



**SKRIPSI - ME-141501**

**PEMANFAATAN ENERGY DINGIN PADA  
PROSES REGASIFIKASI LNG UNTUK  
PEMBANGKIT LISTRIK**

Muhammad Syawal Saputra  
NRP 4213 106 002

Dosen Pembimbing  
Dr. I Made Ariana, ST, M.Sc

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016



**FINAL PROJECT - ME-141501**

**UTILIZATION OF COLD ENERGY OF  
LNG REGASIFICATION PROCESS ON  
BE POWER PLANT**

Muhammad Syawal Saputra  
NRP 4213 106 002

Dosen Pembimbing  
Dr. I Made Ariana, ST, M.Sc

Department of Marine Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2016

## LEMBAR PENGESAHAN

### PEMANFAATAN ENERGY DINGIN PADA PROSES REGASIFIKASI LNG UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK

#### SKRIPSI

■ diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Muhammad Syawal Saputra**  
Nrp. 4213 106 002

■ disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. I Made Ariana, ST, M.Sc  
NIP. 1971 0610 1995 17 1001



.....

SURABAYA  
JANUARI, 2016

# LEMBAR PENGESAHAN

## PEMANFAATAN ENERGY DINGIN PADA PROSES REGASIFIKASI LNG UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK

### SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Muhammad Syawal Saputra**

Nrp. 4213 106 002

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :

1. Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST, M.Sc  
NIP. 1977 0802 2008 01 1007



SURABAYA  
JANUARI, 2016

# **PEMANFAATAN ENERGY DINGIN PADA PROSES REGASIFIKASI LNG UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK**

**Nama Mahasiswa** : Muhammad Syawal Saputra  
**NRP** : 4213 106 002  
**Jurusan** : Teknik Sistem Perkapalan  
**Dosen Pembimbing** : Dr. I Made Ariana, ST, M.Sc

## **Abstrak**

Regasifikasi LNG adalah suatu proses perubahan fase gas alam cair menjadi gas alam yang akan digunakan untuk menjadi sumber energi. Pada proses ini energy dingin dari LNG terbuang, energy dingin yang terbuang bisa di manfaatkan untuk banyak hal. Pada skripsi ini di lakukan penelitian untuk memanfaatkan energy dingin yang terbuang menjadi pembangkit listrik dengan model proses rankine cycle. Proses ini menggunakan intermediate fluid yang di uapkan dan berfungsi untuk memutar turbin lalu didinginkan hingga cair dengan memanfaatkan energy dingin dari proses regasification. Fluida yang digunakan adalah propane, ammonia dan trifluoromethana.

Kata kunci : *regasifikasi LNG, pemanfaatan energy dingin, rankine cycle*

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

# UTILIZATION OF LNG COLD ENERGY REGASIFICATION PROCESS TO BE POWER PLANT

**Name** : Muhammad Syawal Saputra  
**NRP** : 4213 106 002  
**Department** : Marine Engineering  
**Advisor** : Dr. I Made Ariana, ST, M.Sc

## Abstract

*Regasification of LNG is a natural process to change a liquefied natural gas to gas-phase that will be used to be a source of energy. In this process of LNG cold energy there is cold energy wasted, the energy can be utilized for many things. In this thesis, research for utilizing the cold energy wasted into electricity power generation by a Rankine cycle process. This process uses the intermediate fluid is vaporized and used to turn turbines and then cooled to a liquid by utilizing the cold energy from the regasification process. The fluid used is propane, ammonia, and trifluoromethane.*

**Key word:** *regasification LNG, utilization cold energy, Rankine cycle*

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Dengan ini saya panjatkan puji syukur alhamdulillah kehadirat Allah SWT, karena atas segala rahmat dan pertolongan-Nya penulis diijinkan dan dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul “pemanfaatan energy dingin pada proses regasifikasi LNG untuk pembangkit listrik”. Laporan ini disusun untuk memenuhi matakuliah Skripsi Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.

Skripsi ini membahas mengenai pengaruh energy dingin dari proses regasifikasi yang dapat dimanfaatkan untuk menjadi bagian pada sistem pembangkit listrik.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada :

1. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. M.Sc selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya
2. Bapak Dr. I Made Ariana, ST. M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
3. Bapak dan Ibu tercinta beserta keluarga di rumah yang selalu memberikan doa, cinta dan kasih sayang yang sangat di butuhkan sebagai semangat dalam menempuh kuliah.
4. Teman-teman Sistem Perkapalan yang selalu memberikan semangat.
5. Serta bagi pihak lain, teman-teman dan sahabat-sahabatku yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan Skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, dan di butuhkan kritik saran yang membangun bagi penulis. Akhirnya penulis berharap semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
Abstrak.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI .....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL .....	xix
DAFTAR .....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
Latar Belakang.....	1
Perumusan Masalah.....	2
Batasan Masalah.....	2
Tujuan.....	2
Manfaat .....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	4
Umum.....	4
Turbin Uap.....	5
Alat Penukar Panas .....	10
Kondensor.....	15
Heat Exchanger .....	17
Vaporizer .....	18
Pompa .....	19
Rankine cycle.....	20

BAB III METODOLOGI .....	24
3.1. Umum .....	24
3.2. Diagram Alir.....	26
BAB IV ANALISA DATA.....	28
4.1. Laju massa aliran fluida.....	28
4.2. Perhitungan daya turbin.....	29
4.3. Perhitungan analisa kondensor .....	31
4.4. Perhitungan daya pompa .....	33
4.5. Perhitungan daya heat exchanger .....	34
4.6. Luas Heat Exchanger.....	36
4.7. Laju massa aliran air laut.....	37
4.8. Luas permukaan total .....	38
4.9. Variasi.....	40
4.10. Pembahasan .....	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran .....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	45

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Cryogenic Power Plant.....	4
Gambar 2.2	Prinsip Kerja Turbin.....	10
Gambar 2.3	Type Shell and Tube.....	14
Gambar 2.4	Proses Siklus Rankine.....	22
Gambar 3.1	Spesifikasi Turbin Uap.....	25
Gambar 4.1	Turbin Uap Low Pressure.....	29
Gambar 4.2	Condenser.....	31
Gambar 4.3	Heat Exchanger.....	36
Gambar 4.4	Konduktivitas termal.....	37

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## **DAFTAR GRAFIK**

Grafik 4.1	Daya Turbin.....	31
Grafik 4.2	Daya Pompa.....	34
Grafik 4.3	Heat Exchanger.....	35

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 4.1	LNG Fluida.....	28
Tabel 4.2	Laju Massa Aliran Fluida.....	29
Tabel 4.3	Daya turbin.....	30
Tabel 4.4	Kondenser.....	33
Tabel 4.5	Daya Pompa.....	33
Tabel 4.6	Energy pada heat exchanger.....	34
Tabel 4.7	Daya heat exchanger.....	35
Tabel 4.8	Luas permukaan heat exchanger.....	37
Tabel 4.9	laju massa aliran air laut.....	38
Tabel 4.10	Luas permukaan total.....	38
Tabel 4.11	Jumlah Tabung.....	39
Tabel 4.12	Panjang Lintasan.....	39
Tabel 4.13	Rancangan akhir.....	40
Tabel 4.14	Variasi.....	40
Tabel 4.15	Laju aliran dan daya turbin.....	41

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1. Latar Belakang**

LNG (Liquefied Natural Gas) adalah gas alam yang di cairkan dengan cara di dinginkan sampai suhu mencapai  $-162^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan atmosferik. maka akan dihasilkan gas alam dalam bentuk cair. Proses semacam ini di sebut dengan pencairan gas bumi (Natural Gas Liquefaction). Proses ini natural gas mengalami penyusutan volume sebesar kurang lebih  $1/600$  kali.

Terminal suplai LNG merupakan tempat pencairan gas alam yang di suplai dari sumur produksi gas alam melalui jaringan pipa. Terminal penerima LNG sebagai tempat penyimpanan dan regasifikasi LNG merupakan salah satu proses rantai transportasi LNG. Terminal digunakan untuk menampung atau mendistribusikan LNG.

Pada proses regasifikasi LNG ada energy yang terbuang, yaitu energy dingin. Terbuangnya energy dingin ini dinilai memiliki potensi pemanfaatan energy. Seiring berkembangnya teknologi, energy tersebut dapat digunakan untuk mendinginkan fluida yang digunakan pada proses cryogenic power plant. Fluida yang di dinginkan LNG akan digunakan juga untuk menggerakkan turbin.

Cryogenic power plant memiliki kelebihan dari pembangkit listrik pada umumnya. System pembangkit listrik ini memanfaatkan energy kriogenik LNG untuk mendinginkan fluida yang akan memutar turbin dan menghasilkan listrik yang hemat energy dan mengurangi emisi  $\text{CO}_2$  tanpa adanya proses pembakaran pada system ini.

### **I.2. Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah di uraikan, permasalahan yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah :

1. Mencari performa dari pembangkit listrik.
2. Berapa besar daya yang dihasilkan pada setiap proses untuk mendapat output yang maksimal.

### **I.3. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Flow rate LNG 150 t/h.
2. Seawater yang di gunakan 25°C.

### **I.4. Tujuan**

Tujuan yang ingin dicapai dari skripsi ini antara lain :

1. Untuk mendapatkan performa dari pembangkit listrik
2. Mengetahui daya maksimal yang dihasilkan di setiap proses pada pembangkit listrik.

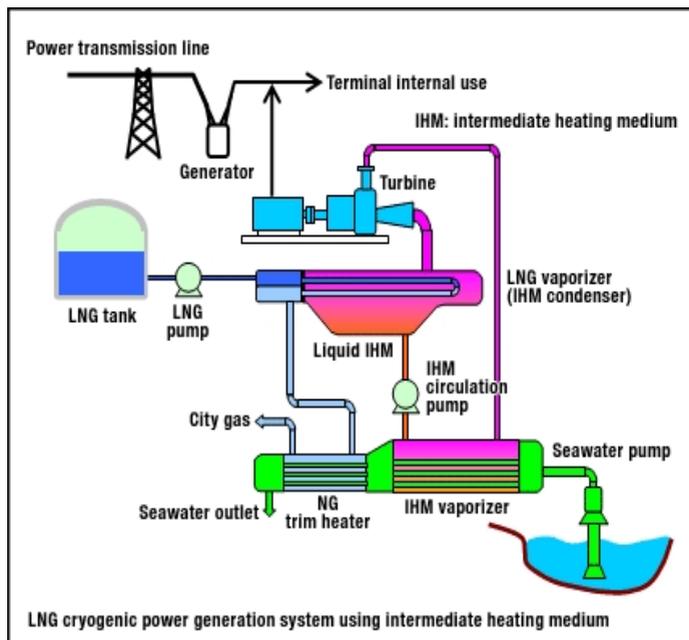
### **I.5. Manfaat**

Manfaat penelitian yang akan di dapatkan setelah penulisan skripsi ini adalah mengetahui cara memanfaatkan energy dingin dari hasil regasifikasi LNG untuk dijadikan sumber pembangkit listrik yang efisien. Selain itu dapat mengetahui komponen pendukung dalam mengoptimalkan pembangkit listrik.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Umum

Cryogenic power plant adalah teknologi yang di gunakan dengan cara pemanfaatan energy dingin dari proses regasifikasi di terminal LNG. Liquid IHM (Intermediate Heating Medium) yang di dinginkan LNG akan di uapkan dan di gunakan untuk menggerakkan turbin dan merubah menjadi energy listrik. Prinsip kerjanya sama seperti pembangkit listrik tenaga uap. Perbedaannya adalah pada sistem ini tidak adanya proses pembakaran untuk merubah fluida menjadi uap yang akan menggerakkan turbin. Siklus rankin di aplikasikan pada sistem ini



Gambar2.1 Cryogenic Power Plant

## **2.2. Turbin Uap**

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang merubah energy potensial uap menjadi energy kinetic dan selanjutnya di ubah menjadi energy mekanis dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin, langsung atau dengan bantuan roda gigi reduksi, dihubungkan dengan mekanisme yang digunakan, turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang seperti pada bidang industry, untuk pembangkit tenaga listrik dan untuk transportasi. Pada proses perubahan energy potensial menjadi energy mekanisnya yaitu dalam bentuk putaran poros dilakukan dengan berbagai cara.

Pada dasarnya turbin uap terdiri dari dua bagian utama, yaitu stator dan rotor yang merupakan komponen utama pada turbin kemudian di tambah komponen lainnya yang meliputi pendukungnya seperti bantalan, kopling dan sistem bantu lainnya agar kerja turbin dapat lebih baik. Sebuah turbin uap memanfaatkan energi kinetik dari fluida kerjanya yang bertambah akibat penambahan energi termal.

Turbin uap adalah suatu penggerak mula yang mengubah energi potensial menjadi energi kinetik dan energi kinetik ini selanjutnya diubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros turbin. Poros turbin langsung atau dengan bantuan elemen lain, dihubungkan dengan mekanisme yang digerakkan. Tergantung dari jenis mekanisme yang digerakkan turbin uap dapat digunakan pada berbagai bidang industri, seperti untuk pembangkit listrik.

Sebuah sistem turbin uap – generator yang digunakan untuk pembangkit listrik tenaga uap berfungsi untuk mengkonversikan energi panas dari uap air menjadi energi listrik. Proses yang

terjadi adalah energi panas yang ditunjukkan oleh gradien/perubahan temperatur dikonversikan oleh turbin menjadi energi kinetik dan sudu-sudu turbin mengkonversikan energi kinetik ini menjadi energi mekanik pada poros/shaft. Pada akhirnya, generator mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik. Panas dari uap air yang tidak terkonversi menjadi energi mekanik, terdisipasi/dibuang di kondenser oleh air pendingin.

Umumnya PLTU menggunakan turbin uap tipe multistage, yakni turbin uap yang terdiri atas lebih dari 1 stage turbin (Turbin High Pressure, Intermediate Pressure, dan Low Pressure). Uap air superheater yang dihasilkan oleh boiler masuk ke turbin High Pressure (HP), dan keluar pada sisi exhaust menuju ke boiler lagi untuk proses reheater. Uap air yang dipanaskan kembali ini dimasukkan kembali ke turbin uap sisi Intermediate Pressure (IP), dan uap yang keluar dari turbin IP akan langsung masuk ke Turbin Low Pressure (LP). Selanjutnya uap air yang keluar dari turbin LP masuk ke dalam kondenser untuk mengalami proses kondensasi.

### 1.2.1. Komponen Turbin

Berikut adalah beberapa bagian penting dari turbin :

#### a) Shaft seals

Shaft seals adalah bagian dari turbin antara poros dengan casing yang berfungsi untuk mencegah uap air keluar dari dalam turbin melewati sela-sela antara poros dengan casing akibat perbedaan tekanan dan juga untuk mencegah udara masuk ke dalam turbin (terutama turbin

LP karena tekanan uap air yang lebih vakum) selama turbin uap beroperasi.

Turbin uap menggunakan sistem labyrinth seal untuk shaft seals. Sistem ini berupa bagian yang berkelak-kelok pada poros dan casing-nya yang kedua sisinya saling bertemu secara berselang-seling. Antara labyrinth poros dengan labyrinth casing ada sedikit rongga dengan jarak tertentu. Sistem ini bertujuan untuk mengurangi tekanan uap air di dalam turbin yang masuk ke sela-sela labyrinth sehingga tekanan antara uap air dengan udara luar akan mencapai nilai yang sama pada titik tertentu. Selain adanya sistem labyrinth seal, ada satu sistem tambahan bernama sistem seal & gland steam. Sistem ini bertugas untuk menjaga tekanan di labyrinth seal pada nilai tertentu terutama pada saat start up awal atau shut down turbin dimana pada saat tersebut tidak ada uap air yang masuk ke dalam turbin uap.

#### b) Turbine bearings

Bearing / bantalan pada turbin uap memiliki fungsi sebagai berikut:

- Menahan diam komponen rotor secara aksial
- Menahan berat dari rotor
- Menahan berbagai macam gaya tidak stabil dari uap air terhadap sudu turbin
- Menahan gaya kinetik akibat dari sisa-sisa ketidakseimbangan atau ketidakseimbangan karena kerusakan sudu (antisipasi)

- Menahan gaya aksial pada beban listrik yang bervariasi

Jenis bearing yang digunakan dalam desain turbin uap yaitu thrust bearing, journal bearing, dan kombinasi antara keduanya. Selain itu juga dibutuhkan sebuah sistem pelumasan menggunakan oli, yang secara terus-menerus disirkulasi dan didinginkan untuk melumasi bearing yang terus mengalami gesekan pada saat turbin uap beroperasi normal.

c) Balance Piston

Pada turbin uap, ada 50% gaya reaksi dari sudu yang berputar menghasilkan gaya aksial terhadap sisi belakang dari silinder pertama turbin, gaya inilah yang perlu dilawan oleh sistem balance piston.

d) Turbine Stop Valve

Atau disebut juga Emergency Stop Valve karena berfungsi untuk mengisolasi turbin dari supply uap air pada keadaan darurat untuk menghindari kerusakan atau juga overspeed.

e) Turbine Control Valve

Berfungsi untuk mengontrol supply dari uap air yang masuk ke dalam turbin sesuai dengan sistem kontrol yang bergantung pada besar beban listrik.

f) Turning Device

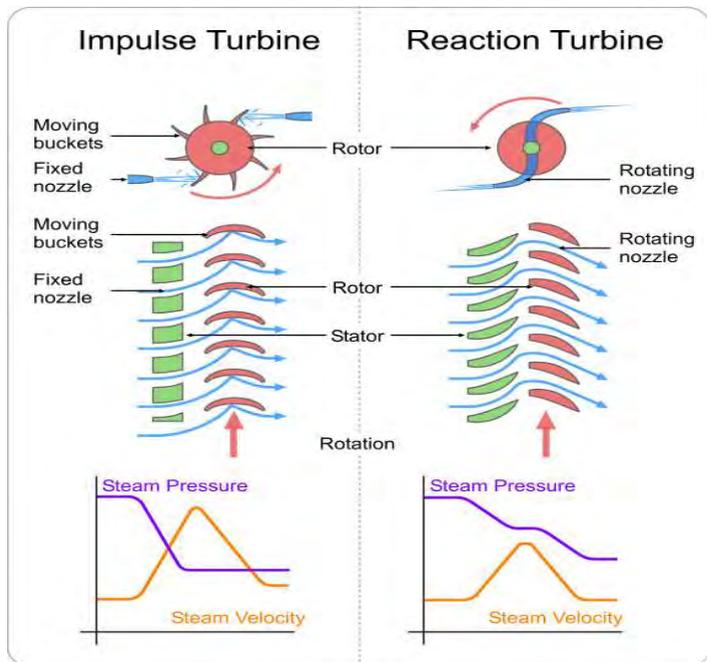
Adalah suatu mekanisme untuk memutar rotor dari turbin pada saat start awal atau pada saat setelah shut down untuk mencegah terjadinya distorsi/bending akibat dari proses pemanasan atau pendinginan yang tidak seragam pada rotor.

### 1.2.2. Prinsip Kerja Turbin

Turbin uap terdiri dari sebuah cakram yang dikelilingi oleh daun-daun cakram yang disebut sudu-sudu. Sudu-sudu ini berputar karena tiupan dari uap bertekanan yang berasal dari ketel uap, yang telah dipanasi terdahulu dengan menggunakan bahan bakar padat, cair dan gas.

Uap tersebut kemudian dibagi dengan menggunakan control valve yang akan dipakai untuk memutar turbin yang dikopelkan langsung dengan pompa dan juga sama halnya dikopel dengan sebuah generator sinkron untuk menghasilkan energi listrik.

Setelah melewati turbin uap, uap yang bertekanan dan bertemperatur tinggi tadi muncul menjadi uap bertekanan rendah. Panas yang sudah diserap oleh kondensor menyebabkan uap berubah menjadi air yang kemudian dipompakan kembali menuju vaporizer. Sisa panas dibuang oleh kondensor mencapai setengah jumlah panas semula yang masuk.



Gambar2.2 Prinsip Kerja Turbin

### 2.3. Alat Penukar Panas

Peralatan penukar panas adalah suatu peralatan di mana terjadi perpindahan panas dari suatu fluida yang temperaturnya lebih tinggi kepada fluida lain yang temperaturnya lebih rendah. Klasifikasi peralatan penukar panas didasarkan pada :

- Proses perpindahan panas
- Jumlah fluida yang mengalir
- Kompak tidaknya luas permukaan
- Mekanisme perpindahan panas
- Konstruksi
- Tipe pelat

## g) Pengaturan aliran

### 1.3.1. Klasifikasi alat penukar kalor

#### 1. Condenser

Condenser merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan fluida sampai terjadi perubahan fase dari fase uap menjadi fase cair. Media pendingin yang dipakai biasanya air sungai atau air laut dengan suhu udara luar.

#### 2. Chiller

Chiller merupakan alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan (menurunkan suhu) cairan atau gas pada temperatur yang sangat rendah. Temperatur pendingin di dalam chiller jauh lebih rendah dibandingkan dengan pendinginan yang dilakukan oleh pendingin air. Media pendingin yang digunakan antara lain Freon.

#### 3. Reboiler

Reboiler merupakan alat penukar panas yang bertujuan untuk mendidihkan kembali serta menguapkan sebagian cairan yang diproses. Media pemanas yang digunakan antara lain uap (steam) dan minyak (oil). Alat penukar panas ini digunakan pada peralatan distilasi.

#### 4. Cooler

Cooler adalah alat penukar panas yang digunakan untuk mendinginkan (menurunkan suhu) cairan atau gas dengan menggunakan air sebagai media pendingin. Dengan perkembangan teknologi saat ini, media pendingin cooler menggunakan udara dengan bantuan kipas (fan).

#### 5. Heat Exchanger

Heat Exchanger (HE) adalah alat penukar panas yang bertujuan memanfaatkan panas suatu aliran fluida untuk pemanasan aliran fluida yang lain. Dalam hal ini terjadi 2 fungsi sekaligus yaitu :

- Memanaskan fluida yang dingin
- Mendinginkan fluida yang panas

#### 6. Heater

Heater merupakan alat penukar kalor yang bertujuan memanaskan (menaikkan suhu) suatu fluida proses dengan menggunakan media pemanas. Media pemanas yang biasa digunakan antara lain uap atau fluida panas lain.

#### 7. Thermosiphon dan Forced Circulation Reboiler

Thermosiphon reboiler merupakan reboiler dimana terjadi sirkulasi fluida yang akan dididihkan dan diuapkan dengan proses sirkulasi alamiah (natural circulation). Sedangkan Forced Circulation Reboiler adalah reboiler yang sirkulasi fluida terjadi akibat adanya pompa sirkulasi sehingga menghasilkan sirkulasi paksaan (forced circulation).

#### 8. Steam Generator

Alat ini sering disebut sebagai ketel uap dimana terjadi pembentukan uap dalam unit pembangkit. Panas hasil pembakaran bahan bakar dalam ketel dipindahkan dengan cara konveksi, konduksi dan radiasi. Berdasarkan sumber panasnya, steam generator dibagi 2 macam, yaitu :

- Steam generator tipe pipa air

Tipe ini, fluida yang berada di dalam pipa adalah air ketel, sedangkan pemanas (berupa nyala api dan gas asap) berada di luar pipa. Hasilnya berupa uap dengan tekanan tinggi.

- Steam generator tipe pipa api

Tipe ini, fluida yang berada di dalam pipa adalah nyala api, sedangkan air yang akan diuapkan berada di luar pipa dalam bejana khusus pemanas (berupa nyala api

dan gas asap) berada di luar pipa.

#### 9. WHB (Waste Heat Boiler)

WHB adalah alat penukar panas sejenis dengan ketel uap tetapi memiliki perbedaan pada sumber panas yang digunakan. Sumber panas pada ketel uap yaitu hasil pembakaran bahan bakar sedangkan sumber panas pada WHB yaitu memanfaatkan panas dari gas asap pembakaran atau cairan panas yang diperoleh dari reaksi kimia.

#### 10. Superheater

Alat penukar panas jenis ini digunakan untuk mengubah uap basah (saturated steam) pada steam generator (ketel uap) menjadi uap kering (superheated steam).

#### 11. Evaporator

Evaporator adalah alat penukar panas yang digunakan untuk menguapkan cairan yang ada pada larutan sehingga diperoleh larutan yang lebih pekat (mother liquor).

#### 12. Vaporizer

Alat penukar panas ini digunakan untuk menguapkan suatu cairan sehingga fasenya berubah dari cair menjadi gas.

#### 13. Ekonomizer

Ekonomizer (disebut juga pemanas air pengisi ketel uap) digunakan untuk menaikkan suhu air sebelum air masuk ke dalam ketel uap. Tujuannya untuk meringankan beban ketel.

### 1.3.2. Alat Penukar Panas Type Shell and Tube

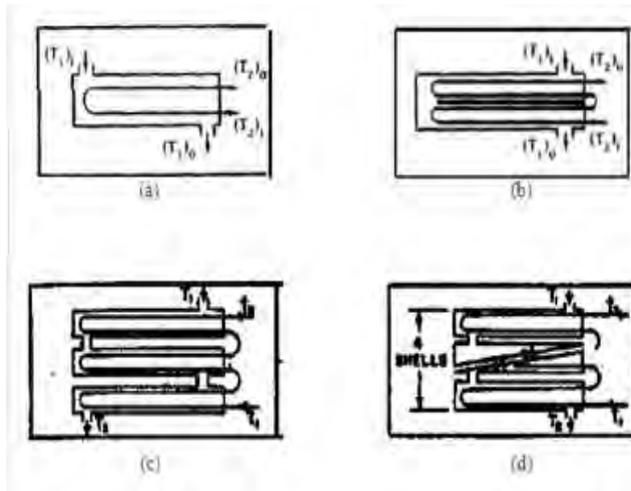
pada alat penukar panas tipe shell and tube terdapat 2 jenis lintasan yaitu :

- Shell pass (lintasan shell)

Merupakan lintasan yang dilakukan oleh fluida sejak masuk mulai saluran masuk (inlet nozzle) melewati bagian dalam shell dan mengelilingi tube, keluar dari saluran buang (outlet nozzle) sehingga lintasan ini disebut 1 lintasan shell atau 1 pass shell.

· Tube pass (lintasan tube)

Merupakan lintasan yang dilakukan oleh fluida masuk ke dalam penukar kalor melalui salah satu ujung (front head) lalu mengalir ke dalam tube dan langsung ke luar dari ujung yang lain sehingga disebut 1 pass tube. Apabila fluida tersebut membelok lagi masuk ke dalam tube sehingga terjadi 2 kali lintasan dalam tube maka disebut 2 pass tube. Di bawah ini contoh lintasan dalam alat penukar panas tipe shell and tube yaitu:



Gambar2.3 Type Shell and Tube

Gambar 1 Lintasan Pada Alat Penukar Panas Tipe shell and tube- : (a) 1-2 pass; (b) 2-4 pass; (c) 3-6 pass; (d) 4-8 pass

## 2.4. Kondensor

Kondensor merupakan alat penukar kalor yang berfungsi untuk mengkondensasikan uap keluaran turbin. Uap setelah memutar turbin langsung mengalir menuju kondensor untuk diubah menjadi air (dikondensasikan), hal ini terjadi karena uap bersentuhan langsung dengan pipa-pipa (tubes) yang didalamnya dialiri oleh air pendingin. Oleh karena kondensor merupakan salah satu komponen utama yang sangat penting, maka kemampuan kondensor dalam mengkondensasikan uap keluaran turbin harus benar-benar diperhatikan, sehingga perpindahan panas antara fluida pendingin dengan uap keluaran turbin dapat maksimal dan pengkondensasian terjadi dengan baik.

Kondensor terdiri dari tube-tube kecil yang melintang. Pada tube-tube inilah air pendingin dialirkan. Sedangkan uap mengalir dari atas menuju ke bawah agar mengalami kondensasi atau pengembunan. Sebelum masuk kedalam kondensor.

Agar uap dapat bergerak turun dengan lancar dari sudu terakhir turbin, maka vakum kondensor harus dijaga, karena dengan ada vakum pada kondensor akan membuat tekanan udara pada kondensor menjadi rendah. Dengan tekanan yang lebih rendah di kondensor, maka uap akan bisa bergerak dengan mudah menuju kondensor.

Fungsi kondensor adalah mengkondensasikan uap bekas dari turbin menjadi cair memelalui pipa-pipa pendingin agar dapat disirkulasikan kembali.

### 2.4.1. Jenis Condensor

Condensor dapat di klasifikasikan menjadi dua jenis :

- **Condensor Kontak langsung** (Direct Contact Condensor/Jet Condensor)

Prinsipnya mencampur uap dan air pendingin yang di spreya dalam satu tabung sehingga terbentuk air kondensate dan biasanya campuran air yang terbentuk di injeksikan lagi ke

perut bumi untuk menjaga kelestarian alam. Condenser jenis ini banyak digunakan pada PLTP.

- **Condensor Permukaan** (Surface Condensor)

Prinsipnya air pendingin dan uap yang di dinginkan tidak di campur, terpisah air pendingin air pendingin di dalam pipa-pipa (tubes) pendingin sedangkan uap yang terkondensasi di dalam cangkang (shell). Pada condenser permukaan air pendingin yang tersedia dalam jumlah besar dan di harapkan air yang masuk kedalam kondensor air yang bersih.

Menurut arah alirannya ada beberapa type Condensor :

- Single Flow (aliran tunggal) satu arah
- Double Flow (aliran ganda) dua/tiga arah

2.4.2. Fungsi Utama Condenser

- Merubah uap keluaran turbin menjadi cair
- Dengan kondensor yang bagus, maka efisiensi turbin bagus
- Menampung dan mengontrol air condensate
- Mengeluarkan udara atau gas yang tidak terkondensasi

2.4.3. Performance Operasional Condensor

Untuk kerja dari kondensor di pengaruhi hal-hal berikut :

- Kebersihan permukaan tube sisi air pendingin
- Kotoran yang menempel permukaan tube dapat menghambat transfer uap ke air pendingin serta memperkecil flow.

- Kebersihan permukaan tube sisi uap  
Apabila tube diselubungi gas yang tidak bisa terkondensasi maka transfer panas dari uap ke air akan terhambat.
- Flow air pendingin  
Flow air yang kurang akan mengurangi kemampuan pendingin sehingga temperature dan tekanan kondesate akan naik.
- Temperature air pendingin  
Temperature air pendingin dimana dalam hal ini menggunakan LNG (liquid Natural Gas).

## **2.5. Heat Exchanger**

Heat exchanger adalah suatu alat yang memungkinkan perpindahan panas dan bisa berfungsi sebagai pemanas maupun pendingin. Penukar panas dirancang sebisa mungkin agar perpindahan panas antar fluida dapat berlangsung secara efisien. Pertukaran panas terjadi karena adanya kontak, baik antara fluida terdapat dinding yang memisahkan maupun keduanya bercampur langsung begitu saja.

### **2.5.1. Jenis Penukar Kalor**

#### **a. Shell and Tube**

Jenis umum dari penukar panas, biasanya digunakan dalam kondisi tekanan relative tinggi, yang terdiri dari sebuah selongsong yang di dalamnya disusun suatu anulus dengan rangkaian tertentu (untuk mendapatkan luas permukaan yang optimal). Fluida mengalir di selongsong maupun di anulus sehingga terjadi perpindahan panas antar fluida dengan dinding anulus sebagai perantara.

#### **b. Plat**

contoh lainnya adalah penukar panas jenis plat. Alat jenis ini terdiri dari beberapa plat yang disusun dengan rangkaian tertentu dan fluida mengalir diantaranya.

2.5.2. Variabel yang Mempengaruhi Laju Perpindahan Panas  
Besarnya laju perpindahan panas dapat dihitung dengan rumus :

$$Q = U.A.\Delta T_m$$

Sehingga besarnya laju perpindahan panas (Q) dipengaruhi oleh :

1. Koefisien perpindahan panas menyeluruh (U)  
Semakin besar koefisien perpindahan panas menyeluruh (U), maka laju perpindahan panas yang terjadi antara dua fluida juga semakin besar.
2. Luas Permukaan (A)  
Semakin luas permukaan Heat Exchanger maka semakin besar pula laju perpindahan panas dan juga tergantung pada diameter dalam pipa.
3. Beda suhu rata – rata ( $\Delta T_m$ )  
Semakin besar beda suhu rata-rata fluida semakin besar pula laju perpindahan panasnya.

## 2.6. Vaporizer

Type dari vaporizer yang telah di gunakan di seluruh dunia untuk regasifikasi LNG adalah :

- Open Rack Vaporize (ORV)
- Submerged Combustion Vaporizer (SCV)
- Ambient Air Vaporizers (AAV)
- Intermediate Fluid Vaporizers (IFV)

## 2.7. Pompa

Pompa adalah mesin untuk menggerakkan fluida. Pompa menggerakkan fluida dari tempat bertekanan rendah ke tempat dengan tekanan yang lebih tinggi, untuk mengatasi perbedaan tekanan ini maka diperlukan tenaga (energy).

Pompa beroperasi dengan prinsip membuat perbedaan tekanan antara bagian masuk (suction) dengan bagian keluar (discharge)

### 2.7.1. Pompa sentrifugal

Salah satu jenis pompa pemindah non positif adalah pompa sentrifugal yang prinsip kerjanya mengubah energy kinetis (kecepatan) cairan menjadi energy potential (dinamis) melalui suatu impeller yang berputar dalam casing.

### 2.7.2. klasifikasi pompa sentrifugal

#### 1. kapasitas :

- kapasitas rendah  $< 20 \text{ m}^3/\text{jam}$
- kapasitas menengah  $20 - 60 \text{ m}^3/\text{jam}$
- kapasitas tinggi  $> 60 \text{ m}^3/\text{jam}$

#### 2. tekanan discharge :

- tekanan rendah  $< 5 \text{ kg/cm}^2$
- tekanan menengah  $5 - 50 \text{ kg/cm}^2$
- tekanan tinggi  $> 50 \text{ kg/cm}^2$

#### 3. jumlah/susunan impeller dan tingkat :

- single stage : terdiri dari satu impeller dan satu casing
- multi stage : terdiri dari beberapa impeller yang tersusun seri dalam satu casing.
- multi impeller : terdiri dari beberapa impeller yang tersusun parallel dalam satu casing
- multi impeller dan multi stage : kombinasi multi impeller dan muti stage.

4. posisi poros
  - poros tegak
  - poros mendatar
5. jumlah suction
  - single suction
  - double suction
6. arah aliran keluar impeller
  - radial flow
  - axial flow
  - mixed flow

## **2.8. Rankine Cycle**

Siklus rankine adalah siklus termodinamika yang mengubah panas menjadi kerja. Panas disuplai secara eksternal pada aliran tertutup, yang biasanya menggunakan air sebagai fluida yang bergerak. Siklus ini menghasilkan 80% dari seluruh energi listrik yang dihasilkan di seluruh dunia. Siklus ini dinamai untuk mengenang ilmuwan skotlandia, William John Maquorn Rankine.

Siklus rankine adalah model operasi mesin uap panas yang secara umum ditemukan di pembangkit listrik. Sumber panas yang utama siklus rankine adalah batu bara, gas alam, minyak bumi, nuklir, nuklir dan panas matahari.

Fluida pada siklus rankine mengikuti aliran tertutup dan digunakan secara konstan. Berbagai jenis fluida dapat digunakan pada siklus ini, namun air dipilih karena berbagai karakteristik fisika dan kimia, seperti tidak beracun. Terdapat dalam jumlah besar dan murah.

### **2.8.1. Proses siklus rankine**

Terdapat 4 proses dalam siklus rankine, setiap siklus mengubah keadaan fluida (tekanan dan/atau wujud).

Proses 1 : fluida di pompa dari bertekanan rendah ke

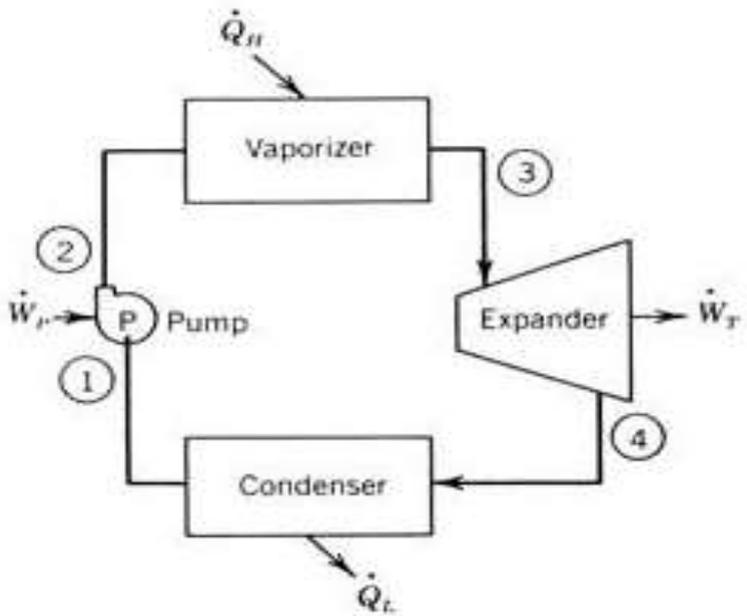
tekanan tinggi dalam bentuk cair. Proses ini membutuhkan sedikit input energi.

Proses 2 : fluida cair bertekanan tinggi masuk ke heat exchanger di mana fluida di panaskan hingga menjadi uap pada tekanan konstan menjadi uap jenuh.

Proses 3 : uap jenuh bergerak menuju turbin, menghasilkan energi listrik. Hal ini mengurangi temperatur dan tekanan uap, dan mungkin sedikit kondensasi juga terjadi.

Proses 4 : uap basa memasuki kondensor di mana uap di embunkan dalam tekanan dan temperatur tetap hingga menjadi cairan jenuh.

Dalam siklus rankine ideal, pompa dan turbin adalah isentropic, yang berarti pompa dan turbin tidak menghasilkan entropi dan memaksimalkan output kerja. Dalam siklus rankin yang sebenarnya, kompresi oleh pompa dan ekspansi dalam turbin tidak isentropic. Dengan kata lain, proses ini tidak bolak-balik dan entropi meningkat selama proses. Hal ini meningkatkan tenaga yang di butuhkan oleh pompa dan mengurangi energi yang dihasilkan oleh turbin. Secara khusus, efisiensi turbin akan dibatasi oleh terbentuknya titik-titik air selama ekspansi ke turbin akibat kondensasi. Titik-titik air ini menyerang turbin emnyebabkan erosi dan korosi, mengurangi usia turbin dan efisiensi turbin. Cara termudah dalam menangani hal ini adalah dengan memanaskannya pada temperatur yang sangat tinggi.



Gambar2.4 Proses Siklus Rankine

“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1. Umum**

Metodologi penulisan merupakan sebuah kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan untuk menyelesaikan permasalahan yang akan dipecahkan atau untuk dianalisa. Metodologi tersebut mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan dalam menyelesaikan masalah terhadap segala permasalahan yang sesuai dengan ruang lingkup judul.

Pembangkit listrik yang mendapatkan energy dengan memanfaatkan energy dingin hasil dari proses regasifikasi LNG di rancang untuk mengganti fungsi boiler pada pltu menjadi heat exchanger yang akan mengurangi emisi gas buang dari hasil proses pembakaran pada boiler, dimana sudah di jelaskan pada bab sebelumnya.

Kegiatan pertama yang dilakukan adalah identifikasi masalah dan memberi batasan masalah mengenai ruang lingkup tugas akhir ini. Studi literature yang sesuai dengan tugas akhir dilakukan guna memahami dan mempelajari teori-teori yang akan digunakan untuk pengerjaan tugas akhir. Studi literature yang di maksud dapat berupa jurnal, e-book, internet, kuliah tamu, serta buku atau referensi yang berkaitan. Selanjutnya menghitung total kerja yang di hasilkan oleh pembangkit listrik yang di bahas dalam tugas akhir ini dengan mengacu pada referensi yang di miliki. Oleh sebab itu data-data utama yang harus di miliki adalah sebagai berikut :

#### **1. LNG**

Data pertama yang harus di dapatkan untuk menunjang perhitungan pembangkit listrik ini adalah kapasitas dari LNG yang akan digunakan sebagai pendingin pada proses ini.

Di ketahui laju aliran massa dan specific heat dari LNG yang di gunakan.

$$150 \text{ ton/hour} = 41,6 \text{ kg/s}$$

$$150 \text{ ton/hour} = 3600 \text{ ton/day}$$

$$100 \text{ MMSCFD} = 2100 \text{ ton/day}$$

$$3600 \text{ ton/day} = 171,4 \text{ MMSCFD}$$

$$\text{Specific heat} = c_p = 2,26 \text{ kJ/kg.C}$$

## 2. Intermediate Fluid

Pada tahap ini adalah untuk menentukan fluida yang digunakan untuk proses pembangkit ini. Fluida yang di pilih :

R-22 (Propana)

R-23 (Trifluoromethane)

R-717(Ammonia)

## 3. Turbin

Selanjutnya adalah memilih steam turbin yang di gunakan.

Turbine low pressure di gunakan untuk proses ini.

Spesifikasi low pressure turbin sebagai berikut.

Table 1 Standard specification of STEAMSTAR®

ITEM	MODEL	M.S.E.G. 132L	M.S.E.G. 160L
	Supply condition	Pres. (MPaG)	0.2~0.95
	Max temp (°C)	210	
Exhaust pressure	(MPaG)	0~0.5	
Max differential pressure	(MPa)	0.6 or 0.75	
Steam flow	(t/h)	1~5	
Output of power generation	(kW)	8~132	8~160
Power voltage	(V)	400/440	
Control method		Pressure control by a inverter	
Power generator		IPM synchronous generator	
Dimensions	(mm)	2,604×1,335×2,005	
Weight	(kg)	2,880	

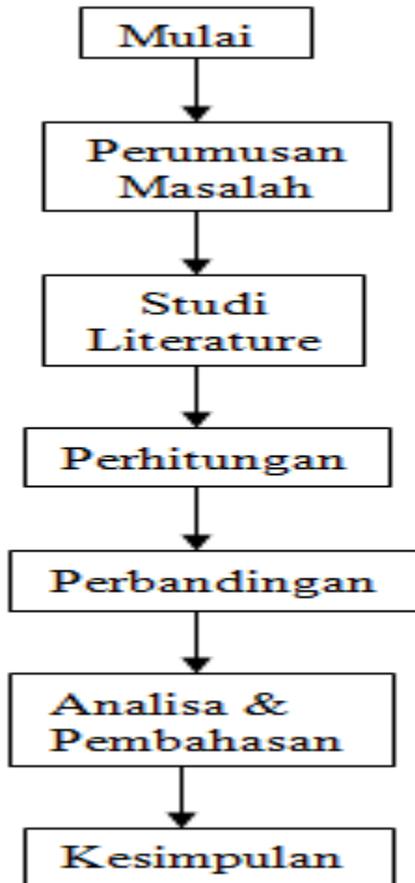
Gambar.2.5 Spesifikasi Turbin Uap

## 4. Laju aliran massa

Menghitung laju aliran massa tiap fluida yang di gunakan di hitung untuk mendapatkan total daya pada setiap komponen pada sistem ini (turbin, pompa, heat exchanger).

### 3.2. Diagram Alir

Berikut merupakan diagram alir dari tugas akhir:



“Halaman ini Sengaja dikosongkan”

## BAB IV ANALISA DATA

### 4.1. Laju aliran massa fluida

Laju aliran massa dari fluida di dapatkan dari perpindahan kalor di heat exchanger antara LNG dan fluida yang digunakan. Rumus perpindahan panas pada heat exchanger adalah sebagai berikut.

$$Q = m1. c1. \Delta T = m2. c2. \Delta T$$

Q = daya condenser (kW)  
m = laju aliran massa (kg/s)  
c = specific heat (kJ/kg.C)  
T = temperature fluida (C)

Fluida 1 adalah LNG

Fluida 2 adalah Intermediate Fluid

Fluida	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	delta T (°C)	cp (kJ/kg.C)	m (kg/s)	Q (kW)
<b>LNG</b>	-160	-50	110	3,49	41,6	15970,24

Tabel4.1 LNG fluida

Setelah mengetahui daya kondensor maka laju aliran massa intermediate fluida dapat di hitung. Berikut merupakan perhitungannya dengan menggunakan rumus.

$$Q = m. cg. \Delta T + m. h + m. cf. \Delta T$$

Intermediate fluid mengalami perubahan fase dari fase uap menjadi fase cair pada kondensor.

Fluida/properties	T <sub>in</sub> (°C)	T <sub>out</sub> (°C)	delta T (°C)	cp gas	cp fluid	m (kg.s)
<b>Propana</b>	-38	-42	4	1,669	2,25	36,89
<b>Ammonia</b>	-29	-33	4	2,093	4,43	11,89
<b>Trifluorometana</b>	-84	-88	4	0,541	1,108	64,3

Tabel4.2 laju massa aliran fluida

Laju massa aliran fluida di dapatkan dari pertukaran panas dengan LNG yang laju aliran massa 150 ton/hour, perbedaan temperature 110°C dan specific heat LNG 2,26 kJ/kg.C.

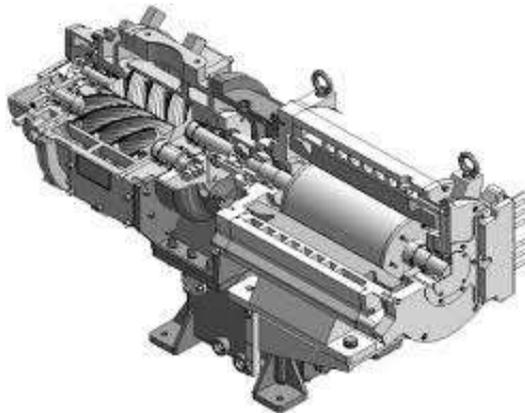
#### 4.2. Perhitungan daya turbin

Dengan menggunakan spesifikasi turbin yang di pilih.

Inlet pressure = 0.2 – 0.95 MpaG

Outlet pressure = 0 – 0.5 MpaG

Max .Different pressure = 0.6 or 0.75 Mpa



Gambar4.1 Turbin Uap Low Pressure

Intermediate fluida (propane, ammonia, trifluoromethane) masuk ke dalam turbin uap pada temperature 15°C dengan tekanan 0,7 MpaG. Fluida keluar dari turbin pada temperature 4°C sebelum mencapai titik didih dengan temperature 0,1 MpaG.

Pada proses ini setiap fluida memiliki entalpi yang berbeda pada inlet dan outlet turbine yang akan mempengaruhi besar daya turbin. Besarnya daya turbin dapat di hitung dengan rumus sebagai berikut.

$$WT = m \cdot (hin - hout)$$

WT = daya turbin (kW)

m = laju aliran massa fluida (kg/s)

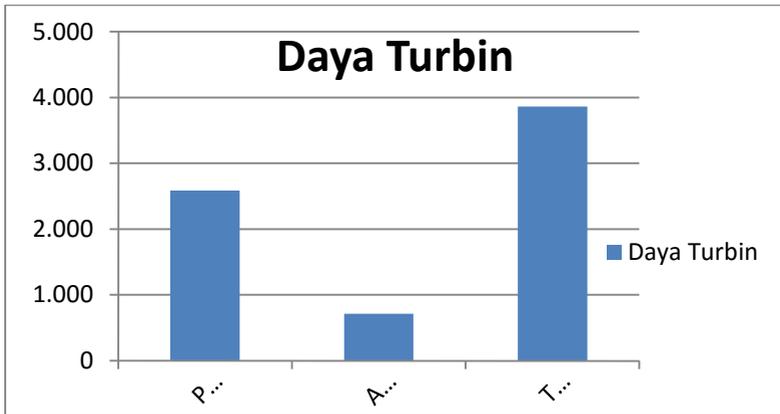
h = entalpi fase uap (kJ/kg)

Laju aliran massa yang di gunakan adalah laju dari Intermediate Fluid (propane, ammonia, trifluoromethane).

Fluida/properties	hin (kJ/kg)	hout (kJ/kg)	m (kg/s)	WT (kW)
<b>Propana</b>	295	225	36,89	2.583
<b>Ammonia</b>	520	460	11,89	713
<b>Trifluorometana</b>	1105	1045	64,3	3.859

Tabel4.3 Daya Turbin

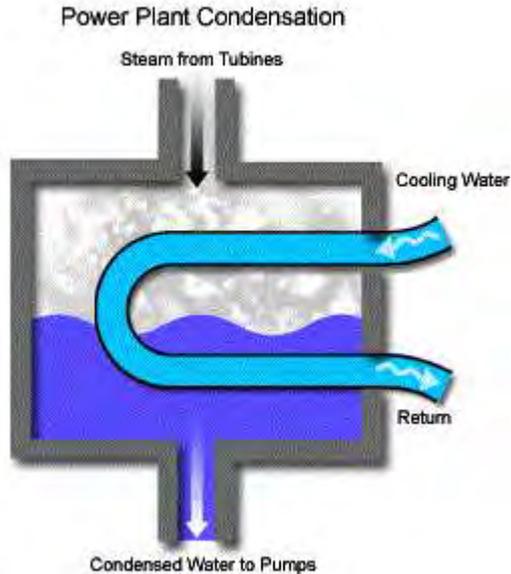
Data di dapat pada saat laju LNG 150 ton/hour.



Grafik4.1 Daya Turbin

### 4.3. Perhitungan analisa condenser

Kondensor adalah alat penukar kalor pada sistem pembangkit ini yang memiliki fungsi untuk mencairkan kembali fluida gas dari keluaran turbin. Daya kondensor di hitung menggunakan rumus sebagai berikut.



**Gambar4.2 Condenser**

$$Q_{out} = m \cdot c_g \cdot \Delta T + m \cdot h + m \cdot c_f \cdot \Delta T$$

Q = daya kondensor (kW)

m = laju aliran massa (kg/s)

h = entalpi fase cair (kJ/kg)

$c_g$  = specific heat pada fase gas (kJ/kg.C)

$c_f$  = specific heat pada fase cair (kJ/kg.C)

Fluida LNG berperan sebagai pendingin seperti yang sudah di jelaskan di bab sebelumnya. Temperature LNG yang masuk pada kondensor di atur pada  $-162^{\circ}\text{C}$  dan temperature keluarnya hingga  $-50^{\circ}\text{C}$ . Dengan specific heat LNG  $2,26 \text{ kJ/kg.C}$  bisa mencairkan uap dari intermediate fluid (propane, ammonia, trifluorometana) yang keluar dari turbin.

Fluida/properties	hin (kJ/kg)	hout (kJ/kg)	m (kg/s)	Q (kW)
<b>Propana</b>	225	-200	36,89	15.970
<b>Ammonia</b>	460	-910	11,89	15.970
<b>Trifluorometana</b>	1045	800	64,3	15.970

Tabel4.4 Kondenser

#### 4.4. Perhitungan daya pompa

Pompa digunakan untuk mengalirkan kembali fluida yang telah dicairkan pada kondensor. Pada proses ini fluida dialirkan hingga tekanan 0,7 MpaG. Energy dan daya dari pompa yang digunakan pada sistem ini di hitung dengan menggunakan rumus.

$$WP = v \cdot (Pout - Pin)$$

$$Pp = WP \cdot m$$

WP = energy pompa (kJ/kg)

v = specific volume (m<sup>3</sup>/kg)

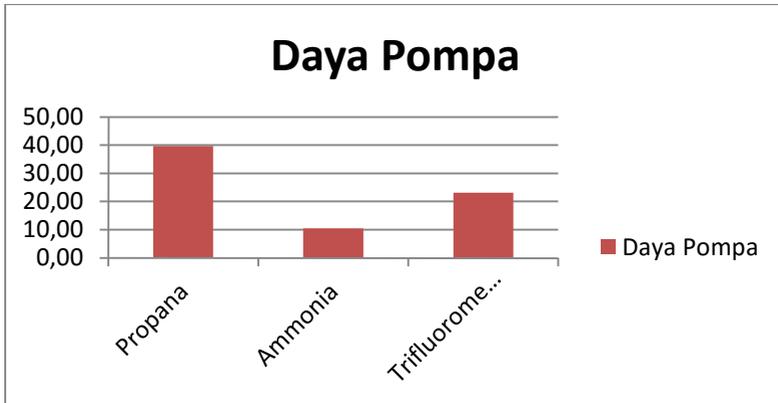
P = Pressure pompa (kpa)

Pp = daya pompa (kW)

m = laju aliran masa (kg/s)

Fluida/properties	Pin (kpa)	Pout (kpa)	m (kg/s)	v (m <sup>3</sup> /kg)	WP (kJ/kg)	PP (kW)
<b>Propana</b>	100	700	36,89	0,00179	1,074	39,63
<b>Ammonia</b>	100	700	11,89	0,00146	0,876	10,42
<b>Trifluorometana</b>	100	700	64,3	0,0006	0,36	23,15

Tabel4.5 Daya Pompa



Grafik4.2 Daya Pompa

#### 4.5. Perhitungan daya heat exchanger

Heat exchanger menukar kalor antar intermediate fluid dengan air laut, dimana air laut yang digunakan pada proses ini memiliki temperatur 20°C. Energy pada heat exchanger yang di gunakan untuk menukar kalor di hitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$q_{in} = h_{in} - WP$$

$q_{in}$  = energy pada vaporizer (kJ/kg)

$h_{in}$  = entalpi yang masuk turbin (kJ/kg)

$WP$  = energy pada pompa (kJ/kg)

Fluida/properties	$h_{in}$ (kJ/kg)	$m$ (kg/s)	$WP$ (kJ/kg)	$q_{in}$ (kJ/kg)
<b>Propana</b>	295	36,89	1,074	293,926
<b>Ammonia</b>	520	11,89	0,876	519,124
<b>Trifluorometana</b>	1105	64,3	0,36	1.104,640

Tabel4.6 Energy pada Heat exchanger

Setelah mendapat energy yang digunakan pada vaporizer (qin) Daya Vaporizer di dapat dengan perhitungan sebagai berikut.

$$PV = m \cdot c_g \cdot \Delta T + m \cdot q_{in} + m \cdot c_f \cdot \Delta T$$

m = laju aliran massa (kg/s)

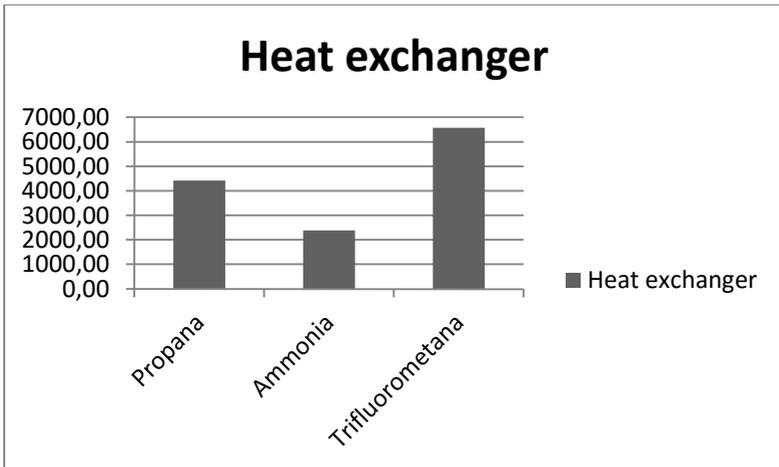
PV = daya vaporizer (kW)

c<sub>g</sub> = specific heat pada fase gas (kJ/kg.C)

c<sub>f</sub> = specific heat pada fase cair (kJ/kg.C)

Fluida/properties	cp gas	cp fluid	m (kg/s)	delta T (°C)	qin (kJ/kg)	PV (kW)
<b>Propana</b>	1,669	2,25	36,8965756	28,5	293,926	4414,96
<b>Ammonia</b>	2,093	4,43	11,8910596	24	519,124	2380,69
<b>Trifluorometana</b>	0,541	1,108	64,3188427	51,5	1.104,640	6566,82

Tabel4.7 Daya Heat exchanger



Grafik4.3 Heat Exchanger

#### 4.6. Luas Heat Exchanger

Daya vaporizer yang berbeda tiap fluida akan mengakibatkan perbedaan pada besarnya luas permukaan penukar kalor. Besarnya luas permukaan kalor dapat di ketahui dengan rumus.



Gambar4.3 Heat exchanger

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Q = heat transfer (kW)

U = overall heat transfer heat (W/m<sup>2</sup>.K)

A = Luas permukaan (m<sup>2</sup>)

T = Temperatur (C)

Bahan heat exchanger yang digunakan adalah aluminium karena tak mengalami getas pada suhu minus, tahan terhadap korosi, dan secara biaya di nilai paling ekonomis dibandingkan yang lain dengan keadaan yang disyaratkan.

Dengan menggunakan bahan aluminium yang memiliki konduktivitas termal sebesar 204,2 W/m.K, maka di dapat luas permukaan penukar kalor sebagai berikut.

Fluida/properties	PV (W)	U (W/m.K)	LMTD (K)	A (m <sup>2</sup> )
<b>Propana</b>	4414959,88	204,2	277,65	73,41748
<b>Ammonia</b>	2380693,16	204,2	277,55	39,58914
<b>Trifluorometana</b>	6566821,24	204,2	277,85	109,2013

Tabel4.8 Luas Permukaan HE

<i>Material</i>	<i>Thermal conductivity, W/mK</i>
Copper	386.0
Aluminium	204.3
Carbon Steel 1% C	43.3
Chrome Steel 20% Cr	22.5
Chrome Nickel Steel	12.8
Concrete	1.13
Glass	0.67
Water	0.60
Asbestos	0.11
Air	0.026

Gambar4.4 konduktivitas termal

#### 4.7. Laju aliran massa air laut

Laju aliran massa air laut pada suhu 20°C didapat dari daya heat exchanger dengan menggunakan rumus

$$Q = m1. c1. \Delta T = m2. c2. \Delta T$$

- Q = daya condenser (kW)
- m = laju aliran massa (kg/s)
- c = specific heat (kJ/kg.C)
- T = temperature fluida (C)

Fluida 1 adalah air laut

Fluida 2 adalah Intermediate Fluid

Specific heat dari air laut pada suhu 20°C adalah 4,009 kJ/kg.C. air laut mengalami penurunan suhu hingga 10°C.

Fluida/properties	PV (kW)	cp (kJ/kg.C)	delta T (°C)	m (kg/s)
<b>Propana</b>	4414,959876	4,009	15	110,1262
<b>Ammonia</b>	2380,693159	4,009	15	59,38372
<b>Trifluorometana</b>	6566,821236	4,009	15	163,802

Tabel4.9 Laju aliran massa air laut

#### 4.8. Luas permukaan total

Dengan laju aliran air laut, dan kecepatan air laut di dalam tabung 3 m/s, makan luas permukaan total dengan rumus.

$$m = p \cdot A \cdot u$$

$m$  = laju aliran massa (kg/s)

$p$  = densitas air laut (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$u$  = kecepatan aliran (m/s)

Fluida/properties	m (kg/s)	$p$ (kg/m <sup>3</sup> )	$u$ (m/s)	A (m <sup>2</sup> )
<b>Propana</b>	110,1262	1025	3	0,035813
<b>Ammonia</b>	59,38372	1025	3	0,019312
<b>Trifluorometana</b>	163,802	1025	3	0,053269

Tabel4.10 Luas permukaan total

Luas ini merupakan hasil perkalian antara jumlah tabung dengan luas-aliran pertabung.

$$A = n \cdot \pi \cdot d^2 / 4$$

A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

d = diameter (m)

n = jumlah tabung

Fluida/properties	A (m <sup>2</sup> )	d (m)	n
<b>Propana</b>	0,0358	0,0254	71
<b>Ammonia</b>	0,0193	0,0254	38
<b>Trifluorometana</b>	0,0533	0,0254	105

Tabel4.11 Jumlah Tabung

Untuk penukar kalor dua lintas-tabung, luas permukaan sekarang dihubungkan dengan panjang oleh persamaan.

$$A = 2 \cdot n \cdot \pi \cdot d \cdot L$$

A = luas permukaan (m<sup>2</sup>)

d = diameter (m)

n = jumlah tabung

L = Panjang tabung (m)

Fluida/properties	A (m <sup>2</sup> )	d (m)	n	L (m)
<b>Propana</b>	0,0358	0,0254	71	9,763125
<b>Ammonia</b>	0,0193	0,0254	38	9,763125
<b>Trifluorometana</b>	0,0533	0,0254	105	9,763125

Tabel4.12 panjang lintasan

Sehingga pilihan rancangan akhir adalah.

Fluida/properties	n (jumlah tabung)	L (m)
<b>Propana</b>	71	9,763125
<b>Ammonia</b>	38	9,763125
<b>Trifluorometana</b>	105	9,763125

Tabel4.13 rancangan akhir

#### 4.9. Variasi

Pada skripsi ini laju aliran massa LNG di variasikan menjadi 50% dan 25% dari laju awal yang besarnya 150ton/hour, untuk mengetahui daya turbin yang di dihasilkan pada laju massa aliran yang berbeda.

Fluida/flow rate	150 t/h	75 t/h	37.5 t/h
<b>Propana</b>	2.583 kW	1291,38 kW	645,69 kW
<b>Ammonia</b>	713 kW	356,73 kW	178,37 kW
<b>Trifluorometana</b>	3.859 kW	1929,57 kw	964,78 kW

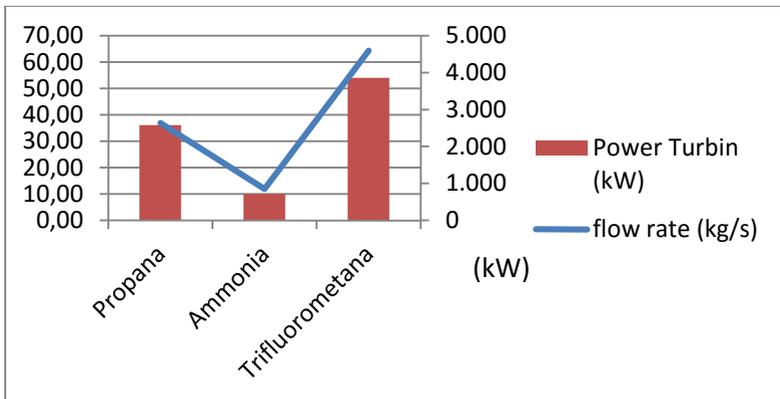
Tabel4.14 Variasi

#### 4.10. Pembahasan

Pada saat laju massa aliran fluida LNG sebesar 150ton/hr, dan temperature air laut 20°C, tiap intermediate fluida memiliki laju masa aliran yang berbeda dan akan mengasilkan output daya yang berbeda-beda pada tiap proses. Perbedaan yang terlihat pada output turbin sebagai berikut.

	m (kg/s)	WT (MW)
<b>Propana</b>	36,90	2.583
<b>Ammonia</b>	11,89	713
<b>Trifluorometana</b>	64,32	3.859

Tabel4.15 laju aliran dan daya turbin



Selain laju massa aliran yang berbeda pada tiap fluida, besarnya energy atau entalpi yang dimiliki di setiap proses juga mempengaruhi daya yang di hasilkan. Semakin besar laju massa aliran dan energy yang di miliki fluida pada tiap proses maka daya yang di hasilkan semakin besar, begitu juga sebaliknya.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Setelah di lakukan perhitungan pada pembangkit listrik ini, maka dapat ditarik kesimpulan:

Pada laju massa aliran LNG 150ton/hour, pembangkit listrik yang menggunakan fluida Trifluoromethane menghasilkan daya sebesar 3,8MW, daya turbin fluida ini dinilai paling besar bila di bandingkan dengan fluida lain, dikarenakan memiliki energy (enthalpy) dan laju massa aliran yang tinggi. Heat Exchanger yang di gunakan untuk bertukarnya kalor antara LNG dan fluida memiliki daya yang sama. perubahan temperature fluida sebesar 4°C, laju massa aliran tiap fluida berbeda.

Pompa pada sistem yang menggunakan fluida Ammonia memiliki daya paling rendah yaitu 10,42 kW karena laju aliran massa dari ammonia adalah yang paling kecil. Heat Exchanger terbesar dengan perpindahan kalor total 6,5 MW dengan luas permukaan 109,2 m. dengan menggunakan alat penukar kalor dua lintasan, heat exchanger ini memiliki 105 tabung dengan panjang 9,7m<sup>2</sup>.

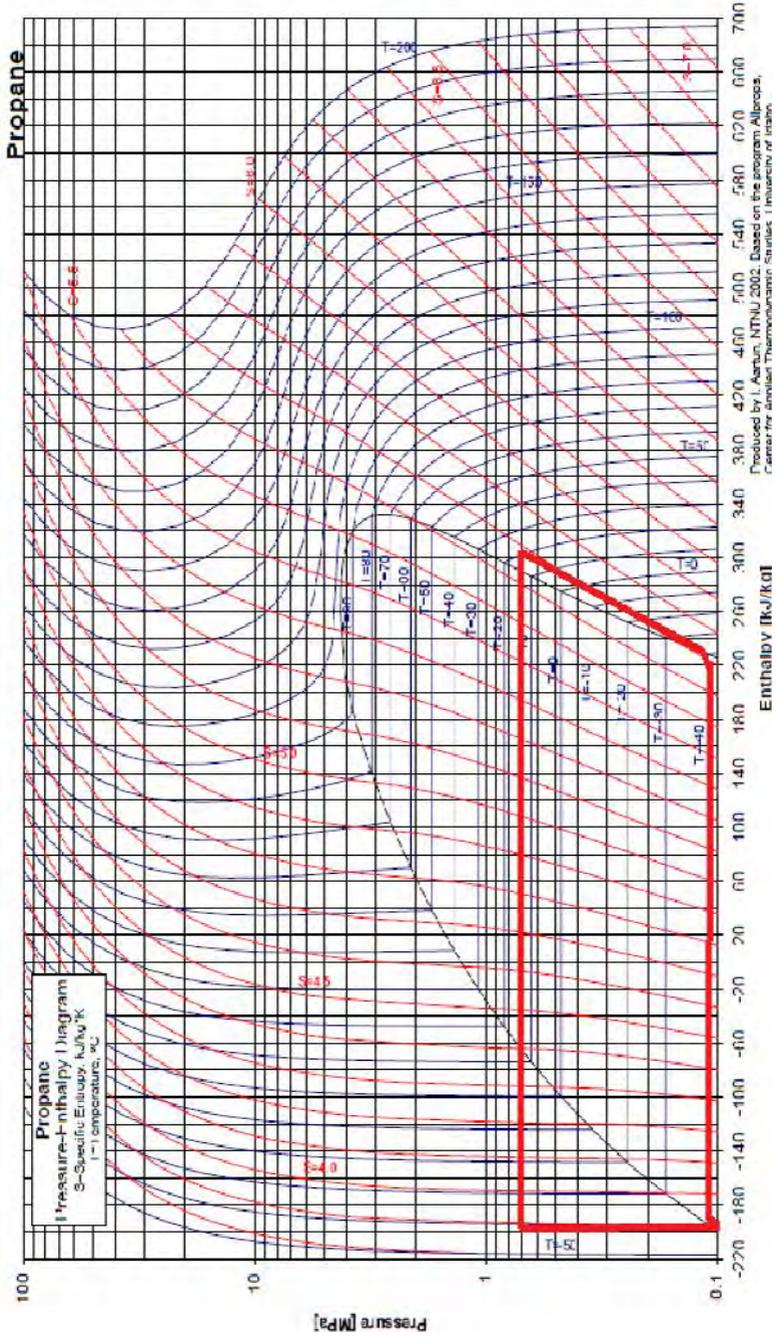
## **5.2. Saran**

1. Fluida yang efisien adalah propane, karena heat exchanger yang di gunakan tidak terlalu besar.
2. Air laut yang digunakan untuk sistem pembangkit listrik ini di atur pada suhu 20°C.
3. Suhu fluida pada tiap proses diperhatikan, agar tidak terpengaruh dari suhu lingkungan.

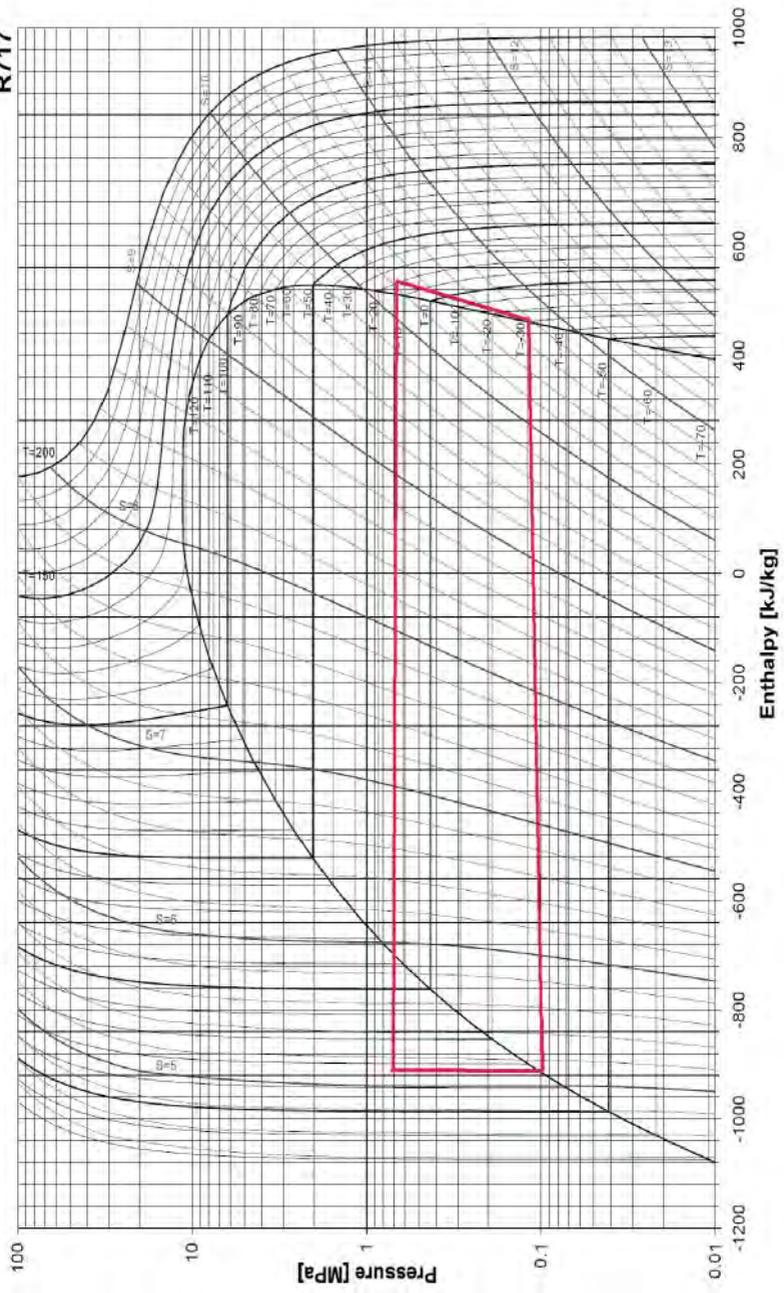
## DAFTAR PUSTAKA

- *Perry chemical engineers handbook 7<sup>th</sup> edition. Mcgraw-Hill.*
- Osaka Gas Corporation, Japan – Enviromental report 2004
- Cengel, A Yunus, Boles, A Michael “*Thermodynamics An Engineering Approach*” Mc-Graw Hill International Edition, : New York 1994
- Van Ness H, et al “*Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*” Mc-Graw Hill International Edition – Chemical Engineering Series , fifth edition : New York 1996
- Mahadzir, S., & Gopanadhan, V. (n.d.). Cold Energy Recovery in an LNG Plant. *1Chemical Engineering Department,Universiti Teknologi PETRONAS, MALAYSIA*
- M. Matsukuma et al. : *effective use of steam with screw type small generator, Journal of energy Conservation(in Japanese)*, Vol.59, No.8 (2007), pp.110-115.
- Szargut, J., & Szastrygiel, I. (2009). Utilization of cryogenic exergy of liquid natural gas (LNG) for the production of electricity energy.
- Dispenza, C., Dispenza, G., La Rocca, V & Panno, G. (2009). Exergy recovery during regasification: Electric energy production.

## **LAMPIRAN**



# R717





**TABLE 2-232 Saturated Ammonia\***

<i>T, K</i>	<i>p<sub>s</sub>, bar</i>	<i>v<sub>g</sub>, m<sup>3</sup>/kg</i>	<i>v<sub>f</sub>, m<sup>3</sup>/kg</i>	<i>v<sub>g</sub>, m<sup>3</sup>/kg</i>	<i>h<sub>g</sub>, kJ/kg</i>	<i>h<sub>f</sub>, kJ/kg</i>	<i>h<sub>g</sub>, kJ/kg</i>	<i>s<sub>g</sub>, kJ/(kg·K)</i>	<i>s<sub>f</sub>, kJ/(kg·K)</i>	<i>s<sub>g</sub>, kJ/(kg·K)</i>	<i>c<sub>g</sub>, kJ/(kg·K)</i>	<i>μ<sub>f</sub>, 10<sup>-4</sup> Pa·s</i>	<i>k<sub>f</sub>, W/(m·K)</i>
195.5 <sup>b</sup>	0.0608	1.327-3	1.648	-1110.1	380.1	4.203	11.827	4.73	4.25	0.715			
200	0.0655	1.372-3	11.237	-1088.8	388.5	4.311	11.695	4.61	4.07	0.703			
210	0.1775	1.394-3	5.729	-1044.1	406.7	4.529	11.438	4.38	3.69	0.685			
220	0.3381	1.417-3	3.135	-1000.6	424.1	4.731	11.207	4.35	3.34	0.661			
230	0.5044	1.442-3	1.822	-957.0	440.7	4.925	11.002	4.38	3.02	0.638			
240	1.0226	1.468-3	1.115	-912.9	456.2	5.113	10.817	4.43	2.73	0.615			
250	1.6496	1.495-3	0.712	-868.2	470.6	5.294	10.650	4.48	2.45	0.592			
260	2.5529	1.524-3	0.472	-823.1	483.8	5.471	10.498	4.54	2.20	0.568			
270	3.8100	1.551-3	0.324	-777.3	495.6	5.643	10.358	4.60	1.87	0.546			
280	5.5077	1.589-3	0.228	-730.9	506.0	5.811	10.228	4.66	1.76	0.523			
290	7.741	1.626-3	0.165	-683.8	514.7	5.975	10.108	4.73	1.58	0.500			
300	10.61	1.666-3	0.121	-636.0	521.5	6.135	9.994	4.82	1.41	0.477			
310	14.24	1.710-3	0.091	-587.2	526.1	6.293	9.885	4.91	1.26	0.454			
320	18.72	1.760-3	0.069	-537.5	528.2	6.448	9.779	5.02	1.13	0.431			
330	24.20	1.813-3	0.053	-486.7	527.5	6.602	9.675	5.17	1.02	0.408			
340	30.79	1.878-3	0.0410	-434.3	523.3	6.755	9.571	5.37	0.92	0.385			
350	38.64	1.952-3	0.0319	-380.0	515.1	6.908	9.465	5.64	0.83	0.361			
360	47.90	2.039-3	0.0249	-323.2	501.8	7.063	9.354	6.04	0.75	0.337			
370	58.74	2.143-3	0.0194	-263.6	481.9	7.222	9.235	6.68	0.69	0.313			
380	71.35	2.291-3	0.0149	-196.5	452.7	7.391	9.100	7.80	0.61	0.286			
390	85.98	2.499-3	0.0113	-120.9	408.1	7.578	8.965	10.3	0.50	0.254			
400	103.0	2.882-3	0.0077	-23.5	329.0	7.813	8.694	21.	0.39	0.21			
405.4 <sup>c</sup>	113.0	4.255-3	0.0043	1.27	142.7	9.216	8.216	∞	0.25	∞			

**TABLE 2-297 Saturated Propaned (R290)\***

T, K	P, bar	$v_g, m^3/kg$	$v_g, m^3/kg$	$v_g, m^3/kg$	$h_f, kJ/kg$	$h_g, kJ/kg$	$s_f, kJ/(kg \cdot K)$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$s_g, kJ/(kg \cdot K)$	$c_{p,g}, kJ/(kg \cdot K)$	$\mu_f, 10^{-4} Pa \cdot s$	$F_p, W/(m \cdot K)$
85.5 <sup>g</sup>	3.0-9	1.304-3	5.37-7	12.492	590.02	1.8738	8.3548	1.92				
90	1.5-5	1.373-3	1.12-7	133.56	593.58	1.9723	8.0653	1.92				
100	3.2-7	1.392-3	5.85-5	152.74	702.23	2.1743	7.6163	1.93				
110	3.9-6	1.412-3	532.75	172.03	711.71	2.3581	7.2377	1.94				
120	3.1-5	1.432-3	7350	191.46	721.78	2.5271	6.9343	1.95				
130	1.8-4	1.453-3	1400	211.03	732.27	2.6838	6.6885	1.96				
140	7.7-4	1.475-3	344	230.77	743.07	2.8390	6.4881	1.98				
150	2.74-3	1.497-3	103	250.67	754.12	2.9674	6.3237	2.00			6.61	0.161
160	8.22-3	1.521-3	36.8	270.78	765.37	3.0971	6.1886	2.02			5.54	0.183
170	0.0214	1.545-3	15.0	291.10	776.80	3.2262	6.0775	2.04			4.67	0.175
180	0.0485	1.570-3	6.84	311.66	788.40	3.3377	5.9862	2.07			3.97	0.166
190	0.1035	1.597-3	3.43	332.48	800.15	3.4503	5.9114	2.10			3.27	0.158
200	0.1983	1.625-3	1.898	353.61	812.03	3.5586	5.8502	2.13			2.98	0.150
210	0.3574	1.654-3	1.087	375.07	824.01	3.6631	5.8005	2.16			2.65	0.143
220	0.6031	1.686-3	0.659	396.90	836.04	3.7645	5.7603	2.20			2.36	0.136
230	0.9601	1.719-3	0.432	419.16	848.08	3.8631	5.7280	2.25			2.07	0.129
240	1.4800	1.754-3	0.290	442.07	860.07	3.9605	5.7022	2.29			1.86	0.123
250	2.1819	1.792-3	0.2020	465.58	871.94	4.0563	5.6817	2.34			1.69	0.117
260	3.1118	1.833-3	0.1445	489.70	883.62	4.1505	5.6656	2.41			1.53	0.111
270	4.3120	1.878-3	0.1056	514.45	895.02	4.2433	5.6528	2.48			1.40	0.106
280	5.8278	1.927-3	0.0791	539.88	906.03	4.3349	5.6426	2.56			1.29	0.100
290	7.7063	1.982-3	0.0590	566.06	916.54	4.4257	5.6343	2.65			1.19	0.086
300	9.9973	2.044-3	0.0461	593.11	926.41	4.5160	5.6270	2.76			1.10	0.061
310	12.75	2.115-3	0.0357	621.18	935.45	4.6062	5.6200	2.89			0.93	0.056
320	16.03	2.200-3	0.0275	650.49	943.38	4.6971	5.6124	3.06			0.82	0.052
330	19.88	2.301-3	0.0218	681.37	949.79	4.7896	5.6030	3.28			0.72	0.078
340	24.36	2.430-3	0.0170	714.38	953.92	4.8850	5.5896	3.62			0.62	0.073
350	29.56	2.607-3	0.0130	750.52	954.23	4.9861	5.5681	4.23			0.52	0.069
360	35.55	2.896-3	0.0095	792.50	946.56	5.0997	5.5277	5.98			0.40	0.066
369.5 <sup>g</sup>	42.42	4.566-3	0.0046	879.20	879.20	5.3300	5.3300	$\infty$			0.29	$\infty$

TABLE A-1

Molar mass, gas constant, and ideal-gas specific heats of some substances

Substance	Molar Mass <i>M</i> , kg/kmol	Gas Constant <i>R</i> , kJ/kg·K*	Specific Heat Data at 25°C		
			<i>c<sub>p</sub></i> , kJ/kg·K	<i>c<sub>v</sub></i> , kJ/kg·K	<i>k</i> = <i>c<sub>p</sub></i> / <i>c<sub>v</sub></i>
Air	28.97	0.2870	1.005	0.7180	1.400
Ammonia, NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	2.093	1.605	1.304
Argon, Ar	39.95	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bromine, Br <sub>2</sub>	159.81	0.05202	0.2253	0.1732	1.300
Isobutane, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.663	1.520	1.094
<i>n</i> -Butane, C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.1430	1.694	1.551	1.092
Carbon dioxide, CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	0.8439	0.6565	1.288
Carbon monoxide, CO	28.01	0.2968	1.039	0.7417	1.400
Chlorine, Cl <sub>2</sub>	70.905	0.1173	0.4781	0.3608	1.325
Chlorodifluoromethane (R-22), CHClF <sub>2</sub>	86.47	0.09615	0.6496	0.5535	1.174
Ethane, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	1.744	1.468	1.188
Ethylene, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	1.527	1.231	1.241
Fluorine, F <sub>2</sub>	38.00	0.2187	0.8237	0.6050	1.362
Helium, He	4.003	2.077	5.193	3.116	1.667
<i>n</i> -Heptane, C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.20	0.08297	1.649	1.566	1.053
<i>n</i> -Hexane, C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.18	0.09647	1.654	1.558	1.062
Hydrogen, H <sub>2</sub>	2.016	4.124	14.30	10.18	1.405
Krypton, Kr	83.80	0.09921	0.2480	0.1488	1.667
Methane, CH <sub>4</sub>	16.04	0.5182	2.226	1.708	1.303
Neon, Ne	20.183	0.4119	1.030	0.6180	1.667
Nitrogen, N <sub>2</sub>	28.01	0.2968	1.040	0.7429	1.400
Nitric oxide, NO	30.006	0.2771	0.9992	0.7221	1.384
Nitrogen dioxide, NO <sub>2</sub>	46.006	0.1889	0.8060	0.6171	1.306
Oxygen, O <sub>2</sub>	32.00	0.2598	0.9180	0.6582	1.395
<i>n</i> -Pentane, C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.15	0.1152	1.664	1.549	1.074
Propane, C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	1.669	1.480	1.127
Propylene, C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.08	0.1976	1.531	1.333	1.148
Steam, H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	1.865	1.403	1.329
Sulfur dioxide, SO <sub>2</sub>	64.06	0.1298	0.6228	0.4930	1.263
Tetrachloromethane, CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	0.5415	0.4875	1.111
Tetrafluoroethane (R-134a), C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> F <sub>4</sub>	102.03	0.08149	0.8334	0.7513	1.108
Trifluoroethane (R-143a), C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> F <sub>3</sub>	84.04	0.09893	0.9291	0.8302	1.119
Xenon, Xe	131.30	0.06332	0.1583	0.09439	1.667

\*The unit kJ/kg·K is equivalent to kPa·m<sup>3</sup>/kg·K. The gas constant is calculated from  $R = R_u/M$  where  $R_u = 8.31447$  kJ/kmol·K is the universal gas constant and  $M$  is the molar mass.

Source: Specific heat values are obtained primarily from the property routines prepared by The National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, MD.

TABLE A-2

Boiling and freezing point properties

Substance	Boiling Data at 1 atm		Freezing Data		Liquid Properties		
	Normal Boiling Point, °C	Latent Heat of Vaporization $h_{fg}$ , kJ/kg	Freezing Point, °C	Latent Heat of Fusion $h_{if}$ , kJ/kg	Temperature, °C	Density $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Specific Heat $c_p$ , kJ/kg·K
Ammonia	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3	682	4.43
					-20	665	4.52
					0	639	4.60
					25	602	4.80
Argon	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benzene	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Brine (20% sodium chloride by mass)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
<i>n</i> -Butane	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Carbon dioxide	-78.4*	230.5 (at 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Ethanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Ethyl alcohol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Ethylene glycol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Glycerine	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helium	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hydrogen	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
Isobutane	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Kerosene	204-293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Mercury	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Methane	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5	423	3.49
					-100	301	5.79
Methanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Nitrogen	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8	809	2.06
					-160	596	2.97
Octane	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Oil (light)	—	—	—	—	25	910	1.80
Oxygen	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petroleum	—	230-384	—	—	20	640	2.0
Propane	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1	581	2.25
					0	529	2.53
					50	449	3.13
Refrigerant-134a	-26.1	216.8	-96.6	—	-50	1443	1.23
					-26.1	1374	1.27
					0	1295	1.34
					25	1207	1.43
Water	100	2257	0.0	333.7	0	1000	4.22
					25	997	4.18
					50	988	4.18
					75	975	4.19
					100	958	4.22

\* Sublimation temperature. (At pressures below the triple point pressure of 5.18 kPa, carbon dioxide exists as a solid or gas. Also, the freezing point temperature of carbon dioxide is the triple-point temperature of -56.5°C.)

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bekasi pada tanggal 18 April 1992, . Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Harapan Indonesia, SMP Mogallana, SMAN 10 Bekasi. Pada tahun 2010 penulis melanjutkan pendidikan Diploma III di Jurusan Teknik Mesin Alat Berat, Politeknik Negeri Jakarta dan lulus pada tahun 2013. Pada Februari 2014 penulis melanjutkan studi Strata-I jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan-ITS dengan konsentrasi ilmu pada bidang *Marine Power Plant (MPP)*. Selama perkuliahan penulis aktif dalam beberapa kegiatan organisasi dan pelatihan, baik yang diselenggarakan pihak jurusan Teknik Sistem Perkapalan maupun dari luar kampus.