

SKRIPSI

**PENGUJIAN DESTILATOR DENGAN VARIASI PANJANG
PIPA TERHADAP HASIL DESTILASI DENGAN
MEMANFAATKAN ENERGI PANAS GAS BUANG MESIN**

Disusun dan diajukan oleh:

**ADRIANSYAH
D091191021**



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

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PENGUJIAN DESTILATOR DENGAN VARIASI PANJANG PIPA TERHADAP HASIL DESTILASI DENGAN MEMANFAATKAN ENERGI PANAS GAS BUANG MESIN

Disusun dan diajukan oleh

Adriansyah
D091191021

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 06. Agustus. 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


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


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

Ketua Program Studi,


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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Adriansyah
NIM : D091191023
Program Studi : Teknik Sistem Perkapalan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(PENGUJIAN DESTILATOR DENGAN VARIASI PANJANG PIPA
TERHADAP HASIL DESTILASI 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

Menyatakan

Adriansyah



ABSTRAK

ADRIANSYAH. *Pengujian Destilator Dengan Variasi Panjang Pipa Terhadap Hasil Destilasi Dengan Memanfaatkan Energi Panas Gas Buang Mesin (dibimbing oleh Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. dan Ir. Syerly Klara, M.T.)*

Ketersediaan air tawar adalah salah satu permasalahan yang dihadapi oleh masyarakat pesisir dan nelayan terutama bagi masyarakat di pulau-pulau kecil. 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 hasil destilasi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa terhadap hasil destilasi dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin. Penelitian ini menggunakan prototipe destilator dengan memvariasikan panjang pipa yaitu : 5 meter, 7 meter, dan 9 meter untuk memperoleh banyaknya hasil destilasi. Dari hasil penelitian pada variasi panjang pipa 5 meter memperoleh hasil destilasi sebesar 26 ml, variasi panjang pipa 7 meter sebesar 50 ml, variasi panjang pipa 9 meter sebesar 70 ml. Adapun volume hasil destilasi yang paling baik yaitu pada panjang pipa 9 meter sebesar 70 ml dengan 1500 RPM selama 60 menit, laju perpindahan panas sebesar 26,53 W dengan efektivitas sebesar 78,13 %. Terjadi peningkatan hasil destilasi seiring penambahan ukuran panjang pipa dengan ukuran diameter yang sama sebesar 0,8 cm, sehingga luas selubung pipa juga semakin besar yang mempengaruhi laju perpindahan panas yang mengakibatkan suhu air laut semakin naik dan menghasilkan destilasi yang semakin besar pula.

Kata Kunci: Prototipe, Panjang pipa, Destilasi



ABSTRACT

ADRIANSYAH. *Testing of a Distillator with Varying Pipe Lengths on Distillation Results by Utilizing the Heat Energy of Engine Exhaust Gas* (supervised by Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng. and Ir. Syerly Klara, M.T.)

The availability of fresh water is one of the problems faced by coastal communities and fishermen, especially for communities on small islands. In previous research, research has been carried out by utilizing the heat of the exhaust gas of the ship's propulsion engine by making a design and prototype of a distillator. However, the research found problems in the length of the pipe used, thus affecting the distillation results. The purpose of this study is to determine the effect of variations in pipe length on distillation results by utilizing engine exhaust heat energy. This research uses a prototype distillator by varying the length of the pipe, namely: 5 meters, 7 meters, and 9 meters to obtain the number of distillation results. From the results of the research on the variation of pipe length of 5 meters obtained a distillation yield of 26 ml, variation of pipe length of 7 meters by 50 ml, variation of pipe length of 9 meters by 70 ml. The best distillation volume is at a pipe length of 9 meters of 70 ml with 1500 RPM for 60 minutes, a heat transfer rate of 26.53 W with an effectiveness of 78.13%. There is an increase in distillation results as the size of the pipe length increases with the same diameter of 0.8 cm, so that the pipe sheath area is also getting bigger which affects the heat transfer rate which results in the temperature of seawater rising and producing greater distillation as well.

Keywords: Prototype, Pipe length, Distillation



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Desalinasi.....	4
2.2 Destilasi air laut.....	5
2.3 Pemanfaatan gas buang.....	6
2.4 Perpindahan Kalor.....	7
2.5 Aliran Fluida.....	8
2.5 Konduktivitas Termal.....	11
2.6 Analisa Perhitungan.....	11
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	17
3.2 Pembuatan Prototipe Destilator.....	17
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	21
3.4 Tahapan Pengujian Prototipe.....	24
3.5 Metode Analisis Data.....	25
3.6 Kerangka pemikiran.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Hasil Pengujian Prototipe destilator.....	27
4.2 Perhitungan Perpindahan Panas Pada Destilator.....	29
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Klasifikasi Proses Desalinasi	4
Gambar 2 Aliran Laminer	10
Gambar 3 Aliran Transisi.....	10
Gambar 4 Aliran Turbulen	10
Gambar 5 Prototipe 1	17
Gambar 6 Prototipe 2	18
Gambar 7 Prototipe 3	18
Gambar 8 Prototipe dengan mesin	19
Gambar 9 Prototipe destilator	20
Gambar 10 Mesin bensin	21
Gambar 11 Tachometer.....	21
Gambar 12 Termometer gas buang	22
Gambar 13 Termometer suhu air	22
Gambar 14 Stopwatch.....	22
Gambar 15 Pemotong pipa tembaga	23
Gambar 16 Pipa tembaga	23
Gambar 17 Stainless Stell	23
Gambar 18 Gelas ukur	24
Gambar 19 Plastik.....	24
Gambar 20 Kerangka pemikiran.....	26
Gambar 21 Grafik Hubungan Efektivitas (ϵ) Vs Putaran Mesin Selama 60 Menit	36
Gambar 22 Grafik Hubungan T_{hi} , T_{ho} dan T_{co} dengan panjang pipa 5 meter Vs Putaran Mesin	37
Gambar 23 Grafik Hubungan T_{hi} , T_{ho} dan T_{co} dengan panjang pipa 7 meter Vs Putaran Mesin	37
Gambar 24 Grafik Hubungan T_{hi} , T_{ho} dan T_{co} dengan panjang pipa 9 meter Vs Putaran Mesin	37
Gambar 25 Grafik Hubungan Temperatur Gas Buang dengan Panjang Pipa 5 Meter Vs Waktu	38
Gambar 26 Grafik Hubungan Temperatur Gas Buang dengan Panjang Pipa 7 Meter Vs Waktu	38
Gambar 27 Grafik Hubungan Temperatur Gas Buang dengan Panjang Pipa 9 Meter Vs Waktu	39
Gambar 28 Grafik Hubungan Temperatur Air Laut Pada Panjang Pipa 5 Meter Vs Waktu.....	39
Gambar 29 Grafik Hubungan Temperatur Air Laut Pada Panjang Pipa 7 Meter Vs Waktu.....	40
Gambar 30 Grafik Hubungan Temperatur Air Laut Pada Panjang Pipa 9 Meter Vs Waktu.....	40
Gambar 31 Grafik Hubungan Perbedaan Suhu dengan Panjang Pipa Pada Putaran 1000 RPM	41
Gambar 32 Grafik Hubungan Perbedaan Suhu dengan Panjang Pipa Pada Putaran 1300 RPM	41



Gambar 33 Grafik Hubungan Perbedaan Suhu dengan Panjang Pipa Pada Putaran 1500 RPM	41
Gambar 34 Grafik Hubungan Volume Air Destilasi Vs Panjang Pipa Pemanas Selama 60 Menit.....	42



DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data Konduktivitas Termal.....	11
Tabel 2 Dimensi Prototipe Destilator.....	19
Tabel 3 Hasil data pengujian prototipe 1 panjang pipa 5 meter.....	27
Tabel 4 Hasil data volume air destilasi pada panjang pipa 5 meter.....	27
Tabel 5 Hasil data pengujian prototipe 2 panjang pipa 7 meter.....	28
Tabel 6 Hasil data volume air destilasi pada panjang pipa 7 meter.....	28
Tabel 7 Hasil data pengujian prototipe 3 panjang pipa 9 meter.....	28
Tabel 8 Hasil data volume air destilasi pada panjang pipa 9 meter.....	29
Tabel 9 Tabulasi hasil perhitungan data pengujian.....	29
Tabel 10 Tabulasi Hasil Pengujian Prototipe Destilator.....	35



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)
cp	Kalor spesifik fluida pada tekanan tetap ($(kJ/kg.^{\circ}C)$)
d_o	Diameter luar pipa (m)
d_i	Diameter dalam pipa (m)
e	Emisisvitas 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 ($^{\circ}C/W$)
R_o	Tahanan termal luar pipa ($^{\circ}C/W$)
R_i	Tahanan termal dalam pipa ($^{\circ}C/W$)
R_s	Tahanan termal pipa ($^{\circ}C/W$)
	Temperatur atau suhu ($^{\circ}C$)
	Waktu pengisian (s)
	Temperatur fluida dingin (air laut) masuk ($^{\circ}C$)



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 ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)
σ	Konstanta Stefan-Boltzmann, sekitar $5,67 \times 10^{-8}$ ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4$)
ϵ	Efektivitas penukar kalor (%)
ρ_c	Massa jenis air laut (kg/m^3)
ρ_h	Massa jenis gas buang (kg/m^3)
μ	Viskositas kinematic (m^2/s)
P_1	Prototipe dengan Panjang pipa 5 meter
P_2	Panjang dengan Panjang pipa 7 meter
P_3	Panjang dengan Panjang pipa 9 meter
$V_{\text{Air laut}}$	Volume air laut dalam wadah pengujian (L)
$V_{\text{destilasi}}$	Volume air hasil destilasi (air tawar) (mL)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi pembuatan prototipe	46
Lampiran 2 Dokumentasi Pengujian prototipe	49
Lampiran 3 Tabel sifat termal karbon dioksida	53
Lampiran 4 Tabel sifat termal air laut.....	54
Lampiran 5 Piping Schedule	55
Lampiran 6 Grafik Perbedaan Aliran Paralel dan Aliran berlawanan pada penukar panas.....	56



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi yang berjudul “ Pengujian Destilator Dengan Variasi Panjang Pipa Terhadap Hasil Destilasi Dengan Memanfaatkan Energi Panas Gas Buang Mesin” dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang diutus sebagai rahmat bagi seluruh alam.

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

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Alimuddin dan Ibu Hamisa yang selalu memberikan doa, restu dan dukungan serta materi kepada penulis selama ini.
2. Kepada Kakak tercinta Alilham Alimuddin dan Alan Nulham yang selalu menjadi penyemangat, motivasi bagi penulis selama ini.
3. Bapak Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, S.T., M.Inf.Tech., M.Eng selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, sekaligus sebagai dosen pembimbing I yang telah mengarahkan, membimbing, dan memotivasi penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
4. Ibu Ir. Syerly Klara, M.T selaku pembimbing II yang telah mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.
5. Bapak Baharuddin, S.T., M.T dan Bapak Andi Husni Sitepu, S.T., M.T selaku penguji yang telah memberikan saran dan masukan yang dijadikan sebagai bahan perbaikan dalam proses penyelesaian skripsi ini.



Haryanti Rivai, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing akademik telah memberikan saran, masukan, dan motivasi selama masa kuliah.

7. Seluruh bapak/ibu dosen, pegawai dan staf Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat dan membantu perihal administratif penulis.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Prodi Teknik Sistem Perkapalan Angkatan 2019 banyak membantu penulis selama masa perkuliahan.
9. Seluruh pihak-pihak yang terlibat selama pengerjaan skripsi yang tidak sempat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini hasil yang didapatkan masih terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna. Dikarenakan keterbatasan ilmu dan kemampuan dari penulis. Oleh sebab itu, penulis berharap adanya saran dan masukan yang membangun pada hasil skripsi ini. Penulis berharap bahwa skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi penulis secara khusus, dan kepada pembaca. Terima kasih.

Gowa,

2024

Penulis



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagian besar masyarakat pesisir, terutama di pulau-pulau kecil, terpencil dan masyarakat nelayan mengalami yang namanya krisis air tawar untuk air minum, memasak dan kebutuhan lainnya. Hal ini dapat disebabkan karena sebagian besar air di bumi merupakan air asin terutama daerah pesisir sehingga tidak dapat digunakan secara langsung untuk konsumsi. Distribusi air di dunia menunjukkan bahwa 97,3 % berupa air laut dan sisanya berupa air tawar yang tidak dapat dimanfaatkan karena dalam bentuk gunung es 2,1% dan hanya sekitar 0,6% yang dapat dimanfaatkan secara langsung (Effendi, 2003)

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan dengan salah satu nelayan di Pelabuhan Paotere, diketahui bahwa nelayan biasanya melaut hingga sehari-hari tergantung hasil tangkapan yang diperoleh. 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 lebih dari 10 orang, sehingga penggunaannya terbatas untuk kebutuhan mandi dan memasak.

Berdasarkan uraian diatas maka untuk mengatasi kendala yang dihadapi perlu diterapkan suatu teknologi tepat guna yang diharapkan dapat membantu masyarakat nelayan untuk memperoleh air bersih atau air tawar. Salah satu metode yang akan diupayakan adalah destilasi atau penyulingan air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin yang selama ini belum banyak dimanfaatkan. Destilator yang memanfaatkan energi panas gas buang mesin bermanfaat untuk mengubah dari fase cair menjadi fase uap air laut dan fase uap menjadi fase cair (air tawar). Suhu yang diperlukan untuk mengubah fase air laut menjadi uap sebesar (100°C) pada tekanan satu atmosfer (1 atm)

Panas gas buang yang dihasilkan mesin banyak mengandung potensi energi yang dapat dimanfaatkan karena 34 – 40 % energi hasil pembakaran bahan bakar mesin terbuang melalui gas buang (Arismunandar, 1988)



Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian dengan memanfaatkan panas buang mesin penggerak kapal dengan membuat prototipe destilator. Selain itu, pada penelitian sebelumnya juga telah dilihat bagaimana pengaruh bentuk serta kemiringan penutup destilator terhadap jumlah hasil 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 dan banyaknya hasil destilasi.

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 “Pengujian Destilator Dengan Variasi Panjang Pipa Terhadap Hasil Destilasi dengan Memanfaatkan Energi Panas Gas Buang Mesin ”

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh panjang pipa terhadap jumlah air tawar yang dihasilkan prototipe destilator ?
2. Bagaimana pengaruh RPM terhadap jumlah air tawar yang dihasilkan prototipe ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.



Mengetahui pengaruh panjang pipa terhadap jumlah air tawar yang dihasilkan prototipe destilator air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan gas buang mesin.

2. Mengetahui pengaruh RPM terhadap jumlah air tawar yang dihasilkan prototipe destilator dengan memanfaatkan gas buang mesin.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diantaranya :

1. Menghasilkan prototipe destilator yang dapat digunakan sebagai alternative penyediaan air tawar.
2. Diharapkan dengan adanya pemanfaatan gas buang ini maka polusi gas buang yang dihasilkan oleh mesin dapat dimanfaatkan kembali menjadi sumber energi untuk proses destilasi dikurangi.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini dibatasi pada :

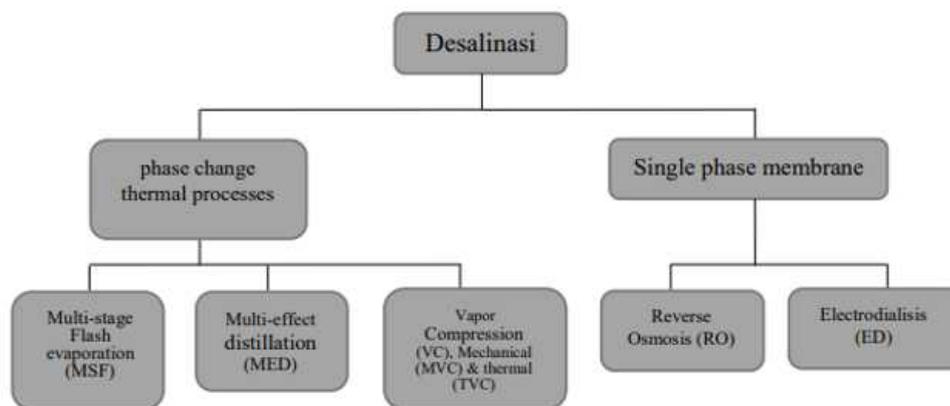
1. Penelitian ini difokuskan pada mesin bensin sebagai objek penelitian.
2. Penelitian ini difokuskan pada pembuatan destilator untuk mengubah air laut menjadi air tawar
3. Pada penelitian ini, panjang pipa akan divariasikan mulai dari 5m, 7m, dan maksimal 9m sesuai dengan ukuran wadah yang digunakan



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Desalinasi

Desalinasi adalah sebuah rangkaian proses pemisahan yang bertujuan untuk mengurangi konsentrasi garam yang terkandung di dalam air, sehingga menghasilkan produk air yang layak untuk dikonsumsi. Proses ini banyak dikembangkan terutama pada tingkat industri dan juga kapal untuk menghasilkan air tawar (Nugroho, 2004).



Gambar 1 Klasifikasi Proses Desalinasi

Proses desalinasi dengan cara teknologi desalinasi termal adalah sama dengan siklus alami air yaitu melalui proses perubahan fase. Desalinasi termal atau distilasi merupakan metode desalinasi dengan cara menguapkan air laut melalui pemanasan kemudian air dikondensasikan menjadi air tawar terdiri dari beberapa jenis yaitu, *Multi Stage Flash (MSF)*, *Multi Effect Distillation (MED)*, dan *Vapor Compression (VC)*, sedangkan untuk membran Teknologi desalinasi membran adalah sebuah metode untuk mengubah air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan sebuah membran untuk menahan atau merejeksi zat atau ion terlarut di dalam air laut sehingga menghasilkan air berkonsentrasi rendah (tawar) terdiri dari *Electrodialisis* dan *Reverse Osmosis (RO)* (Nugroho, 2004.)



2.2 Destilasi air laut

Pada proses destilasi, air laut dipanaskan agar air laut tersebut menguap dan dikondensasi untuk mendapatkan air tawar. Proses tersebut dinamakan sebagai proses destilasi.. Adapun titik didih air laut yaitu pada suhu 100°C tekanan atmosfer, namun titik didih dapat di bawah 100°C apabila tekanan diturunkan. Pada suhu yang lebih rendah dari titik didih, air masih menguap tetapi dengan laju yang lebih rendah (Said, 2011). Adapun kandungan garam pada air laut merupakan campuran dari 96,5% air murni dan 3,5% material lainnya seperti garam-garam, organik dan partikel-partikel tak terlarut hal ini berarti untuk setiap satu liter air laut terdapat 35 gr garam (Prastuti, 2017)

Penguapan (*evaporasi*) adalah perubahan suatu zat cair menjadi uap. Penguapan juga bisa diartikan sebagai perpindahan massa zat cair ke atas dengan adanya gradien temperatur antara permukaan zat cair dengan udara di atasnya. Perpindahan kalor tersebut merupakan perpindahan kalor secara konveksi alami. Hal ini terjadi 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 & Maturbongs, 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 & Maturbongs, 2018).



salah yang kadang muncul pada semua jenis sistem distilasi adalah kerak pada peralatan efisiensi panas dan produksi air tawar akan berkurang 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 (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 (Said, 2011).

2.3 Pemanfaatan gas buang

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, 1988)

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 pembakaran dipindahkan ke fluida mesin melalui beberapa dinding pemisah, misal ketel uap. Mesin bensin adalah salah satu jenis motor bakar dalam yang menggunakan bahan bakar bensin dengan sistem pengapian menggunakan busi. (Arismunandar, 1988)

Saat ini efisiensi termal yang optimal yang bisa dimanfaatkan hanya berkisar antara 25-30%, sedangkan sisanya hanya terbuang ke dalam berbagai bentuk seperti terbuang pada gas buang, 30-35% terbuang melalui sistem fluida 1, dan 5-10% terbuang akibat gesekan dan lain-lain. Melihat besarnya ng terbuang percuma atau tidak termanfaatkan dan semakin langkanya



penyediaan energi maupun mahal 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 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 :

$$q = -K \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (1)$$

Dimana,

q = laju perpindahan panas (W)

$-k$ = konduktivitas panas (W/mK)

A = luas perpindahan panas (m^2)

ΔT = perbedaan temperature (K)

Δx = jarak (m)



Perpindahan Kalor Konveksi (Holman, 1991)

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. Adapun besar laju perpindahan panasnya yaitu :

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T \quad (2)$$

Dimana,

q = laju perpindahan panas (W)

h = koefisien konveksi material (W/m^2K)

A = luas perpindahan panas (m^2)

ΔT = perbedaan temperature (K)

Δx = jarak (m)

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 :

$$I = e \cdot \sigma \cdot A \cdot \Delta T^4 \quad (3)$$

Dimana,

e = laju perpindahan panas (W)

σ = konduktivitas panas ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$)

A = luas perpindahan panas (m^2)

ΔT = perbedaan temperature (K)

2.5 Aliran Fluida

Aliran fluida atau zat cair (termasuk uap air dan gas) dibedakan dari benda padat karena kemampuannya untuk mengalir. Fluida lebih mudah mengalir karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil dari ikatan molekul dalam zat padat, akibatnya fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk

sesek (Aznam Barun dan Eko Rukmana, 2010).

Menurut hukum Newton sebuah aliran fluida jika dilihat dari pergerakannya 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.

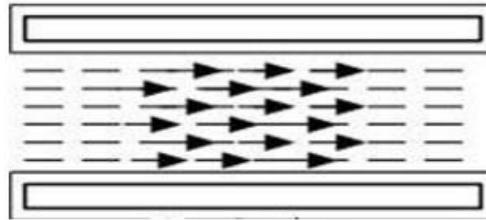
Adapun tipe-tipe aliran sebagai berikut :

- Aliran Laminar

Aliran laminar didefinisikan sebagai aliran dengan fluida yang bergerak lapisan–lapisan atau lamina–lamina dengan satu lapisan meluncur secara

Aliran laminar ini mempunyai nilai bilangan *Reynoldsnya* kurang dari $Re < 2300$).

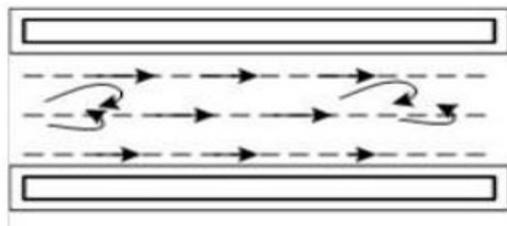




Gambar 2 Aliran Laminer

- Aliran transisi

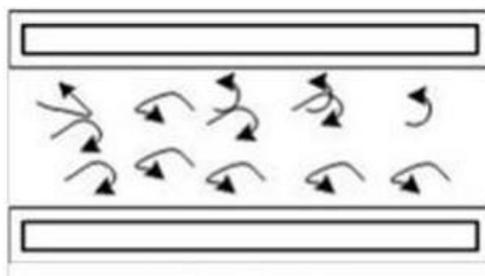
Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen. Keadaan peralihan ini tergantung pada viskositas fluida, kecepatan dan lain-lain yang menyangkut geometri aliran dimana nilai bilangan Reynoldsnnya antara 2300 sampai dengan 4000 ($2300 < Re < 4000$).



Gambar 3 Aliran Transisi

- Aliran Turbulen

Aliran turbulen didefinisikan sebagai aliran yang dimana pergerakan dari partikel-partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran 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 Reynoldsnnya lebih besar dari 4000 ($Re > 4000$).



Gambar 4 Aliran Turbulen



2.5 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)

2.6 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 :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \quad (4)$$


 ositas kinematik (m^2/s^2)

C_p = kalor spesifik fluida pada tekanan tetap ($\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$)

k = konduktivitas *thermal* ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)

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:

$$\text{Nu} = 0,023 \text{Pr}^{0,4} \text{Re}^{0,8} \quad (5)$$

Dimana :

Pr = Bilangan *Prandlt*

Re = Bilangan *Reynold*

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

$$h = \text{Nu} \frac{k}{d_i} \quad (6)$$

Dimana :

Nu = Bilangan *Nusselt*

k = Konduktivitas *Thermal* ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)

d = Diameter dalam pipa (m)

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

$$\text{Re} = \frac{\rho v d_i}{\mu} \quad (7)$$

$$\text{- Luas selubung luar pipa } (A_0) = \pi \cdot d_0 \cdot L_p \quad (8)$$

$$\text{- Luas selubung dalam pipa } (A_i) = \pi \cdot d_i \cdot L_p \quad (9)$$

Dimana :

d_o = diameter luar pipa (m)

d_i = diameter dalam pipa (m)

L_p = panjang pipa (m)



Tahanan termal yang terjadi pada sistem pendingin (cooler) yaitu : Tahanan bagian dalam pipa (R_i)

$$R_i = \frac{1}{h_i A_i} = \frac{1}{h_i 2\pi A_i} \quad (10)$$

Dimana :

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

r_i = jari – jari dalam pipa (m)

Tahanan termal pipa (R_s)

$$R_s = \frac{\ln(d_o/d_i)}{2\pi k p L} \quad (11)$$

Tahanan termal bagian luar pipa (R_o)

$$R_o = \frac{1}{h_o \times A_o} = \frac{1}{h_o 2\pi A_o} \quad (12)$$

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

$$h_o = 1,32 \left[\frac{T_o - T_\infty}{d_o} \right]^{1/4} \quad (13)$$

T_o ialah suhu permukaan luar pipa dan T_w adalah suhu gas buang, neraca energi mensyaratkan :

$$\frac{T_w - T_i}{R_i} = \frac{T_i - T_o}{R_s} = \frac{T_o - T_\infty}{R_o} \quad (14)$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan luar

$$U_o = \frac{1}{[R_o \times A_o/A_i] + [A_o \times R_s] + [R_o]} \quad (15)$$

Koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan dalam pipa

$$U_i = \frac{1}{[R_o \times A_i/A_o] + [A_i \times R_s] + [R_i]} \quad (16)$$

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

an arah.

$$= U \times A \times \Delta T \quad (17)$$



U = koefisien perpindahan kaloe 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 :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{hi}-T_{ci})-(T_{ho}-T_{co})}{\ln \frac{(T_{hi}-T_{ci})}{(T_{ho}-T_{co})}} \quad (18)$$

Dimana :

T_{ci} = temperatur fluida dingin (air laut) masuk ($^\circ C$)

T_{co} = temperatur fluida dingin (air laut) keluar ($^\circ C$)

T_{hi} = temperatur fluida panas (gas buang) masuk ($^\circ C$)

T_{ho} = temperatur fluida panas (gas buang) keluar ($^\circ C$)

Laju Aliran Perpindaahan Panas

Laju aliran panas dihitung dengan persamaan :

$$Q = UA \Delta T_m \quad (19)$$

Dimana :

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

A = Luas permukaan (m^2)

ΔT_m = beda suhu rata-rata logaritmik (*logarithmic mean temperature difference*) ($^\circ C$)

Perpindahan panas aktual dalam penukar panas aliran lawan arah dapat dihitung dengan menghitung energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau yang diterima 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

apat dengan mudah dihitung, dan aliran kalor, luas permukaan, dan perpindahan kalor menyeluruh dapat ditentukan. Bila kita harus can 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 (Holman 1991) :

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

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

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

$$C_h = m_h \cdot c_{ph} \quad (20)$$

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

$$C_c = m_c \cdot c_{pc} \quad (21)$$

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

$$Q_{\text{maks}} = C_{\text{min}} (T_{h1} - T_{c1}) \quad (22)$$

Laju perpindahan panas aktual dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q_{\text{akt}} = C_c (T_{c2} - T_{c1}) \quad (23)$$

Dimana :

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

$$= q_h \cdot \rho_h \quad (24)$$

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

$$= A_i \cdot v \quad (25)$$

ρ_h = massa jenis gas buang (kg/m^3)

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

$$= q_c \cdot \rho_c \quad (26)$$

q_c = debit aliran air laut (m^3/s)

$$= V/t \quad (27)$$

V = volume air laut (m^3)

t = waktu yang dibutuhkan (s)



ρ_c = massa jenis air laut (kg/m^3)

C_{ph} = kalor spesifik fluida panas ($\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$)

C_{pc} = kalor spesifik fluida dingin ($\text{kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$)

Efektifitas perpindahan panas dihitung menggunakan persamaan :

$$\epsilon = \frac{Q_{akt}}{Q_{maks}} \quad (28)$$

