur Pipa Variasi Panjang 5m	29
Gambar 16 Kontur Temperatur Wadah Variasi Panjang 5m	29
Gambar 17 Kontur Temperatur Pipa Variasi Panjang 7m	30
Gambar 18 Kontur Temperatur Wadah Variasi Panjang 7m	30
Gambar 19 Kontur Temperatur Pipa Variasi Panjang 9m	31
Gambar 20 Kontur Temperatur Wadah Variasi Panjang 9m	31
Gambar 21 Grafik Efektifitas Perpindahan Panas Destilator.....	38
Gambar 22 Grafik Hubungan Perbedaan Suhu dengan Panjang Pipa	39



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Konduktivitas Termal.....	11
Tabel 2 Standar Kualitas <i>Meshing</i>	14
Tabel 3 Kelebihan dan Kelemahan Model Turbulensi <i>CFD</i>	14
Tabel 4 Data Hasil Simulasi.....	32
Tabel 5 Tabulasi Hasil Perhitungan Laju Perpindahan Kalor dan Efektifitas Perpindahan Panas Variasi Panjang 5m, 7m, dan 9m.....	37
Tabel 6 Validasi Variasi Panjang Pipa.....	39



DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang /Singkatan	Arti dan Satuan
A	Luas permukaan (m^2)
A_o	Luas selubung luar pipa (m^2)
A_i	Luas selubung dalam pipa (m^2)
C_c	Laju kapasitas panas fluida dingin ($W/^\circ C$)
C_h	Laju kapasitas panas fluida panas ($W/^\circ C$)
C_{ph}	Kalor spesifik fluida panas ($kJ/kg.^\circ C$)
C_{pc}	Kalor spesifik fluida dingin ($kJ/kg.^\circ C$)
d_o	Diameter luar pipa (m)
d_i	Diameter dalam pipa (m)
e	Emisivitas benda
h_o	Koefisien perpindahan kalor konveksi di luar pipa ($W/m^2.^\circ C$)
h_i	Koefisien perpindahan kalor konveksi di dalam pipa ($W/m^2.^\circ C$)
k	Konduktivitas termal gas buang ($W/m.^\circ C$)
k_p	Konduktivitas termal pipa ($W/m.^\circ C$)
L	Panjang pipa (m)
ln	Logaritma dengan dasar e
m_c	Laju aliran massa fluida dingin (kg/s)
m_h	Laju aliran massa fluida panas (kg/s)
Nu	Bilangan Nusselt
Pr	Bilangan Prandtl
Q	Laju perpindahan kalor (W)
Q_o	Laju perpindahan kalor di luar pipa (W)
Q_i	Laju perpindahan kalor di dalam pipa (W)
q	Debit aliran (m^3/s)
R	Tahanan termal ($^\circ C/W$)
	Tahanan termal luar pipa ($^\circ C/W$)
	Tahanan termal dalam pipa ($^\circ C/W$)
	Tahanan termal pipa ($^\circ C/W$)



T	Temperatur atau suhu ($^{\circ}\text{C}$)
t	Waktu pengisian (s)
T_{c_i}	Temperatur fluida dingin (air laut) masuk ($^{\circ}\text{C}$)
T_{c_o}	Temperatur fluida dingin (air laut) keluar ($^{\circ}\text{C}$)
T_{h_i}	Temperatur fluida panas (gas buang) masuk ($^{\circ}\text{C}$)
T_{h_o}	Temperatur fluida panas (gas buang) keluar ($^{\circ}\text{C}$)
T_i	Temperatur permukaan dalam pipa ($^{\circ}\text{C}$)
T_o	Temperatur permukaan luar pipa ($^{\circ}\text{C}$)
T_w	Temperatur aliran fluida di dalam pipa ($^{\circ}\text{C}$)
T_{∞}	Temperatur aliran fluida di luar pipa ($^{\circ}\text{C}$)
U_o	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh di permukaan luar pipa ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
U_i	Koefisien perpindahan kalor menyeluruh di permukaan dalam pipa ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
V	Volume air laut (m^3)
v	Kecepatan aliran (m/s)
σ	Konstanta Stefan-Boltzmann, sekitar $5,67 \times 10^{-8}$ ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)
ϵ	Efektivitas perpindahan panas (%)
ρ_c	Massa jenis air laut (kg/m^3)
ρ_h	Massa jenis gas buang (kg/m^3)
μ	Viskositas kinematic (m^2/s)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Tabel sifat termal karbon dioksida	43
Lampiran 2 Tabel sifat termal air laut.....	44
Lampiran 3 Piping Schedule	45



KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala Rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan proposal dengan judul “Simulasi pengaruh panjang pipa terhadap efektivitas destilator dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin”. Salam dan shalawat tak luput saya haturkan kepada baginda Nabi Muhammad SAW.

Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program S1 (Strata Satu) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Meskipun terdapat berbagai kendala selama penelitian namun berkat rahmat Allah SWT serta dukungan dari berbagai pihak, sehingga skripsi ini dapat penulis selesaikan. Oleh sebab itu melalui kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar – besarnya kepada :

1. Ayahanda Arman Landing dan Ibunda Hj. Indo Masse selaku orang tua yang senantiasa selalu memberikan semangat, dukungan, dan doa demi keberlangsungan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Om dan Tante selaku orang tua kedua saya selama di Makassar yang telah berbesar hati memberikan tempat tinggal sekaligus dukungan berupa materi selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Ibu Ir. Syerly Klara, MT selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan, bimbingan, dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.
4. Bapak Dr. Eng Faisal Mahmuddin, ST.M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan banyak waktunya untuk memberikan pengarahan, bimbingan, dan motivasi mulai dari awal penelitian hingga terselesaikannya skripsi ini.



5. Dosen-dosen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu, motivasi serta bimbingannya selama proses perkuliahan.
6. Seluruh saudara-saudari mahasiswa prodi Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Khususnya, kawan-kawan Pondok Salsa yang yang senantiasa mejadi teman belajar, teman cerita, dan teman bercanda, serta waktu yang telah dilalui bersama selama ini.
7. Semua pihak yang tidak sempat saya sebutkan namun memiliki peranan yang tidak kalah penting dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis mengakui, skripsi ini masih sangat jauh dari kata sempurna, semua karena keterbatasan waktu dan pengetahuan serta kemampuan penulis sebagai manusia biasa. Untuk itu penulis mohon maaf atas semua kekurangan dan kesalahan yang terjadi di dalam penulisan skripsi ini, penulis berharap masukan dan saran agar ke depannya penulis dapat lebih baik lagi.

Akhir kata penulis berharap agar semuanya dapat mendapatkan balasan dari Allah SWT dengan pahala yang berlipat ganda. Amiin Ya Rabbal Alamiinn.

Makassar, Juli 2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 hasil wawancara yang telah dilakukan dengan salah satu nelayan di Pelabuhan Paotere, diketahui bahwa nelayan bisa melaut hingga sehari-hari tergantung hasil tangkapan yang didapat. Meskipun begitu, nelayan masih mengandalkan pasokan air tawar yang diperoleh dari darat. Pasokan air tawar tersebut masih sangat kurang untuk jumlah awak kapal yang bisa mencapai 10 orang, sehingga penggunaannya terbatas untuk kebutuhan minum dan memasak.

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.

Umumnya distribusi energi yang dihasilkan oleh setiap mesin termal terdiri dari 4 bagian. Dari 100 persen energi yang dihasilkan oleh pembakaran, hanya 20 persen yang bisa digunakan untuk menghasilkan daya poros, sedangkan sisanya hanya terbuang. Diantara yang terbuang, terdapat 30 persen energi yang keluar bersama dengan gas pembuangan (Harman & Hamarung, 2018). Energi panas gas buang tersebut bisa dimanfaatkan kembali menjadi sumber energi untuk proses destilasi.

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian dengan memanfaatkan panas gas buang mesin penggerak kapal dengan membuat desain



tipe destilator. Selain itu, pada penelitian sebelumnya juga telah dilihat pengaruh bentuk dan kemiringan penutup distilator terhadap jumlah destilasi. 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. Dari uraian tersebut, maka penulis akan meneliti mengenai "Pengaruh panjang pipa terhadap efektivitas destilator dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin bensin".

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang dapat dikemukakan pada studi ini yaitu :

1. Bagaimana pengaruh penambahan panjang pipa terhadap efektivitas destilator ?
2. Berapa panjang pipa optimal untuk mencapai efektivitas destilasi yang baik ?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh penambahan panjang pipa terhadap efektivitas destilator.
2. Mengetahui panjang pipa optimal untuk mencapai efektivitas destilasi yang baik.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Manfaat dari penelitian ini adalah :

menghasilkan desain destilator yang lebih baik sebagai alternatif penyediaan tawar.



2. Dengan adanya desain destilator ini maka polusi gas buang yang dihasilkan oleh mesin dapat dimanfaatkan kembali menjadi sumber energi untuk proses destilasi.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Ruang lingkup dari penelitian ini mencakup:

1. Pada penelitian ini, panjang pipa akan divariasikan mulai dari 5m, 7m, dan maksimal 9m sesuai dengan ukuran wadah yang digunakan.
2. Mesin yang akan digunakan sebagai objek penelitian adalah mesin bensin merek Starke Prima.
3. Penelitian ini menggunakan permodelan *CFD* pada aplikasi *ANSYS*.

Ruang lingkup ini tidak mencakup pembuatan dan pengujian prototipe destilator.



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perpindahan Kalor

Gas buang yang dihasilkan oleh mesin penggerak kapal mengalir secara turbulen pada saluran gas buang mesin. Energi panas yang dihasilkan oleh gas buang tersebut berpindah ke dinding *heat exchanger* secara konduksi, konveksi dan radiasi. Energi panas yang diterima oleh dinding luar *heat exchanger* kemudian diteruskan ke dinding dalam *heat exchanger* dengan cara perpindahan panas konduksi. Setelah itu, energi panas yang terdapat pada dinding dalam *heat exchanger* diteruskan ke air dengan cara konduksi, konveksi dan radiasi (Tirtoatmodjo, 1999).

Selain itu, pada gas buang dalam knalpot mesin juga terjadi proses perpindahan panas. Perpindahan panas tersebut merupakan proses perpindahan panas konveksi paksa karena pergerakan gas buang tersebut diakibatkan oleh gaya dorong torak di dalam mesin (Rahardjo & Al Fijar, 2004).

Rumus Perpindahan Kalor Konduksi (Holman, 1991)

Perpindahan kalor konduksi adalah perpindahan kalor dari suatu partikel ke partikel lainnya dimana keduanya saling bersentuhan. Adapun besar laju perpindahan panasnya yaitu :

$$q = -K \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

Dimana :

q = jumlah kalor yang dipindahkan (W)

K = konduktivitas termal material (W/m.°C)

A = luas penampang tegak lurus arah perpindahan panas (m²)

$\frac{dT}{dx}$ = perubahan suhu terhadap jarak (°C/m)

Rumus Perpindahan Kalor Konveksi (Holman, 1991)

Perpindahan kalor konveksi adalah perpindahan kalor dari satu bagian fluida ke 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. Adapun besar laju perpindahan panasnya yaitu :

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2)$$

Dimana :

q = jumlah kalor yang dipindahkan (W)

h = koefisien perpindahan panas konvektif ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = luas permukaan (m^2)

ΔT = perbedaan suhu antara permukaan yang memancarkan panas dengan lingkungan sekitarnya ($^\circ C$)

Rumus Perpindahan Kalor Radiasi (Holman, 1991)

Perpindahan kalor radiasi adalah perpindahan kalor yang terjadi antara dua badan tanpa melalui medium perantara. Adapun besar energi yang dipancarkan per satuan luas yaitu :

$$q = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (3)$$

Dimana :

q = jumlah kalor yang dipindahkan (W)

e = emisivitas benda, yang merupakan faktor yang menentukan seberapa baik suatu benda memancarkan radiasi

σ = konstanta Stefan-Boltzmann, sekitar $5,67 \times 10^{-8}$ ($W/m^2 \cdot K^4$)

A = luas permukaan (m^2)

T^4 = suhu keempat ($^\circ C$)

2.2 Kebutuhan Air

Air bersih merupakan salah satu kebutuhan pokok penting manusia. Seiring meningkatnya peradaban manusia, kebutuhan akan air bersih juga meningkat. Pada awalnya manusia hanya membutuhkan 5 liter air perhari untuk kebutuhan makan dan minum saja, namun seiring akan perkembangan peradaban, kebutuhan makin meningkat mulai dari cuci piring dan gelas, cuci pakaian serta mandi bahkan untuk ihkan barang-barang lainnya. Sehingga jika dikalkulasi, kebutuhan air um berkisar antara 120-150 liter dalam 24 jam (SNI, 2005).



Secara naluriah, jika kebutuhan air meningkat namun persediaan air yang tersedia terbatas, maka manusia akan berusaha mencari cara bagaimana untuk mengefisienkan serta mengefektifkan penggunaan air. Sebagai contoh, untuk melarutkan lemak, air hangat dan sabun lebih baik digunakan ketimbang menggunakan air dingin. Jadi untuk mencuci piring yang berlemak, sebaiknya menggunakan air hangat ketimbang menggunakan air dingin. Selain penggunaan yang lebih efektif, air yang digunakan untuk mencuci piring lebih hemat dan efisien. Selain itu, air hangat biasa juga digunakan untuk mandi guna memberikan kenyamanan dan demi kesehatan (Tirtoatmodjo, 1999).

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 (Suhardjito, 2006).

2.3 Gas Buang Mesin Bensin

Motor bakar adalah salah satu jenis mesin kalor yang banyak digunakan saat ini. Sedangkan mesin kalor adalah mesin yang mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanis. Energi panas tersebut diperoleh dari hasil pembakaran. Jika dilihat dari cara untuk memperoleh energi panas, mesin kalor dapat dibedakan menjadi dua yaitu mesin dengan pembakaran dalam dan mesin dengan pembakaran luar (Arismunandar, 1980).

Mesin pembakaran dalam merupakan mesin pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam mesin dan gas pembakaran yang terjadi berfungsi sebagai fluida kerja. Mesin pembakaran dalam umumnya disebut motor bakar. Jadi motor bakar adalah mesin kalor yang menggunakan gas panas hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin untuk melakukan kerja mekanis. Mesin pembakaran luar merupakan mesin pembakaran bahan bakar yang terjadi di luar mesin dan energi panas dari gas

panas dipindahkan ke fluida mesin melalui beberapa dinding pemisah, misalnya air pendingin. Mesin bensin adalah salah satu jenis motor bakar dalam yang



menggunakan bahan bakar bensin dengan sistem pengapian menggunakan busi (Arismunandar, 1980).

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 (Mahmudi, 2012).

2.4 Destilasi Air Laut

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 laut (Baride, 2018).

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 100°C tekanan atmosfer, namun titik didih dapat di bawah 100°C 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 (Idaman Said, 2011).

Penguapan (evaporasi) adalah perubahan suatu zat cair menjadi uap. Penguapan juga bisa diartikan sebagai perpindahan massa zat cair ke atas dengan radien temperatur antara permukaan zat cair dengan udara di atasnya. rian kalor tersebut merupakan perpindahan kalor secara konveksi alami. rjadi akibat adanya efek gaya apung yang bekerja pada fluida. Efek gaya



apung tersebut merupakan mekanisme yang terjadi karena adanya gradient massa jenis. Massa jenis akan menurun apabila temperatur fluida meningkat, begitupun sebaliknya massa jenis akan meningkat apabila massa temperatur fluida menurun. Fluida yang ringan memiliki massa jenis yang rendah sehingga akan menempati posisi yang lebih atas. Temperatur fluida akan terus meningkat apabila terus diberikan panas dan massa jenisnya akan terus menurun sehingga terjadilah penguapan (Baride, 2018).

Peristiwa kondensasi terjadi ketika perubahan fase, dimana pada peristiwa kondensasi terjadi perubahan fase dari fase uap menjadi fase cair. Kondensasi juga bisa terjadi karena uap jenuh bersentuhan dengan permukaan yang dingin (suhu permukaan suatu plat lebih rendah dari suhu jenuh uap) akan terjadi kondensasi pada permukaan plat, hal ini berarti uap jenuh tersebut melepaskan kalor latennya, dan karena pengaruh gravitasi kondensat tersebut akan mengalir kebawah (Baride, 2018).

Masalah yang kadang muncul pada semua jenis sistem distilasi adalah kerak dan korosi pada peralatan efisiensi panas dan produksi air tawar akan berkurang apabila terdapat kerak pada tube penukar panas evaporator. Sehingga mengakibatkan proses destilasi harus dihentikan sementara hingga kerak yang terdapat pada tube dibersihkan menggunakan asam. Penerapan pengolahan yang efektif sangat diperlukan (Idaman Said, 2011).

Korosi (karat) bisa menjadi penghambat proses destilasi dan dapat merusak peralatan dan perpipaan, sehingga bisa mengakibatkan sistem destilasi tidak dapat berfungsi dan biaya dan waktu yang tidak sedikit pada saat perbaikan. Ketika hal itu terjadi produksi air tawar akan terhenti selama periode itu. Oleh karena itu pemilihan bahan merupakan salah satu faktor dalam pembuatan sistem destilasi (Idaman Said, 2011).

2.5 Aliran Fluida

Aliran fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda-benda kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat,



akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan (Aznam Barun dan Eko Rukmana, 2010).

Menurut hukum newton sebuah aliran fluida jika dilihat dari pergerakannya dapat dibedakan menjadi tiga aliran yaitu aliran laminar, aliran turbulen dan transisi. Aliran laminar adalah sebuah aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan atau lamina-lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relatif antara lapisan. Sedangkan aliran turbulen adalah aliran dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antara lapisan yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Sedangkan aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen (Aznam Barun dan Eko Rukmana, 2010).

Zat padat mempertahankan suatu bentuk dan ukuran yang tetap, sekalipun suatu gaya yang besar diberikan pada zat padat tersebut, zat padat tidak mudah berubah bentuk maupun volumenya, sedangkan zat cair dan gas, zat cair tidak mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah hanya jika diberikan padanya gaya yang sangat besar. Gas tidak mempunyai bentuk maupun volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena fase cair dan gas tidak mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya mempunyai kemampuan untuk mengalir. Dengan demikian kedua – duanya sering secara kolektif disebut sebagai fluida (Olson, 1990).

Secara garis besar jenis aliran dapat dibedakan atau dikelompokkan sebagai berikut (Olson, 1990):

- Aliran Tunak (*steady*)

Suatu aliran dimana kecepatannya tidak terpengaruh oleh perubahan waktu sehingga kecepatan konstan pada setiap titik (tidak mempunyai percepatan).

- Aliran Tidak Tunak (*unsteady*)

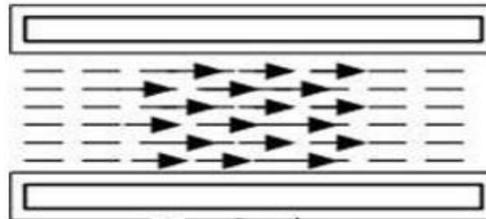
Suatu aliran dimana terjadi perubahan kecepatan terhadap waktu.



apun tipe-tipe aliran sebagai berikut :

ran Laminar

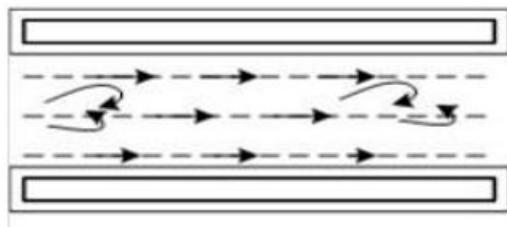
Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan Reynoldsnnya kurang dari 2300 ($Re < 2300$).



Gambar 1 Aliran Laminar

- Aliran transisi

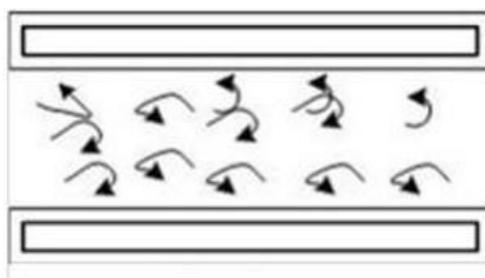
Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldsnnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).



Gambar 2 Aliran Transisi

- Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dimana nilai bilangan Renoldsnnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).



Gambar 3 Aliran Turbulen



Bilangan Reynolds merupakan bilangan yang tak berdimensi yang dapat membedakan suatu aliran dinamakan laminar, transisi dan turbulen.

$$Re = \frac{v.d.\rho}{\mu} \quad (4)$$

2.6 Konduktivitas Termal

Konduktivitas termal adalah suatu besaran intensif bahan yang menunjukkan kemampuannya untuk menghantarkan panas. Konduktivitas termal adalah suatu fenomena transport dimana perbedaan temperatur menyebabkan transfer energi termal dari satu daerah benda panas ke daerah yang sama pada temperatur yang lebih rendah. Panas yang ditransfer dari satu titik ke titik lain melalui salah satu dari tiga metode yaitu konduksi, konveksi dan radiasi (Olson, 1990).

Tabel 1 Data Konduktivitas Termal

Material	Thermal Conductivity W/m.K
Copper	385
Aluminium	202
Carbon Steel 1% C	43
Chrome Steel 20% Cr	22,5
Chrome Nickel Steel	16,3
Concrete	1,13
Glass	0,78
Water	0,556
Asbestos	0,11
Air	0,024

Sumber : Olson (1990)

2.7 Computational Fluid Dynamic

2.7.1 Perbandingan CFD dan Eksperimen



Sebagai sebuah algoritma, CFD tidak sepenuhnya dapat menggantikan eksperimen secara eksperimen, tetapi jumlah dan biaya eksperimen yang dilakukan

dapat berkurang sangat signifikan. Dalam hal ini perbandingan antar CFD dan eksperimen adalah sebagai berikut : (Pria Utama dan Ridho Hantoro, 2012)

Eksperimen :

- Biaya mahal
- Membutuhkan waktu persiapan yang lebih lama
- Bersifat sekuensial
- Memiliki tujuan tunggal

Sedangkan pada sisi CFD :

- Biaya lebih murah
- Lebih cepat dilakukan
- Dapat dikerjakan secara paralel
- Dapat digunakan untuk tujuan yang lebih dari satu

2.7.2 Tahapan Simulasi CFD

Adapun proses simulasi CFD adalah sebagai berikut : (Pria Utama dan Ridho Hantoro, 2012)

1) Permodelan Geometri *Glider*

Pada tahap ini meliputi :

- Pembuatan *scetch node/garis/bidang*
- Operasi-operasi geometri (*extrude/substract/add/dll*)

2) *Meshing* Geometri

Pada tahap ini meliputi :

- Pendefinisian nama-nama *boundary condition*
- Pemilihan *element* dan ukuran *meshing*

3) *Setting Boundary Conditions* dan *Solver*

Pada tahap ini meliputi :

- Pemilihan *Simulation*
- Pemilihan *Turbulence Model*
- Pemilihan jenis Fluida



- Pendefinisian kondisi pada *boundary condition* (*Inlet/Outlet/Wall/outlet/opening/dll*)
- Parameter konvergensi (*RMS Error/iterasi*)

4) *Post Processing* dan Hasil

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data *numeric/grafik/visualisasi*

5) Validasi dan verifikasi

Validasi merupakan terminologi untuk menunjukkan tingkat kebenaran dari simulasi yang dilakukan. Untuk mengetahui tingkat kevalidan dapat dilakukan dengan beberapa metode :

- Memastikan semua *boundary condition* dan inisialisasi telah sesuai dengan teori dan kasus yang ditinjau
- Membandingkan dengan sebuah acuan/standar yang telah ada dengan referensi yang jelas.

2.7.3 *Meshing*

Proses *meshing* bertujuan untuk membagi solution domain menjadi bagian bagian yang lebih kecil lagi yang disebut dengan *cell*. Keakuratan dan perhitungan tergantung dari dan ukuran serta struktur *cell*. Proses perhitungan yaitu melalui iterasi diantara *cell-cell* dalam *mesh*. Jumlah pembagian *mesh* ini nantinya akan menentukan keakuratan dari hasil komputasi numerik yang dilakukan. Semakin halus hasil *meshing* maka hasil komputasi numerik akan semakin akurat, namun waktu proses komputasi numerik akan menjadi lebih lama. *Software Ansys Fluent* akan menyeimbangkan gaya dan aliran-aliran massa pada setiap *cell* hingga *error* dapat diprediksi dan diperkecil. Kualitas *meshing* dapat diukur menggunakan *mesh metric* (Pria Utama dan Ridho Hantoro, 2012). Skala kualitas *meshing* untuk *mesh metric skewness* ditunjukkan pada Tabel 2.



Tabel 2 Standar Kualitas *Meshing*

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Sumber : Pria Utama dan Ridho Hantoro (2012)

2.7.4 Turbulensi

Turbulensi merupakan fenomena aliran fluida yang sering ditemukan dalam berbagai aplikasi industri. Aliran turbulensi sering ditemukan pada penukar kalor, reaktor kimia, kecepatan aliran yang melewati turbin air. Dalam CFD salah terdapat beberapa jenis model turbulensi (Pria Utama dan Ridho Hantoro, 2012). Kelebihan dan kelemahan model turbulensi CFD dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 3 Kelebihan dan Kelemahan Model Turbulensi *CFD*

Model Turbulensi	Kelebihan	Kelemahan
<i>Realizable k-ε model</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lebih akurat untuk memprediksi laju penyebaran fluida 2. bagus untuk aliran yang melibatkan putaran, lapisan batas gradien tekanan yang besar, separasi, dan resirkulasi 	Terbentuknya viskositas turbulen non-fisik pada kasus dimana domain perhitungan mengandung zona fluida yang diam dan berputar (<i>multiple reference frame, sliding mesh</i>)
<i>k-ω model</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tidak membutuhkan fungsi dinding 2. Berfungsi baik pada aliran terpisah 	Butuh <i>mesh</i> yang baik pada daerah dekat dinding.
<i>Shear Stress Transport</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menggunakan <i>k-ε model</i> pada aliran bebas dan <i>k-ω</i> pada daerah dekat dinding 2. Berfungsi sangat baik pada tekanan terpisah 3. Banyak disarankan untuk menggantikan <i>k-ε model</i> 	Butuh <i>mesh</i> yang baik pada daerah yang dekat dengan dinding



: Pria Utama dan Ridho Hantoro (2012)

2.8 Analisa Perhitungan

Pada rancangan ini, dibahas tentang perpindahan panas dinding berbentuk pipa. Perpindahan panas terjadi karena ada perbedaan suhu. Bilangan Prandtl yang digunakan untuk membandingkan ketebalan lapis batas kecepatan dengan lapis batas termal.

Bilangan Prandtl (Pr) dinyatakan dengan persamaan :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (5)$$

Dimana :

μ = Viskositas kinematik (m^2/s)

C_{ph} = Kalor spesifik fluida panas ($kJ/kg.^{\circ}C$)

k = Konduktivitas thermal ($W/m.^{\circ}C$)

Perpindahan kalor pada suatu lapisan fluida dapat terjadi melalui konduksi dan konveksi. Bilangan Nusselt (Nu) digunakan untuk membandingkan perpindahan kalor konveksi dengan perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida tersebut. Persamaan yang digunakan:

$$Nu = 0,023 Pr^{0,4} Re^{0,8} \quad (6)$$

Dimana :

Pr = Bilangan Prandlt

Re = Bilangan Reynold

Konduktansi termal (h), persamaan yang di gunakan adalah :

$$h = Nu \frac{k}{d_i} \quad (7)$$

Dimana :

Nu = Bilangan nusselt

k = Konduktivitas thermal ($W/m.^{\circ}C$)

d_i = Diameter dalam pipa (m)

Untuk membedakan apakah aliran dalam pipa atau tabung bersifat laminar atau turbulen, digunakan bilangan Reynolds (Re) :

$$Re = \frac{v d_i}{\mu} \quad (8)$$



Dimana :

ρ = massa jenis gas buang (kg/m^3)

v = kecepatan aliran (m/s)

$$\text{- Luas selubung luar pipa (A}_o\text{)} = \pi \cdot d_o \cdot L \quad (9)$$

$$\text{- Luas selubung dalam pipa (A}_i\text{)} = \pi \cdot d_i \cdot L \quad (10)$$

Dimana :

d_o = diameter luar pipa (m)

d_i = diameter dalam pipa (m)

L = panjang pipa (m)

Jenis tahanan termal yang terjadi pada sistem pendingin (cooler) yaitu :

Tahanan termal di bagian dalam pipa (R_i)

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{h_i 2\pi r_i} \quad (11)$$

Dimana :

h_i = koefisien perpindahan kalor dalam pipa ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)

r_i = jari-jari dalam pipa (m)

Tahanan termal pipa (R_s)

$$R_s = \frac{\ln(d_o/d_i)}{2 \pi k_p L} \quad (12)$$

Tahanan termal bagian luar pipa (R_o)

$$R_o = \frac{1}{h_o \times A_o} = \frac{1}{h_o 2\pi r_o} \quad (13)$$

Dalam aliran laminar, koefisien perpindahan panas di luar pipa ditentukan oleh h_o dan dapat dijabarkan dalam hubungan sederhana sebagai berikut.:

$$h_o = 1,32 \times \left[\frac{T_o - T_\infty}{d_o} \right]^{1/4} \quad (14)$$

T_o ialah suhu permukaan luar pipa dan T_w adalah suhu air pendingin, neraca energi mensyaratkan :



$$\frac{T_i - T_o}{R_s} = \frac{T_o - T_\infty}{R_o} \quad (15)$$

i perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan luar

$$U_o = \frac{1}{[R_1 \times A_o / A_i] + [A_o \times R_S] + [R_o]} \quad (19)$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan dalam pipa

$$U_i = \frac{1}{[R_o \times A_i / A_o] + [A_i \times R_S] + [R_i]} \quad (20)$$

Beda Suhu Rata-rata Log (LMTD)

Pada umumnya, suhu fluida dalam penukar kalor tidak konstan dan berbeda di titik yang berbeda saat panas mengalir dari fluida yang lebih dingin. Oleh karena itu, laju aliran panas dalam penukar kalor dengan tahanan termal yang konstan akan bervariasi sepanjang lintasan dan tergantung pada beda suhu antara fluida panas dan dingin pada penampang tertentu. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung perpindahan kalor dalam penukar kalor pipa ganda sejajar atau berlawanan arah.

$$Q = U \times A \times \Delta T_m \quad (21)$$

Dimana :

U = koefisien perpindahan kalor menyeluruh ($w/m^2 \cdot ^\circ C$)

A = Luas permukaan perpindahan kalor (m^2)

ΔT_m = Beda suhu rata-rata ($^\circ C$)

LMTD untuk aliran searah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta T_m = \frac{(Th_1 - Tc_1) - (Th_2 - Tc_2)}{\ln \frac{(Th_1 - Tc_1)}{(Th_2 - Tc_2)}} \quad (22)$$

Dimana :

Tc_1 = temperatur fluida dingin (air laut) masuk ($^\circ C$)

Tc_2 = temperatur fluida dingin (air laut) keluar ($^\circ C$)

Th_1 = temperatur fluida panas (gas buang) masuk ($^\circ C$)

Th_2 = temperatur fluida panas (gas buang) keluar ($^\circ C$)



perpindahan panas aktual dalam penukar panas aliran lawan arah dapat dihitung dengan menghitung energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diserap oleh fluida dingin (Tirtoadmodjo, 1999).

Pendekatan LMTD dalam analisis penukar kalor berguna bila suhu masuk dan suhu keluar diketahui atau dapat ditentukan dengan mudah, sehingga LMTD dapat dengan mudah dihitung, dan aliran kalor, luas permukaan, dan koefisien perpindahan kalor menyeluruh dapat ditentukan. Bila kita harus menentukan suhu masuk dan suhu keluar, analisis kita akan melibatkan proses iterasi karena LMTD itu adalah suatu fungsi logaritma. Dalam hal demikian, analisis akan lebih mudah dilaksanakan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efisiensi penukar kalor dalam memindahkan sejumlah kalor tertentu. Metode efisiensi ini mempunyai beberapa keuntungan untuk menganalisis permasalahan dimana kita harus membandingkan berbagai jenis penukar kalor guna memilih yang terbaik untuk melaksanakan suatu tugas pemindahan kalor tertentu.

Efisiensi penukar kalor didefinisikan sebagai berikut (J.P Holman 1993) :

$$\text{Efektivitas} = \frac{\text{perpindahan kalor yang nyata}}{\text{perpindahan kalor maksimal yang mungkin}}$$

Untuk mengetahui efektifitas dari alat penukar kalor aliran searah adalah sebagai berikut :

Laju kapasitas panas fluida panas (C_h) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C_h = m_h \cdot c_{ph} \quad (23)$$

Laju kapasitas panas fluida dingin (C_c) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$C_c = m_c \cdot c_{pc} \quad (24)$$

Laju perpindahan panas maksimum yang mungkin terjadi dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{\text{maks}} = C_{\text{min}} (T_{h1} - T_{c1}) \quad (25)$$

Laju perpindahan panas aktual dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{\text{akt}} = C_c (T_{c2} - T_{c1}) \quad (26)$$

Dimana :

m_h = laju aliran massa fluida panas (kg/s)

$$= q_h \cdot \rho_h \quad (27)$$

q_h = debit aliran gas buang (m^3/s)

$$= q_h \cdot v \quad (28)$$

v = massa jenis gas buang (kg/m^3)

m_c = laju aliran massa fluida dingin (kg/s)

$$= m_c \cdot \rho_c \quad (29)$$



$$\begin{aligned}q_c &= \text{debit aliran air laut (m}^3/\text{s)} \\ &= V/t \\ V &= \text{Volume air laut (m}^3) \\ t &= \text{waktu yang dibutuhkan (s)} \\ \rho_c &= \text{massa jenis air laut (kg/m}^3) \\ C_{ph} &= \text{k calor spesifik fluida panas (kJ/kg.}^\circ\text{C)} \\ C_{pc} &= \text{k calor spesifik fluida dingin (kJ/kg.}^\circ\text{C)}\end{aligned}\tag{30}$$

Efektifitas perpindahan panas dihitung menggunakan persamaan :

$$\epsilon = \frac{Q_{akt}}{Q_{maks}}\tag{31}$$

