

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Tinjauan Pustaka

Guna mendukung pembahasan analisa dalam upaya menurunkan tekanan pada tangki guna kelancaran proses pemuatan di LPG/C Gas Walio dengan menggunakan sistem perubahan muatan gas menjadi cair menggunakan *Reliquefaction Plant*, perlu diketahui dan dijelaskan beberapa teori-teori penunjang yang penulis ambil dari beberapa sumber pustaka dan observasi di lapangan secara langsung tepatnya di atas kapal selama penulis menjalani praktek laut, yang berkaitan dengan pembahasan skripsi ini. Landasan teori ini berisi tentang sumber teori yang kemudian akan menjadi dasar dari pada penelitian. Sumber teori tersebut nantinya akan menjadi kerangka atau dasar dalam memahami latar belakang dari suatu permasalahan secara sistematis.

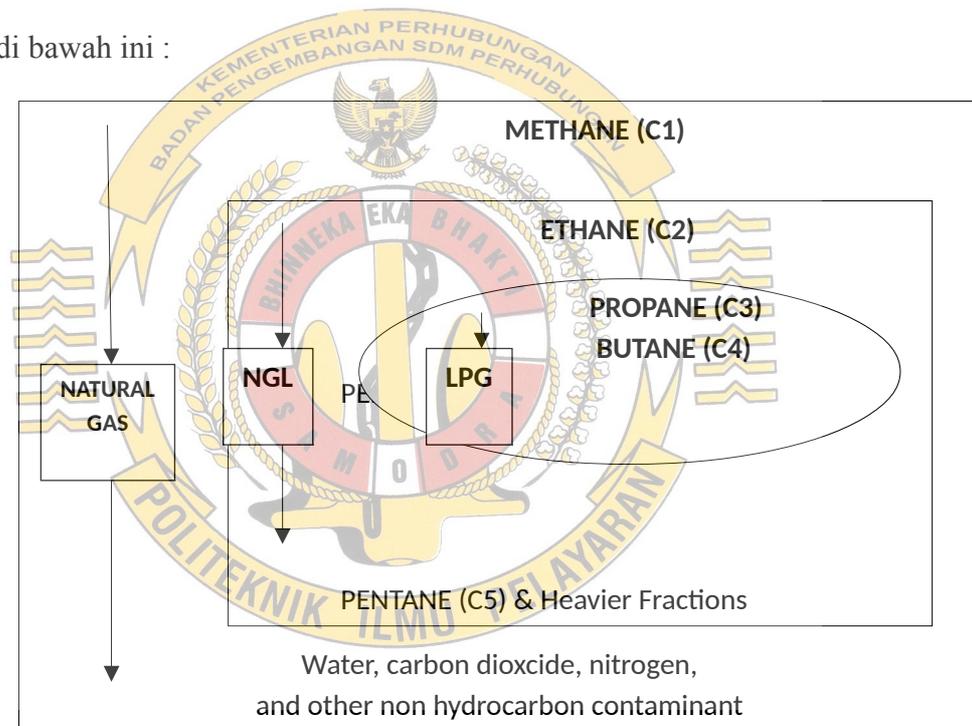
#### 1. Muatan gas dan kapal *gas carrier*

Menurut *International Maritime Organisation* dalam *IGC Code Chapter 3* (2007, p.6) menjelaskan bahwa : “*Liquefied gas is a liquid which has saturated vapour pressure exceeding 2.8 bar absolute at 37.8 °C and certain other substance specified in the gas codes*”, yang dapat diartikan sebagai berikut yaitu : Gas cair adalah cairan yang mempunyai tekanan vapour absolute melampaui 2.8 bar pada temperature 37.8 °C dan zat-zat lain sebagaimana yang ditetapkan di dalam kode gas.

Menurut (<http://liquifiedpetroleumgas.blogspot.com/LPG>, 2013, p. 1) LPG merupakan bahan bakar berupa gas yang dicairkan (*Liquified Petroleum*

*Gasses*) merupakan produk minyak bumi yang diperoleh dari proses distilasi bertekanan tinggi. Fraksi yang digunakan sebagai umpan dapat berasal dari beberapa sumber yaitu dari Gas alam maupun Gas hasil dari pengolahan minyak bumi (*Light End*). Komponen utama LPG terdiri dari *Hidrokarbon* ringan berupa *Propana* ( $C_3H_8$ ) dan *Butana* ( $C_4H_{10}$ ), serta sejumlah kecil *Etana* ( $C_2H_6$ ) dan *Pentana* ( $C_5H_{12}$ ).

Pengelompokan antara Gas alam, NGL dan LPG dapat dilihat pada diagram di bawah ini :



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

Gambar 2.1 Pengelompokan antara Gas alam, NGL dan LPG

Menurut uraian di atas peneliti mengambil kesimpulan 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 bila terkena percikan api sekecil apapun dapat menyebabkan kebakaran yang sangat tinggi.

Menurut SIGTTO (2008:10,11) yang menjelaskan bahwa kapal gas adalah kapal barang yang dibangun dan dirancang untuk dapat mengangkut muatan secara curah semua jenis gas yang dicairkan.

1). Kapal gas menurut muatannya dibagi dalam beberapa jenis antara lain

:

a). *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 m<sup>3</sup> sampai 6.000 m<sup>3</sup> kapal ini digunakan untuk membawa LPG dan amonia.

b). *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 m<sup>3</sup> sampai 15.000 m<sup>3</sup> 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*.

c). *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<sup>3</sup> sampai 12.000 m<sup>3</sup>, dengan *specific gravity*

1.8 pada temperatur minimum  $-104^{\circ}\text{C}$  sampai  $+80^{\circ}\text{C}$ , kapal tipe ini dapat melakukan pemuatan dan pembongkaran secara *pressurised* dan *refrigreated*.

d). *Fully refrigerated ship*

Kapal dengan kapasitas ruang muat besar yang berkisar antara  $20.000\text{ m}^3$  sampai  $100.000\text{ m}^3$  dapat memuat muatan dengan temperatur  $-48^{\circ}\text{C}$ , jenis muatan yang dapat dimuat oleh kapal tipe ini yaitu : *LPG, ammonia, and vinyl chloride*.

e). *Liquefied natural gas (LNG) carrier*

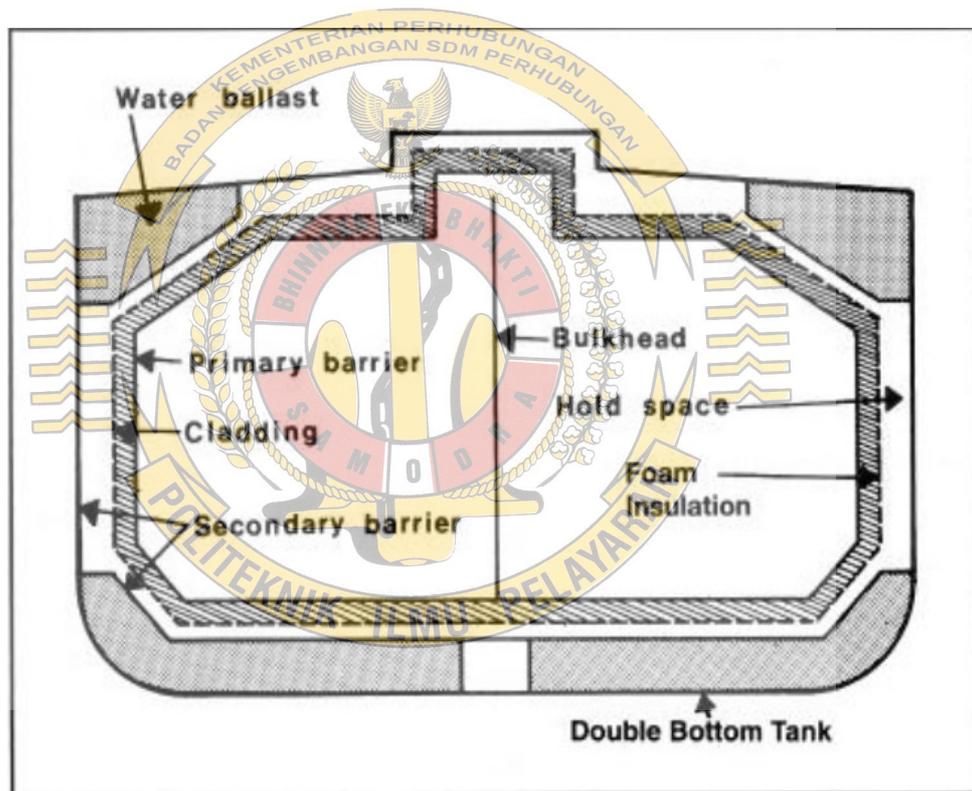
Kapal ini mempunyai kapasitas antara  $125.000\text{ m}^3$  sampai  $135.000\text{ m}^3$ , Muatan LNG di angkut dalam temperatur  $-162^{\circ}\text{C}$ , kapal ini hanya dapat memuat muatan jenis LNG, dan tidak ada yang lain.

## 2. Tangki Muatan

Kapal pengangkut *LPG fully refrigerated* memuat *LPG* dalam keadaan tekanan udara luar sehingga sebagai dampaknya *LPG* harus berada pada suhu mendekati titik didihnya. Menurut *OERC Academy (2004:38)* “kapal *LPG fully refrigerated* membawa *LPG* pada suhu diantara  $-55^{\circ}\text{C}$  dan  $-0.5^{\circ}\text{C}$ ”. Kapal *LPG fully refrigerated* menggunakan tangki *independent* tipe “A”. Menurut White dan McGuire (2000, p. 59) “tangki *independent* sepenuhnya *self-supporting* (menyokong dirinya sendiri) bukan termasuk bagian dari struktur lambung kapal, selain itu juga tidak mempengaruhi kekuatan lambung kapal”. Tangki tipe ‘A’ memiliki bentuk prisma dan datar. Tekanan maksimal yang diizinkan pada desain ini adalah sampai  $0.7\text{ bar gauge}$ . Artinya muatan harus diangkut dalam keadaan *fully refrigerated* pada tekanan atmosfer. Hal ini disebabkan adanya batasan tekanan maksimal

pada tangki maka terdapat *relief valve* yang berfungsi melepaskan uap muatan secara otomatis ketika tekanan didalam tangki melebihi tekanan maksimal yang telah ditetapkan.

Disamping hal tersebut bahan yang digunakan untuk konstruksi tangki mampu menahan suhu yang rendah biasanya baja seperti *fully killed, fine-grain, carbon-manganese steel*, kadang-kadang menggunakan campuran 0.5% nikel.

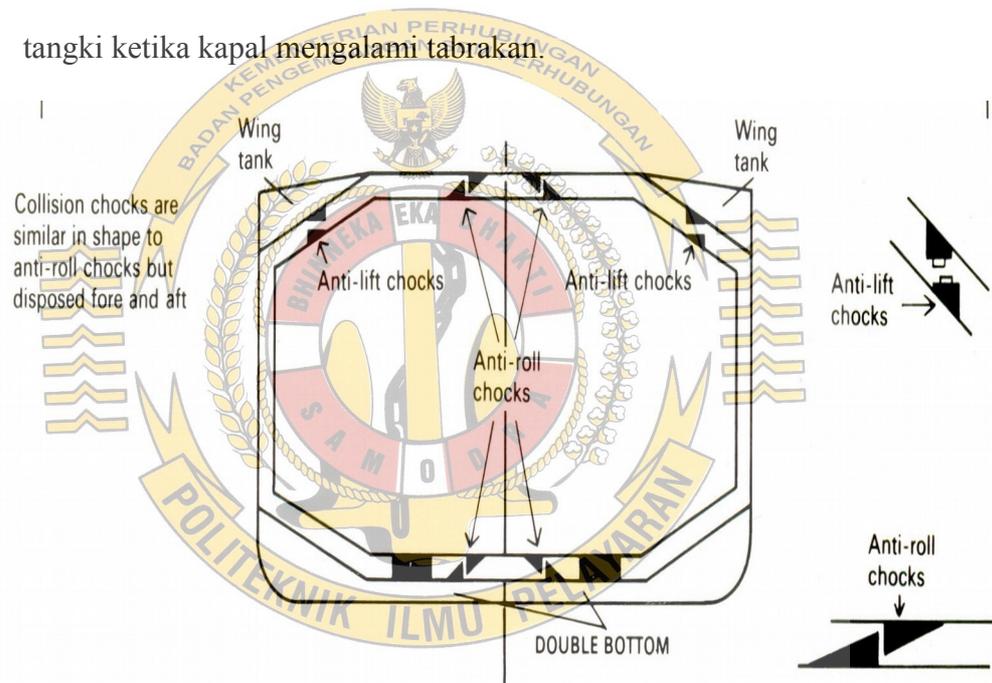


Sumber : (*Liquefied Gas Tanker Specialized Training Programme*, p. 30)

Gambar 2.2 Penampang Melintang Tangki

Seperti terlihat pada gambar 2.2 terdapat *secondary barrier* yang berfungsi untuk menampung kebocoran muatan dari tangki . Setiap tangki terpasang penampang-penampang melintang, sementara terdapat *longitudinal bulkhead* pada *centre line* untuk mengurangi *free surface effect* sehingga meningkatkan stabilitas kapal.

Pada gambar 2.5 dibawah tangki dipasang penyokong kayu yang terpasang pada lambung kapal untuk mengizinkan ekspansi dan kontraksi selain itu juga terdapat *anti-floating chock* untuk menghindari tangki terangkat ketika terjadi kebocoran tangki balast. Juga terdapat *anti-roll chock* yang terpasang pada *solid floor* dan di atas *double bottom* untuk menjaga tangki tetap berada pada tempatnya ketika kapal dalam keadaan miring karena ombak. Juga terdapat *collision chock* untuk mencegah benturan pada tangki ketika kapal mengalami tabrakan.



Sumber : (Liquefied Petroleum Gas Tanker Practice, p.39)

Gambar 2.3 penampang melintang *hold space* kapal

### 3. Penanganan Suhu Pada Tangki Muatan

Sebelum tangki siap untuk memuat, suhu didalam tangki didinginkan sampai dibawah suhu titik didih dari muatan LPG, hal ini bertujuan agar muatan LPG yang masuk ke dalam tangki saat memuat tidak cepat menguap menjadi uap muatan sehingga tangki siap untuk dimuati.

Menurut *OERC Academy (Ocean Education Research Centre)* (2004: 85) pendinginan tangki dilakukan dengan memasukkan muatan cair secara perlahan ke dalam tangki melalui *cooling down line* atau *sistem spray line*.

Muatan LPG cair akan cenderung menguap ketika masuk ke dalam tangki yang hangat selanjutnya akan mengambil panas pada atmosfer dan kulit tangki. Pada kapal penulis terdapat sisa muatan pada setiap tangki setelah kapal selesai bongkar. Sisa muatan tersebut bertujuan untuk tetap menjaga suhu tangki tidak terlalu jauh dari titik didih muatan yang akan dimuat nantinya, karena suhu di luar tangki lebih panas menyebabkan suhu didalam tangki akan naik. Pada saat kapal akan memuat maka *reliquefaction system* dijalankan. Uap muatan didalam tangki dihisap oleh kompresor muatan sebagai bagian dari *reliquefaction system* dan dikembalikan ke dalam tangki dalam bentuk cair melalui *condensate line* selanjutnya didalam tangki, cairan muatan keluar dari *spray line* secara menyebar (*spray*). Begitu juga pada saat pelaksanaan pemuatan, suhu tangki harus tetap dijaga mendekati titik didih muatannya untuk menghindari penguapan didalam tangki yang terlalu cepat yang selanjutnya akan menaikkan tekanan pada tangki. Untuk LPG propana memiliki suhu titik didih  $-42.3^{\circ}\text{C}$  dan LPG butana memiliki  $-0.5^{\circ}\text{C}$  sedangkan tangki pada kapal LPG *fully refrigerated* memiliki batas suhu sampai  $-50^{\circ}\text{C}$ .

#### **4. Penanganan Tekanan Pada Tangki Muatan**

Dalam persiapan pemuatan, saat pendinginan tangki dilaksanakan maka suhu didalam tangki akan menurun sehingga uap muatan didalamnya akan berubah kembali menjadi cair. Berkurangnya uap muatan didalam tangki akan menurunkan tekanan tangki. Menurut White dan McGuire (2000,

p. 163) ”pendinginan tangki perlu dilaksanakan untuk menghindari tekanan pada tangki yang berlebihan (dikarenakan proses evaporasi yang cepat) selama pemuatan. Sebelum pemuatan *refrigerated cargo*, tangki kapal harus didinginkan secara perlahan untuk mengurangi *thermal stresses*”.

Dengan adanya penurunan suhu, tekanan pada tangki akan menurun juga sehingga pada saat tangki dimuati evaporasi tidak terjadi dengan cepat. Hal tersebut berarti uap muatan yang terbentuk dari penguapan menjadi sedikit sehingga tekanan didalam tangki akan tetap terjaga meskipun *ullage* muatan berkurang (ruang uap muatan akan mengecil dengan menambahnya muatan LPG cair saat pemuatan). Pada kapal penulis selain untuk menghindari *thermal stress* juga untuk menghindari *venting cargo*, yaitu keluarnya uap muatan dari dalam tangki melalui *safety valve* ke atmosfer udara luar sebagai akibat tekanan didalam tangki telah melebihi batas tekanan yang telah ditentukan. Hal tersebut akan mengurangi jumlah muatan didalam tanki dan uap muatan yang keluar akan memenuhi dek utama sampai masuk akomodasi yang dapat membahayakan kru kapal yang berjaga di dek utama atau kru kapal yang berada didalam akomodasi dan lingkungan sekitar. Pada kapal penulis, tekanan minimal tangki yang ditentukan adalah 0.02 *bar gauge* sedangkan tekanan maksimal yang telah ditentukan adalah 0.345 *bar gauge*.

## 5. Pengaruh tekanan dan suhu pada tanki muatan

Menurut *Gas engineer* ” Hubungan antara suhu dan tekanan muatan dalam tanki muatan adalah berbanding lurus dalam proses penanganan muatan di *LPG Carrier*, 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 dan di pengaruhi tempetarur cuaca yang sangat panas. Tingginya temperatur menyebabkan permukaan tanki menjadi panas dan tekanan dalam tanki menjadi cepat naik. Kenaikan tekanan ini berarti juga kenaikan tekanan balik yang berlawanan dengan tekanan aliran muatan, sehingga berpotensi memperkecil *loading rate* (kecepatan pemuatan).

#### 6. *Cargo compressor*

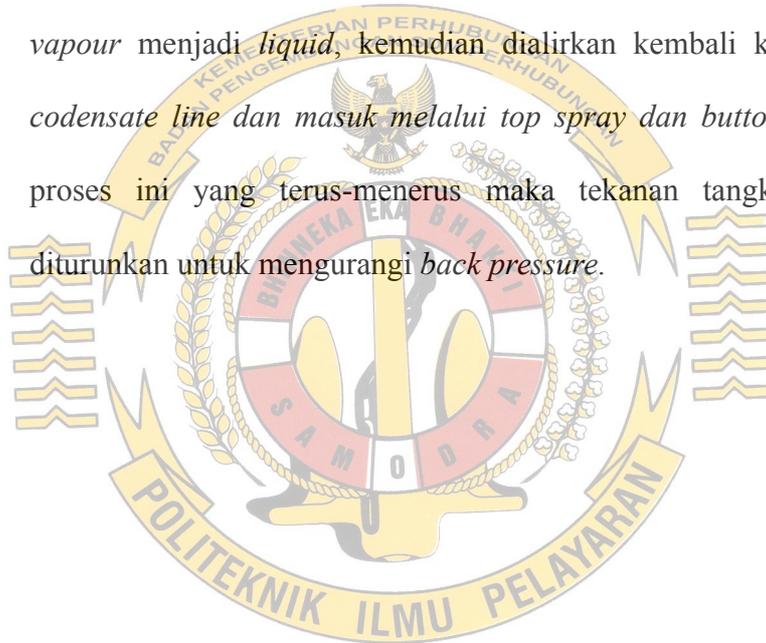
Menurut SIGTTO, (2005, p.95) disebutkan : “*it is necessary to protect cargo vapour compressors against the possibility of liquid being drawn. Such a situation can seriously damage compressors since liquid is compressible*”. Pengertian inti dari kalimat di atas adalah bahwa *cargo compressor* harus dicegah dari masuknya muatan *liquid*, karena hal tersebut dapat menyebabkan kerusakan serius pada *cargo compressor* itu sendiri.

Dalam Prosedur Menejemen Keselamatan di kapal LPG/C Gas Walio disebutkan bahwa, fungsi dari *cargo compressor* ini antara lain:

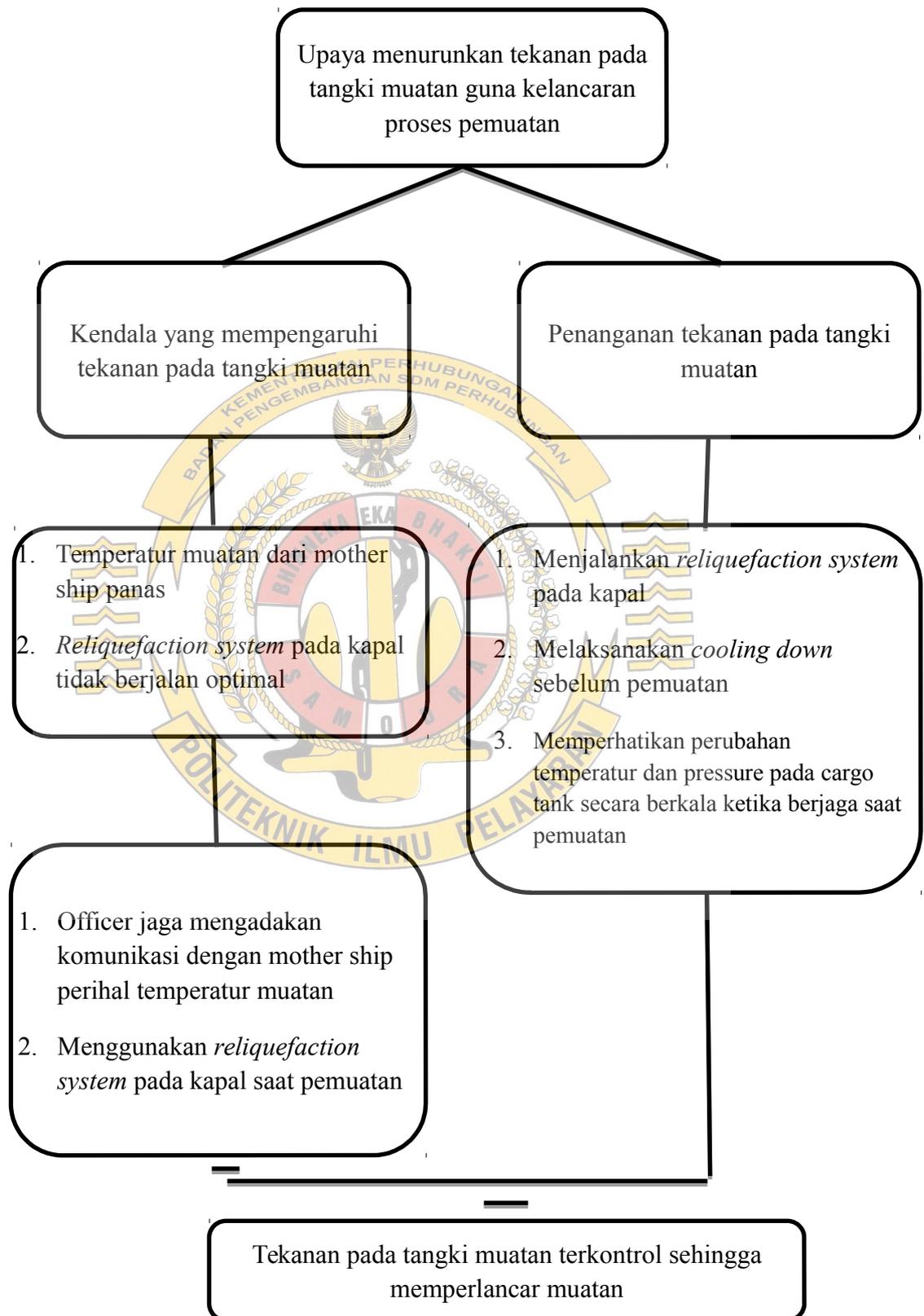
- a. Digunakan untuk membongkar muatan apabila *cargo pump* mengalami kerusakan. Di kapal-kapal *LPG carrier*, *vapour* juga termasuk muatan yang memiliki berat selain muatan yang berwujud *liquid* atau cair. Apabila pompa muatan mengalami kerusakan maka *cargo compressor* merupakan alternatif untuk membongkar muatan *liquid*. Hal ini dilakukan dengan menghisap *vapour* dari salah satu tangki muatan untuk ditransfer ke tangki yang lain dengan tujuan untuk menaikkan tekanan pada tangki tersebut. Muatan yang ada akan ditekan oleh *vapour* dari atas dan apabila

tekanannya lebih tinggi dari tangki darat maka muatan *liquid* akan mengalir dari tangki kapal ke tangki darat.

- b. Digunakan untuk mengendalikan tekanan tangki muatan saat proses pemuatan berlangsung. Saat pemuatan berlangsung tekanan tangki cenderung naik, dan untuk mengantisipasi digunakan *cargo compressor*. *Vapour* dari tangki muatan dihisap oleh *cargo compressor* melalui *vapour line* dan dilakukan *sistem reliquefaction* untuk merubah *vapour* menjadi *liquid*, kemudian dialirkan kembali ke tangki melalui *condensate line* dan masuk melalui *top spray* dan *bottom spray*. Dengan proses ini yang terus-menerus maka tekanan tangki muatan dapat diturunkan untuk mengurangi *back pressure*.



## B. KERANGKA PIKIR PENELITIAN



Gambar 2.4 Kerangka pikir penelitian

### C. Definisi Operasional

1. *Liquid* adalah istilah asing dalam Fisika. Definisi menurut kamus ekabahasa resmi Bahasa Indonesia definisi dari *liquid* adalah sebagai berikut. Definisi *liquid* Menurut Istilah Fisika cair Itulah definisi dari *liquid*.
2. *Propana* adalah senyawa alkana tiga karbon (**C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>**) yang berwujud gas dalam keadaan normal, tetapi dapat dikompresi menjadi cairan yang mudah dipindahkan dalam kontainer dan mudah untuk dicairkan.
3. *Butana* adalah gas yang diambil dari minyak bumi atau langsung dari bumi yang mudah terbakar, mudah dicairkan dan dipakai sebagai bahan bakar.
4. Kapal Gas adalah kapal barang yang dibangun dan dirancang untuk dapat mengangkut muatan secara curah semua jenis gas yang dicairkan.
5. *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.
6. *Refrigerated system* adalah suatu rangkaian sistem pendinginan yang diaplikasikan pada kapal gas, dalam sistem ini terjadi beberapa perubahan fase (gas ke *liquid*) dan kondisi (tekanan dan suhu)
7. *Anti-floating chock* adalah suatu alat yang berfungsi untuk menghindari tangki terangkat ketika terjadi kebocoran tangki balast
8. *Anti-roll chock* adalah suatu alat yang berfungsi untuk menjaga tangki tetap berada pada tempatnya ketika kapal dalam keadaan miring karena ombak.
9. *Solid floor* adalah suatu alat yang berfungsi untuk tempat terikatnya *Anti-roll chock*.

10. *Collision Chock* adalah suatu alat yang berfungsi untuk mencegah benturan pada tangki ketika kapal mengalami tabrakan.
11. *Condensate line* adalah pipa yang terdapat dikapal berfungsi untuk mengalirkan hasil dari *reliquefaction system* yang berupa *liquid* menuju ke tangki muatan.
12. *Thermal stress* adalah suatu akibat dari sifat kerapuhan dan konduktivitas termal yang rendah, keramik cenderung terpengaruh oleh tekanan suhu.
13. *Ullage* adalah jarak dari permukaan cairan sampai permukaan tangki.
14. *Venting cargo* adalah keluarnya uap muatan dari dalam tangki melalui *safety valve* ke atmosfer udara luar sebagai akibat tekanan didalam tangki telah melebihi batas tekanan yang telah ditentukan.
15. *Safety valve* adalah salah satu jenis *valve* yang berfungsi untuk mengontrol atau membatasi tekanan dengan cara mengarahkan aliran kedalam jalur tambahan yang jauh dari jalur aliran utama, dan akan bekerja ketika terjadi *overpressure*.
16. *Cargo compressor* adalah mesin atau alat mekanik yang berfungsi untuk merubah *vapour* menjadi *liquid* dalam kapal gas.
17. *Back pressure* adalah tekanan balik yang terjadi jika tekanan dari kapal pada saat bongkar muatan berbeda (tekanan dari darat lebih tinggi) dengan tangki didarat, sehingga tekanan dari kapal kembali.
18. *Cooling down* adalah salah satu cara untuk menurunkan suhu tangki secara perlahan dengan cara memasukkan *liquid* melalui *condensate line*.