

BAB II

DASAR TEORI

1.1 Umum

Sistem penunjang *motor induk* yang memiliki peran dan fungsi yang sangat penting bagi kelangsungan beroperasinya motor induk sebagai motor penggerak di kapal adalah *fuel oil sistem*. Hal ini dikarenakan apabila terjadi kerusakan pada salah satu komponen atau sistem maka hal ini berdampak langsung ke performa motor induk itu sendiri seperti misalnya sistem distribusi bahan bakar dari tangki harian ke mesin utama akan mengalami kegagalan apabila bahan bakar tidak bisa sampai ke mesin utama pada kapal Tug Boat TITAN 03 yang mengakibatkan kapal sulit untuk melakukan manuver dipelabuhan. Hal ini juga dapat membahayakan kapal serta lingkungan pelabuhan yang mana kita ketahui arus pelayaran pada pelabuhan sangat ramai sehingga dapat membahayakan kapal yang lain. Selain itu secara tidak langsung hal ini akan mengakibatkan proses bongkar muat kapal akan sedikit terhambat dikarenakan waktu untuk bersandar ataupun meninggalkan pelabuhan sedikit lebih lama dari biasanya dikarenakan proses manuvering kapal yang bermasalah.

Begitu pentingnya peran dari sistem penunjang motor induk tersebut, maka untuk dapat mendeteksi penyebab kegagalan komponen/sistem perlu dilakukan suatu studi yang mempelajari mengenai karakteristik pola kegagalan, pola perawatan serta kondisi operasional dari masing-masing sistem penunjang tersebut.

1.2 Fuel Oil Sistem

➤ Umum

Bahan bakar merupakan kebutuhan yang penting dalam operasi suatu kapal. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) dimana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Sistem bahan bakar adalah sistem yang digunakan untuk mensuplai bahan bakar yang diperlukan motor induk. Jenis bahan bakar yang dipakai pada sistem bahan bakar pada umumnya ada 3 jenis yaitu;

1. *Marine fuel Oil* (MFO)

Merupakan alternatif bagi bahan bakar diesel berbahan dasar petroleum dan terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak nabati atau hewan. Minyak jenis ini memiliki tingkat kekentalan yang tinggi dibandingkan minyak diesel. Pemakaian BBM jenis ini umumnya untuk pembakaran langsung pada industri besar dan digunakan sebagai bahan bakar untuk *steam power station* dan beberapa penggunaan yang dari segi ekonomi lebih murah dengan penggunaan minyak bakar.

2. *High Speed Diesel* (HSD)

Merupakan BBM jenis solar yang memiliki angka performa cetane number 45, jenis BBM ini umumnya digunakan untuk mesin transportasi mesin diesel yang umum dipakai dengan sistem injeksi pompa mekanik (*injection pump*) dan *electronic injection*, jenis BBM ini diperuntukkan untuk jenis kendaraan bermotor transportasi dan mesin industri.

3. *Diesel Oil* (DO)

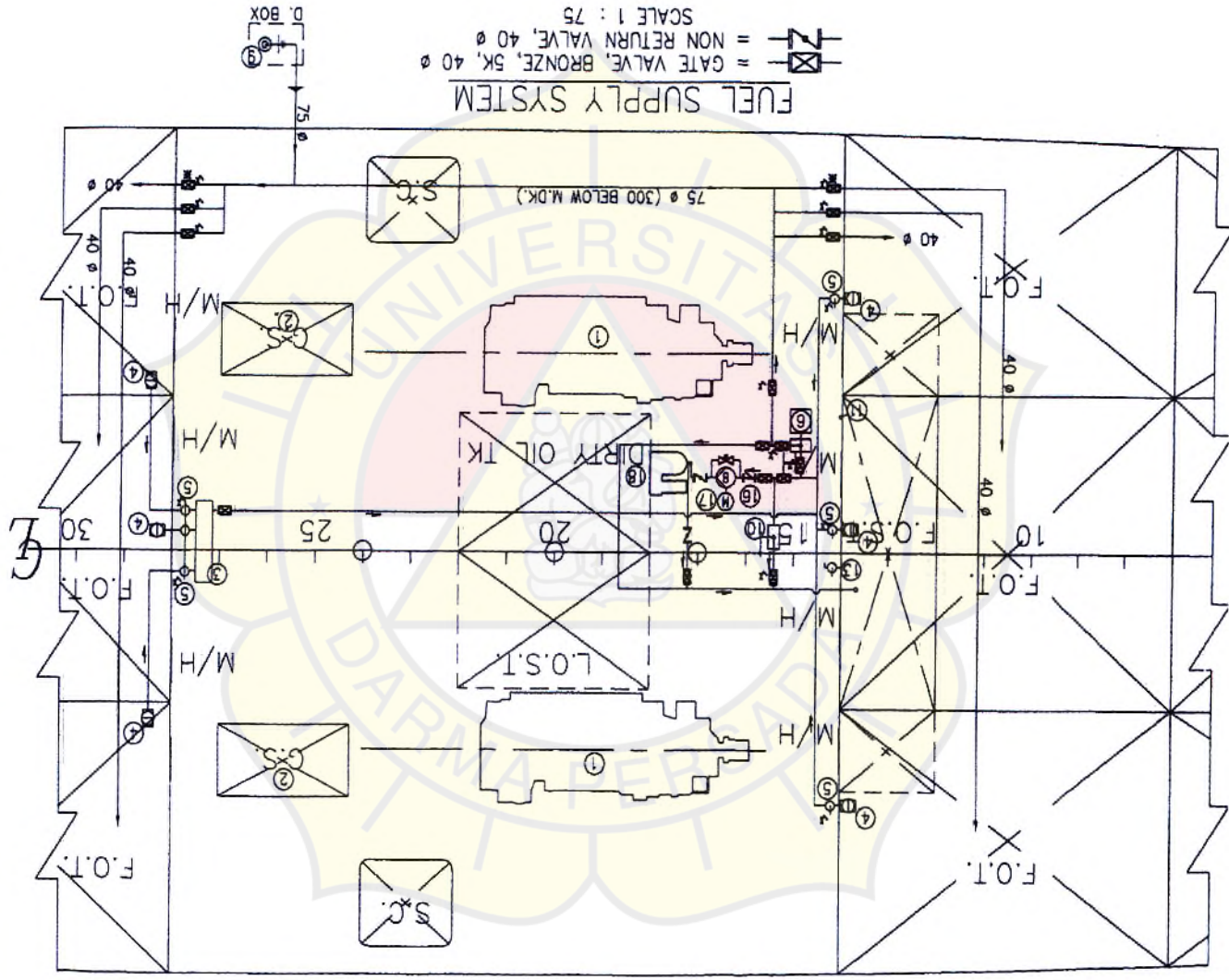
Minyak Diesel adalah hasil penyulingan minyak yang berwarna hitam yang berbentuk cair pada temperatur rendah. Biasanya memiliki kandungan sulfur yang rendah dan dapat diterima oleh *Medium Speed Diesel Engine* di sektor industri. Oleh karena itulah, diesel oil disebut juga *Industrial Diesel Oil* (IDO) atau *Marine Diesel Oil* (MDO).

➤ **Perencanaan Sistem Bahan Bakar**

Sistem bahan bakar pada kapal Tug Boat TITAN 03 ini dirancang dengan menggunakan 1 jenis bahan bakar yaitu *High Speed Diesel* (HSD). Prosesnya yaitu pertama bahan bakar HSD dipompa oleh transfer pump dari *storage tank* menuju ke *service tank* dengan membuka katup antara di *service tank*, kemudian dengan adanya perbedaan ketinggian maka secara gravitasi bahan bakar mengalir melewati separator, Y strainer, duplex filter, menuju *injection pump*. Sebelum masuk ke *injection pump* bahan bakar harus melewati *strainer* yang ada di *main engine*. Kemudian bahan bakar

dari *injection pump* disemprotkan atau ditekan ke *injector* atau pengabut yang mana akan menimbulkan usaha sesuai langkah kerjanya sehingga menimbulkan pembakaran. Kemudian hasil gas buang pembakaran bahan bakar dibuang melalui *fuel oil outlet for drain*, dan bahan bakar yg berlebihan akan kembali ke *service tank*.

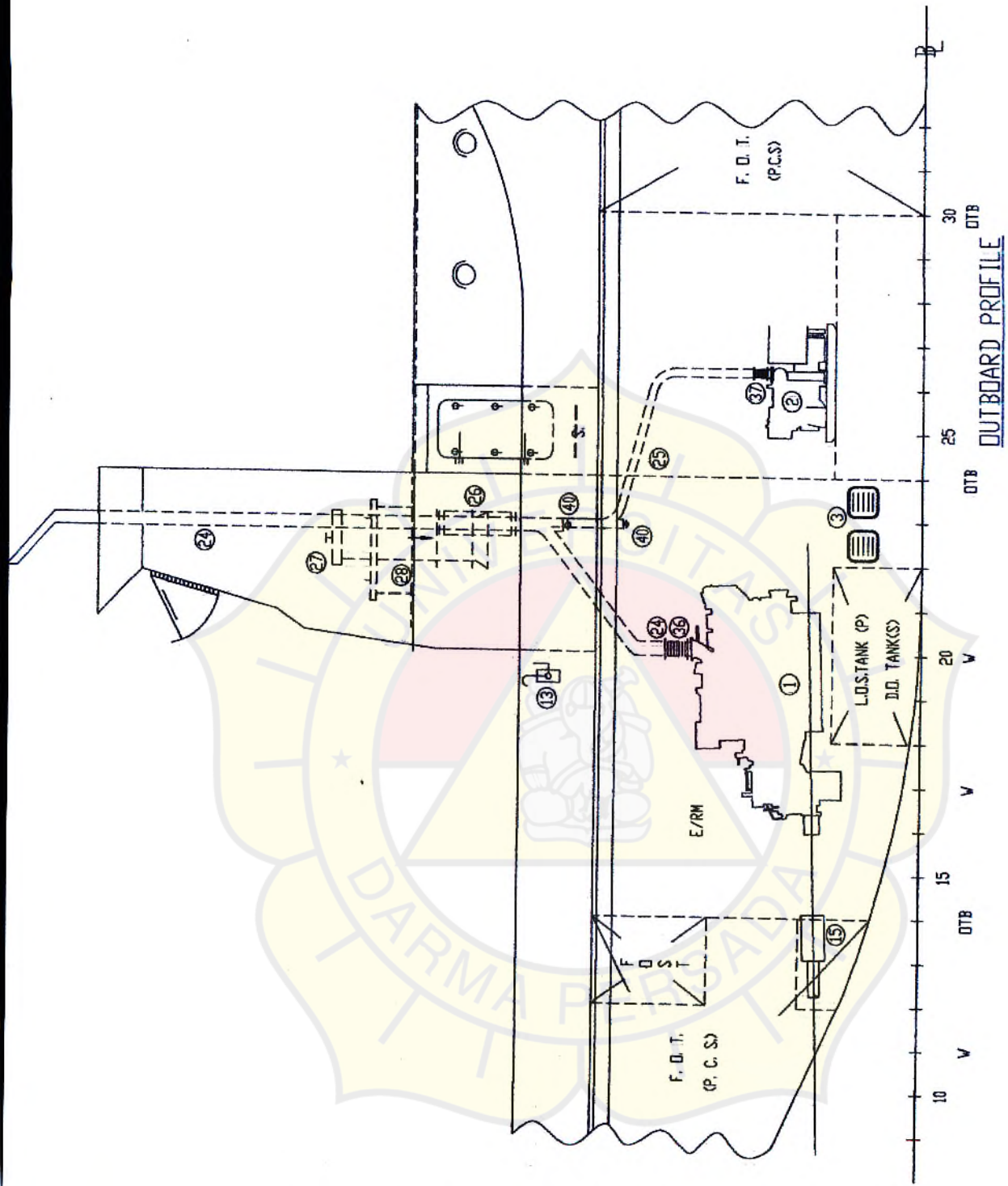
Untuk lebih jelasnya lihat *Gambar 2.1 Lay Out Diagram Fuel Oil System*.



Gambar 2.1 Lay Out Diagram Fuel Oil Sistem

Tabel 2.1 *Keterangan Layout Diagram Fuel Oil System*

M/E FUEL LAYOUT TABLE		
No	DESCRIPTION	QUANTITY
1.	Main Engine	2
2.	Generator Set	2
3.	Fuel Manifold Box	2
4.	Strainer	6
5.	Fuel-Line Cut-off Pushing Wire Rope (Quick Closing Valve)	7
6.	Fuel Engine Transfer Pump	1
7.	Main Engine Fuel-Line	4
8.	Generator Set Fuel-Line	2
9.	Fuel Filling Pipe	1
10.	Fuel Oil Spare Hand Pump	1
11.	Sight Glass (Flat Shape)	1
12.	Overflow Sight Valve	1
13.	Drain Valve	1
14.	Duplex Filter	4
15.	Generator Set Filter	2
16.	Y Strainer	1
17.	Motor Gear Pump	1
18.	Separator	1



Gambar 2.2 Lay Out Kamar Mesin Tampak Samping

➤ **Komponen Sistem Bahan Bakar**

Sistem bahan bakar (*Fuel Oil Sistem*) terdiri atas beberapa komponen di antaranya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 *Komponen Fuel Oil System*

• Storage Tank	• Duplex filter
• Transfer Pump	• Strainer Main Engine
• Sevice Tank	• Injection Pump
• Separator	• Injector (pengabut)
• Strainer	• F.O. Outlet For Drain

2.3 **Criticality Analysis**

Criticality Analysis adalah sebuah metode yang dirancang untuk mengidentifikasi *potensial failure models* (tipe potensi kegagalan) suatu proses atau sistem. Metode ini dapat digunakan untuk menilai resiko yang berhubungan dengan tipe kegagalan, untuk merangking isu kegagalan yang mungkin terjadi dan untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan tindakan korektif secara serius, (Taylor,2000)

Tujuan dari *Criticality Analysis* adalah untuk merangking masing-masing potensial failure mode berdasarkan pengaruh dari kelas kekritisannya dan kemungkinan terjadinya kegagalan berdasarkan data yang ada.

2.3.1 **NORSOK Standart**

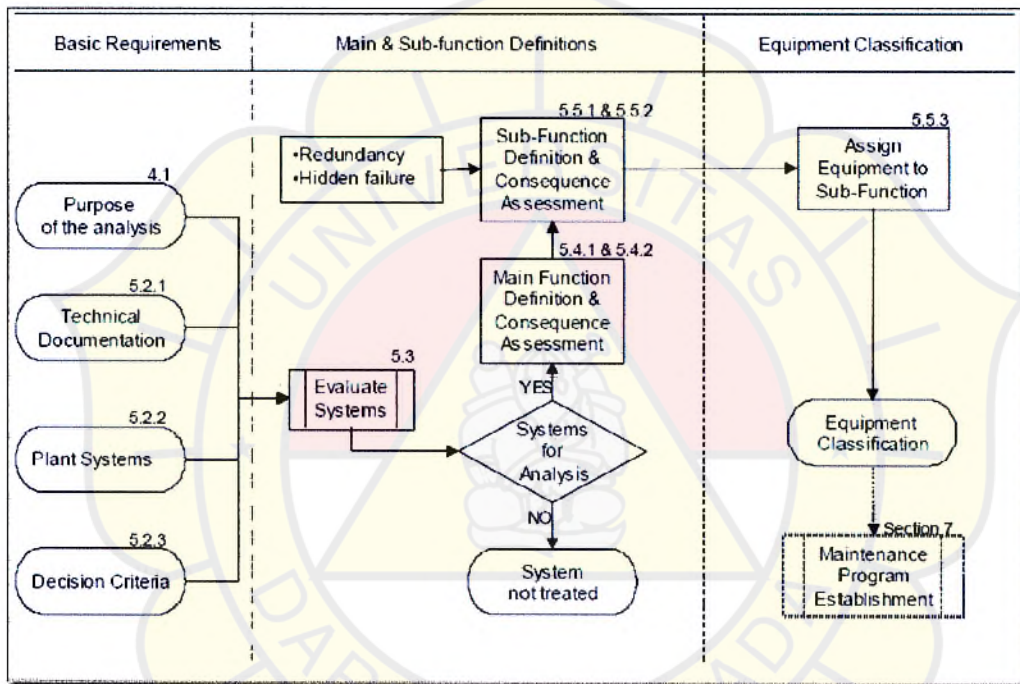
Tujuan dari NORSOK Standart adalah untuk menyusun dasar dari persiapan dan optimasi program perawatan pada sistem minyak dan gas, baik yang baru beroperasi atau yang sudah berjalan. NORSOK Standart menggambarkan suatu proses aktif yang rasional dan efisien untuk menghasilkan suatu optimasi program pemeliharaan berdasar pada analisa resiko dan prinsip cost benefit. Sebagai dasar untuk evaluasi resiko dan penetapan aktivitas pemeliharaan, NORSOK standart mendukung penggunaan praktis dan pengalaman perawatan dan menyajikan pengalaman ini untuk didokumentasikan sesuai dengan peralatan dalam sistem.

Aplikasi dari NORSOK standart ini antara lain adalah untuk :

- a) Sebagai prinsip evaluasi resiko dan alokasi kegiatan perawatan
- b) *Safety critical function*
- c) Inspeksi dari peralatan pemroses statis

2.3.2 Criticality Analysis Process

Untuk menetapkan suatu analisa kritis dan fungsional hierarchy, maka suatu dasar penetapan resiko dihubungkan dengan kegiatan manajemen pemeliharaan harus disusun Gambar 2.3 menunjukkan proses kerja dari criticality analysis.



Gambar 2.3 Criticality Analysis Process (NORSOK Standart Z-008)

Berdasarkan gambar diatas, langkah pertama untuk analisa kritis adalah menetapkan basic requirements dari sistem yang akan dianalisa, antara lain :

- ✚ Tujuan dilakukan analisa, dimana tujuan utama dari NORSOK standart Z-008 ini adalah untuk menyusun dasar dari persiapan dan optimasi program perawatan pada sistem minyak dan gas, baik yang beroperasi atau yang sudah berjalan.
- ✚ Data teknis (*technical document*) dari sistem yang akan dianalisa, antara lain deskripsi dari sistem, kapasitasnya, kondisi operasi, P&ID, Flow diagram system, dll

- ✦ Plant sistem, sistem dengan batasannya harus harus digambarkan dengan menggunakan penomoran secara teknis.
- ✦ Evaluasi sistem, kegiatan pertama adalah memilih sistem yang akan dianalisa. Pengaturan kriteria bergantung pada tujuan dilakukan analisa dan harus didokumentasikan. Pemilihan kriteria dapat didasarkan pada pemeliharaan biaya, kontribusi utama pada kegagalan produksi dan safety terhadap lingkungan.
- ✦ Decision criteria, untuk mengklarifikasikan efek yang paling serius dari kegagalan fungsi, untuk analisis kekritisan yang menilai konsekuensi dari kegagalan dan tingkat redundansi fungsional, kelas konsekuensi harus didefinisikan dengan baik sebelum analisis dilakukan. Tabel 2.3 merupakan general consequence berdasarkan NORSOK Standar yang dapat digunakan untuk analisa.

Tabel 2.3 *General Consequence*

Class	Health, safety and environment (HSE)	Production	Cost (exclusive production loss)
High	<ul style="list-style-type: none"> • Potential for serious personel injuries • Render safety critical system inoperable • Potential for fire in classified areas • Potential for large pollution 	<ul style="list-style-type: none"> • Stop in production /significant reduced rate of production exceeding X hours (specify duration) within a defined period of time. 	<ul style="list-style-type: none"> • Substantial cost between exceeding Y NOK (specify cost limit)
Med	<ul style="list-style-type: none"> • Potential for injuries requiring medical treatment. • Limited effect on safety systems • No potential for fire in classified areas • Potential for moderate pollution 	<ul style="list-style-type: none"> • Brief stop in production/reduced rate of production lasting less than X hours (specify duration) within q defined period of time. 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderate cost between Z – Y NOK (specify cost limit)
Low	<ul style="list-style-type: none"> • No potential for injuries • No potential for fire or effect on safety system • No potential for pollution (specify limit) 	<ul style="list-style-type: none"> • No effect on production within a defined period of time 	<ul style="list-style-type: none"> • Insignificant cost less than Z NOK (specify cost limit)

Sedangkan untuk menilai dari containment, dapat digunakan tabel 2.4 dibawah ini tentang consequence classification containment.

Tabel 2.4 Consequence Classification Containment

Class	Health, safety and environment (HSE)	Production	Cost (exclusive production loss)
High	When substance is : <ul style="list-style-type: none"> Hydrocarbons (highly ignitable gases and unstabilized oil) and other flammable media Liquid/steam, exceeding 50°C or 10 bar Toxic gas and fluids Chemicals 	<ul style="list-style-type: none"> As for production class "High" in Table 1 	<ul style="list-style-type: none"> As for class "High" in table 1
Med	When substance is : <ul style="list-style-type: none"> Stabilised oil, diesel and other less ignitable gases fluids Liquid/steam, exceeding 50°C and 10 bar Toxic substance, small volume Diesel 	<ul style="list-style-type: none"> As for production class "Medium" in Table 1 	<ul style="list-style-type: none"> As for class "Medium" in table 1
Low	When substance is : <ul style="list-style-type: none"> No ignitable media Atmospheric gasses and fluids harmless to humans and environment Negligible toxic effects Harmless chemicals 	<ul style="list-style-type: none"> As for production class "Low" in Table 1 	<ul style="list-style-type: none"> As for class "Low" in table 1

✚ Main Function (MF)

Sistem dikelompokkan berdasarkan fungsi utamanya, misalnya sistem produksi gas mempunyai beberapa main fungsi antara lain separator, gas cooler, filter, scrubber absorber dan oxidizer yang masing-masing mempunyai fungsi tersendiri. Main function redundancy dapat dispesifikasi dengan mengacu tabel 2.5 dibawah ini :

Tabel 2.5 Classification of Redundancy

Red	Redundancy Degree Definition
A	No redundancy i.e the entire MF is required to avoid any loss of fuction.
B	One parallel unit can suffer a fault without influencing the fuction
C	Two or more parallel unit can suffer a fault at the same time without influencing the function.

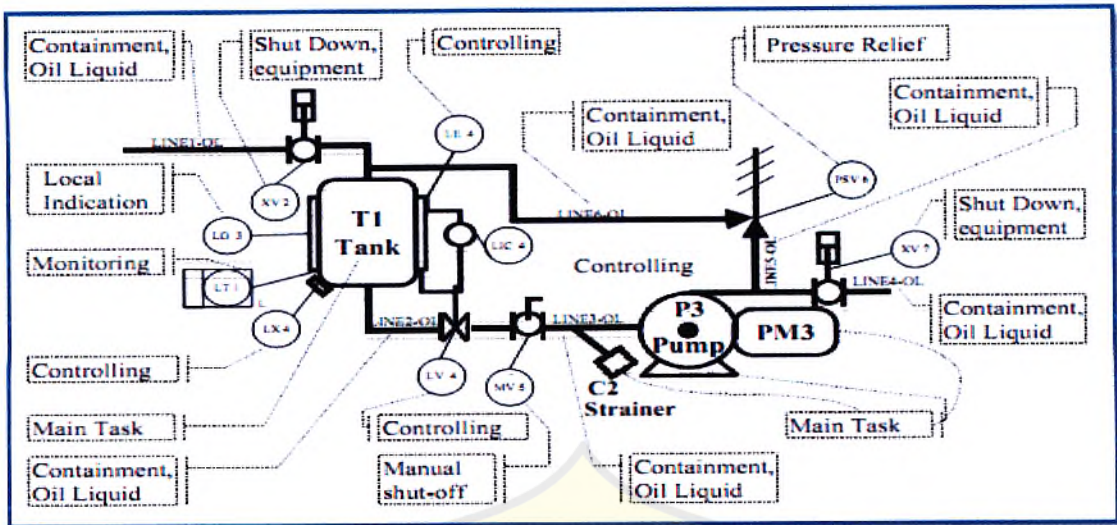
✚ Sub Function (SF)

Main function dibagi kedalam beberapa sub fungsi untuk dianalisa. Untuk menyederhanakan penilaian konsekwensi dan memungkinkan pekerjaan untuk dilaksanakan dengan ketelitian cukup dengan penggunaan sumber daya minimum, tingkatan sub fungsi dapat di standarkan untuk type alat proses dengan istilah pre defined yang mencakup semua kebutuhan. Sub fungsi meliputi :

1. Main task
2. Pressure relief
3. Shutdown, process
4. Shutdown, equipment
5. Controlling
6. Monitoring
7. Local indikator
8. Manual shut-off
9. Containment

Gambar 2.4 merupakan ilustrasi bagaimana peralatan dalam main fungsi dikelompokkan kedalam standart sub fungsi berdasarkan NORSOK Standart Z-008.

Jika sebuah sub fungsi melakukan beberapa fungsi, maka peralatan tersebut dapat dimasukkan kedalam peralatan dengan tingkay kekritisian yang tinggi. Adapun penilaian untuk redundancy pada sub fungsi dapat didasarkan pada tabel 2.7



Gambar 2.4 Contoh Standar Sub Fungsi (NORSOK Standart Z-008)

Tabel 2.6 Redundancy Degree

Red	Redundancy Degree Definition
A	No redundancy i.e the entire MF is required to avoid any loss of fuction.
B	One parallel unit can suffer a fault without influencing the fuction
C	Two or more parallel unit can suffer a fault at the same time without influencing the function.

Tabel 2.7 merupakan contoh penilaian konsekwensi untuk standart sub fungsi

Tabel 2.7 Contoh Penilaian Konsekwensi

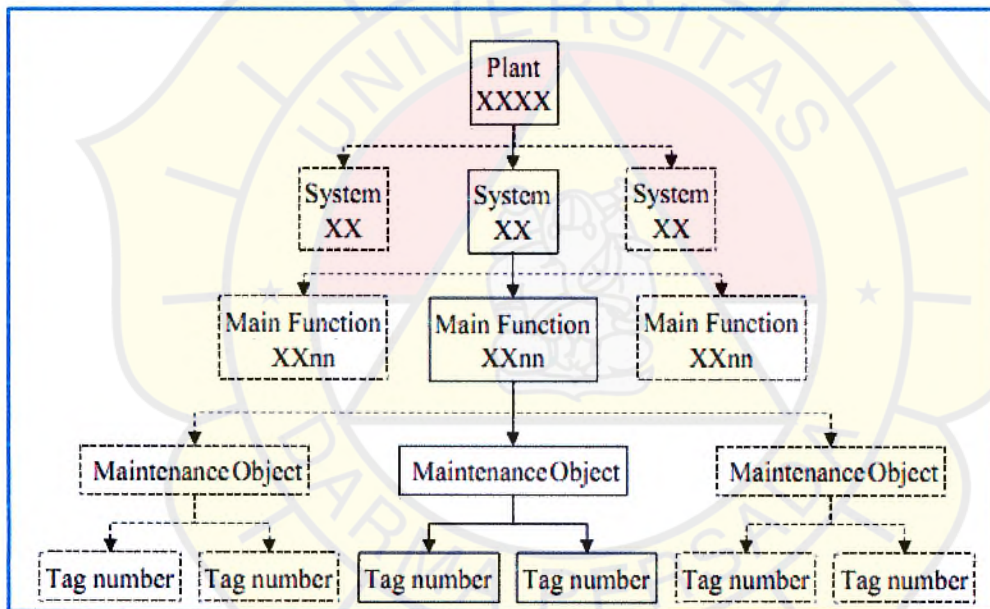
Standar Sub function	Assessing Loss of Function	Red Deg	HSE	P	C
Main Task	<ul style="list-style-type: none"> Red : Will inherit the MF Redundancy HSE/production/cost : Will inherit the MF consequence assessment 	MF	MF	MF	MF
Pressure Relief	<ul style="list-style-type: none"> Red : No redundancy for the failure mode 'fail to operate on demand HSE : Potential for serious personnel injury Prod : Will inherit the MF consequence assessment if time to repair exceed 4 hours Cost : Will lead to substantial cost, exceeding 1 	A	H	MF	H

Shut down process	<ul style="list-style-type: none"> • Red : No redundancy for the failure mode 'fail to operate on demand • HSE : Potential for serious personnel injury. Potential for fire in classified areas. Potential for moderate or large pollution • Prod : Will inherit the MF consequence assessment if time to repair exceed 4 hours • Cost : Will lead to substantial cost, exceeding 1 	A	H	MF	H
Shut down equipment	<ul style="list-style-type: none"> • Red : No redundancy for the failure mode 'fail to operate on demand • HSE : Potential for injury requiring medical treatment. Limited effect on safety system controlling hydrocarbon. No potential for fire in classified areas. • Prod : No effect on production • Cost : Will lead to cost between 0.1 - 1 	A	M	L	M
Controlling	<ul style="list-style-type: none"> • Red : Will inherit the MF - redundancy • HSE : Will inherit the MF consequence assessment • Prod : Will inherit the MF consequence assessment if time to repair exceed 4 hours • Cost : Will inherit the MF consequence assessment 	MF	MF	MF	MF
Monitoring	<ul style="list-style-type: none"> • Red : Will inherit the MF - redundancy • HSE : Potential for injury requiring medical treatment. Limited effect on safety systems controlling hydrocarbons. Potential for moderate pollution • Prod : Will inherit the MF consequence assessment if time to repair exceed 4 hours • Cost : Will lead to insignificant cost less than 0.1 	MF	M	L	L
Local indication	<ul style="list-style-type: none"> • Red : Will always inherit the MF - redundancy • HSE : No potential for injury, fire or effect on safety systems. No potential for pollution • Prod : No effect on production within a period of 12 hours 	MF	L	L	L

	• Cost : Will lead to insignificant cost less than 0.1				
Manual Shut-off	• Red : Will always inherit the MF - redundancy • HSE : Will always inherit the MF-consequence assessment	MF	MF	MF	MF

2.3.3 Functional Hierarchy

Untuk mencapai manajemen yang efektif yang dipakai untuk perawatan, semua peralatan harus disusun kedalam sebuah tangki. Program perawatan dibagi kedalam jadwal oaket kerja dengan ukuran yang cocok untuk disesuaikan dengan organisasi dan sumber daya yang tersedia. Paket ini ditugaskan ke objek pemeliharaan (gambar 2.5) dengan demikian akan membuatnya pada tingkatan yang paling rendah di dalam hierarki, yang menyangkut biaya untuk program pemeliharaan.



Gambar 2.5 Functional Hierarchy (NORSOK Standart Z-008)

Gambar diatas adalah contoh functional hierarchy dengan standart sub fungsi, sesuai dengan NORSOK Standart Z-008. Tujuannya adalah untuk memudahkan melakukan tindakan perawatan pada system tersebut.

3.4 Aplikasi Criticality Analysis

➤ Spare part evaluation

Hasil dari criticality analysis sangat berguna untuk mengidentifikasi peralatan mana yang membutuhkan pengganti sehingga peralatan mana yang membutuhkan pengganti sehingga kita dapat memesan spare dari komponen tersebut.

➤ Conceptual and design evaluation

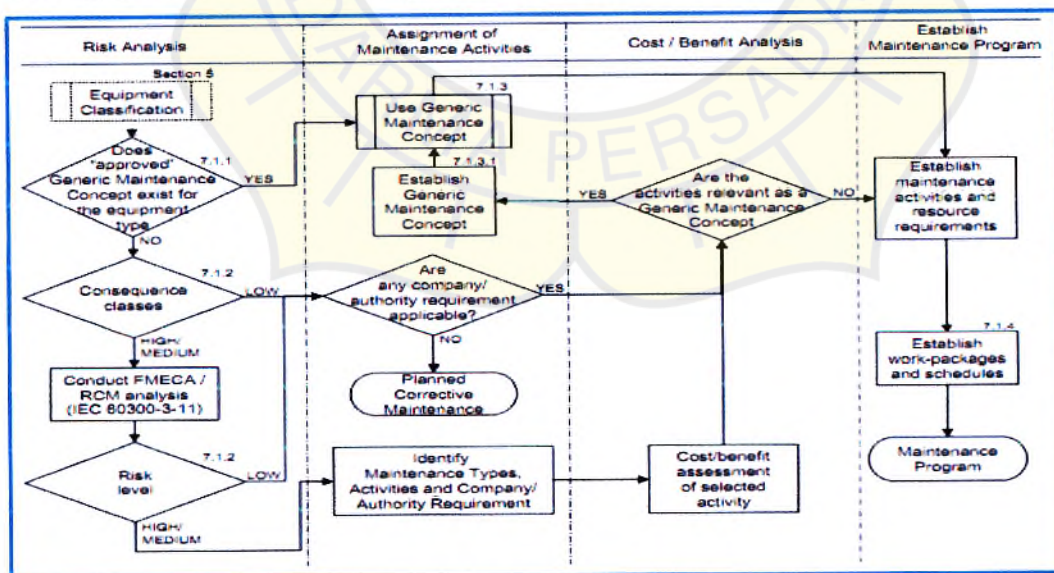
Jika analisa ini dilakukan pada saat awal pengoperasian system plan, maka hasil analisa sangat berguna untuk menyediakan data untuk mendukung pengambilan keputusan. Antara lain untuk menentukan kebutuhan sumber daya perawatan yang dibutuhkan pada operasi normal sistem dan juga untuk mengidentifikasi jika kegagalan tersembunyi dapat terjadi pada keamanan peralatan yang kritis.

➤ Prioritising work order

Hasil dari criticality analysis dapat sangat berguna ketika dipakai untuk menentukan kriteria untuk prioritas pekerjaan perawatan. Prioritas ini berdasarkan hasil penilaian konsekwensi dari kegagalan yang mungkin timbul. Kriteria yang digunakan berdasar pada prioritas dari : pengelompokan konsekwensi kegagalan, redundancy kegagalan dan informasi tentang seberapa serius dampak kegagalan tersebut.

➤ Untuk menyusun program perawatan

Proses untuk menyusun program perawatan dapat didasarkan pada gambar 2.6 tentang aplikasi criticality analysis berdasarkan NORSOK Standar Z-008.



Gambar 2.6 Aplikasi Criticality Analysis(NORSOK Standart Z-008)

4.4. FMECA (*Failure Mode Effect & Criticality Analysis*)

FMECA (*Failure Mode Effect & Criticality Analysis*) merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisa :

- ✚ Semua potential *failure mode* dari berbagai variasi peralatan dalam suatu sistem.
- ✚ Efek dari *failure* (kegagalan) yang mungkin terhadap sistem
- ✚ Bagaimana menghindari failure tersebut atau mengurangi dampak kegagalan pada sistem.

FMECA adalah teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi, memprioritaskan dan menghilangkan potensial *failure* dalam sistem. FMECA merupakan salah satu teknik secara sistematis untuk analisa kegagalan (*failure*), FMECA biasanya terbentuk pada saat conceptual desain dan initial desain pada sistem untuk memastikan bahwa semua potential *failure mode* telah dipertimbangkan dan peralatan yang tepat telah dibuat untuk menghilangkan *failure*. FMECA digunakan untuk membantu dalam memilih alternative desain dengan tingkat keandalan dan keselamatan tinggi.

Tabel 2.8 *Worksheet* FMECA

Description of Unit			Description of Failure			Effect of Failure		Failure rate	Risk reducing measurement	Comments
Reff no	Function	Operational mode	Failure mode	Failure cause or mechanism	Detection of failure	On the sub system	On the system			

2.5 Risk Matrik

Tabel 2.10 Risk Matrik

Likelihood	Consequences				
	Insignificant	Minor	Moderate	Major	Severe
Almost Certain	M	H	H	E	E
Likely	M	M	H	H	E
Possible	L	M	M	H	E
Unlikely	L	M	M	M	H
Rare	L	L	M	M	H

Tabel diatas merupakan contoh risk matrik 5x5 yang terdiri dari beberapa komponen yaitu kemungkinan terjadinya kecelakaan atau frekuensi, dampak yang ditimbulkan atau severity serta dibagian tengah yang merupakan perpotongan keduanya yang merupakan level dari resiko, ditandai dengan warna yang berbeda dimana L= *Low risk*, M= *Medium risk*, H= *High risk* dan E= *Extreme Risk*.

Cara mengetahui level suatu resiko dari matrik diatas adalah dengan mengetahui frekuensi dan konsekuensinya terlebih dahulu. Kemudian dua komponen ini ditarik secara mendatar dan vertical, perpotongan antara keduanya merupakan level dari resiko. Perhitungan dari nilai resiko adalah sebagai berikut :

$$\text{Resiko} = \text{Likelihood} \times \text{Consequence}$$

Tabel 2.11 Penjelasan Risk Matrik

Rating Risk Level ;	E	Extreme risk – detailed action/ plan required
	H	High risk – needs senior management attention
	M	Moderate risk – specify management responsibility
	L	Low risk – manage by routine procedures
Likelihood ;	A	Almost certain – expected in most circumstances
	B	Likely – will probably occur in most circumstances
	C	Possible – could occur at some time
	D	Unlikely – not expected to occur
	E	Rare – exceptional circumstances only

Consequences ;	5	Severe – would stop achievement of fungsional goals/objectives
	4	Major – would threaten fungsional goals/objectives
	3	Moderate – necessitating significant adjustment to overall function
	2	Minor – would threaten an element of the function
	1	Insignificant – lower consequence



Dalam membuat FMECA *worksheet* untuk setiap elemen sistem (subsistem, component) analisa harus mempertimbangkan semua fungsi elemen dalam semua mode operasinya, serta menanyakan jika beberapa failure dari sebuah elemen mungkin berdampak pada kinerja elemen. Jika jawabannya tidak, maka tidak perlu dilakukan analisa. Jika jawabannya ya maka elemen tersebut harus diperiksa terlebih dahulu. Berikut penjelasan untuk tiap kolom pada FMECA worksheets diatas :

Tabel 2.9 *Penjelasan Worksheet FMECA*

1	Kolom 1	Merupakan kolom penomoran dan nama komponen
2	Kolom 2	Fungsi dari elemen
3	Kolom 3	Variasi operational mode untuk elem terdaftar, sebagai contoh operational mode adalah idle (tidak jalan), standby dan running.
4	Kolom 4	Untuk setiap fungsi dan operational mode dari elemen potensial failure modes harus terdaftar dan diidentifikasi.
5	Kolom 5	Failure mode pada kolom 4 dipelajari satu persatu. Failure mechanism (corrosion, erosion dan fatigue) yang mungkin menghasilkan failure mode terdaftar dan diidentifikasi.
6	Kolom 6	Bervariasi kemungkinan untuk mendeteksi failure mode terdaftar. Misalnya diagnostic testing, different alarm, proof testing, human perception. Beberapa failure tampak dan beberapa tidak tampak.
7	Kolom 7	Efek setiap failure mode mungkin ada dalam komponen lain dalam sub sistem yang sama.
8	Kolom 8	Efek dari tiap failure mode yang mungkin ada dalam sistem terdaftar.
9	Kolom 9	Failure rate untuk tiap failure mode. Failure mode ini dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelas.
10	Kolom 10	Severity of failure adalah potensi efek terburuk dari failure yang telah dipertimbangkan pada sistem.
11	Kolom 11	Tindakan yang diambil untuk memperbaiki failure yang terjadi untuk mencegah dampak yang lebih buruk.
12	Kolom 12	Kolom yang biasa digunakan untuk mencatat informasi yang berhubungan dengan analisa yang dibahas.