

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### A. Tinjauan Pustaka

Sebagai pendukung pembahasan skripsi ini mengenai analisa terjadinya *fuel gas trip* pada *dual fuel diesel engine generator* di kapal MV. Tangguh Foja agar mudah untuk di pahami penulis akan memberikan penjelasan beberapa istilah yang di ambil dari sumber pustaka yang berkaitan dengan pembahasan skripsi ini.

##### 1. Analisa

Analisa atau analysis adalah suatu usaha untuk mengamati secara detail sesuatu hal atau benda dengan cara menguraikan komponen-komponen pembentukanya atau penyusunan untuk dikaji lebih lanjut. Analisa berasal dari bahasa kuno yaitu analisis yang artinya melepaskan analisis terbentuk dari dus suku kata, yaitu “ana” yang berarti kembali, dan “luein” yang artinya melepas kembali atau menguraikan. Kata analisis ini diserap kedalam Bahasa Inggris menjadi analysis yang kemudian diserap juga kedalam Bahasa Indonesia menjadi analisa (Ibrahim,2013)

##### 2. Fuel Gas

Menurut Mouche (2016) bahan bakar adalah suatu materi yang dapat diubah menjadi energi. Biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar

digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) dimana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi eksotermal dan reaksi nuklir (seperti fisi nuklir atau fusi nuklir). Hidrokarbon (termasuk di dalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia. Bahan bakar lainnya yang bisa dipakai adalah logam radioaktif.

Lebih lanjut Mouche (2016) menyatakan bahwa bahan bakar di kelompokkan berdasarkan bentuk dan wujudnya bahan menjadi tiga yaitu :

a. Bahan bakar padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar berbentuk padat, dan kebanyakan menjadi sumber energi panas. Misalnya kayu dan batubara. Energi panas yang dihasilkan bisa digunakan untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan dan menyediakan energi.

b. Bahan bakar cair

Bahan bakar yang berbentuk cair, paling populer adalah bahan bakar minyak atau BBM. Selain bisa digunakan untuk memanaskan air menjadi uap, bahan bakar cair biasa digunakan kendaraan bermotor. Karena bahan bakar cair seperti bensin bisa dibakar dalam karburator dan menjalankan mesin.

c. Bahan bakar gas

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni *Compressed Natural Gas* (CNG) dan *Liquid Petroleum Gas* (LPG). CNG pada dasarnya terdiri

dari metana sedangkan LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga, sama bahannya dengan bahan bakar gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor. Secara umum, gas alam (*natural gas*) termasuk dalam ikatan hidrokarbon yang terdiri dari atom karbon dan atom hidrogen. *Natural gas* terdiri dari percampuran ikatan hidrokarbon yaitu metana (CH<sub>4</sub>) sebagai penyusun utama. Selain itu, komponen lain penyusun *natural gas* adalah etana, propana, butana, nitrogen, dan gas karbon dioksida. Pada umumnya komposisi maksimum dan minimum dari *natural gas* dapat dilihat pada tabel di bawah ini dalam persentase.

Tabel 2.1 komposisi gas penyusun natural gas.

Compound	Typical	Maximum	Minimum
Methane	87.3%	92.8%	79.0%
Ethane	7.1%	10.3%	3.8%
Propane	1.8%	3.3%	0.4%
Butane	0.7%	1.2%	0.1%
Nitrogen	2.2%	8.7%	0.5%
Carbon Dioxide	0.9%	2.5%	0.2%

Sumber : DFDE berbahan bakar utama CNG (Rendra,2009).

Sangat penting mengetahui komposisi dari gas alam yang akan digunakan, hal ini dikarenakan perbedaan komposisi penyusun akan berbeda juga pada hasil proses pembakaran dalam mesin diesel. Selain itu, variasi dalam komposisi *natural gas* akan menimbulkan kesulitan dalam peningkatan unjuk kerja dan minimalisasi emisi gas buang dari mesin. Semenjak ditemukan bahwa kandungan metana dalam *natural gas* adalah yang terbesar dibanding gas yang lain semisal propana

maupun etana, maka karakteristik dari *natural gas* adalah identik dengan metana. Salah satu karakteristik dari gas alam adalah *non-korosif*. Karakteristik ini baik untuk mencegah terjadinya oksidasi pada tangki penyimpanan dan menyebabkan pengurangan kontaminasi terhadap gas tersebut. Gas alam memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan bakar konvensional disel. Perbedaan karakteristik tersebut dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Perbedaan karakteristik CNG dan diesel fuel

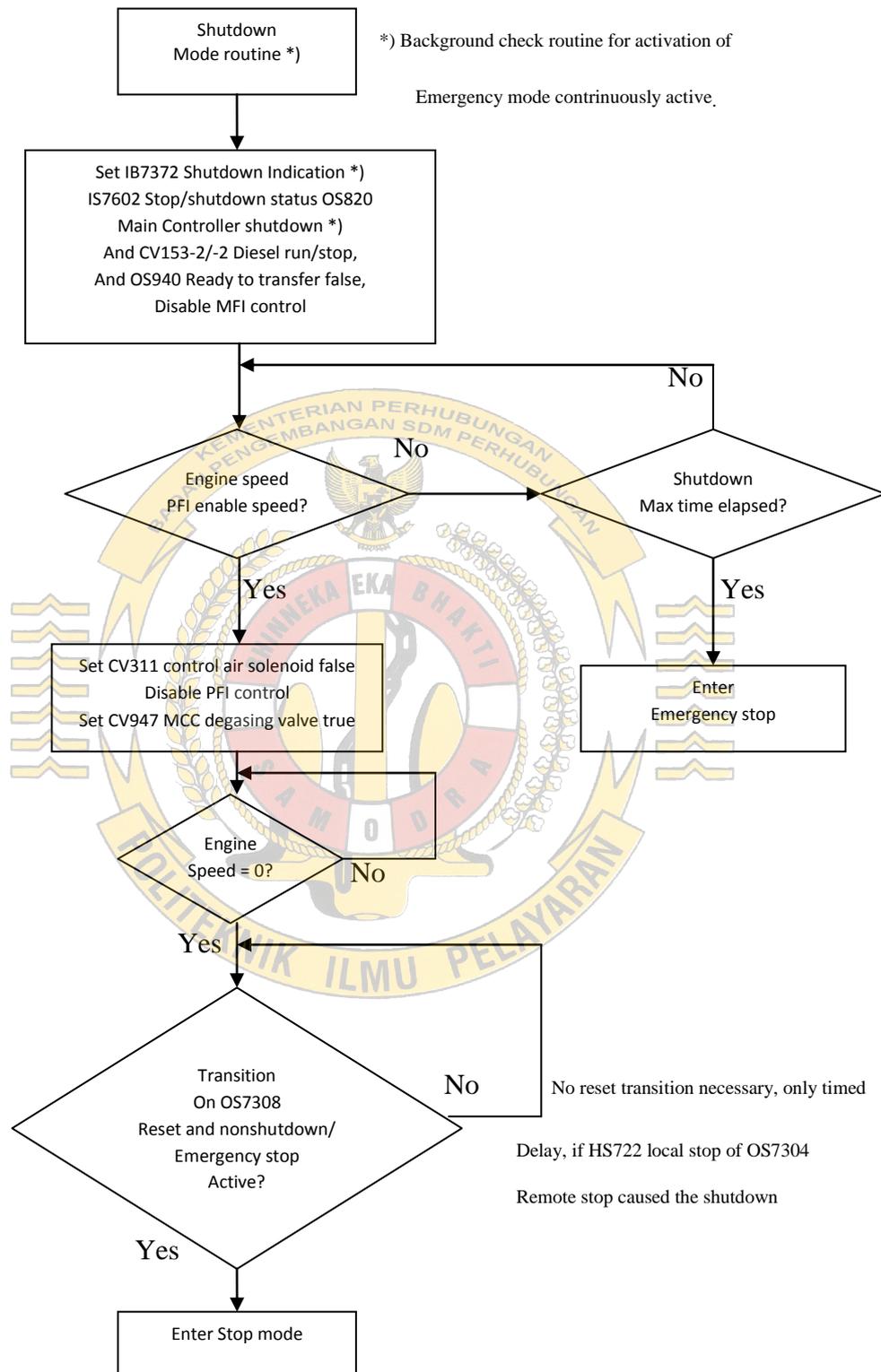
Property	Compressed natural gas (CNG)	Conventional Diesel
Chemical formula	CH <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> toC <sub>25</sub>
Molecular Weight	16.04	200
Composition by weight, %		
Carbon	75	84-87
Hydrogen	25	13-16
Specific Gravity	0.424	0.81-0.89
Density, kg/m <sup>2</sup>	128	802-886
Boiling temperature, °C	-31.7	188-343
Freezing point, °C	-182	-40-34.4
Flash point, °C	-184	73
Autoignition temperature, °C	540	316
Flammability limits, % volume		
Lower	5.3	1
Higher	15	6
Specific Heat, J/kg K	-	1800

Sumber : DFDE berbahan bakar utama CNG (Rendra,2009).

### 3. Engine trip / Shutdown

*Engine Trip* merupakan kejadian dimana suatu permesinan berhenti secara otomatis berurutan karena adanya ketidaknormalan pada permesinan tersebut. Di setiap permesinan adanya *safety equipment* berupa sensor yang di pasang pada setiap sistem di mesin berfungsi untuk mendeteksi ketika mesin dalam keadaan abnormal kemudian mesin akan berhenti berurutan sesuai *mode shutdown* mesin tersebut sehingga mesin akan terjaga. *Dual fuel diesel engine* merupakan mesin yang bekerja dengan gas alam LNG sebagai bahan bakar utama dan minyak *diesel* sebagai cadangan bahan bakar. Terjadinya kegagalan perpindahan dari bahan bakar cadangan ke operasi bahan bakar gas disebut *fuel gas trip* dimana sensor akan mendeteksi penyebab kegagalan tersebut kemudian sistem akan berurutan menghentikan penyuplaian bahan bakar gas secara berurutan dengan otomatis.

Menurut *Instruction Manual Book of Wartsila DFDE 50DF Type*, di dalam *mode shutdown* mesin akan otomatis berhenti dengan cara yang berurutan. *Mode shutdown* hanya bisa diganti dengan *emergency stop*, shutdown dapat aktif karena berbagai macam alasan. Keamanan WECS yang di pasang pada DFDE akan meminta *mode shutdown* ketika mesin dalam keadaan abnormal dan terdeteksi oleh sensor yang ada pada mesin. *Input shutdown* dari eksternal juga akan meminta *mode shutdown*. Mesin selalu tetap dalam *mode shutdown* sebelum di riset, kecuali dalam situasi saat *mode shutdown* sementara dimasukkan dalam urutan permintaan *stop*. Di bawah ini adalah urutan control dalm kasus permitaan *shutdown*



Gambar 2.1 Shutdown Mode Sequence

Sumber : Instruction Manual Book of Wartsila DFDE

#### 4. Pengertian *Dual Fuel Diesel Engine Generator*

Menurut Janne Kosomaa, (2002:8), *The DF-electric LNG Carrier Concept*, Wärtsilä *dual fuel diesel engine* adalah mesin 4 tak yang mana dapat dioperasikan sebagai alternatif di *mode* gas atau *mode* bahan bakar cairan *diesel*. Di *gas mode* ini berjalan sebagai mesin *lean-burn* sesuai dengan *Otto cycle*. Penyalaan dimulai dengan menyemprotkan sedikit minyak *diesel (pilot fuel)*, memberikan sumber penyalaan yang tinggi untuk bahan bakar utama gas pada silinder. Sistem injeksi mikro *pilot* mempergunakan kurang dari 1% *nominal input* daya bahan bakar. Di bahan bakar *mode diesel*, mesin ini bekerja seperti mesin *diesel* biasanya, menggunakan sistem pompa injeksi bahan bakar. Perpindahan *mode* bahan bakar tanpa merubah daya mesin.

Menurut *Instruction Manual Book of Wartsila DFDE 50DF Type*, DFDE adalah mesin yang bekerja dengan gas alam sebagai bahan bakar utama dan minyak *diesel* sebagai cadangan bahan bakar. Mesin ini didesain menghasilkan tenaga listrik untuk menggerakkan mesin penggerak kapal seperti *electrical propulsion motor*. Mesin ini dapat ditukarkan dari operasi gas ke operasi bahan bakar salinan cadangan pada beban kapanpun. DFDE dapat ditukarkan juga dari operasi bahan bakar salinan cadangan ke operasi gas saat beban 80% penuh. Mesin ini juga mampu bekerja pada HFO dan dapat dioperasikan sebagai mesin konvensional *diesel* ketika bekerja pada HFO. Istilah-istilah pada *dual fuel diesel engine* antara lain sebagai berikut:

a. *Diesel mode*

*Diesel mode* menggunakan bahan bakar *diesel*, dimana bahan bakar *diesel* ini diinjeksikan ke dalam ruang pembakaran saat akhir dari langkah kompresi dibantu dengan pompa injeksi. Cara kerja saat *diesel mode* ini sama seperti mesin *diesel* biasanya. Saat *gas mode* tidak ada gas yang bercampur dengan udara tetapi *pilot fuel* menginjeksi penuh bahan bakar *diesel* (dengan injektor).

b. *Gas mode*

*Gas mode* menggunakan gas sebagai bahan bakar utama. *Mode gas* ini gas dicampurkan dengan udara yang masuk sesuai dengan pengaturan diatas kepala silinder dan dibantu menggunakan bahan bakar *diesel* sebagai penyalaan.

Sebelum gas disuplai ke mesin *diesel*, gas lewat *gas regulating unit*. *Gas regulating unit* ini terdiri dari *filter-filter*, *pressure regulator*, *shut-off valve* dan *ventilating valve*. Keluaran dari tekanan gas diatur oleh sistem kontrol WECS sesuai dengan beban mesin dan kondisi lingkungan sekitar.

Di dalam mesin, gas disuplai melewati pipa utama gas sepanjang mesin berlanjut ke pipa gas masing-masing silinder. Di setiap silinder terdapat SOGAV yang mengatur jumlah masuknya gas yang masuk ke dalam silinder. *Valve* ini digerakkan langsung oleh *solenoid* dan diatur oleh sistem kontrol WECS. Adapun tabel data kandungan karakteristik bahan bakar gas (lampiran 1).

c. *Solenoid Operated Gas Admission Valve (SOGAV)*

1). Pengertian SOGAV

Menurut buku *Instruction Manual Book of Wood Ward SOGAV 250*, SOGAV adalah katup elektro-mekanika yang berfungsi mengatur jumlah porsi bahan bakar gas yang masuk dalam sistem, terdiri atas:

- a). EFIC (*In Pulse Electronic Fuel Injection Control*).
- b). Perbandingan rasio udara dan bahan bakar menurut control (harus diatur jumlah udara maupun jumlah bahan bakar gas).
- c). Didukung dengan katup, actuator, regulator, sensor, kabel dan alat pengaman.

Pada setiap silinder, terbukanya katup saat injeksi gas diatur dengan durasi yang ditentukan oleh EFIC.

2). Komponen – komponen SOGAV

Bagian SOGAV terdiri dari: *Socket Head Cap Screw ( M6x70 )*, *Solenoid Assembly E-core*, *Preformed Packing ( O-ring )*, *GAV Housing*, *Guide Pin*, *E-core Armature*, *Upper plate*, *Metering plate loading spring*, *Spacer*, *Moving metering plate*, *Socket head cap screw*, *Preformed Packing ( O-ring )*, *Lower stop & Metering plate*, *Lower plate loading spring*, *Lower spring seat*, *Circular retaining ring*

Keterangan:

- a). *Solenoid Assembly E-core*

Perangkat *solenoid* elektronik dari SOGAV yang mengatur pembukaan dari plat-plat.

c). *Guide Pin*

Batang penghubung dari perangkat *solenoid* elektronik.

d). *E-core Armature*

Berfungsi sebagai lilitan atau *armature* dari *solenoid* elektronik yang diatur sesuai dengan arus yang diberikan.

e). *Upper Plate*

Berfungsi sebagai piringan bagian atas.

f). *Metering plate loading spring*

Berfungsi sebagai pegas pengukur dari pembukaan plat bagian atas.

g). *Spacer*

Berfungsi sebagai pengatur jarak dari plat.

h). *Moving metering plate*

Berfungsi sebagai pengatur dari pergeseran dari plat bagian atas.

i). *Lower stop & metering plate*

Berfungsi sebagai pengatur dari pergeseran dari plat bagian bawah.

j). *Lower plate loading spring*

Berfungsi sebagai pegas pengukur dari pembukaan plat bagian bawah.

k). *Lower spring seat*

Sebagaiudukan dari pegas pengatur pada plat bagian bawah.

### 3). Cara kerja SOGAV

Gas masuk ke dalam silinder sebelum katup udara isap masuk terbuka. SOGAV digerakkan secara elektronik dan terkontrol oleh sistem kontrol mesin untuk memberikan persis jumlah gas yang benar untuk masing-masing silinder. Ini cara pembakaran pada masing-masing silinder dapat sepenuhnya dan secara individu terkontrol. Saat katup dapat diwaktui dengan sendiri pada katup isap, langkah buang silinder terjadi tanpa resiko karena gas langsung ke sistem gas buang . Pengaturan sendiri masuknya gas ini memastikan rasio bahan bakar udara yang benar dan beroperasi *optimal* dengan tujuan sesuai efisiensi dan emisi. Dengan hal itu juga kinerja dapat terpercaya tanpa *shutdown, knocking* atau *misfiring*.

#### d. Injektor

##### 1). Pengertian injektor

Injektor Salah satu komponen utama dalam sistem bahan bakar diesel di antaranya adalah Injektor atau pengabut atau *nozzle*. Injektor berfungsi untuk menghantarkan bahan bakar diesel dari *injection pump* ke dalam silinder pada setiap akhir langkah kompresi dimana torak (piston) mendekati posisi TMA. Injektor yang dirancang sedemikian rupa merubah tekanan bahan bakar dari *injection pump* yang bertekanan tinggi untuk membentuk kabut yang bertekanan antara 700 sampai 800 kPa, tekanan ini

mengakibatkan peningkatan suhu pembakaran didalam silinder meningkat menjadi  $650^{\circ}\text{C}$ . Tekanan udara dalam bentuk kabut melalui Injector ini hanya berlangsung satu kali pada setiap siklusnya yakni pada setiap akhir langkah kompresi saja sehingga setelah sekali penyemprotan dalam kapasitas tertentu dimana kondisi pengabutan yang sempurna maka injector yang dilengkapi dengan jarum yang berfungsi untuk menutup atau membuka saluran injector ini sehingga kelebihan bahan bakar yang tidak mengabut akan dialirkan kembali kebagian lain atau ke tangki bahan bakar sebagai kelebihan aliran (*overflow*).

2). Komponen injektor *dual fuel diesel engine*

a). *Solenoid*

Kerja solenoid di gerakkan dan diatur oleh WECS yang terpasang pada DFDE. Solenoid bekerja pada saat *gas mode* mengatur membuka dan menutup bahan bakar yang akan masuk ke *pilot fuel needle*.

b). *Pilot fuel needle*

Jarum pengabut bahan bakar pada saat *gas mode*.

c). *Main diesel needle*

Jarum pengabut bahan bakar pada saat MGO mode.

d). *Spring Valve*

Berfungsi untuk membuka dan menutup *nozzle* bahan bakar serta memberikan tekanan pada bahan bakar cair yang akan di kabutkan ke dalam ruang bakar.

### 3). Cara kerja fuel diesel injektor

Injektor pada *dual fuel diese engine* dapat bekerja dengan dua cara yaitu pada saat *MGO mode* dan *gas mode*. Pada saat *MGO mode* injector bekerja seperti mesin diesel biasa pada umumnya. Pada saat *gas mode* injektor bekerja sebagai pilot injektor diatur berdasarkan WECS ( *wartsila engine control sistem* ) kerja pegas di atur oleh WECS. Pilot injektor menyemprotkan bahan bersamaan dengan bakar gas sebagai pemantik karena panas kompresi udara yang dicampur dengan methane ( *fuel gas* ) tidak bisa terbakar tanpa ada pemantik bahan bakar yang di semprotkan oleh pilot injektor. Tekanan bahan bakar yang di semprotkan oleh pilot injektor lebih besar di banding ketika pada saat injektor bekerja pada saat *MGO mode* hal ini untuk untuk mempercepat proses pembakaran.

#### e. *Bosh Pump*

Merupakan suatu alat kelengkapan pada mesin diesel yang tugasnya menekan bahan bakar dari tangki ke *nozzle* untuk dikabutkan di ruang bakar.

#### f. *Gas combustion unit ( GCU )*

Merupakan suatu permesinan yang berfungsi untuk membakar vapour gas yang tidak terpakai sebagai bahan bakar generator induk. Tujuan dari GCU adalah menghindari tekanan berlebih terjadi di dalam tangki muatan.

g. *Low Duty Compressor ( L.D Compressor )*

Berfungsi untuk menekan dan menyediakan vapour gas yang akan di gunakan pada generator induk maupun dibakar secara percuma di GCU. Low Duty Compressor mempunyai 2 tipe kecepatan yaitu high mode dan low mode. Pada saat berpindah ke tipe high mode suhu masukan dari methane harus  $-130^{\circ}\text{C}$ .

h. *Gas heater*

Merupakan suatu permesinan yang digunakan untuk memanaskan vapour gas pada saat suhunya terlalu rendah. Dengan menggunakan medium uap yang bertekanan 1 Mpa dan panas  $27^{\circ}\text{C}$ , gas heater akan memanaskan vapour gas yang akan menuju area kamar mesin, sehingga kerusakan structural pada permesinan dapat dihindari.

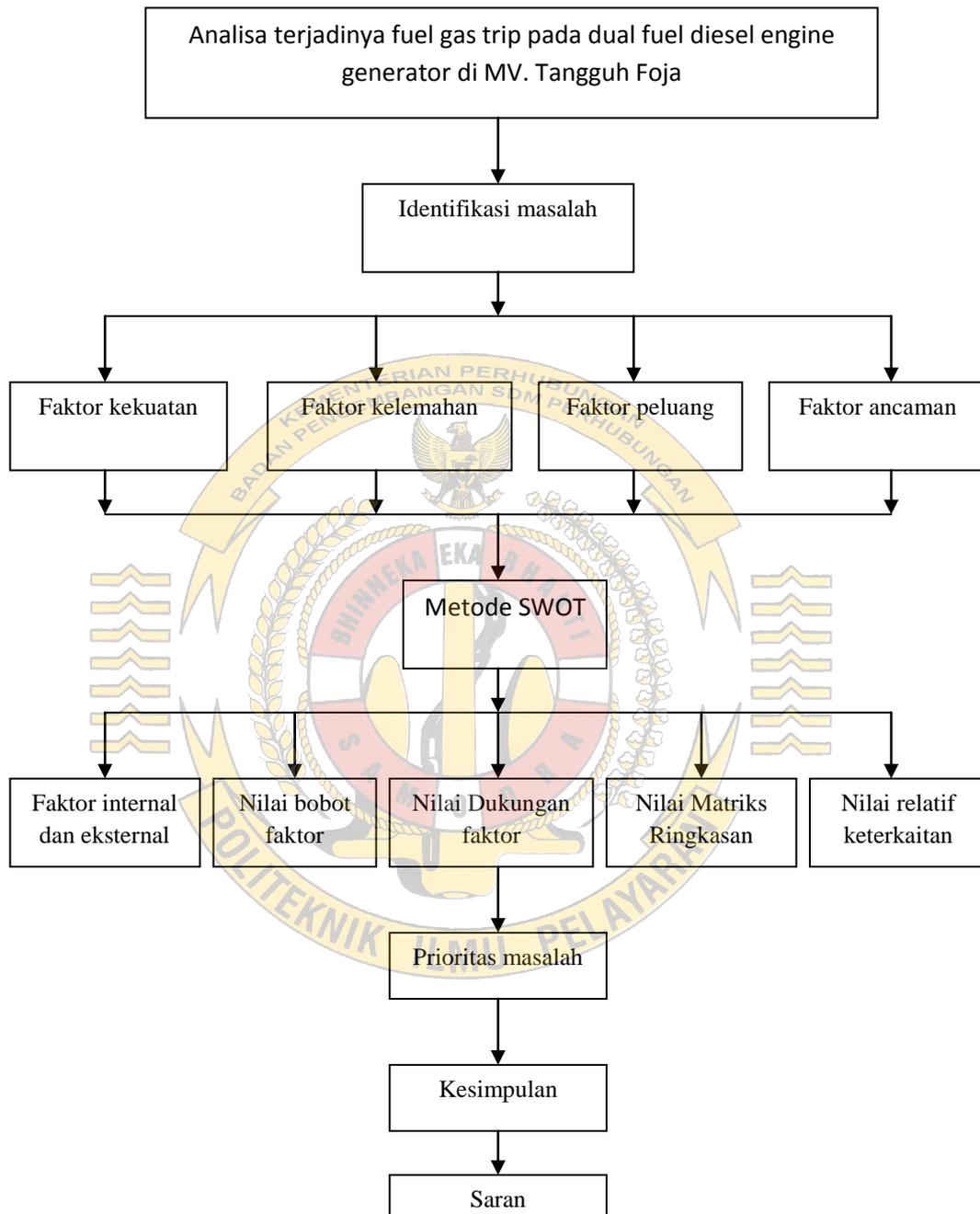
i. *Gas Valve Unit Room*

Merupakan suatu ruangan sistem katup yang ditempatkan sebelum permesinan yang akan menggunakan vapour gas sebagai bahan bakarnya. Di ruangan ini, tekanan dan suhu dari vapour gas tersebut akan diatur sedemikian rupa sesuai dengan kriteria mesin yang menggunakan vapor gas sebagai bahan bakarnya.

j. *Vapour Gas*

*Vapour gas* adalah suatu hasil dari proses evaporasi muatan LNG yang komposisi utamanya adalah methane. Vapour gas tersebut akan dibakar di GCU atau di DFDE Sehingga tekanan yang berlebih pada tangki muatan dapat dihindari dan juga untuk menunjang efisiensi bahan bakar di atas kapal.

## B. Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 2.2 Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan kerangka pikir diatas, dapat dijelaskan dari topik yang dibahas yaitu terjadinya *fuel gas trip* pada DFDE, yang mana dari topik tersebut akan menghasilkan faktor dan upaya dari topik masalah nya dan

penulis ingin mengetahui faktor dan upaya tersebut. Dari faktor – faktor tersebut maka akan dihasilkan dampak yaitu *fuel gas trip*, sehingga timbul upaya ataupun usaha yang dilakukan untuk mengetahui masalah yang ada.

Setelah diketahui upaya apa yang dilakukan, selanjutnya membuat landasan teori dari permasalahan diatas untuk selanjutnya dilakukan analisa hasil penelitian melalui observasi, wawancara, dan studi pustaka yang dilakukan peneliti yang selanjutnya akan diketahui faktor prioritas apa yang paling mendesak, serius, dan kemungkinan masalah tersebut dapat berkembang melalui metode SWOT , dari faktor prioritas yang akan dibahas maka akan menghasilkan simpulan dan saran dari penulis untuk dapat mencegah terjadinya *fuel gas trip* pada *dual fuel diesel engine generator*.

### C. Definisi Operasional

1. *Otto cycle* adalah siklus termodinamika pembakaran bahan bakar dengan volume yang tetap pada sebuah motor atau mesin diesel.
2. *Pilot fuel* adalah Bahan awalan pada mesin diesel
3. *WECS (Wartsila Electronic Control System)* adalah sistem control pada mesin diesel Wartsila yang mengatur seluruh kontrol dari mesin dengan menggunakan perangkat elektronik.
4. *Platform* atau *subsea template* adalah Sebuah struktur lepas pantai tetap (*fixed*) terlibat dalam produksi minyak atau gas yang dapat terbuat dari baja atau beton. Istilah yang sering digunakan untuk menggambarkan suatu instalasi lepas pantai.

5. MGO (*Marine Gas Oil*) adalah bahan bakar yang digunakan pada *dual fuel diesel engine*.
6. Hidrokarbon adalah sebuah senyawa yang terdiri dari unsur atom carbon (C) dan hidrogen (H).
7. *Shutdown* adalah mematikan mesin.
8. Sensor adalah jenis transducer yang digunakan untuk mengubah besaran mekanis, magnetis, panas, cahaya, dan kimia menjadi tenaga dan arus listrik.

