

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Tinjauan Pustaka

Untuk mendukung pembahasan tentang analisis menurunnya kerja *Reliquefaction plant* dalam merubah muatan gas menjadi cair di MT Gas Komodo dengan metode *fault tree analysis*, maka perlu diketahui dan dijelaskan beberapa teori-teori penunjang yang menulis yang penulis ambil dari beberapa sumber pustaka yang berkaitan dengan pembahasan skripsi ini sehingga dapat lebih menyempurnakan penulisan skripsi ini.

##### 1. Pengertian LPG

Menurut McGuire and White (2000:1), yang menjelaskan bahwa *LPG* adalah suatu produk percampuran dari berbagai unsur hydrocarbon yang berasal dari gas alam yang asam, basah yang diperoleh dari ladang-ladang gas atau minyak, sehingga menghasilkan gas.

Menurut Badan Diklat Perhubungan (2000:8), *LPG* di definisikan sebagai *propane*, *butane* dan campuran *propane-butane* dalam bentuk cair yang tidak menimbulkan karat, tidak beracun tetapi sangat mudah terbakar.

Menurut *International Maritime Organisation* (1993:6), Gas cair adalah cairan yang mempunyai tekanan uapnya melebihi 2,8 Bar pada temperatur 37,8 °C dan zat-zat lain sebagaimana yang diterapkan didalam *gas codes*.

##### 2. Sifat-Sifat *LPG* adalah sebagai berikut :

- a. Sangat mudah terbakar baik dalam bentuk cairan ataupun *vapour*
- b. Tidak beracun, tidak berwarna, dan berbau menyengat.

- c. Gas dikemas dalam bentuk cairan yang bertekanan dengan suhu yang sangat dingin ke dalam tangki bersilinder.
- d. Cairan dari gas *LPG* akan menguap diudara bebas, tetapi gas akan menempati daerah yang rendah karena gas ini lebih berat jika dibanding udara.
- e. Gas ini dapat meledak sendiri jika tekanan di dalam tangki terlalu besar atau suhu yang tinggi.

### 3. *LPG carrier*

Menurut tim penyusun Badan Diklat Perhubungan (2000:60), Tanker *LPG carrier* dapat dikelompokkan dalam empat tipe yang berbeda menurut muatan yang diangkut serta kondisi pengangkutannya yaitu:

- a. *Fully pressurized ships*
- b. *Semi refrigerated/semi pressurized ships*
- c. *Semi pressurized/fully refrigerated ships*
- d. *Fully refrigerated LPG (Liquified Petroleum Gas) ships*

Kapal-kapal tipe a, b dan c lebih cocok untuk mengangkut muatan *LPG* dan gas-gas kimia dalam jumlah kecil dalam trayek dekat. Sedangkan tipe d digunakan untuk pengangkutan *LPG* dan *ammonia* dalam jumlah besar pada trayek yang panjang.

#### 1) *Fully pressurized ships*

Kapal-kapal tipe ini adalah yang paling sederhana dibanding dengan tipe lain dalam hal desain tangki muatannya dan peralatan penanganan muatannya serta dalam pengangkutan muatannya yakni pada suhu normal (*ambient*). Tangki muatan kapal ini adalah tipe C,

kapal *fully pressurized* dapat dibuat dari bahan baja (*carbon steel*) dengan tekanan 17,5 bar atau setara dengan tekanan gas dari *propane* pada suhu 45<sup>0</sup>C. Desain tekanan pada tangki kapal yang lebih tinggi yang beroperasi saat ini biasanya sampai 18 bar, ada beberapa kapal dapat menerima tekanan sampai 20 bar. Kapal ini tidak memerlukan isolasi panas atau instalasi pencair (*Reliquefaction plant*). Karena desain tangki yang harus dapat menahan tekanan yang besar maka tangki menjadi sangat berat. Sehingga kapal tipe *fully pressurized* cenderung berukuran kecil dengan kapasitas maksimum muatan kurang lebih 4.000 m<sup>3</sup> dan biasanya dipakai mengangkut *LPG* (*Liquified Petroleum Gas*) dan *ammonia* (Lampiran 1).

## 2) *Semi pressurized ships*

Kapal tipe ini sama dengan tipe *fully pressurized* dimana keduanya termasuk tangki tipe C, dalam hal ini tekanan tangki didesain pada tekanan 5 – 7 bar. Ukuran dari kapal ini sampai dengan 7.500 m<sup>3</sup> dan diutamakan untuk pengangkutan *LPG*. Dibandingkan dengan tipe *fully pressurized*, kapal ini terdapat pengurangan pada ketebalan tangki muatan sehubungan dengan kekuatan dalam menahan tekanan, tetapi terdapat penambahan biaya karena ada tambahan instalasi pendingin dan isolasi panas pada tangki muatan. Tangki pada kapal ini dibuat dari baja yang dapat menahan efek suhu dingin sampai serendah -10<sup>0</sup>C. Bentuk dari tangki ini berupa silinder, bola, atau agak bulat (Lampiran 2).

### 3) *Semi refrigerated ships*

Dibangun dengan ukuran antara 15.000 s/d 30.000 m<sup>3</sup>. Tipe tanker gas ini telah menjadi alat pengangkut berbagai jenis gas, dari *LPG*, *VCM* sampai *propylene* dan *butadine* dan banyak ditemui pada pelayaran pantai sekitar Mediterania dan Eropa Utara. Pada saat sekarang, tipe kapal ini adalah yang paling populer diantara kapal gas "ukuran kecil". Seperti hal keduanya tipe kapal terdahulu, Kapal ini menggunakan tipe tangki muatan tipe B. Tangki muatan terbuat dari baja tahan suhu rendah yang dapat memuat muatan bersuhu rendah sampai -48°C yang cocok untuk *LPG* dan muatan gas kimia. juga yang berbahan baja campuran khusus atau aluminium untuk dapat mengangkut *ethylene* pada suhu -104°C. Sistem bongkar muat dari kapal ini yang fleksibel, didesain untuk dapat memuat dari atau membongkar ke tangki penampungan baik yang bertipe *pressurized* maupun yang *refrigerated*.

### 4) *Fully refrigerated LPG (Liquified Petroleum Gas) ships*

*Fully refrigerated (FR) ships* mengangkut muatannya pada tekanan atmosfer dan biasanya didesain untuk mengangkut *LPG* dan *ammonia* dalam jumlah yang besar. Tangki muatan yang digunakan oleh kapal-kapal *fully refrigerated* ada empat tipe yang berbeda yaitu:

- a) Tangki independent dengan *double hull*.
- b) Tangki *independent* dengan *single side shell* tetapi dengan dasar berganda dan *hopper tanks*.

- c) Tangki *integral*.
- d) Tangki *semi membrane* dimana kedua tipe tangki *independent* dengan *single side shell*. Desain tangkinya merupakan prisma tipe A yang mempunyai tekanan kerja 0,7 bar. Tangki dibuat dari baja yang tahan suhu rendah yang sanggup memuat pada suhu -48°C. Kapal-kapal *Fully Refrigerated* berukuran antara 10.000 sampai 100.000 m<sup>3</sup>.

Sebuah kapal pengangkut LPG tipe *fully refrigerated* dapat memiliki tangki hingga delapan tangki muatan. Setiap tangki mempunyai "wash plate" yang melintang dan sebuah sekat membujur pada *centre line* guna keperluan keseimbangan kapal. Tangki biasanya disokong di atas balok-balok kayu yang dipasang pada badan kapal guna meredam pemuaian dan kontraksi serta mencegah pergeseran tangki akibat pergerakan / goncangan muatan. Karena suhu pengangkutan yang sangat rendah, maka diperlukan isolasi panas dan instalasi pencair (*Reliquefaction plant*). Tanker gas tipe *fully refrigerated* fleksibilitas operasionalnya sangat terbatas, namun sering terdapat tambahan pemanas muatan dan *booster pumps* guna memungkinkan pembongkaran ke tangki penampungan tipe *pressurized*. Jika menggunakan tangki muatan tipe A, diperlukan *secondary barrier* yang lengkap. *Hold space* harus dalam keadaan lembam (*inert*) apabila mengangkut muatan yang mudah terbakar. *Ballast* dimuat dalam dasar berganda dan *top side* atau *side ballast tanks* jika ada (Lampiran 3).

#### 4. *Reliquefaction plant*

Menurut instruction manual book for *LPG Reliquefaction plant* yang diterbitkan oleh Biro Klarifikasi Jepang NK (*Nippon Kaiji Kyokai*) pada tahun 1991, *LPG Reliquefaction plant* yaitu suatu mesin yang difungsikan untuk menjaga tekanan di dalam tangki muatan. Yang mana nilai tekanan yang sesuai dengan suhu tangki yang diminta untuk proses menjaga muatan *LPG*. Secara garis besar komponen penyusun *LPG Reliquefaction plant* terdiri dari *LPG Compressor, Knock-Out Drum, LPG Condensor / Receiver, Inter Cooler, Alarm and Safety Device*.

Jadi analisis menurunnya kerja *Reliquefaction plant* dalam merubah muatan gas menjadi cair, yaitu identifikasi penurunan jumlah cairan *LPG* dari proses kondensasi yang merubah dari bentuk gas menjadi cair yang dihasilkan oleh *Reliquefaction plant*. Proses pengidentifikasian pengaruh yang ditimbulkan dari penurunan kerja *Reliquefaction plant* yang berdampak pada penurunan jumlah muatan cair yang dihasilkan dari proses kondensasi dan menghambat proses pemuatan yang masih berbentuk gas.

#### 5. *Fault Tree Analysis*

*Fault tree analysis* adalah metode analisis, dimana terdapat suatu kejadian yang tidak diinginkan disebut *undesired event* terjadi pada sistem, dan sistem tersebut kemudian dianalisis dengan kondisi lingkungan dan operasional yang ada untuk menemukan semua cara yang mungkin terjadi yang mengarah pada terjadinya *undesired event* tersebut. (Svein Kristiansen, 2013: 225).

*Fault tree analysis* merupakan metode yang efektif dalam menemukan inti permasalahan karena memastikan bahwa suatu kejadian yang tidak

diinginkan atau kerugian yang ditimbulkan tidak berasal pada satu titik kegagalan. Metode ini mengidentifikasi hubungan antara faktor penyebab dan ditampilkan dalam bentuk pohon kesalahan yang melibatkan gerbang logika sederhana. Gerbang logika menggambarkan kondisi yang memicu terjadinya kegagalan, baik kondisi tunggal maupun sekumpulan dari berbagai macam kondisi.

Konstruksi dari *fault tree analysis* meliputi gerbang logika yaitu gerbang *AND* dan gerbang *OR*. Setiap kegagalan yang terjadi dapat digambarkan ke dalam suatu bentuk pohon analisis kegagalan dengan mentransfer atau memindahkan komponen kegagalan ke dalam bentuk simbol/*logic transfer components* dan *fault tree analysis*.

Gerbang logika menggambarkan kondisi yang memicu terjadinya kegagalan, baik kondisi tunggal maupun sekumpulan dari berbagai macam kondisi. Kegagalan yang ada pada sistem bisa dikarenakan kegagalan pada komponennya, kegagalan pada manusia yang mengoperasikannya atau disebut juga *human error*, dan kejadian-kejadian di luar sistem yang dapat mengarah pada terjadinya *undesired event*. *Fault tree* dibangun berdasarkan pada salah satu *undesired event* yang dapat terjadi pada sistem. Hanya bagian-bagian tertentu dari sistem yang berhubungan beserta kegagalan-kegagalan yang ada, yang dipakai untuk membangun *fault tree*. Pada satu sistem bisa terdapat lebih dari satu *undesired event* dan masing-masing *undesired event* mempunyai representasi *fault tree* yang berbeda-beda yang disebabkan faktor-faktor atau

bagian-bagian sistem dan kegagalan yang mengarah pada satu kejadian berbeda dengan yang lainnya. Pada metode *fault tree*, *undesired event* yang akan dianalisis disebut juga *top event*.

Prinsip Kerja Metode *fault tree analysis* menurut Svein Kristiansen, 2013:227:

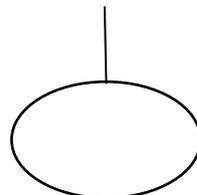
- a. Kegagalan sistem/kecelakaan.
- b. *Fault tree analysis* terdiri dari urutan peristiwa yang mengarah kepada kegagalan sistem/kecelakaan.
- c. Membuat urutan peristiwa dengan menggunakan gerbang logika “AND” atau “OR” atau gerbang logika lainnya.
- d. Kejadian di atas dan semua peristiwa terdapat beberapa penyebab di tandakan dengan persegi panjang dan kejadian yang dijelaskan di persegi panjang.
- e. Akhir dari peristiwa mengarah pada dimana tingkat kegagalan data yang memungkinkan didapatkan, maka ini adalah penyebab utama yang dilambangkan lingkaran dan juga merupakan keputusan untuk membatasi metode ini.

Untuk memastikan bahwa suatu metode *FTA* bermaksud mengarahkan kejadian dengan menggunakan langkah pengakaran. Dan akhir kejadian dapat menyimpulkan dimana tingkat kejadian tersebut. Simbol-simbol dan istilah yang digunakan dalam *fault tree analysis* adalah simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol *transfer*, berikut adalah bentuk simbol dan pengertian dari tiap-tiap simbol, baik simbol kejadian, simbol *transfer* dan simbol gerbang yang digunakan pada metode *fault tree analysis*.

- a. Simbol kejadian

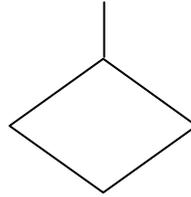
Simbol kejadian adalah simbol-simbol yang berisi keterangan kejadian pada sistem yang ada pada suatu proses terjadinya *top event*.

- 1) *Basic Even / Primery Event*

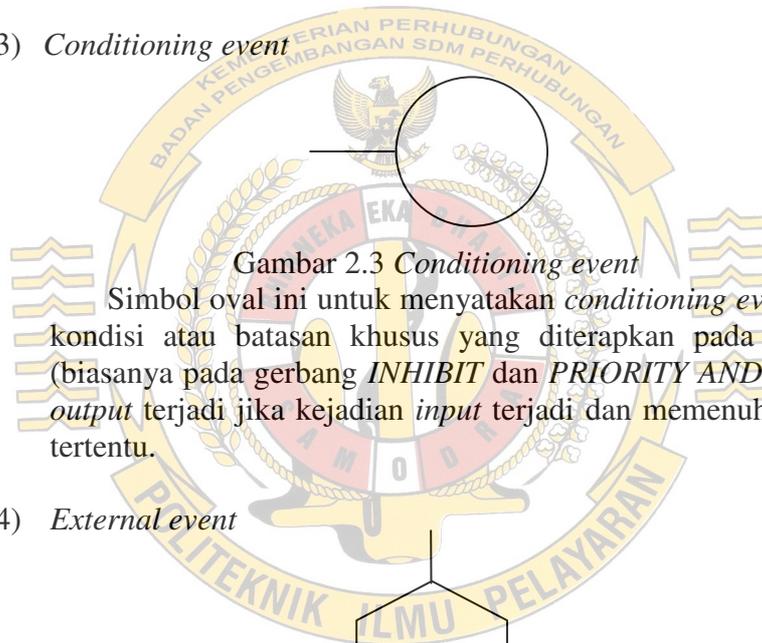


Gambar 2.1 *Basic Event*

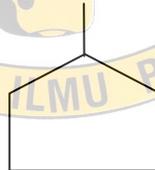
Simbol lingkaran ini digunakan untuk menyatakan *basic event* atau *primery event* atau kegagalan mendasar yang tidak perlu dicari penyebabnya. Artinya simbol lingkaran ini merupakan batas akhir penyebab suatu kejadian.

2) *Undeveloped event*Gambar 2.2 *Undeveloped event*

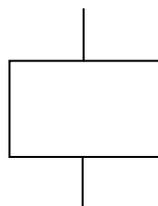
Simbol wajik atau *diamond* ini untuk menyatakan *undeveloped event* atau kejadian tidak berkembang, yaitu suatu kejadian kegagalan tertentu yang tidak dicari penyebabnya baik karena kejadiannya tidak cukup berhubungan atau karena tidak tersedia informasi yang terkait dengannya.

3) *Conditioning event*Gambar 2.3 *Conditioning event*

Simbol oval ini untuk menyatakan *conditioning event*, yaitu suatu kondisi atau batasan khusus yang diterapkan pada suatu gerbang (biasanya pada gerbang *INHIBIT* dan *PRIORITY AND*). Jadi kejadian *output* terjadi jika kejadian *input* terjadi dan memenuhi suatu kondisi tertentu.

4) *External event*Gambar 2.4 *External event*

Simbol rumah digunakan untuk menyatakan *external event* yaitu kejadian yang diharapkan muncul secara normal dan tidak termasuk dalam kejadian gagal.

5) *Intermediate event*Gambar 2.5 *Intermediate event*

Simbol persegi panjang ini berisi kejadian yang muncul dari kombinasi kejadian-kejadian *input* gagal yang masuk ke gerbang.

b. Simbol Gerbang

Simbol gerbang dipakai untuk menunjukkan hubungan diantara kejadian *input* yang mengarah pada kejadian *output* dengan kata lain, kejadian *output* disebabkan oleh kejadian *input* yang berhubungan dengan cara tertentu. Simbol gerbang yaitu:

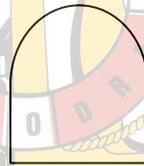
1) Gerbang *OR*



Gambar 2.6 Gerbang *OR*

Gerbang *OR* hanya dipakai untuk menunjukkan bahwa peristiwa/kejadian yang akan muncul terjadi jika satu atau lebih peristiwa/kejadian gagal yang merupakan *inputnya* terjadi.

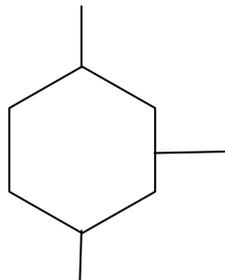
2) Gerbang *AND*



Gambar 2.7 Gerbang *AND*

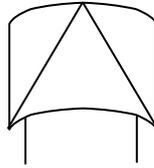
Gerbang *AND* digunakan untuk menunjukkan kejadian *output* muncul hanya jika semua *input* terjadi.

3) Gerbang *INHIBIT*

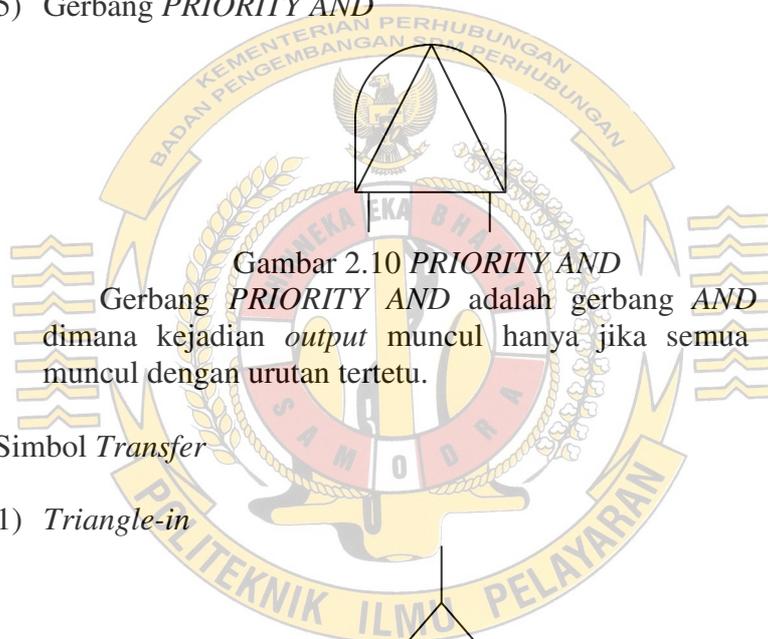


Gambar 2.8 *INHIBIT*

Gerbang *INHIBIT*, dilambangkan dengan segi enam, merupakan kasus khusus dari gerbang *AND*. *Output* disebabkan oleh satu *input* tetapi juga harus memenuhi kondisi tertentu sebelum *input* dapat menghasilkan *output*.

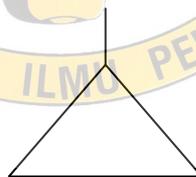
4) Gerbang *EXCLUSIVE OR*Gambar 2.9 *EXCLUSIVE OR*

Gerbang *EXCLUSIVE OR* adalah gerbang *OR* dengan kasus tertentu, yaitu kejadian *output* muncul jika tepat satu kejadian ikut muncul.

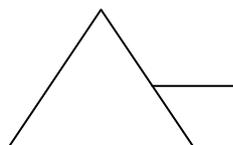
5) Gerbang *PRIORITY AND*Gambar 2.10 *PRIORITY AND*

Gerbang *PRIORITY AND* adalah gerbang *AND* dengan syarat dimana kejadian *output* muncul hanya jika semua kejadian *input* muncul dengan urutan tertentu.

## c. Simbol Transfer

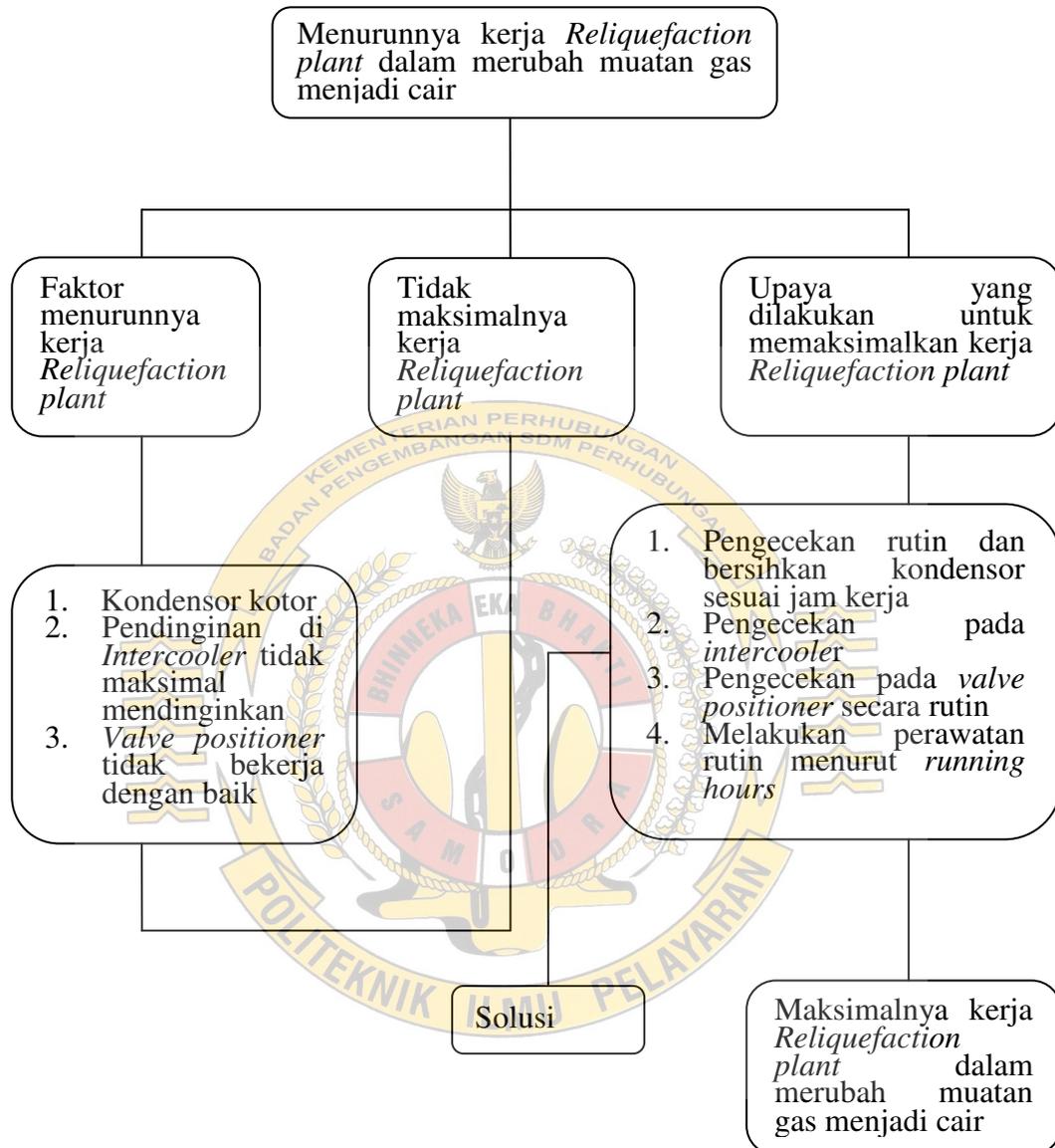
1) *Triangle-in*Gambar 2.11 *Triangle-in*

*Triangle-in* atau *transfers-in*, titik dimana *sub-fault tree* biasa dimulai sebagai kelanjutan pada *transfers out*.

2) *Triangle-out*Gambar 2.12 *Triangle-out*

*Triangle-out* atau *transfers out*, titik dimana *fault tree* dipecah menjadi *sub-fault tree*. (Svien Kristiansen, 2013)

## B. Kerangka Pikir Penelitian



## C. Definisi Operasional

Untuk memudahkan dalam pemahaman istilah-istilah yang terdapat dalam laporan penelitian terapan ini, maka penulis memberikan pengertian-pengertian yang kiranya dapat membantu pemahaman dan mempermudah dalam pembahasan laporan penelitian terapan yang dikutip dari beberapa buku (pustaka) sebagai berikut:

### 1. *Reliquefaction plant*

Adalah suatu permesinan yang digunakan untuk menjaga tekanan konstan di dalam tangki pada suhu udara normal dan suhu air laut, yang bisa juga dikatakan sebuah alat yang mengubah muatan gas menjadi cair.

### 2. *Knock-out Drum*

Biasanya juga disebut dengan *gas separator* atau *vapour separator* adalah suatu alat yang masih berada dalam sistem *Reliquefaction plant* yang berfungsi sebagai pemisah antara embun dan kandungan gas dari gas yang akan dirubah bentuknya.

### 3. *LPG Condensor/Receiver*

Adalah suatu peralatan yang masih berada di dalam sistem *Reliquefaction plant* yang berfungsi untuk mendinginkan gas menggunakan sirkulasi air laut. Selanjutnya gas yang telah didinginkan tersebut berubah bentuk dari bentuk gas menjadi cair dan ditampung di dalam *receiver* yang masih menjadi satu bagian dari *LPG condensor*.

### 4. *Intercooler*

Adalah suatu alat yang digunakan untuk mendinginkan muatan menggunakan media pendingin yang dilakukan oleh *intercooler* di dalam sistem. Pertama, pendinginan awal antara keluaran (*discharge*) pada *LPG compressor 1<sup>st</sup> stage* dan sebelum masuk ke hisapan (*suction*) pada *LPG compressor 2<sup>nd</sup> stage*. Kedua, pendinginan setelah muatan didinginkan oleh *cargo condenser* yang mana sering juga disebut sebagai *sub-cooling*.

### 5. *Valve positioner*

Merupakan katup yang digunakan untuk mengatur jumlah gas cair yang masuk ke dalam *intercooler* yang berfungsi sebagai pendingin gas sebelum masuk ke hisapan *2<sup>nd</sup> stage* selama proses pendinginan muatan berlangsung.

