



TESIS - ME185401

**EVALUASI PERFORMA *MAIN ENGINE* DENGAN
PENDEKATAN *FORECASTING ASSESSMENT*
BERDASARKAN DATA *CONDITION MONITORING* PADA
TEMPERATUR GAS BUANG**

DONNY ENDRA PRASTYA
04211750010008

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
2020



TESIS - ME185401

**EVALUASI PERFORMA *MAIN ENGINE* DENGAN
PENDEKATAN *FORECASTING ASSESSMENT*
BERDASARKAN DATA *CONDITION MONITORING*
PADA TEMPERATUR GAS BUANG**

DONNY ENDRA PRASTYA
04211750010008

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN *MARINE OPERATION AND MAINTENANCE*
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020



THESIS - ME185401

***MAIN ENGINE PERFORMANCE EVALUATION
WITH FORECASTING ASSESSMENT BASED ON
CONDITION MONITORING DATA IN EXHAUST
GAS TEMPERATURE***

DONNY ENDRA PRASTYA
04211750010008

SUPERVISOR

Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.

Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.

MASTER PROGRAM
FIELD OF EXPERTISE *MARINE OPERATION AND MAINTENANCE*
MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

DONNY ENDRA PRASTYA

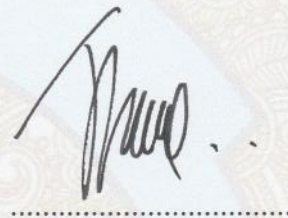
NRP: 04211750010008

Tanggal Ujian: 16 Januari 2020

Periode Wisuda: Maret 2020

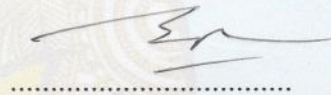
Disetujui oleh:
Pembimbing:

1. Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
NIP: 197601292001121001



.....

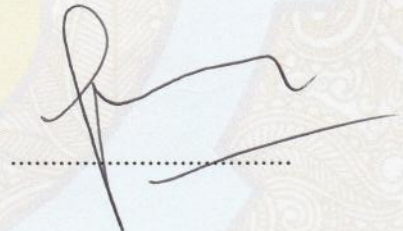
2. Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP: 197708022008011007



.....

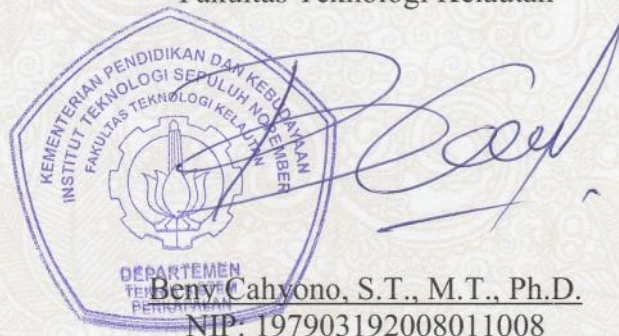
Penguji:

1. Raja Oloan Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP: 197107201995121001



.....

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan



Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 197903192008011008

Halaman ini sengaja dikosongkan

EVALUASI PERFORMA *MAIN ENGINE* DENGAN PENDEKATAN *FORECASTING ASSESSMENT* BERDASARKAN DATA *CONDITION MONITORING* PADA TEMPERATUR GAS BUANG

Nama mahasiswa : Donny Endra Prastya
NRP : 04211750010008
Pembimbing : Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., M.T.

ABSTRAK

Perawatan dan pemeliharaan adalah merupakan unsur utama dalam setiap kegiatan operasional kapal. Perawatan mesin kapal yang tidak memadai dapat meningkatkan kegagalan peralatan yang mengancam lingkungan, mempengaruhi kinerja, memiliki dampak besar dalam hal kerugian bisnis dengan mengurangi ketersediaan kapal, meningkatkan waktu henti, dan juga meningkatkan potensi kecelakaan besar yang terjadi dan membahayakan nyawa di atas kapal. Mesin utama di kapal tidak hanya merupakan bagian terpenting namun juga komponen yang paling dominan mengalami kendala. Dalam kondisi aktualnya, kerusakan yang terjadi pada sebuah mesin sangatlah kompleks dan akan berakibat fatal apabila tidak dilakukan kegiatan monitoring dan perawatan yang baik pada saat kapal dalam kondisi operasi. Sebelum dilakukan perbaikan pada kerusakan yang dialami mesin diesel kapal, perlu dilakukan deteksi terhadap kerusakan yang ada pada mesin. setelah diketahui jenis kerusakan dan penyebabnya, hal yang perlu dilakukan adalah mengetahui penyebab utama. Dalam penelitian ini penulis mengembangkan sebuah metode kombinasi untuk mendeteksi atau mendiagnosis sebuah mesin berdasarkan data condition monitoring pada temperature gas buang. Metode yang diusulkan merupakan kombinasi atau gabungan dua metode, yaitu Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA) dan metode Forecasting Assessment (peramalan) menggunakan Artificial Neural Network (ANN). FMECA dimaksudkan untuk bottom-up kejadian penyebab kegagalan dan mengukur level kekritisannya pada engine. Forecasting Assessment (peramalan) digunakan untuk memprediksi nilai yang akan datang dari semua silinder mesin utama suhu gas buang. Dengan kombinasi metode diatas, maka diharapkan dapat memprediksi waktu dan tindakan dalam proses perawatan yang dilakukan pada mesin kapal. Adapun hasil dari penelitian ini terdapat 23 equipment dan terdapat 99 failure mode pada lubricating oil system. Dari keseluruhan failure mode sebaran level kekritisannya memiliki level low risk (24%), medium risk (64%), dan high risk (12%). Berdasarkan data condition monitoring temperatur gas buang selanjutnya dilakukan forecasting

assessment (peramalan) didapatkan nilai error maksimal sebesar 4,31% divalidasi melalui perbandingan pengamatan aktual yang dicatat langsung diatas kapal untuk peramalan 12 bulan yang akan datang.

Kata Kunci : *Condition Monitoring*, FMECA, *Forecasting Assessment*, *Main Engine*, Temperatur Gas Buang

MAIN ENGINE PERFORMANCE EVALUATION WITH FORECASTING ASSESSMENT BASED ON CONDITION MONITORING DATA IN EXHAUST GAS TEMPERATURE

Name : Donny Endra Prastya
NRP : 04211750010008
Supervisor : Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.
Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, ST., M.T.

ABSTRACT

Operation and maintenance are the main elements in every operational activity of the ship. Inadequacy in terms of ship engine maintenance could increase the rates of failures in the equipment that could lead to environmental problems, altering the performance, and would possibly create a large impact of business loss over the decline of availability on the vessels, increasing the downtime, and also potentially broaden the potential for major accidents that occur and endangering lives on board. The main engine on the ship is not only the most important part but also the most dominant component that often undergo problems. In actual conditions, the damage that occurs to an engine is very complex and would lead to fatality if there is a lack of proper monitoring and maintenance activities to be carried out when the ship is in operational condition. Before repairs are to be made onto the damage suffered by the ship's diesel engine, it is necessary to detect any damage to the engine in prior. Subsequently to the type of damage and its cause, the thing to do is to identify the major cause. In this study, the authors developed a combination method to detect or diagnose an engine based on its condition monitoring data on the exhaust gas temperature. The proposed method is a combination or a fuse of two methods, on Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA) and the Forecasting Assessment method using Artificial Neural Network (ANN). FMECA is intended to bottom-up the events that lead to failure and measure the level of criticality on the engine. Forecasting Assessment is used to predict future values from all major engine cylinders of the exhaust gas temperature. With the combination of the methods above, it is expected that the prediction of time and action in the maintenance process are adept to be carried out on the ship's engine. The results of this study were consisting of 23 equipment and 99 failure modes detected in the lubricating oil system. From the overall failure mode, the critical level distribution had a low-risk level (24%), medium risk (64%), and high risk (12%). Based on the condition monitoring data on the exhaust gas temperature, the forecasting assessment was obtained and the maximum error value of 4.31% is validated

through comparison of actual observations recorded directly on the ship for forecasting towards 12 months forth.

Keyword : Condition Monitoring, FMECA, Forecasting Assessment, Main Engine, Exhaust Gas Temperature

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas segala rahmat, karunia serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan tepat waktu yang berjudul:

“ANALISA PERFORMA MAIN ENGINE DENGAN PENDEKATAN FORECASTING ASSESSMENT BERDASARKAN DATA CONDITION MONITORING PADA TEMPERATUR GAS BUANG”

Tesis ini sebagai syarat memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang studi *Marine Operation and Maintenance* (MOM) Program Studi S-2 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Selama proses penyusunan dan pengerjaan Tesis ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak, sehingga penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan Tesis ini, khususnya kepada:

1. **Allah SWT**, Keluarga penulis yaitu kedua orang tua tercinta **Bapak Sholehah; Ibu Siti Shofiyah** dan **Adik Talitha Salwa Ramadhani** beserta seluruh keluarga besar yang telah memberikan doa restu, perhatian serta dukungan baik secara moril maupun materiil.
2. **Bapak Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D.** selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS.
3. **Bapak R.O. Saut Gurning, S.T., M.Sc., Ph.D.**, sebagai Kepala Program Studi Pascasarjana (S2/S3) Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dan **Bapak Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc.**, selaku dosen wali yang juga membantu penulis dalam kegiatan akademik.
4. **Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.**, selaku Dosen Pembimbing Pertama dan kepala Laboratorium *Marine Operation and Maintenance* (MOM) terimakasih atas bimbingan, ilmu, saran, nasehat serta dukungannya sehingga tesis ini dapat diselesaikan.
5. **Bapak Dr. Eng. Muhammad Badrus Zaman, S.T., M.T.**, selaku Dosen Pembimbing Kedua atas kesabaran dalam mengajarkan ilmunya serta selalu memberikan masukan dan motivasi sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
6. **Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.T.**, selaku dosen muda dan **Mas Oby Hamim** yang juga rekan penulis dalam melakukan penelitian yang tidak segan membantu pengerjaan serta memberikan masukan dan diskusi selama pengerjaan tesis ini baik permasalahan tesis ataupun kehidupan duniawi.

7. **Spesial** kepada yang ter-istimewa **Lusi Fadilah** yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materiil serta telah memberikan makna tersendiri di setiap proses pembuatan tesis ini. **Terima kasih doa, kasih sayang, dan semangatnya.**
8. Rekan-rekan seperjuangan tesis Pascasarjana (ME 2017) **Bapak Hari Subagyo, Bapak Birham Hermansyah, Bapak Nazaruddin, Mirza Otto, Thariq. A. Akbar, Dicky Nalendra, Dimas Tegar, Hayy Abdillah, Yulia Ayu, Frengki M. Felayati.**
9. Rekan-rekan seperjuangan tesis Pascasarjana (ME 2018) **Bapak Suratno, Bapak Guntur, Abdul Ghofur, Prasetyo Adi, Altaqna Adam, Desta Rifky, Rizqi Mubarak, Jangka Rulianto, Safira Chika.**
10. Sahabat-sahabat SMA (**KROCO**) yang senantiasa mendorong dan memberikan semangat serta motivasi dibarengi dengan kopi hitam untuk terus melanjutkan pendidikan **Tika Selly, Rifky Fauzi, Bima Tanzila, Hisyam Taufik, Apriano Dera, Wildan Rachmad.**
11. Sahabat-sahabat Kuliah (**CIL**) yang senantiasa mendorong dan memberikan semangat serta motivasi dibarengi cacian, hujatan, sarkasme bentuk tanda sayang untuk terus melanjutkan pendidikan **Himawan Wicaksono, Adji Pangestu, Atandho Gama, Zein Arfian, Carlanda Silja, Putu Sadhvi, Amalia Astrania, Lulu Rozy.**
12. Rekan-rekan seperjuangan **Futsal Pascasarjana ITS** yang telah menemani penulis untuk melepas penat dan memberi wadah untuk berolahraga sehingga kesehatan tetap terjaga.
13. Rekan-rekan angkatan **BISMARCK '12** yang menemani penulis selama menjalani masa studi baik pada jenjang sarjana maupun magister.
14. Serta semua pihak yang terlibat dalam pengerjaan tesis ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Tesis ini tentunya masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun atas ketidaksempurnaan penyusunan Tesis ini sangat penulis harapkan. Semoga Tesis ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penyusun pada khususnya.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	7
1.4. Batasan Masalah	7
1.5. Manfaat Penelitian	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 <i>Summary Study</i> Hasil Penelitian Sebelumnya	9
2.2 Sistem Mesin di Kapal (<i>Main Engine System</i>)	12
2.2.1 <i>Sistem Bahan Bakar (Fuel Oil System)</i>	12
2.2.2 <i>Sistem Pelumasan (Lubricating Oil System)</i>	13
2.2.3 <i>Sistem Pendingin (Cooling System)</i>	15
2.2.4 <i>Sistem Starting Engine (Starting Engine System)</i>	16
2.3 Kerusakan-kerusakan pada Mesin Diesel secara Umum	17
2.4 Perkembangan Karakteristik Kegagalan (<i>Failure Characteristic</i>)	20
2.5 Pengelolaan Daftar Perawatan Aset (<i>Asset Register</i>)	25
2.6 <i>Diagnostic Assessment</i>	26

2.6.1	<i>Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)</i>	27
2.6.2	<i>Forecasting Assessment / Predict Future for Failure</i>	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		35
3.1	Diagram Alir Penelitian	35
3.2	Identifikasi dan Perumusan Masalah	36
3.3	Studi Literatur	36
3.4	Pengumpulan Data	36
3.5	Membuat Asset Register	37
3.6	<i>Forecasting Assesment / Predict Future for Failure</i>	37
3.6.1.	<i>Menentukan Level / Rangking Equipment Prioritas (Equipment Critical)</i> 37	
3.6.2.	<i>Pengambilan Data Condition Monitoring</i>	37
3.6.3.	<i>Forecasting Assessment (Artificial Neural Network Approach)</i>	38
3.7	Hasil <i>Diagnostic Assesment</i> dan Validasi Hasil (Uji Sensitifitas).....	38
BAB IV HASIL & PEMBAHASAN		39
4.1	Identifikasi Pengumpulan Data.....	39
4.2	FMECA (<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis</i>).....	40
4.3	Pengambilan Data <i>General Cargo Vessel</i>	46
4.3.1.	<i>Data Temperatur Gas Buang (Exhaust Gas Temperature)</i>	46
4.3.2.	<i>Data Maximum Combustion Pressure</i>	48
4.3.3.	<i>Data Compression Pressure</i>	48
4.4	<i>Forecasting Assesment dan Performance Analysis</i>	51
4.4.1.	<i>Forecasting Assesment</i>	51
4.4.2.	<i>Evaluasi Performa Main Engine</i>	64
BAB V KESIMPULAN		65
5.1	Kesimpulan	65

5.2	Saran.....	65
	DAFTAR PUSTAKA	67

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Penyebab kasus kecelakaan kapal (kerusakan mesin) 2009-2014	2
Gambar 1. 2. Pengaruh kerusakan mesin yang mempengaruhi operasi kapal	3
Gambar 1. 3. Pola kegagalan pada peralatan dari generasi ke generasi (Moubrey, 1997)	4
Gambar 1. 4. Perkembangan Ekpektasi dan Metode <i>Maintenance</i> (Moubrey, 1997)	5
Gambar 2. 1. <i>Fuel Oil System</i>	13
Gambar 2. 2. <i>Lubricating Oil System</i>	14
Gambar 2. 3. <i>Cooling System</i>	16
Gambar 2. 4. Pola kegagalan pada peralatan dari generasi ke generasi (Moubrey, 1997)	21
Gambar 2. 5. <i>Bathup Curve</i>	22
Gambar 2. 6. Perkembangan Ekspektasi <i>Maintenance</i> (Moubrey, 1997).....	23
Gambar 2. 7. Perkembangan Teknik <i>Maintenance</i> (Moubrey, 1997).....	24
Gambar 2. 8. Enam pola kegagalan (<i>failure pattern</i>) pada generasi ketiga.....	25
Gambar 2. 9. <i>Performance equipment</i>	26
Gambar 2. 10. <i>Artificial Nueral Network Structure</i> (Lazakis, et al., 2018).....	33
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	35
Gambar 4. 1. <i>Offshore Reliability Data Handbook</i> (OREDA)	42
Gambar 4. 2. Grafik <i>Exhaust Gas Temperature</i> Tahun 2016 - 2019.....	47
Gambar 4. 3. Grafik <i>Maximum Combustion Pressure</i> Tahun 2016 - 2019	49
Gambar 4. 4. Grafik <i>Compression Pressure</i> Tahun 2016 - 2019.....	50
Gambar 4. 5. <i>Multilayer Perceptron (MLP) structure</i>	51
Gambar 4. 6. Tampilan <i>Software ANACONDA</i>	52
Gambar 4. 7. <i>Data Time Series Exhaust Gas Temperature</i> Beserta Peramalan 2016-2020	57
Gambar 4. 8. Data Aktual Pengukuran Temperatur Exhaust Gas Kapal General Cargo [1]	60

Gambar 4. 9. Data Aktual Pengukuran Temperatur Exhaust Gas Kapal General
Cargo [2]..... 63

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Perbandingan kelebihan metode dalam penilaian resiko	10
Tabel 2. 2. Klasifikasi frekuensi kerusakan (<i>probability of failure</i>) pada instalasi permesinan	18
Tabel 2. 3. <i>Failure Mode Combustion Engine</i> (ISO-14224)	27
Tabel 2. 4. Frekuensi kerusakan yang terjadi (<i>Current Likelihood</i>)	30
Tabel 2. 5. FMECA <i>worksheet</i> (1)	32
Tabel 2. 6. FMECA <i>worksheet</i> (2)	32
Tabel 4. 1. <i>Ship Particular Research Object</i>	39
Tabel 4. 2. Tingkat keparahan berdasarkan <i>loss of containment</i>	40
Tabel 4. 3. Tingkat keparahan berdasarkan <i>safety</i>	41
Tabel 4. 4. Tingkat keparahan berdasarkan <i>operational</i>	41
Tabel 4. 5. Frekuensi kerusakan yang terjadi (<i>Current Likelihood</i>)	41
Tabel 4. 6. Risk Matrix Example Format	42
Tabel 4. 7. FMECA – <i>Main Engine</i>	43
Tabel 4. 8. FMECA – <i>Lubricating Oil System</i> (LO)	44
Tabel 4. 9. FMECA – <i>Lubricating Oil System</i> (LO) - Lanjutan	44
Tabel 4. 10. Rancangan Data	52
Tabel 4. 11. Temperatur Gas Buang Tahun 2016	53
Tabel 4. 12. Temperatur Gas Buang Tahun 2017	53
Tabel 4. 13. Temperatur Gas Buang Tahun 2018	54
Tabel 4. 14. Temperatur Gas Buang Tahun 2019	54
Tabel 4. 15. Prediksi (Peramalan) Temperatur Gas Buang 12 bulan berikutnya..	55
Tabel 4. 16. Temperatur gas buang 40 jam kapal general kargo [1]	58
Tabel 4. 17. Prediksi Temperatur gas buang 10 jam kapal general kargo [1]	59
Tabel 4. 18. Temperatur gas buang 40 jam kapal general kargo [2]	61
Tabel 4. 19. Prediksi Temperatur gas buang 10 jam kapal general kargo [2]	62
Tabel 4. 20. Perbandingan Data Aktual di Kapal General Cargo [1] dengan ANN Prediction untuk Exhaust Gas Temperature pada setiap Silinder	64

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Mesin diesel adalah jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan kedalam ruang bakar (Harrington, 1992). Untuk motor penggerak di kapal, banyak digunakan mesin diesel dengan kategori *marine diesel*. Secara umum mesin diesel di kapal dibagi dalam beberapa kategori sesuai dengan *operating cycle*, *construction*, dan *speed*. Berdasarkan *operating cycle*, mesin diesel dibedakan menjadi *two stroke engine* (2-tak) dan *four stroke engine* (4-tak). Sedangkan dalam kategori konstruksi mesin diesel dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: *trunk*, *crosshead*, dan *opposed piston*. Untuk kategori berdasarkan kecepatan putaran atau *speed*, mesin diesel dibagi sebagai berikut (Harrington, 1992; Taylor, 1996):

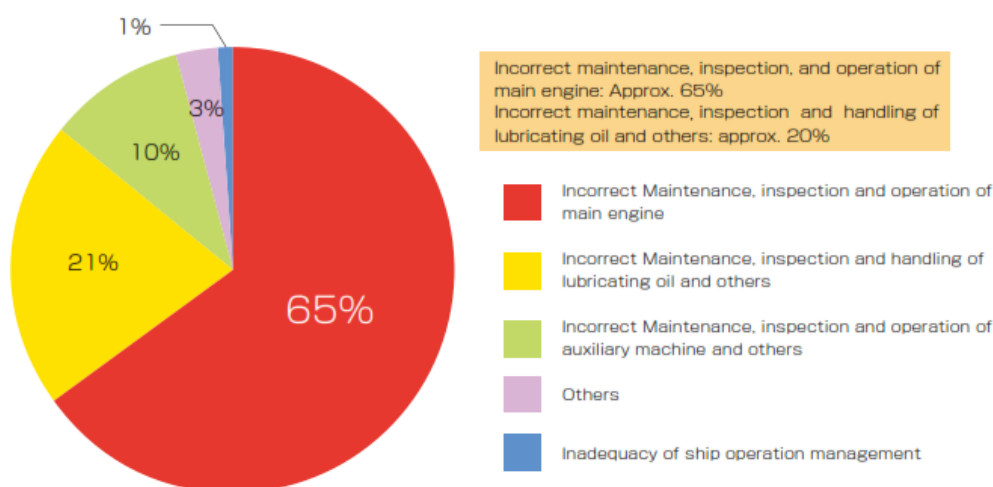
- Putaran tinggi (*high speed*) = lebih dari 1000 putaran per menit (rpm)
- Putaran menengah (*medium speed*) = 300 – 1000 putaran per menit (rpm)
- Putaran lambat / rendah (*slow speed*) = kurang dari 300 putaran per menit (rpm)

Untuk memenuhi kerja mesin di kapal terdapat beberapa sistem yang harus diperhatikan, seperti: sistem bahan bakar (*fuel oil system*), sistem pelumas (*lubricating oil system*), sistem pendingin (*cooling system*), dan *starting and compressed air system*. Sistem di atas mempengaruhi kinerja dari operasional mesin di kapal (Mollenhauer & Tschöke, 2010). Setiap mesin memiliki spesifikasi dan *requirement* yang berbeda sesuai dengan *engine maker* perusahaan yang mengeluarkan *project guide* mesin tersebut. Dalam industri maritim utamanya perkapalan sudah banyak dikenal beberapa perusahaan penyedia *marine diesel engine*, seperti: Wartsila, MAN, Yanmar, Daihatsu, MTU, Caterpillar, dan sebagainya (Yongzhi, et al., 2017).

Dalam mesin diesel, ada beberapa macam kerusakan dan gangguan yang dapat terjadi. Beberapa contoh jenis kerusakan yang dapat timbul dalam *marine diesel* di kapal adalah sebagai berikut: asap buang abnormal (*abnormal exhaust smoke*), *hard starting*, *excessive crankcase pressure*, *no fuel*, *black out* (Calder, 2006).

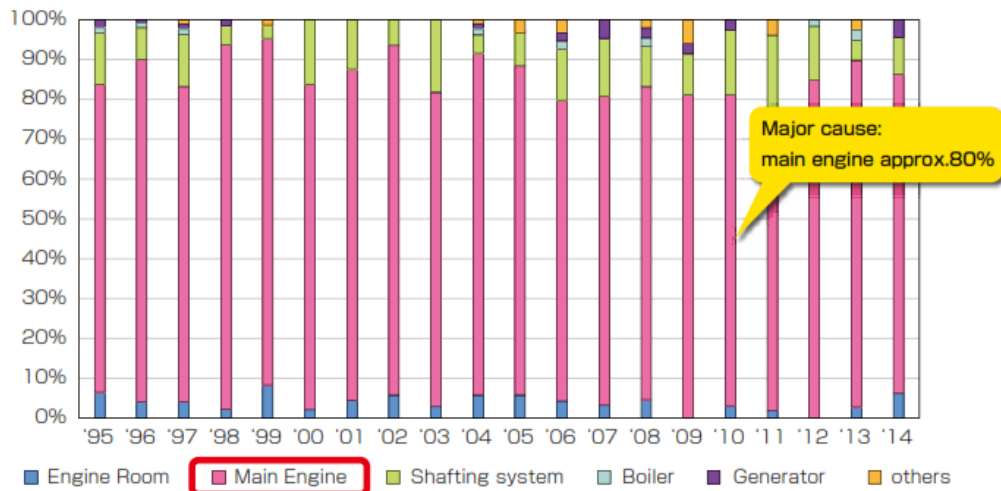
Kegagalan / kerusakan-kerusakan *main engine*, *purifier*, saluran-saluran pipa dan katup-katupnya, ketel uap bantu serta economizer gas buang sangat menonjol. Kerusakan-kerusakan untuk peralatan ini berjumlah 45% dari jumlah keseluruhan kerusakan, dan terbagi dalam kelompok sebagai berikut (Calder, 2006):

- a. Kurang lebih 30% dari kegagalan / kerusakan mesin-mesin diesel utama adalah kerusakan-kerusakan pada pompa bahan bakar dan katup-katup.
- b. Hampir keseluruhan kerusakan pada ketel-ketel uap bantu dan economizer gas buang terkait dengan sistem pembakaran minyak untuk ketel uap bantu dan *sootblowers* untuk economizer gas buang.



Gambar 1. 1. Penyebab kasus kecelakaan kapal (kerusakan mesin) 2009-2014
(P&I Club, 2017)

Gambar 1.1. diatas menunjukkan persentase (%) penyebab gangguan mesin karena kesalahan perawatan, inspeksi, operasi *main engine* mencapai 65%. sementara penyebab lain seperti kesalahan perawatan, inspeksi dan penanganan oli pelumas (21%), kesalahan perawatan, inspeksi, dan operasi mesin bantu (10%), kurangnya manajemen perawatan (1%) dan lainnya (3%).



Gambar 1. 2. Pengaruh kerusakan mesin yang mempengaruhi operasi kapal

(P&I Club, 2017)

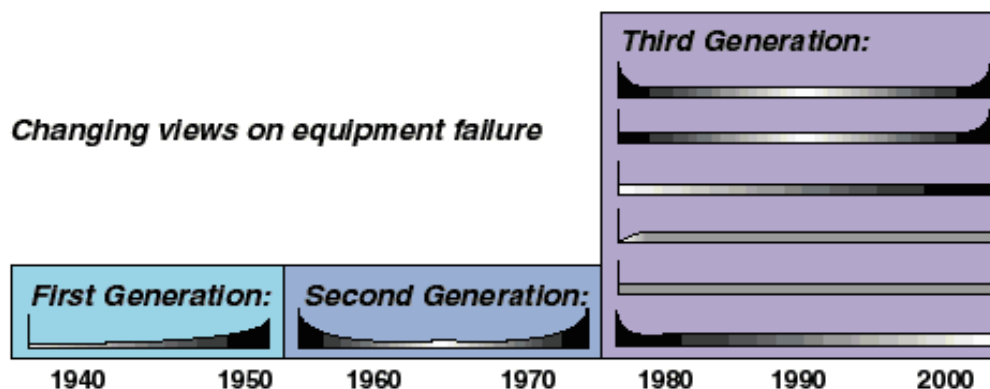
P&I Club (Protection and Indemnity Insurance) juga menerangkan pada Gambar 1.2. menunjukkan tentang perubahan persentase (%) kerusakan-kerusakan mesin yang mempengaruhi operasi kapal. Perkiraan 80% penyebab utama kerusakan berkaitan dengan *main engine*, seperti yang telah ditunjukkan dalam warna merah muda pada grafik. Di antara beberapa permasalahan mesin diesel terjadi di sekitar ruang bakar (*cylinder cover, cylinder liner, piston, turbocharger* dan lain-lain) serta dengan *crank pin* dan *bearing*.

Maintenance adalah suatu kegiatan untuk merawat atau memelihara dan menjaga mesin / peralatan dalam kondisi yang terbaik supaya dapat digunakan untuk melakukan produksi sesuai dengan perencanaan. Dengan kata lain, *maintenance* adalah kegiatan yang diperlukan untuk mempertahankan (*retaining*) dan mengembalikan (*restoring*) mesin ataupun peralatan kerja ke kondisi yang terbaik sehingga dapat melakukan produksi dengan optimal.

Selama lebih dari dua puluh tahun, konsep *maintenance* telah berulang kali mengalami perubahan apabila dibandingkan dengan konsep manajemen yang lain. Perubahan konsep ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya semakin meningkatnya jumlah dan jenis dari aset fisik meliputi *plant*, komponen dan bangunan yang harus dilakukan *maintenance* di seluruh dunia. Selain itu tingkat kompleksitas desain, teknik *maintenance* baru yang semakin beragam serta perubahan pandangan dari sebuah perusahaan atau organisasi terhadap pentingnya

maintenance juga turut menjadi faktor terjadinya perubahan dalam dunia *maintenance*. Perubahan ini tentunya diikuti dengan perubahan ekspektasi atau harapan terhadap hasil yang didapatkan dari *maintenance* yang dijalankan.

Semakin berkembangnya kesadaran terhadap kegagalan awal (*infant mortality*), mengakibatkan berkembangnya pola kurva bak mandi (*bath-tub curve*) di generasi kedua. Namun pada generasi ketiga pada era 1980 sampai 2000-an perubahan tipe kegagalan pada peralatan tidak hanya dalam satu kurva, tetapi menjadi enam pola tipe kegagalan atau yang dalam istilah perawatan dikenal dengan *six failure pattern* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.3. Enam tipe kegagalan tersebut secara statistik 11% merupakan *age related* dan 89% merupakan *random failure* (DNV-GL, 2014).



Gambar 1. 3. Pola kegagalan pada peralatan dari generasi ke generasi (Moubrey, 1997)

Maintenance atau perawatan dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *Planned Maintenance* dan *Unplanned Maintenance*. *Unplanned Maintenance* disebut juga sebagai *Breakdown Maintenance* adalah perawatan yang tidak terencana, perawatan yang dilakukan ketika sudah terjadi kerusakan pada mesin atau peralatan kerja sehingga mesin tersebut tidak dapat beroperasi secara normal atau berhenti operasional secara total. *Planned maintenance* merupakan kegiatan perawatan yang terencana, dimana kegiatan perawatan dilakukan dengan baik sebelum mesin mengalami kerusakan. Tipe perawatan ini disebut sebagai tindakan *Preventive Maintenance* (Moubrey, 1997).

Preventive Maintenance adalah jenis perawatan yang dilakukan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada mesin selama operasi berlangsung. Contoh *preventive maintenance* adalah melakukan penjadwalan untuk pengecekan (*inspection*) dan pembersihan (*cleaning*) atau pergantian suku cadang secara rutin dan berkala. *Preventive Maintenance* terdiri dua jenis, yakni:

a. *Periodic Maintenance* (Perawatan berkala)

Periodic Maintenance ini diantaranya adalah perawatan berkala yang terjadwal dalam melakukan pembersihan mesin, inspeksi mesin, meminyaki mesin dan juga pergantian suku cadang yang terjadwal untuk mencegah terjadi kerusakan mesin. Secara mendadak yang dapat mengganggu kelancaran produksi. *Periodic Maintenance* biasanya dilakukan dalam harian, mingguan, bulanan ataupun tahunan.

b. *Predictive Maintenance* (Perawatan prediktif)

Predictive Maintenance adalah perawatan yang dilakukan untuk mengantisipasi kegagalan sebelum terjadi kerusakan total. *Predictive Maintenance* ini akan memprediksi kapan akan terjadinya kerusakan pada komponen tertentu pada mesin dengan cara melakukan analisa trend perilaku mesin / peralatan kerja. Berbeda dengan *Periodic Maintenance* yang dilakukan berdasarkan waktu (*Time Based*), *Predictive Maintenance* lebih menitikberatkan pada kondisi mesin (*Condition Based / monitoring*).

	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000
	First Generation		Second Generation			Third Generation	
Expectations	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Downtime was a fact of life 		<ul style="list-style-type: none"> ◦ Higher plant availability ◦ Defined equipment life ◦ Lower costs 			<ul style="list-style-type: none"> ◦ Higher plant reliability ◦ Equipment life extension ◦ Greater costs effectiveness ◦ Better safety standards ◦ Environmental damage control ◦ Better product quality 	
Methods	<ul style="list-style-type: none"> ◦ Fix it when it broke ◦ Run to Failure strategy 		<ul style="list-style-type: none"> ◦ Scheduled overhauls ◦ Systems for controlling work ◦ Big slow computers ◦ Time or Cycle based strategy 			<ul style="list-style-type: none"> ◦ Design for reliability ◦ Failure mode & effect analysis ◦ Condition monitoring ◦ Multiskilling & teamwork ◦ Hazop reviews ◦ Smaller faster computers ◦ Expert systems ◦ Condition based strategies 	

Gambar 1. 4. Perkembangan Ekpektasi dan Metode *Maintenance* (Moubrey, 1997)

Gambar 1.4. memperlihatkan perkembangan Ekspektasi dan Metode *Maintenance. Predictive Maintenance* sebagai tindakan pencegahan (*preventive*) yang menitikberatkan data *condition monitoring* pada mesin kapal memerlukan pemeriksaan secara *on-line* monitoring maupun *intermitten* monitoring. Data-data kondisi mesin yang diperlukan untuk mendeteksi kerusakan-kerusakan diantaranya adalah: operasional *temperature, pressure, vibrasi, thermal, dan oil*. Data-data *condition monitoring* menjadi input selanjutnya dalam proses *Diagnostic Assessment*. *Diagnostic Assessment* menjadi penting sebagai *early warning system* untuk memastikan kondisi mesin dalam performa yang baik dan laik laut saat kapal berlayar.

Oleh karena itu dalam penelitian ini penulis, mengembangkan sebuah gabungan metode untuk mendeteksi atau mendiagnosis sebuah mesin berdasarkan data *condition monitoring* pada temperature gas buang. Metode yang diusulkan merupakan kombinasi atau gabungan dua metode, yaitu: *Failure Mode and Effect Criticality Analysis* (FMECA) dan metode *Forecasting / peramalan*. FMECA dimaksudkan untuk pendekatan secara bottom-up kejadian penyebab terjadinya kegagalan pada engine dan mengukur level kekritisian kegagalan (Lazakis, et al., 2018).

Forecasting / peramalan bertujuan untuk modeling dan analisa pada prediksi *future values of time series* pada mode kegagalan yang telah didapatkan dari FMECA. Dengan pengembangan model ini maka diharapkan dapat memprediksi waktu dan tindakan dalam proses perawatan yang dilakukan pada mesin dikapal.

1.2. Perumusan Masalah

Dari penjelasan latar belakang, maka perumusan masalah terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi pada mesin kapal akan berakibat fatal apabila tidak dilakukan kegiatan monitor dan perawatan yang baik pada saat kapal dalam kondisi operasi. Sebelum dilakukan perbaikan pada kerusakan yang dialami mesin diesel kapal, perlu dilakukan deteksi terhadap kerusakan yang ada pada mesin. Setelah diketahui jenis kerusakan dan penyebabnya, hal yang perlu dilakukan adalah

mengetahui penyebab kerusakan utama yang mengakibatkan performa mesin diesel menurun.

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian

1. Bagaimana analisa gejala kegagalan dan kerusakan pada sistem *main engine* dikapal yang dapat mempengaruhi temperatur gas buang?
2. Bagaimana pemodelan kombinasi FMECA dengan *Forecasting Assessment* dalam memprediksi *Diagnostic Assessment* berdasarkan data *Condition Monitoring*?
3. Bagaimana pengaruh temperatur gas buang terhadap performa *main engine*?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menentukan level kekeritisan dan gejala kegagalan pada sistem *main engine* dikapal.
2. Membuat pemodelan kombinasi FMECA dengan *Forecasting Assessment* untuk dijadikan sebagai kerangka pemantauan *Condition Monitoring* untuk menilai kinerja sistem *main engine* dikapal.
3. Mengetahui performa *main engine* dengan berdasarkan data condition monitoring temperatur gas buang.

1.4. Batasan Masalah

Agar penulisan ini terarah sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian, maka diperlukan batasan masalah. Berikut ini adalah batasan masalah pada penelitian ini:

1. Dalam penelitian ini, yang menjadi obyek penelitian adalah terbatas pada *Lubricating Oil System*
2. Mesin kapal yang dijadikan obyek penelitian adalah mesin yang dipakai pada kapal niaga (*container ship*).

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun penelitian ini dapat bermanfaat bagi beberapa pihak, diantaranya adalah:

1. Manfaat Bagi Penulis

Menambah wawasan dan melatih pola pikir yang sistematis dalam menghadapi masalah-masalah di bidang *Marine Operation and Maintenance*.

2. Manfaat Bagi Perusahaan

Memberikan manfaat pada perusahaan-perusahaan *shipping company*, *ship owner* dalam mengelola asset fisik, dalam hal ini adalah *main engine*.

3. Manfaat Bagi Civitas Akademi

Sebagai informasi, dokumentasi, dan dapat digunakan sebagai referensi tambahan bagi penelitian serupa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Summary Study Hasil Penelitian Sebelumnya*

Dalam mengidentifikasi sistem / komponen mesin kapal yang penting dan untuk menganalisis parameter fisiknya. (Lazakis, et al., 2018) memakai pendekatan *reliability* untuk mengetahui level kekritisan komponen pada silinder mesin di kapal sebagai input parameter dalam memprediksi kerusakan. Prediksi kerusakan engine dilakukan dengan menggunakan metode *Artificial Neural Networks* (ANN) dengan cara memonitor temperature gas buang pada *main engine*. Penelitian dalam *Risk Based Maintenance* (RBM) yang lain oleh (Diamantoulaki & Angelides, 2013) menggunakan pendekatan *Probabilistic Risk Assessment* (PRA) sebelum menentukan *maintenance scheduling technique* dengan cara *expert judgment*. Penelitian dengan menggunakan *probabilistic risk assessment* dan *expert judgment* juga pernah dilakukan oleh (Handani, et al., 2011) (Giorgio, et al., 2015).

Pembaharuan metode *risk based maintenance* dengan mengkombinasikan *Probabilistic Risk Assessment* dan optimasi dalam menentukan penjadwalan maintenance dilakukan oleh (Baliwangi, et al., 2006) (Dong & Frangopol, 2015). *Probabilistic Risk Assessment* merupakan sebuah metode dalam menentukan level risiko dari sebuah komponen dengan analisa kuantitatif. Sedangkan untuk metode *maintenance scheduling*, beberapa peneliti menggunakan pendekatan *decision theory*. (Lazakis, et al., 2010) mengadopsi MCDM (*Multi Criteria Decision Making*). Ada beberapa contoh penelitian dalam *decision making* pada bidang maritim. Penelitian pada aplikasi *network-based models in Decision Support or decision making* sebagian besar ditujukan untuk navigasi atau permasalahan yang terjadi di kapal (Liu & Yang, 2004; Eleye-Datubo, et al., 2006). Dalam penilaian risiko dikenal beberapa tools dan metode sebagai berikut:

- Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)
- Fault Tree Analysis (FTA)
- Hazard and Operability Analysis (HAZOP)
- Preliminary Hazard Analysis (PHA)

Berdasarkan tabel 2.1. menyajikan *summary* perbandingan kelebihan dan kekurangan masing-masing metode yang digunakan untuk melakukan penilaian resiko.

Tabel 2. 1. Perbandingan kelebihan metode dalam penilaian resiko

<i>Methods and Tools</i>	Kelebihan	Kekurangan
Failure Mode and Effect Analysis (FMEA/FMECA)	<ul style="list-style-type: none"> • FMEA dapat me-record failure mode, causes, and effect yang mana sangat bernilai untuk memberikan informasi pada <i>future product</i> dan proses desain. Bersifat <i>bottom-up</i> approach. • FMEA menyediakan informasi <i>predominant failure</i> yang dapat dijadikan pertimbangan ketika produk akan didesain. • Prioritas action / mitigasi berupa eliminasi atau menurunkan kegagalan dapat dilihat melalui hasil <i>Risk Priority Number</i> (RPN) 	<ul style="list-style-type: none"> • FMEA memerlukan waktu yang banyak untuk me-record failure melalui FMEA chart. • FMEA bergantung pada pengalaman engineer, sehingga terkesan lebih subyektif • Hubungan antar kegagalan komponen diabaikan.
Fault Tree Analysis (FTA)	<ul style="list-style-type: none"> • Bersifat <i>top-down approach</i>, dalam membangun FTA, analisa yang sistematis dari <i>logic</i> dan <i>basic causes</i> di <i>breakdown</i> melalui Top Event 	<ul style="list-style-type: none"> • Narrow focus – single failure • Meminta informasi yang signifikan dan penilaian dari ahli

<i>Methods and Tools</i>	Kelebihan	Kekurangan
	<ul style="list-style-type: none"> • Analisa FTA menyediakan sebuah <i>framework</i> melalui <i>qualitativ</i> dan <i>quantitative</i> assessment pada Top Event • Fault Tree diagram menciptakan pondasi untuk analisa lanjutan. 	<ul style="list-style-type: none"> • FTA membutuhkan banyak waktu untuk record failure
Hazard and Operability Analysis (HAZOP)	<ul style="list-style-type: none"> • Secara sistematis mengidentifikasi hazard • Secara proaktif melakukan evaluasi terhadap potential consequence pada setiap deviasi 	<ul style="list-style-type: none"> • HAZOP memerlukan banyak waktu • Sistem proses harus didefinisikan • Hazard mungkin saja tidak menysasar karena focus pada equipment
Preliminary Hazard Analysis (PHA)	<ul style="list-style-type: none"> • Tidak meminta detail knowledge / informasi • Digunakan untuk mengidentifikasi preliminary produk / proses hazard • Dapat memetakan preliminary prioritas hazard 	<ul style="list-style-type: none"> • Diminta untuk melakukan analisa lebih lanjut • Subjective assessment

FMEA pertama kali diterbitkan sebagai FME(C)A dalam dokumentasi Prosedur Militer Angkatan Bersenjata Amerika Serikat. Pada tahun 1960, NASA

bekerja pada aplikasi FMEA dengan nama yang berbeda untuk spacecrafts (Baig & Prasanthi, 2013). Penerapan *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) tradisional diaplikasikan oleh (Emovon, et al., 2016) untuk mengetahui penyebab kegagalan pada komponen di kapal. Penerapan FMECA (Goo, et al., 2017) untuk penelitian sistem pasokan gas bahan bakar gas alam cair untuk memverifikasi keefektifannya dalam peningkatan keandalan proses desain.

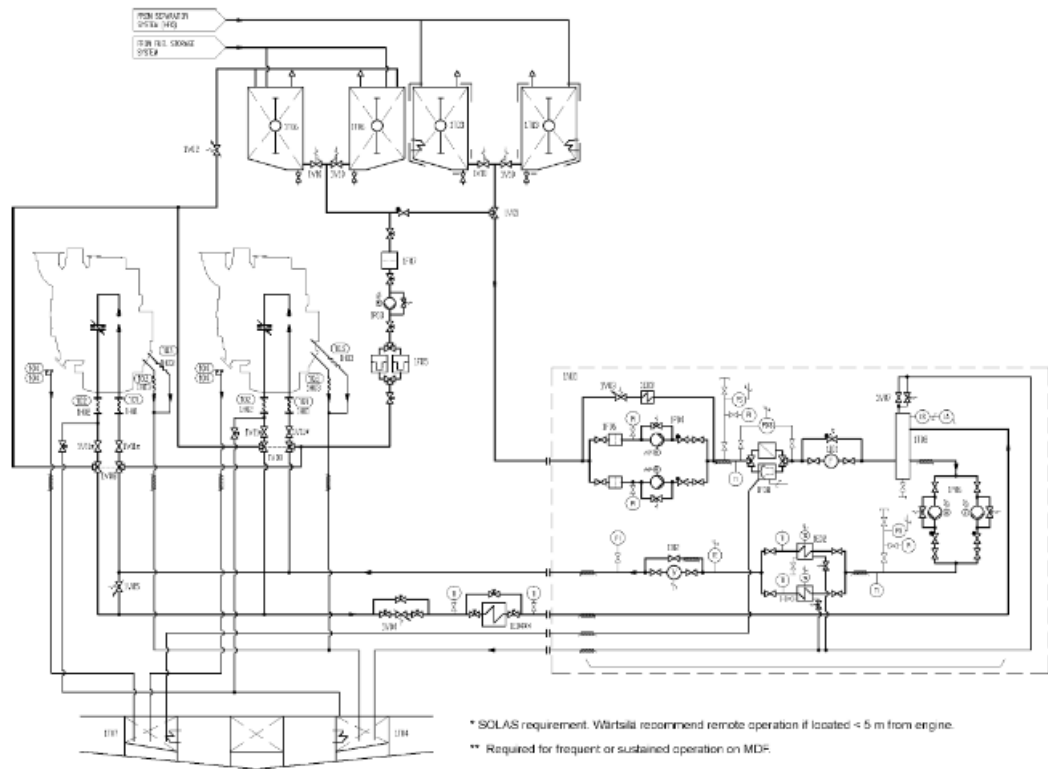
Hasil FMECA selanjutnya akan digunakan dalam menentukan proses perawatan berbasis data *condition monitoring*. Data *condition monitoring* dapat dianalisa dengan menggunakan signal processing dan data analisis untuk mendeteksi kegagalan pada *equipment*.

2.2 Sistem Mesin di Kapal (*Main Engine System*)

2.2.1 Sistem Bahan Bakar (*Fuel Oil System*)

Bahan bakar merupakan salah satu bahan utama yang digunakan dalam pembakaran di dalam ruang bakar untuk memutar poros engkol pada sebuah mesin. Sistem bahan bakar merupakan sistem yang sangat vital bagi keberhasilan operasi suatu motor diesel mengingat bahwa sangat berkaitan dengan penyediaan tenaga yang berasal dari bahan bakar. Pada kapal, sistem pengaliran bahan bakar tidak sesimpel pada kendaraan darat. Ada beberapa tahap yang harus dilewati sampai akhirnya bahan bakar dapat digunakan oleh *main engine*. Prosesnya mencakup bagaimana bahan bakar dialirkan dari tangki penampung (*storage tank*) hingga digunakan oleh mesin penggerak utama. Bahan bakar dari bunker (*storage tank*) dipompakan melalui pompa pemindah (*transfer pump*) bahan bakar ke *settling tank* guna proses pengendapan selama 24 jam sebelum dipergunakan oleh mesin. Dari *settling tank* dengan menggunakan feed pump bahan bakar dipindahkan ke tangki *service*. Dari tangki *service* inilah bahan bakar selanjutnya dipergunakan oleh mesin. Jika menggunakan jenis bahan bakar *Marine Diesel Oil* atau yang lebih baik, tidak perlu disediakan *settling tank*. Bahan bakar dari storage tank langsung dipompakan menuju *service / day tank*. Volume tangki service disesuaikan dengan kebutuhan mesin untuk operasional selama 8 – 12 jam.

Umumnya sistem bahan bakar pada kapal terdiri dari 3 macam yaitu: sistem yang menggunakan bahan bakar HFO, MDO ataupun HSD. Dari ketiga macam bahan bakar tersebut memiliki karakteristik yang berbeda-beda tiap jenisnya.



Gambar 2. 1. *Fuel Oil System*

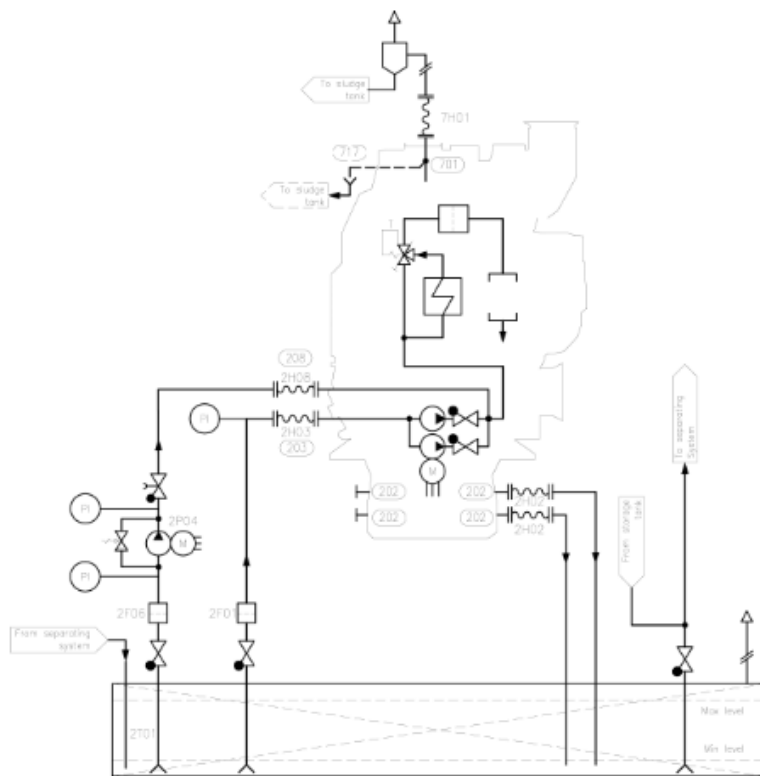
2.2.2 Sistem Pelumasan (*Lubricating Oil System*)

Minyak pelumas pada suatu sistem permesinan berfungsi untuk memperkecil gesekan-gesekan pada permukaan komponen-komponen yang bergerak dan bersinggungan. Selain itu minyak pelumas juga berfungsi sebagai fluida pendinginan pada beberapa motor. Karena dalam hal ini motor diesel yang digunakan termasuk dalam jenis motor dengan kapasitas pelumasan yang besar, maka sistem pelumasan untuk bagian-bagian atau mekanis motor dibantu dengan pompa pelumas. Sistem ini digunakan untuk mendinginkan dan melumasi *engine bearing* dan mendinginkan piston.

Prinsip kerja pada sistem pelumasan adalah minyak pelumas dihisap dari *lub. oil sump tank* oleh pompa bertipe screw atau sentrifugal melalui suction filter dan

dialirkan menuju *main diesel engine* melalui *second filter* dan *lub. oil cooler*. Temperatur oil keluar dari *cooler* secara otomatis dikontrol pada level konstan yang ditentukan untuk memperoleh viskositas yang sesuai dengan yang diinginkan pada inlet main diesel engine. Kemudian lub. oil dialirkan ke main engine bearing dan juga dialirkan kembali ke lub. oil sump tank.

Lubrication oil system didesain untuk menjamin keandalan pelumasan pada *over range speed* dan selama engine berhenti, dan menjamin perpindahan panas yang berlangsung. Tangki gravitasi minyak lumasi dilengkapi dengan *overflow pipe* menuju drain tank. Lubrication oil filter dirancang di dalam pressure lines pada pompa, ukuran dan kemampuan pompa disesuaikan dengan keperluan engine. Filter harus dapat dibersihkan tanpa menghentikan mesin. Untuk itu dapat digunakan filter dupleks atau *automatic back flushing filter*. Mesin dengan output lebih dari 150 kw dimana suplai pelumas dari *engine sump tank* dilengkapi dengan simpleks filter dengan *alarm pressure* dirancang dibelakang filter dan filter dapat dibersihkan selama operasi, untuk keperluan ini sebuah *shutt off valve by-pass* dengan manual operasi.



Gambar 2. 2. Lubricating Oil System

2.2.3 Sistem Pendingin (*Cooling System*)

Mesin yang dipasang pada kapal dirancang untuk bekerja dengan efisien maksimal dan berjalan selama berjam-jam berjalan lamanya. Hilangnya energi paling sering dan maksimum dari mesin adalah dalam bentuk energi panas. Untuk menghilangkan energi panas yang berlebihan harus menggunakan media pendingin (*Cooler*) untuk menghindari gangguan fungsional mesin atau kerusakan pada mesin. Untuk itu, sistem air pendingin dipasang pada kapal. Terdapat 2 macam sistem pendingin yaitu:

➤ Sistem pendingin terbuka

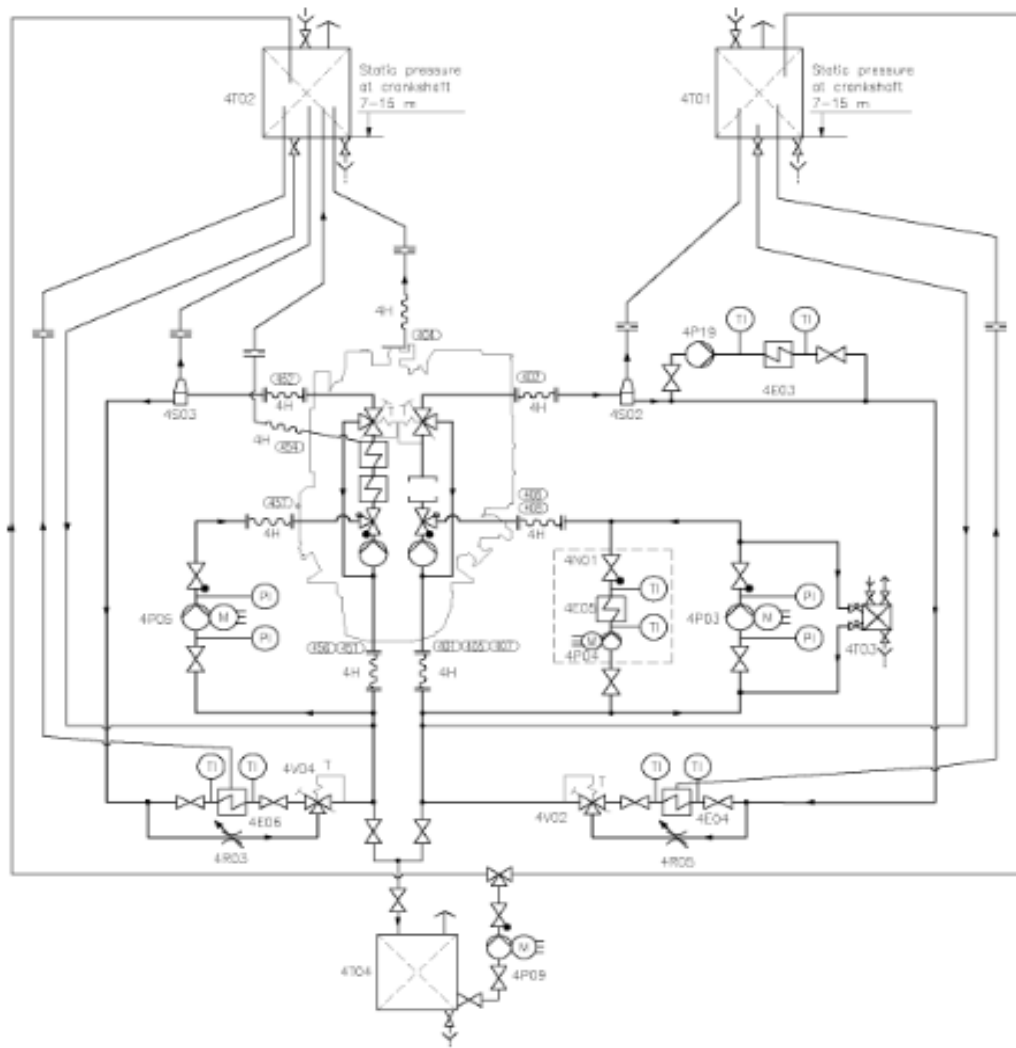
Pada sistem pendingin terbuka, fluida pendingin masuk ke bagian mesin yang akan didinginkan, kemudian fluida yang keluar dari mesin langsung dibuang ke laut. Fluida yang digunakan pada sistem pendingin ini dapat berupa air tawar ataupun air laut.

➤ Sistem pendingin tertutup

Sistem pendinginan tidak langsung menggunakan dua media pendingin, yang digunakan adalah air tawar dan air laut. Air tawar dipergunakan untuk mendinginkan bagian-bagian motor, sedangkan air laut digunakan untuk mendinginkan air tawar, setelah itu air laut langsung dibuang keluar kapal dan air tawar bersirkulasi dalam siklus tertutup. Sistem pendinginan ini mempunyai efisiensi yang lebih tinggi dan dapat mendinginkan bagian-bagian motor secara merata.

Sistem pendingin terpusat terdiri atas dua sirkuit yaitu:

1. Sea water circuit, merupakan pendingin dengan fluida air laut yang mendinginkan sentral cooler, sirkuit ini disuplai dengan pompa sea water pump, air laut diambil dari sea chest pada sisi kapal, out put aliran ini akan langsung dibuang keluar melalui over board.
2. Fresh water circuit, merupakan pendinginan dengan air tawar yang didinginkan oleh air laut. Air tawar ini mendinginkan beberapa cooler yang sudah terpasang pada engine.



Gambar 2. 3. *Cooling System*

2.2.4 Sistem Starting Engine (*Starting Engine System*)

Sangatlah penting untuk memutar poros mesin dengan kecepatan tertentu, yang nantinya akan mengakibatkan temperatur saat kompresi berlangsung akan menjadi cukup tinggi dan memastikan bahan bakar dapat terinjeksi ke dalam silinder saat terjadi proses pembakaran. *Starting system* merupakan metode penyuplaian energi untuk memutar mesin. Ada beberapa tipe *starting* pada *diesel engine*, yaitu: dengan menggunakan udara kompresi / *compressed air*, elektrik dan hidrolis.

Secara umum motor diesel pada kapal-kapal besar akan menggunakan udara bertekanan sebagai sistem startingnya, karena jika dengan bantuan elektrik maka generator yang diperlukan akan sangat besar. Dimana udara bertekanan yang disuplai kedalam silinder untuk menggerakkan piston sehingga dalam beberapa kali langkah kerja piston sudah dapat menghidupkan mesin tersebut.

Pada sistem starter *main engine* kapal, udara dikompresikan dari kompressor dan ditampung pada botol angin utama (*main air receiver*) pada tekanan udara 30 bar menurut ketentuan klasifikasi. Sistem udara bertekanan yang digunakan engine pada start awal mempunyai prinsip-prinsip kerja sebagai berikut:

- Udara tekan mempunyai tekanan yang harus lebih besar dari tekanan kompresi, ditambah dengan hambatan yang ada pada mesin kapal, yaitu tenaga untuk menggerakkan bagian yang bergerak lainnya seperti poros engkol, shaft, dan lain lain.
- Udara tekan diberikan pada salah satu silinder dimana toraknya sedang berada pada langkah ekspansi.
- Penggunaannya dalam *engine* membutuhkan katup khusus yang berada pada kepala silinder.
- Kapasitas total tabung harus memperhatikan paling tidak dapat digunakan start 12x baik maju atau mundur untuk engine yang reversibel dan tidak kurang dari 6x start untuk engine non-reversible.
- Jumlah start berdasar pada engine saat dingin dan kondisi siap start.

2.3 Kerusakan-kerusakan pada Mesin Diesel secara Umum

Kerusakan rata-rata dari semua mesin dan peralatannya adalah 76 kasus per 10.000 jam kerja, dimana waktu rata-rata antara kerusakan-kerusakan (MTBF) adalah 132 jam. Hal ini berarti bahwa beberapa jenis kerusakan mesin terjadi sekali setiap 132 jam di atas kapal yang pemeliharaan mesinnya masih dilakukan pada level yang berlaku sekarang ini. Jika diklasifikasikan berdasarkan frekuensi kerusakan (*probability of failure*), kerusakan instalasi pada permesinan dapat dilihat seperti pada tabel 2.2. dibawah.

Tabel 2. 2. Klasifikasi frekuensi kerusakan (*probability of failure*) pada instalasi permesinan

Frekuensi Kerusakan <i>(probability of failure)</i>	Instalasi Mesin
Frekuensi tinggi (<i>high probability</i>) (6 atau lebih kerusakan terjadi tiap 10.000 jam kerja)	mesin induk, ketel uap bantu, <i>economizer</i> gas buang, pemurni / <i>purifier</i> minyak, saluran-saluran pipa & fitting-fittingnya
Frekuensi menengah (<i>medium probability</i>) (2-6 kali kerusakan tiap 10.000 jam kerja)	alat-alat kontrol untuk berbagai pesawat (<i>data logger</i> , monitor, komputer, <i>auto ecorder</i> , <i>fire detector</i> , dll) kabel peralatan listrik (<i>relay</i> , <i>contactor</i> , <i>resistor</i> , <i>transformer</i> , <i>breaker</i> , <i>electronic parts</i> , dll), kompresor udara, pompa-pompa, mesin-mesin bantu di atas dek (mesin pendingin, mesin kemudi, pompa kargo dll), tangka tangki (pipa-pipa pemanas, manometer, katup-katup dll)
Frekuensi rendah (<i>low probability</i>) (kurang dari 2 kerusakan setiap 10.000 jam kerja)	generator listrik (stator, rotor, bantalan poros, dll), mesin diesel penggerak generator, turbin penggerak generator, peralatan pengontrol untuk mesin-mesin diesel bantu penggerak generator, poros penggerak baling-baling (baling-baling, poros, bantalan poros, dll), berbagai peralatan lainnya (<i>incinerator</i> , <i>unit dehumidify</i> , dll)

Sebagian besar dari kegagalan / kerusakan-kerusakan ini terutama disebabkan oleh penggunaa bahan bakar bermutu rendah, namun ini hanya berdampak pada saat kapal melakukan olah gerak yang memerlukan untuk berhenti dan pengurangan kecepatan / putaran. Namun hal ini memberikan beban yang berat pada anak buah kapal karena seringnya kerusakan itu terjadi.

Di antara kegagalan / kerusakan-kerusakan pada kelompok mesin-mesin diesel putaran menengah, kegagalan fungsi dari peralatan otoamtis, khususnya kerusakan-kerusakan pada sensor-sensor sangat dominan. Untuk lebih rincinya, lepasnya sambungan konduktor-konduktor akibat vibrasi dan pemasangan yang tidak benar seringkali terjadi. Karena itu diperlukan untuk meningkatkan lingkungan penempatan / instalasi sensor-sensor untuk meningkatkan kehandalan mereka, dan untuk memperbaiki kinerja resistensi-vibrasi atau anti getarannya, karena sensor-sensor memiliki peranan penting dalam sistem-sistem otomatisasi. Sensor-sensor tekanan, terutama, digunakan dalam ruang pembakaran mesin-mesin diesel sangat penting sekali untuk sistem pemantau kinerja yang akan diperkenalkan di masa mendatang. Justru karena ketidak-tersediaannya sensor-sensor yang sangat handal dan tahan lama, saat ini jarang digunakan. Karena itu diinginkan untuk mengembangkan sensor-sensor yang bisa memberikan kehandalan yang tinggi di bawah tekanan tinggi maupun suhu tinggi.

Menurut (Calder, 2006) terdapat beberapa jenis kerusakan yang dapat timbul dalam marine diesel di kapal adalah asam buang abnormal (*abnormal exhaust smoke*), *hard starting*, *excessive crankcase pressure*, *no fuel*, *black out*.

- *Abnormal exhaust smoke* menjadi sebuah indikasi bahwa ada yang bermasalah dari mesin kapal. Hal ini diindikasikan dengan gas buang dari mesin yang berwarna. Setiap warna dapat menandakan adanya kerusakan yang terjadi pada mesin. Kerusakan ini harus segera mendapatkan penanganan khusus karena beberapa kali mesin dapat *black out* di tengah laut.
- *Hard Starting* adalah kerusakan di mana mesin kapal menjadi sangat susah untuk dinyalakan.
- *Crankcase Pressure* terjadi ketika breather tube terhambat, piston atau *blower oil seals* yang aus atau rusak, retaknya piston crown, gasket yang rusak, atau pun mesin memiliki tekanan balik knalpot yang berlebihan. Apabila *crankcase pressure* ini meningkat, pada titik tertentu hal ini dapat menyebabkan potensi kerusakan dan retak pada mesin.

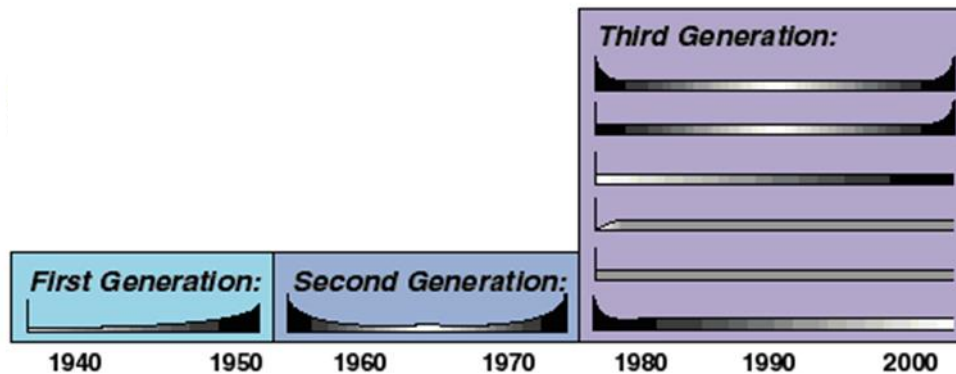
- *No fuel* adalah kondisi di mana bahan bakar gagal masuk ke mesin sehingga menyebabkan mesin gagal melakukan pembakaran. Kondisi ini dapat memicu black out yang sangat mengganggu apabila terjadi di laut lepas. *No fuel* dapat terjadi disebabkan karena pemasangan komponen yang buruk, *faulty fuel pump*, kebocoran udara, dan *flow obstruction*. *Black out* adalah kerusakan mesin dalam kategori *major* dan dihindari. Kerusakan ini menyebabkan mesin mati total dan tidak bias dinyalakan.

2.4 Perkembangan Karakteristik Kegagalan (*Failure Characteristic*)

Perawatan / perbaikan adalah kegiatan untuk memelihara atau menjaga fasilitas, aset, mesin dan peralatan perusahaan, melakukan perbaikan, serta penggantian yang diperlukan agar keadaan operasional berjalan dengan optimal sesuai yang diharapkan.

Selama lebih dari dua puluh tahun, konsep *maintenance* telah berulang kali mengalami perubahan apabila dibandingkan dengan konsep manajemen yang lain. Perubahan konsep ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya semakin meningkatnya jumlah dan jenis dari aset fisik meliputi *plant*, komponen dan bangunan yang harus dilakukan *maintenance* di seluruh dunia. Selain itu tingkat kompleksitas desain, teknik *maintenance* baru yang semakin beragam serta perubahan pandangan dari sebuah perusahaan atau organisasi terhadap pentingnya *maintenance* juga turut menjadi faktor terjadinya perubahan dalam dunia *maintenance*. Perubahan ini tentunya diikuti dengan perubahan ekspektasi atau harapan terhadap hasil yang didapatkan dari *maintenance* yang dijalankan.

Hal ini termasuk peningkatan kesadaran secara luas terhadap efek yang ditimbulkan dari kegagalan terhadap keselamatan dan lingkungan, pertumbuhan kesadaran tentang hubungan antara *maintenance* dan kualitas produk serta ketersediaan (*availability*) yang tinggi dari aset yang berhubungan langsung dengan keuangan perusahaan (Moubray, 1997). Sejak tahun 1930, perubahan dalam dunia *maintenance* dapat dikategorikan menjadi tiga generasi.



Gambar 2. 4. Pola kegagalan pada peralatan dari generasi ke generasi (Moubrey, 1997)

John Moubrey (1997) dalam buku RCM II, menyebutkan bahwa tipe kegagalan pada sebuah peralatan dari generasi ke generasi memiliki pola yang berbeda-beda. Pada gambar 2.4 perubahan pola kegagalan sebuah peralatan dikategorikan ke dalam tiga generasi sesuai dengan tahun dimana peralatan tersebut didesain.

A. Generasi Pertama

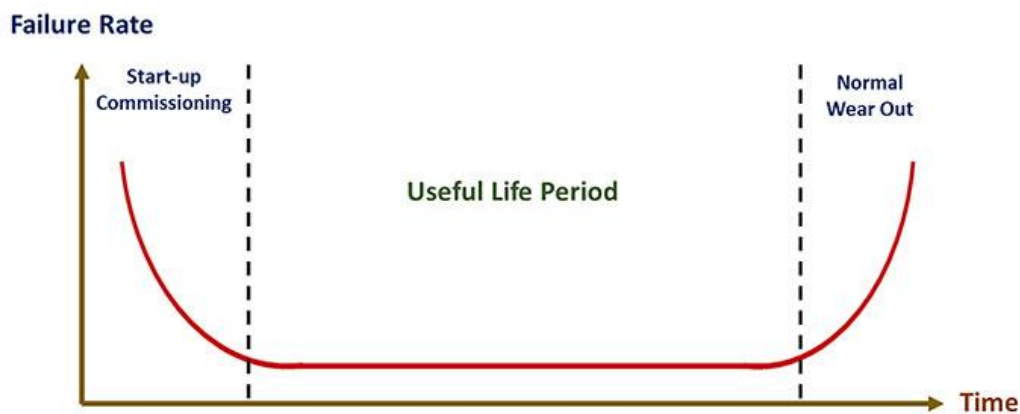
Generasi 1 adalah generasi awal dimana peralatan didesain pada era tahun 1940-1950 dengan ciri-ciri peralatan didesain untuk jangka waktu atau *life time* yang lama dan laju kegagalan (*failure rate*) mengalami kenaikan saat kondisi peralatan sudah menua (*wear out*).

Generasi pertama meliputi periode waktu hingga pada saat perang dunia kedua. Sehingga pada saat itu penggunaan sistem mekanis dalam dunia industri masih belum menjadi pilihan pertama. Oleh karena itu, terjadinya kegagalan peralatan (*downtime*) tidak memberikan pengaruh yang besar terhadap dunia industri. Hal ini berarti tindakan pencegahan terhadap kegagalan peralatan belum menjadi prioritas utama dalam agenda sebagian besar industri. Dalam periode ini, sebagian besar peralatan masih memiliki konsep desain sederhana dan mudah diperbaiki namun tetap handal dan kemampuan operasional yang baik. Sehingga tidak diperlukan konsep maintenance yang sistematis dalam operasionalnya, kecuali tindakan sederhana seperti *cleaning*, *servicing*, dan *lubrication*.

B. Generasi Kedua

Generasi kedua dimulai setelah era 1950 sampai 1970. Generasi kedua meliputi periode waktu saat terjadinya perang dunia kedua. Dalam periode tersebut, terjadi peningkatan kebutuhan pada berbagai jenis barang namun pada saat yang sama terjadi penurunan pekerja industri yang signifikan. Hal ini memicu sistem mekanisasi yang dilakukan terhadap peralatan. Sehingga berbagai jenis mesin dengan desain yang lebih rumit dalam dunia industri mulai banyak digunakan dan hingga tahun 1950-an industri bergantung pada teknologi mekanisasi tersebut untuk memenuhi *supply* berbagai jenis barang selama terjadinya perang. Dengan adanya ketergantungan akan sistem mekanisasi, maka kegagalan peralatan harus dapat dicegah atau diminimalisir sehingga masalah *downtime* mulai menjadi perhatian utama dalam dunia industri.

Pada generasi kedua peralatan secara statistik mengikuti pola kegagalan klasik yang dikenal sebagai *bathup curve*. Kurva ini membagi menjadi 3 zona / region selama operasional sebuah peralatan. Zona dalam bathup curve dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5. Bathup Curve

Pada tahun 1960-an muncul konsep awal *preventive maintenance* yang sebagian besar terdiri dari tindakan *overhaul* yang dilakukan dalam interval waktu yang telah ditetapkan. Biaya *maintenance* semakin meningkat seiring dengan biaya operasional yang lain sehingga memicu berkembangnya *maintenance planning and control system*. Sistem ini berfungsi untuk mengatur dan mengendalikan proses *maintenance management*. Namun sekarang sistem ini juga berfungsi untuk

menetapkan tindakan yang harus dilakukan dalam praktik *maintenance*. Sehingga, dengan terus meningkatnya biaya terhadap nilai kapitalisasi yang terkait dalam setiap aset menyebabkan orang mencari cara untuk mengoptimalkan usia operasional dari setiap aset mereka.

C. Generasi Ketiga

Sejak tahun 1970-an, perubahan yang terjadi di dunia industri diklasifikasikan dengan ekspektasi baru, penelitian baru dan teknik-teknik baru.

➤ Ekspektasi Baru

Terjadinya kegagalan aset (*downtime*) dapat mempengaruhi kemampuan produksi dari setiap aset fisik seperti berkurangnya output produksi yang dihasilkan aset, meningkatnya biaya operasional, dan terganggunya pelayanan terhadap pelanggan. Downtime dapat memberikan dampak yang lebih buruk ketika industri secara global mulai beralih kepada just in-time-systems. Sistem ini berarti pengurangan tingkat persediaan barang secara keseluruhan dapat terjadi dikarenakan kegagalan peralatan sekecil apapun dapat memberikan dampak yang besar pada seluruh sistem atau fasilitas yang ada. Pada gambar 2.6. dan 2.7 dipresentasikan perubahan ekspektasi terhadap dilakukannya *maintenance* dalam setiap aset.

					*Avaibility dan reliability dari pabrik yang lebih tinggi	
					*Faktor keselamatan yang lebih tinggi dan terjamin	
		*Avaibility dari pabrik yang lebih tinggi			*Kualitas hasil produksi yang lebih baik	
		*Usia operasional aset atau komponen yang lebih panjang			*Usia operasional aset atau komponen yang lebih panjang	
*Perbaikan ketika telah terjadi kerusakan		*Biaya yang lebih murah			*Faktor biaya yang lebih efisien	
Generasi Pertama		Generasi Kedua		Generasi Ketiga		
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000

Gambar 2. 6. Perkembangan Ekspektasi *Maintenance* (Moubrey, 1997)

						*Condition Monitoring
						*Pengenalan resiko (<i>hazard</i>)
						*Desain atau konsep <i>reliability</i> dan <i>maintainability</i>
						*Penggunaan komputer yang kecil, cepat dan efisien
			*Jadwal <i>overhaul</i> yang telah di tetapkan			* <i>Failure modes and effect analysis</i>
			*Sistem perencanaan dan pengendalian kerja			*Penggunaan sistem yang lebih rumit dan kompleks
*Perbaikan ketika telah terjadi kerusakan			*Penggunaan komputer yang besar namun lambat			* <i>Multitasking and teamwork</i>
Generasi Pertama		Generasi Kedua		Generasi Ketiga		
1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000

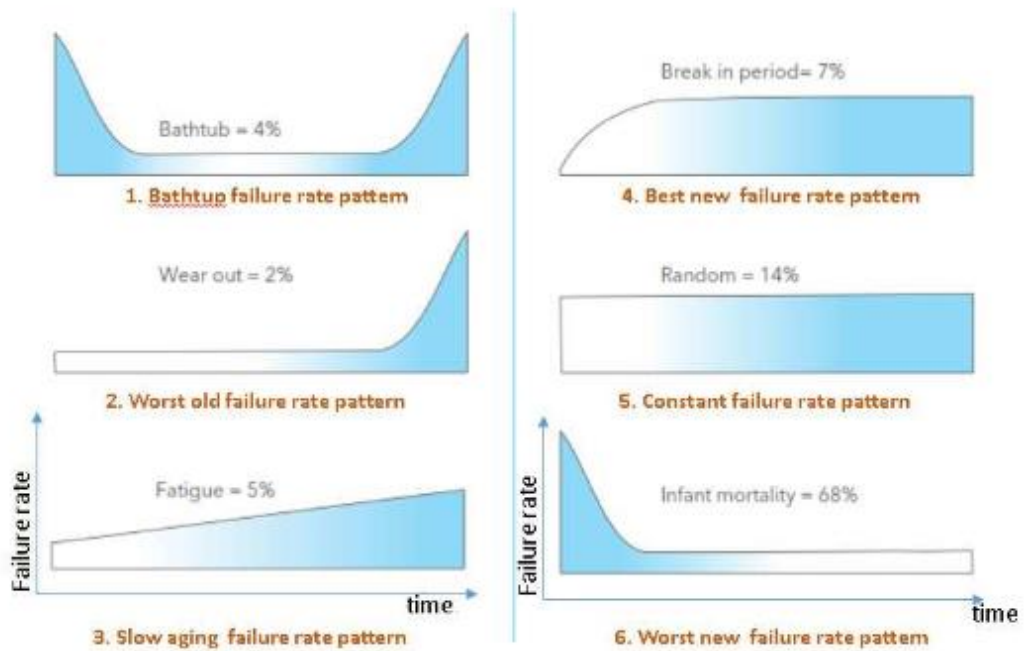
Gambar 2. 7. Perkembangan Teknik *Maintenance* (Moubrey, 1997)

Sehingga dalam masa ini, perusahaan maupun industri harus mampu memilih atau menempatkan divisi *maintenance* yang mampu menentukan jenis *maintenance* yang tepat untuk perusahaan atau organisasi mereka. Hal ini dikarenakan apabila pengambilan keputusan atas jenis *maintenance* yang dilakukan tepat, maka kinerja operasional aset dapat meningkat.

➤ Penelitian Baru

Dalam perkembangannya, terdapat banyak penelitian baru yang telah merubah pengertian mendasar tentang pola kegagalan dan operasional aset. Secara khusus terlihat bahwa hubungan antara usia operasional dari aset dengan bagaimana mereka gagal telah semakin berkurang.

Semakin berkembangnya kesadaran terhadap kegagalan awal (*infant mortality*), mengakibatkan berkembangnya pola kurva bak mandi (*bath-tub curve*) di generasi kedua. Namun pada generasi ketiga pada era 1980 sampai 2000-an perubahan tipe kegagalan pada perlatan tidak hanya dalam satu kurva, tetapi menjadi enam pola tipe kegagalan atau yang dalam istilah perawatan dikenal dengan *six failure pattern*. Enam tipe kegagalan tersebut secara statistik 11% merupakan *age related* dan 89% merupakan *random failure* (DNV-GL, 2014)



Gambar 2. 8. Enam pola kegagalan (*failure pattern*) pada generasi ketiga

2.5 Pengelolaan Daftar Perawatan Aset (*Asset Register*)

Pada dasarnya tujuan manajemen aset adalah untuk membantu perusahaan dalam membuat keputusan yang tepat sehingga aset dapat dikelola secara efektif dan efisien. Salah satu yang perlu dipertimbangkan dalam tahap registrasi aset adalah tentang penomoran aset (*Asset number*). Penomoran pada aset mengacu pada buku *Fundamental of Preventive Maintenance*, John M. Gross, dimana disebutkan bahwa beberapa poin yang perlu diingat dalam pengkodean aset adalah sebagai berikut:

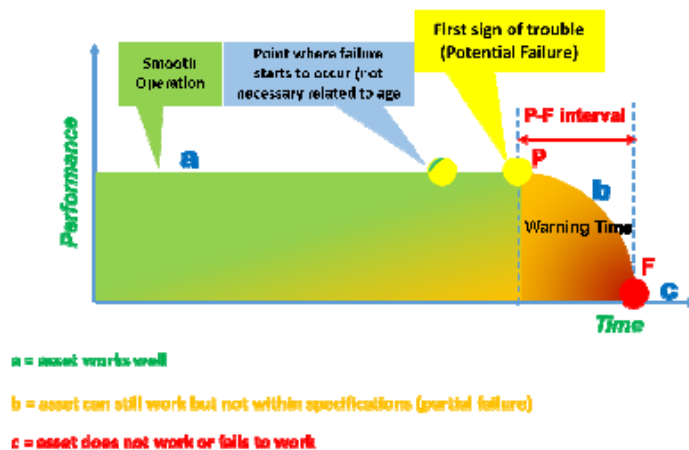
1. Membuat struktur *master equipment list* sebelum memberikan informasi terkait equipment kepada teknisi.
2. Membuat pengkodean nomor aset dengan cara memberi label 6 sampai 7 digit, (XXX-XXX atau XXX-XXXX).
3. Mencoba untuk menggunakan nama secara umum dan mencoba membuatnya selengkap mungkin.
4. Memberikan tambahan *equipment type*, dan apabila memungkinkan bias ditambahkan *equipment location*.

Dari penjelasan tersebut dapat diambil poin penting bahwa tujuan penomoran asset adalah untuk mempermudah dalam mengkategorisasikan peralatan dan dapat memberikan informasi secara cepat. Berikut adalah contoh pengkodean asset, dimana mencakup informasi tentang *equipment type* dan *equipment location*.



2.6 Diagnostic Assessment

Diagnostic Assessment merupakan salah satu metode untuk mengetahui kondisi sebuah peralatan dalam keadaan performanya atau tidak. Gambar 2.9. menunjukkan *performance* dari sebuah equipment dengan fungsi waktu, dimana berada pada zona a, b, atau c.



Gambar 2. 9. *Performance equipment*

Pada zona A, equipment bekerja sebagaimana fungsinya sesuai dengan performance. Namun pada zona B, sebuah equipment masih dapat bekerja sesuai fungsinya tetapi tidak dalam performance yang sesuai dengan spesifikasinya. Dalam hal ini equipment dapat dikatakan mengalami *partial failure* (kegagalan parsial). Sedangkan pada zona C, merupakan *total failure* dimana equipment tidak dapat bekerja sesuai dengan fungsinya.

Perubahan dari zona A ke zona B merupakan tanda kegagalan sebuah equipment tidak bekerja sesuai dengan spesifikasinya. Dalam teknik perawatan

yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, pilihan dalam mengelola perawatan sebuah aset adalah dengan tindakan *corrective* atau *preventive maintenance*. Pemilihan strategi *maintenance* akan berimplikasi pada biaya yang dikeluarkan oleh sebuah perusahaan dalam mengelola asset.

Dalam generasi ketiga, teknik *maintenance* lebih beraneka ragam dari pada generasi kesatu dan kedua. Hal ini dikarenakan kompleksitas dari sebuah sistem perlatan yang dirawat. Sehingga dalam teknik perawatan pada generasi ketiga dibutuhkan metode perawatan yang tidak hanya *berbasis corrective* dan *preventive*, namun juga sudah mengarah pada level *predictive* untuk mendiagnosis sebuah equipment dalam kondisi performance yang baik atau tidak. Bila dalam dunia pelayaran, hal ini bertujuan untuk menentukan *main engine* laik laut atau tidak pada saat kapal akan berlayar.

2.6.1 Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)

Pada proses *diagnostic assessment* menggunakan pendekatan dengan metode *Failure Mode Effect and Criticality Analysis (FMECA)*. Metode FMECA memberikan pendekatan secara *Bottom-up* dengan melihat database *failure mode / cause* mesin kapal yang menyebabkan mesin mengalami kegagalan. Tabel 2. 3. merupakan *catalog ISO-14224:2016* untuk *failure mode* pada *combustion engine* sebagai berikut:

Tabel 2. 3. *Failure Mode Combustion Engine (ISO-14224)*

No	Definisi	Deskripsi
1	Fail to start on demand	Unable to start the engine
2	Fail to stop on demand	Unable to stop or incorrect shutdown process
3	Spurious stop	Unexpected shutdown of engine
4	Operation without demand	Undesired start
5	Breakdown	Serious damage (seizure, breakout, explotion)
6	High output	Overspeed / output above specification
7	Low output	Output below desired specification
8	Erratic output	Oscillating or hunting
9	External leakage – fuel	Fuel gas or diesel leak

10	External leakage utility medium	Lube oil, coolant, etc
11	Internal leakage	E.g. internal cooling water leakage
12	Vibration	Excessive vibration
13	Noise	Excessive noise
14	Overheating	Excessive temperature
15	Parameter deviation	Monitored parameter exceeding tolerances
16	Abnormal instrument reading	E.g. false alarm, faulty reading
17	Structural deficiency	E.g. cracks in cylinder head, support
18	Minor in-service problems	Loose items, discoloration, dirt, etc
19	Other	Specify in command field
20	Unknown	Inadequate / missing information

Failure Mode, and Effects Analysis (FMEA) adalah suatu metode yang digunakan untuk mengukur dan menganalisa keamanan dari suatu produk atau proses. Input dari FMEA adalah rencana, diagram, probabilitas, dan frekuensi data berdasarkan data historis. Sedangkan outputnya adalah daftar *most critical risk* dan beberapa target dari mitigasi risiko (Emovon, et al., 2016).

FMEA merupakan alat yang digunakan untuk pengelolaan resiko yang memiliki kualitas terhadap batas penerapan sistem keamanan yang lengkap. Teknik ini menyediakan analisa risiko untuk perbandingan satu komponen kegagalan terhadap penyebab kegagalan yang dapat dihindari. Risiko adalah ukuran dari kombinasi konsekuensi modus kegagalan dan kemungkinan kejadian kegagalan tersebut pada sistem. Hasil perhitungan risiko terbesar menjadi prioritas kegagalan yang paling utama untuk direncanakan perbaikannya.

FMEA juga meningkatkan pengetahuan terhadap sebuah sistem dan identifikasi FMEA dengan tepat dapat meningkatkan efektivitas biaya program *preventive maintenance* dan pekerjaan yang terfokus pada rencana pengendalian. Langkah-langkah dalam analisa FMEA sesuai dengan *ABS Rules* adalah sebagai berikut:

a) Identifikasi *Operating Mode* dari *Main Engine*

Operating mode of main engine adalah keadaan operasional kapal yang dijalankan atau diharapkan oleh pemilik kapal untuk dicapai setiap harinya. Dimana, setiap mode operasi yang dilakukan akan mempengaruhi sistem yang berjalan di dalam kapal beserta bagaimana mesin dioperasikan. Sebagai tahap awal dalam menentukan kelompok fungsi dari setiap operasional kerja dari kapal, maka mode operasi dikategorikan menjadi empat, yaitu:

- a) Kondisi kapal dalam keadaan kecepatan penuh (*at sea*)
- b) Pada saat kapal berada di area yang padat (*in congested waters*)
- c) Kapal saat melakukan manuver (*maneuvering alongside*)
- d) Pada saat bongkar muat (*cargo handling*)

b) Identifikasi *Operating Context* dari *Main Engine*

Konteks operasi pada fungsi sistem dalam sebuah kapal merupakan keadaan dimana sistem tersebut diharapkan bekerja sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan. Konteks operasi harus mampu mendefinisikan beberapa hal, diantaranya:

- a) Lingkungan dimana sistem dioperasikan secara fisik
- b) Deskripsi dari setiap sistem ketika dioperasikan
- c) Kemampuan tambahan yang mampu diberikan sistem selain kinerja yang telah ada (*inherent*)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menyusun konteks operasi adalah sebagai berikut:

- | | |
|---------------------------------|----------------------------|
| ➤ <i>Serial Redudancy</i> | ➤ Standar Lingkungan |
| ➤ <i>Parallel Redudancy</i> | ➤ Standar Keselamatan |
| ➤ Performa dan Kualitas Standar | ➤ <i>Shift Arrangement</i> |

c) Identifikasi *Functional Failure and Failure Effect*

Tahap ini mampu mengilustrasikan kegiatan operasi keterkaitan beserta ketergantungan fungsional dari kegagalan komponen yang terjadi. Dalam melaksanakan FMECA, seluruh *functional failure* dari komponen diidentifikasi dengan mempertimbangkan efek kerusakan pada level tinggi berikutnya. Hal ini

dilakukan untuk mengukur dampaknya terhadap kinerja sistem secara keseluruhan, sehingga komponen dan sistem harus didefinisikan secara jelas.

d) Menentukan Penyebab Kerusakan (*Failure Mode*)

Analisis ini melibatkan seluruh proses atau *output* yang diharapkan untuk membatasi penyebab dari kerusakan pada umumnya. FMECA diharapkan mampu untuk memfasilitasi proses identifikasi dari kumpulan penyebab yang potensial lainnya. Proses analisis pada tahap ini dapat menggunakan data pengalaman atau histori kerusakan maupun kegagalan yang pernah terjadi sebelumnya

e) Menentukan Tingkat Kekritisan (*Severity*)

Tahap ini berhubungan dengan seberapa serius efek atau akibat yang ditimbulkan oleh kerusakan (*failure mode*) pada umumnya. Pada buku *ABS Guidance notes on Reliability-Centered Maintenance*, definisi klasifikasi efek kerusakan dibagi menjadi 4 jenis kerusakan, yaitu:

- a) *Catastrophich, Critical*
- b) *Critical, Hazardous, Significant*
- c) *Major, Marginal, Moderate*
- d) *Minor, Negligible*

f) Menilai Frekuensi Kerusakan (*Current Likelihood*)

Pada tahap ini dilakukan analisis frekuensi dari setiap kerusakan secara individu. Berikut merupakan kategori frekuensi kerusakan seperti pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4. Frekuensi kerusakan yang terjadi (*Current Likelihood*)

<i>Likelihood Descriptor</i>	<i>Deskripsi</i>
<i>Improbable</i>	Kurang dari 0.001 kejadian/tahun
<i>Remote</i>	0.001 to 0.01 kejadian/tahun
<i>Occasional</i>	0.01 to 0.1 kejadian/tahun
<i>Probable</i>	0.1 to 1 kejadian/tahun
<i>Frequent</i>	Lebih dari 1 kejadian/tahun

- a) **Improbable** diartikan bahwa probabilitas kegagalan tunggal terhadap masing-masing operasi komponen dimungkinkan sangat kecil terjadi. Frekuensi kegagalan jenis ini berada pada nilai antara 0.0001 - 0.001 dari keseluruhan kejadian kerusakan komponen dalam satu tahunnya (365 hari).
- b) **Remote** diartikan bahwa probabilitas kegagalan tunggal terhadap masing-masing operasi komponen dimungkinkan kecil terjadi. Frekuensi kegagalan jenis ini berada pada nilai antara 0.001 - 0.01 dari keseluruhan kejadian kerusakan komponen dalam satu tahunnya (365 hari).
- c) **Occasional** diartikan bahwa probabilitas kegagalan tunggal terhadap masing-masing operasi komponen kadang-kadang terjadi. Frekuensi kegagalan jenis ini berada pada nilai antara 0.01 - 0.1 dari keseluruhan kejadian kerusakan komponen dalam satu tahunnya (365 hari).
- d) **Probable** diartikan bahwa probabilitas kegagalan tunggal terhadap masing-masing operasi komponen dimungkinkan terjadi. Frekuensi kegagalan jenis ini berada pada nilai antara 0.1 - 1 dari keseluruhan kejadian kerusakan komponen dalam satu tahunnya (365 hari).
- e) **Frequent** diartikan bahwa probabilitas kegagalan tunggal terhadap masing-masing operasi komponen sering terjadi. Frekuensi kegagalan jenis ini berada pada nilai antara 0.1 - 1 dari keseluruhan kejadian kerusakan komponen dalam satu tahunnya (365 hari).

g) Menganalisa Level Resiko *Failure Mode (Current Risk)*

Pada tahap ini matriks kekritisitas kerusakan komponen merupakan fungsi kombinasi dari frekuensi dari jenis kerusakan (*current likelihood*) dan tingkat keburukan kekritisitas kerusakan yang terjadi (*severity*). Apabila seluruh tahapan dalam analisa *failure mode, effects and criticality analysis* telah selesai dilakukan, maka selanjutnya hasil analisa perlu didokumentasikan ke dalam *worksheet* seperti pada tabel 2.5. dan 2.6.

Tabel 2. 5. FMECA worksheet (1)

BOTTOM-UP FMECA WORKSHEET						
No:	Description:					
Item (1)	Failure Mode (2)	Causes (3)	Failure Char. (4)	Local Effect (5)	Functional Failure (6)	End Effect (7)

Tabel 2. 6. FMECA worksheet (2)

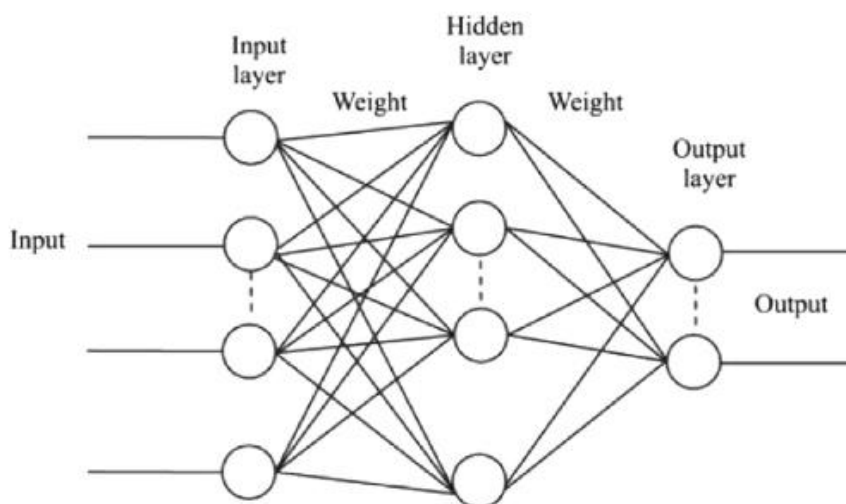
BOTTOM-UP FMECA WORKSHEET						
No:	Description:					
Item (1)	Matrix (8)	Severity (9)	Current Likelihood (10)	Current Risk (11)	Failure Detection / Corrective Measurement (12)	

2.6.2 Forecasting Assessment / Predict Future for Failure

Forecasting Assessment bertujuan untuk meramalkan kondisi operasional mesin dan sistem penunjangnya dalam kondisi laik laut atau tidak. Hasil dari *Forecasting Assessment* adalah *diagnostic* kesehatan *engine*. **Artificial Neural Network** (ANN) atau Jaringan Syaraf Tiruan merupakan sebuah teknik atau pendekatan pengolahan informasi yang terinspirasi oleh cara kerja sistem saraf biologis, khususnya pada sel otak manusia dalam memproses informasi. Jaringan saraf tiruan digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang kompleks dan sulit dipahami.

Jaringan saraf tiruan mempelajari pola-pola dari jumlah data yang banyak dengan menyaring data, mencari hubungan, membangun model, dan mengoreksi kesalahan model itu sendiri berkali-kali. Elemen kunci dari teknik ini adalah struktur sistem pengolahan informasi yang bersifat unik dan beragam untuk tiap aplikasi. Neural Network terdiri dari sejumlah besar elemen pemrosesan informasi

(neuron) yang saling terhubung dan bekerja bersama-sama untuk menyelesaikan sebuah masalah tertentu, yang pada umumnya adalah masalah klasifikasi ataupun prediksi (Lazakis, et al., 2018).



Gambar 2. 10. *Artificial Neural Network Structure* (Lazakis, et al., 2018)

Meskipun jaringan syaraf tiruan baru-baru ini semakin penting dalam aplikasi deret waktu (Aizenberg, et al., 2016; Szoplik, 2015) beberapa kekurangan metodologis masih terus ada, seperti layaknya pemilihan jaringan, arsitektur dan algoritma pembelajaran. (Aizenberg, et al., 2016) melakukan analisis deret waktu menggunakan jaringan saraf multilayer untuk memperkirakan produksi minyak di Teluk Meksiko. Mereka menyimpulkan bahwa pilihan menanamkan dimensi dari data deret waktu adalah tugas yang menantang dan berkelanjutan yang membutuhkan upaya penelitian tambahan. (Noor, et al., 2016) menerapkan pemodelan JST pada mesin diesel laut untuk memprediksi kinerjanya dalam hal torsi output, tenaga rem, konsumsi bahan bakar spesifik rem dan suhu gas buang menggunakan sebagai data input berbagai kecepatan dan beban engine.

Terdapat beberapa metode pembelajaran dalam jaringan saraf tiruan, salah satunya adalah multilayer perceptron (jaringan banyak lapis perceptron). Multilayer perceptron (MLP) adalah metode pembelajaran yang berjalan dengan cara memperbarui bobotnya dan membandingkannya dengan target sampai menghasilkan output yang mendekati target, sehingga dapat dikatakan bahwa model MLP merupakan metode yang belajar dari kesalahan.

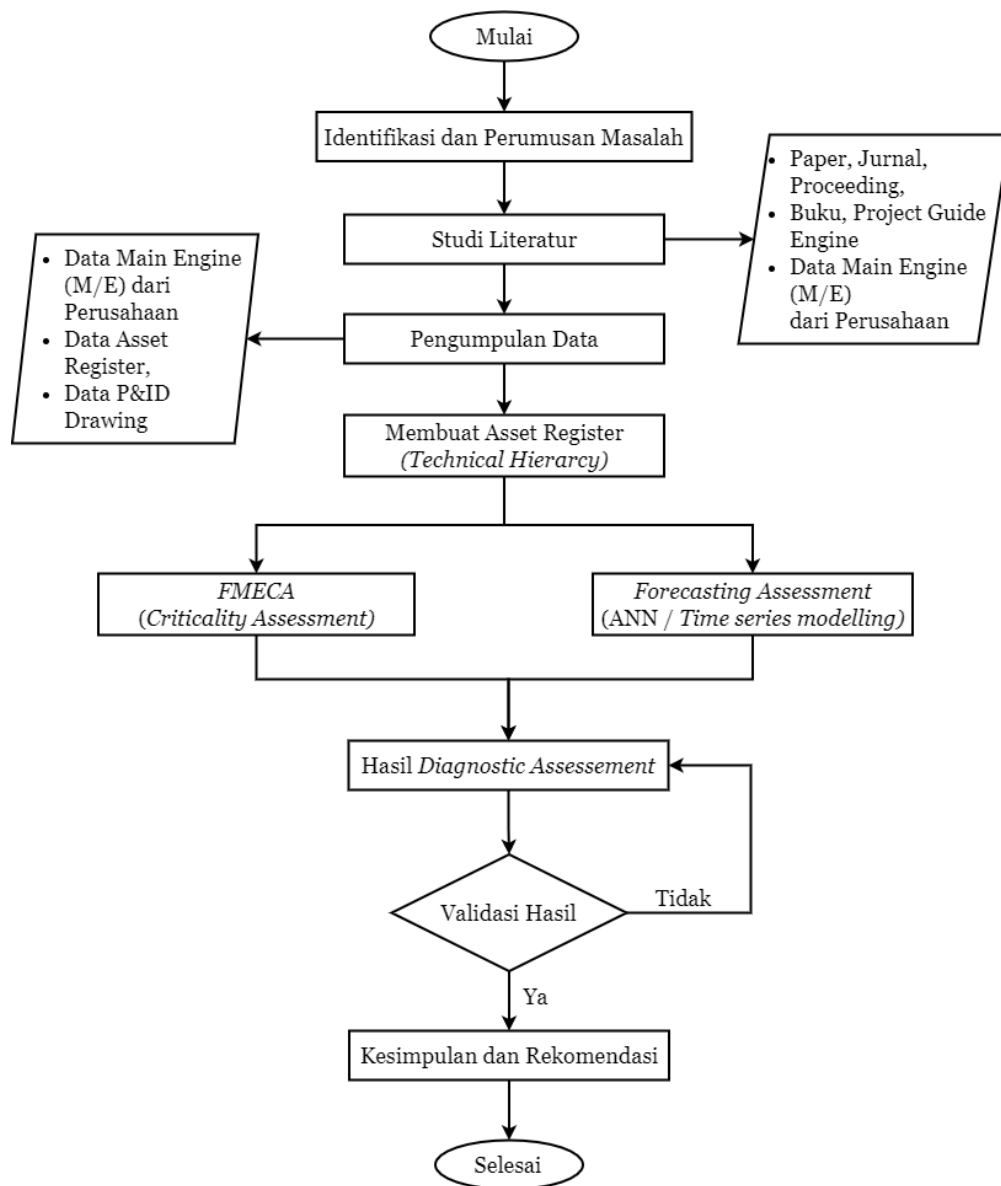
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam merencanakan penelitian yang akan dilakukan, penting untuk membuat sebuah kerangka penelitian. Kerangka atau bisa disebut metodologi bertujuan untuk memberikan langkah pengerjaan yang cepat dan tepat dan hasil yang optimal. Oleh karena itu pada Gambar 3.1. dibawah, akan dijelaskan mengenai langkah penelitian yang akan dilakukan

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi terhadap masalah yang dibahas dalam pengerjaan tesis diangkat dari kondisi saat ini dan permasalahan yang mungkin akan terjadi. Permasalahan dapat diketahui melalui observasi, menggali informasi ataupun melalui data statistik yang ada dan kecenderungannya di waktu yang akan datang. Dari hasil identifikasi masalah dapat ditentukan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengerjaan tesis beserta metode yang diterapkan dalam menyelesaikan masalah yang ada. Pada penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah Evaluasi Performa *Main Engine* dengan pendekatan *Forecasting Assessment* berdasarkan Data *Condition Monitoring* pada Temperatur Gas Buang.

3.3 Studi Literatur

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah studi literatur. Pada tahap ini, dilakukan studi terhadap referensi-referensi yang terdapat pada jurnal / paper, internet, *project guide* dan buku-buku materi penunjang. Studi literatur dilakukan untuk mempelajari tentang teori-teori dasar dan data dari penelitian-penelitian sebelumnya mengenai permasalahan yang diangkat.

3.4 Pengumpulan Data

Setelah melakukan studi literatur, maka tahap selanjutnya adalah pengumpulan data yang terkait dengan penelitian, dimana data-data pendukung terkait tentang permasalahan yang sesuai dengan metode yang digunakan dikumpulkan untuk analisa lebih lanjut. Adapun data yang diperlukan dalam pengerjaan tesis ini diambil dari salah satu perusahaan pelayaran. Data yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Data Spesifikasi *Main Engine* (M/E)
2. Data *Piping and Instrumentation Diagram (P&ID) drawing* untuk:
 - a. Sistem Bahan Bakar (*Fuel System*)
 - b. Sistem Pelumasan (*Lubricating Oil System*)
 - c. Sistem Pendingin (*Cooling System*)
 - d. Sistem *Starting / Compressing (Starting / Compress Air System)*

Apabila perusahaan tidak memiliki list asset register peralatan, asset register akan diambil dari P&ID *drawing*

3.5 Membuat Asset Register

Identifikasi Asset register merupakan langkah awal sebagai pondasi untuk mengimplementasikan *maintenance strategies*. Asset register adalah obyek peralatan yang akan analisa. Sehingga pembuatan asset register merupakan kunci awal yang menentukan langkah selanjutnya. Pada penelitian ini, proses penyusunan asset register akan mengikuti kaidah ISO 14224:2016.

3.6 Forecasting Assesment / Predict Future for Failure

Pada tahap ini, merupakan proses peramalan dari data-data hasil *condition monitoring*. Hasil dari *Failure Mode and Effect Criticality Analysis (FMECA)* dan *Forecasting Assesment* adalah *diagnostic* kesehatan *engine*.

3.6.1. Menentukan Level / Rangking Equipment Prioritas (*Equipment Critical*)

Output dari FMECA pada tahapan ini adalah berupa:

1. Daftar mode kegagalan yang potensial pada proses
2. Daftar *critical characteristic* dan *significant characteristic*
3. Daftar tindakan yang direkomendasikan untuk menghilangkan penyebab munculnya mode kegagalan atau untuk mengurangi tingkat kejadiannya

3.6.2. Pengambilan Data *Condition Monitoring*

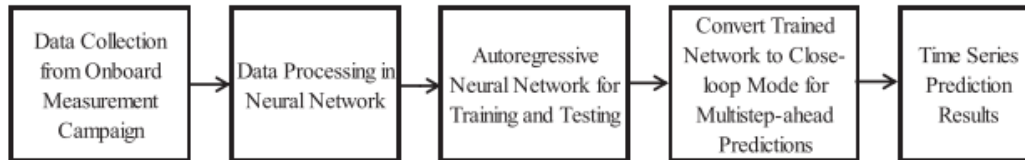
Data *condition monitoring* yang diambil adalah equipment yang diprioritaskan atau kritis. Sehingga tidak semua equipment dilakukan pengambilan data *condition monitoring*. Data-data dalam mendeteksi kerusakan pada mesin kapal didapatkan pada pengukuran dan pengamatan *condition monitoring*.

Adapun data-data yang diambil adalah sebagai berikut:

- *Vibration*
- *Pressure*
- *Temperature*
- *Oil Monitoring*

3.6.3. Forecasting Assessment (Artificial Neural Network Approach)

Langkah ini merupakan proses peramalan dari data-data hasil *condition monitoring*. Hasil dari *Forecasting Assessment* adalah diagnostic kesehatan *engine*



3.7 Hasil Diagnostic Assessment dan Validasi Hasil (Uji Sensitifitas)

Hasil *diagnostic assessment* dilakukan uji sensitifitas. Hal ini berguna untuk mengetahui bahwa pemodelan metode yang diusulkan dapat diterapkan pada jenis-jenis *main engine system* yang lain. Apabila dalam melakukan uji sensitifitas terdapat penyimpangan, maka perlu dilakukan *crosscheck* terhadap proses tahapan sebelumnya.

BAB IV

HASIL & PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan mengenai langkah – langkah analisa yang dilakukan dalam mengolah data dan hasil yang telah didapatkan untuk mengetahui bagaimana pengaruh gas buang terhadap performa *main engine* dan mengetahui level kekeritisan dan gejala kegagalan pada sistem *main engine* dikapal. Selanjutnya setelah dilakukan FMECA dilakukan pemodelan dengan *Forecasting Assessment* untuk dijadikan sebagai kerangka pemantauan *Condition Monitoring* untuk menilai kinerja sistem *Main Engine* dikapal kemudian hari.

4.1 Identifikasi Pengumpulan Data

Data yang akan digunakan untuk proses penyelesaian penelitian antara lain data kapal yang beroperasi yakni General Cargo Vessel dengan data lengkapnya ditabel 4.1 berikut:

Tabel 4. 1. *Ship Particular Research Object*

<i>General Information of Research Object</i>	
Year Built	: 1997
Type of Ship	: General Cargo Vessel
Flag	: Indonesia
LOA (m)	: 105
B (m)	: 16
H (m)	: 9
Gross Tonnage	: 4559
Net Tonnage	: 2873
DWT (ton)	: 6375
<i>Main Engine Spesification</i>	
Engine maker / Type	: MAK 8M-32
Number of Cylinder	: 8
Power Output	: 3520 KW ; 4787 HP
Engine Speed	: 600 rpm

Bore	: 320 mm
Stroke	: 480 mm

4.2 FMECA (*Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*)

Pada proses *diagnostic assessment* dengan menggunakan pendekatan metode *Failure Modes Effect and Criticality Analysis (FMECA)*. FMECA menyediakan metode sistematis untuk mengatur studi sistem atau proses tertentu dalam hal analisis kegagalan. Metode FMECA memberikan pendekatan secara *Bottom-up* dengan melihat database *failure mode / cause* mesin kapal yang menyebabkan mesin mengalami kegagalan.

Langkah-langkah dalam analisa FMECA sesuai dengan *ABS Rules* adalah sebagai berikut:

a) Menentukan Tingkat Keparahan (*Severity Level / Example Consequence*)

Tahap ini berhubungan dengan seberapa serius efek atau akibat yang ditimbulkan oleh kerusakan (*failure mode*) pada umumnya. Pada buku *ABS Guidance notes on Reliability-Centered Maintenance Techniques* edisi 2016, tingkat keparahan diklasifikasikan berdasarkan *loss of containment, safety, dan operational*. Tiap-tiap *failure mode* akan dinilai ketiga tingkat keparahannya. Tingkat keparahan yang di ambil untuk penentuan resiko adalah tingkat keparahan terburuk dari ketiganya. Tabel tingkat keparahan dapat dilihat pada tabel 4.2. – 4.4.

Tabel 4. 2. Tingkat keparahan berdasarkan *loss of containment*

<i>Saverity Level</i>	<i>Description for Severity Level</i>	<i>Definition for Severity Level</i>
1	<i>Minor, Negligible</i>	<i>Little or no response necessary</i>
2	<i>Major, Marginal, Moderate</i>	<i>Limited response of short duration</i>
3	<i>Critical, Hazardous, Significant</i>	<i>Serious / significant commitment of resources and personnel</i>
4	<i>Catastrophic, Critical</i>	<i>Complete loss of containment. Full scale response of extended duration to mitigate effects on environment</i>

Tabel 4. 3. Tingkat keparahan berdasarkan *safety*

<i>Saverity Level</i>	<i>Description for Severity Level</i>	<i>Definition for Severity Level</i>
1	<i>Minor, Negligible</i>	<i>Minor impact on personnel / No impact on public</i>
2	<i>Major, Marginal, Moderate</i>	<i>Professional medical treatment for personnel / No impact on public</i>
3	<i>Critical, Hazardous, Significant</i>	<i>Serious injury to personnel / Limited impact on public</i>
4	<i>Catastrophic, Critical</i>	<i>Serious injury to personnel / Limited impact on public</i>

Tabel 4. 4. Tingkat keparahan berdasarkan *operational*

<i>Saverity Level</i>	<i>Description for Severity Level</i>	<i>Definition for Severity Level</i>
1	<i>Minor, Negligible</i>	<i>No damage to affected equipment or compartment, no significant operational delays</i>
2	<i>Major, Marginal, Moderate</i>	<i>Affected equipment is damaged, operational delays</i>
3	<i>Critical, Hazardous, Significant</i>	<i>An occurrence adversely affecting the vessel's seaworthiness or fitness for service or route</i>
4	<i>Catastrophic, Critical</i>	<i>Loss of vessel or result in total constructive loss</i>

b) Menilai Frekuensi Kerusakan (*Current Likelihood*)

Pada tahap ini dilakukan analisis frekuensi dari setiap kerusakan secara individu. Berikut merupakan kategori frekuensi kerusakan seperti pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5. Frekuensi kerusakan yang terjadi (*Current Likelihood*)

<i>Likelihood level</i>	<i>Likelihood Descriptor</i>	<i>Description</i>
1	<i>Improbable</i>	<i>Fewer than 0.001 events/year</i>
2	<i>Remote</i>	<i>0.001 to 0.01 events/year</i>
3	<i>Occasional</i>	<i>0.01 to 0.1 events/year</i>
4	<i>Probable</i>	<i>0.1 to 1 events/year</i>
5	<i>Frequent</i>	<i>1 or more events/year</i>

c) *Risk Matrix Example Format*

Merupakan contoh *Risk Matrix ABS Guidance notes on Reliability Centered Maintenance* seperti pada tabel 4.6.

Tabel 4. 6. Risk Matrix Example Format

Severity Level	Likelihood of Failure				
	<i>Improbable</i>	<i>Remote</i>	<i>Occasional</i>	<i>Probable</i>	<i>Frequent</i>
4	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
3	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>	<i>High</i>
2	<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>	<i>High</i>
1	<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>Low</i>	<i>Medium</i>	<i>Medium</i>

OREDA-2002

OREDA-2002

Taxonomy no 1.4.1		Item Machinery Combustion Engines Diesel engine								
Population 69	Installations 56	Aggregated time in service (106 hours)					No of demands 18474			
		Calendar time *			Operational time †					
Failure mode	No of failures	Failure rate (per 106 hours).					Active rep.hrs	Repair (manhours)		
		Lower	Mean	Upper	SD	n %		Min	Mean	Max
Critical	52*	0.00	19.10	90.16	36.84	17.29	53.8	1.0	95.3	2730.0
Breakdown	3†	0.00	1.11	6.05	2.83	1.00	38.7	4.0	39.3	108.0
External leakage - Utility medium	3†	0.00	183.24	922.91	386.07	34.39	-	-	-	-
Fail to start on demand	1†	3.02	646.59	2383.85	880.47	11.46	-	-	-	-
Low output	29*	0.00	12.22	63.54	28.24	9.65	9.5	1.0	16.9	52.0
Overheating	29†	283.72	4049.45	11650.76	3840.96	332.39	-	-	-	-
Parameter deviation	1†	0.00	0.58	2.14	2.76	0.33	50.0	100.0	100.0	100.0
Spurious stop	1†	0.01	42.18	189.31	75.00	11.46	-	-	-	-
Vibration	3*	0.00	0.81	4.18	1.81	1.00	28.7	1.0	57.0	120.0
Degraded	3†	0.00	78.13	405.68	179.68	34.39	-	-	-	-
Abnormal instrument reading	1*	0.00	0.58	2.14	2.76	0.33	6.0	12.0	12.0	12.0
Erratic output	1†	0.01	42.18	189.31	75.00	11.46	-	-	-	-
External leakage - Fuel	11*	0.55	3.35	8.12	2.46	3.66	7.2	2.0	13.3	40.0
External leakage - Utility medium	11†	17.47	694.47	2127.98	743.18	126.08	-	-	-	-
Fail to start on demand	3*	0.00	0.74	3.91	1.79	1.00	516.7	140.0	1116.7	2730.0
	3†	5.53	28.86	67.24	19.85	34.39	-	-	-	-
	123*	0.00	33.40	183.95	91.72	40.91	12.3	1.0	21.6	207.0
	123†	247.06	5683.27	17075.33	5757.31	1409.80	-	-	-	-
External leakage - Fuel	1*	0.00	0.29	1.43	0.50	0.33	1.5	3.0	3.0	3.0
External leakage - Utility medium	1†	0.10	9.62	31.45	11.46	11.46	-	-	-	-
Fail to start on demand	6*	0.00	1.78	9.49	7.97	2.00	11.3	1.0	21.5	60.0
Overheating	6†	6.35	564.26	1830.47	665.32	68.77	-	-	-	-
Parameter deviation	5*	0.00	1.33	7.31	3.58	1.66	9.1	3.0	11.8	32.0
Spurious stop	5†	0.00	72.89	415.45	222.87	57.31	-	-	-	-
Vibration	45*	0.00	12.10	67.00	34.19	14.97	10.2	1.0	17.3	60.0
Fail to start on demand	45†	3.62	1543.60	6123.04	2285.30	515.78	-	-	-	-
Low output	1*	0.00	1.31	6.90	5.72	0.33	-	12.0	12.0	12.0
Overheating	1†	3.02	646.59	2383.85	880.47	11.46	-	-	-	-

Gambar 4. 1. *Offshore Reliability Data Handbook (OREDA)*

1. *Failure Rate (per year)* = Nilai diperoleh dari *Offshore Reliability Data Handbook* (OREDA)

$$= \frac{183.24}{\left(\frac{10^6}{8760}\right)} = 1.6051824$$

2. Langkah selanjutnya menentukan *Probability of Failure* (PoF)

3. Langkah selanjutnya menentukan *Consequence of Failure* (CoF)

- Meliputi Loss of Containment (C)
- Safety (S)
- Operational (O)

4. Hingga disimpulkan dengan *Final Qonsequence* (FC) untuk menilai termasuk golongan kritis atau tidak.

Berikut ditampilkan pada tabel 4.7 dan 4.8. contoh salah satu hasil FMECA dengan berdasar *Risk Matrix ABS Guidance notes on Reliability Centered Maintenance*. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4. 7. FMECA – *Main Engine*

EQUIPMENT		FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE <i>(Loss of function)</i>	FAILURE MODE <i>(Cause of failure)</i>	FAILURE EFFECT <i>(What happens when it fails)</i>	Failure Rate <i>(per year)</i>	PoF	CoF				RISK
									C	S	O	FC	
CE-ME-001 Main Engines - MAK, 8M32, 2 Cycle	1	CE-ME-001 as Main Propulsion	A	The main engine does not able to function as main propulsion (total failure)	1 Main engine fail to operate due to breakdown	The breakdown that occurs in the main engine causes the engine to be unable to operate / engine stop	1.6051824	5	1	1	3	3	High
					2 Main engine fail to start on demand	The main engine fail to start on demand causes the engine to be unable to operate / engine stop	35.473182	5	1	1	2	2	High

Dapat dilihat bahwasanya dari hasil investigasi *P&I Club (Protection and Indemnity Insurance)* didapat penyebab lain seperti kesalahan perawatan, inspeksi dan penanganan oli pelumas (21%) merujuk pada Gambar 1.1. Penyebab kasus kecelakaan kapal (kerusakan mesin) 2009-2014, hal ini selaras terlihat pada hasil FMECA pada *Lubricating Oil System* ada beberapa *equipment* dan *failure mode* yang memiliki tingkat kekritisian cukup tinggi salah satunya yang terlihat pada tabel 4.8. Lube Oil Pump yang berfungsi untuk mentransfer lube oil dari tangki ke pendingin lube oil dan juga ke *main engine*.

Tabel 4. 8. FMECA – Lubricating Oil System (LO)

ITS		FMECA - LO SYSTEM				Project		FMECA - LO SYSTEM			
ITS		Failure Modes, Effects and Criticality Analysis				Created by		Donny Endra Prastya			
ITS		Failure Modes, Effects and Criticality Analysis				NRP		042 117 500 10008			
EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE (Loss of function)	FAILURE MODE (Cause of failure)	FAILURE EFFECT (What happens when it fails)	Failure Rate (per year)	PoF	CoF			RISK	
							C	S	O	FC	
LO-PUMP-003 No 2 Lub Oil Pump	1 To transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine	A The pump does not able to transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine (total failure)	1 The pump fail to operate due to breakdown	There is no flow to LO cooler and main engine	0.8027664	4	3	1	1	3	High
			2 The pump fail to start on demand	There is no flow to LO cooler and main engine	0.267618	4	3	1	1	3	High
		B The pump does not able to transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine according to its specification (partial failure)	1 The pump fail due to low output	The pump perform less	0.5351484	4	2	1	1	2	Medium
			2 The pump fail due to parameter deviation	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium
			3 The pump fail due to spurious stop	The pump perform less	0.8027664	4	2	1	1	2	Medium
			4 The pump fail due to structural deficiency	The pump perform less, It can severely damage the pump	1.0703844	5	2	1	1	2	High
5 The pump fail due to external leakage	The pump perform less, lub.oil contain contaminant	0.267618	4	2	1	1	2	Medium			
6 The pump fail due to vibration	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium			

Pada table 4.8. FMECA – Lubricating Oil System (LO) terdapat dua kemungkinan kegagalan fungsional kejadian yang pertama pompa tidak dapat mentransfer lube oil dari tangki pengendapan (*settlink tank*) ke pendingin lube oil ini mengakibatkan *failure mode* pompa gagal beroperasi karena rusak dan juga pompa gagal dalam memenuhi kebutuhan sesuai permintaan dan ini sangat beresiko tinggi karena tidak adanya aliran ke pendingin lube oil dan juga *main engine* sehingga berpengaruh terhadap temperatur gas buang yang tinggi pada *main engine*.

Tabel 4. 9. FMECA – Lubricating Oil System (LO) - Lanjutan

ITS		FMECA - LO SYSTEM				Project		FMECA - LO SYSTEM			
ITS		Failure Modes, Effects and Criticality Analysis				Created by		Donny Endra Prastya			
ITS		Failure Modes, Effects and Criticality Analysis				NRP		042 117 500 10008			
EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE (Loss of function)	FAILURE MODE (Cause of failure)	FAILURE EFFECT (What happens when it fails)	Failure Rate (per year)	PoF	CoF			RISK	
							C	S	O	FC	
LO-TANK-005 Cylinder Oil Tank (P)	1 To store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder)	A The tank cannot store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder) according to its capacity	1 The tank does not suit its function due to external leak/rupture	No flow lub.oil to cylinder	0.086724	3	3	1	2	3	Medium
			2 The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium
			3 The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium

Pada tabel 4.9. dimana terlihat equipment cylinder oil tank yang dimana secara fungsi bertugas untuk menyimpan lube oil sebelum dipindahkan ke *main engine* (untuk melumasi silinder) memiliki kegagalan fungsional jika tangki tidak dapat menyimpan lub.oil sebelum dipindahkan ke *main engine* (untuk melumasi silinder) sesuai kapasitasnya dan ini berimbas pada tangki tidak sesuai dengan fungsinya karena saluran masuk yang terhubung / tersumbat atau juga mengalami kebocoran mengakibatkan pasokan oli pelumas ke silinder tidak optimal dan dapat mengakibatkan panas dan berakibat buruk terhadap material silinder sehingga pembakaranpun tidak optimal berimbas pada temperatur gas buang yang tinggi.



FMECA - MAIN ENGINE

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Project	: FMECA - Main Engine
Created by	: Donny Endra Prastya
NRP	: 042 117 500 10008

EEQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		FAILURE EFFECT		Failure Rate (per year)	PoF	CoF				RISK
		<i>(Loss of function)</i>		<i>(Cause of failure)</i>		<i>(What happens when it fails)</i>				C	S	O	FC	
CE-ME-001 Main Engines - MAK, 8M32, 2 Cycle	1 CE-ME-001 as Main Propulsion	A	The main engine does not able to function as main propulsion (total failure)	1	Main engine fail to operate due to breakdown	The breakdown that occurs in the main engine causes the engine to be unable to operate / engine stop	1.6051824	5	1	1	3	3	High	
				2	Main engine fail to start on demand	The main engine fail to start on demand causes the engine to be unable to operate / engine stop	35.473182	5	1	1	2	2	High	
		B	The main engine does not able to function as main propulsion according to its specification (partial failure)	1	The main engine is not performing well due to external leakage	engine perform less	5.6641284	5	2	1	2	2	High	
				2	The main engine is not performing well due to low output	engine perform less, power less	0.3694968	4	1	1	2	2	Medium	
				3	The main engine is not performing well due to high output	wasteful of fuel oil	0.7751724	4	1	1	2	2	Medium	
				4	The main engine is not performing well due to overheating	It can severely damage the engine, engine can stop	0.6844188	4	1	1	3	3	High	
				5	The main engine is not performing well due to parameter deviation	engine perform less	0.3694968	4	1	1	2	2	Medium	
				6	The main engine is not performing well due to spurious stop	engine perform less, engine can stop	6.0835572	5	1	1	3	3	High	
				7	The main engine is not performing well due to vibration	lead to failure of the propulsion system, structural failures of the primary structure and damage to shipboard equipment	0.2528136	4	1	1	2	2	Medium	
				8	The main engine is not performing well due to erratic output	engine perform less	4.9429176	5	1	1	2	2	High	
10	The main engine is not performing well due to structure deficiency	It can severely damage the engine, engine perform less	2.6773188	5	1	1	3	3	High					

Note:
 C = Loss of containment
 S = Safety
 O = Operational
 FC = Final Consequence

4.3 Pengambilan Data *General Cargo Vessel*

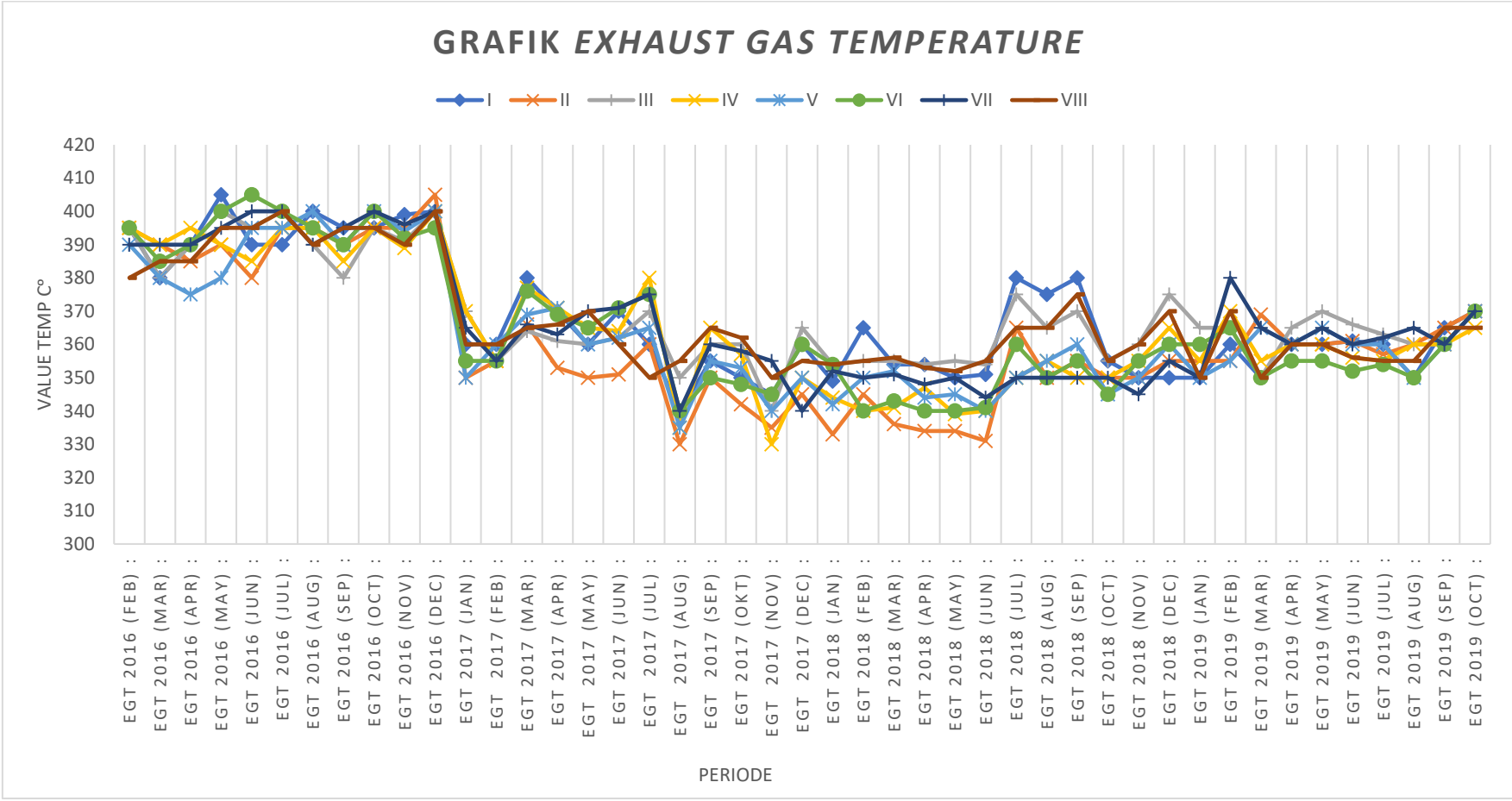
4.3.1. Data Temperatur Gas Buang (*Exhaust Gas Temperature*)

Dalam tesis ini mengembangkan sistem monitoring performa *main engine* dengan melalui pendekatan *forecasting assessment* untuk memprediksi kegagalan yang mungkin terjadi di jam operasional berikutnya menggunakan contoh kapal yang dioperasikan oleh sebuah instansi perusahaan ekspedisi pelayaran.

Dapat kita lihat pada gambar 4.2. bahwa telah dilakukan pengambilan data setiap bulan dari tahun 2016 hingga tahun 2019 bulan oktober, dari hasil tersebut diketahui bahwa pada bulan Desember 2016 rata-rata *exhaust gas emperature* dikisaran 400°C namun pada bulan Januari 2017 mengalami penurunan dikisaran 360°C kondisi seperti ini terjadi disebabkan oleh moda operasi saat kapal berlayar dan dalam beban yang berbeda-beda.

Temperatur gas buang (*Exhaust gas temperature*) maksimum digunakan sebagai batasan pengoperasian mesin terkait dengan kekuatan atau ketahanan materiil mesin, jika cenderung terjadi *high exhaust gas temperature* secara terus menerus ada beberapa penyebab yang dapat diprediksi, proses pembakaran yang tidak sempurna dan pembakaran tidak sempurna ini saling terkait juga dengan titik kabut (pengabutan) bahan bakar terlalu besar dan menguap diruang bakar sehingga tidak sempurna.

Penyetelan katup-katup sehingga tidak tepat waktu terbuka dan tertutup dapat juga mengakibatkan *high exhaust gas temperature* karena energi dalam gas pembakaran belum sempurna diubah menjadi tenaga sudah harus dibuang karena katup buang sudah mulai terbuka. *High exhaust gas temperature* juga bisa disebabkan oleh silinder, mungkin sudah lemah (ring piston aus, leaner piston / rumah piston dan piston aus).



Gambar 4. 2. Grafik Exhaust Gas Temperature Tahun 2016 - 2019

4.3.2. Data Maximum Combustion Pressure

Tekanan maksimum ruang bakar pada saat proses pembakaran/ekspansi Secara umum pembakaran didefinisikan sebagai reaksi kimia atau reaksi persenyawaan bahan bakar oksigen (O_2) sebagai oksidan dengan temperaturnya lebih besar dari titik nyala. Mekanisme pembakarannya sangat dipengaruhi oleh keadaan dari keseluruhan proses pembakaran dimana atom-atom dari komponen yang dapat bereaksi dengan oksigen yang dapat membentuk produk yang berupa gas.

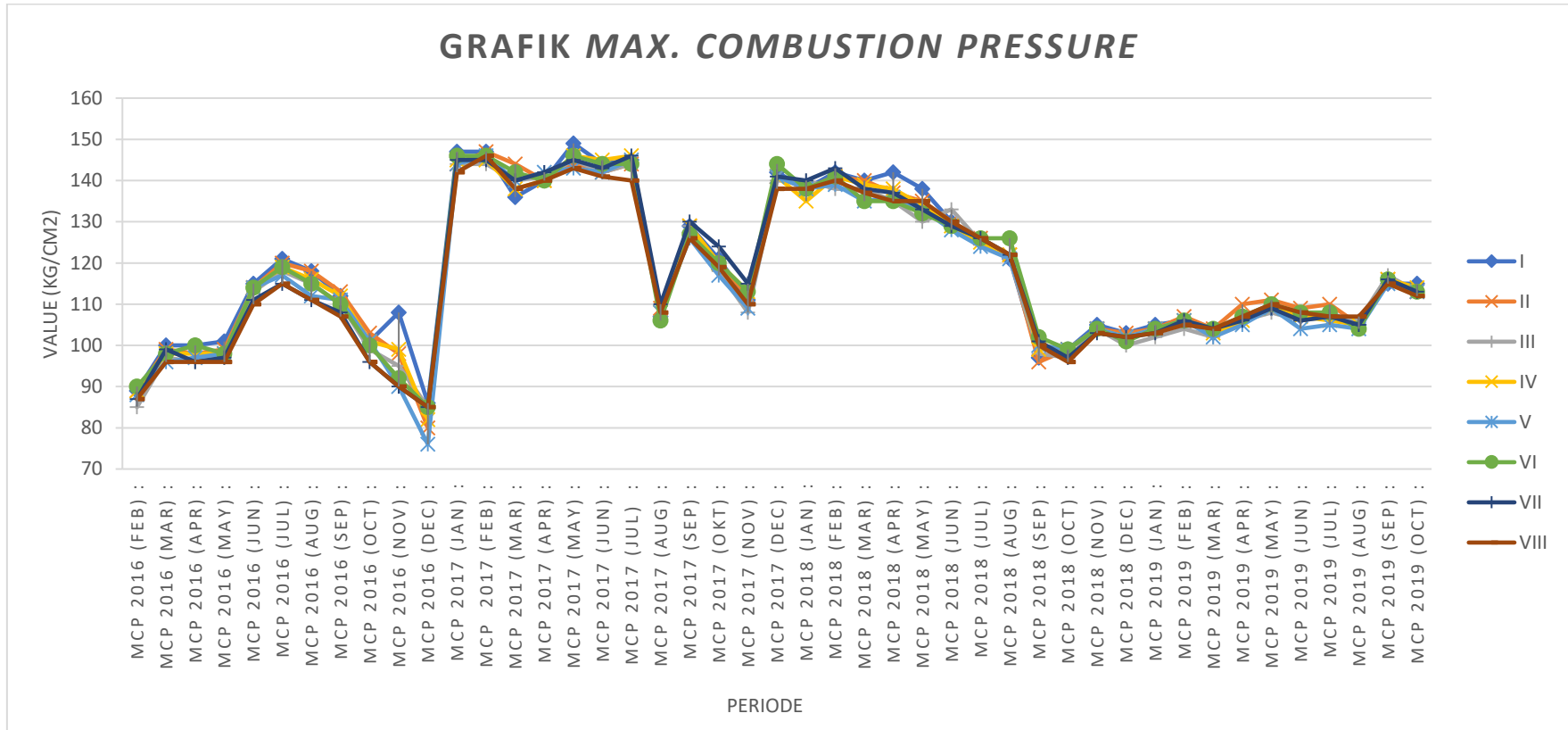
Dapat kita lihat pada gambar 4.3. dimana terjadi perubahan yang signifikan pada bulan Desember 2016 tercatat max. combustion pressure rata-rata 83 (kg/cm^2) menuju bulan Januari 2017 dengan rata-rata 145 (kg/cm^2) ini terjadi karena perbedaan engine speed pada bulan Desember 2016 tercatat 6.6 knot sedangkan untuk bulan Januari 2017 tercatat 11.5 knot.

Jika komponen silinder seperti piston, ring piston, atau liner aus atau bocor, tekanan kompresi tidak akan tercapai dan pembakaran tidak akan efisien. Crew kapal perlu memantau combustion pressure untuk memastikan bahwa engine tetap dalam kondisi performancenya.

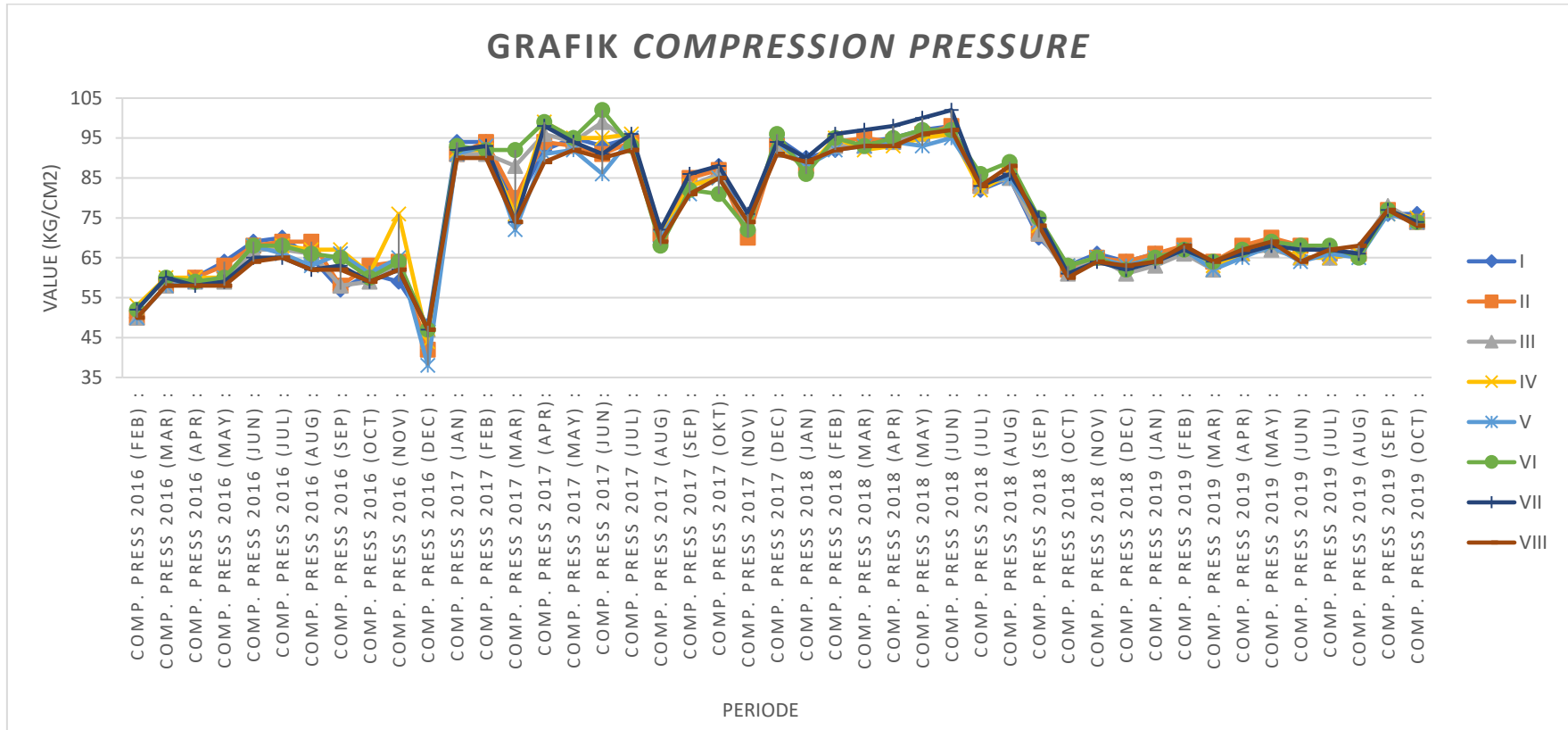
4.3.3. Data Compression Pressure

Tekanan ruang bakar pada saat langkah kompresi, Piston bergerak dari TMB ke TMA. Katup masuk dan katup buang tertutup. Volume udara yang dikompresikan oleh piston dalam silinder antara 1/12 sampai 1/16 bagian dari seluruh volume silinder. Kompresi udara (kepadatan) sampai tekanan tinggi antara 70-75 kg/cm^2 .

Dapat kita lihat pada gambar 4.4. dimana terjadi perubahan yang signifikan pada bulan Desember 2016 tercatat pada grafik compression pressure rata-rata 45 (kg/cm^2) menuju bulan Januari 2017 dengan rata-rata 91 (kg/cm^2) ini terjadi karena perbedaan engine speed pada bulan Desember 2016 tercatat 6.6 knot sedangkan untuk bulan Januari 2017 tercatat 11.5 knot.



Gambar 4. 3. Grafik *Maximum Combustion Pressure* Tahun 2016 - 2019



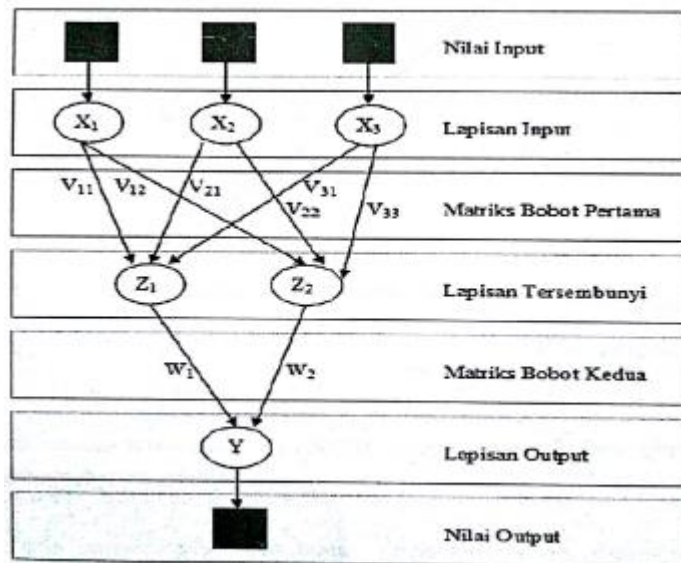
Gambar 4. 4. Grafik *Compression Pressure* Tahun 2016 - 2019

4.4 Forecasting Assessment dan Performance Analysis

4.4.1. Forecasting Assessment

Jaringan saraf tiruan adalah model matematika atau model komputasi yang diinspirasi oleh struktur fungsional dari jaringan saraf biologi. Dalam kebanyakan kasus sebuah jaringan saraf tiruan adalah sistem yang adaptif yang mengubah strukturnya berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui jaringan selama fase pembelajaran (Irawan, 2013).

Dalam pelatihan dengan supervisi serta fase pembelajaran, terdapat sejumlah pasangan dan (masukan-target keluaran) yang dipakai untuk melatih jaringan. Pada setiap pelatihan, suatu masukan diberikan ke jaringan. Jaringan akan memproses dan mengeluarkan keluaran. Selisih antara keluaran jaringan dengan target (keluaran yang diinginkan) merupakan kesalahan yang terjadi. Jaringan akan memodifikasi bobot sesuai dengan kesalahan tersebut. Model yang menggunakan pelatihan dengan supervisi salah satunya adalah Multilayer Perceptron (MLP). (Azizah, 2019)



Gambar 4. 5. *Multilayer Perceptron (MLP) structure*

Algoritma ini didasarkan pada hubungan yang sederhana, yaitu jika output memberikan hasil yang salah maka penimbang bobot dikoreksi supaya galatnya dapat diperkecil dan respon jaringan selanjutnya diharapkan akan lebih mendekati target. *Multilayer Perceptron (MLP)* juga berkemampuan untuk memperbaiki penimbang pada lapisan tersembunyi (*hidden layer*).

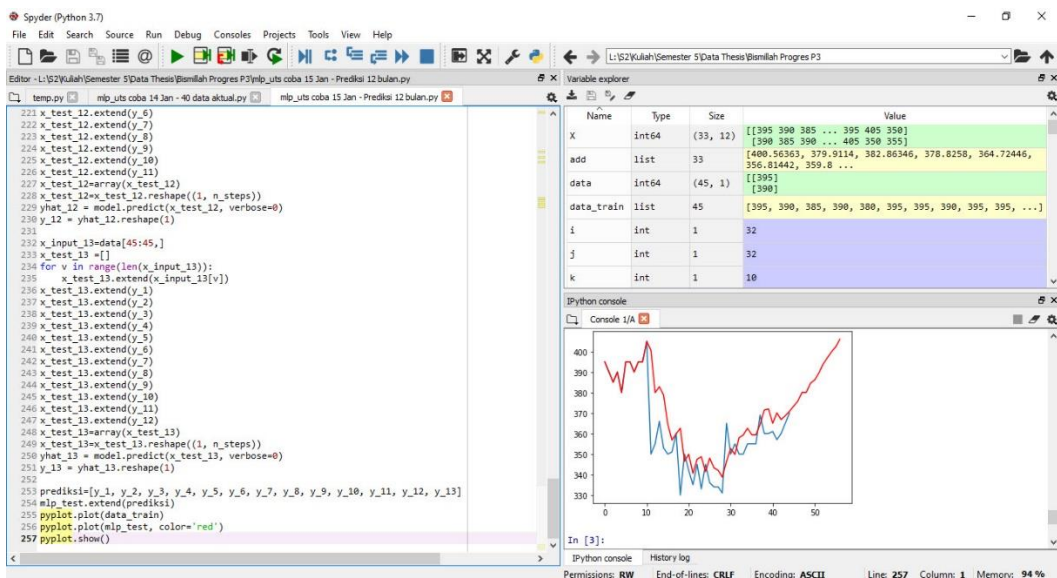
Analisis *Multilayer Perceptron* (MLP) dengan peramalan time-series pada penelitian ini menggunakan software ANACONDA berupa Bahasa pemrograman Python. Hasil dari peramalan merupakan target data dari MLP. Tabel 4.10. menunjukkan tabel rancangan data cara kerja MLP.

Berikut merupakan langkah-langkah untuk melakukan proses peramalan dari data-data hasil *condition monitoring*.

1. Pengumpulan data, untuk selanjutnya dijadikan dasar peramalan.
2. Membuat data set (seperti pada Tabel 4.10.)
3. Membangun model (seperti pada Tabel 4.10.)
4. Memprediksi hasil (seperti pada Gambar 4.6.)

Tabel 4. 10. Rancangan Data

Pola ke -	Data input (x_1, x_2)		Target
	X_1	X_2	
1	Data ke-1	Data ke-2	Data ke-3
2	Data ke-2	Data ke-3	Data ke-4
.	.	.	.
.	.	.	.
dst	Data ke n-2	Data ke n-1	Data ke-n



Gambar 4. 6. Tampilan Software ANACONDA

Secara garis besar, algoritma ini dapat dideskripsikan sebagai berikut ketika jaringan diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut menuju ke unit-unit pada lapisan tersembunyi untuk diteruskan ke unit-unit lapisan keluaran. Kemudian unit-unit lapisan keluaran memberikan tanggapan yang disebut sebagai keluaran jaringan.

A. Forecasting Assessment Exhaust Gas Temperature – Case 1 (pengambilan data bulanan pertahun)

Case 1 merupakan *forecasting assessment* yang diambil dari data bulanan per tahun. Data tiap bulan pemantauan temperature gas buang pada bulan Februari 2016 sampai Oktober 2019 dapat dilihat pada Tabel 4.11. – 4.14.

Tabel 4. 11. Temperatur Gas Buang Tahun 2016

Jadwal Pengambilan Data	No. Silinder							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
EGT 2016 (Feb) :	395	395	395	395	390	395	390	380
EGT 2016 (Mar) :	380	390	380	390	380	385	390	385
EGT 2016 (Apr) :	390	385	390	395	375	390	390	385
EGT 2016 (May) :	405	390	400	390	380	400	395	395
EGT 2016 (Jun) :	390	380	395	385	395	405	400	395
EGT 2016 (Jul) :	390	395	400	395	395	400	400	400
EGT 2016 (Aug) :	400	395	390	395	400	395	390	390
EGT 2016 (Sep) :	395	390	380	385	390	390	395	395
EGT 2016 (Oct) :	395	395	395	395	400	400	400	395
EGT 2016 (Nov) :	399	395	391	389	394	392	396	390
EGT 2016 (Dec) :	400	405	400	400	400	395	400	400

Tabel 4. 12. Temperatur Gas Buang Tahun 2017

Jadwal Pengambilan Data	No. Silinder							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
EGT 2017 (Jan) :	360	350	370	370	350	355	365	360
EGT 2017 (Feb) :	360	355	355	355	360	355	355	360
EGT 2017 (Mar) :	380	366	364	377	369	376	366	365
EGT 2017 (Apr) :	370	353	361	371	371	369	363	366
EGT 2017 (May) :	360	350	360	365	360	365	370	370
EGT 2017 (Jun) :	370	351	362	364	362	371	371	360

Jadwal Pengambilan Data	No. Silinder							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
EGT 2017 (Jul) :	360	360	370	380	365	375	375	350
EGT 2017 (Aug) :	340	330	350	335	335	340	340	355
EGT 2017 (Sep) :	355	350	360	365	355	350	360	365
EGT 2017 (Okt) :	350	342	360	357	353	348	358	362
EGT 2017 (Nov) :	345	335	340	330	340	345	355	350
EGT 2017 (Dec) :	360	345	365	350	350	360	340	355

Tabel 4. 13. Temperatur Gas Buang Tahun 2018

Jadwal Pengambilan Data	No. Silinder							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
EGT 2018 (Jan) :	349	333	354	344	342	354	352	354
EGT 2018 (Feb) :	365	345	355	340	350	340	350	355
EGT 2018 (Mar) :	354	336	355	341	352	343	351	356
EGT 2018 (Apr) :	354	334	354	347	344	340	348	353
EGT 2018 (May) :	350	334	355	339	345	340	350	352
EGT 2018 (Jun) :	351	331	354	340	340	341	344	355
EGT 2018 (Jul) :	380	365	375	350	350	360	350	365
EGT 2018 (Aug) :	375	350	365	355	355	350	350	365
EGT 2018 (Sep) :	380	355	370	350	360	355	350	375
EGT 2018 (Oct) :	355	350	355	350	345	345	350	355
EGT 2018 (Nov) :	350	350	360	355	350	355	345	360
EGT 2018 (Dec) :	350	355	375	365	360	360	355	370

Tabel 4. 14. Temperatur Gas Buang Tahun 2019

Jadwal Pengambilan Data	No. Silinder							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
EGT 2019 (Jan) :	350	355	365	355	350	360	350	350
EGT 2019 (Feb) :	360	355	365	370	355	365	380	370
EGT 2019 (Mar) :	350	369	350	355	365	350	365	350
EGT 2019 (Apr) :	360	360	365	360	360	355	360	360
EGT 2019 (May) :	360	360	370	360	365	355	365	360
EGT 2019 (Jun) :	361	361	366	356	360	352	360	356
EGT 2019 (Jul) :	360	357	363	355	360	354	362	355
EGT 2019 (Aug) :	350	360	360	360	350	350	365	355
EGT 2019 (Sep) :	365	365	360	360	360	360	360	365
EGT 2019 (Oct) :	370	370	370	365	370	370	370	365

Data-data tiap bulan yang diperoleh dari masing-masing silinder kemudian dilakukan time-series forecasting menggunakan software ANACONDA dengan Bahasa pemrograman Python. Hasil data forecasting menunjukkan prediksi 12 bulan kedepan dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4. 15. Prediksi (Peramalan) Temperatur Gas Buang 12 bulan berikutnya

Jadwal Pengambilan Data	No. Silinder							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Predict (Month + 1)	367.414	374.311	373.860	362.324	362.247	361.763	366.974	369.357
Predict (Month + 2)	366.652	375.933	374.625	361.437	366.808	366.349	368.537	375.871
Predict (Month + 3)	365.325	377.815	374.340	362.077	369.504	366.987	375.421	374.339
Predict (Month + 4)	367.691	382.099	373.784	360.781	370.177	367.784	374.129	380.187
Predict (Month + 5)	371.689	385.773	374.381	363.278	368.894	373.593	374.291	382.552
Predict (Month + 6)	372.602	389.882	375.803	361.420	369.230	377.626	378.929	384.263
Predict (Month + 7)	372.291	393.346	377.039	361.723	370.751	379.218	378.831	386.917
Predict (Month + 8)	373.988	396.319	377.741	361.032	370.290	376.721	378.580	389.376
Predict (Month + 9)	374.225	399.326	379.426	362.214	372.566	377.063	381.505	393.491
Predict (Month + 10)	374.399	402.658	380.107	362.216	373.831	380.266	383.696	395.379
Predict (Month + 11)	376.691	406.547	382.917	363.497	373.360	384.303	384.252	398.998
Predict (Month + 12)	378.370	410.352	383.204	362.886	375.035	386.359	386.119	400.649

Berdasarkan tabel 4.15. dan gambar 4.7. dapat dilihat untuk trending dari tahun 2016 temperatur exhaust gas pada mesin kapal objek penelitian pertama memiliki nilai yang cukup tinggi rata-rata hampir setiap silinder menyentuh temperatur 390-400°C daripada tahun 2017 dan 2018 terlihat untuk di tahun 2017 mengalami penurunan dan memiliki rata-rata temperatur 360°C. Hal ini dikarenakan pada tahun 2017 terdapat histori perbaikan (overhaul) pada piston, sehingga temperature gas buang relatif lebih rendah apabila dibandingkan tahun 2016 selanjutnya temperatur tersebut cenderung konstan hingga pada bulan Juli mengalami peningkatan dan hingga sampai bulan Oktober 2019 cenderung mengalami kenaikan. Setelah dilakukan peramalan terlihat pada silinder 2 pada bulan ke-12 di tahun 2020 mengalami kenaikan hingga mencapai batas limit yang ditentukan yakni 410°C. Kenaikan pada temperature gas buang merupakan indikator bahwa *main engine* perlu dilakukan kegiatan pemeriksaan terhadap

silinder / piston. Tahun 2020 kapal tersebut rencananya akan melakukan *annual survey*.

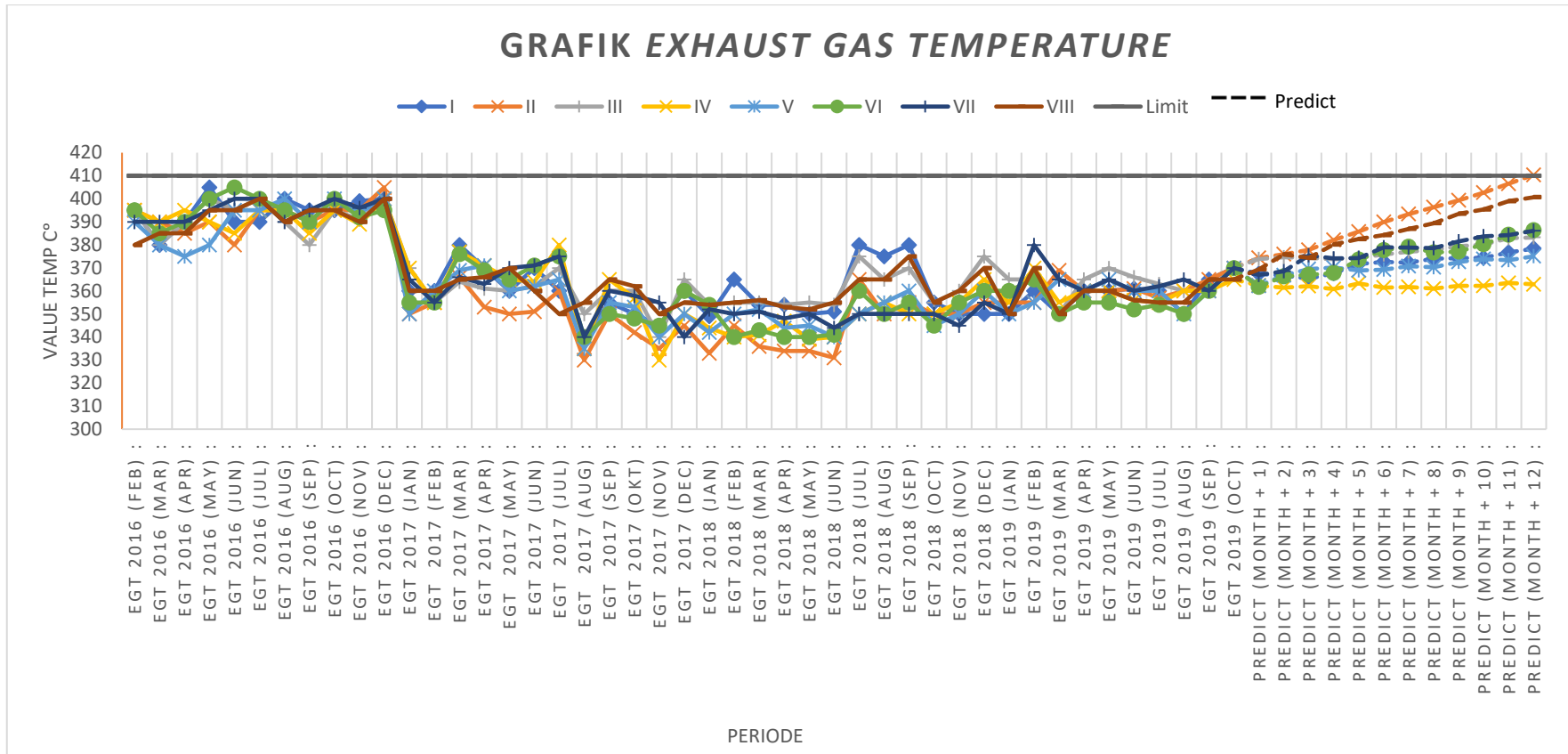
Prediksi / peramalan dari data condition monitoring tiap bulan selama 45 bulan ini dapat digunakan untuk memprediksi performa *main engine* oleh crew / owner kapal setidaknya selama 12 berikutnya. Hal ini membantu crew/owner untuk melakukan planning terhadap tindakan perawatan sebelum asset mengalami kerusakan.

Rekomendasi yang diberikan antara lain:

1. Persiapan *maintenance* (survey/overhaul) mesin melihat pada riwayat pengukuran sebelumnya sesuai oleh Class.
2. Class tidak memberikan rekomendasi untuk penggantian spare part, namun hanya memberikan batas toleransi hasil pengukuran, ketika sudah melebihi batas toleransi spare part wajib diganti.
3. Dilakukan selambat-lambatnya minimal 1 bulan sebelum jadwal survey (*annual, intermediate, special survey*) atau sesuai kebijakan perusahaan. Hal ini dikarenakan dibutuhkan waktu *purchasing* untuk menyiapkan barang-barang yang dibutuhkan saat overhaul sehingga tidak menambah waktu down-time kapal.
4. Beberapa spare part untuk persiapan overhaul

No	Range of spare part	No	Range of spare part
1	Main bearings	8	Piston, trunk oiston type
2	Connecting rod bearing	9	Piston rings
3	Cylinder liner	10	Piston Cooling
4	Cylinder cover	11	Cylinder lubricator
5	Valves	12	Fuel injections pump
6	Hydraulic valve drive	13	Gaskets and packings
7	Piston, Crosshead type	14	Exhaust gas system

#Case 1: Peramalan Data Report *Temperature Exhaust Gas* Pengambilan Data Bulanan Pertahun



Gambar 4. 7. Data Time Series Exhaust Gas Temperature Beserta Peramalan 2016-2020

B. Forecasting Assessment Exhaust Gas Temperature – Case 2 (pengambilan data 40 jam Kapal General Kargo [1])

Case 2 merupakan *forecasting assessment* yang diambil dari data 40 jam. Data selama 40 jam pemantauan temperature gas buang pada kapal general kargo [1] dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4. 16. Temperatur gas buang 40 jam kapal general kargo [1]

Jadwal Pengambilan Data			No. Silinder							
No	Tanggal	Jam	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	06/01/2020	19:45	370	385	375	360	365	365	370	375
2	06/01/2020	23:45	370	380	365	350	355	350	370	360
3	07/01/2020	3:45	370	380	360	350	360	350	370	360
4	07/01/2020	7:45	370	380	370	350	360	365	360	365
5	07/01/2020	11:45	360	375	360	350	355	360	360	360
6	07/01/2020	15:45	365	370	360	360	360	365	350	375
7	07/01/2020	19:45	365	370	350	365	345	365	370	370
8	07/01/2020	23:45	370	375	355	365	350	365	375	370
9	08/01/2020	3:45	370	375	375	350	360	350	375	375
10	08/01/2020	7:45	350	365	370	350	365	355	370	375
11	08/01/2020	11:45	365	365	360	350	355	350	370	365
12	08/01/2020	15:45	355	370	360	350	350	350	360	365
13	08/01/2020	19:45	350	365	365	345	360	365	360	370
14	08/01/2020	23:45	360	365	360	355	360	345	350	360
15	09/01/2020	3:45	370	380	375	350	365	360	370	365
16	09/01/2020	7:45	370	370	360	350	365	365	375	365
17	09/01/2020	11:45	360	375	370	350	350	365	360	370
18	09/01/2020	15:45	360	375	365	350	350	340	365	370
19	09/01/2020	19:45	350	365	370	350	350	345	365	365
20	09/01/2020	23:45	370	375	375	365	365	365	370	370
21	10/01/2020	3:45	375	370	370	355	360	355	370	375
22	10/01/2020	7:45	350	375	365	350	365	360	365	375
23	10/01/2020	11:45	350	365	365	360	365	345	355	365
24	10/01/2020	15:45	370	375	375	360	365	350	375	365
25	10/01/2020	19:45	350	360	360	340	350	360	365	370
26	10/01/2020	23:45	350	350	365	360	355	365	370	375
27	11/01/2020	3:45	380	355	365	360	350	355	375	370
28	11/01/2020	7:45	365	365	360	345	350	350	370	370
29	11/01/2020	11:45	370	375	375	340	365	360	365	370
30	11/01/2020	15:45	360	360	365	340	360	360	365	360

Jadwal Pengambilan Data			No. Silinder							
No	Tanggal	Jam	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
31	11/01/2020	19:45	350	355	370	365	365	365	365	360
32	11/01/2020	23:45	355	350	370	340	365	365	365	365
33	12/01/2020	3:45	365	350	365	350	340	370	375	365
34	12/01/2020	7:45	370	375	375	365	365	365	375	370
35	12/01/2020	11:45	360	360	360	350	360	375	365	365
36	12/01/2020	15:45	365	360	360	355	360	360	370	375
37	12/01/2020	19:45	370	365	360	365	365	360	375	375
38	12/01/2020	23:45	370	375	380	355	365	360	370	370
39	13/01/2020	3:45	375	370	370	355	360	350	365	375
40	13/01/2020	7:45	380	370	365	360	370	365	375	370

Karakteristik pengambilan data selama 40 jam adalah data diambil intermiten setiap 4 jam. Untuk mendapatkan 40 data maka perlu dilakukan pengambilan data selama 7 hari. Data Case 2 diambil pada tanggal 6-13 Januari 2020. Proses prediksi data pada case 2 sama seperti pada case 1, dimana data prediksi dengan MLP pada software ANACONDA berbasis pemograman Python. Hasil dari prediksi MLP adalah data 10 jam berikutnya.

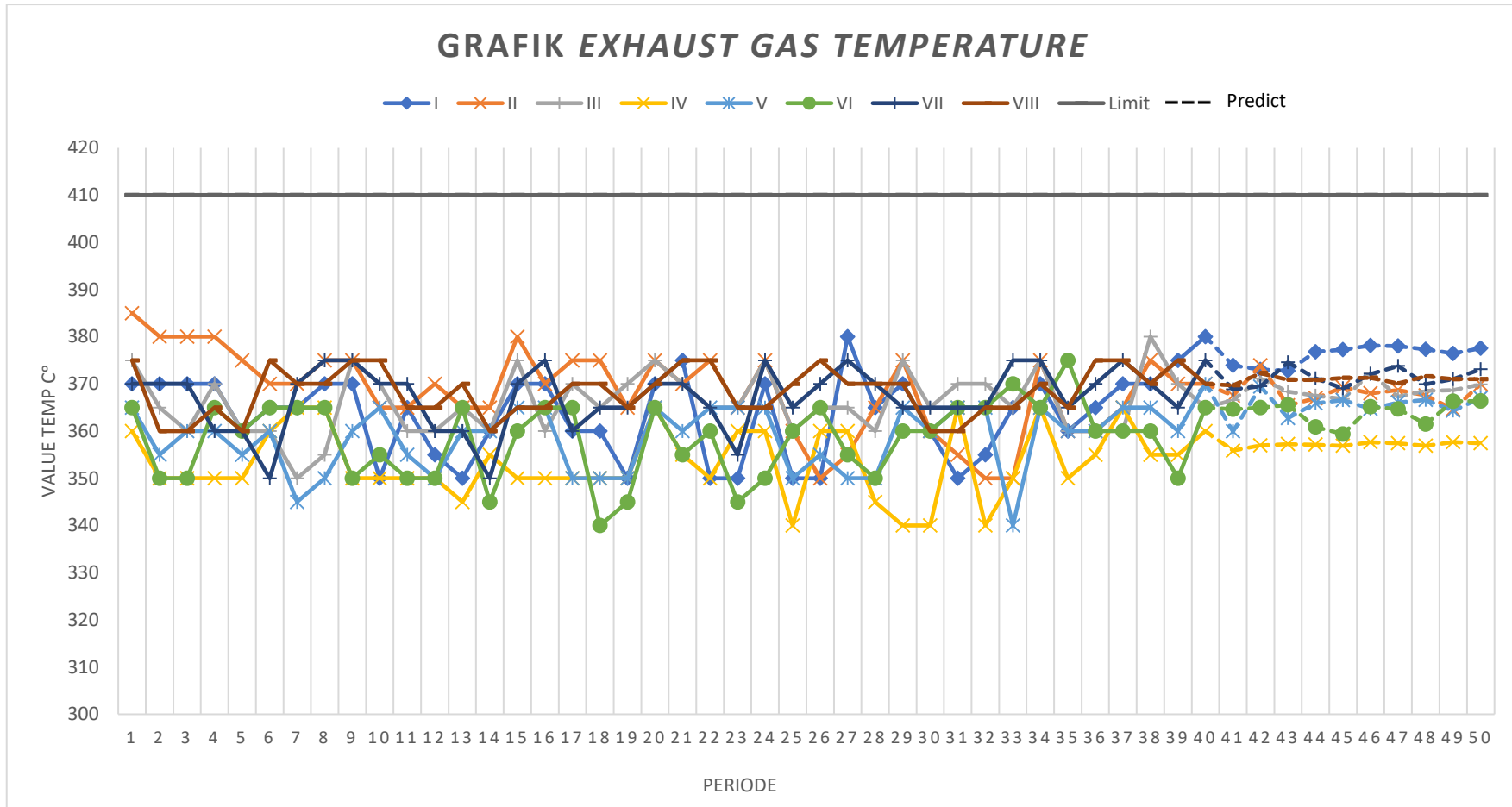
Tabel 4. 17. Prediksi Temperatur gas buang 10 jam kapal general kargo [1]

Prediksi	No. Silinder							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
(Hour + 1)	373.90	367.50	366.54	355.86	359.91	364.63	368.84	369.68
(Hour + 2)	373.05	373.92	371.11	356.97	369.43	364.95	369.48	372.26
(Hour + 3)	372.76	365.45	368.35	357.22	362.76	365.55	374.55	370.85
(Hour + 4)	376.80	366.95	367.49	357.10	365.88	360.85	371.16	370.83
(Hour + 5)	377.24	369.29	366.80	356.87	366.56	359.38	369.04	371.27
(Hour + 6)	378.13	367.98	372.28	357.63	364.70	365.12	372.08	371.26
(Hour + 7)	377.99	368.70	367.29	357.41	366.05	364.70	373.77	370.10
(Hour + 8)	377.32	367.57	368.51	356.88	366.61	361.48	369.92	371.60
(Hour + 9)	376.45	364.61	368.67	357.66	364.30	366.34	371.01	371.01
(Hour + 10)	377.55	369.92	369.87	357.41	367.00	366.35	373.10	371.01

Hasil prediksi 40 jam memberikan informasi 10 jam berikutnya seperti terlihat pada tabel 4.17, hal ini membantu crew dikapal untuk memantau kondisi *main engine*. Pada peramalan ini kondisi engine masih dalam kondisi performa yang baik. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.8.

#Case 2: Peramalan Data Report *Temperature Exhaust Gas* Berdasarkan 40 Data Aktual Kapal General Cargo [1]

09



Gambar 4. 8. Data Aktual Pengukuran Temperatur Exhaust Gas Kapal General Cargo [1]

C. Forecasting Assessment Exhaust Gas Temperature – Case 3 (pengambilan data 40 jam Kapal General Kargo [2])

Case 3 merupakan *forecasting assessment* yang diambil dari data 40 jam. Data selama 40 jam pemantauan temperatur gas buang pada kapal general kargo [2] dengan tipe mesin yang berbeda dapat dilihat pada tabel 4.18.

Tabel 4. 18. Temperatur gas buang 40 jam kapal general kargo [2]

Jadwal Pengambilan Data			No. Silinder					
No	Tanggal	Jam	I	II	III	IV	V	VI
1	04/01/2020	4:05	340	360	350	310	350	350
2	04/01/2020	8:05	340	365	350	310	350	350
3	04/01/2020	12:05	360	360	360	310	360	360
4	04/01/2020	16:05	350	355	360	310	360	360
5	04/01/2020	20:05	350	350	360	320	365	360
6	05/01/2020	0:05	345	345	345	310	360	350
7	05/01/2020	4:05	350	360	350	310	360	350
8	05/01/2020	8:05	345	350	345	305	360	350
9	05/01/2020	12:05	350	340	350	315	350	340
10	05/01/2020	16:05	330	350	350	310	350	350
11	05/01/2020	20:05	345	345	350	300	350	345
12	06/01/2020	0:05	340	355	350	310	350	345
13	06/01/2020	4:05	350	360	360	310	360	350
14	06/01/2020	8:05	345	340	360	315	345	345
15	06/01/2020	12:05	340	345	350	310	350	340
16	06/01/2020	16:05	330	350	360	310	350	340
17	06/01/2020	20:05	340	330	350	320	350	340
18	07/01/2020	0:05	340	340	350	320	350	340
19	07/01/2020	4:05	350	360	350	310	350	345
20	07/01/2020	8:05	345	370	340	360	350	350
21	07/01/2020	12:05	345	350	340	360	350	350
22	07/01/2020	16:05	350	340	345	330	350	340
23	07/01/2020	20:05	350	350	345	360	350	340
24	08/01/2020	0:05	350	360	340	320	360	340
25	08/01/2020	4:05	350	350	350	330	350	340
26	08/01/2020	8:05	350	350	350	360	355	340
27	08/01/2020	12:05	350	350	350	360	350	340
28	08/01/2020	16:05	345	340	350	330	350	345
29	08/01/2020	20:05	345	350	350	350	350	345
30	09/01/2020	0:05	350	350	340	340	350	360

Jadwal Pengambilan Data			No. Silinder					
No	Tanggal	Jam	I	II	III	IV	V	VI
31	09/01/2020	4:05	345	350	340	365	350	355
32	09/01/2020	8:05	350	360	350	320	350	350
33	09/01/2020	12:05	345	370	340	320	340	350
34	09/01/2020	16:05	340	380	350	370	360	340
35	09/01/2020	20:05	340	350	340	370	360	330
36	10/01/2020	0:05	345	360	355	310	360	340
37	10/01/2020	4:05	350	350	360	320	350	340
38	10/01/2020	8:05	340	370	350	360	350	340
39	10/01/2020	12:05	350	345	355	355	360	345
40	10/01/2020	16:05	355	375	360	365	370	350

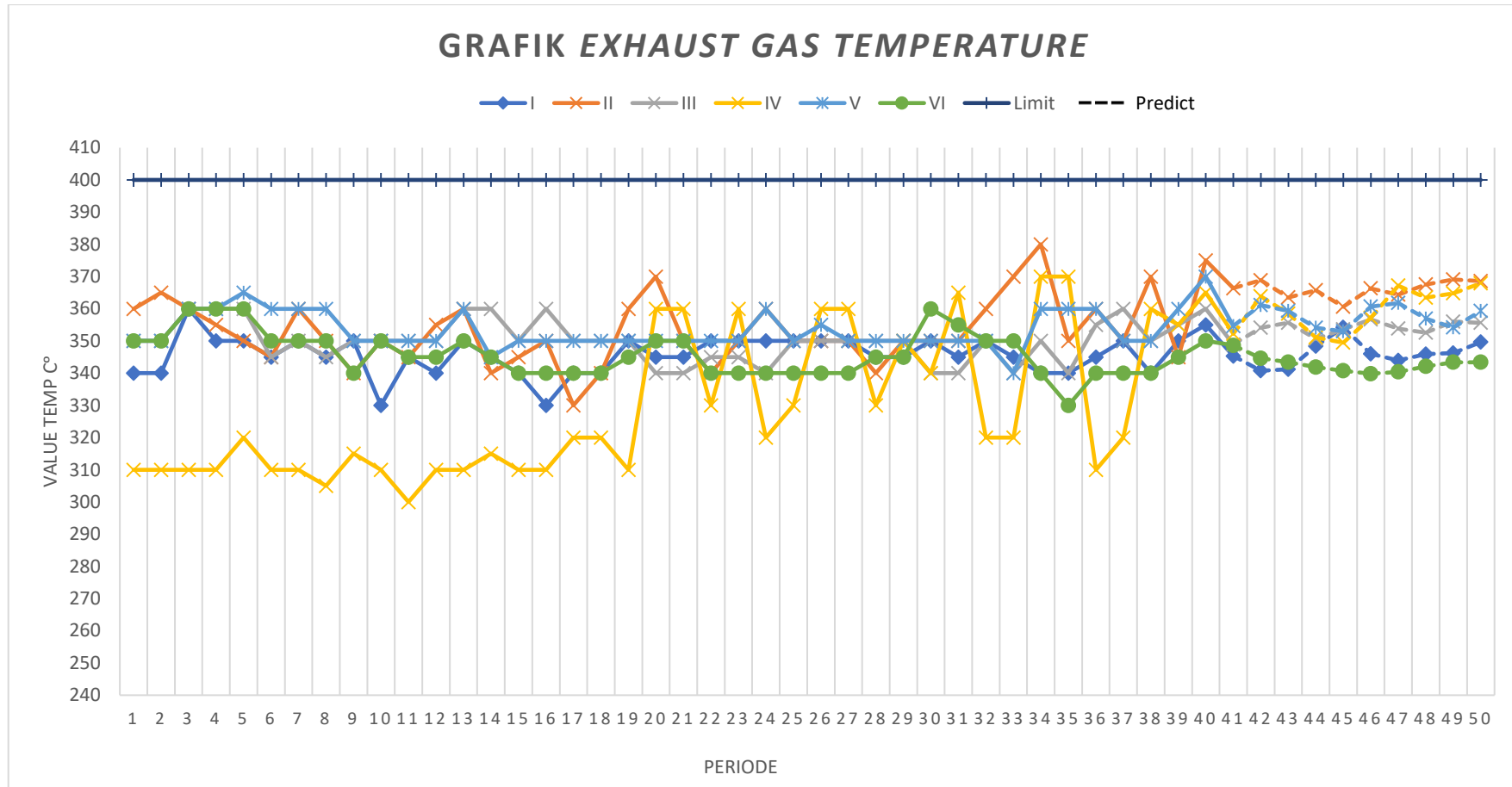
Karakteristik pengambilan data selama 40 jam adalah data diambil intermiten setiap 4 jam. Untuk mendapatkan 40 data maka perlu dilakukan pengambilan data selama 7 hari. Data Case 3 diambil pada tanggal 4-10 Januari 2020. Proses prediksi data pada case 3 sama seperti pada case 1 dan case 2, dimana data prediksi dengan MLP pada software ANACONDA berbasis pemograman Python. Hasil dari prediksi MLP adalah data 10 jam berikutnya.

Tabel 4. 19. Prediksi Temperatur gas buang 10 jam kapal general kargo [2]

Prediksi	No. Silinder					
	I	II	III	IV	V	VI
(Hour + 1)	345.343	366.399	348.928	352.231	354.658	348.653
(Hour + 2)	340.747	368.857	354.095	363.848	361.135	344.634
(Hour + 3)	341.202	363.483	355.658	358.483	359.304	343.401
(Hour + 4)	348.364	365.711	350.660	351.091	354.079	341.885
(Hour + 5)	354.202	360.623	353.589	349.454	352.984	340.731
(Hour + 6)	345.991	366.301	356.695	357.192	360.652	339.826
(Hour + 7)	343.944	364.342	353.811	367.152	361.770	340.370
(Hour + 8)	345.905	367.507	352.562	363.445	356.938	342.089
(Hour + 9)	346.235	369.082	356.012	364.764	354.148	343.356
(Hour + 10)	349.615	368.578	355.603	367.894	359.282	343.372

Hasil prediksi 40 jam memberikan informasi 10 jam berikutnya seperti terlihat pada tabel 4.19, hal ini membantu crew dikapal untuk memantau kondisi *main engine*. Pada peramalan ini kondisi engine masih dalam kondisi performa yang baik. Seperti yang terlihat pada Gambar 4.9.

#Case 3: Peramalan Data Report *Temperature Exhaust Gas* Berdasarkan 40 Data Aktual Kapal General Cargo [2]



Gambar 4. 9. Data Aktual Pengukuran Temperatur Exhaust Gas Kapal General Cargo [2]

4.4.2. Evaluasi Performa *Main Engine*

Pada kapal penting untuk memeriksa performa *main engine* dari waktu ke waktu untuk memastikan kondisi engine bekerja dalam keadaan baik atau tidak.

Tabel 4. 20. Perbandingan Data Aktual di Kapal General Cargo [1] dengan ANN Prediction untuk Exhaust Gas Temperature pada setiap Silinder

Cylinder 1	On Board	365.00	370.00	370.00	375.00	380.00
	ANN Prediction	358.85	362.55	364.99	367.82	373.82
	Error	1.68%	2.01%	1.35%	1.91%	1.63%
Cylinder 2	On Board	360.00	365.00	375.00	370.00	370.00
	ANN Prediction	362.44	358.37	360.85	364.32	361.30
	Error	0.68%	1.82%	3.77%	1.53%	2.35%
Cylinder 3	On Board	360.00	360.00	380.00	370.00	365.00
	ANN Prediction	368.93	373.26	364.82	367.21	364.04
	Error	2.48%	3.68%	3.99%	0.75%	0.26%
Cylinder 4	On Board	355.00	365.00	355.00	355.00	360.00
	ANN Prediction	356.42	349.25	354.32	355.61	356.17
	Error	0.40%	4.31%	0.19%	0.17%	1.06%
Cylinder 5	On Board	360.00	365.00	365.00	360.00	370.00
	ANN Prediction	364.50	362.73	362.73	361.32	360.87
	Error	1.25%	0.62%	0.62%	0.37%	2.47%
Cylinder 6	On Board	360.00	360.00	360.00	350.00	365.00
	ANN Prediction	360.40	363.40	364.77	362.75	369.89
	Error	0.11%	0.94%	1.33%	3.64%	1.34%
Cylinder 7	On Board	370.00	375.00	370.00	365.00	375.00
	ANN Prediction	370.98	370.46	367.40	370.63	373.19
	Error	0.26%	1.21%	0.70%	1.54%	0.48%
Cylinder 8	On Board	375.00	375.00	370.00	375.00	370.00
	ANN Prediction	365.109	370.893	369.646	371.045	369.901
	Error	2.64%	1.10%	0.10%	1.05%	0.03%

Berdasarkan data diatas perbandingan data aktual di Kapal General Cargo [1] dengan ANN Prediction untuk Exhaust Gas Temperature pada setiap Silinder tidak terjadi perbedaan yang cukup signifikan, nilai permalan mendekati dengan nilai aktual dan nilai error menurut (Lazakis, et al., 2018) tidak lebih dari 5% dikatakan cukup valid.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan data dan analisa terkait dengan rumusan masalah serta tujuan pada penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil FMECA (*Failure Modes Effect and Criticality Analysis*). Metode FMECA memberikan pendekatan secara *Bottom-up* dengan melihat database *failure mode / cause* mesin kapal utamanya. Terdapat 23 *equipment* dan terdapat 99 *failure mode* pada *Lubricating Oil System*. Dari keseluruhan failure mode sebaran level kekritisannya memiliki level low risk (24%), medium risk (64%), dan high risk (12%). Salah satu yang mengindikasikan mesin mengalami kegagalan dapat dilihat dari peningkatan Temperatur Gas Buang.
2. Berdasarkan hasil *Forecasting Assessment* dengan menggunakan pemodelan ANN (*Artificial Neural Network*) dibantu dengan bahasa pemrograman Python dapat digunakan sebagai tools yang komprehensif dalam meramalkan temperature gas buang sehingga didapatkan nilai eror maksimal sebesar 4.31% untuk peramalan 12 bulan yang akan datang.
3. Berdasarkan kombinasi dari hasil FMECA dan *Forecasting Assessment* mengindikasikan bahwa kondisi performa *main engine* untuk saat ini masih dalam keadaan baik.

5.2 Saran

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dan mendalam. Oleh karena itu, terdapat beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan penelitian ini, antara lain:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait dengan pengumpulan data yang lebih banyak dan data yang lebih fluktuatif .

2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut terkait metode selain ANN untuk melakukan *Forecasting Assessment* untuk mendapat perbandingan tingkat akurasi yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Aizenberg, I., Sheremetov, L., Villa-Vargas, L. & Martinez-Munoz, J., 2016. Multilayer neural network with multi-valued neurons in time series forecasting of oil production. *Neurocomputing (Elsevier)*, Volume 175, pp. 980-989.
- Azizah, M., 2019. *Prediksi Harga Saham Menggunakan Model Geometric Brownian Motion Dengan Metode Hybrid*. Surabaya: ITS Repository.
- Baig, M. M. H. A. & Prasanthi, S. G., 2013. Failure Modes and Effect Analysis of a Mechanical Assembly by Using Mil-Std 1629a Method. *International Journal of Advanced Information Science and Technology (IJAIST)*, 13(13), pp. ISSN 2319-2682.
- Baliwangi, L., Ishida, K., Arima, H. & Artana, K. B., 2006. Optimizing Ship Machinery Maintenance Scheduling through Risk Analysis and Life Cycle Cost Analysis. *25th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, pp. 127-134.
- Calder, N., 2006. *Marine Diesel Engines: Maintenance, Troubleshooting, and Repair*. 3rd penyunt. s.l.:International Marine.
- Diamantoulaki, I. & Angelides, D. C., 2013. Risk-based maintenance scheduling using monitoring data for moored floating breakwaters. *Structural Safety (Elsevier)*, Issue 41, pp. 107-118.
- Dong, Y. & Frangopol, D. M., 2015. Risk-informed life-cycle optimum inspection and maintenance of ship structures considering corrosion and fatigue. *Ocean Engineering (Elsevier)*, Issue 101, pp. 161-171.
- Eleye-Datubo, A. G., Wall, A., Saajedi, A. & Wang, J., 2006. Enabling a powerful marine and offshore decision-support solution through Bayesian network technique. *Risk Analysis International Journal*, 26(3), pp. 695-721.
- Emovon, I., Norman, R. A. & Murphy, A. J., 2016. An integration of multi-criteria decision making techniques with a delay time model for determination of inspection intervals for marine machinery systems. *Applied Ocean Research (Elsevier)*, Volume 59, pp. 65-82.

- Giorgio, M., Guida, M. & Pulcini, G., 2015. A condition-based maintenance policy for deteriorating units. An application to the cylinder liners of marine engine. *Applied Stochastic Model Business and Industry*, 3(31), pp. 339-348.
- Goo, B. et al., 2017. Design of reliability critical system using axiomatic design with FMECA. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 11(1), pp. 11-21.
- Handani, D. W., Ishida, K., Nishimura, S. & Hariyanto, S., 2011. System Dynamics Simulation for Constructing Maintenance Management of Ship Machinery. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, pp. 1549-1553.
- Harrington, R. L., 1992. *Marine Engineering*. 2nd penyunt. New York: The Society Of Naval Architects and Marine Engineers.
- Irawan, M. I., 2013. *Dasar - Dasar Jaringan Saraf Tiruan Algoritma, Pemrograman dan Contoh Aplikasinya*. Surabaya: ITS Press.
- Lazakis, I., Raptodimos, Y. & Varelas, T., 2018. Predicting ship machinery system condition through analytical reliability tools and artificial neural networks. *Elsevier Ocean Engineering*, Issue 152, pp. 404-415.
- Lazakis, I., Turan, O. & Seref, A., 2010. Increasing ship operational reliability through the implementation of a holistic maintenance management strategy. *Ships and Offshore Structures*, 5(4), pp. 337-357.
- Liu, Y.-H. & Yang, W.-L., 2004. The structure design of an intelligent decision support system for navigation collision avoidance. *International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, pp. 302-307.
- Mollenhauer, K. & Tschöke, H., 2010. *Handbook of Diesel Engines*. Vol 1 penyunt. Berlin: Springer.
- Moubrey, J., 1997. *RCM II: Reliability Centered Maintenance*. 2nd penyunt. Butterworth-Heinemann: Elsevier.
- Noor, M., Yasin, M., Ihsan, C. K. & Noor, M., 2016. Prediction Of Marine Diesel Engine Performance By Using Artificial Neural Network Model. *J. Mech. Eng. Sci. (JMES)*, Volume 10, pp. 1917-1930.

- P&I Club, J., 2017. Thinking Prevention of Engine Trouble. *P&I Loss Prevention Bulletin*, Volume 38, pp. 3-20.
- Szoplik, J., 2015. Forecasting of natural gas consumption with artificial neural networks.. *Energy (Elsevier)*, Volume 85, pp. 208-220.
- Taylor, D. A., 1996. *Introduction to Marine Engineering*. 2nd penyunt. s.l.:Elsevier.
- Yongzhi, C., Xuekuan, Y. & Yuhai, H., 2017. Review of the Present Situation and Development of Marine Diesel Engine. *International Conference on Industrial Informatics - Computing Technology, Intelligent Technology, Industrial Information Integration (ICIICII)*, pp. 351-354.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN 1

FAILURE MODE AND EFFECT CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

LUBRICATING OIL SYSTEM (LO – SYSTEM)

Halaman ini sengaja dikosongkan



FMECA - LO SYSTEM

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Project	: FMECA - LO SYSTEM
Created by	: Donny Endra Prastya
NRP	: 042 117 500 10008

EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		FAILURE EFFECT		Failure Rate (per year)	PoF	CoF				RISK
		<i>(Loss of function)</i>		<i>(Cause of failure)</i>		<i>(What happens when it fails)</i>				C	S	O	FC	
LO-TANK-001 LO Sump Tank	1 to collect lub.oil from the main engine after being lubricated	A	The tank cannot collect lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	fire, environmental pollution	0.086724	3	3	2	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	capacity does not match the requirements	0.086724		2	1	2	2	Medium	
	2 to receive lub.oil from the leak oil tank	A	The tank cannot receive lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	fire, environmental pollution	0.086724	3	3	2	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	capacity does not match the requirements	0.086724		1	1	1	1	Low	
	3 to receive lub.oil from LO purifier and LOT	A	The tank cannot receive lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	fire, environmental pollution	0.086724	3	3	2	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	capacity does not match the requirements	0.086724		2	1	2	2	Medium	
	4 to supply lub.oil to purifier	A	The tank cannot supply lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	fire, environmental pollution	0.086724	3	3	2	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the purifier is not optimal	0.086724		2	1	2	2	Medium	
	5 to supply lub.oil to lubricate main engine	A	The tank cannot supply lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	fire, environmental pollution	0.086724	3	3	2	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	the process of lubrication is not optimal	0.086724		2	1	2	2	Medium	
LO-TANK-002 CPP LO Tank	1 to supply lub.oil to lubricate CP propeller	A	The tank cannot supply lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	fire, environmental pollution	0.086724	3	3	2	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	capacity does not match the requirements	0.086724		2	1	2	2	Medium	
				3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	the process of lubrication is not optimal	0.086724		2	1	2	2	Medium	
LO-TANK-003 LO Dirty Tank	1 To collect waste lub.oil from lubricating main engine, purifier, and leak tank	A	The tank cannot collect lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	environmental pollution	0.086724	3	1	1	1	1	Low	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	The waste lub.oil will spill in the engine room	0.086724		1	1	1	1	Low	
				3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	The waste lub.oil will spill in the engine room	0.086724		1	1	1	1	Low	



FMECA - LO SYSTEM

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Project	: FMECA - LO SYSTEM
Created by	: Donny Endra Prastya
NRP	: 042 117 500 10008

EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		FAILURE EFFECT		Failure Rate (per year)	PoF	CoF				RISK
		<i>(Loss of function)</i>		<i>(Cause of failure)</i>		<i>(What happens when it fails)</i>				C	S	O	FC	
LO-TANK-004 Leak Oil Tank	1 To collect lub.oil after process purifyig in purifier	A	The tank cannot collect lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	environmental pollution	0.086724	3	1	1	1	1	Low	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	The lub.oil will spill in the engine room	0.086724	3	1	1	1	1	Low	
				3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	The lub.oil will spill in the engine room	0.086724	3	1	1	1	1	Low	
LO-PUMP-001 LO Pump	1 To transfer Lub.oil from leak tank	A	The pump does not able to transfer Lub.oil from leak tank (total failiure)	1	The pump fail to operate due to breakdown	There is no flow to LO sump tank	0.8027664	4	3	1	1	3	High	
				2	The pump fail to start on demand	There is no flow to LO sump tank	0.267618	4	3	1	1	3	High	
		B	The pump does not able to transfer Lub.oil from leak tank according to its specification (partial failure)	1	The pump fail due to low output	The pump perform less	0.5351484	4	2	1	1	2	Medium	
				2	The pump fail due to parameter deviation	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium	
				3	The pump fail due to spurious stop	The pump perform less	0.8027664	4	2	1	1	2	Medium	
				4	The pump fail due to structural deficiency	The pump perform less, It can severely damage the pump	1.0703844	5	2	1	1	2	High	
				5	The pump fail due to external leakage	The pump perform less, lub.oil contain contaminant	0.267618	4	2	1	1	2	Medium	
6	The pump fail due to vibration	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium					
LO-FTR-001 CJC Filter	1 To filter particles which are carried along the flow before the fuel enters the LO sump tank	A	The filter does not work properly to filter particles	1	The filter fail due to external leakage	The filter perform less, Lub.oil contain contaminant	0.083658	3	1	1	1	1	Low	
				2	The filter fail due to parameter deviation	The filter perform less	0.0209364	3	1	1	1	1	Low	
				3	The filter fail due to plugged/choked	The filter does not match the requirements	0.035478	3	1	1	1	1	Low	
				4	The filter fail due to structural deficiency	The filter perform less, It can severely damage the filter	0.027594	3	1	1	1	1	Low	
LO-TANK-005 Cylinder Oil Tank (P)	1 To store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder)	A	The tank cannot store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder) according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	No flow lub.oil to cylinder	0.086724	3	3	1	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium	
				3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium	
LO-TANK-006 Rock Arm Daily Tank	1 To store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate rocker arm)	A	The tank cannot store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate rocker arm) according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	No flow lub.oil to rock arm	0.086724	3	3	1	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to	Lub oil supply to the rock arm is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium	



FMECA - LO SYSTEM

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Project : FMECA - LO SYSTEM
 Created by : Donny Endra Prastya
 NRP : 042 117 500 10008

EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		FAILURE EFFECT		Failure Rate (per year)	PoF	CoF				RISK
		<i>(Loss of function)</i>		<i>(Cause of failure)</i>		<i>(What happens when it fails)</i>				C	S	O	FC	
						plugged/choked inlet								
					3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the rock arm is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium
LO-TANK-007 Cylinder Oil Daily Tank	1 To store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder)	A	The tank cannot store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder) according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	No flow lub.oil to cylinder	0.086724	3	3	1	2	3	Medium	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium	
				3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium	
LO-TANK-008 SCAV.AIR Drain Tank	1 To collect residu from scavenging	A	The tank cannot collect residu from scavenging according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	environmental pollution	0.086724	3	1	1	1	1	Low	
				2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	The residu will spill in the engine room	0.086724	3	1	1	1	1	Low	
				3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	The residu will spill in the engine room	0.086724	3	1	1	1	1	Low	
LO-FTR-002 LO 1st Filter	1 To filter particles which are carried along the flow before the fuel enters the Lub.oil pump	A	The filter does not work properly to filter particles	1	The filter fail due to external leakage	The filter perform less, Lub.oil contain contaminant	0.083658	3	1	1	1	1	Low	
				2	The filter fail due to parameter deviation	The filter perform less	0.0209364	3	1	1	1	1	Low	
				3	The filter fail due to plugged/choked	The filter does not match the requirements	0.035478	3	1	1	1	1	Low	
				4	The filter fail due to structural deficiency	The filter perform less, It can severely damage the filter	0.027594	3	1	1	1	1	Low	
LO-PUR-001 LO Purifier	1 To purify lub.oil from LO sump tank	A	The purifier does not work properly to purify fuel	1	The purifier fail due to external leakage	The purifier perform less, lub.oil contain contaminant	0.083658	3	2	1	2	2	Medium	
				2	The purifier fail due to parameter deviation	The purifier perform less	0.0209364	3	2	1	2	2	Medium	
				3	The purifier fail due to plugged/choked	capacity does not match the requirements	0.035478	3	2	1	2	2	Medium	
				4	The purifier fail due to structural deficiency	The purifier perform less, It can severely damage the purifier	0.027594	3	3	1	2	3	Medium	
LO-HEAT-001 Heater	1 To heat the lub.oil before entering the purifier.	A	The heater does not work properly to heat the fuel	1	The heater fail due to Internal leakage	The heater perform less, lub.oil contain contaminant	0.14892	4	2	1	1	2	Medium	
				2	Minor in-service problem	The heater perform less	0.2847876	4	2	1	1	2	Medium	
LO-HEAT-002 LO Heater	1 To heat the lub.oil before entering the purifier.	A	The heater does not work properly to heat the fuel	1	The heater fail due to Internal leakage	The heater perform less, lub.oil contain contaminant	0.14892	4	2	1	1	2	Medium	
				2	Minor in-service problem	The heater perform less	0.2847876	4	2	1	1	2	Medium	
LO-PUMP-002 LO Trans Pump	1 To transfer Lub.oil from settling tank to LO cooler	A	The pump does not able to transfer Lub.oil from settling	1	The pump fail to operate due to breakdown	There is no flow to LO cooler	0.8027664	4	3	1	1	3	High	



FMECA - LO SYSTEM

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Project	: FMECA - LO SYSTEM
Created by	: Donny Endra Prastya
NRP	: 042 117 500 10008

EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		FAILURE EFFECT		Failure Rate (per year)	PoF	CoF				RISK
		<i>(Loss of function)</i>		<i>(Cause of failure)</i>		<i>(What happens when it fails)</i>				C	S	O	FC	
		tank to LO cooler (total failure)		1										
				2	The pump fail to start on demand	There is no flow to LO cooler	0.267618	4	3	1	1	3	High	
		B	The pump does not able to transfer Lub.oil from settling tank to LO cooler according to its specification (partial failure)	1	The pump fail due to low output	The pump perform less	0.5351484	4	2	1	1	2	Medium	
				2	The pump fail due to parameter deviation	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium	
				3	The pump fail due to spurious stop	The pump perform less	0.8027664	4	2	1	1	2	Medium	
				4	The pump fail due to structural deficiency	The pump perform less, It can severely damage the pump	1.0703844	5	2	1	1	2	High	
				5	The pump fail due to external leakage	The pump perform less, lub.oil contain contaminant	0.267618	4	2	1	1	2	Medium	
6	The pump fail due to vibration	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium					
LO-TANK-009 Cylinder Oil Tank (S)	1	To store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder)	A	The tank cannot store lub.oil before transfer to main engine (to lubricate cylinder) according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	No flow lub.oil to cylinder	0.086724	3	3	1	2	3	Medium
					2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium
					3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the cylinder is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium
LO-PUMP-003 No 2 Lub Oil Pump	1	To transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine	A	The pump does not able to transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine (total failure)	1	The pump fail to operate due to breakdown	There is no flow to LO cooler and main engine	0.8027664	4	3	1	1	3	High
					2	The pump fail to start on demand	There is no flow to LO cooler and main engine	0.267618	4	3	1	1	3	High
		B	The pump does not able to transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine according to its specification (partial failure)	1	The pump fail due to low output	The pump perform less	0.5351484	4	2	1	1	2	Medium	
				2	The pump fail due to parameter deviation	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium	
				3	The pump fail due to spurious stop	The pump perform less	0.8027664	4	2	1	1	2	Medium	
				4	The pump fail due to structural deficiency	The pump perform less, It can severely damage the pump	1.0703844	5	2	1	1	2	High	
				5	The pump fail due to external leakage	The pump perform less, lub.oil contain contaminant	0.267618	4	2	1	1	2	Medium	
6	The pump fail due to vibration	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium					
LO-PUMP-004 No 1 Lub Oil Pump	1	To transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine	A	The pump does not able to transfer Lub.oil from LO sump tank to LO cooler and main engine (total failure)	1	The pump fail to operate due to breakdown	There is no flow to LO cooler and main engine	0.8027664	4	3	1	1	3	High
					2	The pump fail to start on demand	There is no flow to LO cooler and main engine	0.267618	4	3	1	1	3	High
		B	The pump does not able to transfer Lub.oil from LO sump	1	The pump fail due to low output	The pump perform less	0.5351484	4	2	1	1	2	Medium	



FMECA - LO SYSTEM

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Project : FMECA - LO SYSTEM
 Created by : Donny Endra Prastya
 NRP : 042 117 500 10008

EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE		FAILURE EFFECT		Failure Rate (per year)	PoF	CoF				RISK
		<i>(Loss of function)</i>		<i>(Cause of failure)</i>		<i>(What happens when it fails)</i>				C	S	O	FC	
				tank to LO cooler and main engine according to its specification (partial failure)	2	The pump fail due to parameter deviation	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium
					3	The pump fail due to spurious stop	The pump perform less	0.8027664	4	2	1	1	2	Medium
					4	The pump fail due to structural deficiency	The pump perform less, It can severely damage the pump	1.0703844	5	2	1	1	2	High
					5	The pump fail due to external leakage	The pump perform less, lub.oil contain contaminant	0.267618	4	2	1	1	2	Medium
					6	The pump fail due to vibration	The pump perform less	0.267618	4	2	1	1	2	Medium
LO-FTR-003 LO 2nd Filter	1	To filter particles which are carried along the flow before the fuel enters the main engine	A	The filter does not work properly to filter particles	1	The filter fail due to external leakage	The filter perform less, main engine contain contaminant	0.083658	3	1	1	1	1	Low
					2	The filter fail due to parameter deviation	The filter perform less	0.0209364	3	1	1	1	1	Low
					3	The filter fail due to plugged/choked	The filter does not match the requirements	0.035478	3	1	1	1	1	Low
					4	The filter fail due to structural deficiency	The filter perform less, It can severely damage the filter	0.027594	3	1	1	1	1	Low
LO-TANK-010 Aux Engine LO Storage Tank	1	To store Lub.oil before supply to Aux. Engine	A	The tank cannot store Lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	no flow lub.oil to Aux. engine	0.086724	3	3	1	2	3	Medium
					2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	Lub oil supply to the Aux. engine is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium
					3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the Aux. engine is not optimal	0.086724	3	2	1	2	2	Medium
LO-TANK-011 LOT	1	To store Lub.oil before supply to LO sump tank, main engine (rock arm), LO. Cooler	A	The tank cannot store Lub.oil according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	no flow lub.oil to sump tank, main engine (rock arm), LO. Cooler	0.086724	3	3	1	1	3	Medium
					2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	Lub oil supply to the sump tank, main engine (rock arm), LO. Cooler is not optimal	0.086724	3	2	1	1	2	Medium
					3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to the sump tank, main engine (rock arm), LO. Cooler is not optimal	0.086724	3	2	1	1	2	Medium
LO-TANK-012 LO Settling Tank	1	To store lub. oil purified from the purifier	A	The tank cannot store Lub.oil purified according to its capacity	1	The tank does not suit its function due to external leak/rupture	no flow lub.oil to LO transfer pump	0.086724	3	3	1	1	3	Medium
					2	The tank does not suit its function due to plugged/choked inlet	Lub oil supply to LO transfer pump is not optimal	0.086724	3	2	1	1	2	Medium
					3	The tank does not suit its function due to plugged/choked outlet	Lub oil supply to LO transfer pump is not optimal	0.086724	3	2	1	1	2	Medium
LO-COOL-001 LO Cooler	1	To ensure temperature requirement of lub.oil before enters main	A	the LO cooler does not work properly	1	The LO cooler does not suit its function due to external leak/rupture	temperature requirement of lub.oil is uncontrolled	0.0113004	3	3	1	2	3	Medium



FMECA - LO SYSTEM

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

Project	: FMECA - LO SYSTEM
Created by	: Donny Endra Prastya
NRP	: 042 117 500 10008

EQUIPMENT	FUNCTION	FUNCTIONAL FAILURE		FAILURE MODE	FAILURE EFFECT	Failure Rate (per year)	PoF	CoF				RISK
		<i>(Loss of function)</i>		<i>(Cause of failure)</i>	<i>(What happens when it fails)</i>			C	S	O	FC	
	engine			2 The LO cooler not suit its function due to plugged/choked	Lub oil supply to main engine is not optimal	0.0113004	3	1	1	1	1	Low
				3 The LO cooler not suit its function due to parameter deviation	Lub oil supply to main engine is not optimal	0.00876	2	1	1	1	1	Low
				4 The LO cooler not suit its function due to structural deficiency	temperature requirement of lub.oil is uncontrolled	0.0540492	3	2	1	2	2	Medium

Note:

C = Loss of containment

S = Safety

O = Operational

FC = Final Consequence

LAMPIRAN 2

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK (ANN)

MULTILAYER PERCEPTRON (MLP)

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Multilayer Perceptron (MLP) – Artificial Neural Networks (ANN) for Exhaust Gas Temperature Prediction

```
from numpy import array
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense
from matplotlib import pyplot
from pandas import read_csv

def split_sequence(sequence, n_steps):
    X, y = list(), list()
    for i in range(len(sequence)):
        end_ix = i + n_steps
        if end_ix > len(sequence)-1:
            break
        seq_x, seq_y = sequence[i:end_ix], sequence[end_ix]
        X.append(seq_x)
        y.append(seq_y)
    return array(X), array(y)

# define input sequence
series = read_csv('L:\S2\Kuliah\Semester 5\Data Thesis\Bismillah Progres
P3\Final_1.csv', header=0, index_col=0)
data=series.values
data_train=[]
for i in range(len(data)):
    data_train.extend(data[i])
```

```
series.plot()  
pyplot.show()
```

```
series.hist()  
pyplot.show()
```

```
#series.plot(kind='kde')  
#pyplot.show()  
# choose a number of time steps  
n_steps = 12  
# split into samples  
X, y = split_sequence(data_train, n_steps)  
for i in range(len(X)):  
    print(X[i],y[i])  
# define model  
model = Sequential()  
model.add(Dense(100, activation='relu', input_dim=n_steps))  
model.add(Dense(1))  
model.compile(optimizer='adam', loss='mse')  
model.fit(X, y, epochs=500, verbose=0)  
  
add=[]  
mlp_test=data_train[0:11];  
mlp=model.predict(X, verbose=0)  
for j in range(len(mlp)):  
    add.extend(mlp[j])
```

```

mlp_test.extend(add)
pyplot.plot(mlp_test, color='red')
pyplot.show()

pyplot.plot(data_train)
pyplot.plot(mlp_test, color='red')
pyplot.show()

# memprediksi
x_input_1=data[33:45,]
x_test_1 = x_input_1.reshape((1, n_steps))
yhat_1 = model.predict(x_test_1, verbose=0)
y_1 = yhat_1.reshape(1)

x_input_2=data[34:45,]
x_test_2 =[]
for k in range(len(x_input_2)):
    x_test_2.extend(x_input_2[k])
x_test_2.extend(y_1)
x_test_2=array(x_test_2)
x_test_2=x_test_2.reshape((1, n_steps))
yhat_2 = model.predict(x_test_2, verbose=0)
y_2 = yhat_2.reshape(1)

x_input_3=data[35:45,]
x_test_3 =[]
for l in range(len(x_input_3)):

```



```
x_test_3.extend(x_input_3[1])
x_test_3.extend(y_1)
x_test_3.extend(y_2)
x_test_3=array(x_test_3)
x_test_3=x_test_3.reshape((1, n_steps))
yhat_3 = model.predict(x_test_3, verbose=0)
y_3 = yhat_3.reshape(1)
```

```
x_input_4=data[36:45,]
x_test_4=[]
for m in range(len(x_input_4)):
    x_test_4.extend(x_input_4[m])
x_test_4.extend(y_1)
x_test_4.extend(y_2)
x_test_4.extend(y_3)
x_test_4=array(x_test_4)
x_test_4=x_test_4.reshape((1, n_steps))
yhat_4 = model.predict(x_test_4, verbose=0)
y_4 = yhat_4.reshape(1)
```

```
x_input_5=data[37:45,]
x_test_5=[]
for n in range(len(x_input_5)):
    x_test_5.extend(x_input_5[n])
x_test_5.extend(y_1)
x_test_5.extend(y_2)
x_test_5.extend(y_3)
```

```
x_test_5.extend(y_4)
x_test_5=array(x_test_5)
x_test_5=x_test_5.reshape((1, n_steps))
yhat_5 = model.predict(x_test_5, verbose=0)
y_5 = yhat_5.reshape(1)
```

```
x_input_6=data[38:45,]
x_test_6 =[]
for o in range(len(x_input_6)):
    x_test_6.extend(x_input_6[o])
x_test_6.extend(y_1)
x_test_6.extend(y_2)
x_test_6.extend(y_3)
x_test_6.extend(y_4)
x_test_6.extend(y_5)
x_test_6=array(x_test_6)
x_test_6=x_test_6.reshape((1, n_steps))
yhat_6 = model.predict(x_test_6, verbose=0)
y_6 = yhat_6.reshape(1)
```

```
x_input_7=data[39:45,]
x_test_7 =[]
for p in range(len(x_input_7)):
    x_test_7.extend(x_input_7[p])
x_test_7.extend(y_1)
x_test_7.extend(y_2)
x_test_7.extend(y_3)
```

```
x_test_7.extend(y_4)
x_test_7.extend(y_5)
x_test_7.extend(y_6)
x_test_7=array(x_test_7)
x_test_7=x_test_7.reshape((1, n_steps))
yhat_7 = model.predict(x_test_7, verbose=0)
y_7 = yhat_7.reshape(1)
```

```
x_input_8=data[40:45,]
x_test_8 =[]
for q in range(len(x_input_8)):
    x_test_8.extend(x_input_8[q])
x_test_8.extend(y_1)
x_test_8.extend(y_2)
x_test_8.extend(y_3)
x_test_8.extend(y_4)
x_test_8.extend(y_5)
x_test_8.extend(y_6)
x_test_8.extend(y_7)
x_test_8=array(x_test_8)
x_test_8=x_test_8.reshape((1, n_steps))
yhat_8 = model.predict(x_test_8, verbose=0)
y_8 = yhat_8.reshape(1)
```

```
x_input_9=data[41:45,]
x_test_9 =[]
for r in range(len(x_input_9)):
```

```
x_test_9.extend(x_input_9[r])
x_test_9.extend(y_1)
x_test_9.extend(y_2)
x_test_9.extend(y_3)
x_test_9.extend(y_4)
x_test_9.extend(y_5)
x_test_9.extend(y_6)
x_test_9.extend(y_7)
x_test_9.extend(y_8)
x_test_9=array(x_test_9)
x_test_9=x_test_9.reshape((1, n_steps))
yhat_9 = model.predict(x_test_9, verbose=0)
y_9 = yhat_9.reshape(1)
```

```
x_input_10=data[42:45,]
x_test_10 =[]
for s in range(len(x_input_10)):
    x_test_10.extend(x_input_10[s])
x_test_10.extend(y_1)
x_test_10.extend(y_2)
x_test_10.extend(y_3)
x_test_10.extend(y_4)
x_test_10.extend(y_5)
x_test_10.extend(y_6)
x_test_10.extend(y_7)
x_test_10.extend(y_8)
x_test_10.extend(y_9)
```

```
x_test_10=array(x_test_10)
x_test_10=x_test_10.reshape((1, n_steps))
yhat_10 = model.predict(x_test_10, verbose=0)
y_10 = yhat_10.reshape(1)
```

```
x_input_11=data[43:45,]
x_test_11 =[]
for t in range(len(x_input_11)):
    x_test_11.extend(x_input_11[t])
x_test_11.extend(y_1)
x_test_11.extend(y_2)
x_test_11.extend(y_3)
x_test_11.extend(y_4)
x_test_11.extend(y_5)
x_test_11.extend(y_6)
x_test_11.extend(y_7)
x_test_11.extend(y_8)
x_test_11.extend(y_9)
x_test_11.extend(y_10)
x_test_11=array(x_test_11)
x_test_11=x_test_11.reshape((1, n_steps))
yhat_11 = model.predict(x_test_11, verbose=0)
y_11 = yhat_11.reshape(1)
```

```
x_input_12=data[44:45,]
x_test_12 =[]
for u in range(len(x_input_12)):
```

```
x_test_12.extend(x_input_12[u])
x_test_12.extend(y_1)
x_test_12.extend(y_2)
x_test_12.extend(y_3)
x_test_12.extend(y_4)
x_test_12.extend(y_5)
x_test_12.extend(y_6)
x_test_12.extend(y_7)
x_test_12.extend(y_8)
x_test_12.extend(y_9)
x_test_12.extend(y_10)
x_test_12.extend(y_11)
x_test_12=array(x_test_12)
x_test_12=x_test_12.reshape((1, n_steps))
yhat_12 = model.predict(x_test_12, verbose=0)
y_12 = yhat_12.reshape(1)
```

```
x_input_13=data[45:45,]
x_test_13 =[]
for v in range(len(x_input_13)):
    x_test_13.extend(x_input_13[v])
x_test_13.extend(y_1)
x_test_13.extend(y_2)
x_test_13.extend(y_3)
x_test_13.extend(y_4)
x_test_13.extend(y_5)
x_test_13.extend(y_6)
```

```
x_test_13.extend(y_7)
x_test_13.extend(y_8)
x_test_13.extend(y_9)
x_test_13.extend(y_10)
x_test_13.extend(y_11)
x_test_13.extend(y_12)
x_test_13=array(x_test_13)
x_test_13=x_test_13.reshape((1, n_steps))
yhat_13 = model.predict(x_test_13, verbose=0)
y_13 = yhat_13.reshape(1)

prediksi=[y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_10, y_11, y_12, y_13]
mlp_test.extend(prediksi)
pyplot.plot(data_train)
pyplot.plot(mlp_test, color='red')
pyplot.show()
```

LAMPIRAN 3

DATA TIME-SERIES EXHAUST GAS TEMPERATURE

Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Data Time-Series Exhaust Gas Temperature 2016-2019 beserta Error.

Number of Cylinder :	I			II			III			IV		
	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
EGT 2016 (Feb) :	395	395	0	395	395	0	395	395	0	395	395	0
EGT 2016 (Mar) :	380	380	0	390	390	0	380	380	0	390	390	0
EGT 2016 (Apr) :	390	390	0	385	385	0	390	390	0	395	395	0
EGT 2016 (May) :	405	405	0	390	390	0	400	400	0	390	390	0
EGT 2016 (Jun) :	390	390	0	380	380	0	395	395	0	385	385	0
EGT 2016 (Jul) :	390	390	0	395	395	0	400	400	0	395	395	0
EGT 2016 (Aug) :	400	400	0	395	395	0	390	390	0	395	395	0
EGT 2016 (Sep) :	395	395	0	390	390	0	380	380	0	385	385	0
EGT 2016 (Oct) :	395	395	0	395	395	0	395	395	0	395	395	0
EGT 2016 (Nov) :	399	399	0	395	395	0	391	391	0	389	389	0
EGT 2016 (Dec) :	400	400	0	405	405	0	400	400	0	400	400	0
EGT 2017 (Jan) :	360	398.877	0.1080	350	386.654	0.1047	370	399.520	0.0798	370	390.917	0.0565
EGT 2017 (Feb) :	360	398.312	0.1064	355	375.656	0.0582	355	395.277	0.1135	355	379.803	0.0699
EGT 2017 (Mar) :	380	390.951	0.0288	366	373.966	0.0218	364	384.642	0.0567	377	378.295	0.0034
EGT 2017 (Apr) :	370	390.817	0.0563	353	371.906	0.0536	361	388.523	0.0762	371	377.009	0.0162
EGT 2017 (May) :	360	389.512	0.0820	350	362.493	0.0357	360	389.517	0.0820	365	385.019	0.0548
EGT 2017 (Jun) :	370	377.287	0.0197	351	358.787	0.0222	362	386.144	0.0667	364	375.510	0.0316
EGT 2017 (Jul) :	360	367.289	0.0202	360	352.981	0.0195	370	386.902	0.0457	380	372.852	0.0188
EGT 2017 (Aug) :	340	369.687	0.0873	330	346.382	0.0496	350	379.288	0.0837	335	369.423	0.1028
EGT 2017 (Sep) :	355	369.670	0.0413	350	348.346	0.0047	360	377.238	0.0479	365	367.901	0.0079
EGT 2017 (Okt) :	350	361.886	0.0340	342	347.984	0.0175	360	369.732	0.0270	357	369.774	0.0358
EGT 2017 (Nov) :	345	362.673	0.0512	335	348.661	0.0408	340	375.409	0.1041	330	360.592	0.0927
EGT 2017 (Dec) :	360	361.647	0.0046	345	346.198	0.0035	365	366.012	0.0028	350	357.791	0.0223

Number of Cylinder :	V			VI			VII			VIII		
	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
EGT 2016 (Feb) :	390	390	0	395	395	0	390	390	0	380	380	0
EGT 2016 (Mar) :	380	380	0	385	385	0	390	390	0	385	385	0
EGT 2016 (Apr) :	375	375	0	390	390	0	390	390	0	385	385	0
EGT 2016 (May) :	380	380	0	400	400	0	395	395	0	395	395	0
EGT 2016 (Jun) :	395	395	0	405	405	0	400	400	0	395	395	0
EGT 2016 (Jul) :	395	395	0	400	400	0	400	400	0	400	400	0
EGT 2016 (Aug) :	400	400	0	395	395	0	390	390	0	390	390	0
EGT 2016 (Sep) :	390	390	0	390	390	0	395	395	0	395	395	0
EGT 2016 (Oct) :	400	400	0	400	400	0	400	400	0	395	395	0
EGT 2016 (Nov) :	394	394	0	392	392	0	396	396	0	390	390	0
EGT 2016 (Dec) :	400	400	0	395	395	0	400	400	0	400	400	0
EGT 2017 (Jan) :	350	391.669	0.1191	355	396.649	0.1173	365	388.333	0.0639	360	401.537	0.1154
EGT 2017 (Feb) :	360	390.688	0.0852	355	393.815	0.1093	355	388.448	0.0942	360	397.777	0.1049
EGT 2017 (Mar) :	369	382.886	0.0376	376	397.912	0.0583	366	387.357	0.0584	365	394.855	0.0818
EGT 2017 (Apr) :	371	381.568	0.0285	369	391.664	0.0614	363	375.904	0.0355	366	389.677	0.0647
EGT 2017 (May) :	360	378.983	0.0527	365	386.595	0.0592	370	381.156	0.0302	370	385.914	0.0430
EGT 2017 (Jun) :	362	382.970	0.0579	371	384.536	0.0365	371	373.175	0.0059	360	378.177	0.0505
EGT 2017 (Jul) :	365	384.881	0.0545	375	368.015	0.0186	375	367.167	0.0209	350	376.513	0.0758
EGT 2017 (Aug) :	335	379.125	0.1317	340	363.441	0.0689	340	361.557	0.0634	355	375.526	0.0578
EGT 2017 (Sep) :	355	374.448	0.0548	350	369.395	0.0554	360	376.716	0.0464	365	374.510	0.0261
EGT 2017 (Okt) :	353	365.034	0.0341	348	377.740	0.0855	358	367.094	0.0254	362	375.518	0.0373
EGT 2017 (Nov) :	340	358.737	0.0551	345	369.066	0.0698	355	367.662	0.0357	350	365.548	0.0444
EGT 2017 (Dec) :	350	358.271	0.0236	360	369.901	0.0275	340	361.104	0.0621	355	368.200	0.0372

Number of Cylinder :	I			II			III			IV		
	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
EGT 2018 (Jan) :	349	354.134	0.0147	333	344.225	0.0337	354	362.793	0.0248	344	345.997	0.0058
EGT 2018 (Feb) :	365	354.615	0.0285	345	343.548	0.0042	355	372.275	0.0487	340	358.621	0.0548
EGT 2018 (Mar) :	354	355.731	0.0049	336	345.134	0.0272	355	361.004	0.0169	341	349.579	0.0252
EGT 2018 (Apr) :	354	357.403	0.0096	334	340.790	0.0203	354	365.783	0.0333	347	348.798	0.0052
EGT 2018 (May) :	350	356.444	0.0184	334	339.915	0.0177	355	363.208	0.0231	339	351.937	0.0382
EGT 2018 (Jun) :	351	360.041	0.0258	331	340.914	0.0300	354	363.190	0.0260	340	345.042	0.0148
EGT 2018 (Jul) :	380	362.201	0.0468	365	350.961	0.0385	375	363.893	0.0296	350	346.996	0.0086
EGT 2018 (Aug) :	375	363.789	0.0299	350	355.692	0.0163	365	365.996	0.0027	355	351.060	0.0111
EGT 2018 (Sep) :	380	367.088	0.0340	355	355.624	0.0018	370	371.559	0.0042	350	350.605	0.0017
EGT 2018 (Oct) :	355	363.737	0.0246	350	353.673	0.0105	355	360.726	0.0161	350	346.895	0.0089
EGT 2018 (Nov) :	350	366.152	0.0461	350	356.572	0.0188	360	368.150	0.0226	355	349.002	0.0169
EGT 2018 (Dec) :	350	368.535	0.0530	355	358.884	0.0109	375	363.264	0.0313	365	351.933	0.0358
EGT 2019 (Jan) :	350	373.301	0.0666	355	366.425	0.0322	365	370.103	0.0140	355	355.205	0.0006
EGT 2019 (Feb) :	360	371.589	0.0322	355	361.572	0.0185	365	372.969	0.0218	370	357.379	0.0341
EGT 2019 (Mar) :	350	364.498	0.0414	369	368.261	0.0020	350	366.964	0.0485	355	355.334	0.0009
EGT 2019 (Apr) :	360	359.480	0.0014	360	365.179	0.0144	365	370.191	0.0142	360	353.430	0.0182
EGT 2019 (May) :	360	355.385	0.0128	360	365.197	0.0144	370	365.821	0.0113	360	357.541	0.0068
EGT 2019 (Jun) :	361	358.035	0.0082	361	367.025	0.0167	366	376.827	0.0296	356	356.562	0.0016
EGT 2019 (Jul) :	360	359.465	0.0015	357	366.293	0.0260	363	372.575	0.0264	355	360.502	0.0155
EGT 2019 (Aug) :	350	360.682	0.0305	360	367.201	0.0200	360	371.998	0.0333	360	354.201	0.0161
EGT 2019 (Sep) :	365	362.478	0.0069	365	370.711	0.0156	360	369.204	0.0256	360	359.672	0.0009
EGT 2019 (Oct) :	370	364.350	0.0153	370	371.545	0.0042	370	367.657	0.0063	365	360.769	0.0116

Number of Cylinder :	V			VI			VII			VIII		
	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
EGT 2018 (Jan) :	342	360.458	0.0540	354	365.178	0.0316	352	357.577	0.0158	354	369.011	0.0424
EGT 2018 (Feb) :	350	361.136	0.0318	340	352.029	0.0354	350	350.561	0.0016	355	368.884	0.0391
EGT 2018 (Mar) :	352	354.713	0.0077	343	355.060	0.0352	351	358.552	0.0215	356	368.270	0.0345
EGT 2018 (Apr) :	344	357.777	0.0400	340	349.923	0.0292	348	355.652	0.0220	353	365.065	0.0342
EGT 2018 (May) :	345	355.734	0.0311	340	359.751	0.0581	350	355.778	0.0165	352	364.049	0.0342
EGT 2018 (Jun) :	340	350.811	0.0318	341	357.456	0.0483	344	351.569	0.0220	355	365.880	0.0306
EGT 2018 (Jul) :	350	353.650	0.0104	360	359.094	0.0025	350	355.503	0.0157	365	368.378	0.0093
EGT 2018 (Aug) :	355	349.997	0.0141	350	352.204	0.0063	350	353.852	0.0110	365	368.166	0.0087
EGT 2018 (Sep) :	360	351.995	0.0222	355	349.723	0.0149	350	355.099	0.0146	375	369.287	0.0152
EGT 2018 (Oct) :	345	355.273	0.0298	345	350.867	0.0170	350	354.374	0.0125	355	371.072	0.0453
EGT 2018 (Nov) :	350	357.131	0.0204	355	356.940	0.0055	345	350.922	0.0172	360	372.793	0.0355
EGT 2018 (Dec) :	360	357.009	0.0083	360	359.354	0.0018	355	356.581	0.0045	370	375.128	0.0139
EGT 2019 (Jan) :	350	355.083	0.0145	360	364.170	0.0116	350	353.808	0.0109	350	373.731	0.0678
EGT 2019 (Feb) :	355	354.284	0.0020	365	363.955	0.0029	380	366.861	0.0346	370	374.155	0.0112
EGT 2019 (Mar) :	365	355.639	0.0256	350	362.465	0.0356	365	358.264	0.0185	350	370.537	0.0587
EGT 2019 (Apr) :	360	359.228	0.0021	355	358.080	0.0087	360	364.093	0.0114	360	371.781	0.0327
EGT 2019 (May) :	365	361.889	0.0085	355	367.589	0.0355	365	368.823	0.0105	360	372.247	0.0340
EGT 2019 (Jun) :	360	363.838	0.0107	352	363.805	0.0335	360	363.839	0.0107	356	370.340	0.0403
EGT 2019 (Jul) :	360	365.696	0.0158	354	369.428	0.0436	362	371.301	0.0257	355	371.276	0.0458
EGT 2019 (Aug) :	350	360.874	0.0311	350	364.285	0.0408	365	372.960	0.0218	355	366.431	0.0322
EGT 2019 (Sep) :	360	362.015	0.0056	360	362.235	0.0062	360	362.427	0.0067	365	369.834	0.0132
EGT 2019 (Oct) :	370	361.853	0.0220	370	366.765	0.0087	370	370.470	0.0013	365	371.876	0.0188

B. Data Time-Series Exhaust Gas Temperature 40 Data Aktual di Kapal beserta Error.

Number of Cylinder :			I			II			III			IV		
No	Tanggal	Jam	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
1	06/01/2020	19:45	370	370	0.0	385	385	0	375	375	0	360	360	0
2	06/01/2020	23:45	370	370	0.0	380	380	0	365	365	0	350	350	0
3	07/01/2020	3:45	370	370	0.0	380	380	0	360	360	0	350	350	0
4	07/01/2020	7:45	370	370	0.0	380	380	0	370	370	0	350	350	0
5	07/01/2020	11:45	360	360	0.0	375	375	0	360	360	0	350	350	0
6	07/01/2020	15:45	365	365	0.0	370	370	0	360	360	0	360	360	0
7	07/01/2020	19:45	365	365	0.0	370	370	0	350	350	0	365	365	0
8	07/01/2020	23:45	370	370	0.0	375	375	0	355	355	0	365	365	0
9	08/01/2020	3:45	370	370	0.0	375	375	0	375	375	0	350	350	0
10	08/01/2020	7:45	350	365.807	0.0452	365	370.6579	0.015501	370	356.5988	0.036220	350	360.2236	0.02921
11	08/01/2020	11:45	365	362.658	0.0064	365	371.2344	0.017080	360	357.9669	0.005648	350	356.0004	0.017144
12	08/01/2020	15:45	355	363.349	0.0235	370	370.7547	0.00204	360	363.5684	0.009912	350	353.5149	0.010042
13	08/01/2020	19:45	350	362.158	0.0347	365	368.9196	0.010739	365	363.0355	0.005382	345	353.3087	0.024083
14	08/01/2020	23:45	360	360.484	0.0013	365	366.7574	0.004815	360	367.5369	0.020936	355	352.2907	0.007632
15	09/01/2020	3:45	370	364.967	0.0136	380	367.4051	0.033144	375	362.2734	0.033938	350	351.8612	0.005318
16	09/01/2020	7:45	370	363.046	0.0188	370	369.2294	0.002083	360	363.3631	0.009342	350	352.8189	0.008054
17	09/01/2020	11:45	360	361.661	0.0046	375	370.3331	0.012445	370	367.8275	0.005872	350	352.4531	0.007009
18	09/01/2020	15:45	360	357.611	0.0066	375	365.9028	0.024259	365	365.8433	0.002310	350	349.9932	1.93E-05
19	09/01/2020	19:45	350	361.289	0.0323	365	372.6236	0.020887	370	363.5707	0.017376	350	351.1321	0.003234
20	09/01/2020	23:45	370	362.495	0.0203	375	374.7885	0.000564	375	368.1846	0.018174	365	349.6881	0.041951

Number of Cylinder :			V			VI			VII			VIII		
No	Tanggal	Jam	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
1	06/01/2020	19:45	365	365	0	365	365	0	370	370	0	375	375	0
2	06/01/2020	23:45	355	355	0	350	350	0	370	370	0	360	360	0
3	07/01/2020	3:45	360	360	0	350	350	0	370	370	0	360	360	0
4	07/01/2020	7:45	360	360	0	365	365	0	360	360	0	365	365	0
5	07/01/2020	11:45	355	355	0	360	360	0	360	360	0	360	360	0
6	07/01/2020	15:45	360	360	0	365	365	0	350	350	0	375	375	0
7	07/01/2020	19:45	345	345	0	365	365	0	370	370	0	370	370	0
8	07/01/2020	23:45	350	350	0	365	365	0	375	375	0	370	370	0
9	08/01/2020	3:45	360	360	0	350	350	0	375	375	0	375	375	0
10	08/01/2020	7:45	365	357.5347	0.020453	355	362.5777	0.021346	370	370.1002	0.000271	375	370.8197	0.011148
11	08/01/2020	11:45	355	358.4713	0.009778	350	356.8682	0.019623	370	368.4009	0.004322	365	369.6603	0.012768
12	08/01/2020	15:45	350	355.8744	0.016784	350	359.9440	0.028411	360	365.5420	0.015394	365	368.1891	0.008737
13	08/01/2020	19:45	360	354.7987	0.014448	365	365.1881	0.000515	360	364.5271	0.012575	370	368.9496	0.002839
14	08/01/2020	23:45	360	356.6471	0.009314	345	356.1095	0.032202	350	366.9545	0.048441	360	366.2355	0.017321
15	09/01/2020	3:45	365	357.3331	0.021005	360	361.2565	0.003490	370	362.7744	0.019529	365	368.0053	0.008234
16	09/01/2020	7:45	365	363.4539	0.004236	365	354.9757	0.027464	375	367.0616	0.021169	365	367.1991	0.006025
17	09/01/2020	11:45	350	362.4008	0.035431	365	355.0037	0.027387	360	364.5821	0.012728	370	364.3384	0.015302
18	09/01/2020	15:45	350	356.7529	0.019294	340	357.7629	0.052244	365	368.5394	0.009697	370	369.8355	0.000445
19	09/01/2020	19:45	350	352.4944	0.007127	345	355.6581	0.030893	365	365.6628	0.001816	365	367.017	0.005526
20	09/01/2020	23:45	365	359.0175	0.016390	365	351.1207	0.038025	370	361.8608	0.021998	370	365.8108	0.011322

Number of Cylinder :			I			II			III			IV		
No	Tanggal	Jam	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
21	10/01/2020	3:45	375	368.018	0.0186	370	367.8941	0.005692	370	366.8864	0.008415	355	350.5991	0.012397
22	10/01/2020	7:45	350	368.350	0.0524	375	375.2959	0.000789	365	368.4603	0.00948	350	354.5055	0.012873
23	10/01/2020	11:45	350	358.321	0.0238	365	371.4983	0.017804	365	373.4138	0.023052	360	355.6805	0.011999
24	10/01/2020	15:45	370	360.568	0.0255	375	369.9255	0.013532	375	368.0657	0.018492	360	352.5221	0.020772
25	10/01/2020	19:45	350	360.843	0.0310	360	370.9471	0.030409	360	372.6574	0.035159	340	355.6532	0.046039
26	10/01/2020	23:45	350	359.714	0.0278	350	367.8145	0.050898	365	368.2762	0.008976	360	356.3658	0.010095
27	11/01/2020	3:45	380	361.588	0.0485	355	364.1262	0.025707	365	369.6566	0.012758	360	351.7231	0.022991
28	11/01/2020	7:45	365	367.941	0.0081	365	365.2425	0.000664	360	368.9013	0.024726	345	354.3603	0.027131
29	11/01/2020	11:45	370	362.170	0.0212	375	363.6406	0.030292	375	367.1541	0.020922	340	356.6586	0.048996
30	11/01/2020	15:45	360	358.485	0.0042	360	357.7051	0.006375	365	363.3910	0.004408	340	351.8847	0.034955
31	11/01/2020	19:45	350	362.891	0.0368	355	359.1956	0.011819	370	365.4355	0.012337	365	350.8418	0.03879
32	11/01/2020	23:45	355	361.141	0.0173	350	362.3521	0.035292	370	369.2558	0.002011	340	344.5354	0.013339
33	12/01/2020	3:45	365	364.280	0.0020	350	358.4999	0.024285	365	364.2273	0.002117	350	353.4101	0.009743
34	12/01/2020	7:45	370	367.614	0.0064	375	359.1874	0.042167	375	371.0876	0.010433	365	348.1137	0.046264
35	12/01/2020	11:45	360	368.113	0.0225	360	355.8905	0.011415	360	368.7788	0.024385	350	348.5791	0.00406
36	12/01/2020	15:45	365	358.8503	0.0168	360	362.4418	0.006783	360	368.9277	0.024799	355	356.4198	0.003999
37	12/01/2020	19:45	370	362.5473	0.0201	365	358.3657	0.018176	360	373.2585	0.036829	365	349.2512	0.043147
38	12/01/2020	23:45	370	364.9899	0.0135	375	360.8502	0.037733	380	364.8243	0.039936	355	354.3173	0.001923
39	13/01/2020	3:45	375	367.8243	0.0191	370	364.3214	0.015348	370	367.2097	0.007541	355	355.6126	0.001725
40	13/01/2020	7:45	380	373.8222	0.0163	370	361.2998	0.023514	365	364.0435	0.00262	360	356.1675	0.010646

Number of Cylinder :			V			VI			VII			VIII		
No	Tanggal	Jam	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)	REAL	MLP	Error (%)
21	10/01/2020	3:45	360	361.1760	0.00326	355	355.4099	0.00115	370	366.0445	0.01069	375	369.0706	0.01581
22	10/01/2020	7:45	365	362.3025	0.00739	360	368.2094	0.02280	365	369.7924	0.01313	375	372.0180	0.00795
23	10/01/2020	11:45	365	360.4886	0.01236	345	351.5981	0.01912	355	362.878	0.02219	365	369.7561	0.01303
24	10/01/2020	15:45	365	360.2221	0.01309	350	350.4745	0.00135	375	366.0188	0.02395	365	366.3855	0.00379
25	10/01/2020	19:45	350	354.9216	0.01406	360	356.5779	0.00950	365	367.576	0.00705	370	367.7418	0.00610
26	10/01/2020	23:45	355	360.1259	0.01443	365	358.3436	0.01823	370	364.6703	0.01440	375	371.5971	0.00907
27	11/01/2020	3:45	350	358.7316	0.02494	355	356.2268	0.00345	375	372.3648	0.00702	370	373.3306	0.00900
28	11/01/2020	7:45	350	361.1597	0.03188	350	353.9079	0.01116	370	367.0481	0.00797	370	368.6269	0.00371
29	11/01/2020	11:45	365	357.393	0.02084	360	353.794	0.01723	365	366.6668	0.00456	370	368.1831	0.00491
30	11/01/2020	15:45	360	360.4515	0.00125	360	353.5562	0.01789	365	370.0776	0.01391	360	367.1522	0.01986
31	11/01/2020	19:45	365	359.8438	0.01412	365	362.4871	0.00688	365	368.6253	0.00993	360	367.2600	0.02016
32	11/01/2020	23:45	365	357.5780	0.02033	365	358.0579	0.01901	365	363.6736	0.00363	365	366.5797	0.00432
33	12/01/2020	3:45	340	353.7371	0.04040	370	355.8138	0.03834	375	371.4029	0.00959	365	365.0788	0.00021
34	12/01/2020	7:45	365	358.6393	0.01742	365	358.8089	0.01696	375	369.7443	0.01401	370	367.2909	0.00732
35	12/01/2020	11:45	360	356.9719	0.00841	375	363.3832	0.03097	365	367.8591	0.00783	365	366.9434	0.00532
36	12/01/2020	15:45	360	364.4963	0.01249	360	360.3987	0.00110	370	370.9777	0.00264	375	365.1088	0.02637
37	12/01/2020	19:45	365	362.7345	0.00620	360	363.4017	0.00944	375	370.4644	0.01209	375	370.8929	0.01095
38	12/01/2020	23:45	365	362.7340	0.00620	360	364.774	0.01326	370	367.4021	0.00702	370	369.6456	0.00095
39	13/01/2020	3:45	360	361.3207	0.00366	350	362.7467	0.03641	365	370.6299	0.01542	375	371.0449	0.01054
40	13/01/2020	7:45	370	360.8727	0.02466	365	369.8866	0.01338	375	373.1945	0.00481	370	369.9013	0.00026

LAMPIRAN 4

TAMPILAN SOFTWARE ANACONDA DAN GRAFIK PERAMALAN

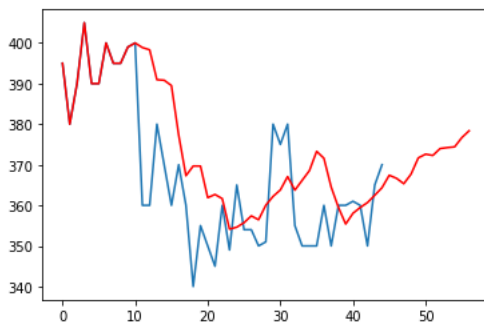
Halaman ini sengaja dikosongkan

A. Tampilan Software ANACONDA dengan bahasa pemrograman Python

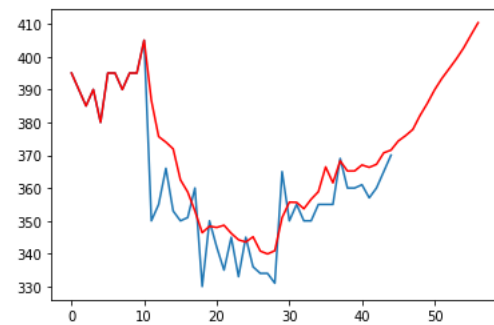
The screenshot displays the Anaconda Spyder Python IDE interface. The main editor window contains Python code for data processing and visualization. The code includes steps for extending data, reshaping it into a 1D array, training an MLP model, and plotting the results. The Variable explorer on the right shows the data structure, including a list of values for 'data_train'. The Python console at the bottom displays a line graph with two data series: a blue line representing the actual data and a red line representing the predicted values. The x-axis ranges from 0 to 50, and the y-axis ranges from 330 to 400.

```
221 x_test_12.extend(y_6)
222 x_test_12.extend(y_7)
223 x_test_12.extend(y_8)
224 x_test_12.extend(y_9)
225 x_test_12.extend(y_10)
226 x_test_12.extend(y_11)
227 x_test_12=array(x_test_12)
228 x_test_12=x_test_12.reshape((1, n_steps))
229 yhat_12 = model.predict(x_test_12, verbose=0)
230 y_12 = yhat_12.reshape(1)
231
232 x_input_13=data[45:45,]
233 x_test_13 =[]
234 for v in range(len(x_input_13)):
235     x_test_13.extend(x_input_13[v])
236 x_test_13.extend(y_1)
237 x_test_13.extend(y_2)
238 x_test_13.extend(y_3)
239 x_test_13.extend(y_4)
240 x_test_13.extend(y_5)
241 x_test_13.extend(y_6)
242 x_test_13.extend(y_7)
243 x_test_13.extend(y_8)
244 x_test_13.extend(y_9)
245 x_test_13.extend(y_10)
246 x_test_13.extend(y_11)
247 x_test_13.extend(y_12)
248 x_test_13=array(x_test_13)
249 x_test_13=x_test_13.reshape((1, n_steps))
250 yhat_13 = model.predict(x_test_13, verbose=0)
251 y_13 = yhat_13.reshape(1)
252
253 prediksi=[y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8, y_9, y_10, y_11, y_12, y_13]
254 mlp_test.extend(prediksi)
255 pyplot.plot(data_train)
256 pyplot.plot(mlp_test, color='red')
257 pyplot.show()
```

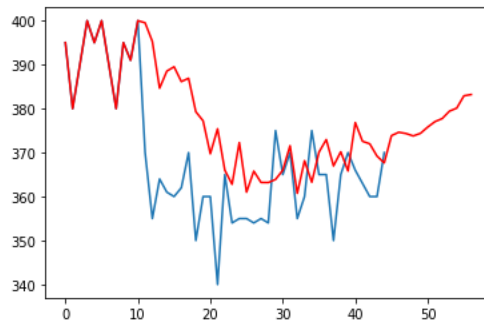
B. Hasil Grafik Peramalan Setiap Silinder untuk Tahun 2020 (12 Bulan)



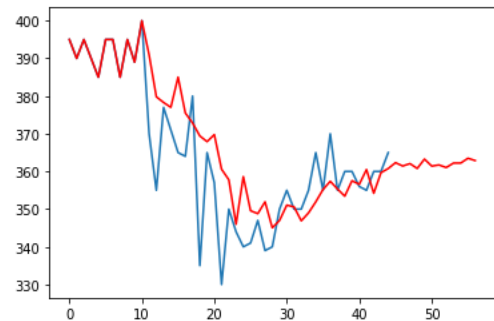
Gambar 1. Silinder 1



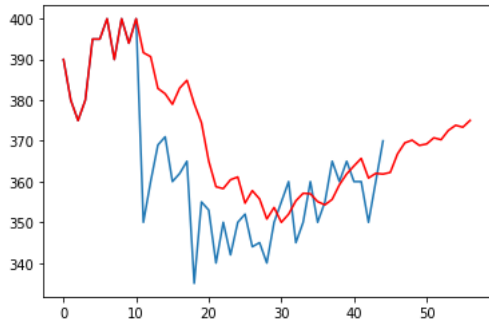
Gambar 2. Silinder 2



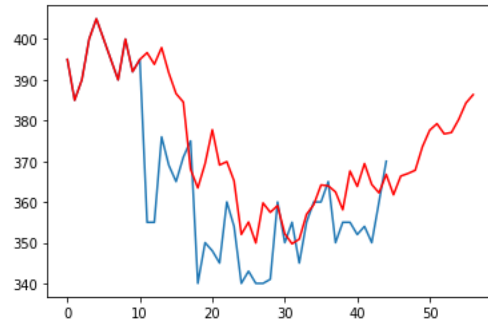
Gambar 3. Silinder 3



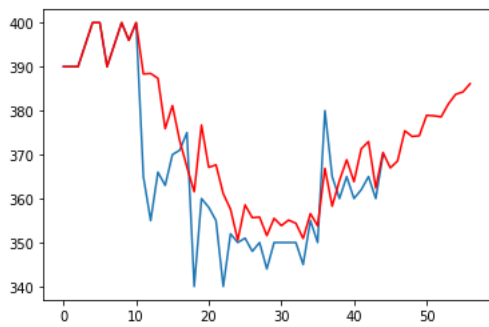
Gambar 4. Silinder 4



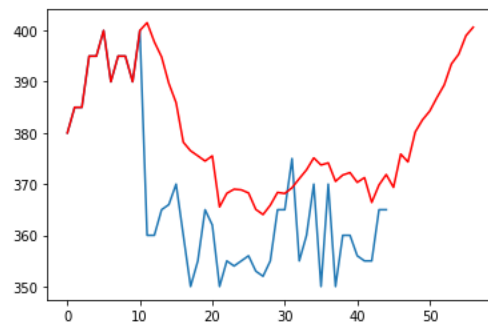
Gambar 5. Silinder 5



Gambar 6. Silinder 6

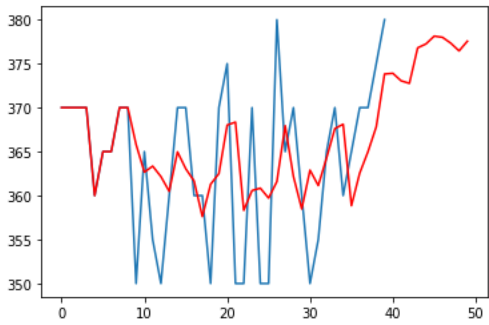


Gambar 7. Silinder 7

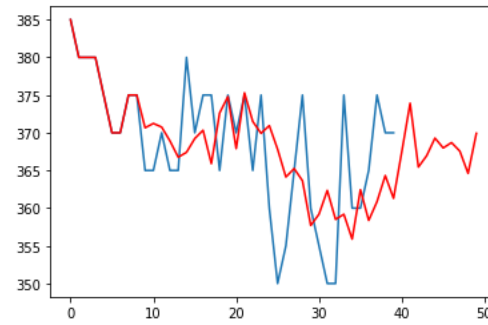


Gambar 8. Silinder 8

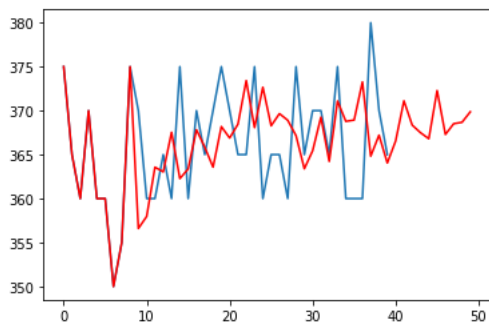
C. Hasil Grafik Peramalan Setiap Silinder untuk 40 Data Aktual di Kapal



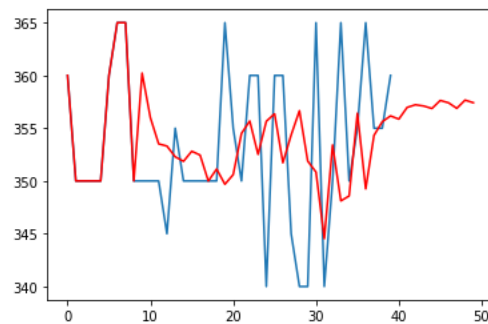
Gambar 1. Silinder 1



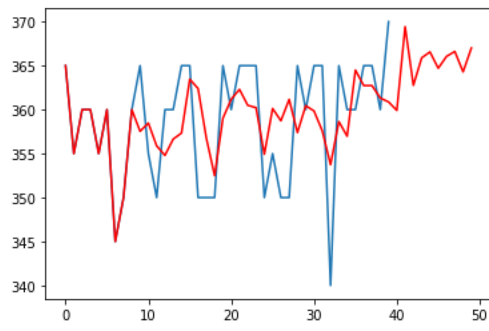
Gambar 2. Silinder 2



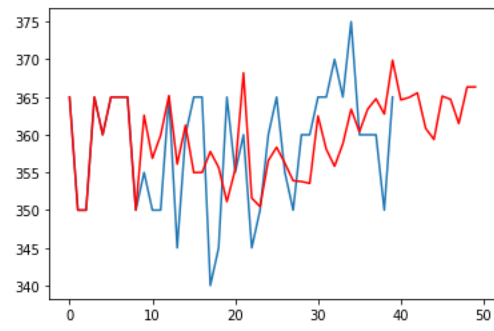
Gambar 3. Silinder 3



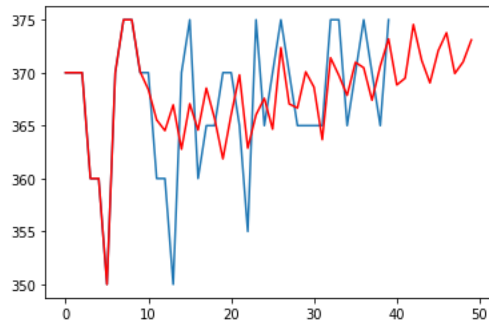
Gambar 4. Silinder 4



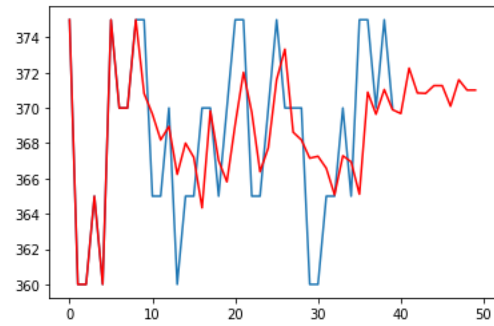
Gambar 5. Silinder 5



Gambar 6. Silinder 6



Gambar 7. Silinder 7



Gambar 8. Silinder 8

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIOGRAFI PENULIS



Donny Endra Prastya merupakan anak pertama dari dua bersaudara dari ayah bernama Sholehan dan ibu Siti Shofiyah. Penulis lahir di Bojonegoro, Jawa Timur pada tanggal 09 Mei 1994 namun besar serta menghabiskan sebagian besar Pendidikan formal di Surabaya. Penulis menempuh pendidikan formal di SDN Klampis Ngasem I No. 246 Surabaya, SMP Negeri 6 Surabaya, dan SMA Muhammadiyah 2 Surabaya. Selepas lulus dari SMA pada tahun 2012 penulis melanjutkan pendidikan di program Strata 1 (S1) Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan konsentrasi dibidang *Marine Electrical and Automation System* dan mendapat kelulusan tahun 2016. Penulis sempat bekerja di PT. Tiara Vibrasindo Pratama dan bertugas untuk melaksanakan *condition monitoring* pada site Exxon Mobil Cepu Limited sebelum memutuskan untuk melanjutkan pendidikan Magister Teknik (MT) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan. Selama menempuh pendidikan magister dan berdasarkan pengalaman kerja yang didapat, penulis memilih melanjutkan penelitian dibidang *condition monitoring* yang tergabung dalam *Marine Operation and Maintenance (MOM) Laboratory* untuk lebih memperdalam ilmu *condition monitoring* agar dapat diaplikasikan untuk dunia perkapalan khususnya. Selama menjalani studi magister, penulis berkesempatan untuk terlibat pada beberapa studi dan project. Penulis banyak mengucap syukur kepada Allah SWT dapat menyelesaikan studinya tepat pada waktunya dengan semangat pantang menyerah dan kerja keras selama menempuh pendidikan di ITS. Banyak suka maupun duka yang penulis alami selama menempuh pendidikan di ITS, semoga bias dijadikan pelajaran dan pengalaman hidup ke arah yang lebih baik lagi.

Donny Endra Prastya
Marine Engineering Department
donnyendraprastya@gmail.com / donny.endra12@mhs.ne.its.ac.id