



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Rancangan Tahap Lanjut LNG Receiving Terminal untuk  
Fasilitas Regasifikasi dan BOG *Compressor***

**SKRIPSI**

**NURIZ ZAMAN  
0606029611**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2010**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Rancangan Tahap Lanjut LNG Receiving Terminal untuk  
Fasilitas Regasifikasi dan BOG *Compressor***

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh  
gelar Sarjana Teknik**

**NURIZ ZAMAN  
0606029611**

**FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA  
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA  
DEPOK  
JUNI 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

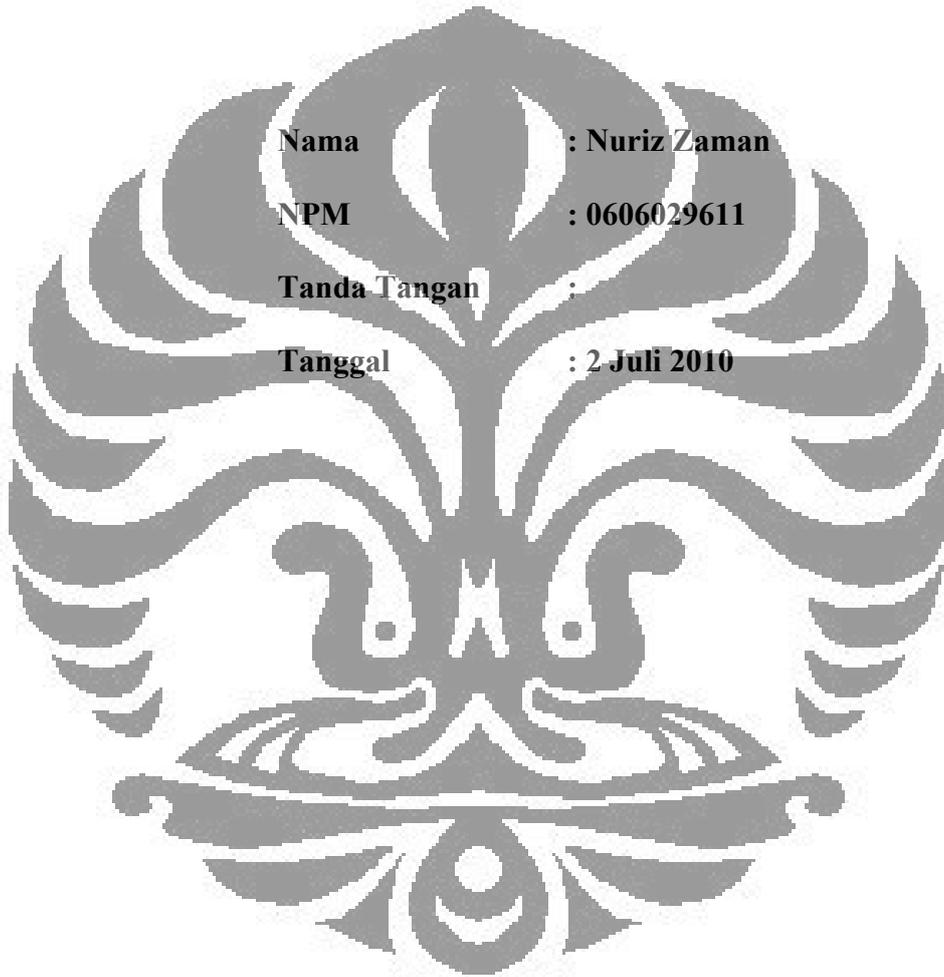
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

**Nama : Nuriz Zaman**

**NPM : 0606029611**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 2 Juli 2010**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Nuriz Zaman  
NPM : 0606029611  
Program Studi : Teknik Kimia  
Judul Skripsi : Rancangan Tahap Lanjut LNG Receiving Terminal  
untuk Fasilitas Regasifikasi dan BOG *Compressor*

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Kimia pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng ( )  
Penguji : Ir. Praswasti P. D. K. Wulan, MT ( )  
Penguji : Ir. Dijan Supramono, M. Sc ( )

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2010

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah S.W.T, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Pak Widodo selaku kepala departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia
2. Dr.Ir. Asep Handaya Saputra, M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran serta kesabaran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
3. Pak Masturo, Mas Taufik, dan Mang Ijal sebagai teknisi laboratorium dan perpustakaan yang telah membantu saya secara teknis.
4. Orang tua dan keluarga saya tercinta yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
5. Sahabat satu perancangan desain terminal, Masykuri Rizky yang selalu membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Sahabat saya Angga, Monica, Hery, Linda, Soedirman, dan Dhea yang telah banyak memberikan dukungan dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Allah S.W.T berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 2 Juli 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nuriz Zaman

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

NPM : 0606029611

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Rancangan Tahap Lanjut LNG Receiving Terminal untuk Fasilitas Regasifikasi dan BOG Compressor”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 2 Juli 2010

Yang menyatakan

( Nuriz Zaman )

## ABSTRAK

Nama : Nuriz Zaman

Program Studi : Teknik Kimia

Judul : Rancangan Tahap Lanjut LNG Receiving Terminal untuk Fasilitas  
Regasifikasi dan BOG *Compressor*

Kebutuhan gas bumi di pulau Jawa pada tahun 2015 diperkirakan akan melebihi kemampuan suplai gas bumi di Pulau Jawa. Pembangunan LNG *receiving terminal* di Jawa Timur dapat membantu menangani masalah ini. LNG *receiving terminal* merupakan tempat regasifikasi dimana fungsinya adalah menerima gas alam cair dari kapal LNG, menyimpan LNG tersebut ke dalam tangki, menguapkan LNG, dan selanjutnya mengalirkan gas alam ke jaringan perpipaan. Perancangan ini bertujuan membuat model tiga dimensi LNG receiving terminal khususnya untuk fasilitas regasifikasi LNG (*Vaporizer*) dan *boil-off gas compressor*. Selain itu, perkiraan biaya investasi yang dibutuhkan juga diperhitungkan. Dari hasil perancangan ini didapat bahwa lahan yang dibutuhkan untuk dua unit tersebut sebesar 43,042 m<sup>2</sup>, dan total biaya investasi yang dibutuhkan sebesar \$73,477,475.

Kata kunci:

LNG receiving terminal, *vaporizer*, *boil-off gas compressor*, biaya investasi



## ABSTRACT

Name : Nuriz Zaman

Study Program : Chemical Engineering

Title : LNG Receiving Terminal Front End Engineering Design for Regasification Facility  
and BOG Compressor

The demand of natural gas in the year 2015 is predicted to exceed the supply of natural gas in Java Island. The establishment of LNG receiving terminal in East Java can help solve this problem. LNG receiving terminal is a place for regasification which have a function of receiving liquid natural gas from LNG tanker, storage those LNG on a storage tank, vaporize the LNG, and then distribute the natural gas to distribution pipeline. This design have an objective of designing three-dimensional model of LNG receiving terminal especially for regasification facility (vaporizer) and boil-off gas compressor. On top of that, estimation of capital investment was also carried out. From this design we find that the needed area for those two units is 43,042 m<sup>2</sup>, and the capital investment is \$73,477,475.

Keyword:

LNG receiving terminal, vaporizer, boil-off gas compressor, capital investment

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN .....	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	v
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT .....	vii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 LNG .....	5
2.2 LNG Receiving Terminal .....	6
2.3 Proses Regasifikasi pada LNG Receiving terminal .....	11
2.4 Peralatan Utama pada LNG Receiving Terminal .....	13
2.5 Tahapan Pembangunan Pabrik .....	21
2.5.1 Feasibility Study .....	22
2.5.2 Front end engineering design .....	23
2.5.2.1 Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) .....	23
2.5.2.2 Penggambaran Plot Plan .....	23
2.5.3 Tahap Procurement .....	27
2.5.4 Tahap Konstruksi .....	28
2.5.5 Tahap Testing dan Commisioning .....	29
2.6 Model Tiga Dimensi .....	29
<b>BAB 3. METODE PERANCANGAN .....</b>	<b>31</b>
3.1 Perancangan Data Teknis .....	31
3.2 Penggambaran <i>Draft</i> Tata Letak Peralatan dan Plot Plan 2 Dimensi .....	34
3.3 Penggambaran Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) .....	35
3.4 Perancangan Sistem Perpipaan .....	35
3.5 Pembuatan Model Pabrik Tiga Dimensi .....	35
3.6 Bill Of Material .....	35

<b>BAB 4. PERANCANGAN .....</b>	<b>36</b>
4.1 Filosofi Desain Peralatan .....	36
4.1.1 Deskripsi Proses Filosofi Keseluruhan pada LNG-RT.....	36
4.1.2 Filosofi Desain Peralatan Utama pada LNG-RT.....	37
4.1.2.1 BOG <i>Compressor</i> .....	37
4.1.2.2 <i>Vaporizer</i> .....	38
4.1.2.3 <i>Seawater Facility</i> .....	39
4.1.3 <i>Process Flow Diagram</i> .....	40
4.2 Pengumpulan Data Teknis .....	42
4.2.1 Pendataan Jumlah Peralatan .....	42
4.2.2 Pengumpulan Data Dimensi Peralatan .....	42
4.3 Penggambaran Plot Plan .....	44
4.3.1 Pengaturan Tata Letak Peralatan .....	44
4.3.2 Pembuatan Plot Plan Fasilitas Regasifikasi ( <i>Vaporizer</i> ) .....	44
4.3.3 Pembuatan Plot Plan BOG <i>Compressor</i> .....	42
4.4 Perancangan Sistem Perpipaan .....	48
4.4.1 Diameter Pipa Optimum .....	48
4.5 Pembuatan <i>Piping and Instrumentation Diagram</i> (P&ID).....	50
4.5.1 Sistem Perpipaan dan Instrumentasi di Sekitar Pompa dan Kompresor.....	50
4.5.2 Sistem Perpipaan dan Instrumentasi di Sekitar <i>Vaporizer</i> .....	51
4.6 Penggambaran Model Pabrik 3 Dimensi .....	52
4.6.1 Penggambaran Peralatan .....	52
4.6.1.1 Dimensi Desain <i>Compressor</i> .....	53
4.6.1.2 Dimensi Desain Open Rack <i>Vaporizer</i> .....	55
4.6.2 Penggambaran Sistem Perpipaan.....	59
4.6.3 Hasil Model Pabrik Tiga Dimensi .....	60
4.7 Bill of Material.....	63
4.7.1 Perhitungan Biaya Investasi.....	63
<b>BAB 5. KESIMPULAN .....</b>	<b>67</b>
DAFTAR PUSTAKA .....	69
LAMPIRAN 70	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Kebutuhan Energi Domestik .....	1
Gambar 2.1 Rantai Suplai LNG .....	6
Gambar 2.2 Terminal LNG <i>receiving terminal</i> model <i>Gravity Based Structure</i> ..	10
Gambar 2.3 <i>Sistem Energy Bridge Ship</i> (EBS) dari El Paso .....	10
Gambar 2.4 Proses regasifikasi pada LNG <i>receiving terminal</i> .....	11
Gambar 2.5 LNG <i>unloading arm platform</i> .....	14
Gambar 2.6 Tipikal Tangki LNG Full Containment.....	15
Gambar 2.7 Contoh tangki LNG Full Containment.....	15
Gambar 2.8 Proses evaporasi LNG menggunakan Air Laut.....	18
Gambar 2.9 Proses Submerged Combustion Vaporizer.....	19
Gambar 2.10 Alur tahapan pembangunan suatu pabrik.....	22
Gambar 2.11 Contoh P&ID .....	24
Gambar 2.12 Contoh <i>plot plan</i> .....	24
Gambar 3.1 Diagram alir proses pada perancangan terminal LNG.....	32
Gambar 4.1 Proses evaporasi LNG menggunakan ORV .....	39
Gambar 4.2 Skema proses pengolahan LNG pada terminal penerimaan LNG ....	40
Gambar 4.3 PFD pada fasilitas penyimpanan LNG keseluruhan .....	41
Gambar 4.4 Plot plan fasilitas regasifikasi ( <i>vaporizer</i> ).....	46
Gambar 4.5 Plot plan fasilitas BOG compressor .....	47
Gambar 4.6 Contoh sistem perpipaan di sekitar pompa .....	50
Gambar 4.7 Contoh sistem perpipaan di sekitar kompresor .....	51
Gambar 4.8 Contoh sistem perpipaan di sekitar <i>vaporizer</i> .....	52
Gambar 4.9 Model Tiga Dimensi Satu Unit <i>Compressor</i> .....	53
Gambar 4.10 Model Tiga Dimensi <i>Compressor</i> dengan Perpipaan .....	54
Gambar 4.11 Open Rack <i>Vaporizer</i> .....	55
Gambar 4.12 Model Tiga Dimensi Satu Unit Open Rack <i>Vaporizer</i> .....	55
Gambar 4.13 Model Tiga Dimensi Open Rack <i>Vaporizer</i> dengan Perpipaan ....	57
Gambar 4.14 Model Tiga Dimensi Open Rack <i>Vaporizer</i> dengan Perpipaan ....	58
Gambar 4.15 Model Tiga Dimensi Sistem Perpipaan di Dalam Open Rack <i>Vaporizer</i> .....	59
Gambar 4.16 Layout Model 3D <i>LNG Regasification Facility &amp; BOG Compressor</i> .....	61
Gambar 4.17 Layout Model 3D <i>LNG Regasification Facility &amp; BOG Compressor</i> .....	62

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi dan Spesifikasi LNG.....	5
Tabel 2.2 Kandungan Kalor Dari beberapa Jenis Bahan Bakar.....	6
Tabel 2.3 Karakteristik terminal LNG model <i>underground storage</i> .....	8
Tabel 2.4 Matriks untung-rugi terminal LNG model <i>underground storage</i> .....	8
Tabel 2.5 Karakteristik terminal dengan tangki timbun LNG .....	9
Tabel 2.6 Jenis-jenis ship based LNG <i>receiving terminal</i> .....	9
Tabel 2.7 Karakteristik dari <i>Ship Based Terminal with Regasification</i> .....	11
Tabel 3.1 Daftar peralatan fasilitas regasifikasi dan BOG compressor .....	33
Tabel 4.1 Jumlah peralatan untuk fasilitas regasifikasi dan BOG <i>compressor</i> .....	42
Tabel 4.2 Dimensi peralatan pada terminal penerimaan LNG Jawa Timur.....	43
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Diameter Optimum Pipa.....	49
Tabel 4.5 Biaya Peralatan .....	65
Tabel 4.6 Biaya Tambahan Peralatan.....	66
Tabel 4.7 Perhitungan total capital investment.....	66

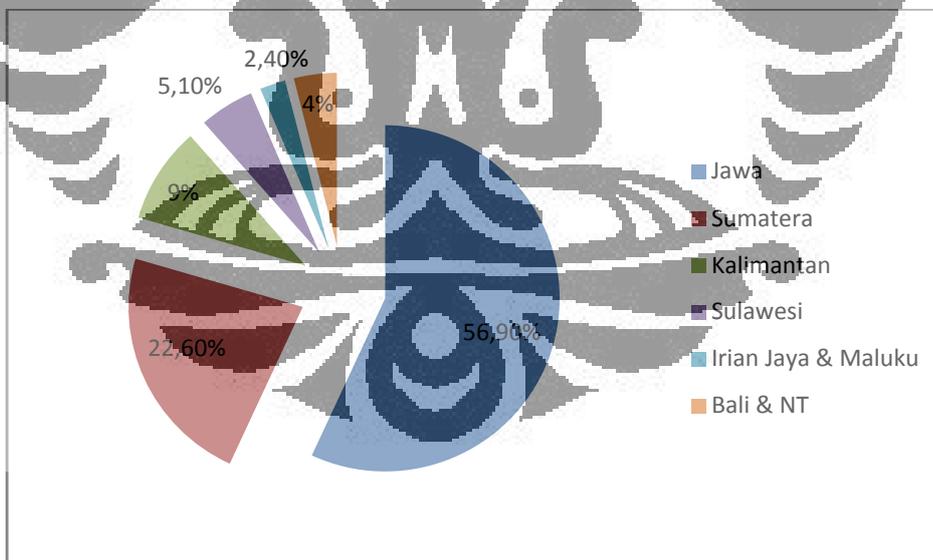


## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pulau Jawa merupakan pusat kegiatan ekonomi dan industri di Indonesia karena di pulau Jawa selain terdapat ibu kota pusat pemerintahan, DKI Jakarta, juga sarat dengan perniagaan. Walaupun Pulau – pulau lainnya seperti Sumatra, Kalimantan dan Sulawesi memerlukan energi yang sangat besar, namun konsumen energi di Pulau Jawa sendiri memiliki kebutuhan yang paling tinggi, yaitu menyerap sekitar 50 % dari total konsumsi energi di Indonesia.

Pulau Jawa yang berpenduduk tidak kurang dari 110 juta jiwa serta ± 360 ribu jenis industri yang beragam sangat potensial sebagai sumber devisa bagi peningkatan perekonomian nasional. Seperti terlihat pada Gambar 1.1, tingkat kebutuhan energi di Pulau Jawa adalah sebesar 56,9% yang mencapai 4 GWh dan ± 40.000.000 KL per hari BBM dan 5.149 MMSCFD Gas Bumi.



Gambar 1.1 Kebutuhan Energi Domestik

Kebutuhan gas bumi di pulau Jawa pada tahun 2015 diperkirakan akan mencapai 6.009 MMSCFD. Sementara itu kemampuan suplai gas bumi di pulau Jawa, pada tahun 2015, hanya 2.493 MMSCFD (Migas 2008). Sehingga untuk memenuhi permintaan gas di pulau Jawa harus mengambil dari sumber – sumber gas bumi yang ada di luar Jawa. Salah satu bentuk dari gas alam yang dimaksud adalah dalam bentuk LNG.

Metode pengembangan transportasi gas alam diantaranya melalui pipeline, LNG dan CNG. Jika dalam bentuk LNG salah satunya adalah melalui LNG *receiving terminal*. LNG *Receiving terminal* sering disebut *regas facility*. Secara umum memang merupakan tempat regasifikasi dimana fungsinya adalah menerima gas alam cair dari kapal LNG, menyimpan LNG tersebut ke dalam tangki, menguapkan LNG, dan selanjutnya mengalirkan gas alam ke jaringan perpipaan. Dalam hal ini, LNG *Receiving terminal* berfungsi memasok gas baik ke PLN sebagai tenaga pembangkit listrik, atau ke industry, komersial maupun ke rumah tangga.

Dengan adanya pembangunan LNG terminal ini, dapat diperoleh beberapa keuntungan, yaitu :

- Mendukung fasilitas supply gas alam dengan volume besar dan pemenuhan kebutuhan listrik terutama untuk Pulau Jawa
- Melengkapi transportasi gas dengan pipa
- Mengurangi ketergantungan dengan minyak bumi
- Membuka peluang bisnis baru pada bagian hilir
- LNG terminal dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik energy kriogenik,

Proses pembangunan terminal ini selanjutnya akan memiliki tiga tahapan utama, yaitu *engineering*, *procurement*, dan *construction*. Pada tahapan *engineering*, akan dibuat gambar rancang proyek, spesifikasi, biaya material, dan sebagainya. Pada tahapan *procurement*, akan dilakukan pembelian peralatan termasuk negosiasi harga dan pengiriman peralatan. Kemudian pada tahap *construction*, akan dilakukan instalasi peralatan, pemasangan fasilitas listrik, air dan unit utilitas lainnya..

Mengingat pentingnya tahapan-tahapan dalam rancangan tingkat lanjut dalam pembangunan terminal LNG, maka pada perancangan ini akan dilakukan dalam bentuk *piping and instrumentation diagram* (P&ID) dan model tiga dimensi dari LNG plant yang baru. Hasil rancangan ini selanjutnya menjadi dasar untuk perhitungan biaya investasi pembangunan pabrik. Dengan dihasilkannya P&ID, model tiga dimensi dan estimasi biaya, diharapkan pelaksanaan pembangunan terminal LNG yang akan datang dapat berjalan sesuai rencana awal yang telah ditetapkan pemerintah.

## I.2 RUMUSAN MASALAH

Hal yang perlu dilakukan yaitu bagaimana memperlihatkan proses pada LNG receiving terminal secara lebih jelas dengan cara merancang suatu model tiga dimensi. Selain aspek perancangan, seberapa besar biaya investasi yang diperlukan untuk pembangunan terminal ini juga perlu diperhitungkan, sehingga diperoleh estimasi biaya investasi yang lebih akurat dibandingkan pada tahap studi kelayakan.

## I.3 TUJUAN

Adapun tujuan penulisan ini, yaitu untuk melakukan rancangan tingkat lanjut berupa perancangan model tiga dimensi LNG receiving terminal khususnya untuk fasilitas regasifikasi LNG (*Vaporizer*) dan *Boil-off gas compressor*. Selain itu, penulisan ini juga bertujuan untuk memperhitungkan perkiraan biaya investasi yang dibutuhkan dari pembangunan terminal LNG khususnya unit regasifikasi LNG (*Vaporizer*) dan *Boil-off gas compressor*.

## I.4 BATASAN MASALAH

- Dalam pembuatan simulasi tiga dimensi dari *plant layout* yang akan dirancang hanya meliputi peralatan utama, pipa-pipa utama dan valve-valve utama dari unit fasilitas regasifikasi LNG (*Vaporizer*) dan *Boil-off gas compressor* (sehingga bagian-bagian instrumentasi tidak termasuk).

- Metode perancangan simulasi tiga dimensi ini memakai perangkat lunak tiga dimensi untuk merancang pabrik

## **I.5 SISTEMATIKA PENULISAN**

Sistematika penulisan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah:

### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab ini terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan.

### **BAB II : TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini menjelaskan teori-teori dasar mengenai proses yang terjadi pada LNG receiving terminal, peralatan-peralatan utama yang dibutuhkan, dan tahapan rancangan tingkat lanjut secara umum

### **BAB III : METODE PERANCANGAN**

Bab ini terdiri atas metode perancangan meliputi tahap-tahap rancangan tingkat lanjut pada LNG-receiving terminal

### **BAB IV : HASIL PERANCANGAN**

Bab ini akan berisikan hasil dari perancangan yang berupa plot plan, P&ID, dan model plant tiga dimensi

### **BAB V : KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari seluruh bab yang ada dan merupakan rangkuman singkat dari pembahasan-pembahasan sebelumnya

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai LNG secara umum, LNG *Receiving Terminal*, peralatan-peralatan utama yang digunakan pada LNG *Receiving Terminal*, tahapan-tahapan yang perlu diperhatikan dalam pembangunan pabrik dan penjelasan secara singkat mengenai model tiga dimensi.

#### 2.1 LNG

LNG (Liquefied Natural Gas) adalah gas alam yang dicairkan dengan cara didinginkan sampai mencapai suhu  $-160^{\circ}\text{C}$ . Dengan tekanan atmosferik, maka akan dihasilkan gas dalam bentuk cair. Proses semacam ini disebut dengan pencairan gas bumi (Natural Gas Liquefaction). Gas alam cair memiliki volume 1/600 kali dari keadaan sebelum dicairkan. Komposisi LNG pada umumnya terdiri dari 85-90 % mol metana ditambah etana dan sebagian kecil propane, butane, dan nitrogen. Komposisi LNG yang sebenarnya tergantung dari sumber gas dan teknologi pemrosesannya. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat komposisi dan spesifikasi LNG.

Tabel 2.1 Komposisi dan Spesifikasi LNG

Komposisi	Low (%)	High (%)
Methane (C1)	80	99
Ethane (C2)	< 1	17
Propane (C3)	0.1	5
Butane (C4)	0.1	2
Pentane+ (C5+)		< 1
Nitrogen (N2)	0	1
Nilai Kalori	1000 - 1160 BTU/SCF	
Berat Jenis	0.45 - 0.47 g/cc	
1 MTPA LNG	~ 135 - 140 MMSCFD gas alam	

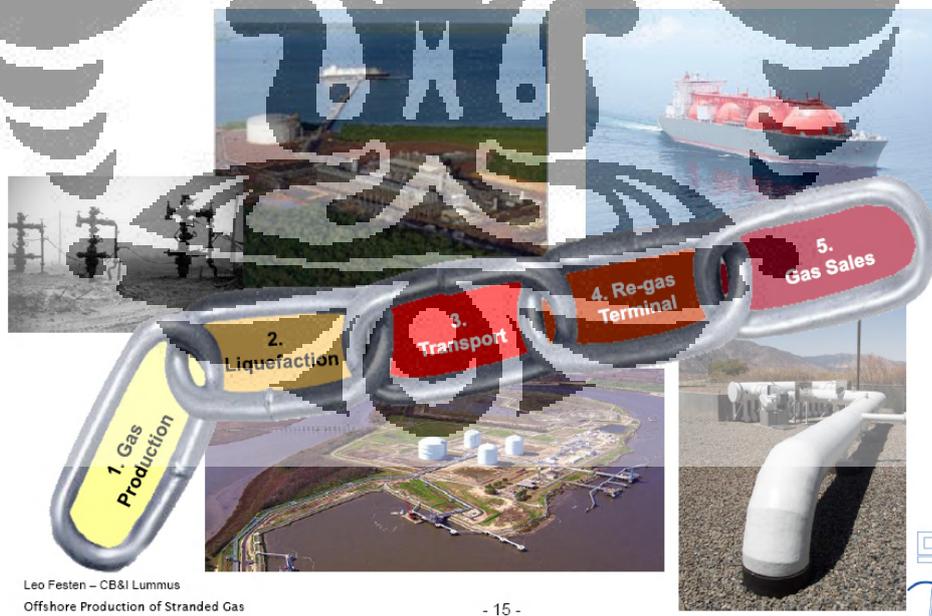
LNG memiliki kandungan energi per volume lebih besar dibandingkan dengan jenis bahan bakar lain yang bersumber dari gas hidrokarbon. Tabel 2.2 berikut memperlihatkan densitas energi per satuan volume dari beberapa bentuk bahan bakar.

**Tabel 2.2 Kandungan Kalor Dari beberapa Jenis Bahan Bakar**

Bahan Bakar	MJ/lt	MJ/kg
Methane	0.035	50
Gaseus Methane @ 248 bar, CNG	8.7	50
Liquid Methane @ - 162 Celcius, LNG	21.6	50
LPG	24.4	48
Gasoline	32.7	42.5
Diesel	37.7	42.5

## 2.2 LNG *Receiving Terminal*

Proses LNG *supply* terdiri dari 4 tahap utama yaitu eksplorasi dan produksi gas alam, pencairan gas alam (*liquefaction*) dengan cara pendinginan, transportasi (*shipping*), regasifikasi dan penyimpanan untuk kemudian didistribusikan ke konsumen melalui jaringan perpipaan.



**Gambar 2.1 Rantai Suplai LNG**

LNG *receiving terminal* merupakan salah satu proses dari rantai suplai gas alam dalam bentuk LNG, yang berperan untuk meregasifikasi LNG menjadi fasa gas kembali. Terminal ini juga berfungsi sebagai fasilitas penimbunan (*storage*) untuk mengantisipasi adanya gangguan pada proses pengiriman dan penerimaan LNG di terminal. Kesenambungan pasokan gas bumi harus diperhatikan, karena berkurangnya atau berhentinya pasokan akan merugikan konsumen, dan akhirnya juga merugikan masyarakat umum. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas LNG *receiving terminal* mencakup kapasitas pasokan gas kepada konsumen (*throughput*) dan kapasitas penimbunan (*storage capacity*). Pada Gambar 2.1 di atas dapat dilihat rantai suplai dari LNG.

### 2.2.1 Jenis-Jenis LNG *Receiving Terminal* [1]

Pada proses pembangunan LNG *receiving terminal*, diperlukan studi kelayakan dan evaluasi yang berkaitan dengan model-model LNG *receiving terminal* yang akan dibangun. Secara umum, terdapat tiga model utama untuk terminal LNG, yaitu :

- Terminal dengan tangki timbun LNG dan fasilitas regasifikasi
- *Ship Based Terminal*, dengan dua jenis model, yaitu
  - o Kapal LNG yang berfungsi sebagai terminal dengan fasilitas regasifikasi
  - o LNG *Receiving terminal* jenis *Gravity Structure Based (GBS)*, yaitu struktur beton yang dipancangkan ke dasar laut yang berfungsi sebagai dermaga dengan fasilitas regasifikasi dan penyimpanan gas.
- Penyimpanan gas alam dalam reservoir bumi (*underground storage*), dengan 3 model yaitu :
  - o Reservoir minyak dan / atau gas bumi yang tidak berproduksi lagi.
  - o Gua garam (*salt Caverns*)
  - o Reservoir air (*aquifer reservoir*) yaitu reservoir air bawah tanah yang dikondisikan untuk penyimpanan gas.

Setiap model yang dijabarkan diatas memiliki kelebihan dan kekurangan dilihat dari beberapa sisi, hal ini ditunjukkan pada Tabel 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 dan 2.7 berikut:

**Tabel 2.3 Karakteristik terminal LNG model *underground storage***

No	Karakteristik	Baik	Sedang	Buruk
1	Biaya Rendah (million US \$)	<100	100-200	>200
2	Teknologi terbukti (proven)	Proven	near proven	not proven
3	Infrastruktur sederhana	sederhana	Sedang	rumit
4	Kehandalan pasokan (MMscfd)	>1200	Sedang	kurang
5	Pemanfaatan suhu dingin LNG	dapat	Sedang	tidak ada
6	Fleksibilitas ekspansi kapasitas	fleksibel	Sedang	tertentu
7	fleksibilitas pemilihan lokasi	fleksibel	Sedang	tertentu
8	Faktor keamanan	aman	Sedang	kurang aman
9	Gas losses rendah	<0.1%	<1%	<5%

**Tabel 2.4 Matriks untung-rugi terminal LNG model *underground storage***

No	Karakteristik	Depleted oil/gas reservoir	Salt Cavern	Aquifer Reservoir
1	Biaya	sedang	Baik	buruk
2	Teknologi terbukti (proven)	baik	baik	baik
3	Infrastruktur sederhana	baik	baik	buruk
4	Kehandalan pasokan (MMscfd)	baik	baik	baik
5	Pemanfaatan suhu dingin LNG	buruk	buruk	buruk
6	Fleksibilitas ekspansi kapasitas	sedang	baik	sedang
7	fleksibilitas pemilihan lokasi	buruk	sedang	buruk
8	Faktor keamanan	baik	baik	baik
9	Gas losses rendah	sedang	baik	buruk

LNG *receiving terminal* dengan tangki timbun LNG dan fasilitas regasifikasi merupakan model penyimpanan LNG yang paling umum digunakan di dunia. Pada saat ini terdapat 40 LNG *receiving terminal* yang beroperasi di seluruh dunia dengan jumlah terbanyak di Jepang (24), Eropa (9), Amerika Serikat (3), Korea (2), Puerto Rico (1), dan Taiwan (1). Secara umum, terdapat empat bagian utama dari model terminal LNG ini, yaitu unit *unloading*, unit penyimpanan, unit regasifikasi, dan unit

distribusi. Pada Tabel 2.5 menunjukkan karakteristik terminal dengan tangki timbun LNG.

**Tabel 2.5 Karakteristik terminal dengan tangki timbun LNG**

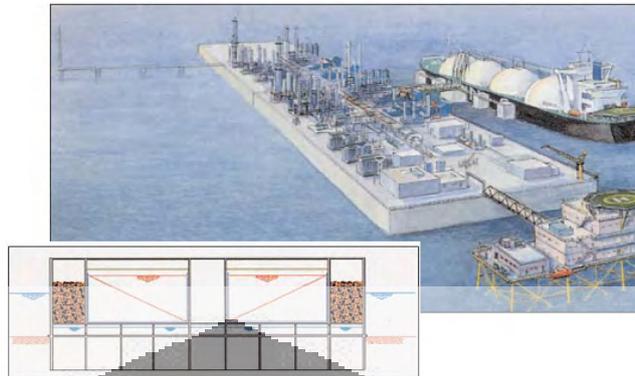
No	Karakteristik	Penilaian	Alasan
1	Biaya	buruk	biaya investasi yang diperlukan relatif tinggi
2	Teknologi terbukti (proven)	Baik	teknologi yang digunakan telah terbukti
3	Infrastruktur sederhana	buruk	perlunya tambahan fasilitas penyimpanan (tidak bisa mempergunakan kondisi lingkungan yang telah ada)
4	Kehandalan pasokan (MMscfd)	Baik	Dapat beroperasi walaupun terjadi keterlambatan tangker
5	Pemanfaatan suhu dingin LNG	Baik	dapat dengan mudah diintegrasikan dengan sistem yang memanfaatkan suhu dingin LNG
6	Fleksibilitas ekspansi kapasitas	Baik	dapat dengan mudah mengalami perluasan kapasitas
7	fleksibilitas pemilihan lokasi	Baik	tidak memerlukan kondisi lingkungan tertentu
8	Faktor keamanan	sedang	tangki timbun cukup rentan terhadap kerusakan bila terjadi kesalahan proses
9	Gas losses rendah	sedang	relatif sangat sedikit karena dapat diminamialisasi dengan vapor recovery

Semua LNG *receiving terminal* yang telah dibangun sampai saat ini berlokasi di darat dan memiliki fasilitas dermaga yang pembangunannya membutuhkan biaya besar. Beberapa konsep penggunaan kapal sebagai terminal LNG telah dikembangkan dengan tujuan mengurangi biaya pembangunan dermaga.

**Tabel 2.6 Jenis-jenis ship based LNG *receiving terminal***

Jenis	Kontraktor	Kapasitas	Keterbatasan
<i>Gravity Based Structure (GBS)</i>	ExxonMobil	-	kedalaman laut > 15 m
<i>Energy bridge Ship (EBS)</i>	EL Paso Global LNG	400	tetap memerlukan fasilitas penimbunan

ExxonMobil bekerja sama dengan SN Technigaz mengembangkan LNG receiving terminal yang disebut *Gravity based structure (GBS)*, dimana struktur beton GBS dilengkapi dengan tangki, dibawa ke lokasi, dipancangkan ke dasar laut, dan dihubungkan dengan pipa ke pantai dalam waktu yang lebih singkat daripada pembangunan terminal yang konvensional.



Sumber: Brian Raine, LNG Journal



Gambar 2.2 Terminal LNG receiving terminal model Gravity Based Structure

Sedangkan jenis kapal regasifikasi, dikembangkan oleh El Paso Global LNG, berupa *Energy Bridge* yang menggunakan kapal LNG sebagai unit regasifikasi. Pada saat kapal LNG tiba di lokasi terminal, *buoy* naik ke permukaan laut dihubungkan dengan konektor yang berada di kapal, selanjutnya LNG diregasifikasi di kapal dan dialirkan ke darat melalui system perpipaan bawah laut.

Parameters		Benefits
Weatherables		First to Market
1400 PSI output		Optionality
400 MMcf/D		Environmentally Friendly
10-450 MMcf/d Full R		Buoy Proven in North Sea
Fuel: 2.5%		Baseload or Seasonal
Connect : 4.5 M seas		Avoids ship to ship LNG transfer
Sendout : 10-11 M se		Lower Cost
Capacity : 3 BCF		Increase redundancy
Conventional Vessel		Increase Safety
Safe & Efficient		Avoids harbor dredging
Shell & Tube Vaporiz		
Water Depth -> 35M		

Sumber: El Paso

Gambar 2.3 Sistem Energy Bridge Ship (EBS) dari El Paso

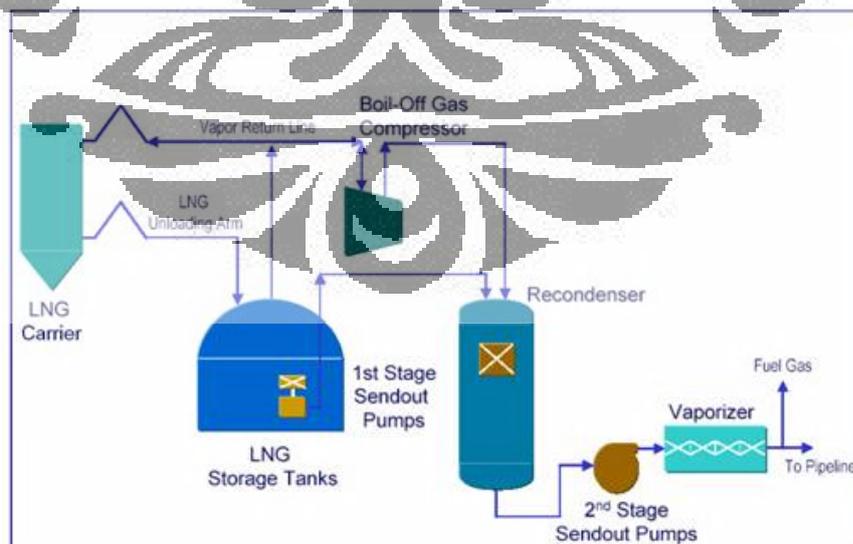
Pada Tabel 2.7 berikut menunjukkan karakteristik model terminal LNG dengan ship based:

**Tabel 2.7 Karakteristik dari *Ship Based Terminal with Regasification***

no	Karakteristik	Penilaian	Alasan
1	Biaya	belum diketahui	Sistem dalam pengembangan. Sistem EBS tetap memerlukan tangki timbun
2	Teknologi terbukti (proven)	belum terbukti	masing-masing unit mungkin sudah terbukti kehandalannya tetapi sebagai sistem beu teruji
3	Infrastruktur sederhana	baik	tidak membutuhkan infrastruktur sebelumnya
4	Kehandalan pasokan (MMscfd)	belum diketahui	dengan adanya tangki timbun, terminal tetap dapat beroperasi walaupun terjadi keterlambatan tangker
5	Pemanfaatan suhu dingin LNG	tidak ada	tidak tersedia tempat untuk unit pemanfaatan dingin
6	Fleksibilitas ekspansi kapasitas	baik	untuk sistem GBS
7	fleksibilitas pemilihan lokasi	Baik	pada laut dalam lebih dari 15 meter
8	Faktor keamanan	belum diketahui	Sistem dalam pengembangan. Sistem EBS tetap memerlukan tangki timbun
9	Gas losses rendah	sedang	Dapar diminimalisasi dengan unit <i>vapor recovery</i>

### 2.3 Proses Regasifikasi pada LNG *Receiving terminal*

Diagram alir proses sederhana dari LNG *receiving terminal* dengan tangki timbun kriogenik ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut.



**Gambar 2.4 Proses regasifikasi pada LNG *receiving terminal***

Universitas Indonesia

Proses pertama yang terjadi pada LNG *receiving terminal* adalah *unloading* LNG dari tanker LNG ke tanki timbun LNG. Di dalam tanki timbun ini LNG disimpan untuk sementara waktu sebelum diregasifikasi dan dialirkan ke jaringan perpipaan. Kondisi dalam tanki memiliki temperature  $-162^{\circ}\text{C}$  dengan tekanan atmosferik. Alasan pemilihan kondisi ini adalah karena pada suhu  $-162^{\circ}\text{C}$  tekanan uap LNG mendekati tekanan atmosfer. Apabila terdapat panas yang masuk ke dalam tanki, sebagian LNG akan menguap dan memberikan efek autorefrigasi kepada LNG dalam tanki timbun, sementara temperatur tanki tidak berubah.

Efek autorefrigasi yang dimaksud di atas adalah efek pendinginan yang terjadi akibat pembentukan *boil off gas*. Apabila terdapat panas yang masuk ke dalam tanki, panas tersebut akan terserap oleh sebagian kecil LNG yang akan dipakai untuk mengubah fasa sebagian kecil LNG tersebut menjadi gas. Akibat sebagian kecil panas yang tetap masuk serta akibat pemompaan LNG ke dalam tanki timbun, akan terbentuk *boil-off-gas*, dimana *boil-off-gas* ini akan dikeluarkan dari tanki untuk menjaga keseimbangan tekanan tanki timbun.

Urutan prioritas penggunaan *boil-off-gas* yang terbentuk, dapat dijabarkan sebagai berikut :

- a) Dialirkan ke LNG tanker, untuk menjaga keseimbangan tekanan di dalam tanker.
- b) Dialirkan kembali ke dalam storage tank untuk di simpan kembali, setelah sebelumnya direkondensasi.
- c) Direkondensasi dan dikirim bersama LNG ke jaringan perpipaan.
- d) Dialirkan ke flare.

Apabila LNG *receiving terminal* sedang beroperasi pada kapasitas normal, sebagian besar *boil-off-gas* tersebut akan dikondensasi dan digabungkan dengan aliran LNG yang akan dikirim ke jaringan perpipaan. Sebelum mengalami proses regasifikasi, LNG dipompa untuk mengontakkan LNG dengan *boil-off-gas* yang akan dikirim bersama dengan LNG. Sebagian suhu dingin LNG ini akan terpakai untuk mengkondensasi *boil-off-gas* menjadi LNG, sehingga keluaran dari LNG rekondenser

ini keseluruhannya berada dalam fasa cair. Pengkondensasi *boil-off-gas* dimaksudkan untuk mengurangi energi yang diperlukan untuk menaikkan tekanan gas alam (fasa uap) lebih besar dibandingkan energi yang diperlukan untuk menaikkan tekanan LNG (fasa cair) ke tingkat yang tekanan sama.

Dari recondenser, LNG dialirkan ke pompa sekunder, yang akan meningkatkan tekanan LNG menjadi sama dengan tekanan jaringan perpipaan sebesar 1,050 psi ( $\pm 7,3$  Mpa) untuk kemudian diregasifikasi dalam vaporizer. Dalam sistem ini, dipakai dua jenis vaporizer, yaitu *open rack vaporizer* dan *submerged vaporizer*. Tujuan dari dua jenis vaporizer ini adalah untuk saling melengkapi kelebihan dan kekurangan dari masing-masing vaporizer.

*Open rack vaporizer* menggunakan air laut untuk menguapkan LNG menjadi gas alam. Keuntungan dari alat ini adalah biaya operasi yang rendah, serta konstruksi pemeliharaan yang sederhana. Kekurangannya terletak pada perubahan kapasitas yang dapat ditanganinya tidak terlalu besar. Sedangkan *Sub merged vaporizer* menggunakan air yang dipanaskan dengan *burner* untuk memvaporasi LNG menjadi gas alam. Keuntungan dari alat ini adalah biaya fasilitas yang rendah, dan berlawanan dengan *open rack vaporizer*, dapat menangani fluktuasi keluaran terminal yang lebar. Akan tetapi kekurangannya terletak pada besarnya biaya operasi, karena memerlukan energi/bahan bakar untuk memanaskan air pemanas.

#### **2.4 Peralatan Utama pada LNG Receiving Terminal**

Pada proses regasifikasi di terminal LNG, terdapat beberapa peralatan utama yaitu:

##### 1. LNG *unloading arms*

Waktu yang dibutuhkan untuk *unloading* LNG dari tangker berukuran 125.000-138.000 m<sup>3</sup> berkisar 12 sampai 15 jam. Kondisi ini membutuhkan transfer laju alir sebesar 12.000 m<sup>3</sup>. Hal ini dapat dipenuhi dengan menggunakan dua buah *unloading arm* berukuran 16 inch yang masing-masing dapat mengalirkan LNG sebesar 6000 m<sup>3</sup>. Untuk tangker yang lebih kecil dan laju alir yang lebih rendah maka

unloading arm yang dibutuhkan juga akan berkorespondensi lebih kecil menyesuaikan ukuran yang diperlukan.

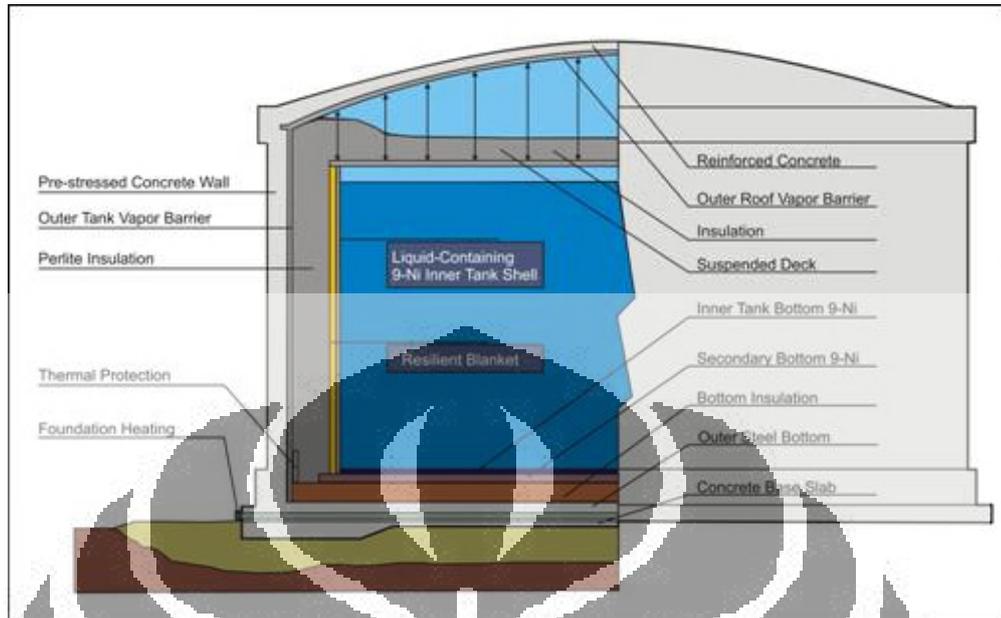
Selain unloading arm, juga dibutuhkan *vapor return arm*, yang digunakan untuk mengalirkan gas alam dalam fasa gas dari *shore* menuju tangker. Dan untuk *reliability factor*, maka sebaiknya pada terminal LNG terdapat cadangan *arm* apabila salah satu arm harus dilakukan *maintenance*. Unloading arm, terbuat dari stainless steel yang dapat menahan suhu rendah yaitu  $-162^{\circ}\text{C}$ . Pada Gambar 2.5 dapat dilihat contoh dari LNG *unloading arms*.



Gambar 2.5 LNG *unloading arm platform*

## 2. Tangki LNG

Tangki penyimpanan LNG mempunyai struktur yang sangat berat dengan kapasitas yang bervariasi antara  $60,000 \text{ M}^3$ -  $160,000 \text{ M}^3$  dengan diameter berkisar antara 50 M – 80 M. Kontruksi tangki LNG pada umumnya adalah bagian dalam terdiri dari logam cryogenic (campuran Ni) dan bagian luar terdiri dari Stainles Steel. Di antara bagian dalam dan bagian luar dinding tangki bisaanya diisi dengan perlit sebagai insulation agar tidak terjadi perpindahan panas dari dinding bagian luar ke dinding bagian dalam. Setiap tangki LNG dilengkapi dengan Boil Off Compressor yang berfungsi untuk menghisap uap berlebih yang terbentuk dalam tangki LNG (Boil Off Gas/BOG). Gambar 2.6 dan 2.7 memperlihatkan tipikal tangki LNG Full Containment beserta contohnya.



Gambar 2.6 Tipikal Tangki LNG Full Containment



Gambar 2.7 Contoh tangki LNG Full Containment

### 3. BOG Compressor

Karena suhu dari LNG yang sangat rendah (-160 C), uap *boil-off* akan terbentuk diakibatkan panas yang masuk dari lingkungan sekitar. Jika hal ini dibiarkan, tekanan dari tangki LNG akan meningkat, dan pada akhirnya BOG akan dibuang ke udara dari *vent stack*. Jumlah produksi normal BOG bisa mencapai ribuan ton tiap harinya, sehingga menyebabkan kerugian ekonomi yang cukup besar jika BOG tersebut semuanya dibuang ke udara. Untuk menghindari hal ini, digunakan BOG Compressor untuk bisa mengumpulkan BOG yang terproduksi. Penjelasan mengenai cara kerja BOG Compressor akan dijelaskan di bagian *Vapor Handling System*.

#### *Vapor Handling System* (Penanganan uap)

Selama operasi normal, uap *boil-off* diproduksi pada tangki dan pipa yang berisi cairan akibat transfer panas dari lingkungan sekitar. Uap ini dikumpulkan pada *boil-off header* yang terhubung dengan *boil-off compressor suction drum*. Sebuah *in-line desuperheater*, yang terletak pada hulu *drum* akan menginjeksi LNG pada aliran gas jika temperatur meningkat di atas -80°C. Uap *boil-off* yang dihasilkan selama operasi normal karena adanya panas yang terserap ke tangki penyimpanan dan pipa dikompres dan dicairkan pada *recondenser*. Selama *unloading*, jumlah uap pada outlet tangki naik secara signifikan. Uap tambahan ini adalah kombinasi dari volume yang digantikan pada tangki oleh LNG yang masuk, uap yang datang dari terbebasnya input energi pada pompa kapal, uap *flash* karena perbedaan tekanan antara kapal dan tangki penyimpanan serta penguapan dari bocornya panas pada penghubung *loading-unloading* dan pipa transfer.

Uap dapat dialirkan kembali menuju kapal melalui *boil-off gas blower* atau menuju *boil-off compressor*. Uap yang tidak dialirkan kembali ke kapal dikompres dan dialirkan ke *recondenser*. Banyaknya uap yang bisa direkondensasi tergantung pada jumlah LNG yang dikirimkan. Jika tidak terdapat cukup LNG yang dikirimkan untuk menyerap *boil-off gas*, uap tersebut dikompresi hingga tekanan pipa atau bisa juga dibakar atau dikeluarkan ke atmosfer (*vented*).

Universitas Indonesia

#### 4. 1<sup>st</sup> stage LNG pump

Beberapa pompa LNG dengan *head* yang rendah biasanya terpasang pada masing-masing tangki penyimpanan LNG.. Pompa pompa LNG ini akan mengalirkan LNG dan mensirkulasikan LNG pada pipa *loading-unloading* kapal untuk menjaga pipa tersebut tetap dingin di antara waktu *unloading* kapal. Pompa tahap pertama ini umumnya memiliki tekanan keluar sekitar 1.5 MPa.

#### 5. LNG Recondenser

LNG dari pompa dalam tangki dialirkan langsung ke LNG recondenser. Uap boil-off yang dihasilkan selama operasi normal juga dialirkan ke recondenser dan dicampurkan dengan LNG subdingin untuk dikondensasikan. Hal ini dapat menghindarkan pembakaran atau pengeluaran uap ke atmosfer. *Recondenser* tersebut berisi *packed bed* sehingga terdapat area permukaan yang luas untuk kontak cairan dan uap.

#### 6. 2<sup>nd</sup> Stage LNG pump

Gas yang dikirimkan umumnya diinjeksikan pada sistem distribusi gas dengan tekanan tinggi yaitu sekitar 7.3 MPa. Untuk mencapai tekanan ini, dibutuhkan pompa pengiriman dengan *head* tinggi beberapa tingkat. Pompa-pompa tersebut mengambil LNG dari *recondenser* dan mengalirkannya ke penguap (*vaporizer*) pada tekanan yang sesuai pada pipa.

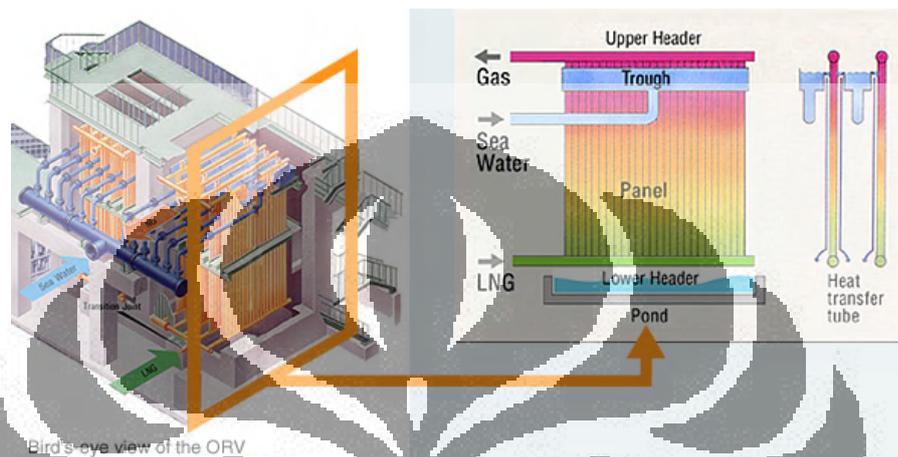
#### 7. Vaporizer

##### Open Rack Vaporizer (ORV)

Pada ORV, sumber panas yang dipergunakan untuk menguapkan LNG cair berasal dari lingkungan sekitar seperti udara atmosfer, air laut atau air geothermal. Gambar 2.8 memperlihatkan evaporasi LNG dengan menggunakan air laut lingkungan sekitar sebagai pemanas pada sistem. Open Rack Vaporizer terdiri dari dua header horizontal yang dihubungkan oleh serangkaian tube-tube vertical. LNG masuk ke header bagian bawah dan bergerak ke atas melalui tube-tube vertical. Air

Universitas Indonesia

laut disemprotkan atau dijatuhkan dari atas pada tube-tube vertical. Gas yang teruapkan dikumpulkan dan diambil dari header bagian atas.

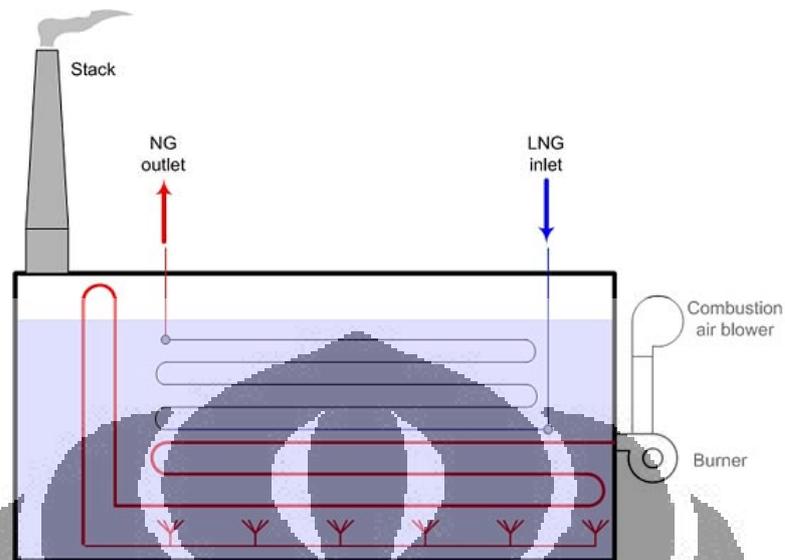


**Gambar 2.8** Proses evaporasi LNG menggunakan Air Laut

Sistem open rack vaporizer memanfaatkan air laut yang dialirkan ke dalam panel-panel aluminium dengan kontak yang tidak langsung dengan LNG bertekanan yang dialirkan dalam tubing sehingga temperatur yang dikandung air laut dapat meningkatkan temperatur LNG (dingin).

#### Submerged Combustion Vaporizer (SCV)

Evaporator sistem submerged combustion vaporizer ini menggunakan water bath sebagai heater yang memanasi LNG cair yang mengalir dalam tubing, sehingga LNG cair (dingin) akan mengalami peningkatan temperatur.



**Gambar 2.9 Proses Submerged Combustion Vaporizer**

Adapun sumber panas dari air tersebut berasal dari pembakaran gas alam yang diperoleh dari hasil regasifikasi terminal tersebut. Lebih kurang 1,5% gas alam yang masuk ke dalam terminal penerima LNG dikonsumsi sebagai bahan bakar pada sistem submerged combustion vaporizer. Sedangkan harga bahan bakar gas alam tersebut sama dengan yang ada pada terminal batas kepemilikan.

#### Shell and Tube Vaporizer (STV):

STV biasanya berukuran lebih kecil dan harganya lebih murah dibandingkan ORV dan SCV. Panas biasanya dipasok ke vaporizer oleh sirkuit tertutup dengan media transfer panas yang cocok. Sirkuit ini terutama digunakan ketika sumber panas yang cocok tersedia. Desain dari tipe vaporizer ini membutuhkan aliran LNG yang stabil.

Rancangan Double Tube Bundle STV menggabungkan tube untuk LNG dan tube untuk *seawater* dalam satu shell, dimana diantara kedua tube tersebut digunakan fluida transfer panas intermediate (misalnya propane, isobutane, freon, amonia).

Sebuah shell kecil dan tube superheater diperlukan untuk memanaskan uap sampai 5 ° C. Desain yang digunakan di US Cove Point menggunakan glycol-water sebagai pengganti air laut sebagai sumber panas. Glycol-water yang telah didinginkan

dipompa, disirkulasi dan dipanaskan oleh turbin gas buang (waste heat recovery) di exchanger lain. Fluida intermediate yang dipakai adalah isobutane.

Dalam perkembangan terbaru dari STV yang menggunakan air laut sebagai medium pemanas, panas langsung dipertukarkan dengan air laut. Serupa dengan kasus yang dibahas untuk unit ORV, STV memiliki pertimbangan tambahan untuk masalah korosi dan erosi dalam exchanger ketika air laut digunakan sebagai medium pemanas. Pertimbangan untuk masalah-masalah lain seperti suhu air laut yang harus lebih rendah ketika dikembalikan ke laut dan kandungan hipo-klorit dalam air laut yang dikembalikan identik dengan sistem untuk ORV. Penurunan aliran air laut dalam exchanger akan dibatasi mengingat ada kemungkinan terjadinya fenomena *icing* ketika laju alir air laut berkurang di heat exchanger.

#### Combined Heat and Power unit with Submerged Combustion Vaporizer (CHP-SCV):

Untuk mengurangi *auto-consumption* gas dari SCV, dan juga untuk meningkatkan efisiensi dan keekonomisan dari keseluruhan proses regasifikasi, receiving terminal dapat dimodifikasi untuk menggunakan konsep yang menawarkan penghematan energi dan menguntungkan dari sisi lingkungan. Hal ini telah diimplementasikan di Zeebrugge LNG Terminal Cogeneration Project. Inti dari fasilitas CHP adalah gas turbin tipe LM6000 yang dapat menghasilkan 40 MW energi listrik. Gas buang panas yang berasal dari turbin dilewatkan ke *heat recovery tower* dan mentransfer panas yang terdapat di dalamnya untuk meningkatkan suhu dari sirkuit air panas yang tertutup. Air panas ini nantinya akan disirkulasikan dan diinjeksi di *water bath* pada vaporizer untuk meregasifikasi LNG.

Setelah vaporizer dimodifikasi, vaporizer menjadi “hybrid”, yang mana sekarang bisa dioperasikan dalam 3 mode. Pertama, dioperasikan menggunakan submerged combustion yang mana mode ini merupakan desain awal/original; kedua, menggunakan sirkuit tertutup air hangat dari CHP plant, dimana submerged burner dimatikan; dan ketiga, dengan menggunakan kedua mode di atas sekaligus. Pilihan yang ketiga ini memiliki efisiensi energi yang tinggi. Walaupun demikian, pilihan ketiga ini memiliki beberapa kekurangan:

**Universitas Indonesia**

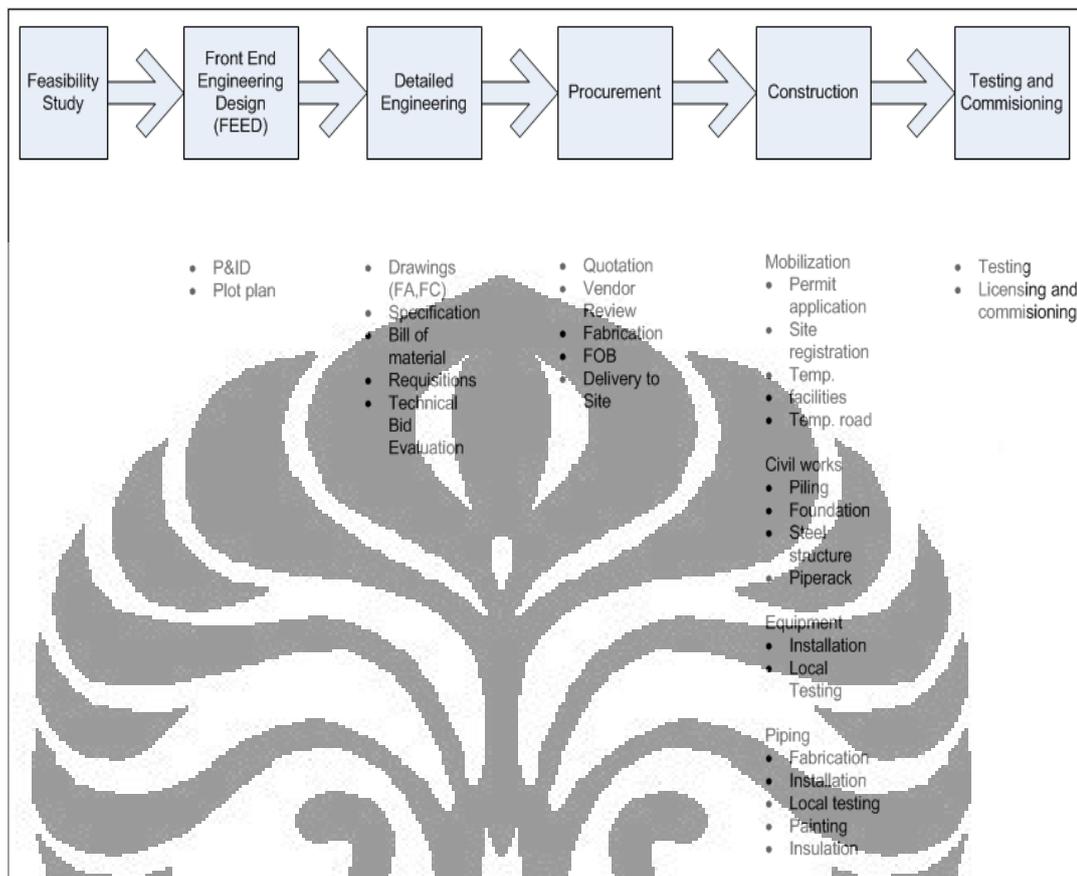
- Akan mengurangi efisiensi power plant
- Sistem CHP akan membutuhkan penghematan 100% dengan SCV untuk memastikan ketika terjadi kondisi dimana power plant tidak beroperasi, kemampuan untuk mengirim gas tidak melemah.

#### Ambient Air-Heated Vaporizer:

Vaporizer ini memanfaatkan udara lingkungan, baik yang alirannya natural ataupun aliran yang sudah memiliki gaya, untuk menguapkan LNG. Vaporizer seperti ini digunakan untuk kondisi dimana iklimnya hangat dan terdapat lahan cukup lapang yang tersedia. Vaporizer ini diproduksi oleh produsen *air cooler* konvensional dan telah digunakan di India's Petronet LNG Terminal di Dahej, yang mana *air cooler* diproduksi oleh GEI Hamon Industries.

#### **2.5 Tahapan Pembangunan Pabrik [6]**

Dalam pembangunan suatu pabrik, ada beberapa proses atau tahapan yang harus dilalui sebelum pabrik tersebut dapat dikonstruksi dan beroperasi secara optimal. Tahapan-tahapan tersebut penting dilakukan untuk mengurangi tingkat resiko dan memperoleh akurasi yang lebih tinggi baik itu dari segi rancangan keseluruhan pabrik maupun biaya yang harus dikeluarkan. Alur tahapan pembangunan dari suatu pabrik dapat dilihat pada Gambar 2.10. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa secara umum tahapan pembangunan suatu pabrik terdiri dari tahap studi kelayakan (*feasibility study*), *front end engineering design*, detailed engineering, procurement, construction, serta testing and commissioning. Untuk pelaksanaan tahapan-tahapan ini umumnya melibatkan dua pihak yaitu pihak pemilik (*owner*) yang akan melakukan proses *feasibility study* dan pihak EPC yang akan melakukan proses engineering, procurement, construction, testing, dan commissioning. Perusahaan EPC adalah suatu perusahaan yang bertanggung jawab dalam hal desain dari sebuah pabrik untuk selanjutnya dilakukan proses pembangunan. Setelah proses pembangunan pabrik selesai, pihak EPC kemudian menyerahkan pabrik tersebut kepada *owner* untuk dioperasikan



Gambar 2.10 Alur tahapan pembangunan suatu pabrik

### 2.5.1 Feasibility study

Tujuan *feasibility study* adalah untuk menentukan apakah suatu proyek layak untuk dikerjakan, baik ditinjau dari segi teknis proses maupun keekonomiannya. Dalam tahapan *feasibility study*, beberapa alternatif yang mungkin dilaksanakan akan dikaji lebih lanjut antara lain dengan proses simulasi sehingga diperoleh alternatif terbaik dari segi teknis. Studi teknis yang dilakukan umumnya berkaitan dengan kelayakan proses, kondisi operasi, dan spesifikasi produk yang diinginkan. Setelah melalui kelayakan teknis, maka selanjutnya akan dianalisa pula kelayakan dari segi ekonomi sehingga memberikan informasi keuntungan proyek tersebut, lamanya pengembalian modal, analisa sensitivitas, dan lain sebagainya. Alternatif yang paling

memenuhi kriteria teknis dan ekonomi inilah yang akan dikembangkan lebih lanjut melalui proses pembangunan.

### **2.5.2 Front end engineering design**

Tahapan desain tingkat lanjut (*front end engineering design*) merupakan tahapan yang sangat penting untuk keberhasilan proyek konstruksi suatu pabrik. Hasil rancangan pada tahap ini akan menjadi dasar bagi pelaksanaan tahap selanjutnya. Pada tahapan ini, suatu proyek akan dirancang lebih lanjut sesuai kondisi proses operasi yang dibutuhkan. Untuk mencapai hal tersebut, peralatan-peralatan yang dibutuhkan untuk mendukung proses ini diatur lebih lanjut sehingga memenuhi aspek reliabilitas, efisiensi, dan keselamatan (*safety*) yang diinginkan. Hasil dari tahapan ini yaitu dokumentasi teknis berupa *piping and instrumentation diagram* (P&ID) dan rancangan tata letak peralatan pabrik (*plot plan*).

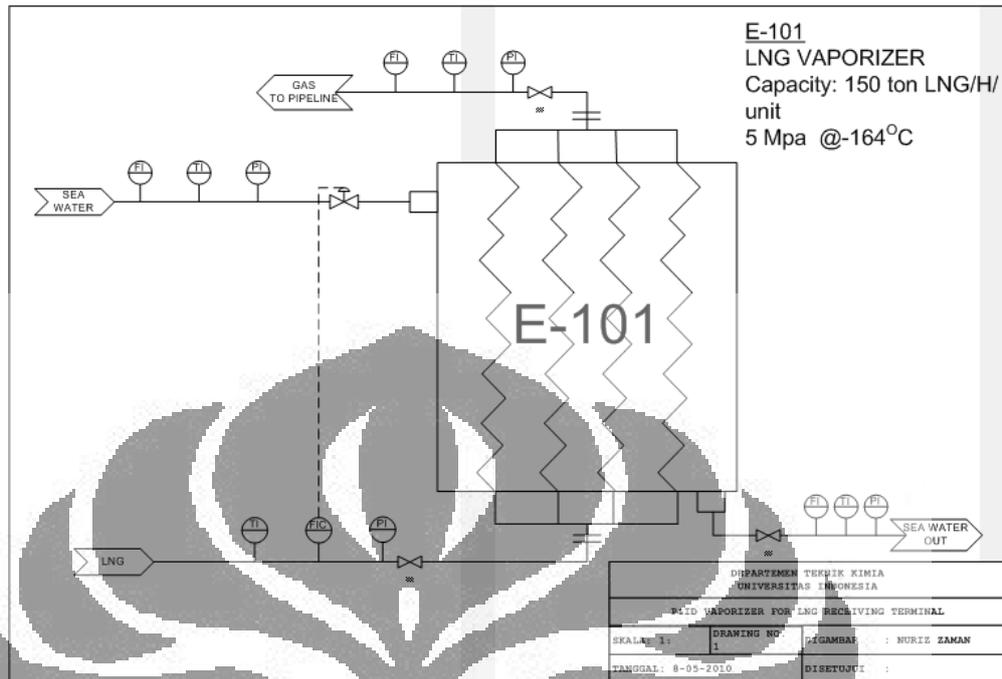
#### **2.5.2.1 Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)**

P&ID adalah suatu Gambar detail dari sistem pabrik yang menunjukkan diagram aliran proses, perpipaan dan komponen pipa, serta instrumentasi. P&ID merupakan dokumen dasar teknis (*basic engineering document*) dan dibuat berdasarkan diagram alir proses (PFD). P&ID terkadang juga disebut *mechanical flow diagram* (MFD) atau juga *engineering flow diagram* (EFD). Pada Gambar 2.11 di bawah dapat dilihat contoh dari P&ID.

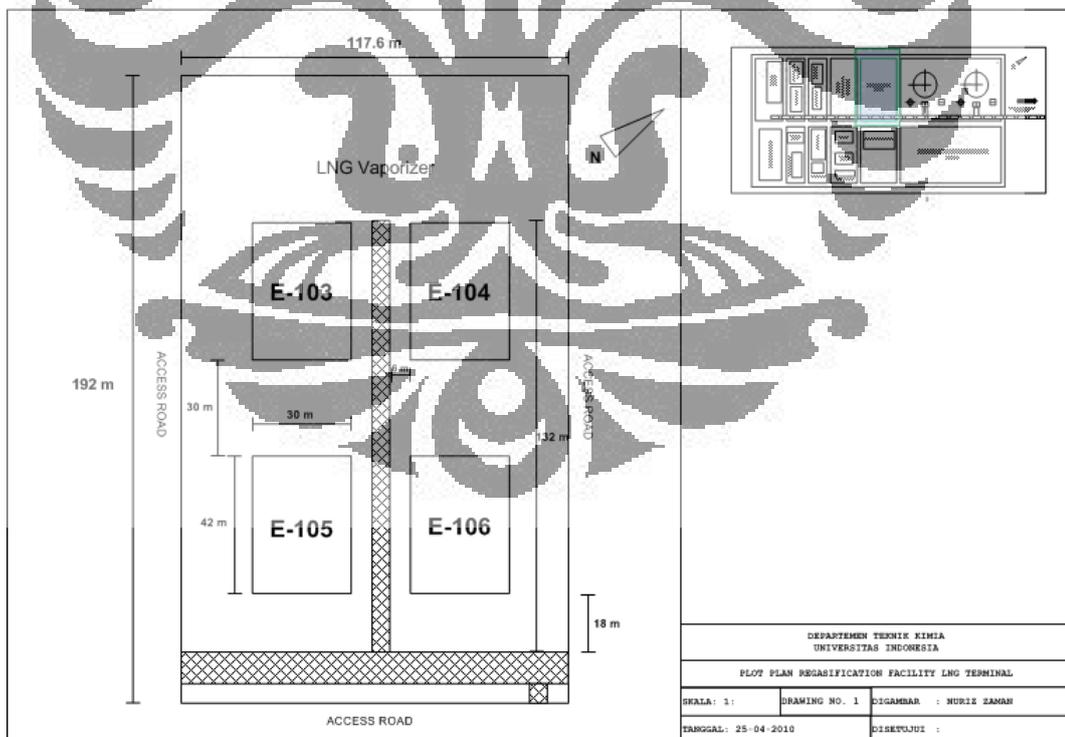
#### **2.5.2.2 Penggambaran Plot Plan**

Penggambaran *plot plan* atau tata letak peralatan pabrik adalah suatu sistem penggambaran dari tampak atas. Persyaratan umum dalam menentukan *plot plan* ini yaitu memungkinkan pengoperasian, mudah untuk pengamanan kebakaran, mudah untuk perbaikan, mudah untuk pengontrolan dan aman. Perencanaan dan penggambaran *plot plan* ini merupakan hal yang penting pada sistem perencanaan perpipaan karena jalur-jalur perencanaan perpipaan akan berpedoman dari gambar ini pada daerah proses. Pada Gambar 2.12 di bawah dapat dilihat contoh dari *plot plan*.

Universitas Indonesia



Gambar 2.11 Contoh P&ID



Gambar 2.12 Contoh plot plan

### A. Prinsip Pembuatan *Plot Plan*

Ada beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam proses pembuatan *plot plan*. Hal-hal tersebut antara lain :

1. Proses yang digunakan dalam pabrik
2. Jenis peralatan yang digunakan
3. Arah aliran proses
4. Luas area yang digunakan
5. Cara pemasangan peralatan dengan ruang gerak
6. Jarak di antara peralatan yang efektif
7. Pemasangan peralatan pembantu proses
8. Perencanaan secara umum jalur-jalur perpipaan beserta perlengkapannya
9. Perencanaan pembuangan limbah pabrik

### B. Tipe-Tipe *Plot plan*

Dalam hal penataan peralatan, *plot plan* untuk unit proses dapat dibagi menjadi dua konfigurasi yaitu tipe *grade-mounted horizontal inline* dan tipe *structure mounted vertical*. Tipe *grade-mounted horizontal inline* kebanyakan dijumpai pada fasilitas di pengilangan sedangkan tipe *structure mounted vertical* banyak ditemukan di berbagai pabrik kimia.

#### a. Tipe *grade-mounted horizontal inline*

Tipe ini biasanya diaplikasikan pada area berbentuk segiempat dengan peralatan ditempatkan pada kedua sisi pipe rack yang terletak di bagian tengah area. Keuntungan dari penggunaan tipe ini yaitu peralatan-peralatan ditempatkan pada level yang sama sehingga lebih mudah untuk dikonstruksi dan lebih mudah diakses untuk kepentingan pemeliharaan dan pengoperasian. Sedangkan kelemahan dari tipe ini yaitu dibutuhkan area yang cukup luas dan mengakibatkan jalur yang panjang untuk kabel dan sistem perpipaan.

b. Tipe *structure mounted vertical*

Pada tipe ini, peralatan-peralatan ditempatkan pada struktur bertingkat. Kelebihan dari tipe penyusunan seperti ini yaitu dapat mengatasi ketersediaan area pabrik yang terbatas. Namun kelemahannya yaitu terletak pada akses untuk kepentingan operator dan pemeliharaan. Selain itu, pelaksanaan konstruksi akan menjadi lebih sulit.

### C. Penempatan Peralatan

Lokasi peralatan ditentukan dengan mempertimbangkan sejumlah hal seperti :

1. Pertimbangan jarak.

Jarak yang harus dipertimbangkan antara lain jarak untuk tiap peralatan, jalan akses di sekitar peralatan, dan pengaturan ketinggian untuk akses operator dan maintenance (elevation clearances)

2. Economic Piping

Sistem perpipaan pada dasarnya bertujuan untuk menghubungkan antar peralatan. Untuk meminimalisasi biaya, maka peralatan harus ditempatkan sesuai rangkaian proses dan sedekat mungkin antar satu sama lain namun tetap dengan memperhatikan aspek keselamatan, jarak untuk jalan akses, dan fleksibilitas pipa.

3. Proses yang digunakan

Peralatan harus diletakkan pada posisi tertentu untuk mendukung operasi proses pabrik seperti pertimbangan penurunan tekanan dan pemanfaatan gaya gravitasi.

4. Common operation

Peralatan yang membutuhkan perhatian operator secara kontinyu atau memiliki utilitas dan fasilitas maintenance yang sama akan lebih efektif bila ditempatkan di area yang sama.

5. Ketersediaan area

Ketersediaan area untuk pembangunan pabrik harus diperhatikan terlebih untuk penyusunan secara horizontal (grade-mounted horizontal inline)

6. Ukuran Peralatan

7. Underground facilities

Yang termasuk *underground facilities* yaitu antara lain pondasi peralatan dan *underground piping*.

## 8. Kondisi Iklim

Kondisi iklim dapat mempengaruhi tata letak peralatan. Pada iklim dingin yang cukup ekstrem, peralatan harus terlindungi dalam suatu ruangan. Selain itu, pengaruh angin juga harus dipertimbangkan terutama untuk penempatan peralatan seperti *furnace*, kompresor, *cooling tower*, dan *stack*. *Furnace* ataupun peralatan yang dapat memicu api harus ditempatkan sedemikian rupa terhadap tiupan angin sehingga tidak memicu uap yang mudah terbakar.

### 2.5.3 Tahap *Procurement*

Pada tahap *procurement*, hal penting yang harus diperhatikan yaitu apakah supplier atau subcontractor dapat memenuhi kebutuhan akan peralatan sesuai spesifikasi yang diinginkan secara tepat waktu dan menawarkan biaya yang proporsional sesuai kemampuan *owner*. Untuk itu maka sebelum dilakukan pembelian peralatan, hal yang harus dilakukan yaitu menseleksi vendor yang dapat memenuhi kriteria yang disyaratkan.

Dalam pemilihan vendor, ada beberapa proses yang dilakukan yaitu:

#### 1. Membuat daftar vendor (*bidder's list*)

Daftar supplier dan subkontraktor akan dipersiapkan untuk mengidentifikasi kemampuan khusus mereka, batasan volum yang mampu dipenuhi, dan area geografis kerja mereka. Faktor-faktor yang akan dipertimbangkan dalam mengembangkan daftar vendor yaitu :

- Pengalaman kerja dengan vendor tersebut
- Referensi yang diterima mengenai vendor tersebut
- Data financial mengenai perusahaan supplier atau subkontraktor
- Hasil dari survey teknis, kualitas, dan komersial yang dilakukan

#### 2. Meminta proposal dari *supplier* dan subkontraktor

Proposal ini berisikan spesifikasi teknis peralatan, biaya, dan jadwal yang dibutuhkan oleh supplier atau subkontraktor untuk pengiriman peralatan dan pemasangan.

### 3. Evaluasi, negosiasi, dan pemilihan

Evaluasi serta negosiasi teknis dan komersial akan dilakukan sebelum akhirnya pemilihan akhir vendor atau subkontraktor. Dari proposal yang diterima sebelumnya, akan dilakukan peninjauan secara lengkap dari aspek teknis, manajemen, harga atau biaya, dan komersial. Sebagai hasil dari peninjauan ini, maka akan dilakukan negosiasi sesuai kebutuhan. Setelah negosiasi selesai, maka akan diputuskan vendor atau subkontraktor mana yang memiliki penawaran terbaik sesuai kriteria perusahaan.

Setelah pemilihan vendor, maka perusahaan EPC menandatangani kontrak tertulis dengan vendor. Selain itu perusahaan EPC juga melakukan pengontrolan kualitas dari peralatan yang disupply dari vendor. Perusahaan EPC juga dapat meminta literatur dan informasi teknis peralatan dari vendor.

#### 2.5.4 Tahap Konstruksi

Sebelum pelaksanaan konstruksi, pihak EPC melakukan persiapan melalui proses prakonstruksi. Hal-hal yang dilakukan pada proses prakonstruksi antara lain yaitu :

1. Melakukan persiapan area dan membangun fasilitas-fasilitas yang dibutuhkan untuk kepentingan konstruksi.
2. Melakukan analisa dan peninjauan ulang untuk mengevaluasi metode urutan konstruksi sehingga dapat menghemat waktu instalasi.
3. Memeriksa kembali Gambar dan spesifikasi untuk memastikan konstruksi yang harus dilakukan
4. Menyiapkan susunan rinci pekerjaan atau WBS (work breakdown structure)
5. Membuat dan menetapkan peraturan kerja untuk pelaksanaan konstruksi
6. Membuat pedoman mengenai prosedur yang berkaitan dengan keselamatan kerja.

Setelah proses persiapan di atas, proses selanjutnya yaitu pelaksanaan konstruksi. Proses konstruksi ini antara lain meliputi pembuatan pondasi peralatan, instalasi peralatan, instalasi sistem perpipaan, pemasangan insulasi, dan lain

sebagainya. Pelaksanaan konstruksi ini dilakukan berdasarkan rancangan Gambar yang telah dibuat pada tahap engineering.

### **2.5.5 Tahap *Testing* dan *Commissioning***

Selain tahapan-tahapan di atas, perusahaan EPC pada umumnya juga bertanggung jawab melakukan *commissioning* sebelum menyerahkan pabrik ke *owner*. Pada tahap testing dan *commissioning*, pihak EPC melakukan pemeriksaan akhir terhadap semua fasilitas dan sistem untuk memastikan bahwa semua persyaratan kontrak telah terpenuhi. Selanjutnya, pihak EPC juga bertanggung jawab untuk melakukan *commissioning* yaitu membuat peralatan dan sistem bekerja pada suatu level operasi selama periode tertentu sebelum akhirnya diserahkan ke *owner*. Pada saat penyerahan pabrik, pihak EPC juga menyerahkan semua arsip proyek, manual, dokumentasi Gambar, dokumen perizinan, garansi, dan dokumen lain yang diminta pihak *owner*.

### **2.6 Model Tiga Dimensi**

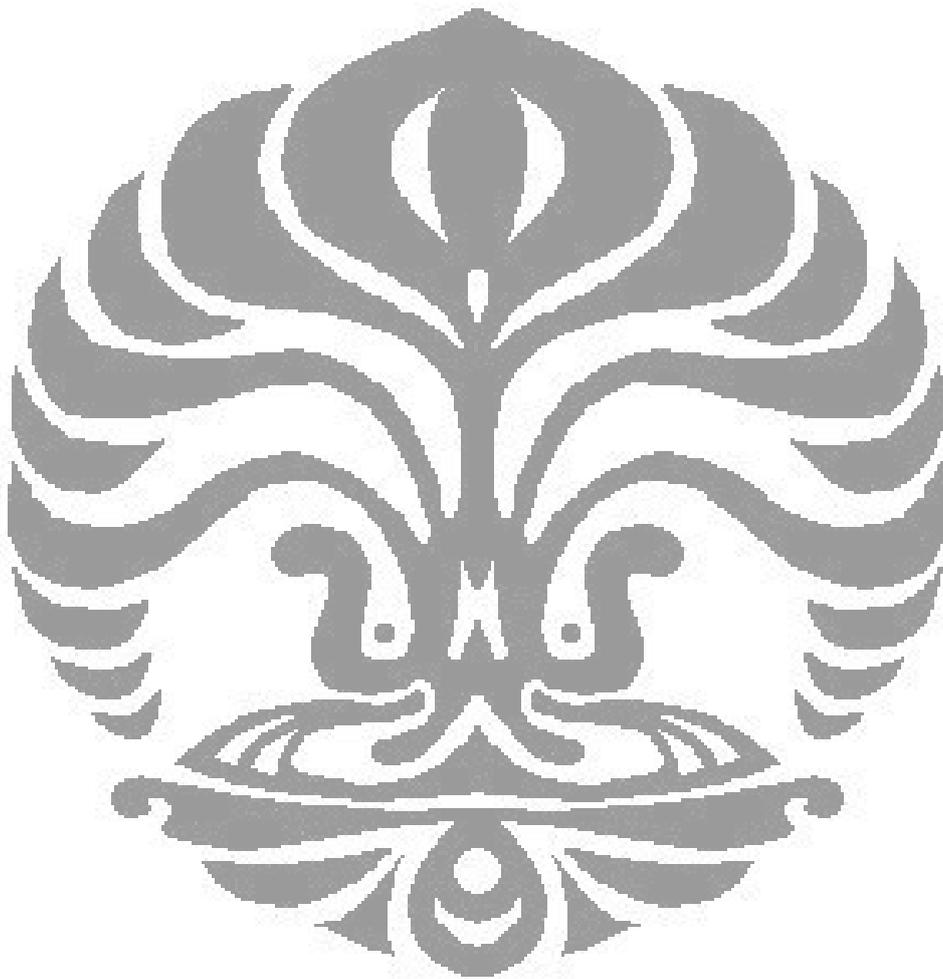
Pembuatan model pabrik tiga dimensi umumnya dilakukan setelah penggambaran pabrik secara dua dimensi baik melalui Gambar P&ID maupun plot *plan*. Rancangan dua dimensi ini lalu divisualisasikan menyertipai bentuk sesungguhnya dengan model tiga dimensi.

Penggambaran model pabrik secara tiga dimensi dilakukan oleh perusahaan EPC untuk berbagai kepentingan baik itu untuk kepentingan internal dalam pengerjaan suatu proyek maupun untuk kepentingan presentasi kepada klien.

Penggambaran secara tiga dimensi memiliki beberapa keuntungan sehingga menjadi pilihan bagi perusahaan EPC untuk memvisualisasikan rancangan pabrik secara lengkap sebelum tahapan konstruksi. Dalam pembangunan suatu pabrik yang melibatkan begitu banyak anggota tim yang multidisiplin, penggambaran secara dua dimensi kerap kali menimbulkan perbedaan persepsi. Adanya perbedaan persepsi ini menyebabkan perlunya tambahan waktu untuk menyamakan persepsi para anggota tim yang terlibat. Dengan penggunaan model tiga dimensi, penggunaan waktu dapat

**Universitas Indonesia**

lebih efektif dan resiko kerugian akibat kesalahan konstruksi dapat diminimalisasi. Penggambaran tiga dimensi juga memberi keuntungan terhadap klien karena klien dapat melihat rancangan pabrik dari berbagai sudut dan bagian serta dapat menilai rancangan tersebut secara cepat.



## BAB III

### METODE PERANCANGAN

Untuk dapat menghasilkan rancangan model tiga dimensi *BOG Compressor & Regasification Facility* Terminal penerimaan LNG di Jawa Timur, maka perlu dilakukan beberapa tahapan proses yang disusun dalam suatu metode perancangan. Tahapan tersebut antara lain pengumpulan data teknis, penentuan tipe plot plan, penentuan tata letak peralatan, pengaturan jalan akses di sekitar perataan, dan perancangan sistem perpipaannya. Semua data dan hasil rancangan per bagian ini akan digunakan dalam tahap pembuatan model tiga dimensi *BOG Compressor & Regasification Facility* Terminal LNG secara keseluruhan. Uraian tahapan-tahapan metode perancangan akan dijelaskan pada subbab di bawah ini.

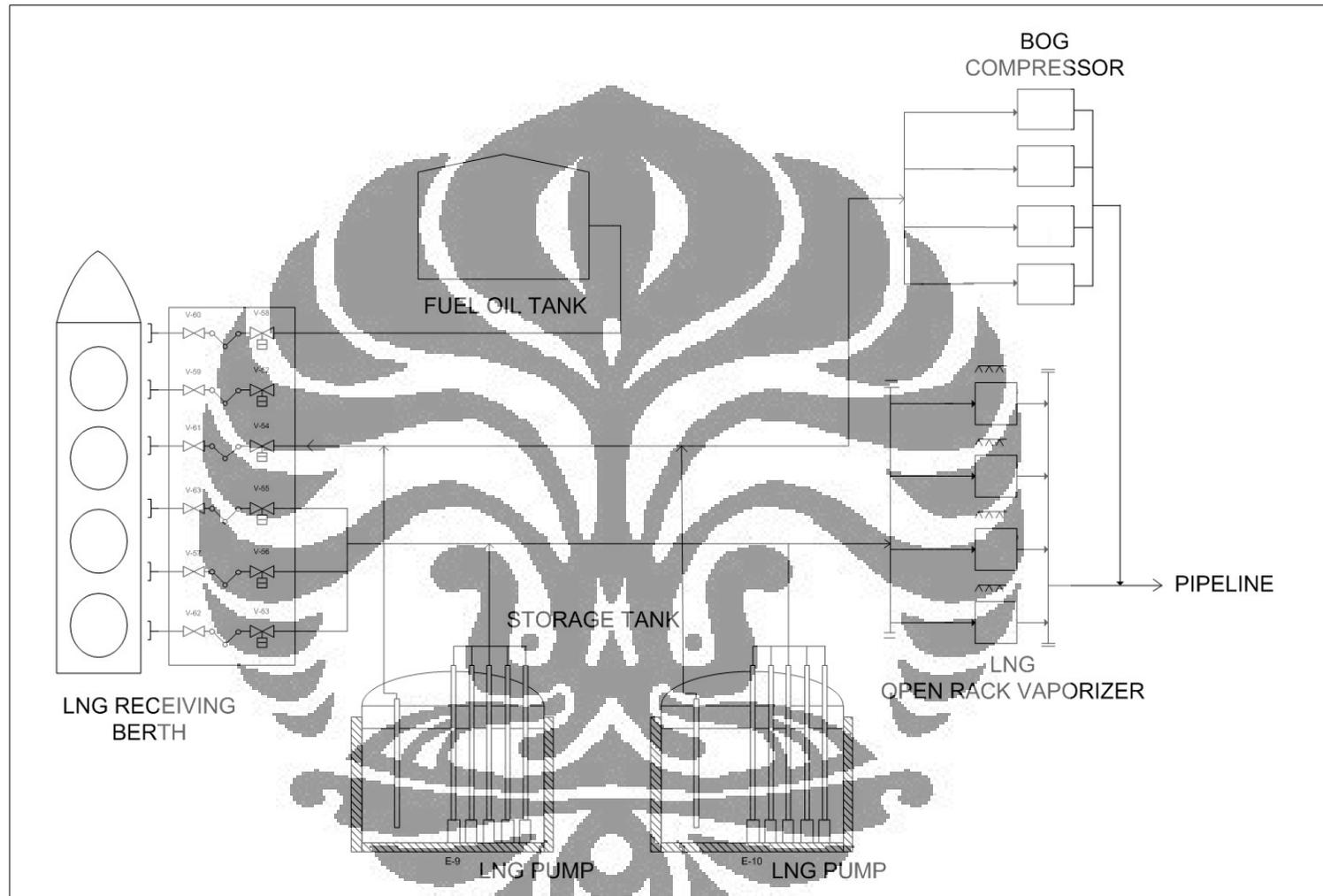
#### 3.1 Pengumpulan Data Teknis

Dalam perancangan ini, dibutuhkan data input proyek berupa data teknis yang berupa:

1. Diagram aliran proses (*Process Flow Diagram*) yang terdapat pada terminal LNG.

Proses yang digunakan pada perancangan terminal ini adalah tanpa menggunakan rekondenser *boil off gas*, sehingga memerlukan *single stage pump* dengan tekanan tinggi yang selanjutnya akan divaporisasi dan didistribusikan bersama *boil off gas* yang di kompresi dengan BOG kompressor.

Proses dimulai dari unloading LNG di fasilitas *jetty*, kemudian dialirkan menuju *storage tank* dengan menggunakan *unloading line* yang diinsulasi. Dari *storage tank*, dipompa hingga mencapai tekanan tinggi, untuk selanjutnya diuapkan menggunakan *vaporizer*. Pada perancangan ini *vaporizer* yang digunakan adalah jenis *Open Rack Vaporizer*. Sedangkan untuk vapor handling system, digunakan *BOG compressor* yang mengkompresi BOG yang terbentuk, sampai tekanan yang sama pada keluaran dari *vaporizer* kemudian bersama akan ditransmisikan ke jaringan perpipaan. Untuk ilustrasi diagram aliran proses dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah.



Gambar 3.1 Diagram alir proses pada perancangan terminal LNG

2. Daftar peralatan yang digunakan

Pada dasarnya peralatan utama pada perancangan fasilitas regasifikasi dan BOG compressor ini secara tipikal sama dengan terminal LNG yang sudah ada sebelumnya. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah beserta dengan jumlah masing-masing peralatan.

**Tabel 3.1 Daftar peralatan fasilitas regasifikasi dan BOG compressor**

No.	Equipment	Jumlah
1	LNG Vaporizer	4 (1 standby)
2	Sea Water Pump	4 (1 standby)
3	BOG Compressor (unloading)	4 (1 standby)
4	BOG Compressor (normal)	1

3. Lokasi dan luas area yang digunakan untuk pembangunan Terminal LNG di Jawa Timur

Pada perancangan terminal ini, lokasi yang ditentukan berada di Tanjung Pecinan, Situbondo dengan luas area 300.000 m<sup>2</sup>. Kondisi geografi menunjukkan bahwa daerah ini merupakan dataran rendah dengan ketinggian 0-3 meter, dan dapat dikatakan *flat-ground belt*. Kedalaman laut dari garis pantai juga bertambah secara radikal, dan dermaga akan dibangun kurang-lebih 100 meter dari garis pantai.

Kelebihan dari lahan ini adalah luas area yang memadai serta ketersediaannya perpipaan bawah laut yang dapat dihubungkan dari terminal yang akan dibangun. Lahan ini juga pernah dikembangkan sebagai lokasi pabrik refinery, namun dihentikan karena terjadinya krisis ekonomi pada tahun 1998, sehingga dapat dikatakan merupakan daerah yang tepat untuk terminal. Selain itu, mudahnya akses material konstruksi dan tenaga kerja, serta ketersediaan utilitas dan infrastruktur juga merupakan alasan pemilihan area terminal di daerah ini.

4. Ukuran peralatan yang digunakan dalam proses.

Data ini diperlukan untuk mengetahui seberapa luas lahan yang digunakan oleh setiap peralatan sehingga tata letaknya dapat disesuaikan menurut lahan pabrik yang tersedia. Untuk ukuran peralatan yang digunakan dalam proses, akan dibahas pada BAB IV mengenai hasil perancangan dimensi peralatan.

### 3.2 Penggambaran *Draft* Tata Letak Peralatan dan Plot Plan 2 Dimensi

Dalam perancangan ini, untuk menentukan tata letak peralatan, harus dilakukan dengan mempertimbangan hal-hal berikut [2]:

1. Pertimbangan jarak.

Jarak yang harus dipertimbangkan antara lain jarak untuk tiap peralatan, jalan akses di sekitar peralatan, dan pengaturan ketinggian untuk akses operator dan maintenance (elevation clearances)

2. Economic Piping

Sistem perpipaan pada dasarnya bertujuan untuk menghubungkan antar peralatan. Untuk meminimalisasi biaya, maka peralatan harus ditempatkan sesuai rangkaian proses dan sedekat mungkin antar satu sama lain namun tetap dengan memperhatikan aspek keselamatan, jarak untuk jalan akses, dan fleksibilitas pipa.

3. Proses yang digunakan

Peralatan harus diletakkan pada posisi tertentu untuk mendukung operasi proses pabrik seperti pertimbangan penurunan tekanan dan pemanfaatan gaya gravitasi.

4. *Common operation*

Peralatan yang membutuhkan perhatian operator secara kontinu atau memiliki utilitas dan fasilitas maintenance yang sama akan lebih efektif bila ditempatkan di area yang sama.

5. Ketersediaan area

Ketersediaan area untuk pembangunan pabrik harus diperhatikan terlebih untuk penyusunan secara horizontal (grade-mounted horizontal inline).

6. Ukuran Peralatan

7. Kondisi Iklim

Kondisi iklim dapat mempengaruhi tata letak peralatan. Pada iklim dingin yang cukup ekstrem, peralatan harus terlindungi dalam suatu ruangan. Selain itu, pengaruh angin juga harus dipertimbangkan terutama untuk penempatan peralatan seperti *furnace*, kompresor, *cooling tower*, dan *stack*. *Furnace* ataupun peralatan yang dapat memicu api harus ditempatkan sedemikian rupa terhadap tiupan angin sehingga tidak memicu uap yang mudah terbakar.

Dengan menggunakan pertimbangan-pertimbangan tentang tata letak peralatan di atas, terutama dalam hal ukuran peralatan, dan ketersediaan lahan serta jarak aman

yang dibutuhkan, maka selanjutnya dapat dibuat penggambaran plot plant dalam dua dimensi. Hasil perancangan dalam plot plan dua dimensi dapat dilihat pada BAB IV mengenai tata letak peralatan.

### 3.3 Penggambaran Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

Penggambaran P&ID dilakukan berdasarkan diagram aliran proses yang telah dilakukan pada tahap feasibility study. Pada penggambaran P&ID ini akan digunakan standar sistem perpipaan dan instrumentasi yang umum digunakan pada proses-proses pengolahan minyak dan gas bumi.

### 3.4 Perancangan Sistem Perpipaan

Dalam perancangan sistem perpipaan ada beberapa hal yang harus diperhatikan, yaitu material pipa, kegunaan jalur pipa tersebut, ukuran pipa, analisa *piping stress*, dan tipe penyangga.

### 3.5 Pembuatan Model Pabrik Tiga Dimensi

Pembuatan model 3D akan dilakukan dengan *software* penggambaran tiga dimensi. Model ini melingkupi gambar peralatan dan jarak-jarak hasil perhitungan beserta sistem perpipaan di sekitar sehingga akan menyerupai kondisi nyata pabrik.

### 3.6 *Bill of Material*

Pada perancangan ini, *Bill of material* berisi daftar dan deskripsi dari peralatan dan komponen-komponen lainnya yang dibutuhkan untuk proses konstruksi pabrik, terutama pada fasilitas regasifikasi dan BOG compressor. Asumsi yang digunakan dalam pembelian peralatan utama diperoleh dari informasi vendor untuk beberapa peralatan.

## BAB IV

### PERANCANGAN

Pada pembahasan di BAB IV ini, akan menjelaskan tentang hasil perancangan model pabrik tiga dimensi terminal LNG, terutama mengenai fasilitas regasifikasi dan BOG *compressor* secara lebih detail, beserta analisa hasil perancangan, yang meliputi filosofi desain peralatan, pengumpulan data teknis, penggambaran plot plan, perancangan sistem perpipaan, pembuatan P&ID, penggambaran model pabrik 3 dimensi dan *bill of material*.

#### 4.1 Filosofi Desain Peralatan

Dalam mendesain suatu perancangan pabrik, dibutuhkan filosofi dan desain basis yang ditetapkan terlebih dahulu. Penjelasan mengenai filosofi desain dan profil peralatan akan dijelaskan dalam pembahasan pada subbab-subbab yang terdapat dalam bab ini. Pada perancangan ini, telah ditentukan akan mendesain suatu LNG *Receiving terminal* yang berada di daerah Jawa Timur dengan kapasitas dan produk yang dihasilkan sesuai permintaan kebutuhan di daerah tersebut.

##### 4.1.1 Deskripsi Proses Filosofi Keseluruhan pada LNG-RT

Sebelum masuk mengenai peralatan, maka akan dibahas terlebih dahulu mengenai proses keseluruhan yang terjadi. Proses penerimaan LNG, berasal dari kapal tangker dengan kapasitas sekitar 240.000 m<sup>3</sup> muatan LNG. Kemudian diterima pada area pelabuhan dengan peralatan khusus yang menangani LNG. Kemudian *LNG unloading arm* berukuran 16 inch sebanyak tiga buah, akan beroperasi untuk mentransfer LNG dari tangker menuju *unloading line* yang akan penetrasi ke dalam dua buah tangki penyimpanan LNG dengan kapasitas masing-masing sekitar 120.000 m<sup>3</sup>. Sedangkan *vapor return arm* akan berfungsi untuk menjaga kestabilan tekanan pada kargo di kapal, dengan menggunakan *Boil off gas* yang terbentuk saat transfer LNG dilakukan.

Setelah proses *loading-unloading* selesai, baik itu transfer LNG maupun bahan bakar kapal, maka selanjutnya adalah pengoperasian kondisi tangki agar tetap dalam keadaan kriogenik yang telah ditentukan tekanannya (1.14 atm) dan temperaturnya (-164°C). Operasi dari dalam tangki sendiri yaitu pemompaan LNG dengan menggunakan jenis *in tank pump*, sebanyak lima buah, dimana empat pompa dengan kapasitas 765 gpm digunakan untuk *sendout system* menuju *vaporizer* untuk proses penguapan, dan satu buah transfer pump dengan kapasitas 2869 gpm, yang merupakan salah satu teknik mencegah terjadinya *rollover* di dalam tangki.

BOG *compressor* digunakan untuk penanganan *boil-off* gas yang terbentuk pada *storage tank*. Pada kondisi operasi normal, digunakan satu unit BOG *compressor* dengan kapasitas 5.9 ton/jam dan daya 1450 KW. Pada kondisi operasi unloading, digunakan empat unit BOG *compressor* (satu diantaranya dalam keadaan *standby*) dengan kapasitas 11 ton/jam dan daya 2700 KW.

Kemudian untuk proses penguapan LNG digunakan empat unit *vaporizer* (satu diantaranya dalam keadaan *standby*). Tipe yang digunakan adalah *Open Rack Vaporizer (ORV)*, dimana air laut digunakan sebagai sumber panas untuk menguapkan LNG cair. Kapasitas masing-masing *vaporizer* adalah 150 ton LNG/jam. Produk akhir berupa gas alam yang akan didistribusikan ke dalam jaringan perpipaan sebesar 484 MMscfd.

#### 4.1.2. Filosofi Desain Peralatan Utama pada LNG-RT

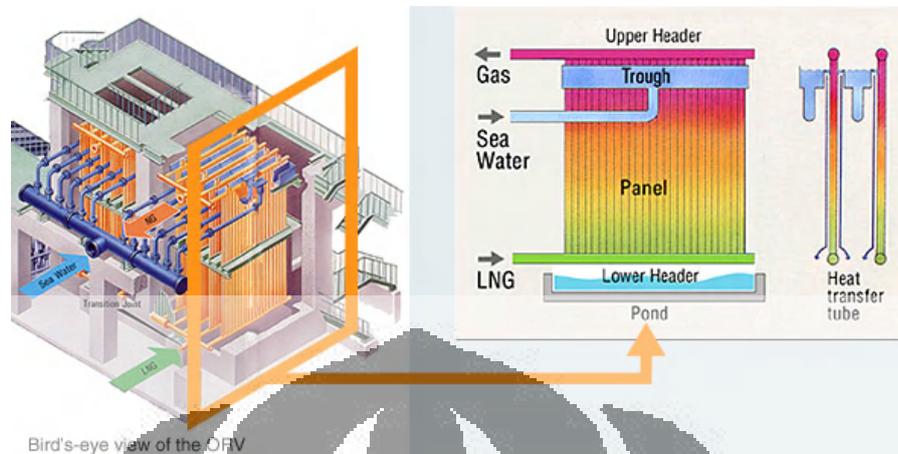
##### 4.1.2.1 BOG *Compressor*

Karena suhu dari LNG yang sangat rendah (-160 C), uap *boil-off* akan terbentuk diakibatkan panas yang masuk dari lingkungan sekitar. Jika hal ini dibiarkan, tekanan dari tangki LNG akan meningkat, dan pada akhirnya BOG akan dibuang ke udara dari *vent stack*. Jumlah produksi normal BOG bisa mencapai ribuan ton tiap harinya, sehingga menyebabkan kerugian ekonomi yang cukup besar jika BOG tersebut semuanya dibuang ke udara. Untuk menghindari hal ini, digunakan BOG *Compressor* untuk bisa mengumpulkan BOG yang terproduksi.

Dalam desain ini digunakan 2 tipe BOG *compressor*, yang mana satu digunakan untuk kondisi operasi normal, dan yang satu lagi digunakan untuk kondisi operasi unloading. Pada kondisi operasi normal, digunakan satu unit BOG *compressor* tipe reciprocating dengan kapasitas 5.9 ton/jam dan daya 1450 KW. Pada kondisi operasi unloading, digunakan empat unit BOG *compressor* tipe reciprocating (satu diantaranya dalam keadaan *standby*) dengan kapasitas 11 ton/jam dan daya 2700 KW. Pada rancangan ini BOG *Compressor* menggunakan driver *steam turbine*. Hal ini dikarenakan driver *steam turbine* digunakan jika daya yang dibutuhkan di atas 100 KW [4]. Jika masih di bawah 100 KW, masih disarankan menggunakan driver *electric motor*. Sebenarnya untuk daya di atas 100 KW terdapat 2 pilihan driver, yaitu menggunakan *steam turbine* atau menggunakan *gas turbine*. Namun driver *gas turbine* memiliki efisiensi yang lebih rendah (sekitar 30-40%), sedangkan *steam turbine* memiliki efisiensi antara 50-80%, sehingga lebih disarankan menggunakan driver *steam turbine*.

#### 4.1.2.2 Vaporizer

Pada perancangan ini, jenis *vaporizer* yang digunakan adalah *open-rack vaporizer* (ORV) sebanyak 4 buah (satu untuk spare). Pada ORV, sumber panas yang dipergunakan untuk menguapkan LNG cair berasal dari lingkungan sekitar seperti udara atmosfer, air laut atau air geothermal. Gambar 4.1 memperlihatkan evaporasi LNG dengan menggunakan air laut lingkungan sekitar sebagai pemanas pada sistem. Open Rack *Vaporizer* terdiri dari dua header horizontal yang dihubungkan oleh serangkaian tube-tube vertical. LNG masuk ke header bagian bawah dan bergerak ke atas melalui tube-tube vertical. Air laut disemprotkan atau dijatuhkan dari atas pada tube-tube vertical. Gas yang teruapkan dikumpulkan dan diambil dari header bagian atas.



**Gambar 4.1** Proses evaporasi LNG menggunakan ORV

Sistem open rack *vaporizer* memanfaatkan air laut yang dialirkan ke dalam panel-panel aluminium dengan kontak yang tidak langsung dengan LNG bertekanan yang dialirkan dalam tubing sehingga temperatur yang dikandung air laut dapat meningkatkan temperatur LNG dari suhu kriogenik ( $-164^{\circ}\text{C}$ ) menjadi  $20^{\circ}\text{C}$ , dimana pada suhu  $20^{\circ}\text{C}$  fasa LNG telah kembali menjadi gas. Perubahan suhu air laut yang dikembalikan ke laut juga dijaga agar tidak melebihi  $8^{\circ}\text{C}$ , karena jika perubahan suhu air laut yang kembali ke laut terlalu besar dikhawatirkan akan bisa merusak ekosistem lingkungan sekitar. Kapasitas masing-masing *vaporizer* adalah 150 ton LNG/jam. Produk akhir berupa gas alam yang akan didistribusikan ke dalam jaringan perpipaan sebesar 484 MMscfd.

#### 4.1.2.3 *Seawater Facility*

LNG *Vaporizer* tipe *open-rack* menggunakan air laut dalam jumlah yang sangat besar. Oleh karena itu, peralatan untuk fasilitas *water intake and discharge* sangat diperlukan dalam membangun LNG *receiving terminal* ini.

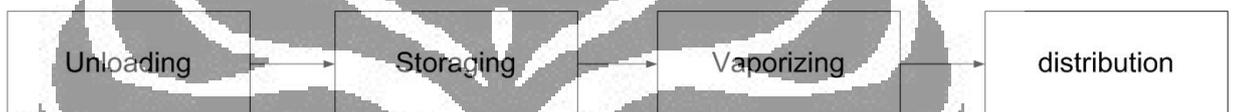
Peralatan *water intake* membuang zat-zat yang ada di dalam air laut, seperti ikan, kerang dan mensterilkan air laut untuk mencegah agar perpipaan air laut yang menuju *vaporizer* tidak tersumbat karena pertumbuhan ganggang, lumut dan hewan laut lainnya. Peralatan-peralatan ini termasuk *seawater pumps*, *water intake pit*, alat

pensteril air laut, *traveling screen* (untuk memfilter air laut), dan *drainage pit* (tempat pembuangan).

*Seawater pump* yang digunakan sebanyak 4 buah (satu untuk spare), dimana masing-masing memiliki kapasitas 6300 m<sup>3</sup>/jam dan membutuhkan daya 770 KW.

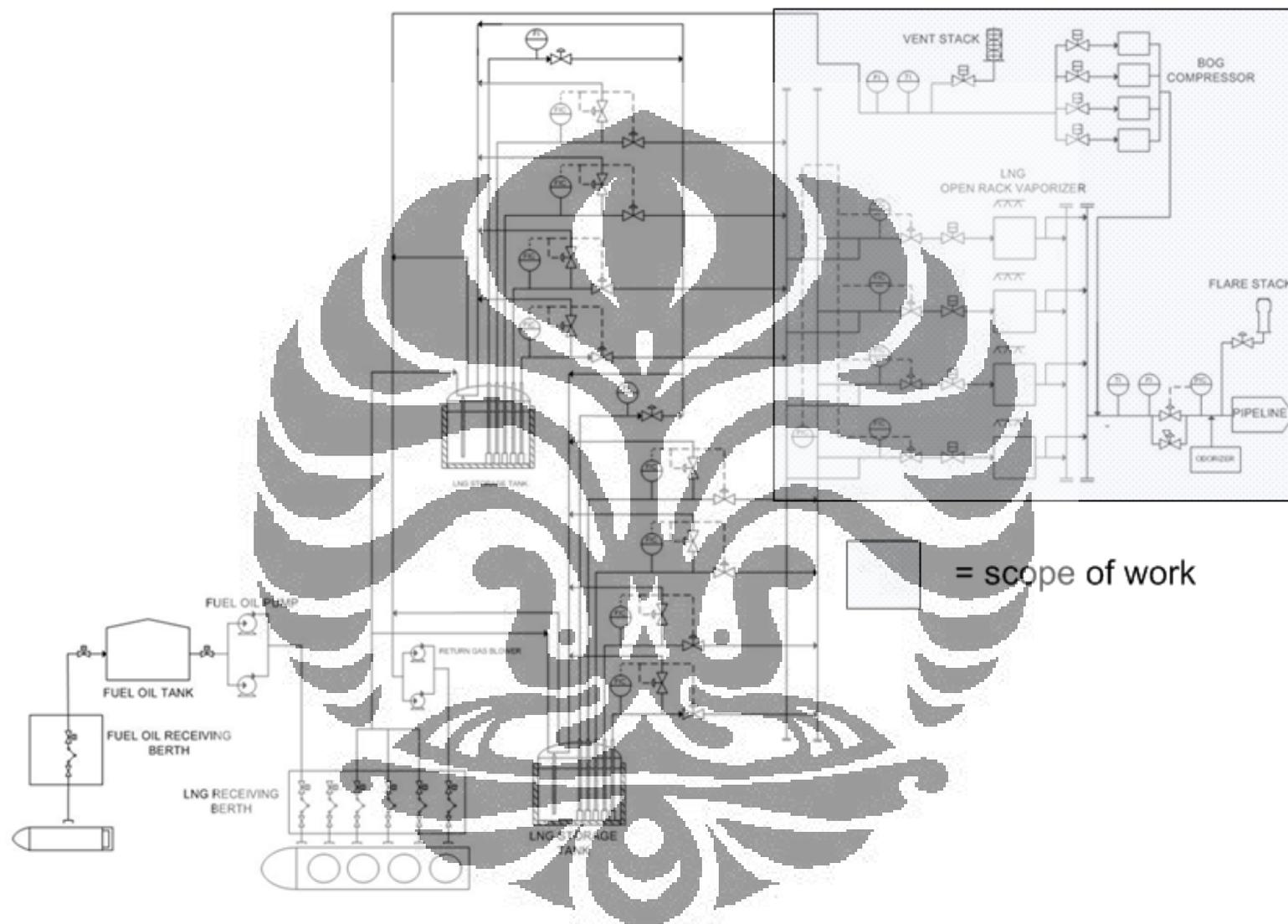
#### 4.1.3 *Process Flow Diagram*

Pada terminal LNG yang akan dibuat, proses pengolahan LNG dimulai dari proses unloading pada fasilitas jetty, dilanjutkan pada proses penyimpanan, yang kemudian akan dialirkan melalui perpipaan untuk selanjutnya di vaporisasi dan didistribusikan ke jaringan perpipaan menuju konsumen.



Gambar 4.2 Skema proses pengolahan LNG pada terminal penerimaan LNG

Pembagian urutan proses menjadi bagian-bagian besar ini akan memudahkan pembuatan sketsa awal pembagian area unit proses pada perancangan plot plan. Proses yang digunakan pada terminal ini menggunakan *HP pump*, untuk memompa LNG langsung menuju *vaporizer*, sedangkan BOG yang terbentuk akan dialirkan menuju kompresor maupun flare. PFD unit utama proses dapat dilihat pada Gambar 4.3 di bawah ini.



Gambar 4.3 PFD pada fasilitas penyimpanan LNG keseluruhan

## 4.2 Pengumpulan Data Teknis

Pengumpulan data teknis ini dimaksudkan untuk mendapatkan data-data mengenai proses yang ada pada terminal LNG, jumlah peralatan dan dimensi peralatan yang nantinya akan mempengaruhi besarnya luas area yang dibutuhkan. Sesuai batasan masalah yang ada, lingkup teknis adalah pada unit BOG *compressor* dan fasilitas regasifikasi (*vaporizer*).

### 4.2.1 Pendataan Jumlah Peralatan

Pendataan jumlah peralatan untuk tiap-tiap unit proses dilakukan dengan tujuan mempermudah mengetahui filosofi proses regasifikasi di terminal, pembuatan perancangan perpipaan, dan memperkirakan luasnya area yang diperlukan untuk unit proses tersebut pada saat dilakukan perancangan tata letak peralatan proses. Tabel 4.1 menyajikan daftar peralatan untuk tiap unit proses.

**Tabel 4.1 Jumlah peralatan untuk fasilitas regasifikasi dan BOG *compressor***

Equipment	Code	Type	Kapasitas
LNG <i>Vaporizer</i> (4 unit, 1 standby)	E-103	Open Rack	150 ton LNG/jam
	E-104	<i>Vaporizer</i>	
	E-105		
	E-106		
BOG <i>Compressor</i> (unloading) (4 unit, 1 standby)	C-101	Reciprocating	11 ton/jam
	C-102		
	C-103		
	C-104		
BOG <i>Compressor</i> (normal) (1 unit)	C-105	Reciprocating	5.9 ton/jam

### 4.2.2 Pengumpulan Data Dimensi Peralatan

Pengumpulan data dimensi peralatan bertujuan untuk mengetahui lebih detail seberapa besar luas lahan yang diperlukan untuk penempatan peralatan-peralatan proses tersebut. Dalam mengumpulkan data dimensi peralatan, informasi penting yang harus dimiliki yaitu spesifikasi peralatan proses dan kapasitas aliran fluida khusus untuk peralatan berupa tangki penyimpanan.

Dari informasi-informasi ini maka selanjutnya dapat diperoleh data dimensi atau ukuran fisik dari peralatan tersebut. Data dimensi peralatan pada perancangan ini diperoleh dari studi kelayakan yang telah dilakukan sebelumnya.

**Tabel 4.2 Dimensi peralatan pada terminal penerimaan LNG Jawa Timur**

Kode Alat	Dimensi	Size (m)	Luas Area (m <sup>2</sup> )
E-103	Panjang	42	1260
	Lebar	30	
	tinggi	12	
E-104	Panjang	42	1260
	Lebar	30	
	tinggi	12	
E-105	Panjang	42	1260
	Lebar	30	
	tinggi	12	
E-106	Panjang	42	1260
	Lebar	30	
	tinggi	12	
C-101	Panjang	18	108
	Lebar	6	
	tinggi	3.5	
C-102	Panjang	18	108
	Lebar	6	
	tinggi	3.5	
C-103	Panjang	18	108
	Lebar	6	
	tinggi	3.5	
C-104	Panjang	18	108
	Lebar	6	
	tinggi	3.5	
C-105	Panjang	18	108
	Lebar	9	
	tinggi	3.5	

### 4.3 Penggambaran Plot Plan

Dalam perancangan ini akan dibuat *draft plot plan* dalam bentuk dua dimensi, sesuai dengan kriteria tata letak peralatan, yang selanjutnya akan diimplementasikan dalam model 3D.

#### 4.3.1 Pengaturan Tata Letak Peralatan

Pada prinsipnya, tata letak peralatan proses berdasarkan dari dimensi peralatan dengan mempertimbangkan urutan proses, faktor safety, akses maintenance, luas lahan yang tersedia, faktor kerapian, dan pertimbangan jarak agar sistem perpipaannya lebih ekonomis. Pada saat membuat tata letak peralatan ini ada beberapa peralatan yang harus diletakkan terpisah dari area unit proses karena harus memenuhi faktor jarak minimum antar peralatan [2]. Selain itu, peletakan yang terpisah ini juga terkadang dilakukan dengan alasan faktor kerapian.

Tabel 4.3 Jarak minimal penempatan peralatan

Faktor	Jarak minimal yang direkomendasikan
Dari peralatan ke pipa	0.80 m
Jarak antara dua kompresor	2.2 m
Alat-alat pemanas ke peralatan yang mudah terbakar, termasuk kompresor-kompresor	15.5 m
Jarak di muka jalan orang	1 m

#### 4.3.2 Pembuatan Plot Plan Fasilitas Regasifikasi (*Vaporizer*)

Penggambaran sketsa pada fasilitas regasifikasi (*vaporizer*) membutuhkan data jumlah peralatan yang termasuk dalam fasilitas ini dan urutan proses yang terjadi di dalamnya. Setelah memperoleh data ini, maka dapat dibuat perkiraan awal lahan minimum yang akan dibutuhkan untuk masing-masing unit pada fasilitas regasifikasi. Untuk data jumlah peralatan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sedangkan untuk ukuran (dimensi) dari tiap peralatan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

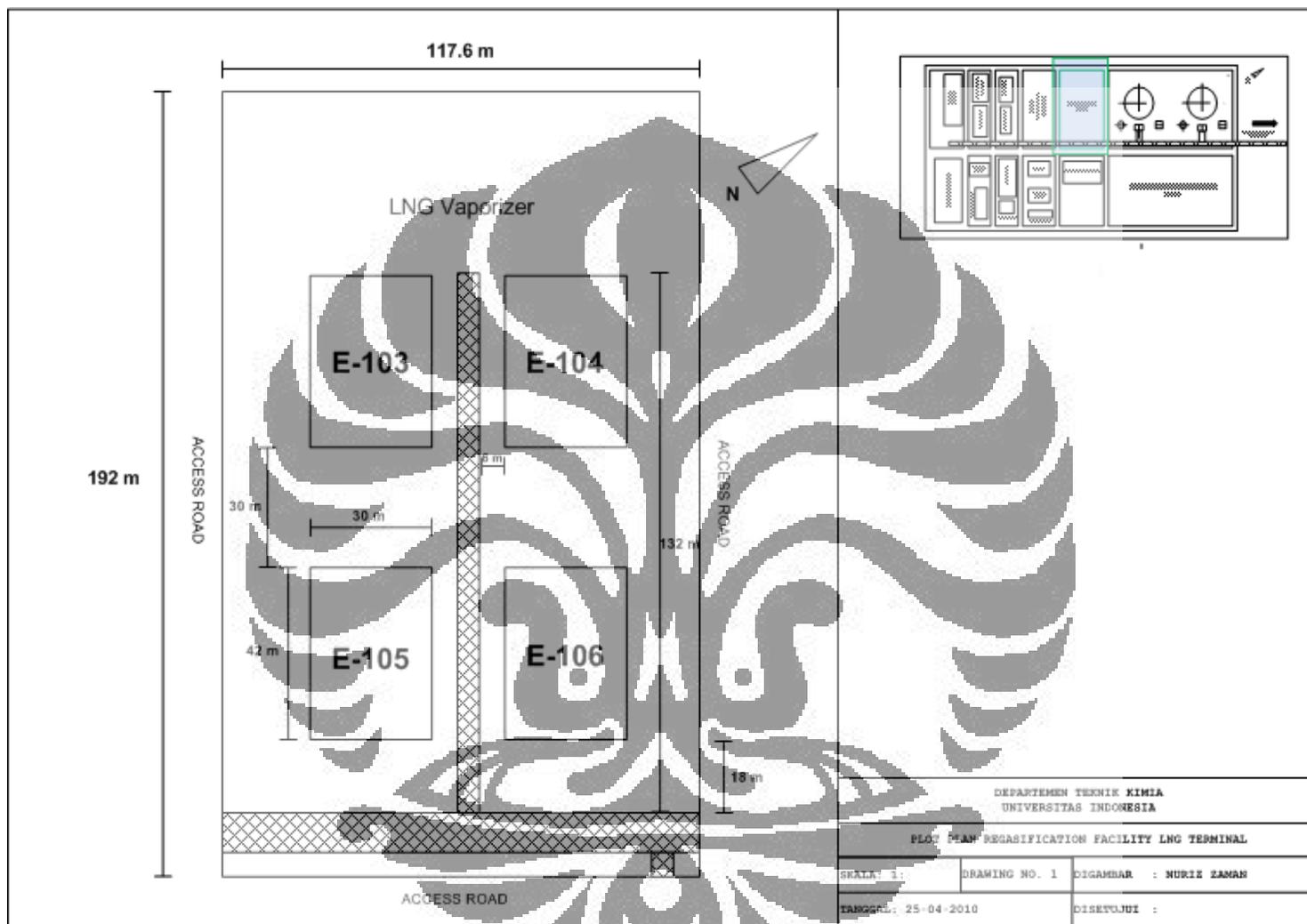
Seperti yang bisa dilihat pada Tabel 4.2, luas area yang dibutuhkan untuk masing-masing *vaporizer* adalah 1,260 m<sup>2</sup>, sehingga untuk 4 *vaporizer* dibutuhkan luas area 5,040 m<sup>2</sup>. Luas area

yang tersedia untuk fasilitas regasifikasi ini adalah 22,579 m<sup>2</sup>, sehingga masih terdapat lahan yang cukup luas untuk *access road*. Pada plot plan ini juga terdapat *piperack* yang ditempatkan di antara *vaporizer*, sehingga pipa-pipa LNG yang berasal dari *storage tank* dan *seawater* yang berasal dari laut dapat dialirkan menuju masing-masing *vaporizer* dengan mudah. Hasil penggambaran plot plan untuk fasilitas regasifikasi dapat dilihat pada Gambar 4.4.

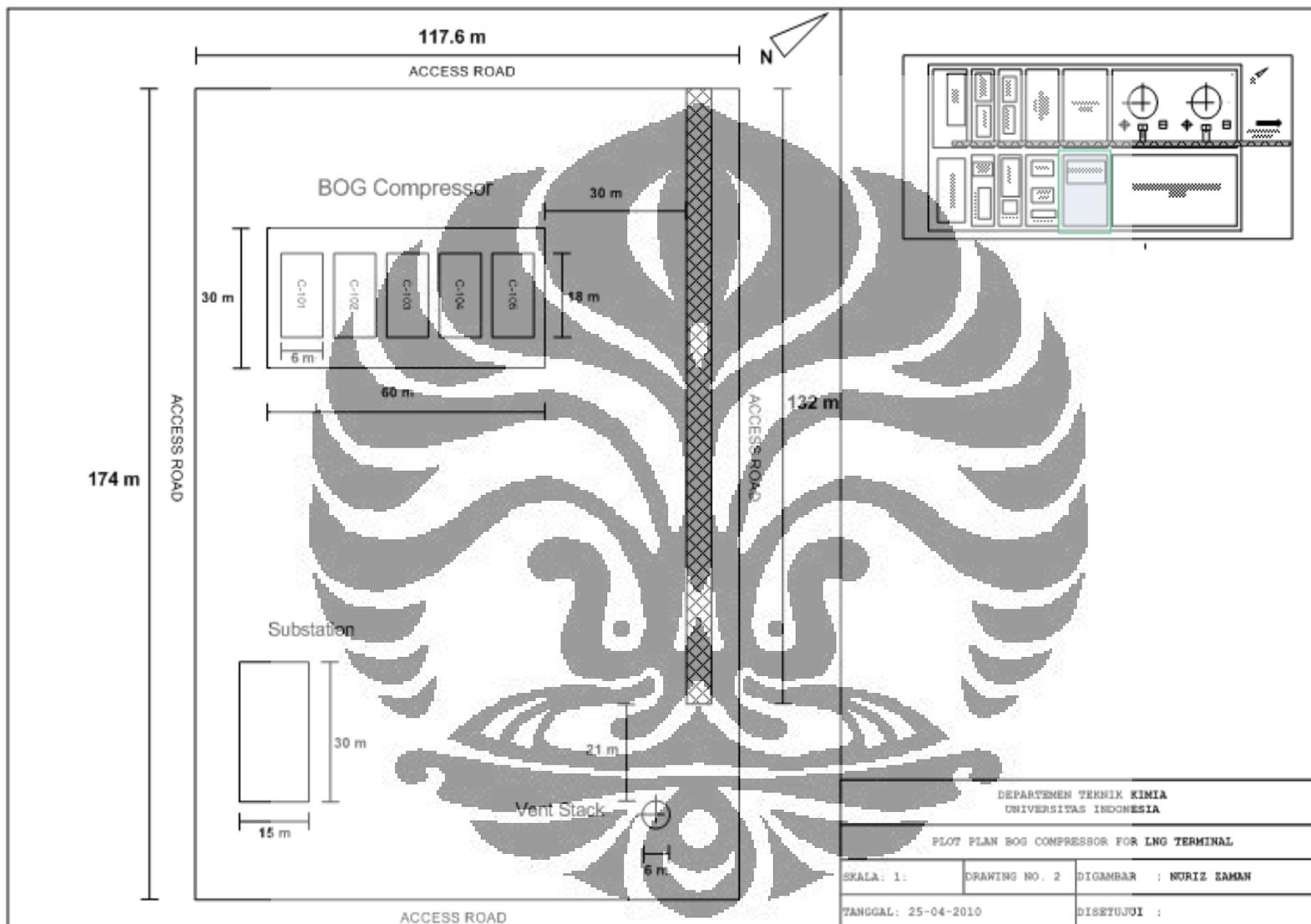
#### 4.3.3 Pembuatan Plot Plan BOG Compressor

Penggambaran sketsa pada fasilitas BOG *compressor* membutuhkan data jumlah peralatan yang termasuk dalam fasilitas ini dan urutan proses yang terjadi di dalamnya. Setelah memperoleh data ini, maka dapat dibuat perkiraan awal lahan minimum yang akan dibutuhkan untuk masing-masing unit pada BOG *compressor*. Untuk data jumlah peralatan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sedangkan untuk ukuran (dimensi) dari tiap peralatan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Luas area yang tersedia untuk fasilitas BOG *compressor* ini adalah 20,462 m<sup>2</sup>, dan luas area yang dibutuhkan untuk BOG *compressor* tidak sebesar unit *vaporizer*, yaitu 108 m<sup>2</sup> untuk masing-masing *compressor*, sehingga untuk 5 *compressor* dibutuhkan luas area sebesar 540 m<sup>2</sup>. Seluruh *compressor* yang ada pada fasilitas ini ditempatkan dalam satu area yang berdekatan, namun tetap memperhatikan jarak minimal yang diperbolehkan sesuai Tabel 4.3. Pada plot plan ini terdapat *piperack* yang ditempatkan di sebelah utara *compressor*, sehingga pipa-pipa *boil-off gas* yang berasal dari *storage tank* dapat dialirkan menuju masing-masing *compressor* dengan mudah. Pada bagian tenggara *plot plan* terdapat substation yang berfungsi sebagai *control room* untuk pengoperasian *compressor*. Pada plot plan ini juga ditempatkan *vent stack* di sebelah timur *piperack*. Penempatan *vent stack* diletakkan berjauhan dari *compressor* dengan pertimbangan faktor keselamatan, karena *vent stack* merupakan tempat pembuangan gas apabila terjadi *over pressure*. Hasil penggambaran plot plan untuk fasilitas BOG *Compressor* dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Plot plan fasilitas regasifikasi (vaporizer)



Gambar 4.5 Plot plan fasilitas BOG compressor

## 4.4 Perancangan Sistem Perpipaan

### 4.4.1 Diameter Pipa Optimum

Perancangan sistem perpipaan di sini antara lain melingkupi perhitungan diameter pipa dan pemilihan material pipa. Perhitungan diameter pipa pada perancangan ini yaitu berupa penghitungan diameter pipa optimum. Pada diameter pipa optimum, faktor biaya seperti biaya pompa, maintenance, instalasi, dan lain-lain turut diperhitungkan [3]. Persamaan untuk menghitung diameter pipa optimum yaitu .

$$D_{i,opt} = 3.9 \sqrt[3]{\frac{Q}{\rho}}$$

Dimana :  $D_{i,opt}$  = diameter dalam pipa optimum (inch)

$Q$  = laju alir fluida,  $\text{ft}^3/\text{s}$

$\rho$  = densitas fluida,  $\text{lb}/\text{ft}^3$

Data-data untuk sifat fisis fluida yang diperlukan untuk perhitungan diameter pipa optimum di atas diperoleh dari hasil tahap studi sebelumnya. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa diameter pipa maksimum yang digunakan dari *storage tank* menuju *vaporizer* yaitu 10 in. Untuk proses dari *storage tank* menuju *BOG compressor*, diameter optimum yang digunakan yaitu 60 in. Hasil perhitungan diameter optimum pipa dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah ini. Khusus untuk material pipa pada perancangan ini menggunakan standar pipa yang umum digunakan untuk *LNG plant* yaitu carbon steel schedule 40.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Diameter Optimum Pipa

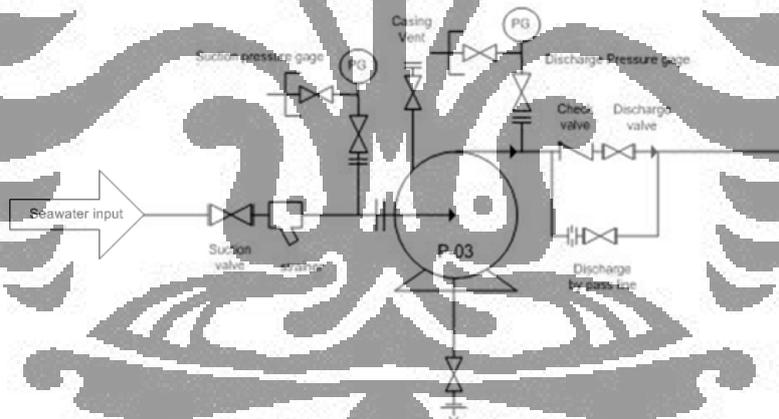
No.	Dari	Menuju	D (in)	Panjang pipa (m)	Perkiraan panjang total pipa (m)
1	Storage tank	E-103 E-104 E-105 E-106	10	263.1	529.1
2	E-103 E-104 E-105 E-106	Pipa Jaringan Distribusi	10	266	
3	Laut	E-103 E-104 E-105 E-106	40	280.2	544.1
4	E-103 E-104 E-105 E-106	Laut	40	263.9	
5	Storage tank	C-101 C-102 C-103 C-104 C-105	60	167	289.5
6	C-101 C-102 C-103 C-104 C-105	Pipa Jaringan Distribusi	60	122.5	

## 4.5 Pembuatan Piping and Instrumentation Diagram (P&ID)

Berikut ini adalah penjelasan beberapa sistem perpipaan di sekitar peralatan proses yang terdapat pada P&ID perancangan ini.

### 4.5.1 Sistem Perpipaan dan Instrumentasi di Sekitar Pompa dan Kompresor

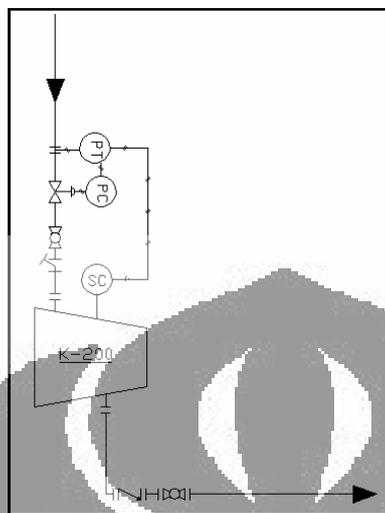
Pada umumnya sistem perpipaan dan instrumentasi di sekitar pompa memiliki strainer di bagian menuju *suction* pompa dan *check valve* pada bagian *discharge* pompa. *Strainer* berfungsi sebagai penyaring cairan yang akan masuk pompa dari partikel-partikel padat pengotor. Partikel-partikel ini apabila masuk ke dalam pompa dapat menyebabkan kerusakan pada pompa. Pada bagian *discharge* pompa, *check valve* diperlukan untuk mencegah aliran balik khususnya apabila pompa dimatikan. Contoh sistem perpipaan dan instrumentasi di sekitar pompa dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Contoh sistem perpipaan di sekitar pompa

Untuk sistem perpipaan dan instrumentasi di sekitar kompresor pada dasarnya sama dengan pompa namun pada kompresor dilengkapi dengan *pressure control (PC)*. Aliran dan tekanan gas dari tangki pada kenyataannya tidak selalu stabil. Untuk mengantisipasi hal ini, pada bagian sekitar *suction* terdapat *pressure transmitter (PT)* dan terhubung dengan pengontrol kecepatan (SC) pada penggerak/driver kompresor. Dengan demikian kecepatan kompresor mengontrol tekanan *suction*. Pada kasus dimana kecepatan telah mencapai 100% dan tekanan *suction* masih meningkat maka *pressure control valve* di sekitar *suction* akan melepaskan gas ke

sistem flare. Contoh sistem perpipaan dan instrumentasi untuk kompresor dapat dilihat pada Gambar 4.7.



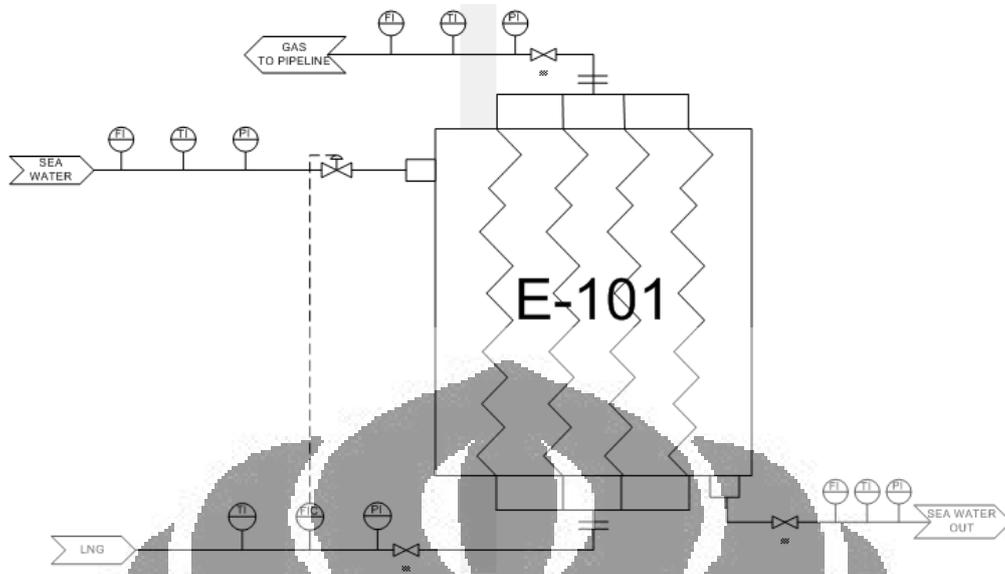
Gambar 4.7 Contoh sistem perpipaan di sekitar kompresor

#### 4.5.2 Sistem Perpipaan dan Instrumentasi di Sekitar Vaporizer

Hasil dari P&ID *Vaporizer* yang dibuat menunjukkan bahwa dalam desain sebuah *vaporizer* dibutuhkan instrumentasi berupa *pressure*, *flow* dan *temperatur indicator*. Selain instrumentasi indikator tersebut, diperlukan juga suatu sistem kontrol, yaitu berupa *flow indicator controller*.

*Pressure Indicator* (PI), *Temperature Indicator* (TI) dan *Flow Indicator* (FI) pada perancangan ini masing-masing berfungsi untuk menunjukkan tekanan di dalam *vaporizer*, memantau temperatur fluida dan menunjukkan besar aliran dari fluida, baik yang masuk maupun yang keluar dari *vaporizer*.

Sedangkan *flow indicator controller* (FIC) pada perancangan ini berfungsi untuk menjaga agar pertukaran panas pada *vaporizer* berjalan seperti seharusnya. Pada kondisi dimana aliran LNG (*cold side*) yang masuk ke *vaporizer* meningkat, maka FIC akan memberi sinyal kepada *valve* di *suction* air laut (*hot side*) agar meningkatkan jumlah aliran masuk air laut. Demikian juga sebaliknya, apabila aliran LNG (*cold side*) yang masuk ke *vaporizer* menurun, maka FIC akan memberi sinyal kepada *valve* di *suction* air laut (*hot side*) agar menurunkan jumlah aliran masuk air laut. Sistem perpipaan dan instrumentasi di sekitar *vaporizer* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Contoh sistem perpipaan di sekitar *vaporizer*

## 4.6 Penggambaran Model Pabrik 3 Dimensi

### 4.6.1 Penggambaran Peralatan

Penggambaran peralatan dilakukan dengan memasukkan ukuran setiap bagian penyusun peralatan tersebut dengan referensi data dimensi peralatan yang telah diperoleh sebelumnya. Berikut adalah peralatan-peralatan yang digambar dalam perancangan ini.

#### 4.6.1.1 Dimensi Desain *Compressor*



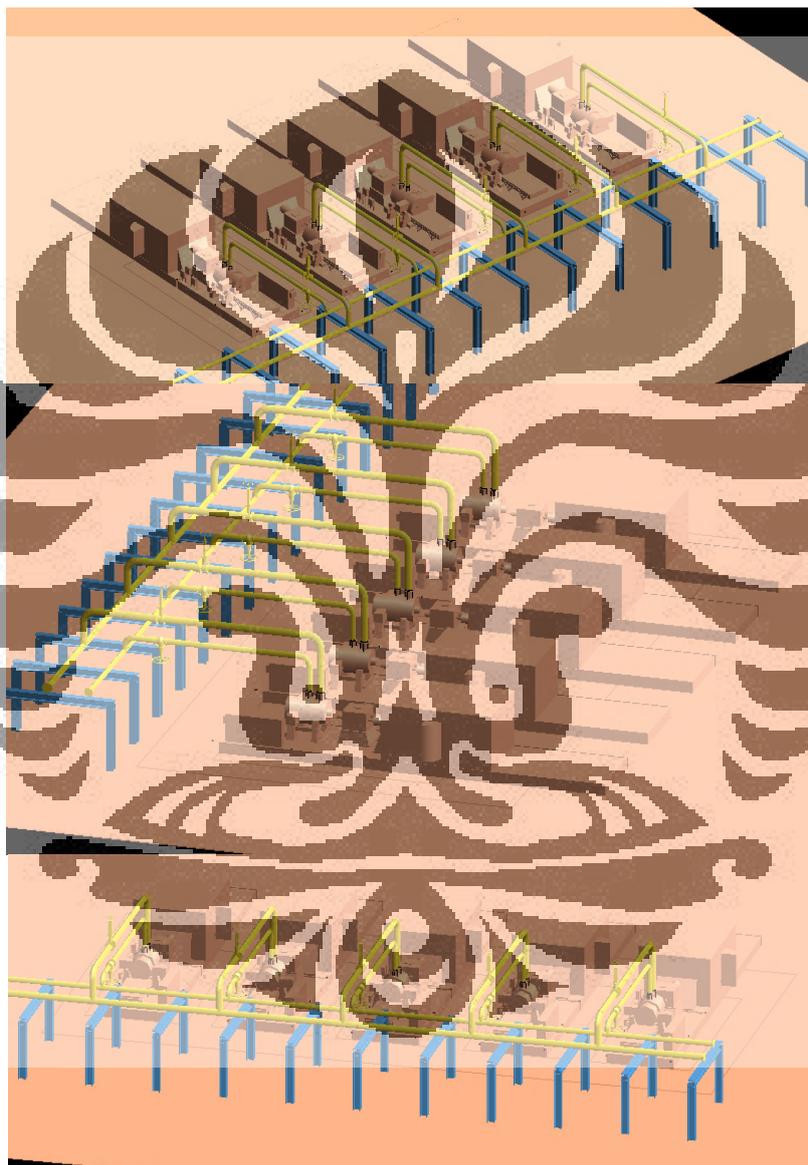
**Gambar 4.9 Model Tiga Dimensi Satu Unit *Compressor***

Penggambaran dimensi kompresor merujuk pada data di Tabel 4.2 yang menunjukkan dimensi peralatan pada terminal penerimaan LNG Jawa Timur. Pada Tabel tersebut dapat dilihat bahwa *compressor* dalam perancangan ini memiliki dimensi:

- Panjang = 18 m
- Lebar = 6 m
- Tinggi = 3.5 m

Penempatan pipa pada fasilitas BOG *compressor* disesuaikan dengan perencanaan yang telah dibahas pada desain *plot plan BOG compressor*. Perpipaian untuk *suction* dan *discharge*

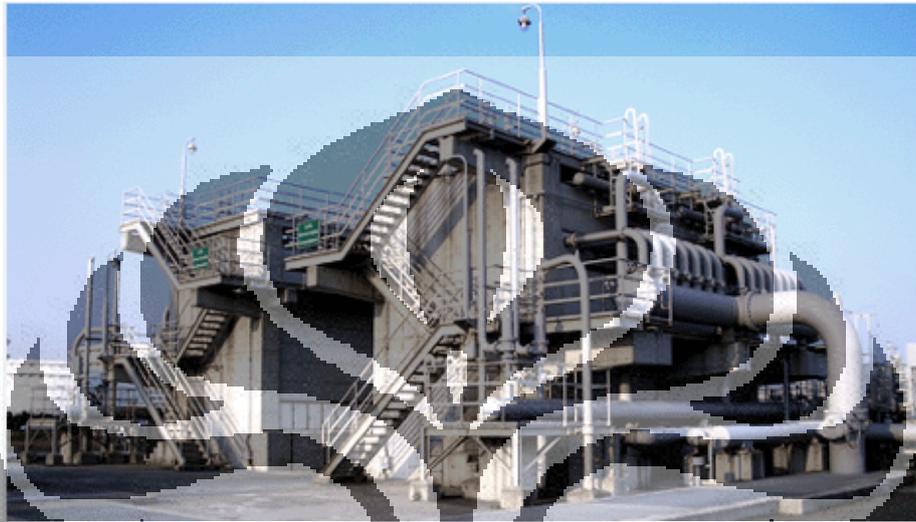
untuk tiap-tiap *compressor* dibantu dengan menggunakan *piperack*. Penempatan pipa *suction* dan *discharge* diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu *access road* di sekitar *compressor*, dalam hal ini pipa langsung disambungkan dari *piperack* menuju *compressor* tanpa harus diturunkan ke bawah *piperack*. Hasil perpipaan yang telah terhubung ke *compressor* dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10 Model Tiga Dimensi *Compressor* dengan Perpipaan**

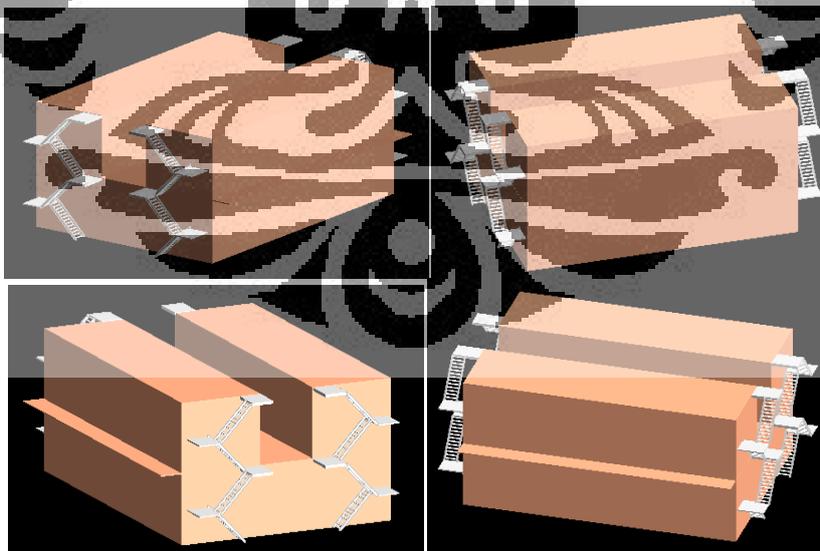
#### 4.6.1.2 Dimensi Desain Open Rack Vaporizer

Sebelum melihat bentuk 3 dimensi dari Open Rack Vaporizer (ORV), perlu diketahui bentuk ORV dalam kondisi nyata, agar nantinya dapat dibuat desain Gambar 3 dimensi yang lebih mencerminkan bentuk aslinya. Pada Gambar 4.11 dapat dilihat bentuk ORV pada kondisi nyata.



**Gambar 4.11** Open Rack Vaporizer

Mengacu pada Gambar 4.11 tersebut, maka dapat dibuat bentuk 3 dimensi dari ORV. Model 3 dimensi dari ORV dapat dilihat pada Gambar 4.12 di bawah ini.



**Gambar 4.12** Model Tiga Dimensi Satu Unit Open Rack Vaporizer

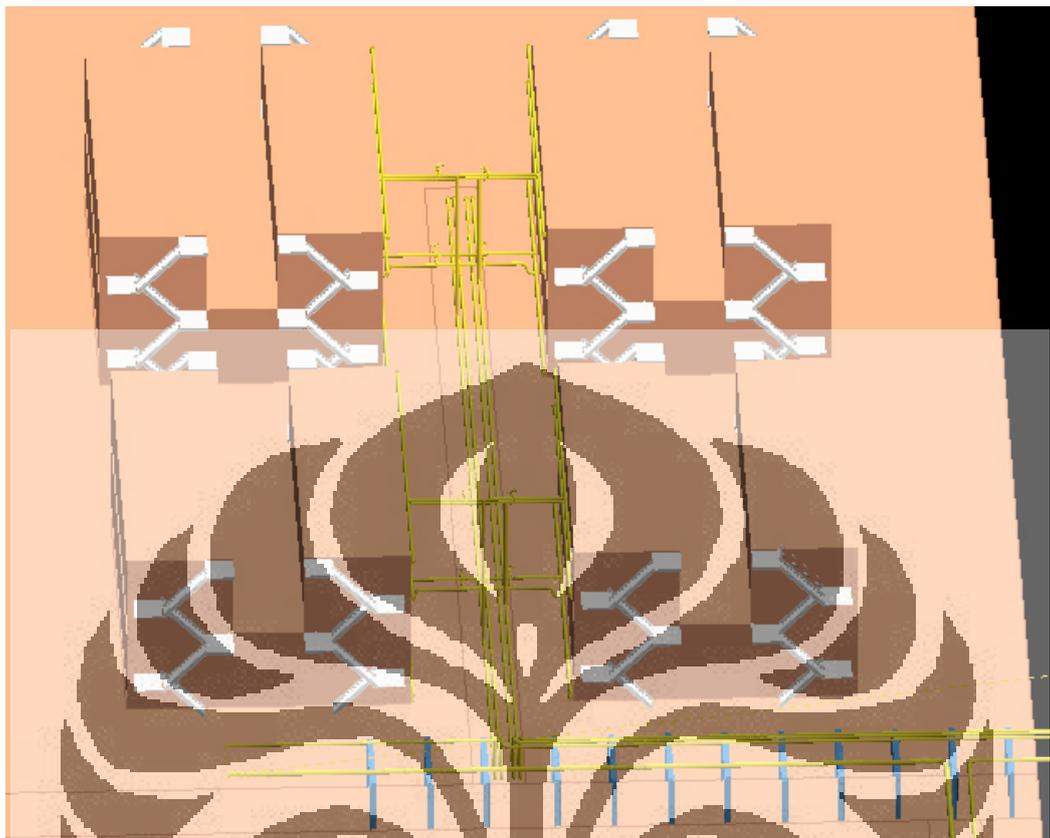
Penggambaran dimensi Open Rack *Vaporizer* merujuk pada data di Tabel 4.2 yang menunjukkan dimensi peralatan pada terminal penerimaan LNG Jawa Timur. Pada Tabel tersebut dapat dilihat bahwa Open Rack *Vaporizer* dalam perancangan ini memiliki dimensi:

- Panjang = 42 m
- Lebar = 30 m
- Tinggi = 12 m

Penempatan pipa di sekitar *vaporizer* disesuaikan dengan perencanaan yang telah dibahas pada desain *plot plan vaporizer*. Seperti halnya BOG *compressor*, perpipaan untuk *suction* dan *discharge* untuk tiap-tiap *vaporizer* dibantu dengan menggunakan *piprack*. Hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain perpipaan di sekitar *vaporizer* adalah bahwa masing-masing *vaporizer* memiliki 2 *suction* (LNG dan air laut) dan 2 *discharge* (gas dan air laut). Oleh karena itu pada masing-masing *vaporizer* akan ditempatkan 4 jalur pipa. Penempatan perpipaan ini juga diatur sedemikian rupa agar tidak mengganggu *access road*. Berbeda dengan BOG *compressor* dimana pipa langsung menuju *compressor* dari *piprack*, untuk fasilitas *vaporizer* ini pipa justru harus diturunkan dulu dari *piprack*, karena jika tidak diturunkan dari *piprack* jalur perpipaan untuk *vaporizer* ini akan sangat mengganggu *access road*. Hasil perpipaan yang telah terhubung ke *vaporizer* dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan Gambar 4.14.

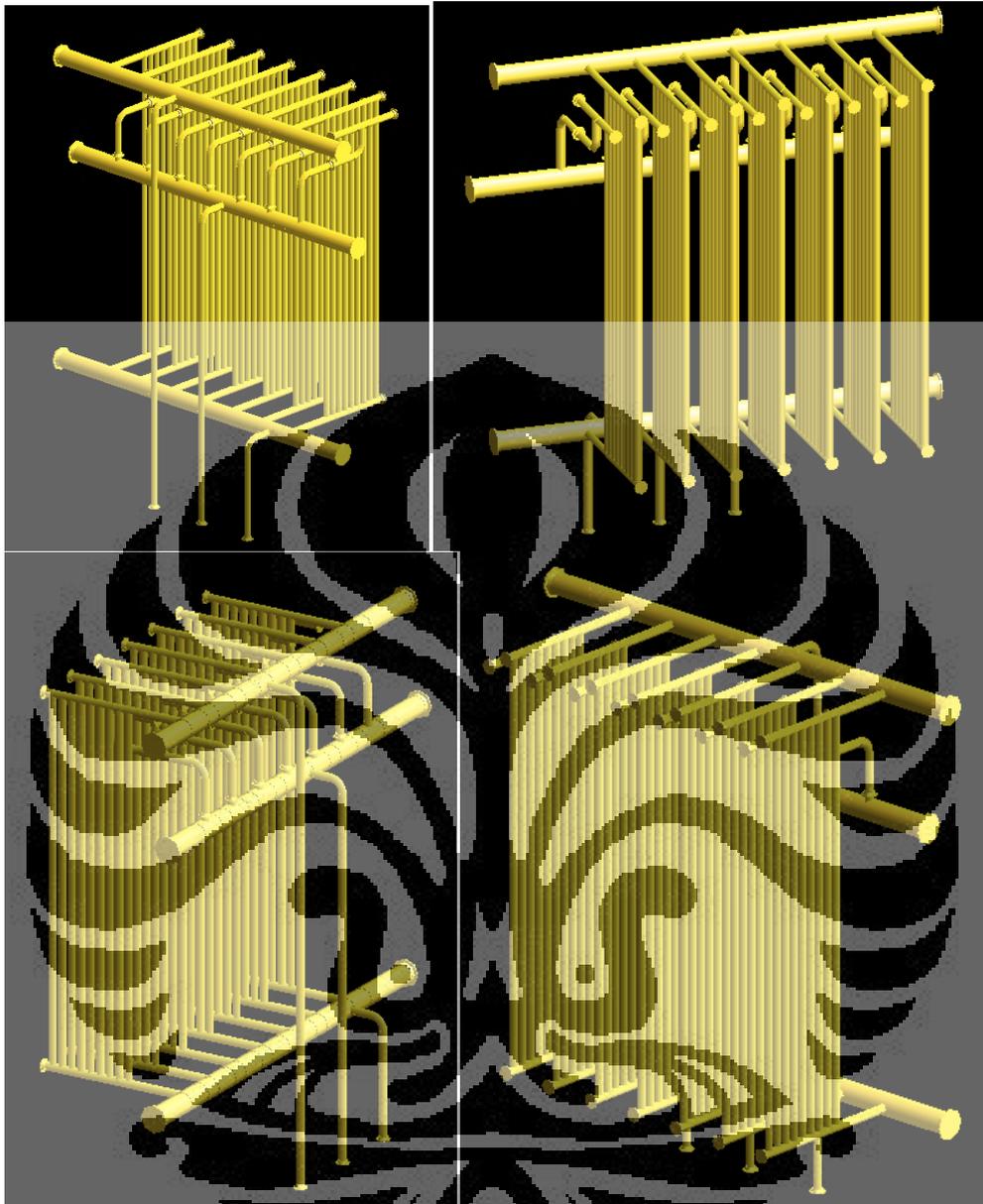


Gambar 4.13 Model Tiga Dimensi Open Rack Vaporizer dengan Perpipaan



**Gambar 4.14 Model Tiga Dimensi Open Rack Vaporizer dengan Perpipaan**

Pada perancangan ini juga digambar sistem perpipaan di dalam ORV dalam bentuk 3 dimensi. Tujuan dibuatnya sistem perpipaan ini agar bisa memberi gambaran lebih jelas mengenai sistem pertukaran panas yang terjadi di dalam ORV. Hasil Gambar 3 dimensi dari sistem perpipaan di dalam ORV ini dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Model Tiga Dimensi Sistem Perpipaan di Dalam Open Rack Vaporizer

#### 4.6.2 Penggambaran Sistem Perpipaan

Penggambaran sistem perpipaan pada perancangan ini pertama-tama menggunakan plot plan untuk membuat sketsa awal rute pipa. Pada saat pembuatan sketsa ini, pembuatan rute pipa juga sudah harus mempertimbangkan akses *maintenance* dan faktor kerapian. Sketsa awal ini bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai jalur yang akan dilalui oleh pipa walaupun hasil routing ini tidak selalu mutlak sama pada aplikasi 3D nya. Hal ini dikarenakan pada sketsa

awal, faktor elevasi belum terlihat sehingga masih ada kemungkinan pipa yang berbeda akan saling menumpuk. Setelah mensimulasikan rute yang tepat dalam model 3D maka selanjutnya yaitu melengkapi sistem perpipaan dengan *valve*.

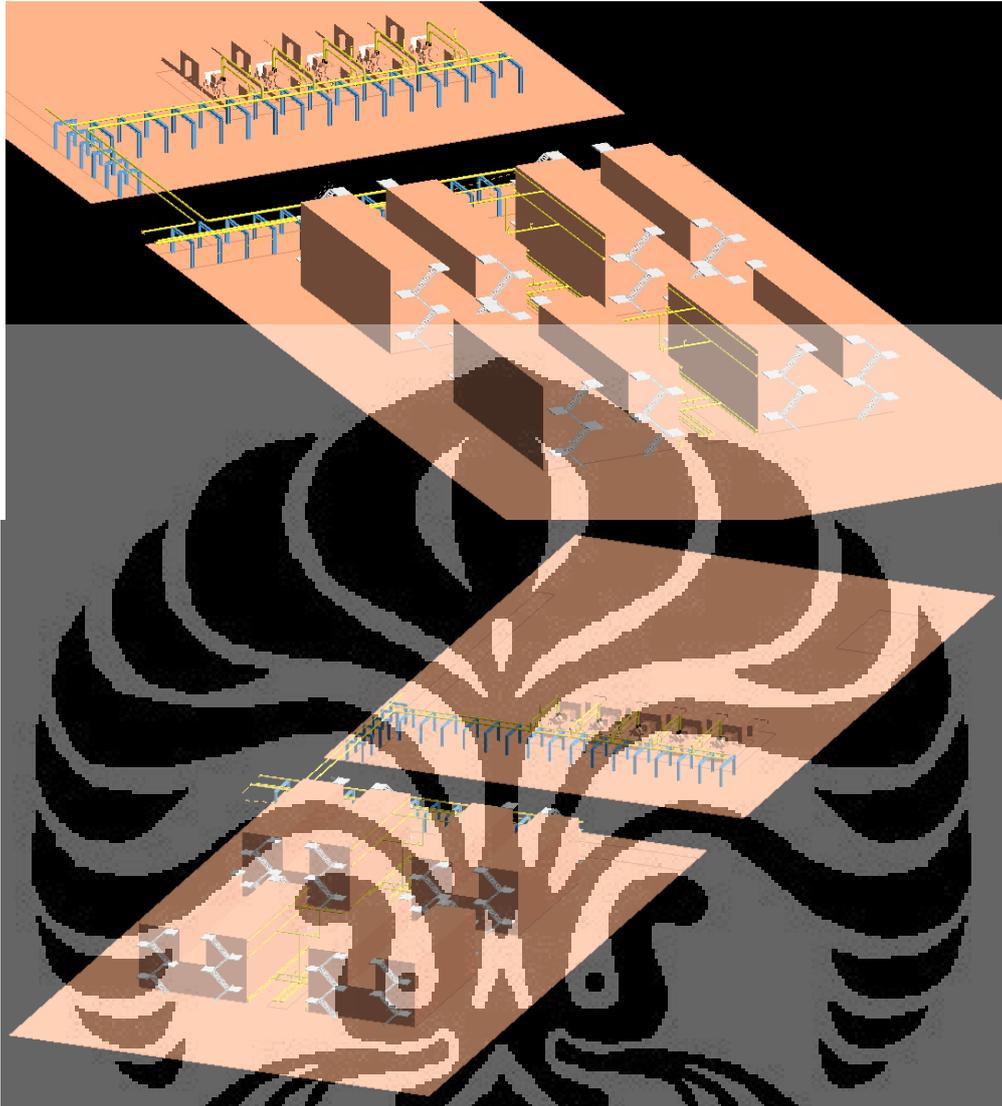
#### 4.6.3 Hasil Model Pabrik Tiga Dimensi

Model pabrik tiga dimensi yang utuh akan dihasilkan setelah menggabungkan desain tiga dimensi peralatan dan desain tiga dimensi sistem perpipaannya. Penggambaran model pabrik 3 dimensi pada perancangan ini dilakukan dengan menggunakan software 3 dimensi. Model pabrik 3 dimensi ini dapat mempresentasikan suatu pabrik yang utuh dengan proses yang terlibat di dalamnya. Model pabrik 3 dimensi ini menghasilkan suatu gambaran pabrik secara keseluruhan yang mendekati kondisi realnya. Pada gambar tiga dimensi ini, model pabrik dapat dilihat dari berbagai sudut arah sehingga keseluruhan peralatan dan sistem perpipaannya dapat dilihat sebagai suatu kesatuan yang utuh. Model terminal LNG di Jawa Timur ini secara tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 4.16 dan 4.17 di bawah ini.





**Gambar 4.16** Layout Model 3D *LNG Regasification Facility & BOG Compressor*



Gambar 4.17 Layout Model 3D *LNG Regasification Facility & BOG Compressor*

## 4.7 Bill of Material

Pada perancangan ini, hasil akhir yang diperoleh bukan hanya layout 3D dari rancangan terminal LNG yang dibuat, khususnya pada fasilitas regasifikasi dan BOG *compressor*, namun juga biaya investasi, untuk mengetahui besarnya biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan peralatan-peralatan tersebut.

### 4.7.1 Perhitungan Biaya Investasi

Biaya investasi yang akan dihitung pada bagian ini yaitu total capital investment. Total capital investment ini meliputi komponen-komponen seperti :

#### a. Total Biaya Peralatan ( $C_{TBM}$ )

Biaya-biaya peralatan yang dihitung merupakan biaya *free on board*. Artinya biaya-biaya pembelian peralatan itu tidak termasuk ke dalam biaya pengiriman, biaya pemasangan, biaya konstruksi dan lain sebagainya. Biaya-biaya peralatan dalam perancangan ini akan dibahas secara lebih mendetail pada bagian berikut ini.

#### BOG *Compressor*

Perhitungan biaya *compressor* [3] yang digunakan pada perancangan ini menggunakan persamaan:

$$=$$

Dimana

$C_P$  = harga (US \$)

$F_D$  = 1.15 untuk *compressor* yang menggunakan *driver steam turbine*

$F_M$  = 2.5 untuk *compressor* yang menggunakan bahan *stainless steel*

Pada perancangan ini digunakan *compressor* tipe *reciprocating*, sehingga  $C_B$  dapat dihitung dengan [3]:

$$= \{7.6084 + 0.80[\ln( )]\}$$

Dimana  $P$  = daya (hp)

Dengan menggunakan rumus di atas dapat dihitung biaya *compressor* untuk kondisi normal dan unloading.

BOG *compressor*-normal operation ( $C_{P1}$ ), jumlah 1 buah

$P = 1450 \text{ KW} = 1944.45 \text{ hp}$

didapat  $C_{P1} = \$2,477,202$

BOG compressor-unloading operation ( $C_{P2}$ ), jumlah 4 buah

$$P = 2700 \text{ KW} = 3620.7 \text{ hp}$$

didapat  $C_{P2} = \$4,073,409$

Total Biaya BOG Compressor ( $T_C$ )

$$T_C = C_{P1} + (4 \times C_{P2}) = \$18,770,838$$

### **Instrumentasi dan Perpipaan BOG Compressor**

#### Instrumentasi

Untuk biaya sistem instrumentasi akan dihitung berdasarkan fraksi, yaitu 8-20 % (dalam perancangan ini diambil 14%) dari *Total Purchased Equipment* [5], sehingga didapat:

$$0.14 \times T_C = \$2,627,917$$

#### Perpipaan

Berdasarkan Tabel 4.4, pipa yang digunakan untuk BOG *compressor* adalah nomor 5 & 6 dan memiliki diameter 60 inch dengan total panjang pipa 289.5 meter. Harga pipa berdiameter 60 inch adalah \$1,980/meter [7]. Dengan demikian harga untuk perpipaan di sekitar *compressor* =  $\$1,980 \times 289.5 = \$573,210$ .

#### **Open-Rack Vaporizer (ORV)**

Perhitungan biaya ORV yang digunakan pada perancangan ini [8] dapat dijabarkan sebagai berikut:

#### Vaporizer Equipment Cost

Untuk equipment cost memiliki harga \$1,000,000 untuk 30 ton/jam [8]. Pada perancangan ini ORV memiliki kapasitas 150 ton/jam, sehingga didapat *vaporizer equipment cost* = \$5,000,000

#### Seawater Facility Cost

Seawater facility cost memiliki nilai 43% dari harga equipment cost [8], sehingga didapat \$2,150,000.

#### Power Plant for Seawater Pumping Power

Pada perancangan ini seawater pump menggunakan daya 770 KW, dan berdasarkan harga \$600/KW [8], maka didapat harga untuk power plant = \$462,000

Total Biaya Vaporizer ( $T_V$ ), jumlah 4 buah

$$T_V = (\$5,000,000 + \$2,150,000 + \$462,000) \times 4 = \$30,448,000$$

## Instrumentasi dan Perpipaan *Vaporizer*

### Instrumentasi

Untuk biaya sistem instrumentasi akan dihitung berdasarkan fraksi, yaitu 8-20 % (dalam perancangan ini diambil 14%) dari *Total Purchased Equipment* [5], sehingga didapat:

$$0.14 \times T_V = \$4,262,720.00$$

### Perpipaan

Berdasarkan Tabel 4.4, pipa yang digunakan untuk *vaporizer* adalah nomor 1, 2, 3 dan 4. Pipa nomor 1 & 2 memiliki diameter 10 inch dan masing-masing merepresentasikan pipa LNG dan gas dengan total panjang pipa 529.1 meter. Sedangkan pipa 3 & 4 memiliki diameter 40 inch dan masing-masing merepresentasikan pipa air laut yang masuk dan keluar dari *vaporizer* dengan total panjang 544.1 meter. Harga pipa berdiameter 10 inch adalah \$330/meter [6] dan harga pipa berdiameter 40 inch adalah \$1320/meter [7]. Dengan demikian harga untuk perpipaan di sekitar *vaporizer* =  $(\$330 \times 529.1) + (\$1320 \times 544.1) = \$892,815$ .

Total biaya peralatan pada perancangan ini secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Biaya Peralatan

Biaya Peralatan	
BOG Compressor	\$18,770,838
Instrumentasi	\$2,627,917
Pipa (\$1980 x 289.5 m)	\$573,210
<b>Total (T<sub>C</sub>)</b>	<b>\$21,971,965</b>
<i>Vaporizer</i>	\$30,448,000
Instrumentasi	\$4,262,720
Pipa:	
Pipa LNG (\$330 x 263.1 m)	\$86,823
Pipa gas (\$330 x 266 m)	\$87,780
Pipa sea water (\$1320 x 544.1 m)	\$718,212
<b>Total (T<sub>V</sub>)</b>	<b>\$35,603,535</b>
<b>Total Biaya Peralatan (T<sub>C</sub> + T<sub>V</sub>)</b>	<b>\$57,575,500</b>

Selain biaya untuk pembelian peralatan, terdapat juga komponen biaya tambahan lain untuk peralatan yang meliputi biaya instalasi, pemasangan pipa, instrumentasi, konstruksi, listrik

serta biaya pengiriman. Untuk biaya ini akan digunakan fraksi seperti yang tercantum pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6 Biaya Tambahan Peralatan**

<b>Biaya Tambahan</b>	<b>Fraksi</b>
Instalasi Peralatan	0,1
Instalasi Listrik	0,03
Konstruksi	0,05
Biaya Pengiriman	0,05

**b. Biaya Preparasi Lokasi ( $C_{site}$ )**

Biaya preparasi lokasi diasumsikan sebesar 4 % dari  $C_{TBM}$ . Biaya ini meliputi biaya survei lahan, drainase, pembuatan jalan, dan biaya preprasi lahan lainnya.

**c. Biaya *Startup Plant*, yang besarnya 10%  $C_{site}$ .**

Hasil perhitungan *Total Capital Investment* LNG plant ini disajikan pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7 Perhitungan total capital investment**

<b>Capital Investment</b>	
$C_{TBM}$	
Biaya Peralatan	\$57,575,500
<b>Biaya Tambahan Peralatan :</b>	
Instalasi Peralatan	\$5,757,550
Instalasi listrik	\$1,727,265
Konstruksi	\$2,878,775
Biaya Pengiriman	\$2,878,775
<b>Total <math>C_{TBM}</math></b>	<b>\$70,817,865</b>
$C_{site}$	\$2,832,715
Start Up	\$283,271
<b>Total Capital Investment</b>	<b>\$73,933,851</b>

## BAB V

### KESIMPULAN

Perancangan tahap lanjut pembangunan fasilitas regasifikasi dan BOG *compressor* pada LNG *Receiving Terminal* ini menghasilkan beberapa kesimpulan yang dapat diambil yaitu :

1. Dari hasil perancangan ini baik melalui plot plan maupun permodelan pabrik tiga dimensi diperoleh bahwa lahan yang dibutuhkan untuk fasilitas regasifikasi dan BOG *compressor* pada LNG *Receiving Terminal* ini ialah sebesar 43,042 m<sup>2</sup>.
2. Hasil akhir dari perancangan ini adalah seluruh *compressor* yang ada pada fasilitas ini ditempatkan dalam satu area yang berdekatan, namun tetap memperhatikan jarak minimal yang diperbolehkan. Perpipaian untuk *suction* dan *discharge* untuk tiap-tiap *compressor* dibantu dengan menggunakan *piperack*. Penempatan pipa *suction* dan *discharge* diatur sedemikian rupa sehingga tidak mengganggu *access road* di sekitar *compressor*, dalam hal ini pipa langsung disambungkan dari *piperack* menuju *compressor* tanpa harus diturunkan ke bawah *piperack*.  
Seperti halnya BOG *compressor*, perpipaian untuk *suction* dan *discharge* untuk tiap-tiap *vaporizer* dibantu dengan menggunakan *piperack*. Hal yang perlu diperhatikan dalam mendesain perpipaian di sekitar *vaporizer* adalah bahwa masing-masing *vaporizer* memiliki 2 *suction* (LNG dan air laut) dan 2 *discharge* (gas dan air laut). Oleh karena itu pada masing-masing *vaporizer* akan ditempatkan 4 jalur pipa. Penempatan perpipaian ini juga diatur sedemikian rupa agar tidak mengganggu *access road*. Berbeda dengan BOG *compressor* dimana pipa langsung menuju *compressor* dari *piperack*, untuk fasilitas *vaporizer* ini pipa justru harus diturunkan dulu dari *piperack*, karena jika tidak diturunkan dari *piperack* jalur perpipaian untuk *vaporizer* ini akan sangat mengganggu *access road*.
3. Dalam desain ini digunakan 2 tipe BOG *compressor*, yang mana satu digunakan untuk kondisi operasi normal, dan yang satu lagi digunakan untuk kondisi operasi unloading. Pada kondisi operasi normal, digunakan

satu unit BOG *compressor* tipe reciprocating dengan kapasitas 5.9 ton/jam dan daya 1450 KW. Pada kondisi operasi unloading, digunakan empat unit BOG *compressor* tipe reciprocating (satu diantaranya dalam keadaan *standby*) dengan kapasitas 11 ton/jam dan daya 2700 KW.

4. Pada perancangan ini, jenis *vaporizer* yang digunakan adalah *open-rack vaporizer* (ORV) sebanyak 4 buah (satu untuk spare). Kapasitas masing-masing *vaporizer* adalah 150 ton LNG/jam. Produk akhir berupa gas alam yang akan didistribusikan ke dalam jaringan perpipaan sebesar 484 MMscfd.
5. *Total capital investment* yang dibutuhkan untuk pembangunan fasilitas regasifikasi dan BOG *compressor* pada LNG *Receiving Terminal* ini ialah \$73,477,475.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Studi Awal LNG Receiving Terminal. Depok, 2003
- [2] Raswari. *Teknologi dan Perencanaan Sistem Perpipaan*. Jakarta: UI Press, 1987.
- [3] Walas, Stanley. *Chemical Process Equipment Selection and Design*. USA : Butterworth-Heinemann, 1990
- [4] Warren Seider, J. D. Seader, and Daniel R Lewin. "Product & Process Design Principles". Wiley International Edition, 2003
- [5] Timmerhaus, Max S Peters, and Ronald Ewest. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. 5th ed. New York : McGraw Hill, 2003
- [6] Dianita, Cindy. *Front End Engineering Design Pembangunan LPG Plant Pangkalan Susu*. Skripsi: DTK FT-UI, 2009
- [7] Anonim. *Kebijakan Bisnis dan Ekonomi - Harga Pipa LNG*. [www.businessreview.co.id](http://www.businessreview.co.id). ( 19 Juni 2010)
- [8] LNG Vaporizer Options Study for ConocoPhillips

## LAMPIRAN

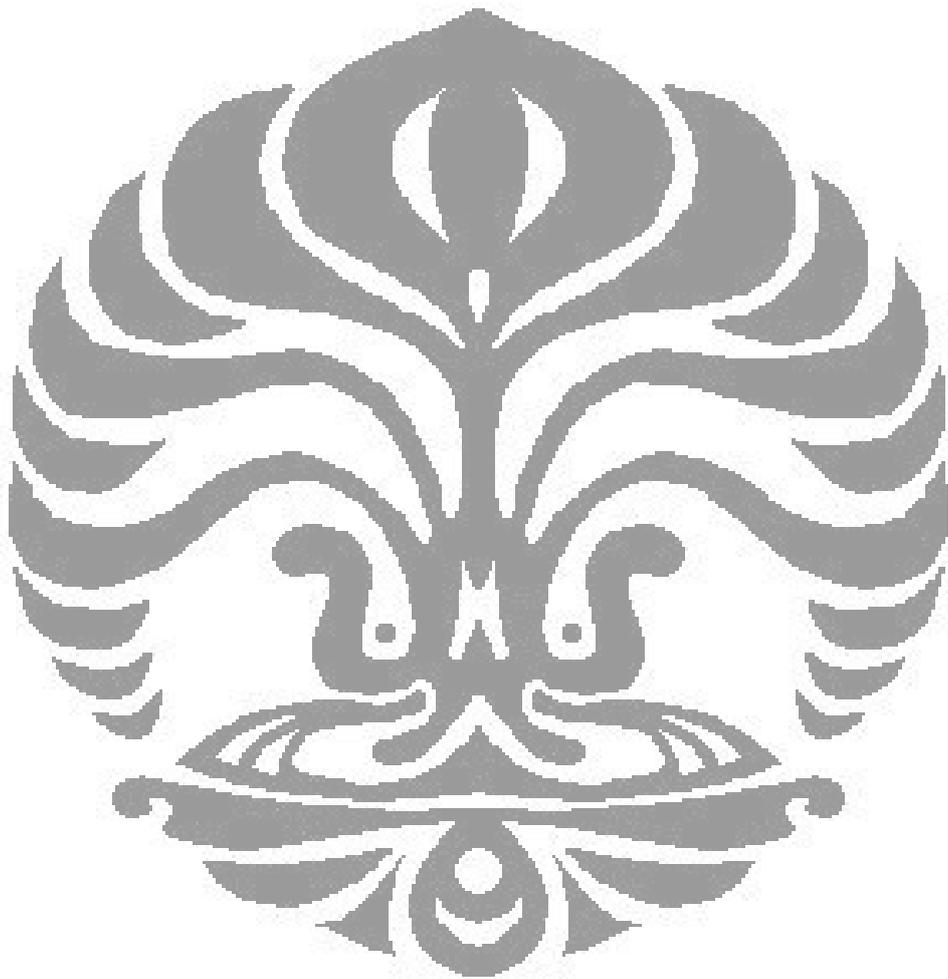
### Lampiran 1 Hasil Perhitungan Diameter Pipa Optimum

$$D_{i,opt} = 3.9Q^{0.45} \rho^{0.13}$$

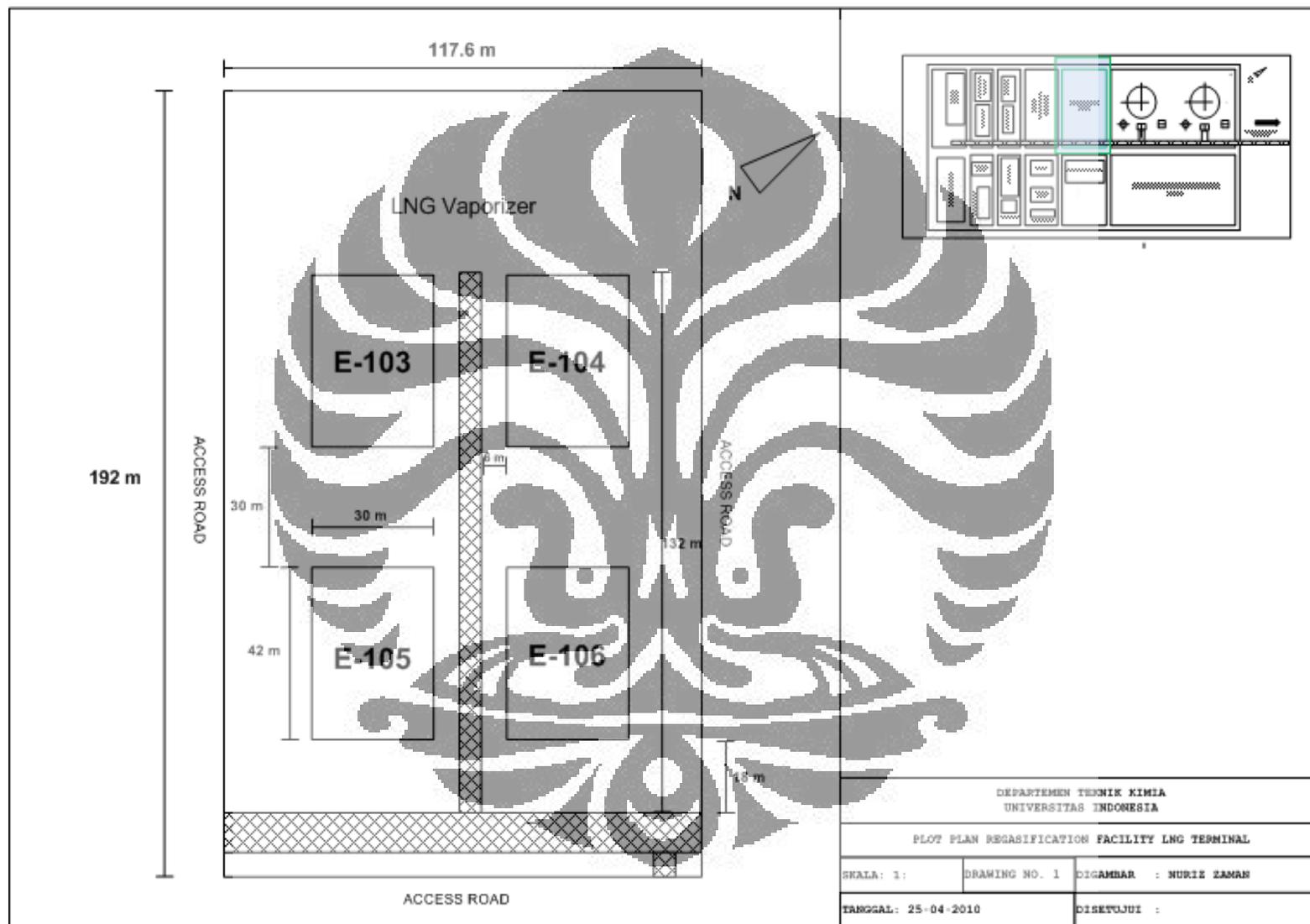
Dari	Menuju	$\rho(\text{kg/m}^3)$	Q(ft <sup>3</sup> /s)	D(in)
Storage Tank	E-103	438	3.36	10
	E-104			
	E-105			
	E-106			
E-103	Pipa Jaringan Distribusi	438	3.36	10
E-104				
E-105				
E-106				
Laut	E-103	1025	61.8	40
	E-104			
	E-105			
	E-106			
E-103	Laut	1025	61.8	40
E-104				
E-105				
E-106				
Storage Tank	C-101	0.668	161.5	60
	C-102			
	C-103			
	C-104			
	C-105			
C-101	Pipa Jaringan Distribusi	0.668	161.5	60
C-102				
C-103				
C-104				
C-105				

Lampiran 2 Data-Data Peralatan

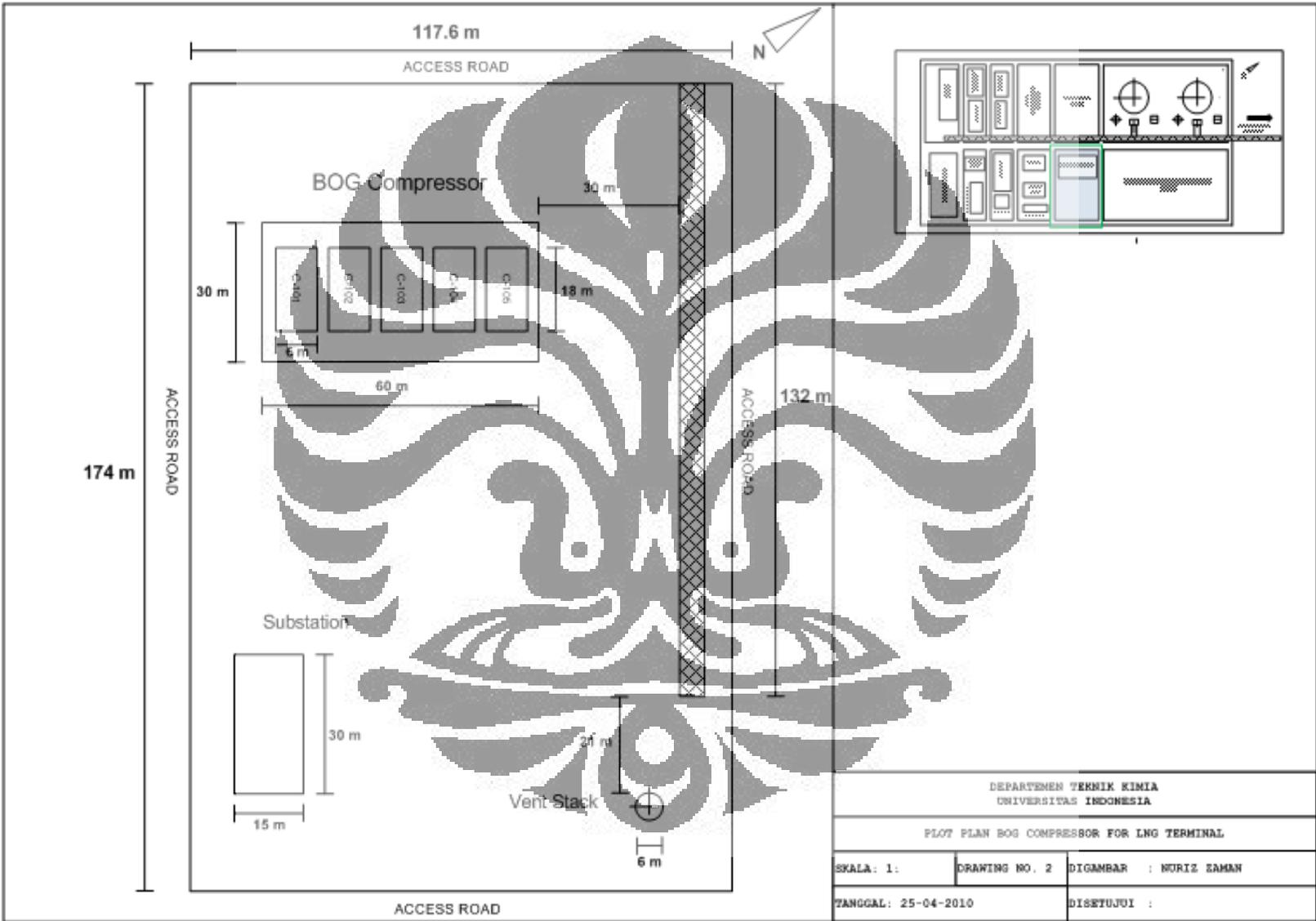
No.	PERALATAN	JUMLAH	TIPE	SPESIFIKASI	KONDISI DESAIN			MAJOR MATERIAL
					FLUIDA	TEKANAN (Mpa)	SUHU (Celcius)	
1	LNG VAPORIZER	4 (Standby 1)	Open Rack Type	Kapasitas: 150 ton LNG/jam/unit	LNG	5	-164 ~ suhu lingkungan	Al alloy
				Kapasitas: 3750 ton Sea Water/jam/unit	NG			
2	BOG COMPRESSOR-unloading	4 (Standby 1)	Reciprocating	Kapasitas: 11.0 ton/jam/unit	BOG	5	-164 ~ 150	Steel
				Delivery Pressure: 4.4 Mpa Motor: 2700 kW				
3	BOG COMPRESSOR-normal	1	Reciprocating	Kapasitas: 5.9 ton/jam/unit	BOG	5	-164 ~ 150	Steel
				Delivery Pressure: 4.4 Mpa Motor: 1450 kW				
4	SEA WATER PUMP	4 (Standby 1)	Centrifugal	Kapasitas: 6300 m <sup>3</sup> /jam/unit	Sea Water	0.5	Suhu lingkungan	Steel
				Head: 35 m Motor: 770 kW				



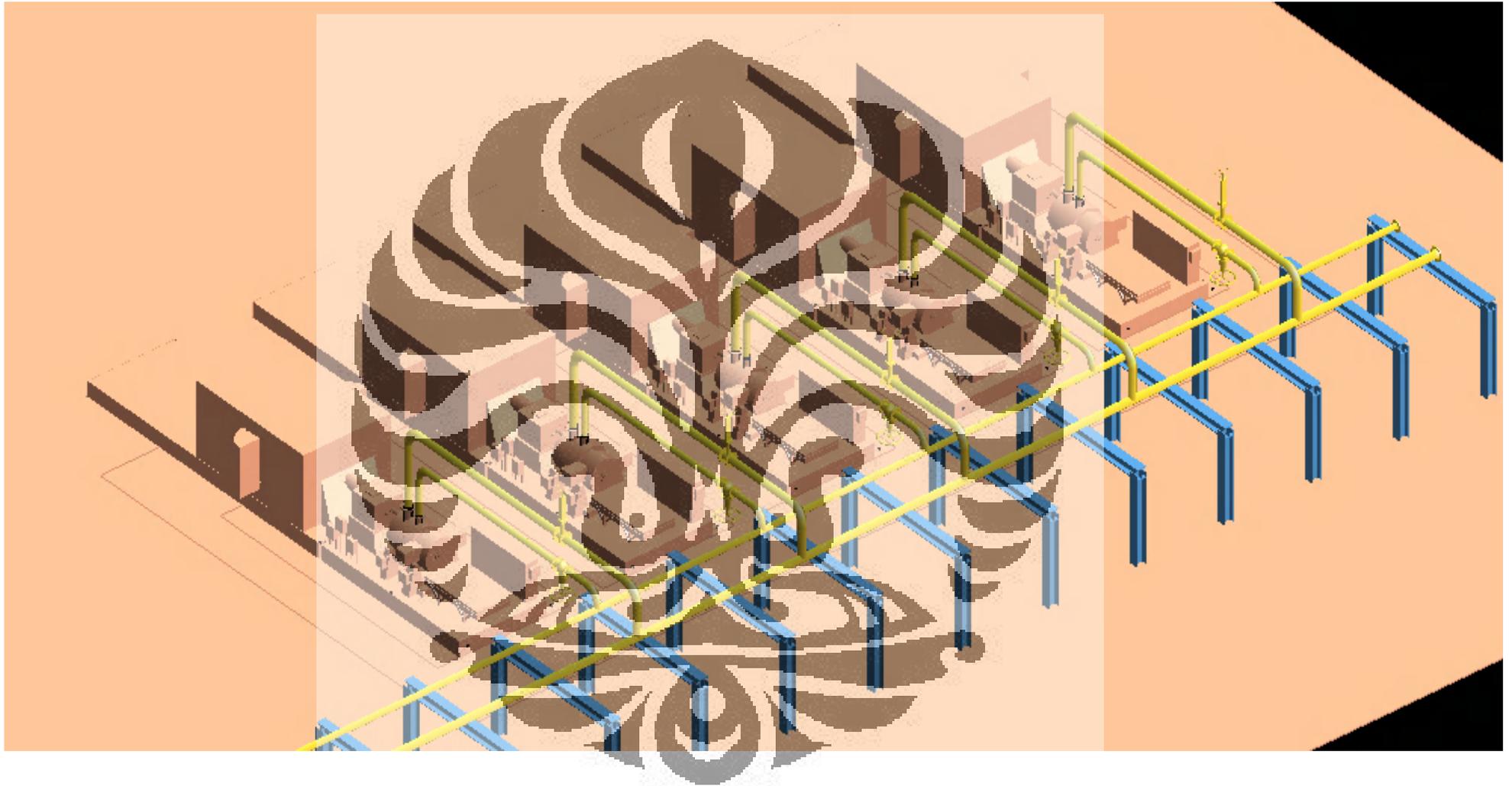
Lampiran 3 Plot plan fasilitas regasifikasi (*vaporizer*)



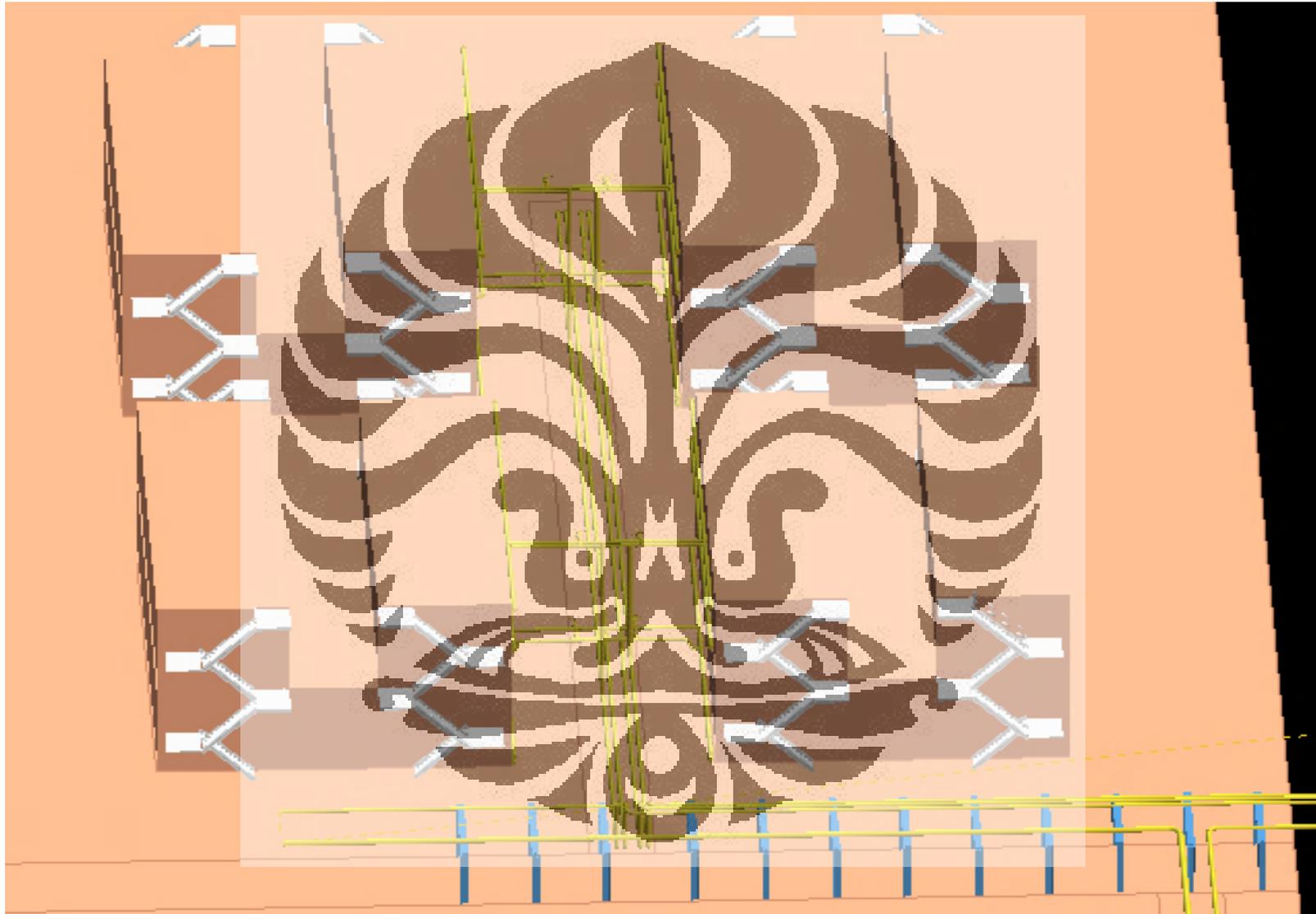
Lampiran 4 Plot plan fasilitas BOG compressor



Lampiran 5 Model Tiga Dimensi *Compressor* dengan Perpipaan



Lampiran 6 Model Tiga Dimensi *Open Rack Vaporizer* dengan Perpipaan



Lampiran 7 Model Tiga Dimensi Sistem Perpipaan di Dalam *Open Rack Vaporizer*



Lampiran 8 Layout Model 3D *LNG Regasification Facility & BOG Compressor*

