

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Sebelum membahas tentang optimalisasi pengoperasian *reliquefaction plant* untuk menangani permasalahan dalam proses pemuatan gas LPG di kapal MT. Gas Komodo, maka penulis terlebih dahulu melakukan tinjauan pustaka guna mempermudah pemahaman atas makalah ini. Penulis melakukan tinjauan pustaka bertujuan untuk memahami secara teori baik yang bersumber dari buku-buku sehingga diperoleh beberapa pengertian yang berkaitan dengan masalah yang diangkat dalam makalah ini. Untuk itu penulis akan melakukan tinjauan pustaka berdasarkan dasar-dasar di atas.

a. Optimalisasi

Menurut Bambang Endroyo (2011:11) kata “optimalisasi” adalah proses peningkatan sesuatu dengan perbuatan dan juga dengan pikiran. Sedangkan menurut Suryabrata (2006:73) berpendapat bahwa optimalisasi adalah perbuatan untuk meningkatkan kualitas suatu benda.

b. *Reliquefaction Plant*

Menurut McGuire and White (2016:87) *With the exception of fully pressurised gas carriers, means must be provided to control cargo vapour pressure in cargo tanks during cargo loading and on passage. In the case of LPG and chemical gas carriers, a reliquefaction plant is fitted for this purpose* (Terjemahan bebas penulis: Dengan pengecualian dari kapal

tekanan penuh, yang artinya harus disediakan untuk mengontrol tekanan *vapour* muatan pada tangki muat selama melakukan pemuatan dan pada pelayaran. Pada kasus dari kapal pengangkut gas LPG dan *chemical*, *reliquefaction plant* dipasang untuk keperluan ini).

a. Fungsi

Sistem peralatan ini (*reliquefaction plant*) dirancang khusus untuk melakukan fungsi-fungsi penting:

- 1) Mendinginkan tangki muatan dan pipa-pipa muatan sebelum melakukan pemuatan.
- 2) Untuk mengubah uap muatan kembali ke dalam bentuk cair pada saat proses pemuatan tanpa menggunakan *vapour return* (Jalur kembali uap muatan) yang terhubung ke terminal.
- 3) Untuk menjaga atau menurunkan temperatur muatan dan tekanan tangki muat pada saat berlayar.

Zat mempunyai wujud padatan, cairan, dan uap. Dalam perubahan padatan ke cairan atau cairan ke uap, panas harus diberikan dalam zat tersebut. Dengan cara yang sama perubahan dari gas ke cairan atau cairan ke padatan, zat harus menghilangkan panas. Menurut McGuire and White (2016, page 29) *The heat given to or given up by the substance in changing state is called latent heat* (Terjemahan bebas penulis: Panas yang diberikan atau dihilangkan dari zat dalam merubah wujud padatan ke cairan dan ke uap atau sebaliknya disebut panas

laten). Panas laten dari penguapan dan pengembunan adalah sama. Selanjutnya pada (page 31) *vaporisation or con-densation of a pure substance occurs at a temperature which varies widely depending upon the pressure exerted* (Terjemahan bebas penulis: penguapan dan pengembunan dari sebuah zat yang murni terjadi pada suhu yang bervariasi secara luas tergantung pada tekanan yang diberikan.

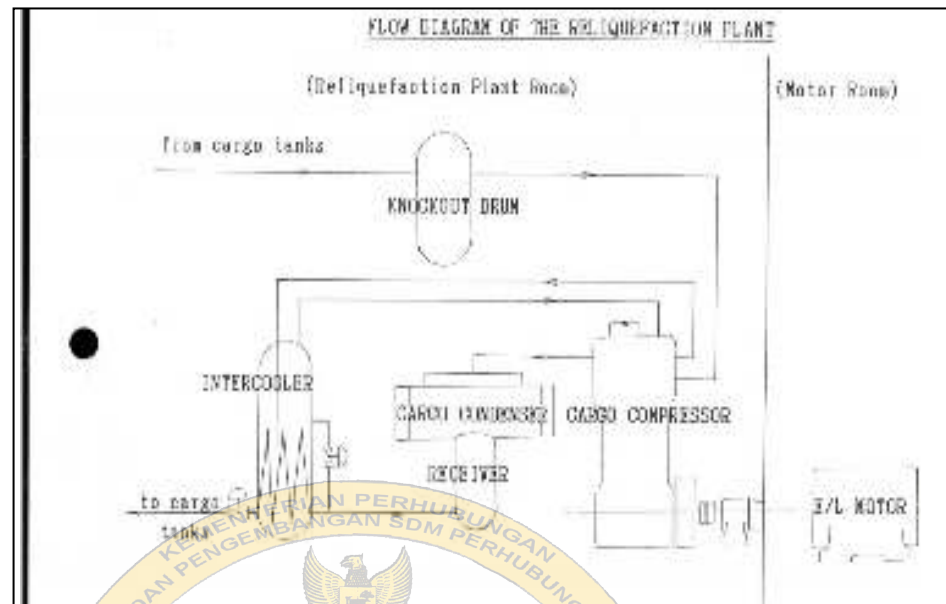
Panas laten dari penguapan bervariasi dengan tekanannya). perubahan wujud suatu zat dan hubungan antara panas yang diberikan dengan kenaikan suhu. Uap dalam ruang di atas cairan tidak statis karena molekul - molekul yang terus kembali ke cairan, hanya sebagai molekul yang meninggalkan cairan untuk memasuki uapnya. Evaporasi adalah proses yang mana jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan menuju ke uap lebih banyak dari jumlah molekul yang memasuki cairan dari uap. Tekanan uap adalah tekanan yang diberikan pada uap dari sebuah zat pada suhu tertentu. Ruang diatas cairan dikatakan menjadi jenuh pada suhu tertentu jika ruang tersebut tidak dapat menerima uap lagi pada kondisi tersebut dan uap setimbang dengan cairan pada suhu tertentu. Tekanan yang diberikan pada suhu tertentu tersebut dinamakan tekanan uap jenuh.

Dalam kaitannya dengan *density* dalam buku Menurut McGuire and White (2016, p. xxi) dijelaskan bahwa *density* dari cairan diartikan sebagai massa per satuan volume. *Density* cairan menurun dengan naiknya suhu. Sedangkan *density* uap jenuh dari *liquefied*

gases naik dengan naiknya suhu. Hal ini karena uap muatan bersinggungan dengan cairannya dan ketika suhu naik, cairan muatan tersebut lebih banyak dirubah menjadi uap muatan untuk menaikkan tekanan uap muatan. Hal ini menghasilkan massa yang cukup besar per satuan *volume* didalam ruang berisi uap muatan. Dari hal di atas maka naiknya suhu dapat menurunkan *density* cairan dan menaikkan *density* uap jenuh, dengan kata lain ketika suhu naik massa cair menjadi semakin ringan dan massa uap muatan menjadi lebih berat yang selanjutnya akan menaikkan tekanan pada tangki.

Jadi menurut uraian diatas pada intinya menjelaskan bahwa hubungan antara suhu dan tekanan muatan dalam tanki muatan adalah berbanding lurus dalam proses penanganan muatan di kapal gas *LPG*, apabila suhu muatan naik tekanan muatan di dalam tanki menjadi naik dan sebaliknya apabila suhu muatan menurun maka tekanan muatan di dalam tanki menjadi turun. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kelancaran proses pemuatan *LPG* karena pada saat melaksanakan proses pemuatan tekanan tanki selalu bertambah seiring dengan muatan yang masuk ke dalam tanki. Kenaikan tekanan ini berarti juga kenaikan tekanan balik yang berlawanan dengan tekanan aliran muatan, sehingga berpotensi memperkecil *loading rate* (kecepatan pemuatan). *Loading rate* Dapat berakibat lebih lamanya waktu saat proses pemuatan.

Di bawah ini adalah bagian-bagian dari *reliquefaction plant* :



Sumber: *manual book*

Gambar 2.0. Bagian-bagian dari *reliquefaction plant*

b. Bagian - bagian

Dari Gambar 3.2 di atas bagian-bagian dari *reliquefaction plant* adalah sebagai berikut:

- 1) *Knockout drum*



Sumber: Foto dari kapal Mt. Gas Komodo

Gambar 2.1. *Knock out drum*

Berfungsi untuk memisahkan uap muatan dengan embun dan kandungan-kandungan lainnya agar embun dan kandungan-kandungan lainnya tidak ikut terhisap oleh *cargo compressor*.

2) *Cargo Compressor*



Sumber: Foto dari kapal Mt. Gas Komodo

Gambar 2.2. *Cargo compressor*

Berfungsi untuk menghisap uap muatan dari dalam tangki muatan.

3) *Inter Cooler*



Sumber: Foto dari kapal Mt. Gas Komodo

Gambar 2.3. *Intercooler*

Intercooler berfungsi untuk mendinginkan *vapour* (uap muatan)

4) *Cargo Condensor*



Sumber: Foto dari kapal Mt. Gas Komodo

Gambar 2.4. *Cargo condensor*

Berfungsi untuk mengubah uap muatan menjadi cairan gas diambil dalam tangki dan mengolahnya di dalam *condensor* yang hasilnya akan di kembalikan ke dalam tangki muatan yang kemudian dapat menjadi bentuk cair.

5) *Electric Motor*



Sumber: Foto dari kapal Mt. Gas Komodo

Gambar 2.5. *Electric motor*

Fungsi *electric motor* adalah untuk menggerakkan *cargo compressor*.

6) *Expantion Valve*

Sumber: Foto dari kapal Mt. Gas Komodo

Gambar 2.6. *Expantion valve*

Berfungsi untuk menurunkan tekanan *vapour* yang sudah berwujud cair sebelum di kembalikan ke tangki muatan.

c. **Muatan gas dan kapal *gas carrier***

Menurut Menurut McGuire and White (2016:xxiv) *LPG is the abbreviation for liquefied petroleum gas. This group of products includes propane and butane which can be shipped separately or as a mixture. LPG may be refinery by-products or may be produced in conjunction with crude oil or natural gas* (Terjemahan bebas penulis: LPG adalah kepanjangan dari *liquified petroleum gas*. Kelompok dari produk ini adalah termasuk *propane* dan *butane* yang mana bisa diangkut secara terpisah atau

dicampur. LPG mungkin diproduksi atau bisa dihasilkan dari kombinasi minyak mentah atau gas alam).

LPG merupakan bahan bakar berupa gas yang dicairkan (*Liquified Petroleum Gasses*) merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses distilasi bertekanan tinggi pada pengkilangan. Fraksi yang digunakan sebagai umpan dapat berasal dari beberapa sumber yaitu dari gas alam atau LNG maupun gas hasil dari pengolahan minyak bumi (*Light End*).

a. Komponen utama LPG terdiri dari :

1) *Hidrokarbon Propana (C₃H₈)*

Propane		C ₃ H ₈	
Thermodynamic and Physical Data			
Molecular weight	44.10	g/mol	
Boiling point at 1.013 bar	-42.05	°C	
Boiling point at 1.013 bar	-42.05	°C	
Critical temperature	96.85	°C	
Critical pressure	42.4	bar	
Relative density at 0 °C, 1.013 bar (air = 1)	1.55		
Specific heat at 25 °C	1.131		
Safety Data on Flammability			
Flash point	-	°C	
Ignition point	470	°C	
Explosion limit in air (lower value)	2.1	Vol-%	
Explosion limit in air (upper value)	9.5	Vol-%	
Temperature class acc. to VDE	T ₁		
Explosion group acc. to DIN	IIA		
*) only given for gases which are liquid under standard conditions.			
Biological Data (Toxicity)			
Threshold of smell	5000-20000	ppm (v/v)	
MAK-FPG	1000	ppm (v/v)	
Threshold limit value (TWA)-USA	-	ppm (v/v)	
Threshold limit value (STEL)-USA	-	ppm (v/v)	
General Properties			
Propane is a colourless, odourless, non-poisonous, inflammable gas which in high concentrations and in air acts as an anaesthetic when in-		haled. Miscible in any proportion with mineral oils. It has no specific effect on the usual materials.	

Sumber: *manual book*

Gambar 2.7. Spesifikasi gas *propane (C₃H₈)*

Karakteristik Propana

Propana banyak digunakan di Amerika Utara sebagai bahan bakar untuk pemanas rumah dan juga tersedia dalam tangki portabel yang lebih kecil. Propana yang dicampur dengan sejumlah kecil zat lain seperti butilena, propilena, dan butana, dapat digunakan sebagai bahan bakar mobil yang dikenal sebagai liquefied petroleum gas (LPG). Gas ini tidak berbau sehingga sering dicampur dengan ethanethiol yang memiliki bau yang kuat sehingga mudah dideteksi jika terjadi kebocoran. Jika harus disimpan untuk waktu yang lama atau dalam kondisi cuaca yang berubah, propana biasanya merupakan pilihan yang lebih baik dibandingkan butana. Propana relatif mudah untuk dicairkan dan dikompres dan memiliki titik didih -42°C . Propana dengan mudah dapat disimpan di hampir semua lingkungan karena suhu di bawah titik beku tidak akan mempengaruhi karakteristiknya. Tidak seperti gas alam, propana lebih berat dari udara (1,5 kali lebih padat). Dalam keadaan mentah, propana akan berada di dasar. Propana cair akan menguap pada tekanan atmosfer dan tampak putih karena kondensasi uap air dari udara. Bila terbakar tepat, propana menghasilkan sekitar 50 MJ / kg. Panas kotor pembakaran satu meter kubik propana adalah sekitar 91

Sumber: *Gas specification*

2) *Hidrokarbon Butana (C₄H₁₀)*

N-Butane		C ₄ H ₁₀	
Thermodynamic and Physical Data			
Molecular weight	58.12	kg/m ³	
Freezing point at 1.013 bar	-138.34	°C	
Boiling point at 1.013 bar	-0.67	°C	
Critical temperature	152.04	°C	
Critical pressure	38	bar	
Relative density at 0 °C, 1.013 bar (air = 1)	2.48		
Specific heat ratio (cp/cv)	1.305		
Safety Data on Flammability			
Flash point °C	-	°C	
Ignition point	355	°C	
Explosion limit in air (lower vol%)	1.5	Vol-%	
Explosion limit in air (upper vol%)	8.5	Vol-%	
Minimum ignition energy (MJ)	T2		
Explosion group acc. to DIN	I.A.		
* Toxic gas for gases which are liquid under standard conditions			
Biological Data (Toxicity)			
Threshold limit value	6000	ppm (v/v)	
TLV-COS	1000	ppm (v/v)	
Threshold limit value (WHS USA)	800	ppm (v/v)	
Threshold limit value (STEL USA)	1400	ppm (v/v)	
General Properties			
N-butane is a colorless, practically odorless, non-poisonous inflammable gas; it has a stronger anesthetic effect than propane. The inhalation of		butane causes 5% for 90 minutes produces slight depression. Readily miscible with mineral oils. It has no specific effect on the laboratory test.	

Sumber: *manual book*

Gambar 2.8. Spesifikasi gas *butane*(C₄H₁₀)

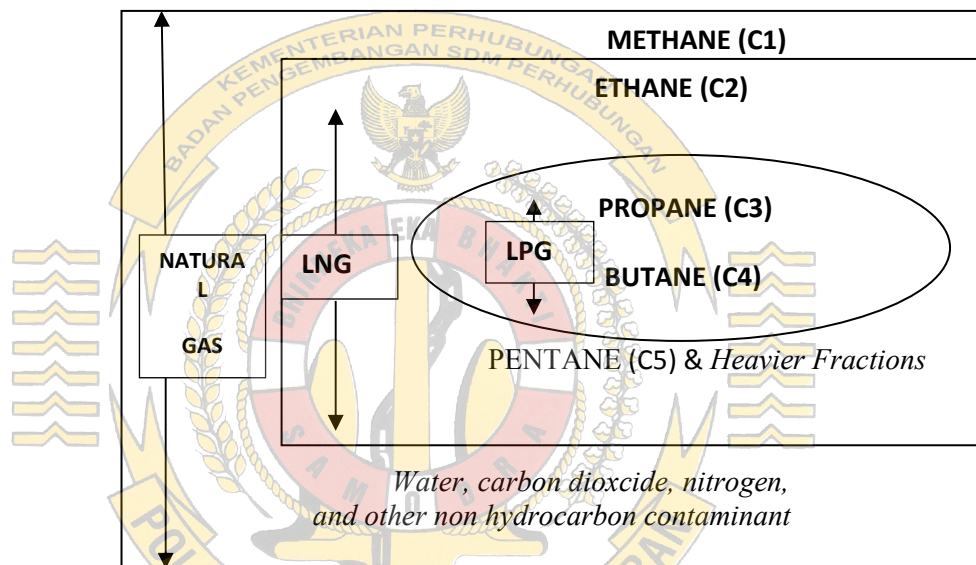
Karakteristik Butana

Butana merupakan gas yang populer digunakan sebagai bahan bakar untuk berbagai keperluan. Aerosol juga menggunakan butana sebagai propelan. Meskipun umumnya lebih murah daripada propana, butana relatif lebih jarang digunakan sehingga tidak semua alat kompatibel. Gas ini memiliki titik didih di sekitar titik beku air (0 °C) sehingga tidak efektif digunakan pada suhu yang sangat rendah. Di bawah titik didihnya, butana tetap cair sehingga tidak terdapat perubahan tekanan untuk memaksa gas keluar dari wadahnya. Salah satu keuntungan butana adalah tingginya efisiensi

bakarnya. Jika *volume* yang sama dari kedua gas (propana dan butana) dibakar pada suhu di atas titik beku, butana akan memberikan sekitar 12% lebih banyak *energy*

Sumber: *Gas specification*

Pengelompokan antara gas alam, LNG dan LPG dapat dilihat pada gambar 2.9 di bawah ini :



Sumber : (*Liquefied Gas Handling Principles LPG-LNG*, p.3)

Gambar 2.9. Pengelompokan Gas alam

Berdasarkan uraian gambar 2.9 dijelaskan bahwa *Liquefied Petroleum Gas* adalah salah satu hasil bumi yang terdiri dari *propane* dan *butane* atau campuran dari keduanya yang memiliki sifat tidak berbau dan tidak berwarna namun memiliki tingkat bahaya terhadap kebakaran yang sangat tinggi. Menurut McGuire and White (2012:10,11) menjelaskan bahwa kapal gas adalah kapal

barang yang dibangun dan dirancang untuk dapat mengangkut muatan secara curah semua jenis gas yang dicairkan.

- b. Kapal gas dibagi beberapa jenis menurut tangki muatannya antara lain sebagai berikut:

1) *Fully pressurised ship*

Kapal *fully pressurised* merupakan tipe kapal yang paling sederhana dari semua tipe pengangkut gas, membawa muatan pada suhu *ambient* dengan tipe tangki muatan "C" yang mempunyai tekanan sekitar 18 bar, mempunyai kapasitas ruang muatan antara 4.000 m³ sampai 6.000 m³ kapal ini digunakan untuk membawa LPG dan amonia.

2) *Semi pressurized ship*

Kapal tipe *semi pressurised* ini merupakan jenis kapal yang dapat melakukan pemuatan dan pembongkaran secara *fully refrigerated* dan *fully pressurised*, mempunyai *volume* muat antara 3.000 m³ sampai 15.000 m³ dengan suhu yang dingin antara 4°C sampai 8°C dan tekanan antara 3.5 Bar sampai 4.5 Bar, kapal ini dapat memuat muatan LPG dalam bentuk *fully refrigerated* dan *fully pressurised*.

3) *Ethylene and gas / chemical carriers*

Kapal ini mempunyai kelebihan dengan dapat memuat muatan selain muatan LPG, kapal ini dapat memuat *ethylene* yang mempunyai *boiling point* -104°C, serta mempunyai kapasitas

ruang muat antara 1.000 m³ sampai 12.000 m³, dengan *specific gravity* 1.8 pada temperatur minimum -104°C sampai +80°C, kapal tipe ini dapat melakukan pemuatan dan pembongkaran secara *pressurised* dan *refrigreated*.

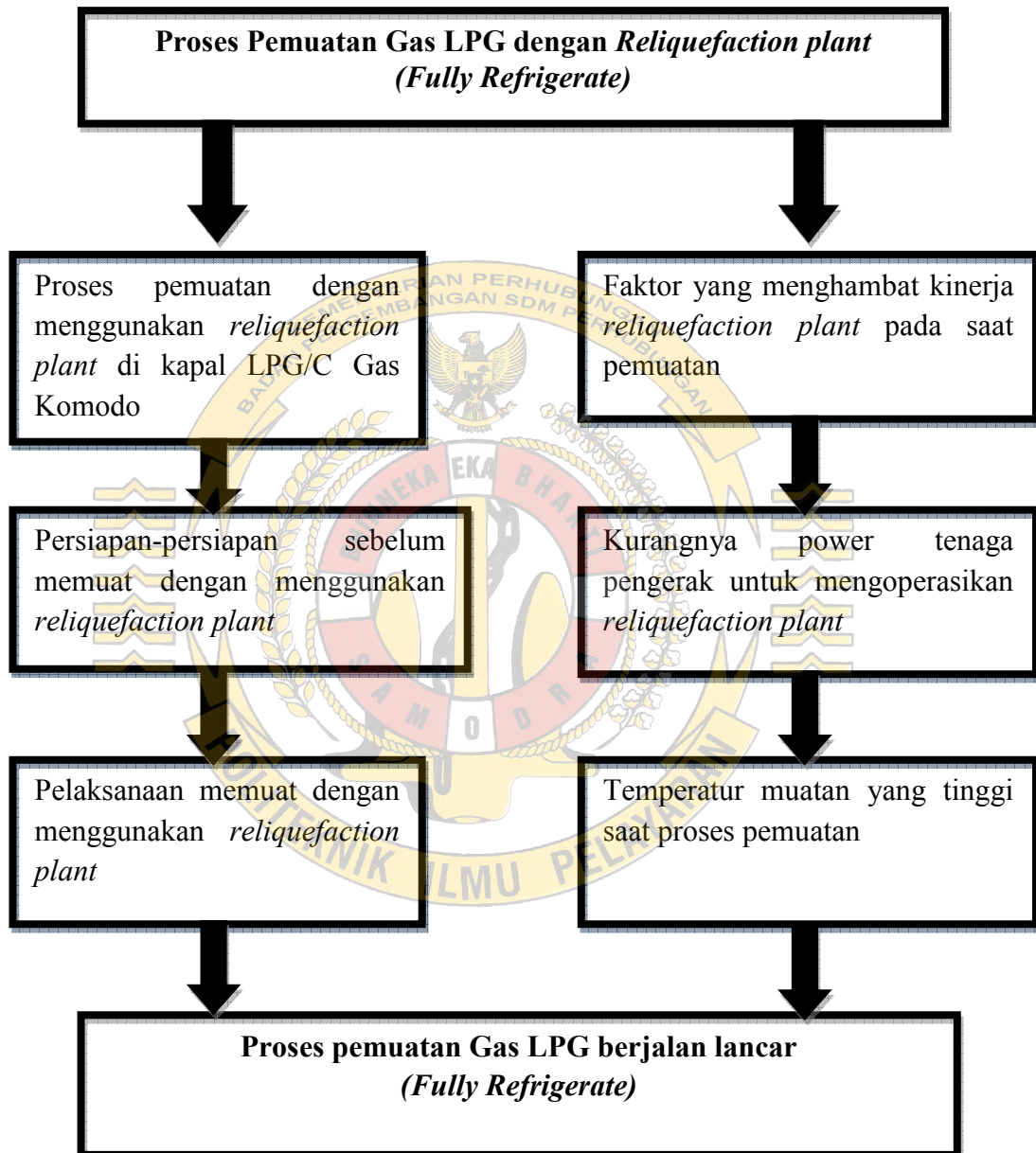
4) *Fully refrigerated ship*

Kapal dengan kapasitas ruang muat besar yang berkisar antara 20.000 m³ sampai 100.000 m³ dapat memuat muatan dengan temperatur -48°C, jenis muatan yang dapat dimuat oleh kapal tipe ini yaitu : LPG, *ammonia*, and *vinyl chloride*.

5) *Liquefied natural gas (LNG) carrier*

Kapal ini mempunyai kapasitas antara 125.000 m³ sampai 135.000 m³, Muatan LNG di angkut dalam temperatur -162 °C, kapal ini hanya dapat memuat muatan jenis LNG atau muatan gas *chemical* lainnya.

B. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 2.10. Kerangka pikir penelitian

C. Definisi Operasional

Untuk memudahkan pembahasan skripsi dengan judul yang di maksud diatas, maka di susunlah pengertian–pengertian dan istilah-istilah yang terdapat dalam pembahasan skripsi pada tiap-tiap bab, diantaranya sebagai berikut:

1. *Contigency Plan* : Rencana darurat yang harus dilakukan pada saat keadaan darurat.
2. (ESD) *Emergency Shut Down* : *ESD System (Emergency Shutdown)* adalah suatu sistem yang digunakan dalam industri perminyakan sebagai sistem pelindung (*safety*) dari bahaya – bahaya seperti kebakaran, dan ledakan.
3. *Ethylene and gas / chemical carriers* : Kapal ini mempunyai kelebihan dengan dapat memuat muatan selain muatan LPG, kapal ini dapat memuat *ethylene* yang mempunyai *boiling point* -104°C , serta mempunyai kapasitas ruang muat antara 1.000 m^3 sampai 12.000 m^3 , dengan *specific gravity* 1.8 pada temperatur minimum -104°C sampai $+80^{\circ}\text{C}$, kapal tipe ini dapat melakukan pemuatan dan pembongkaran secara *pressurised* dan *refrigreated*.

4. Evaporasi : proses yang mana jumlah molekul yang meninggalkan permukaan cairan menuju ke uap lebih banyak dari jumlah molekul yang memasuki cairan dari uap.
5. *Fully pressurised ship* : Kapal *fully pressurised* merupakan tipe kapal yang paling sederhana dari semua tipe pengangkut gas, membawa muatan pada suhu *ambient* dengan tipe tangki muatan “C” yang mempunyai tekanan sekitar 18 bar, mempunyai kapasitas ruang muatan antara 4.000 m³ sampai 6.000 m³ kapal ini digunakan untuk membawa LPG dan amonia
6. *Fully Refrigerate ship* : Kapal dengan kapasitas ruang muat besar yang berkisar antara 20.000 m³ sampai 100.000 m³ dapat memuat muatan dengan temperatur -48°C, jenis muatan yang dapat dimuat oleh kapal tipe ini. Tangki prismatic memungkinkan daya dukung Cargo kapal dimaksimalkan, sehingga membuat kapal berpendingin sepenuhnya sangat sesuai untuk membawa muatan kargo dalam jumlah besar seperti LPG,

7. *Liquefied natural gas (LNG) carrier* : Kapal ini mempunyai kapasitas antara 125.000 m³ sampai 135.000 m³, Muatan LNG di angkut dalam temperatur -162 °C, kapal ini hanya dapat memuat muatan jenis LNG atau muatan gas *chemical* lainnya
8. LNG : *Liquified natural gas*
9. *Loading rate* : Kecepatan pemuatan yang dihitung tiap jam dan mencatat perubahannya.
10. LPG : *Liquified Petroleum Gas* adalah senyawa hidrokarbon berupa *propana, butana*, dan campuran keduanya
11. *Pre-On Board Training* : Pelatihan-pelatihan ABK yang dilakukan perusahaan sebelum naik dikapal.
12. *Reliquefaction pant* : Sebuah sistem peralatan yang ada di kapal gas *fully refrigerate* yang berfungsi untuk menurunkan tekanan tangki dan *temperature* muatan pada saat bongkar muat dan penanganan muatan, yang telah terhubung dengan semua tangki muatan. Sehingga dapat mengontrol keseluruhan.

13. *Semi pressurized ship* : Kapal tipe *semi pressurised* ini merupakan jenis kapal yang dapat melakukan pemuatan dan pembongkaran secara *fully refrigerated* dan *fully pressurised*, mempunyai *volume* muat antara 3.000 m³ sampai 15.000 m³ dengan suhu yang dingin antara 4°C sampai 8°C dan tekanan antara 3.5 Bar sampai 4.5 Bar, kapal ini dapat memuat muatan LPG dalam bentuk *fully refrigerated* dan *fully pressurised*.
14. *Ship's Particular* : Data-data lengkap sebuah kapal
15. *Vapour* : Uap Muatan
16. *Vapour return* : Jalur kembali uap muatan