

**DESAIN *DISTILATOR* DENGAN MEMANFAATKAN PANAS
GAS BUANG MESIN PENGGERAK KAPAL**

SKRIPSI

*Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Meraih Gelar
Sarjana Teknik Pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin*



DISUSUN OLEH :

A. INDAH RATU ASTI

D331 14 012

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2019





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
JL. POROS MALINO KM.6 BONTOMARANNU (92171) GOWA
Telp. (0411) 586015, e-mail : Kapal9uh@indosat.net.id ; kapal@ft.unhas.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Skripsi

**DESAIN DISTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN PANAS
GAS BUANG MESIN PENGGERAK KAPAL**

Oleh :

A. INDAH RATU ASTI

D331 14 012

TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I

Ir. Syerly Klara, MT
NIP. 19640501 199002 2 001

Pembimbing II

Dr.Eng.Faisal Mahmudin.ST.,M.Inf.,Tech,M.Eng
NIP. 19810211 200501 1 003

Mengetahui

**Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19690404 200003 1 002





LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi

DESAIN DISTILATOR DENGAN MEMANFAATKAN PANAS GAS BUANG MESIN PENGGERAK KAPAL

Oleh :

A. INDAH RATU ASTI

D331 14 012

TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Telah dipresentasikan didepan Panitia Ujian Skripsi

Pada Tanggal, Februari 2019

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dengan susunan kepanitian sebagai berikut :

1. Ketua : Ir. Syerly Klara, MT
NIP. 19640501 199002 2 001
2. Sekertaris : Dr. Eng. Faisal Mahmuddin, ST.,M.Inf.,Tech,M.Eng
NIP. 19810211 200501 1 003
3. Anggota : A. Haris Muhammad ST.,MT.,Ph.D
NIP. 19690404 200003 1 002
4. Anggota : Baharuddin, ST, MT
NIP. 19720202 199802 1 001
5. Anggota : A. Husni Sitepu, ST,MT
NIP. 19770271 200112 1 001

Mengetahui

Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Andi Haris Muhammad, ST., MT., Ph.D.

NIP. 19690404 200003 1 002



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Puji syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT yang telah memberikan kesehatan dan karunia-Nya sehingga skripsi ini yang berjudul “Desain Distilator Dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Penggerak Kapal” dapat diselesaikan dengan baik. Salam dan salawat 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 berbagai kendala dihadapi dalam penelitian ini 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 Maddolongan dan Ibunda Rostia selaku orang tua yang senantiasa selalu memberikan motivasi, doa dan memberikan dukungan materi demi keberlangsungan selama kuliah di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Bapak Andi Haris Muhammad, ST.MT.PhD selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang

lah membantu dalam memberikan pengarahan selama dalam pengerjaan skripsi.



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 kanda – kanda senior yang selalu memberikan kritik dan saran sehingga dapat dijadikan bahan perbaikan dalam proses pengambilan data dan penyelesaian skripsi ini.
7. Seluruh saudara – saudari mahasiswa Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Khususnya, ZTRINGER 2014 yang senantiasa memberi banyak bantuan motivasi, dukungan serta waktu yang telah dilalui Bersama. Tak lupa pula penulis sampaikan banyak terima kasih kepada dinda – dinda junior atas motivasi dan dukungannya.
8. Seluruh teman – teman seperjuangan ANSYS 14 yang telah memberi dukungan serta bantuan dalam penyelesaian skripsi ini

semua pihak yang tidak sempat saya sebutkan namun memiliki peranan yang tidak kalah penting dalam penyelesaian tugas skripsi ini.



Penulis menyadari bahwa dalam penyelesaian skripsi ini terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan untuk memenuhi kekurangan dari penulisan skripsi ini. Penulis berharap semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan khususnya penulis.

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

Gowa, Februari 2019

Penulis

A INDAH RATU ASTI



ABSTRAK

A Indah Ratu Asti, D331 14 012. “Desain Distilator dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Penggerak Kapal”

Dibimbing oleh : Ir. Hj Syerly Klara, MT dan Dr. Eng Faisal Mahmuddin, ST. M.Eng

Desain alat distilator ini dirancang untuk dapat dipergunakan sebagai pengubah air laut menjadi air tawar dengan menggunakan panas gas buang mesin bensin yang diharapkan mampu mejadi energi alternatif sekarang ini. Pada penelitian ini alat penukar kalor dirancang kembali dengan menggunakan analisis rumus-rumus perpindahan panas dan simulasi *software ansys fluent* untuk menentukan berapa temperatur air dingin keluar ($T_{sw_{out}}$) dan merencanakan dimensi alat penukar kalor lalu membuatnya kedalam *software sketch up* berbentuk gambar 3D kemudian menghitung dan membandingkan ketiga model yakni *1 tube*, *2 tube*, *3 tube* dari ketiga model akan diketahui efektivitasnya. Dari data dan hasil perhitungan rancangan diperoleh model tube 3 lebih efektif digunakan dalam pembuatan alat distilator hal ini dikarenakan diameter pipa yang digunakan lebih kecil sehingga konveksi panas pipa ke air laut semakin cepat. Adapun nilai efektifitas alat penukar kalor fluida panas yang di hasilkan sebesar 57 % sedangkan nilai efektifitas alat penukar kalor fluida dingin yang dihasilkan bernilai 7,2 %.

Kata Kunci : Alat penukar kalor, *shell and tube heat exchanger*, distilasi, gas buang mesin



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah.....	2
I.3 Batasan Masalah	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
I.5 Manfaat Penelitian	3
I.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Konduksi	5
.....	7
Exchanger	8



II.3.1 Pengertian Heat Exchanger	8
II.3.2 Macam - macam Heat Exchanger.....	9
II.3.2.1 Berdasarkan Proses Transfer Panas.....	9
II.3.2.2 Berdasarkan Desain Konstruksi	9
II.4 Distilasi.....	11
II.4.1 Distilasi Sederhana	13
II.5 Mesin Bensin.....	15
II.5.1 Pengertian Mesin Bensin.....	15
II.5.2 Prinsip Kerja Mesin Bensin 4 Langkah.....	17
II.6 Computational Fluid Dynamic	18
II.7 Analisis Perhitungan.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
III.1 Lokasi dan Waktu Kegiatan Penelitian	35
III.2 Data Penelitian	35
III.3 Tahapan Penelitian.....	37
III.4 Obyek Pemandangan	38
III.4.1 Data Dimensi Wadah Distilator	38
III.4.2 Data Dimensi Pipa Distilator	40
III.5 Kerangka Pemikiran.....	41
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	42
IV.1 Perancangan Alat Penukar Kalor.....	42

menentukan dimensi wadah.....	42
menentukan dimensi pipa/tube	43



IV.2 Analisa Perpindahan Panas	46
IV.2.1 Perhitungan pada Distilator	46
IV.2.2 Perhitungan perpindahan panas pada distilator.....	47
IV.2.3 Laju perpindahan panas konduksi dalam pipa (q_{ki})	49
IV.2.4 Laju perpindahan panas konduksi diluar pipa (q_{ko})	50
IV.2.5 Penentuan Temperatur Air Laut Keluar (Tswout).....	50
IV.2.6 Tahanan Termal	51
IV.2.7 Analisa Koefisien Perpindahan Kalor Menyeluruh (U).....	53
IV.2.8 Menghitung Beda Suhu Keseluruhan LMTD	53
IV.2.9 Perpindahan Kalor Total	54
IV.2.10 Efektivitas alat penukar kalor (ϵ).....	54
BAB V PENUTUP.....	59
V.1 Kesimpulan	59
V.2 Saran.....	60
Daftar Pustaka	61
Lampiran	
Lampiran 1 Hasil Simulasi Ansys	



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 : <i>Heat Exchanger Tipe Shell & Tube</i>	10
Gambar 2.2 : Macam-macam Rangkaian Pipa/ <i>Tube</i> Pada <i>Shell & Tube</i>	11
Gambar 2.3 : Distilator Sederhana	14
Gambar 2.4 : Mesin Bensin.....	16
Gambar 2.5 : Mesin Bensin 4 Langkah.....	17
Gambar 3.1 : Mesin bensin yang digunakan dalam penelitian	36
Gambar 4.1 : Ukuran rancangan wadah distilator.....	43
Gambar 4.2 :Desain distilator (a) <i>tube</i> 1, (b) <i>tube</i> 2, (c) <i>tube</i> 3	45
Gambar 4.3 :Grafik efektivitas distilator	57



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 : Teknologi destilasi air laut.....	12
Tabel 3.1 : Spesifikasi mesin	35
Tabel 4.1 : Data awal perhitungan distilator	47
Tabel 4.2 : Tabulasi hasil perhitungan pada distilator <i>tube</i> 1, 2, 3	56



DAFTAR NOTASI

	Satuan
A_o = luas selubung luar pipa	m^2
A_i = luas selubung dalam pipa	m^2
c_p = Kalor spesifik fluida pada tekanan tetap	$kJ/kg.^{\circ}C$
c_{ph} = panas jenis fluida gas buang	$kJ/kg.^{\circ}C$
c_{pe} = panas jenis fluida air laut	$kJ/kg.^{\circ}C$
d_o = Diameter luar pipa	m
d_i = Diameter dalam pipa	m
ϵ = Efektivitas penukar kalor	-
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	$W/m^2.^{\circ}C$
L_p = Panjang pipa	m
\log = Logaritma dengan besar 10	-
\ln = Logaritma dengan dasar e	-
\dot{m}_c = Laju massa aliran fluida air laut	kg/s
\dot{m}_h = Laju massa aliran fluida gas buang	kg/s
n = Jumlah pipa	-
Nu = Bilangan nusselt	-
Pr = Bilangan Prandlt	-
q = Laju perpindahan kalor	kJ/s



Q	= Kalor	kJ
r	= Jari-jari atau radial	m
R	= Tahanan termal	°C/W
Re	= Bilangan Reynolds	-
Ro	= Tahanan termal luar pipa	°C/W
Ri	= Tahanan termal dalam pipa	°C/W
Rs	= Tahanan termal pipa	°C/W
T_{c_{in}}	= Temperatur fluida dingin (air laut) masuk	°C
T_{c_{out}}	= Temperatur fluida dingin (air laut) keluar	°C
T_{h_{in}}	= Temperatur fluida panas (gas buang) masuk	°C
T_{h_{out}}	= Temperatur fluida panas (gas buang) keluar	°C
T_w	= Temperatur fluida panas (air tawar)	°C
U	= Koefisien perpindahan kalor menyeluruh	W/m ² .°C
U_o	= Koefisien perpindahan kalor menyeluruh di permukaan luar pipa	W/m ² .°C
U_i	= Koefisien perpindahan kalor menyeluruh di permukaan dalam pipa	W/m ² .°C
μ	= Viskositas kinematik	m ² /s
ρ	= massa jenis air laut	kg/m ³



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Dalam pengoperasian melaut terkadang para nelayan tersebut memiliki kendala. Salah satu kendala yang dihadapi para nelayan yakni kesulitan dalam memperoleh air tawar untuk kebutuhan diatas kapal. Hal ini mempengaruhi waktu pengoperasian kapal karena kebutuhan air yang dimuat jumlahnya terbatas. sehingga nelayan tersebut melakukan penangkapan dengan waktu yang singkat.

Dalam mengatasi kendala tersebut maka, solusi yang akan diupayakan adalah membuat alat distilasi atau penyulingan air laut menjadi air tawar dengan memanfaatkan energi panas gas buang mesin penggerak kapal yang selama ini belum dimanfaatkan. Suhu yang diperlukan untuk mengubah fase air laut menjadi uap sebesar (80°C-100°C). Mengingat panas yang dihasilkan mesin penggerak kapal dari hasil pembakaran mencapai 200°C. Maka, alat distilasi tersebut dapat terealisasikan.

Berdasarkan uraian diatas, perlu diterapkan suatu teknologi tepat guna yang diharapkan dapat membantu masyarakat nelayan atau pesisir pantai untuk memperoleh air bersih atau air tawar. Menurut *Smith A.J* dan *King G.H* di Inggris pada tahun 1980 sebesar 259 MJ / tahun energy thermal dari gas buang terbuang ke alam. *Jakson R.* menyampaikan bahwa pemanfaatan gas buang akan

layai keuntungan memperkecil biaya pada proses pemanasan yang dipakai, ut menurunkan temperatur gas buang sehingga memperkecil pencemaran gkungan.



Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan suatu penelitian yang merupakan salah satu solusi untuk mereduksi permasalahan dengan judul “**Desain Distilator dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Penggerak Kapal**”

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah yang akan dikemukakan adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang distilator gas buang mesin penggerak kapal ?
2. Bagaimana menghitung performa distilator gas buang mesin penggerak kapal ?

I.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah dalam penelitian ini lebih terarah pada tercapainya tujuan penelitian maka peneliti memberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Kapal yang diteliti adalah kapal nelayan 3 GT.
2. Mesin yang digunakan adalah mesin bensin merek Jiang Dong.
3. Aliran fluida yang terdapat pada pipa termasuk aliran fluida searah.

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan rancangan distilator gas buang mesin penggerak kapal.
2. Menentukan performa distilator gas buang mesin penggerak kapal.



I.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memanfaatkan panas yang terbuang sia-sia pada knalpot menjadi lebih efektif.
2. Memberikan informasi tentang desain distilator dengan memanfaatkan gas buang mesin penggerak kapal.
3. Menghasilkan air tawar dari air laut dengan memanfaatkan panas gas buang mesin penggerak kapal.

I.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan latar belakang penelitian “Desain Distilator dengan Memanfaatkan Panas Gas Buang Mesin Penggerak Kapal”, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan pada penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori dari berbagai literatur yang menunjang pembahasan dan digunakan sebagai dasar pemikiran dari penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan waktu dan lokasi penelitian, tahapan penelitian, data bagan apung, data penelitian, serta kerangka pikir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

berisikan penyajian data-data yang telah diperoleh, proses pengolahan hasil pengolahan data.



BAB V PENUTUP

Bab ini merupakan penutup dari keseluruhan isi penelitian menyajikan secara singkat kesimpulan dan saran atas permasalahan yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Adapun hasil dari penelitian ini akan dijelaskan pada kesimpulan sedangkan beberapa masukan akan kekurangan dari penelitian ini akan dijelaskan pada saran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Gas buang yang mengalir secara turbulen didalam saluran buang memindahkan energi panasnya ke dinding *heat exchanger* terutama secara konveksi dan konduksi. Dinding luar *heat exchanger* yang menerima panas ini meneruskan panas ini ke dinding dalam secara konduksi. Dari dinding dalam *heat exchanger* ini kalor diteruskan ke air dengan kedua cara yaitu konduksi dan konveksi.

II.1 Konduksi

Konduksi adalah proses dengan mana panas mengalir dari daerah yang bersuhu tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah di dalam satu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium - medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar menurut teori kinetik. Suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata – rata molekul – molekul yang membentuk elemen itu. Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relative molekul – molekulnya disebut energi dalam. Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastic (*elastic impact*), misalnya dalam fluida atau dengan pembauran (*difusi/diffusion*) elektron – elektron yang bergerak secara cepat dari daerah yang bersuhu tinggi kedaerah yang bersuhu lebih rendah (logam). Konduksi merupakan satu – satunya mekanisme dimana panas mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya. (Frank Kreith, 1985)

Perpindahan kalor dengan cara konduksi disebabkan karena partikel-



pertikel penyusun ujung zat yang bersentuhan dengan sumber kalor bergetar. Makin besar getarannya, maka energi kinetiknya juga makin besar. Energi kinetik yang besar menyebabkan partikel tersebut menyentuh partikel didekatnya, demikian seterusnya. Jumlah kalor tiap detik di rumuskan :

$$H = \frac{Q}{t} = \frac{k.A.\Delta T}{L} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$Q = k.A.t \frac{\Delta T}{L} \dots\dots\dots (2-2)$$

Dimana :

H = jumlah kalor yang merambat tiap detik (J/s)

Q = kalor (kj)

t = waktu (s)

k = koefisien konduksi termal (J/m.°C)

A = luas penampang batang (m²)

L = panjang batang (m)

ΔT= perbedaan suhu antara kedua ujung batang (°C)

Berdasarkan hukum kedua termodinamika panas akan mengalir secara otomatis dari titik yang bersuhu lebih tinggi ke titik yang bersuhu lebih rendah, maka aliran panas akan menjadi positif bila gradien suhu negatif. Persamaan dasar konduksi satu dimensi dalam keadaan steady adalah

$$Q = k.A \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2-3)$$

dimana :

r (kj)

duktifitas termal bahan (W/m.°C)

penampang yang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m²)



dT = gradien suhu pada penampang ($^{\circ}C$)

dx = jarak dalam arah aliran panas (m)

II.2 Konveksi

Konveksi adalah proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi antara permukaan benda padat, cairan atau gas. Perpindahan panas secara konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*) menurut cara menggerakkan alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata – mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu, maka disebut konveksi bebas atau alamiah (natural). Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar seperti pompa atau kipas, maka prosesnya disebut konveksi paksa. Keefektifan perpindahan panas dengan cara konveksi tergantung sebagian besarnya pada gerakan mencampur fluida. Akibatnya studi perpindahan panas konveksi didasarkan pada pengetahuan tentang ciri – ciri aliran fluida. (Frank Kreith, 1985)

Perpindahan panas yang terjadi pada gas buang yang di dalam pipa knalpot merupakan perpindahan panas konveksi paksa karena gerakan gas buang disebabkan oleh dorongan torak dari dalam mesin diesel, Panas berpindah secara konveksi dari gas buang ke dinding pipa knalpot dan besarnya dapat dicari dari persamaan

$$(T_f - T_w) \dots\dots\dots (2-4)$$



Dimana :

q : laju aliran panas konveksi (watt)

h : koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2\text{°C}$)

A : luas permukaan yang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m^2)

T_f : Temperatur fluida (°C)

T_w : Temperatur permukaan (°C)

II.3 Heat Exchanger

II.3.1 Pengertian Heat Exchanger

Heat exchanger adalah suatu alat yang dimana terjadi aliran perpindahan panas diantara dua fluida atau lebih pada temperatur yang berbeda, dimana fluida tersebut keduanya mengalir didalam sistem. Di dalam heat exchanger tersebut, kedua fluida yang mengalir terpisah satu sama lain, biasanya oleh pipa silindris. Fluida dengan temperatur yang lebih tinggi akan mengalirkan panas ke fluida yang bertemperatur lebih rendah. *Heat exchanger* dapat dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan fungsional dan jenis permukaan perpindahan panasnya. Pembagian tipe heat exchanger secara fungsional diantaranya *recuperative type*, *regenerative/ storage type*, dan *direct mixing type*. Sementara itu, pembagian tipe *heat exchanger* berdasarkan permukaan perpindahan panasnya dapat diatur dalam beberapa bentuk diantaranya *single tube arrangement*, *shell and tube arrangement*, dan *cross flow heat exchanger*. (Kothandaraman, 2006)



II.3.2 Macam - macam *Heat Exchanger*

II.3.2.1 Berdasarkan Proses Transfer Panas

- ***Heat Exchanger Tipe Kontak Tak Langsung***

Heat exchanger tipe ini melibatkan fluida-fluida yang saling bertukar panas dengan adanya lapisan dinding yang memisahkan fluida-fluida tersebut. Sehingga pada *heat exchanger* jenis ini tidak akan terjadi kontak secara langsung antara fluida-fluida yang terlibat. *Heat exchanger* jenis ini masih dibagi menjadi beberapa jenis lagi, yaitu:

- ***Heat Exchanger Tipe Direct-Transfer***

Pada *heat exchanger* tipe ini, fluida-fluida kerja mengalir secara terus-menerus dan saling bertukar panas dari fluida panas ke fluida yang lebih dingin dengan melewati dinding pemisah. Yang membedakan *heat exchanger* tipe ini dengan tipe kontak tak langsung lainnya adalah aliran fluida-fluida kerja yang terus-menerus mengalir tanpa terhenti sama sekali. *Heat exchanger* tipe ini sering disebut juga dengan *heat exchanger recuperator*. (A Yunus, 2007)

II.3.2.2 Berdasarkan Desain Konstruksi

Pengklasifikasian *heat exchanger* berdasarkan desain konstruksinya, menjadi pengklasifikasian yang paling utama dan banyak jenisnya. Namun untuk lebih ringkasnya akan kita bahas salah satu tipe *heat exchanger* tersebut.

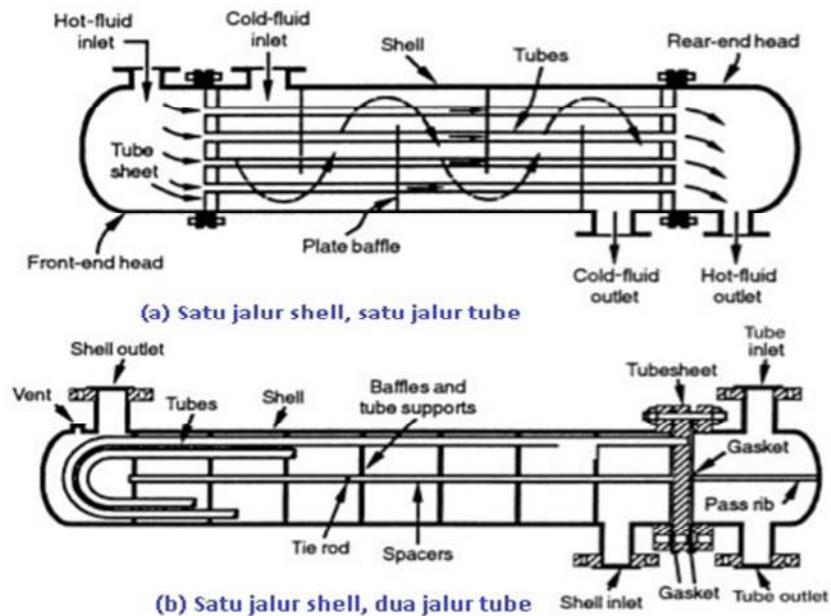
- *Shell & Tube*



Shell and tube merupakan jenis *heat exchanger* yang populer dan lebih digunakan. Shell and tube terdiri dari sejumlah tube yang terpasang

didalam shell yang berbentuk silindris. Terdapat dua fluida yang mengalir, dimana satu fluida mengalir di dalam tube, dan yang lainnya mengalir diluar tube.

(Brogan R.J, 2011)

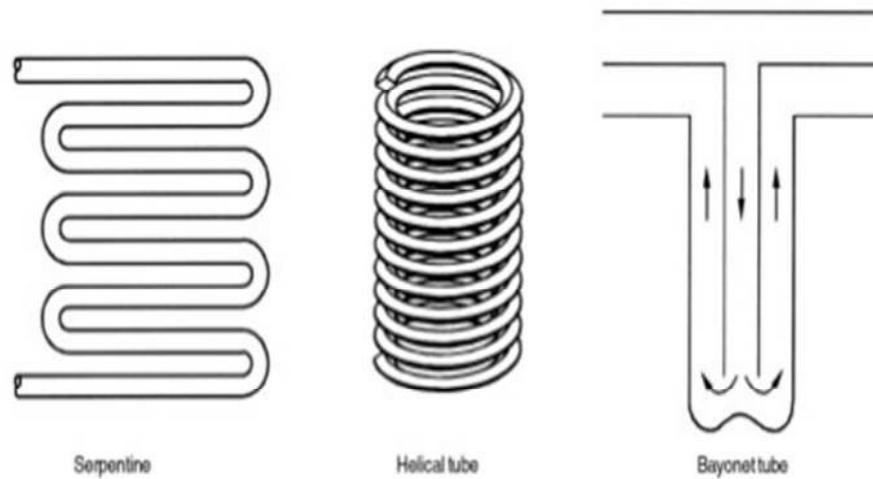


Gambar 2.1 Heat Exchanger Tipe Shell & Tube
(Sumber : A Yunus, 2007)

Komponen-komponen utama dari heat exchanger tipe shell & tube adalah sebagai berikut:

- **Tube.** Pipa tube berpenampang lingkaran menjadi jenis yang paling banyak digunakan pada heat exchanger tipe ini. Desain rangkaian pipa tube dapat bermacam-macam sesuai dengan fluida kerja yang dihadapi. (A Yunus, 2007)





Gambar 2.2 Macam-macam Rangkaian Pipa *Tube* Pada *Heat Exchanger Shell & Tube*
 (Sumber : A Yunus, 2007)

• **Shell.** Bagian ini menjadi tempat mengalirnya fluida kerja yang lain selain yang mengalir di dalam tube. Umumnya shell didesain berbentuk silinder dengan penampang melingkar. Material untuk membuat shell ini adalah pipa silindris jika diameter desain dari shell tersebut kurang dari 0,6 meter. Sedangkan jika lebih dari 0,6 meter, maka digunakan bahan plat metal yang dibentuk silindris dan disambung dengan proses pengelasan. (A Yunus, 2007)

II.4 Distilasi

Distilasi merupakan suatu perubahan cairan menjadi uap dan uap tersebut di dinginkan kembali menjadi cairan. Unit operasi distilasi merupakan metode yang digunakan untuk memisahkan komponen-komponen yang terdapat dalam suatu larutan atau campuran dan tergantung pada distribusi komponen-komponen tersebut antara fasa uap dan fasa air. Distilasi sederhana atau destilasi biasa adalah

emisahan kimia untuk memisahkan dua atau lebih komponen yang perbedaan titik didih yang jauh. Suatu campuran dapat dipisahkan



dengan distilasi biasa ini untuk memperoleh senyawa murni. (Walangare dkk, 2013)

Dasar pemisahan pada distilasi adalah perbedaan titik didih komponen cairan yang dipisahkan pada tekanan tertentu. Penguapan diferensial dari suatu campuran cairan merupakan bagian terpenting dalam proses pemisahan dengan distilasi, diikuti dengan penampungan material uap dengan cara pendinginan dan pengembunan dalam kondensor pendingin air. (Alimin dkk, 2007)

Secara garis besar, teknologi untuk desalinasi air laut terbagi menjadi 2 yaitu teknologi termal dan teknologi membran. Tabel berikut adalah proses untuk kedua teknologi tersebut yang banyak digunakan saat ini:

Tabel 2.1 : Teknologi Destilasi Air Laut

Thermal Technology	Membrane Technology
Multi Stage Flash (MSF) Distillation	Electrodialysis (ED)
Multi-Effect Distillation (MED)	Electrodialysis Reversal (EDR)
Vapour Compression Distillation (VCD)	Reverse Osmosis (RO) and Nanofiltration (NF)

(Sumber : Invan Trisukamto, 2014)

Selain dari proses teknologi diatas, terdapat pula teknologi destilasi membran (*membrane distillation*) yaitu proses destilasi yang menggunakan membran sebagai pemisah garam. Pada tulisan berikut, akan dijelaskan secara garis besar mengenai destilasi air laut meliputi teknologi termal dan teknologi membran destilasi, adapun teknologi membran lainnya akan dijelaskan ditulisan

(Invan Trisukamto, 2014)

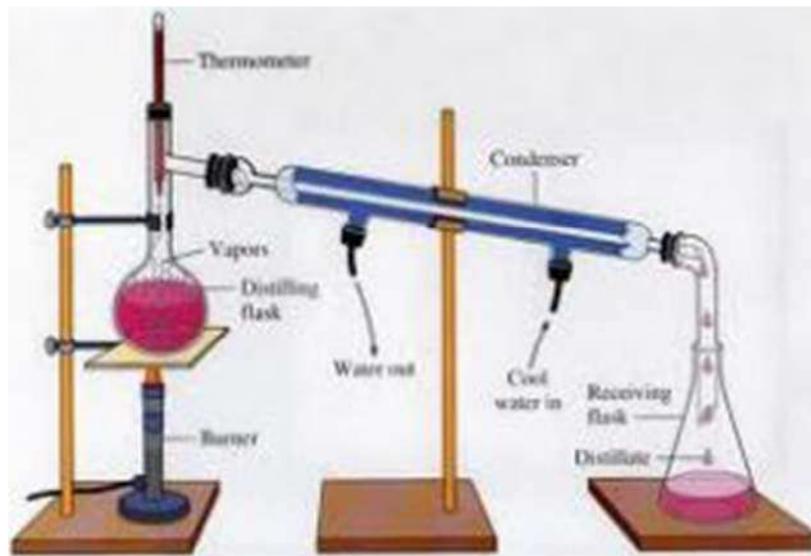


II.4.1 Distilasi Sederhana

Biasanya distilasi sederhana digunakan untuk memisahkan zat cair yang titik didihnya rendah, atau memisahkan zat cair dengan zat padat atau minyak. Proses ini dilakukan dengan mengalirkan uap zat cair tersebut melalui kondensor lalu hasilnya ditampung dalam suatu wadah, namun hasilnya tidak benar-benar murni atau bias dikatakan tidak murni karena hanya bersifat memisahkan zat cair yang titik didih rendah atau zat cair dengan zat padat atau minyak. (Aulia Rahim, 2011)

Distilasi sederhana adalah salah satu cara pemurnian zat cair yang tercemar oleh zat padat/zat cair lain dengan perbedaan titik didih cukup besar, sehingga zat pencemar/pengotor akan tertinggal sebagai residu. Destilasi ini digunakan untuk memisahkan campuran cair-cair, misalnya air-alkohol, air-aseton, dll. Alat yang digunakan dalam proses distilasi ini antara lain, labu distilasi, penangas, termometer, pendingin/kondensor leibig, konektor/klem, statif, adaptor, penampung, pembakar, kaki tiga dan kasa. Seperti terlihat pada gambar 2.3 berikut.





Gambar 2.3 Distilator Sederhana
(Sumber : Tyapurnamaputri, 2012)

Gambar di atas merupakan alat distilasi atau yang disebut distilator. Yang terdiri dari thermometer, labu didih, steel head, pemanas, kondensor, dan labu penampung distilator. Thermometer Biasanya digunakan untuk mengukur suhu uap zat cair yang didistilasi selama proses distilasi berlangsung. Seringnya thermometer yang digunakan harus memenuhi syarat:

- a. Berskala suhu tinggi yang diatas titik didih zat cair yang akan didistilasi.
- b. Ditempatkan pada labu distilasi atau steel head dengan ujung atas reservoir HE sejajar dengan pipa penyalur uap ke kondensor. Labu didih berfungsi sebagai tempat suatu campuran zat cair yang akan didistilasi.

(Tyapurnamaputri, 2012)

Prinsip destilasi sederhana adalah pemisahan komponen dari campuran melalui penyaringan yang tergantung kepada perbedaan titik didih dari masing komponen. Proses destilasi tergantung pula pada konsentrasi dan jenis tekanan uap dari campuran cairan. Proses destilasi



merupakan proses yang mirip dengan proses daur air di alam yang bertujuan untuk membersihkan air dari kontaminan. Destilasi merupakan proses yang menggunakan panas sehingga bakteri, virus dan zat-zat pencemar biologi lainnya akan musnah. Destilasi merupakan proses yang mengumpulkan uap air yang murni, uap air naik dari air yang dimurnikan, sisa-sisa hampir semua zat pencemar lain tidak akan ikut menguap. Titik embun hasil penguapan memiliki diameter yang variasinya tergantung pada lapisan permukaan, sehingga titik-titik embun itu akan membentuk cairan, mekanisme pindah panas yang efektif dan koefisien panas bahan yang sangat ekstrim juga menjadi faktor penentu dalam pembentukan titik embun (Akhirudin, 2008)

II.5Mesin Bensin

II.5.1 Pengertian Mesin Bensin

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

Mesin pembakaran dalam adalah mesin yang melakukan proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin tersebut dan gas pembakaran yang

berfungsi sebagai fluida kerja. Mesin pembakaran dalam umumnya disebut motor bakar. Jadi motor bakar adalah mesin kalor yang menggunakan gas panas



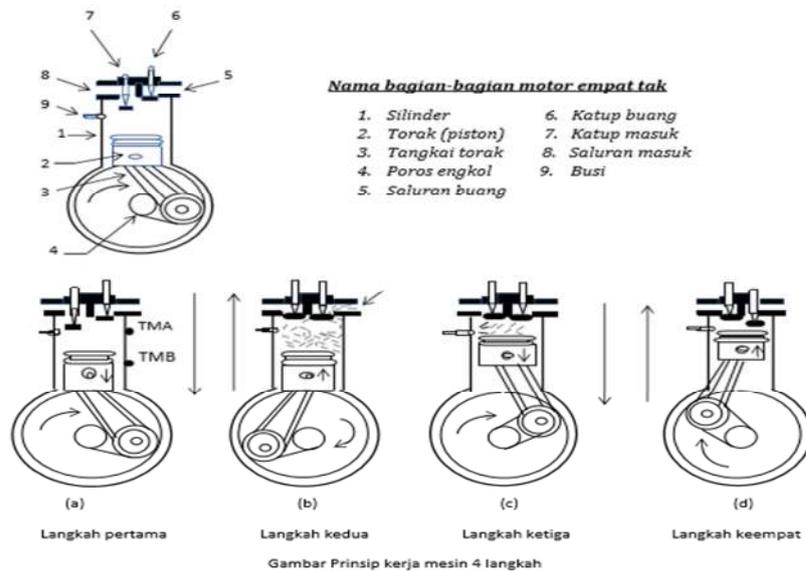
hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin untuk melakukan kerja mekanis. Mesin pembakaran luar adalah mesin di mana proses pembakaran bahan bakar terjadi di luar mesin dan energi panas dari gas pembakaran dipindahkan ke fluida mesin melalui beberapa dinding pemisah, misal ketel uap. Mesin bensin merupakan salah satu jenis motor bakar dalam yang menggunakan bahan bakar bensin dengan sistem pengapian menggunakan busi. (Arismunandar, 1980)



Gambar 2.4 : Mesin Bensin
(Sumber : <http://wikimedia.org>)



II.5.2. Prinsip Kerja Mesin Bensin 4 Langkah



Gambar 2.5 Mesin Bensin 4 Langkah

(Sumber : <http://www.mesincad.com/2017/06/pengertian-mesin-bensin-dan-prinsip.html>)

1. Langkah hisap (*Intake Stroke*) (a). langkah pertama :

Ciri-ciri khususnya sebagai berikut:

1. Piston bergerak turun dari TMA ke TMB
2. Katup hisap membuka dan katup buang menutup
3. Akibat turunnya piston maka sejumlah kabut bensin/gas bensin terhisap masuk kedalam silinder melalui saluran katup kedalam silinder melalui saluran katup hisap

2. Langkah kompresi (*Compression Stroke*) (b). langkah kedua

Ciri-ciri khususnya sebagai berikut:

1. Piston bergerak naik dari TMB ke TMA
2. Katup hisap dan katup buang sama-sama tertutup



3. Akibat gerakan piston naik, gas bensin/kabut bensin dalam silinder dimanfaatkan/dikompresi/ditekan tinggi diruang bakar

3. Langkah usaha/kerja (*Expansion Stroke*) (c). langkah ketiga :

Ciri-ciri khususnya sebagai berikut:

1. Saat piston hampir mencapai TMA maka busi memercikan bunga api listrik
2. Gas bensin/kabut bensin yang dipampatkan dan bersuhu tinggi menjadi bunyi/ledakan dan menghasilkan tenaga yang dapat mendorong piston dari TMA ke TMB.

4. Langkah buang (*Exhaust Stroke*) (d). langkah keempat

Ciri-ciri khususnya sebagai berikut:

1. Piston bergerak naik kembali dari TMB ke TMA
2. Katup buang membuka dan katup hisap menutup

Akibat gerakan piston ini, maka gas bekas pembakaran tertekan/terdorong keluar melalui saluran buang lalu menuju ke knalpot. (Lc Lichty, 1981

II.6 *Computational Fluid Dynamic*

CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numeric dan algoritma untuk menyelesaikan dan menganalisa masalah yang terjadi pada aliran fluida. Metode ini meliputi fenomena yang berhubungan dengan aliran fluida seperti sistem liquid dua fase, perpindahan massa dan panas, reaksi kimia, dispersi gas atau pergerakan

ersuspensi.



Dasar dari semua permasalahan pada *Computational Fluid Dynamic* adalah persamaan **Navier-Stokes** yang mendefinisikan seluruh aliran fluida satu fasa. Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan dalam momentum (percepatan) partikel – partikel fluida bergantung hanya kepada gaya viskos tekanan internal dan gaya viskos tekanan eksternal yang bekerja pada fluida. Persamaan **Navier – Stokes** memiliki bentuk persamaan differensial yang menerangkan pergerakan dari suatu fluida. Bentuk umum persamaan kontinuitas dan **Navier – Stokes** :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\rho U_i)_{,i} = 0 \dots\dots\dots(2-5)$$

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + (\rho U_i U_j)_{,j} = - P_{,i} + [\mu (U_{i,j} + U_{j,i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} U_{k,k})]_{,j} \dots\dots\dots(2-6)$$

Dimana $(.)_{,j}$ menyatakan turunan terhadap x_j , karena kita berbicara pada daerah aliran inkompresibel (angka Mach yang rendah). Komponen dilatasi pada bagian kanan dapat diabaikan sehingga :

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + (\rho U_i U_j)_{,j} = - P_{,i} + [\mu (U_{i,j} + U_{j,i})]_{,j} \dots\dots\dots(2-7)$$

Harap diingat bahwa penggunaan istilah “*inkompresibel*” adalah untuk menyatakan bahwa *density* independen terhadap tekanan ($\partial P / \partial \rho = 0$) namun bukan berarti bahwa *density* adalah konstan, *density* juga dapat bergantung pada temperatur atau konsentrasi.

Navier-Stokes equation dapat diinterpretasikan sebagai penjumlahan dari 4

gaya: *gravitational body force*; *pressure gradient forces*; *viscous forces*; *external force*. (I Ketut Aria, Rhido Hantoro, 2012)



- *gravitational body force* adalah seluruh gaya yang bekerja pada fluida tanpa adanya kontak fisik secara langsung dan terdistribusi secara merata dalam volume fluida
- *pressure gradient force* atau gradien tekanan adalah kuantitas fisik yang menjelaskan ke arah mana dan pada tingkat mana tekanan meningkat paling cepat di sekitar lokasi tertentu.
- *Viscous force* atau viskositas adalah ukuran kekentalan suatu fluida yang menunjukkan besar kecilnya gesekan internal fluida. Viskositas fluida berhubungan dengan gaya gesek antar lapisan fluida ketika satu lapisan bergerak melewati lapisan yang lain.
- *Inertial force* atau kelembaman adalah kecenderungan semua benda fisik untuk mempertahankan keadaannya atau menolak perubahan terhadap keadaan geraknya.

CFD merupakan metode penghitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembagiannya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi atau software. Kontrol - kontrol

penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan kontrol-kontrol pada ruang yang disebutkan tadi atau meshing.



Terdapat 3 macam teknik solusi *numeric* : beda hingga (*finite difference*), elemen hingga (*finite element*) dan metode spectral.

- Metode Beda Hingga bekerja dengan mengganti suatu persamaan differensial dengan syarat batas menjadi sebuah sistem persamaan linier yang dilakukan dengan mendiskretisasi daerah asal dan mengubah turunan pada persamaan dengan hampiran beda hingga pusat.
- Metode Elemen Hingga adalah suatu metode yang membagi benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian – bagian ini disebut elemen yang dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda ini disebut meshing.
- Metode *Spectral* adalah formulasi dari Metode Elemen Hingga yang menggunakan polinomial *Piecewise*. Metode Spektral lebih memilih fungsi – fungsi basis polinomial berdimensi tinggi yang tidak seragam. Dengan derajat kebebasan yang lebih sedikit per node, dapat berguna untuk mendeteksi kelemahan kecil. Non-keseragaman node membantu membuat matriks massa diagonal, yang menghemat waktu dan memori komputer. Namun, Metode *Spectral* kesulitan dalam pemodelan geometri yang kompleks.

Kerangka utama metode numerik untuk dasar sebuah solver terdiri dari langkah :

- Aproksimasi variable-variabel aliran yang tidak diketahui dengan fungsi-fungsi sederhana.



disubstitusikan dengan substitusi aproksimasi ke dalam persamaan atur aliran dan formulasi matematis lanjut.

- Solusi persamaan-persamaan aljabar. Perbedaan utama di antara ketiga macam teknik adalah pada cara aproksimasi variablevariabel aliran dan proses diskretisasi.

Secara ringkas *Computational Fluid Dynamic* memprediksi secara kuantitatif apa yang akan terjadi ketika terjadi aliran fluida dan seringkali terjadi kombinasi dengan hal – hal berikut :

- Aliran Perpindahan Kalor
- Reaksi kimia
- Mass Transfer
- Pergerakan Komponen Mekanik
- Perubahan Fase Benda
- Tegangan dan Perpindahan yang terjadi pada benda Solid

Secara umum kerangka kerja *Computational Fluid Dynamic* meliputi formulasi persamaan-persamaan transport yang berlaku, formulasi kondisi batas yang sesuai, pemilihan atau pengembangan kode-kode komputasi untuk mengimplementasikan teknik numerik yang digunakan.

Program *Computational Fluid Dynamic* yang digunakan disini adalah sebagai alat bantu pemodelan atas konfigurasi Propeler yang akan dianalisa. Dari pemodelan ini nantinya akan diperoleh data distribusi tekanan yang akan diolah lebih lanjut sehingga hasil akhir diperoleh thrust dan torsi Propeler. (Muh. Zainal Abidin, 2012)



Computational Fluid Dynamic merupakan ilmu sains dalam penentuan nilai numerik dinamika fluida. Secara umum proses penghitungan

Computational Fluid Dynamic terdiri atas 3 bagian utama yaitu *Pre-processor*, *Processor*, *Post-processor*. (Muh. Zainal Abidin, 2012)

1. *Pre-processor*

Pre-processor adalah tahap dimana data diinput mulai dari pendefinisian domain serta pendefinisian kondisi batas atau *boundary condition*. Langkah-langkah dalam tahap ini adalah sebagai berikut :

- Pendefinisian geometri yang dianalisa
- *Grid generation*, yaitu pembagian daerah domain menjadi bagian-bagian lebih kecil yang tidak tumpang tindih
- Seleksi fenomena fisik dan kimia yang perlu dimodelkan
- Pendefinisian properti fluida
- Pemilihan *boundary condition* (kondisi batas) pada kontrol volume atau sel yang berhimpit dengan batas domain
- Penyelesaian permasalahan

Data yang diperlukan pada batas tergantung dari tipe kondisi batas dan model fisik yang dipakai (turbulensi, persamaan energi, multifasa, dll). Data yang diperlukan pada kondisi batas merupakan data yang sudah diketahui atau data yang dapat diasumsikan. Tetapi asumsi data yang dipakai harus diperkirakan mendekati yang sebenarnya. Input data yang salah pada kondisi batas akan sangat berpengaruh pada hasil simulasi. Dibawah ini beberapa kondisi batas pada *Ansys*

CFX :



a. *Velocity Inlet*

Kondisi batas velocity inlet digunakan untuk mendefinisikan kecepatan aliran dan besaran skalar lainnya pada sisi masuk aliran. Kondisi batas ini hanya digunakan untuk aliran incompressible.

b. *Mass Flow Inlet*

Nilai tekanan gauge digunakan sebagai tebakan awal oleh CFX, selanjutnya akan dikoreksi sendiri sejalan dengan proses iterasi. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulen sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

c. *Pressure Inlet*

Data tekanan total (*absolute*), tekanan gauge, temperatur, arah aliran dan dari nilai tekanan operasi dan tekanan gauge. Metode spesifikasi arah aliran dan turbulensi sama dengan kondisi batas *velocity inlet*.

d. *Pressure Outlet*

Pola aliran ini harus dimasukkan nilai tekanan statik, temperatur aliran balik (*backflow*) dan besaran turbulen aliran balik kondisi batas yang dipakai pada sisi keluar fluida dan data tekanan pada sisi keluar dapat di ketahui nilai sebenarnya.

e. *Outflow*

Kondisi batas ini digunakan apabila data keluar pada sisi keluar tidak diketahui sama sekali pada sisi keluar di ekstrapolasi dari data yang ada pada aliran sebelum mencapai sisi keluar.



f. Pressure Far-Field

Kondisi batas ini untuk memodelkan aliran kompresibel *free-stream* yang mempunyai dimensi yang sangat panjang jarak antara inlet dan outlet jauh. Besaran yang dimasukkan adalah tekanan gauge bilangan *Mach*, temperatur aliran arah aliran dan besarnya turbulensi pada sisi keluar.

g. Dinding (wall)

Kondisi batas ini digunakan sebagai dinding untuk aliran fluida dalam saluran atau dapat disebut juga sebagai dinding saluran. Kondisi batas ini digunakan juga sebagai pembatas antara daerah fluida (cair dan gas) dan padatan.

h. Symmetry dan Axis

Pada panel kondisi batas untuk kedua kondisi batas ini tidak ada input data yang diperlukan. Kondisi batas simetri digunakan apabila model geometri kasus yang bersangkutan dan pola aliran pada model tersebut simetri. Kondisi batas ini juga dapat digunakan untuk memodelkan dinding tanpa gesekan pada aliran viskos. Sedangkan kondisi batas axis digunakan sebagai garis tengah (*centerline*) untuk kasus 2D *axisymmetry*.

i. Periodic

Kondisi batas ini hanya dapat digunakan pada kasus yang mempunyai medan aliran dan geometri yang *periodic*, baik secara translasi atau rotasi.

j. Cell Zone : Fluid

Kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan

fluida. Data yang dimasukkan hanya material fluida, didefinisikan sebagai properti.



k. Cell Zone : Solid

Data yang dimasukkan hanya material padatan didefinisikan *heat generation rate* pada kontinum *solid* . sedangkan kondisi batas ini digunakan pada kontinum model yang didefinisikan sebagai padatan.

l. Porous Media

Kondisi batas ini digunakan dengan cara mengaktifkan pipihan *porous zone* pada panel fluida. *Porous zone* merupakan pemodelan khusus dari zona fluida selain padatan dan fluida. Digunakan untuk memodelkan aliran yang melewati media berpori dan tahanan yang terdistribusi, misalnya: *packed beds, filter papers, perforated plates, flow distributors, tube banks.*

2. Processor (solver)

Pada tahap ini dilakukan proses penghitungan data-data input dengan persamaan yang terlibat secara iteratif. Artinya penghitungan dilakukan hingga hasil menuju error terkecil atau hingga mencapai nilai yang konvergen. Secara umum metode *numeric solver* tersebut terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut :

- Prediksi variabel aliran yang tidak diketahui dengan menggunakan fungsi sederhana
- Diskretisasi dengan substitusi prediksi-prediksi tersebut menjadi persamaan-persamaan aliran utama yang berlaku dan kemudian melakukan manipulasi matematis

pelelesaian persamaan aljabar. Pada proses *solver*, terdapat 3 persamaan aliran fluida yang menyatakan hukum kekekalan fisika, yaitu : 1) massa



fluida kekal; 2) laju perubahan momentum sama dengan resultansi gaya pada partikel fluida (Hukum II Newton); 3) laju perubahan energi sama dengan resultansi laju panas yang ditambahkan dan laju kerja yang diberikan pada partikel fluida (Hukum I Termodinamika).

3. *Post -processor*

Tahap akhir merupakan tahap *post-processor* dimana hasil perhitungan diinterpretasikan ke dalam gambar, grafik bahkan animasi dengan pola-pola warna tertentu. Dalam modul *post-processor* nilai-nilai numerik ini diolah agar pengguna dapat dengan mudah membaca dan menganalisis hasil-hasil perhitungan CFD. Hasil-hasil ini dapat disajikan dalam bentuk grafis-grafis ataupun kontur-kontur distribusi parameter-parameter aliran fluida. *Post processor* semakin berkembang dengan majunya *engineering workstation* yang mempunyai kemampuan grafik dan visualisasi cukup besar. Dalam simulasi, model-model yang digunakan didiskretisasi dengan metode formulasi dan diselesaikan dengan menggunakan bermacam-macam algoritma numerik. Metode diskretisasi dan algoritma terbaik yang digunakan tergantung dari tipe masalah dan tingkat kedetailan yang dibutuhkan.

Adapun beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamic* antara lain: (Muh. Zainal Abidin, 2012)

- Meminimumkan waktu dan biaya dalam mendesain suatu produk, bila proses desain tersebut dilakukan dengan uji eksperimen dengan akurasi

tinggi.



- Memiliki kemampuan sistem studi yang dapat mengendalikan percobaan yang sulit atau tidak mungkin dilakukan dalam eksperimen.
- Memiliki kemampuan untuk studi di bawah kondisi berbahaya pada saat atau sesudah melewati titik kritis (termasuk studi keselamatan dan skenario kecelakaan).

Keakuratannya akan selalu dikontrol dalam proses desain.

II.7 Analisis Perhitungan

- **Analisis Perpindahan Panas**

Susunan perpindahan panas yang di bahas pada rancangan ini adalah perpindahan panas dinding berbentuk pipa. Perpindahan panas adalah energi yang berpindah karena adanya perbedaan temperature. Bilangan Prandtl yang merupakan perbandingan antara ketebalan lapis batas kecepatan dengan ketebalan lapis batas termal.

- Bilangan Prandtl (Pr) dinyatakan dengan persamaan :

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k} \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana :

μ = Viskositas kinematik (m^2/s)

C_p = Kalor spesifik fluida pada tekanan tetap ($kJ/kg.^{\circ}C$)

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

Perpindahan kalor yang terjadi pada suatu lapisan fluida terjadi melalui proses konduksi dan konveksi. Bilangan Nusselt (Nu) menyatakan perbandingan

perpindahan kalor konveksi pada suatu lapisan fluida dibandingkan dengan



perpindahan kalor konduksi pada lapisan fluida tersebut. Persamaan yang digunakan:

$$Nu = 0,023 Pr^{0,4} Re^{0,8} \dots\dots\dots(2-9)$$

Dimana :

Pr = Bilangan Prandlt

Re = Bilangan Reynold

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

$$h = Nu \frac{k}{L} \dots\dots\dots(2-10)$$

Dimana :

Nu = Bilangan nusselt

k = Konduktivitas thermal (W/m.°C)

L = Panjang plat (m)

- Untuk mengetahui aliran dalam tabung atau pipa apakah laminar atau turbulen digunakan bilangan Reynolds (Re) adalah :

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} \dots\dots\dots(2-11)$$

- Luas selubung luar pipa (Ao) = $\pi \cdot d_o \cdot L_p \cdot n \dots\dots\dots(2-12)$

- Luas selubung dalam pipa (Ai) = $\pi \cdot d_i \cdot L_p \cdot n \dots\dots\dots(2-13)$

Dimana :

d_o = diameter luar pipa (m)

d_i = diameter dalam pipa (m)

L_p = panjang pipa (m)

n = jumlah pipa



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

- **Tahanan termal di bagian dalam pipa (R_i)**

$$R_i = \frac{1}{h_i \times A_i} = \frac{1}{h_i 2\pi r_i} \dots\dots\dots(2-14)$$

Dimana :

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

r_i = jari-jari dalam pipa (m)

Karena aliran dalam pipa adalah laminar maka nilai h_i , ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$h_i = \frac{48k}{11d_i} \dots\dots\dots(2-15)$$

- **Tahanan termal pipa (R_s)**

$$R_s = \frac{\ln(r_o / r_i)}{2 \pi kLn} \dots\dots\dots(2-16)$$

- **Tahanan termal bagian luar pipa (R_o)**

$$R_o = \frac{1}{h_o \times A_o} = \frac{1}{h_o 2\pi r_o} \dots\dots\dots(2-17)$$

dimana h_o merupakan koefisien perpindahan panas di luar pipa, untuk aliran laminar hubungan sederhana h_o adalah :

$$h_o = 1,32 \times \left[\frac{T_o - T_w}{d_o} \right]^{1/4} \dots\dots\dots(2-18)$$



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

$$\frac{T_w - T_i}{R_i} = \frac{T_i - T_o}{R_s} = \frac{T_o - T_w}{R_o} \dots\dots\dots(2-19)$$

- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan luar

$$U_o = \frac{1}{[R_i \times A_o / A_i] + [A_o \times R_s] + [R_o]} \dots\dots\dots(2-20)$$

- Koefisien perpindahan kalor menyeluruh pada permukaan dalam pipa

$$U_i = \frac{1}{[R_o \times A_i / A_o] + [A_i \times R_s] + [R_i]} \dots\dots\dots(2-21)$$

- Penentuan Temperatur Air Laut Keluar ($T_{sw_{out}}$)

Untuk menentukan T_{c2} , maka perlu digunakan persamaan keseimbangan energi dengan asumsi bahwa kerugian panas ke atmosfer dapat diabaikan, yaitu :

$$\dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (Th_1 - Th_2) = - \dot{m}_c \cdot c_{pc} \cdot (Tc_1 - Tc_2) \dots\dots\dots(2-22)$$

$$\frac{\dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (Th_1 - Th_2)}{- \dot{m}_c \cdot c_{pc}} = - (Tc_1 - Tc_2) \dots\dots\dots(2-23)$$

$$Tc_2 = Tc_1 + \frac{\dot{m}_h \cdot c_{ph} \cdot (Th_1 - Th_2)}{- \dot{m}_c \cdot c_{pc}} \dots\dots\dots(2-24)$$

Dimana :

\dot{m}_h = laju aliran massa fluida gas buang (kg/s)

= $Q \cdot \rho$

Q = kapasitas gas buang (m^3/s)

ρ = jenis gas buang (kg/m^3)

\dot{m}_c = aliran massa fluida air dingin (kg/s)



Q = kapasitas air laut (m^3/s)

ρ = massa jenis air laut (kg/m^3)

c_{ph} = panas jenis fluida gas ($kJ/kg.^{\circ}C$)

c_{pc} = panas jenis fluida air laut ($kJ/kg.^{\circ}C$)

• **Beda Suhu Rata-rata Log (LMTD)**

Suhu fluida-fluida di dalam penukar kalor pada umumnya tidak konstan, tetapi berbeda dari suatu titik yang lainnya pada waktu panas mengalir dari fluida yang lebih dingin. Maka dari itu untuk tahanan termal yang konstan pun, laju aliran panas akan berbeda sepanjang lintasan penukar kalor harganya tergantung pada beda suhu antara fluida yang panas dan yang dingin pada penampang tertentu. Untuk menghitung perpindahan kalor dalam suatu alat penukar kalor pipa ganda alian sejajar maupun lawan arah dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$q = U \times A \times \Delta T \dots\dots\dots(2-25)$$

Dimana :

U = koefisien perpindahan kaloe menyeluruh ($w/ m^2. ^{\circ}C$)

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 :

$$\Delta T_m = \frac{(Th1 - Tc1) - (Th2 - Tc2)}{\ln \frac{(Th1 - Tc1)}{(Th2 - Tc2)}} \dots\dots\dots(2-26)$$



peratur fluida dingin (air laut) masuk ($^{\circ}C$)

T_{c2} = temperatur fluida dingin (air laut) keluar ($^{\circ}\text{C}$)

T_{h1} = temperatur fluida panas (gas buang) masuk ($^{\circ}\text{C}$)

T_{h2} = temperatur fluida panas (gas buang) keluar ($^{\circ}\text{C}$)

- **Laju Aliran Perpindahan Panas**

Laju aliran panas dihitung dengan persamaan :

$$Q = UA \Delta T_m \dots\dots\dots(2-27)$$

dimana :

U = koefisien perpindahan panas menyeluruh ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

A = luas permukaan (m^2)

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

Untuk perpindahan panas yang sebenarnya (aktual) dapat dihitung dari energi yang dilepaskan oleh fluida panas atau energi yang diterima oleh fluida dingin untuk penukar panas aliran lawan arah (Tirtoadmodjo, Rahardjo, 1999).

- **Efektivitas Alat Penukar Kalor**

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

kan dengan menggunakan metode yang berdasarkan atas efisiensi 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*) :

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

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

Untuk fluida panas (*hot*) menurut persamaan :

$$\epsilon_h = \frac{T_{h1} - T_{h2}}{T_{h1} - T_{c1}} \dots\dots\dots(2-28)$$

Untuk fluida dingin (*cold*) menggunakan persamaan :

$$\epsilon_c = \frac{T_{c2} - T_{c1}}{T_{h1} - T_{c2}} \dots\dots\dots(2-29)$$

Dimana :

T_{h1} = temperatur fluida panas (gas buang) masuk (°C)

T_{h2} = temperatur fluida panas (gas buang) keluar (°C)

T_{c1} = temperatur fluida dingin (air laut) masuk (°C)

T_{c2} = temperatur fluida dingin (air laut) keluar (°C)

