

TUGAS AKHIR - ME184834

**PERANCANGAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN
UNTUK KEBUTUHAN *MAINTENANCE* DAN KONDISI
PELUMAS PADA KAPAL MENGGUNAKAN *FUZZY
LOGIC***

ALDIKA ZIHATUL MUTMAINAH

NRP. 04211840000005

Dosen Pembimbing

JUNIARKO PRANANDA, S.T.,M.T

NIP. 199006052015041001

IR. HARI PRASTOWO, M.SC

NIP. 196510301991021001

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



TUGAS AKHIR - ME184834

**PERANCANGAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN
UNTUK KEBUTUHAN *MAINTENANCE* DAN KONDISI
PELUMAS PADA KAPAL MENGGUNAKAN *FUZZY
LOGIC***

ALDIKA ZIHATUL MUTMAINAH

NRP. 042118400000005

Dosen Pembimbing

JUNIARKO PRANANDA, S.T., M.T

NIP. 199006052015041001

IR. HARI PRASTOWO, M.SC

NIP. 19651030991021001

Program Studi S-1 Reguler

Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - ME184834

**PROGRAM OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR
MAINTENANCE AND LUBE OIL CONDITIONS ON SHIP
USING FUZZY LOGIC METHOD**

ALDIKA ZIHATUL MUTMAINAH

NRP 0421184000005

Advisors

JUNIARKO PRANANDA, S.T., M.T.

NIP. 199006052015041001

IR. HARI PRASTOWO, M.SC.

NIP. 19651030991021001

Study Program S-1 Regular

Department of Marine Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

PERANCANGAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK KEBUTUHAN MAINTENANCE DAN KONDISI PELUMAS PADA KAPAL MENGGUNAKAN *FUZZY* *LOGIC*

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-I Reguler
Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **Aldika Zihatul Mutmainah**
NRP. 04211840000005

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Juniarko Prananda, S.T, M.T.

Pembimbing

2. Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

Ko-Pembimbing

2. Adi Kurniawan, ST., MT.

Penguji

3. Dr. Eddy Setyo Koenhardono, S.T., M.Sc.

Penguji

4. Ir. Sardono Sarwito, M.Sc.

Penguji

SURABAYA

JULI, 2022

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

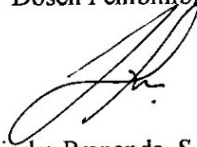
Nama mahasiswa / NRP : Aldika Zihatul Mutmainah / 04211840000005
Program studi : Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS
Dosen Pembimbing / NIP : Juniarko Prananda, S.T., M.T. /199006052015041001
Ir. Hari Prastowo, M.Sc. /19651030991021001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “PERANCANGAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK *MAINTENANCE* DAN KONDISI PELUMAS PADA KAPAL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

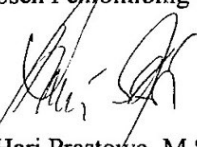
Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 18 Juli 2022


Mengetahui,
Dosen Pembimbing I


Juniarko Prananda, S.T., M.T.
NIP. 199006052015041001

Mengetahui,
Dosen Pembimbing II


Ir. Hari Prastowo, M.Sc.
NIP. 19651030991021001

Mahasiswa


Aldika Zihatul Mutmainah
NRP. 04211840000005

ABSTRAK

PERANCANGAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK *MAINTENANCE* DAN KONDISI PELUMAS PADA KAPAL MENGGUNAKAN *FUZZY LOGIC*

Nama Mahasiswa / NRP : Aldika Zihatul Mutmainah / 0421184000005
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS
Dosen Pembimbing : Juniarko Prananda, S.T., M.T.
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

Abstrak

Pelumas memiliki fungsi utama sebagai bantalan dan pendingin pada mesin utama. Dalam melakukan fungsinya dengan waktu pengoperasian dan beban mesin yang variatif menyebabkan degradasi pada *properties* beberapa karakteristik pelumas yang digunakan sebagai variabel seperti viskositas, *flash-point*, *base number* juga menghasilkan kontaminasi berupa kontaminan air dan sedimen (yang berasal dari logam aditif, kontaminan eksternal serta komponen logam) yang akan dikorelasikan dengan beban serta waktu pengoperasian mesin. Maka dari hal tersebut perlunya *maintenance* dengan pengambilan keputusan yang sesuai dengan masalah yang terjadi pada mesin utama melalui kandungan *properties* pada pelumas sehingga dapat menjaga kondisi dari mesin utama. Dari variabel tersebut disusun membentuk *membership function* dengan batasan rentang yang akan disesuaikan dengan regulasi seperti ASTM D5185-18, ISO:3104, ISO:2791 dan ISO:3771 mengenai *properties* pada pelumas yang akan di susun menjadi suatu kondisi yang menghasilkan rekomendasi terkait kondisi dari pelumas maupun mesin utama. Metode yang akan digunakan dari pengolahan data hingga menghasilkan rekomendasi didasari dari *Fuzzy Logic* yang akan dikomputasikan melalui aplikasi MATLAB. Hasil dari komputasi tersebut akan berupa kondisi dari setiap variabel beserta rekomendasi mengenai *maintenance* yang akan dilakukan pada pelumas maupun mesin utama. Dari hal tersebut akan disajikan secara sederhana melalui GUI sehingga dapat lebih mudah dioperasikan untuk mengamati kondisi pelumas dan mesin utama.

Kata kunci: *Pelumas, Properties, Mesin Utama, Fuzzy Logic, Maintenance.*

ABSTRACT

PROGRAM OF DECISION SUPPORT SYSTEM FOR MAINTENANCE AND LUBE OIL CONDITIONS ON SHIP USING FUZZY LOGIC METHOD

Student Name / NRP : Aldika Zihatul Mutmainah / 0421184000005
Department : Marine Engineering MARTECH - ITS
Advisor : Juniarko Prananda, S.T., M.T.
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

Abstract

Lubricants have the primary function of *bearing* and coolant in the main engine. In carrying out its functions with varying operating times and engine loads, it causes degradation of the properties of several characteristics of the lubricants used as *variables* such as viscosity, flashpoint, base number, which also results in contamination in the form of water and sediment contaminants (derived from metal additives, external contaminants, and components). metal) which will be correlated with the load and operating time of the machine. Therefore, it is necessary for maintenance by making decisions that are by the problems that occur in the main engine through the properties of the lubricant so that it can maintain the condition of the main engine. From these *variables*, they are arranged to form a membership function with a range limit that will be adjusted according to regulations such as ASTM D5185-18, ISO: 3104, ISO: 2791, and ISO: 3771 regarding the properties of the lubricant, which will be arranged into a condition that produces recommendations regarding the condition of the lubricant. As well as the main engine. The method used for data processing to produce recommendations is based on Fuzzy Logic, computed through the MATLAB application. The results of the computation will be in the form of the condition of each *variable*, along with recommendations regarding the maintenance that will be carried out on the lubricant and the main engine. From this, it will be presented simply through the GUI so that it can be more easily operated to observe the condition of the lubricant and the main engine.

Keywords: *Lubricant, Properties, Main Engine, Fuzzy Logic, Maintenance.*

KATA PENGATAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan berkat dan anugerah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“PERANCANGAN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN UNTUK KEBUTUHAN MAINTENANCE DAN KONDISI PELUMAS PADA KAPAL MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC”** dengan baik.

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir dan keberhasilan menempuh program studi sarjana, tentu tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan rasa apresiasi kepada pihak-pihak di bawah ini:

1. Aldika Zihatul Mutmainah, karena telah berhasil menyelesaikan keseluruhan Tugas Akhir dan program studi ini walaupun dengan berbagai macam rintangan dengan tingkat kesulitan yang berbeda-beda, *you did it well love!*
2. Orang tua penulis, Mahmud Abdullah Aks., M.Si. dan Dr. Maemunah S.Pd., M.H serta kedua saudari Fitriyani Aditya Mantika dan Zaskia Muazatun Mahmud juga Ponyo si Kucing yang selalu ada di setiap kondisi untuk memberikan *support* moral dan segala kebutuhan selama ini, kalau katanya John Mayer – *you're gonna live forever in me!*
3. Bapak Juniarko Prananda, S.T., M.T dan Bapak Ir. Hari Prastowo, M.Sc. selaku Dosen pembimbing I dan II yang selalu sabar membimbing, mengajarkan ilmu, sehingga penulis bisa menyelesaikan tugas akhir penulis dengan lancar dan benar.
4. Bapak Ir. Agoes Ahmad Masroeri, M. Eng, D. Eng, selaku Dosen Wali penulis yang telah memberikan bantuan serta masukan selama penulis menempuh program studi.
5. Seluruh dosen, tenaga didik dan staff dari Departemen Teknik Sistem Perkapalan yang telah memberikan ilmu dan juga bantuan selama penulis menjalani program studi hingga berjalan dengan lancar.
6. Funtastic Four, gasgas, INTEAM, hemmm, Tulus, iKON dan iKONIC telah memberikan semangat, bantuan dan hiburan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dan program studi ini dengan lebih banyak tersenyum.
7. CAKRAWALA P-58, Departemen Hubungan Dalam HIMASISKAL, Anggota HIMASISKAL dan khususnya teman-teman di Lab MEAS, DMOM dan MPP yang telah memberikan semangat dan kerja sama yang luar biasa serta menjadi tempat berkembang untuk penulis selama program studi sampai menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Kepada seluruh bantuan yang penulis tidak bisa sebutkan yang telah membantu dalam tugas akhir dan program studi, penulis ucapkan terimakasih banyak.

Penulis menyadari bahwa penelitian yang dilakukan dalam tugas akhir ini jauh dari sebuah kesempurnaan, oleh karenanya kritik dan saran sangat terbuka untuk menjadikan karya yang lebih baik dan memberikan kebermanfaatn. Penulis berharap bahwa karya tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan bagi seluruh pembaca di kemudian hari.

Surabaya, 3 Juli 2022

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Pernyataan Masalah	1
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pendahuluan.....	3
2.2 Studi Terkait.....	3
2.3 Sistem Pelumas	4
2.3.1 Prinsip Kerja Pelumas pada Mesin Utama.....	5
2.3.2 Karakteristik Parameter Pelumas.....	6
2.4 Penggantian Pelumas pada Kapal	10
2.5 Fuzzy Logic.....	11
2.5.1 <i>Fuzzy Inference System (FIS)</i>	13
2.5.2 <i>Fuzzy Logic Toolbox dan Simulink MATLAB</i>	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Pendahuluan.....	19
3.2 Diagram Alir Penelitian	20
3.3 Perumusan Masalah	20
3.4 Studi Literatur	21
3.5 Penentuan Batas Data Parameter	21
3.6 Perancangan Sistem <i>Fuzzy</i> Menggunakan Fuzzy Logic	21
3.6.1 <i>Fuzzy Inference System Editor (FIS Editor)</i>	22
3.6.2 <i>Membership Function Editor</i>	22
3.6.3 <i>Rule Editor</i>	22
3.7 Pengujian Sistem <i>Fuzzy</i> pada Fuzzy Logic	22
3.8 Validasi Sistem <i>Fuzzy</i> Berjalan.....	23
3.9 Analisis Sistem <i>Fuzzy</i> Menghasilkan Kondisi Pelumas dan Mesin.....	24
3.10 Kesimpulan dan Saran	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Pendahuluan.....	25
4.2 Penentuan <i>Limit Properties</i> pada Pelumas.....	25
4.2.1 Viskositas.....	27
4.2.2 <i>Flashpoint</i>	28
4.2.3 <i>Base Number</i>	28
4.2.4 Kontaminasi.....	29
4.3 Perencanaan dan Penerapan Sistem <i>Fuzzy Logic</i>	30

4.3.1	<i>Input Fuzzy Membership Function</i>	30
4.3.2	<i>Membership Function Editor</i>	32
4.3.3	<i>Rule Editor</i>	44
4.3.4	Pemetaan <i>Membership Function</i> pada Sistem <i>Fuzzy</i>	49
4.4	Validasi Sistem <i>Fuzzy Logic</i>	51
4.5	GUI (Graphical User Interface)	54
BAB 5	KESIMPULAN	56
5.1	Gambaran Umum Penelitian	56
5.2	Kesimpulan	56
5.3	Saran	57
DAFTAR	PUSTAKA	58
LAMPIRAN	60
BIODATA	PENULIS	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Terkait.....	3
Tabel 4.1 Limit Properties pada Pelumas.....	26
Tabel 4.2 <i>Properties Oil Pertamina Meditran SAE40</i>	27
Tabel 4.3 <i>Limit Contaminant</i> ASTM D5185.....	30
Tabel 4.4 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Aditif Logam.....	34
Tabel 4.5 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Kontaminasi Luar.....	36
Tabel 4.6 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Komponen Logam.....	38
Tabel 4.7 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Viskositas, FP, TBN dan Kontaminasi Air	42
Tabel 4.8 Rentang Fungsi Keanggotaan untuk <i>Main Engine Condition</i>	43
Tabel 4.9 <i>Rule Base Linguistic L/O Condition (Aditif Logam)</i>	44
Tabel 4.10 <i>Rule Base Linguistic M/E Condition (Aditif Logam)</i>	45
Tabel 4.11 <i>Rule Base Linguistic L/O Condition (Kontaminasi Luar)</i>	45
Tabel 4.12 <i>Rules Base Linguistic M/E Condition (Kontaminasi Luar)</i>	46
Tabel 4.13 <i>Rules Base Linguistic L/O Condition (Komponen Logam)</i>	47
Tabel 4.14 <i>Rules Base Linguistic M/E Condition (Komponen Logam)</i>	47
Tabel 4.15 <i>Rules Base Linguistic L/O Condition (Fuzzy 4)</i>	48
Tabel 4.16 <i>Rules Base Linguistic M/E Condition (Fuzzy 4)</i>	48
Tabel 4.17 <i>Rule Base Linguistic M/E Condition</i>	49
Tabel 4.18 <i>Value</i> untuk Simulasi	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Monitoring <i>M/E</i> melalui Sistem Pelumas.....	4
Gambar 2.2 Contoh Viskositas Pelumas (SAE).....	5
Gambar 2.3 Sistem Tempat Pelumas Kering	5
Gambar 2.4 Sistem Tempat Pelumas Basah.....	6
Gambar 2.5 Sistem Pelumasan pada Mesin Diesel	6
Gambar 2.6 Perbandingan aliran Viskostas dan Non-viskositas.....	7
Gambar 2.7 Percampuran Pelumas dan Air dengan beberapa tingkat	8
Gambar 2.8 Grafik Perbedaan Logika <i>Fuzzy</i> dengan Logika Digital (<i>Boolean</i>).....	12
Gambar 2.9 Logika <i>Fuzzy</i> sebagai <i>tools</i> pada aplikasi MATLAB	12
Gambar 2.10 Struktur Sistem Inferensi <i>Fuzzy</i>	13
Gambar 2.11 Grafik Fungsi Keanggotaan Segitiga dan Trapesium.....	13
Gambar 2.12 Komposisi aturan <i>Fuzzy</i> , Metode MAX	16
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Perencanaan Sistem <i>Fuzzy</i>	21
Gambar 3.3 Rangkaian Simulink	23
Gambar 4.1 Penipisan <i>Base Number</i> terhadap <i>Operation hours</i>	29
Gambar 4.2 FIS pada Aditif Logam.....	31
Gambar 4.3 FIS pada Kontaminasi Luar.....	31
Gambar 4.4 FIS pada Komponen Logam.....	31
Gambar 4.5 FIS pada Viskositas, <i>Flash Point</i> , <i>Base Number</i> dan Kontaminasi Air	32
Gambar 4.6 FIS pada <i>Main Engine Condition</i>	32
Gambar 4.7 <i>Membership Function Magnesium (Input)</i>	33
Gambar 4.8 <i>Membership Function Logam Aditif (Output)</i>	33
Gambar 4.9 <i>Membership Engine Condition Magnesium (Output)</i>	33
Gambar 4.10 <i>Membership Engine Condition Calcium (Output)</i>	34
Gambar 4.11 <i>Membership Engine Condition Zinc (Output)</i>	34
Gambar 4.12 <i>Membership Function Sodium (Input)</i>	35
Gambar 4.13 <i>Membership Function Kontaminan Luar (Output)</i>	35
Gambar 4.14 <i>Membership Engine Condition Sodium (Output)</i>	35
Gambar 4.15 <i>Membership Engine Condition Silicon (Output)</i>	36
Gambar 4.16 <i>Membership Engine Condition Sulfur (Output)</i>	36
Gambar 4.17 <i>Membership Function Aluminium (Input)</i>	37
Gambar 4.18 <i>Membership Function Komponen Logam (Output)</i>	37
Gambar 4.19 <i>Membership Function Iron (Output)</i>	37
Gambar 4.20 <i>Membership Function Cooper (Output)</i>	38
Gambar 4.21 <i>Membership Function Aluminium (Output)</i>	38
Gambar 4.22 <i>Membership Function Nickel (Output)</i>	38
Gambar 4.23 <i>Membership Function Tin (Output)</i>	38
Gambar 4.24 <i>Membership Function Water Contaminant (Input)</i>	40
Gambar 4.25 <i>Membership Function Flash Point (Input)</i>	40
Gambar 4.26 <i>Membership Function Viskositas, Flash Point, Base Number dan Water Contaminant (Output)</i>	40
Gambar 4.27 <i>Membership Function Viskositas (Output)</i>	41
Gambar 4.28 <i>Membership Function Flash Point (Output)</i>	41
Gambar 4.29 <i>Membership Function Base Number (Output)</i>	41
Gambar 4.30 <i>Membership Function Water Contaminant (Output)</i>	41
Gambar 4.31 <i>Membership Functions RPM (Input)</i>	43

Gambar 4.32 <i>Membership Function Running Hours (Input)</i>	43
Gambar 4.33 <i>Membership Functions Main Engine Condition (Output)</i>	44
Gambar 4.34 <i>Surface View</i> untuk himpunan <i>fuzzy</i> Kontaminan Luar (Si vs Na)	49
Gambar 4.35 <i>Surface View</i> untuk himpunan <i>fuzzy</i> Logam Aditif (Ca vs Mg).....	50
Gambar 4.36 <i>Surface View</i> untuk himpunan <i>fuzzy</i> mengenai Viskositas, <i>Flash Point</i> , <i>Base Number</i> dan <i>Water Contaminant</i>	50
Gambar 4.37 <i>Surface View</i> untuk himpunan <i>fuzzy</i> mengenai Kontaminasi Air dengan Viskositas.....	51
Gambar 4.38 <i>Surface View</i> untuk keluaran pada <i>M/E Condition</i> (Si vs Na)	51
Gambar 4.39 <i>Running Simulink</i>	53
Gambar 4.40 <i>Display Seluruh FIS</i>	54
Gambar 4.41 <i>Graphical User Interface</i>	55

DAFTAR SINGKATAN

M/E	: <i>Main Engine</i>
SAE	: <i>Society of Automotive</i>
TBN	: <i>Total Base Number</i>
TAN	: <i>Total Acid Number</i>
FIS	: <i>Fuzzy Inference System</i>
GUI	: <i>Graphical User Interface</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Kapal merupakan kendaraan pengangkut penumpang dan barang yang bergerak di laut maupun sungai. Dalam melakukan pengoperasiannya kapal memiliki berbagai macam sistem yang dapat menunjang *Main Engine* (M/E) untuk dapat beroperasi sehingga dapat menggerakkan kapal seperti, *Fuel Oil System*, *Lubricant Oil System*, *Cooling System*, dan sebagainya. Maka, dari kompleksnya suatu sistem yang terdapat pada M/E dibutuhkan *maintenance* atau perawatan secara berkala untuk menjaga suatu sistem tersebut agar tidak mudah rusak.

Dalam menghasilkan daya untuk menggerakkan kapal, M/E akan melakukan kompresi pada ruang bakarnya, dimana pada proses tersebut terjadinya gesekan antar komponen yang dapat menyebabkan keausan, terutama pada piston dan *cylinder liner*, sehingga dibutuhkan pelumas pada komponen. Selain terjadinya keausan pada komponen, pelumas juga dapat terkontaminasi hasil pembakaran sehingga kualitas pada karakteristik pelumas perlu diperhatikan sesuai dengan kebutuhan M/E (Nugroho & Sunarno, 2017).

Seiring dengan waktu pengoperasiannya lama kelamaan kondisi minyak pelumas semakin memburuk sementara penggantian minyak pelumas yang didasarkan pada acuan berkala akan menimbulkan persoalan tersendiri karena beban mesin sangatlah variatif, dimana untuk beban yang rata-rata rendah akan menyebabkan penggantian terlalu awal sedangkan bila beban mesin di atas rata-rata menyebabkan penggantian pelumas sudah terlambat yang akan berimplikasi pada system secara keseluruhan yang ditunjukkan oleh tingkat getaran juga akan semakin tinggi. (Galbi & A, 2017)

Namun, dalam indikator pengukuran kualitas atau penggantian pada pelumas hanya didasari pada *running hours* di M/E. Saat ini pengukuran kualitas pelumas hanya didasari pada kondisi pelumas saat pengujian sampel di laboratorium. Mengingat dalam segi perhitungan ekonomi, pelumas merupakan salah satu variabel yang dimana membutuhkan biaya operasional berkisar antara 1-5% (Hidayat et al., 2019).

Sehingga, penelitian ini akan merancang sistem pendukung untuk pengambilan keputusan atas *maintenance* didasari pada kondisi pelumas dengan menggunakan sistem *fuzzy logic* sehingga dapat membantu pemilik kapal untuk memantau kondisi dari *Main Engine*.

1.2 Pernyataan Masalah

Permasalahan pokok pada penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana membentuk *membership function* untuk *fuzzy logic* memprediksi kondisi pelumas dan mesin?
2. Bagaimana menyusun *rules* terhadap kondisi pelumas dan mesin menggunakan sistem *fuzzy logic*?

3. Bagaimana sistem *fuzzy logic* dapat menghasilkan rekomendasi terhadap kondisi pelumas dan mesin?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui *membership function* untuk sistem *fuzzy logic* yang dapat memprediksi kondisi pada pelumas dan mesin.
2. Mengetahui penyusunan *rules* terhadap kondisi pelumas dan mesin dengan menggunakan sistem *fuzzy logic*.
3. Mendapatkan rekomendasi terhadap kondisi pelumas dan mesin dengan menggunakan sistem *fuzzy logic*.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk membatasi dan memfokuskan penelitian ini, permasalahan yang dianalisis pada penelitian ini memiliki batasan sebagai berikut:

1. Pelumas yang akan diuji adalah pelumas cair dengan SAE40.
2. Variabel yang digunakan sebagai batas penentuan kondisi pelumas disesuaikan dengan regulasi terkait.
3. Penelitian hanya mencakup perencanaan sistem pada aplikasi MATLAB.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk berbagai pihak yang membutuhkan. Adapun manfaat yang diperoleh yaitu:

1. Mendapatkan rancangan sistem *fuzzy* untuk mengetahui kondisi pelumas pada kapal.
2. Mendapatkan gambaran kondisi keseluruhan mesin dari pemeriksaan pelumas.
3. Mengembalikan *lifetime* pada pelumas sehingga dapat mengurangi *cost*.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Pada bagian Bab 2 ini memuat Kajian Pustaka dimana terdapat studi terkait yaitu pencarian referensi yang memiliki kesamaan dan dapat menjadi acuan pada penelitian ini. Selain studi terkait Bab ini akan diisi oleh dasar teori yang menjadi teori dasaran pada penelitian ini yang didapatkan dari berbagai macam sumber seperti jurnal/*paper*, buku, internet dengan sumber yang kredibel serta penelitian-penelitian terdahulu yang dapat membantu dalam penyelesaian penelitian ini.

2.2 Studi Terkait

Studi terkait pada penelitian ini berisi mengenai studi pada referensi yang memiliki topik yang hampir sama dengan penelitian ini yaitu sistem perawatan pada pelumas dan juga kondisi pada *M/E*.

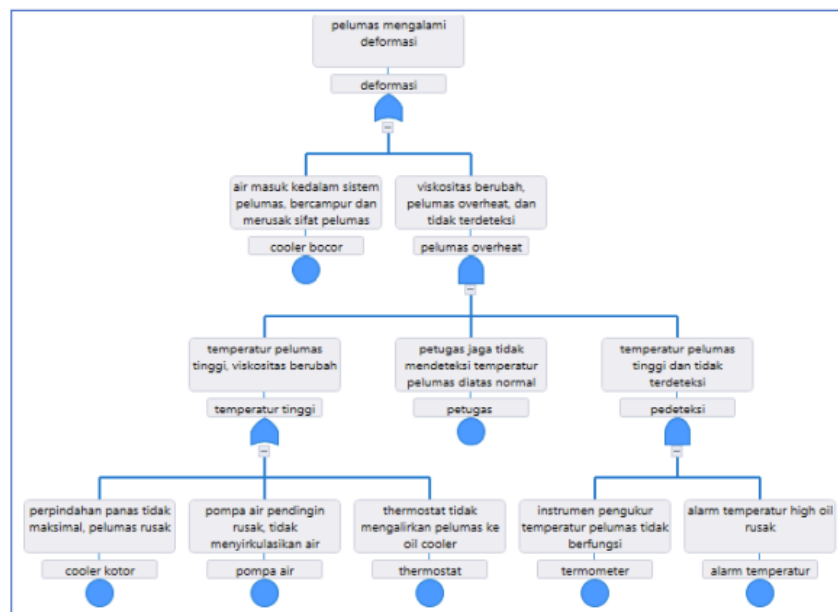
Tabel 2.1 Studi Terkait

No.	Nama Penulis	Judul Penelitian	Tahun	Hasil Penelitian
1.	Galbi M, Ishak	Prediksi Penggantian Minyak Pelumas Motor Diesel Generator Set Berdasarkan Laju Perubahan Viskositas dan <i>Total Base Number</i> Dengan Pendekatan Lineritas	2016	Pengaruh hubungan antar viskositas dan <i>total base number</i> pada jarak tempuh kapal.
2.	Arisandi M, dkk	Analisa Pengaruh Bahan Dasar Pelumas Terhadap Viskositas dan Konsumsi Bahan Bakar.	2012	Sifat-sifat karakteristik Pelumas yang dapat mempengaruhi <i>properties</i> .
3.	Dharmasiti Rini, Riyadi M Slamet	Evaluasi Penggantian Pelumas Meditran S 40 pada Mesin Diesel CUMMINS KTA 38	2010	Kontaminasi yang terjadi pada saat mesin di- <i>running</i> -kan dengan variasi waktu.
4.	Nugroho Arief K, dkk	Sistem Pendukung Keputusan Rekomendasi Pelumas Menggnakan <i>Fuzzy Madm</i>	2020	Sistem perankingan rekomendasi pelumas yang cocok untuk motor dengan komputasi sistem <i>fuzzy</i> .
5.	Sudradjat	Dasar-Dasar <i>Fuzzy Logic</i>	2008	Pengertian <i>Fuzzy</i> , Dasar-dasar permodelan dan pemograman
6.	Mulyani, Sri	<i>Fuzzy Logics and Its Applications</i>	2020	Dasar-dasar metode <i>fuzzy</i> , Pengertian FIS dan pengaplikasian sistem <i>fuzzy</i>
7.	Faizah, Fiqqih	Penerapan Logika <i>Fuzzy</i> dalam Penentuan Kualitas Pelumas	2020	Mendapatkan penentuan jenis-jenis pelumas untuk pemantauan kondisi pelumas.

Melalui studi terkait ini diharapkan penelitian sebelumnya dapat membantu dalam pemahaman serta pelaksanaan penelitian pada tugas akhir ini.

2.3 Sistem Pelumas

Dalam pengoperasiannya mesin utama memiliki banyak sistem untuk menyokong mesin utama dalam bekerja. Salah satu sistem penting yang terdapat pada mesin utama adalah sistem pelumas. Sistem pelumas sendiri memiliki fungsi secara umum yaitu sebagai pencegah atau mengurangi keausan dan gesekan, menjadi pendingin, pengangkut kotoran pada motor bakar serta sebagai seal pada sistem kompresi (Arisandi et al., 2012).



Gambar 2.1 Monitoring M/E melalui Sistem Pelumas

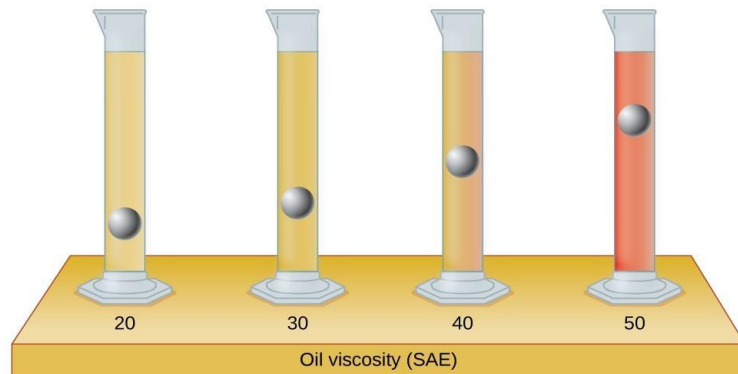
(Sumber: (Priharanto & Abrori, 2019))

Dari Gambar 2.1 menunjukkan bahwa pada sistem pelumas dapat tercampur apabila dari sistem lainnya yang berada pada M/E mengalami kebocoran atau kerusakan dimana sistem pelumas yaitu pelumas mengalami kontaminasi atau deformasi pada kebocoran yang terjadi pada sistem lainnya contohnya yang terdapat pada Gambar 2.1 pada sistem pendingin atau *cooling system* mengalami kebocoran sehingga air pendingin masuk dan bercampur pada pelumas yang menyebabkan kerusakan pada pelumas (Priharanto & Abrori, 2019).

Pelumas biasanya berupa cairan ataupun semi-cairan, namun terdapat beberapa pelumas yang memiliki bentuk padat ataupun gas dan adapula yang memiliki kombinasi seperti padat, cair dan gas (Lansdown, 1982). Dalam pemilihan pelumas sendiri untuk mesin utama biasanya didukung oleh rekomendasi dari *maker* mesin tersebut yang tertera pada *project guide* masing-masing mesin utama. Untuk penggunaan pada mesin utama pada mesin kapal biasanya menggunakan pelumas berupa pelumas dimana untuk kekentalannya pada range SAE30-50.

SAE adalah *Society of Automotive* yang merupakan pencetus standarisasi minyak pelumas untuk kendaraan yang bermotor. Dimana pada pelumas yang memiliki kode SAE dengan diikuti angka (20,40,50 dst) merupakan tingkat dari kekentalan yang dimiliki oleh pelumas tersebut. Terdapat juga pelumas yang dikenal sebagai *multi grade* dimana pelumas ini

memiliki kekentalan pada dua kondisi seperti SAE 10W-50 yang berarti pelumas tersebut memiliki kekentalan 10 pada suhu dingin atau *winter* dan memiliki tingkat kekentalan 50 pada suhu udara panas (Nugroho & Sunarno, 2017).



Gambar 2.2 Contoh Viskositas Pelumas (SAE)

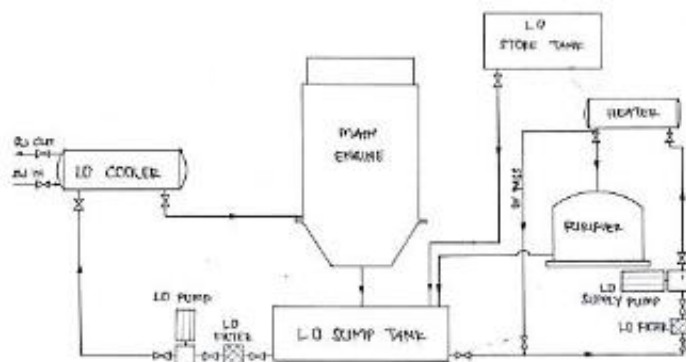
(Sumber: amazonaws.com)

2.3.1 Prinsip Kerja Pelumas pada Mesin Utama

Prinsip kerja dari pelumas pada mesin utama berfungsi sebagai bantalan ketika komponen dari mesin bergesekan pada ruang bakar, selain sebagai bantalan fungsi dari pelumas pembersih pada kontaminasi yang terjadi dari proses pembakaran dan juga sebagai penetral dari asam yang terjadi akibat proses pembakaran. Pada sistem pelumas di mesin utama terdapat dua tipe yaitu;

1. Sistem Tempat Pelumas Kering (*Dry-Sump System*)

Sistem pelumasan pada tempat pelumas kering yang dimana terpisah dari bagian lubrikasi utama. Kemudian pelumas akan disirkulasikan menuju pipa-pipa yang terhubung *main engine* yang akan dilubrikasikan melalui *engine lubrication system*. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



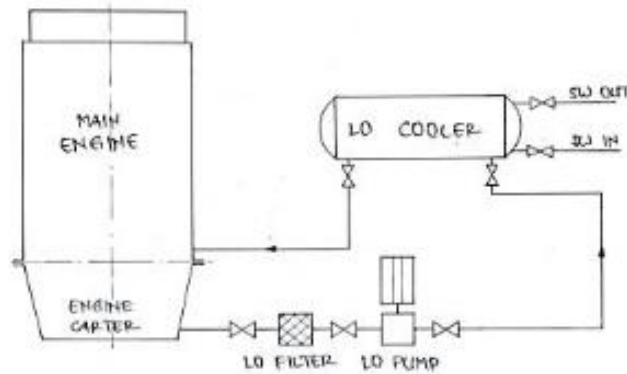
Gambar 2.3 Sistem Tempat Pelumas Kering

(Sumber: (Ratna, 2020))

2. Sistem Tempat Pelumas Basah (*Wet-Sump System*)

Sedangkan pada sistem pelumasan pada tempat pada pelumas basah merupakan sistem pelumasan dimana bagian yang dilumasi terendam oleh pelumas biasanya bagian *gearbox* dan

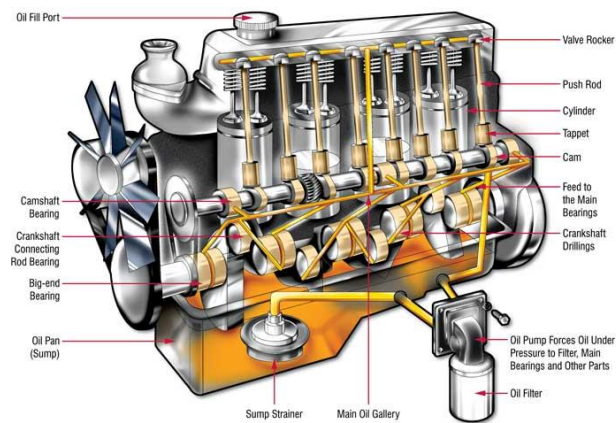
piston engine. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 dimana *Engine Carter* terletak di bawah *Main Engine*.



Gambar 2.4 Sistem Tempat Pelumas Basah

(Sumber: (Ratna, 2020))

Untuk prinsip kerja sistem minyak pelumas sebagai berikut: minyak pelumas dari *service tank* dipindahkan ke *sump tank* dengan bantuan transfer pump. Di dalam sump tank minyak pelumas diendapkan dari air dan kotoran padat. Setelah itu dialirkan menuju separator. Melalui separator minyak pelumas dimurnikan dan dibersihkan terlebih dahulu dari kandungan air dan kontaminasi kandungan partikel padat. Sebelum menuju M/E minyak pelumas disaring dan dibersihkan menggunakan *purifier*. Selanjutnya minyak pelumas dialirkan menuju main diesel engine melalui filter dan *lubricating oil cooler*. Suhu *oil* keluar dari *cooler* secara otomatis dikontrol pada level konstan yang ditentukan untuk memperoleh viskositas yang sesuai dengan yang diinginkan pada *inlet* M/E. Kemudian *lubricating oil* dialirkan ke M/E *bearing* dan juga dialirkan kembali ke *lubricating oil sump tank* untuk sistem lebih sederhananya seperti Gambar 2.5 (Ratna, 2020).



Gambar 2.5 Sistem Pelumasan pada Mesin Diesel

(Sumber: gamasemesta.com)

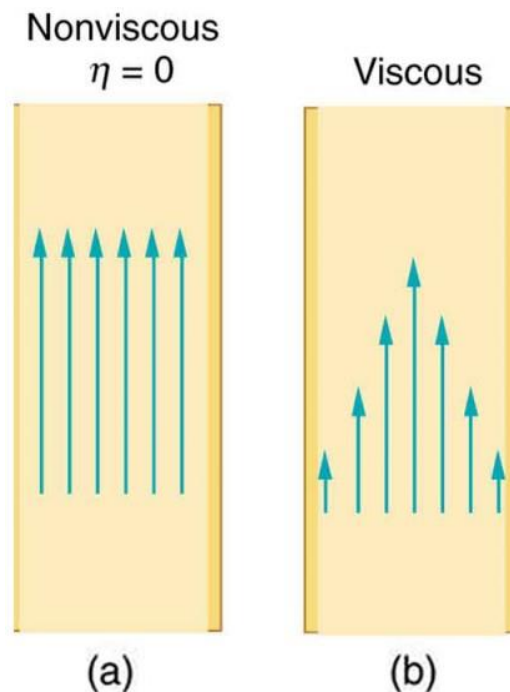
2.3.2 Karakteristik Parameter Pelumas

Untuk memilih pelumas sebagai pelumas perlu memahami karakteristik dan sifat dari pelumas tersebut sehingga pada saat pengoperasian mesin utama akan menjadi optimal. Dalam

pemilihan pelumas untuk mesin utamapun akan direkomendasikan oleh *maker* untuk tipe dari pelumasnya sendiri dan kekentalan. Sehingga dalam pemilihan pelumas karakteristik dari pelumas tersebut harus diperhatikan seperti viskositas, kontaminasi, kadungan asam dan basa, *flashpoint*, *pour point*, dan sebagainya

2.3.2.1 Viskositas

Viskositas merupakan gesekan *internal* pada fluida. Dimana gaya viskos melawan Gerakan Sebagian dari fluida relatif pada yang lainnya. Viskositas adalah suatu pernyataan “tahanan untuk mengalir” dari suatu sistem yang dimana mendapatkan suatu tekanan. Dimana semakin kental atau padat suatu cairan maka makin besar pula gaya yang dibutuhkan untuk membuatnya mengalir pada kecepatan tertentu. Seperti pada Gambar 2.6 yang merupakan ilustrasi dari perbandingan aliran viskositas dan non-viskositas yang mana pada ilustrasi tersebut apabila fluida tidak memiliki viskositas maka tidak ada laju aliran atau hambatan pada fluida tersebut.



Gambar 2.6 Perbandingan aliran Viskostas dan Non-viskositas

(Sumber: amazonaws.com)

Viskositas fluida dinotasikan dengan η (“eta”) sebagai rasio tegangan geser. Untuk melakukan pengukuran terhadap besaran viskositas diperlukannya satuan ukuran yang sama yaitu satuan internasional yang dimana ditetapkan sebagai viskostias kinematik dengan satuan ukur berupa mm^2/s atau cm^2/s . (Nugroho & Sunarno, 2017). Pada viskositas biasanya akan mempengaruhi pada viskositas itu sendiri adalah suhu, konsentrasi lautan, berat, molekul terlarut dan tekanan. Untuk suhu sendiri memiliki hubungan berbanding terbalik dengan viskositas dimana apabila suatu zat memiliki suhu tinggi maka zat tersebut memiliki viskositas rendah begitupun sebaliknya.

Untuk menentukan pelumas pada mesin utama sendiri biasanya diambil dari nilai viskositas suatu pelumas tersebut yang sudah ditentukan oleh maker pada mesin utama. Apabila

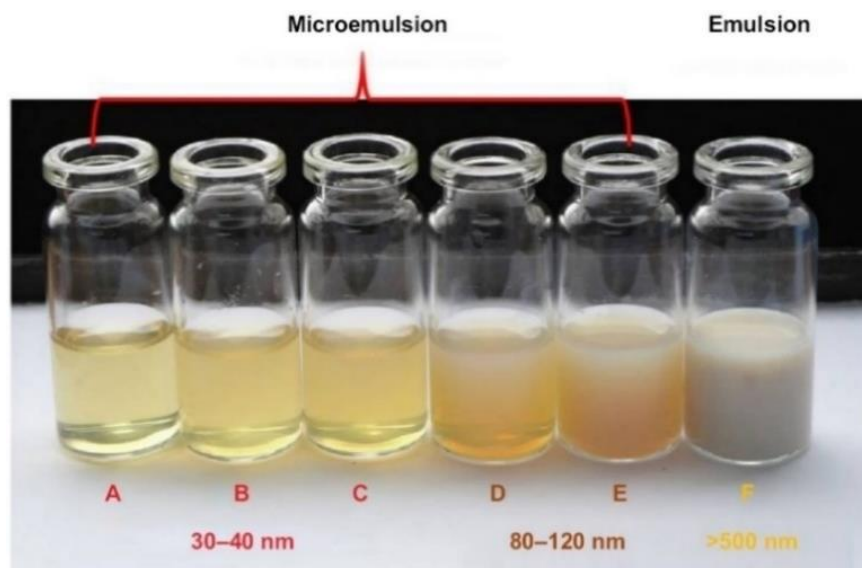
viskositas dari mesin tersebut rendah maka efek yang akan terjadi pada mesin akan membuat mesin akan mengalami getaran dan kebisingan dikarenakan viskositas pelumas tersebut rendah sehingga tidak mampu membantali dan meredam pada kerja mesin tersebut.

2.3.2.2 Kontaminasi

Pada proses pembakaran dimana pada saat *fuel* dan oksigen sebagai pemicu utama terjadinya pembakaran untuk menghasilkan daya sehingga terjadinya energi gerak. Selain menghasilkan daya yang akan digunakan sebagai penggerak, pada proses pembakaran juga menghasilkan kontaminasi yang mana akan dibagi menjadi tiga bagian;

1. Kontaminasi Air

Kontaminasi air dapat menimbulkan banyak permasalahan di berbagai aplikasi pelumasan, masalah korosi sangat erat kaitannya dengan polutan air. Dalam aplikasi pelumasan apa pun, polutan air dapat “menggantikan” atau mengurangi ketebalan lapisan pelumas, dan dapat pula menjadi katalis dari fasa penurunan kualitas pelumas. Hal ini merupakan masalah khusus yang di temui pada jenis pelumas sintesis berbahan dasar ester (banyak di pakai sebagai pelumas turbin) dimana sangat mudah bereaksi dengan setiap jenis polutan air. Kontaminasi air dalam bentuk emulsi dapat menaikkan kekentalan pelumas. Sering kali mengganggu kesetabilan dan merusak zat aditif pelumas. Permasalahan mulai timbul secara tersembunyi atau nyata terlihat pada semua sistem pelumasan dengan tingkat kontaminasi air sekitar 0.2%, beberapa sistem pelumasan sangat sensitive terhadap kontaminasi air. Dapat dilihat pada Gambar 2.7 terlihat pada bagian D sampai F memiliki emulsi yang dapat terlihat secara jelas.



Gambar 2.7 Percampuran Pelumas dan Air dengan beberapa tingkat

(Sumber: amazonaws.com)

Air adalah polutan berbahaya di berbagai aplikasi pelumasan, penyebab berbagai kerusakan serius dan memakan biaya. Kontaminasi air pada tangki pelumas menimbulkan tumbuhnya microbiologi, timbulnya ragi, jamur serta bakteri yang akan menyumbat filter dan juga sangat korosif pada sistem bahan bakar mesin. Pada aplikasi pelumasan beban tinggi, terutama bila lapisan film pelumas sangat tipis (pelumasan roda gigi), kontaminasi air

menyebabkan berkurang atau bahkan menghilangkan lapisan film pelumas. Bentuk lain kerusakan akibat air adalah timbulnya karat yang menyebar sepanjang jalur pelumas mengalir.

Terdapat banyak sumber penyebab masuknya air dalam sistem pelumasan:

- Kebocoran air dari sistem pendinginan dan pemanas dengan media uap.
- Kondensasi pada tangki maupun crankcase.
- Blow-by dari ruang bakar mesin.
- Kebocoran air pendingin jaket silinder akibat seal mesin yang aus.
- Pencemaran saat proses penambahan pelumas.

Bahaya kontaminasi air:

- Menimbulkan karat pada semua komponen logam.
- Menimbulkan kerusakan pada bantalan (*bearing*).
- Merusak zat aditif pada pelumas.
- Membentuk emulsi, air yang bercampur dengan pelumas.
- Menimbulkan uap bertekanan pada sistem pelumasan penyebab kavitasi

2. Kontaminasi Garam

Polutan garam mengindikasikan kontaminasi air laut yang sangat korosif di banding air biasa. Garam akan teroksidasi dan tertinggal pada jalur pelumasan saat bereaksi dengan panas mesin. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan mesin dan sebagai katalis proses tumbuhnya karat dan keasaman di adalah sistem pelumasan. Garam bereaksi dengan lapisan timah pada bantalan dan membentuk serbuk timah yang keras yang akan menggores permukaan poros dan bantalan itu sendiri. Bila bercampur dengan gas dan polutan lain hasil proses pembakaran *fuel* berat, potensi kerusakan korosi, erosi, dan penyempitan jalur pelumasan mesin. Batas maksimal untuk garam adalah 50 ppm, sebaiknya 0 ppm.

3. Kontaminasi Polutan Padat

Pengujian ini hanya berlaku pada jenis pelumas mesin diesel, dimana tingkat kontaminasi yang tinggi di bandingkan berbagai aplikasi dan sistem pelumasan lainnya. Terdapat pengecualian pada sejumlah aplikasi turbin gas di bidang aviasi, lazim di kenal sebagai masalah "*black oil*" Laboratorium mengukur jumlah polutan padat terlarut (*insolubles*) dengan standar ASTM D893, ini merupakan acuan praktisi industri dalam standar uji dan pengukuran.

Pengukuran *insolubles* dapat pula termasuk total *insolubles* dengan acuan IP316 yang menggunakan pelarut jenis heptane dan memiliki korelasi hasil pengukuran yang baik dengan standar ASTM D893. Pengujian lain seperti *IC Photometer*, memberikan indikasi karbon konten, keausan logam, abu bahan bakar yang bersifat logam dan kotoran pada udara.

Kemampuan aditif dispersan dan deterjen dari pelumas akan terpengaruh dan berkurang. Hal ini mempercepat kecenderungan timbulnya penumpukan kotoran di daerah sekitar torak bagian atas serta bagian-bagian *ring piston*. Tingginya tingkat *insolubles* akan menaikkan keausan dan gesekan pada komponen mesin. Hal ini dapat pula terindikasi dengan

naiknya jumlah konsumsi pelumas yang sangat sering di temui pada mesin-mesin dengan kondisi buruk (Nugraha, 2018).

2.3.2.3 Kandungan *Basa-Acid (TBN & TAN)*

Pada saat terjadinya pembakaran tidak dapat dihindari terjadinya proses yang menghasilkan zat kimia dimana dapat merusak pelumas.

1. Total Acid Number (TAN)

Total Acid Number menunjukkan kondisi oksidasi dari pelumas. Jika nilai TAN meningkat, menunjukkan deterioration (kerusakan) dan penurunan *performance* dari pelumas. Nilai *Total Acid Number* mengindikasikan berat dalam mg. *Potassium hydroxide* (KOH) yang diperlukan untuk menetralkan asam yang terkandung dalam 1 gram *oil* pengujian, dan dinyatakan sebagai mgKOH/g. Berikut adalah penyebab khusus dari oksidasi:

- Oksidasi melalui kontak dengan air atau udara.
- Peningkatan oksidasi karena masuknya partikel-partikel metal kedalam pelumas.
- Peningkatan oksidasi akibat kenaikan temperature kerja pelumas.

Jika nilai TAN diatas 7, akan mengakibatkan lapisan *lead* (timah) pada *bearing metal* mengelupas, kemudian rusak (*seizure*) atau menyebabkan keausan abnormal pada *metal engine*. Maka dari itu jika nilai TAN lebih dari 7 mg KOH/g waktunya minyak pelumas diganti.

2. Total Base Number (TBN)

Nilai TBN menunjukkan sifat alkali dari adiktif di dalam pelumas. Angka TBN menyatakan jumlah basa yang dimasukan kedalam 1 gram pelumas, yang diperlukan untuk menetralkan *acid*, dan mengkonversikan bilangan ini ke *mg potassium hydroxida* (KOH). Nilai TBN dinyatakan dalam mgKOH/g. Nilai untuk pelumas yang baru pada umumnya adalah 6.0 – 13.0 mgKOH/g. Bila TBN turun dibawah 2.0 kinerja dari penetral asam dari pelumas mesin hilang dan dengan cepat meningkatkan korosif pada metal dan terjadi keausan dan saat itu juga minyak pelumas atau pelumas waktunya diganti. Jika nilai TAN melebihi batas maximumnya, pelumas mesin jangan digunakan meskipun nilai TBN masih tinggi (Nugraha, 2018).

2.4 Penggantian Pelumas pada Kapal

Perawatan dalam kapal memiliki beberapa waktu salah satunya pemeliharaan secara berkala dimana didasarkan pada waktu kalender ataupun jam kerja (*running hours*) dengan mengacu pada *Manual Instruction Book*, yaitu:

1. Perawatan yang dilaksanakan secara waktu kalender

Perawatan secara harian (*daily*), Perawatan secara mingguan (*weekly*). Perawatan secara bulanan (*monthly*), Perawatan secara tiga bulan (*quarterly*), Perawatan secara tahunan (*yearly/annual survey*) dan Perawatan secara lima tahunan (*special survey*).

2. Perawatan yang dilaksanakan secara *running hours*

Perawatan setiap 24 Jam sekali, setiap 250 Jam; 500 Jam; 1000 Jam 2000 Jam, 4000 Jam, 8000 Jam, 10000 Jam, dan seterusnya terhitung setelah selesai perbaikan (*overhaul*) (EFENDI, 2016).

Overhaul atau perbaikan memiliki pembagian dalam menyesuaikan *running hours* pada perbaikan di mesin dimana:

- *Top Overhaul* (2000-4000 jam)
- *Major Overhaul* (8000-14000 jam)
- *General Overhaul* (14000-24000 jam) (Logistik, 2021)

Dimana berdasarkan *running hours* dari mesin, kekentalan pelumas akan diukur dengan cara mengukur banyaknya putaran mesin pada *mixer* pelumas atau berdasarkan waktu pemakainnya. (Logistik, 2021)

Seiring dengan waktu pengoperasiannya lama kelamaan kondisi minyak pelumas semakin memburuk sementara penggantian minyak pelumas yang didasarkan pada acuan berkala akan menimbulkan persoalan tersendiri karena beban mesin sangatlah variatif, dimana untuk beban yang rata-rata rendah akan menyebabkan penggantian terlalu awal sedangkan bila beban mesin diatas rata-rata menyebabkan penggantian pelumas sudah terlambat yang akan berimplikasi pada system secara keseluruhan yang ditunjukkan oleh tingkat getaran juga akan semakin tinggi, hal ini disebabkan karena beberapa hal yang diantaranya yaitu kelelahan bahan, keausan, dan deformasi, sehingga kejadian-kejadian tersebut dapat menaikkan besar celah antara bagian-bagian yang rapat dan keretakan material (Galbi & A, 2017).

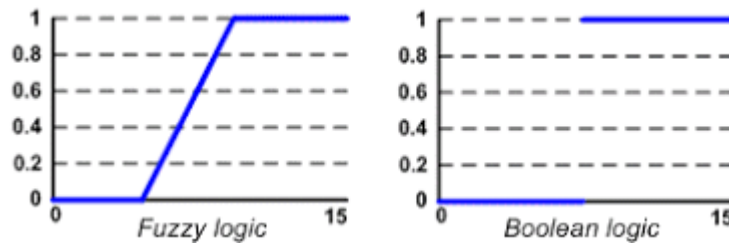
Dalam penggantian pelumas di kapal tentunya banyak dipengaruhi oleh faktor, dimana untuk penggantian dari pelumas itu sendiri biasanya hanya di prediksi melalui warna pelumas itu saja seperti bening atau kehitaman (Samsinar et al., 2019). Namun, *properties* pada pelumas tersebut masih sangat kompleks yang mana tidak bisa hanya dipastikan dengan pengukuran warnanya saja, menurut Agarwal pada (Dharmastiti & Riyadi, 2010) jika suatu berat jenis dari pelumas telah digunakan maka untuk beroperasi pada waktu tertentu meningkat, maka dari hal tersebut menunjukkan bahwa terdapatnya kontaminasi dalam pelumas tersebut seperti *debris*, *soot*, *resinous compound*, produk yang teroksidasi dan *moisture content*.

Maka dari itu perlu juga untuk memperhatikan *properties* pada pelumas itu sendiri dimana merupakan sifat atau karakteristik dari pelumas seperti: *Specific gravity*, *flashpoint*, *viscosity*, *Total Base Number (TBN)*, Viskositas Indeks, Kandungan Adiktif, *Pour Point* serta FTIR.(Arisandi et al., 2012)

2.5 Fuzzy Logic

Logika *fuzzy* atau logika kabur merupakan salah satu bagian dari ilmu matematika dimana memiliki fungsi untuk memberikan pemodelan pemecahan suatu masalah dengan bantuan teknologi computer. *Fuzzy* memiliki arti samar yang dimana diartikan nilai yang memiliki arti benar atau salah secara bersamaan. Namun berapa besar keberadaan dan kesalahan suatu tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya (Nasution, 2012).

Berbeda dengan logika digital yang memiliki nilai 0 atau 1, logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk linguistik, konsep tidak pasti seperti "sedikit", "lumayan" dan "sangat" dapat digambarkan seperti Gambar 2.8 (Zadeh, 2013).



Gambar 2.8 Grafik Perbedaan Logika *Fuzzy* dengan Logika Digital (*Boolean*)

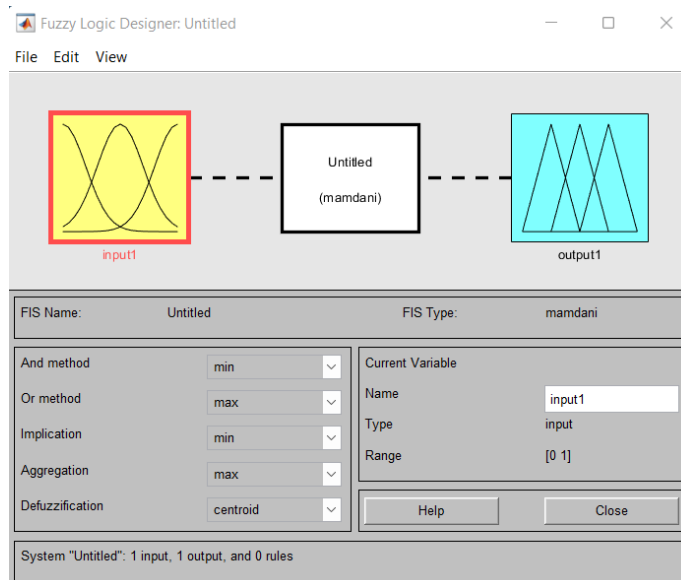
(Sumber: galaxy.agh.edu.pl)

Penggunaan logika *fuzzy* membuat kemungkinan suatu rumusan masalah dapat dipecahkan dengan mudah dengan mendapatkan hasil yang akurat dimana model matematikanya digunakan sebagai pendekatan dalam pengontrolan sistem (Sudradjat, 2008).

Salah satu konsep logika *fuzzy* yang sering dimanfaatkan dalam aplikasi yang berbasis *fuzzy* ialah *Fuzzy Inference System* (FIS) dimana merupakan kesimpulan dari sejumlah aturan *fuzzy* atau *Fuzzy Rule Based*.

Kelebihan dari teori logika *fuzzy* adalah kemampuan dalam proses penalaran secara bahasa (*linguistic reasoning*). Sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematik dari objek yang akan dikendalikan (FRANSISKO, 2016).

Pada penelitian ini sendiri komputasi logika *fuzzy* akan digunakan dengan bantuan dari aplikasi MATLAB, dimana pada aplikasi tersebut logika *fuzzy* menjadi *tools* dengan tampilan seperti Gambar 2.9.

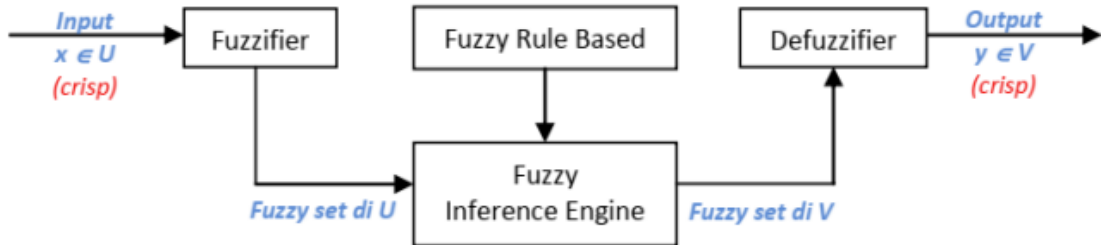


Gambar 2.9 Logika *Fuzzy* sebagai *tools* pada aplikasi MATLAB

(Sumber: Aplikasi MATLAB dari Penulis)

2.5.1 Fuzzy Inference System (FIS)

Menurut Kusumadewi dalam (Astrilyana & Afni, 2017), *Fuzzy Inference System* merupakan sebuah proses dalam merumuskan pemetaan pada *input* yang akan diberikan ke *output* dengan menggunakan logika *fuzzy*.



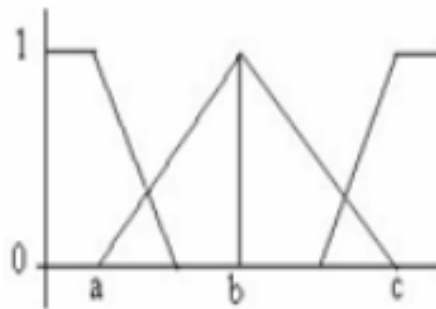
Gambar 2.10 Struktur Sistem Inferensi *Fuzzy*

(Sumber: Mulyana, 2020)

Pada Gambar 2.10 Secara umum, logika *fuzzy* terdiri dari beberapa komponen, yaitu *Fuzzifier*, *Fuzzy Rule Base*, *Fuzzy Inference Engine* dan *Defuzzifier*.

1. *Fuzzifier*

Fuzzifier digunakan untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke himpunan *fuzzy* dengan menggunakan operator fuzzifikasi. Pemetaannya dilakukan dengan menggunakan fungsi yang disebut *membership function*. Terdapat beberapa metode *fuzzifier*, 3 diantaranya yaitu: *Singleton fuzzifier*, *Gaussian fuzzifier* dan *Triangular fuzzifier*. Dalam *fuzzifikasi* terdapat fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy*, merupakan sebuah kurva yang menggambarkan pemetaan dari masukan ke derajat keanggotaan antara 0 dan 1 (Zadeh et al., 1965).



Gambar 2.11 Grafik Fungsi Keanggotaan Segitiga dan Trapesium

(Sumber: ejournals.itda.ac.id)

Gambar 2.11 merupakan contoh bentuk fungsi keanggotaan trapesium dan segitiga dalam *fuzzy*. Fungsi keanggotaan trapesium memiliki persamaan matematis sebagai berikut:

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2.1)$$

Bentuk fungsi keanggotaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah fungsi keanggotaan segitiga yang mempunyai persamaan fungsi matematis sebagai berikut :

$$\mu(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x - a}{b - a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d - x}{d - c}, & c < x \leq d \\ 0, & x > d \end{cases} \quad (2.2)$$

Proses fuzzifikasi dalam perancangan kendali logika *fuzzy* akan mempunyai performansi yang lebih baik jika proses penentuan fungsi keanggotaan dan nilai keanggotaan yang dipakai sesuai dengan karakteristik dari sistem yang akan dikendalikan

2. *Fuzzy Rule Base*

Fuzzy Rule Base berisi basis data dan aturan dasar yang mendefinisikan himpunan *fuzzy* atas daerah–daerah masukan dan keluaran. Kemudian menyusunnya dalam perangkat aturan kendali. Basis pengetahuan terdiri dari basis aturan (*Rule Base*) dan fakta (*Data Base*). Basis Aturan berisi informasi tentang cara membangkitkan fakta baru atau hipotesa fakta yang sudah ada. Sedangkan fakta merupakan bagian pengetahuan yang memuat informasi tentang objek, peristiwa, atau situasi. Fakta umumnya menyatakan kondisi statik dari suatu objek. Pada *fuzzy rule base* berisi pernyataan-pernyataan logika *fuzzy* (*fuzzy statement*), yang berbentuk pernyataan *If-Then*.

3. *Fuzzy Inference Engine*

Fuzzy Inference Engine menerjemahkan pernyataan-pernyataan *fuzzy* dalam *rule base* sehingga menjadi perhitungan matematika (*fuzzy combinational*). Tahapan ini merupakan inti dari logika *fuzzy* yang mempunyai kemampuan seperti manusia dalam mengambil keputusan. Aksi atur *fuzzy* disimpulkan dengan menggunakan implikasi *fuzzy* dan mekanisme inferensi *fuzzy*.

4. *Defuzzifier*

Defuzzifier berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator defuzzifikasi. Terdapat beberapa metode defuzzifier, 3 diantaranya yaitu: *Center of gravity defuzzifier*, *Center average defuzzifier*, *Maximum defuzzifier*. (FRANSISKO, 2016)

2.5.1.1 Metode Fuzzy Murni

Masukan logika murni berupa linguistic dan keluarannya yang juga berupa linguistic. Kaidah dalam metode logika *fuzzy* murni dinyatakan sebagai:

If Input x_1 is F_1 and Input x_2 is F_2 , then Output y is G .

2.5.1.2 Metode Mamdani

Berbeda dengan metode pada *fuzzy* murni dalam metode Mamdani memiliki perbedaan pada masukan logika *fuzzy* Mamdani berupa numerik dan keluarannya juga berupa numerik. Untuk mendapatkan *output* (hasil), diperlukannya 4 tahapan:

1. Pembentukan Himpunan Fuzzy

Menentukan semua variabel yang terkait dalam proses yang akan ditentukan. Untuk masing-masing *variable input* maka ditentukan pula suatu fungsi fuzzifikasi yang sesuai. Pada metode Mamdani, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*.

2. Aplikasi Fungsi Implikasi

Menyusun basis aturan, yaitu aturan-aturan berupa implikasi-implikasi *fuzzy* yang menyatakan relasi antara *variable input* dengan *variable output*. Pada Metode Mamdani, fungsi implikasi yang digunakan adalah Min. bentuk umumnya adalah sebagai berikut:

$$\text{“If } a \text{ is } A_i \text{ AND } \dots b \text{ is } B_i, \text{ THEN } c \text{ is } C_i\text{”}$$

Dengan A_i, B_i , dan C_i adalah predikat-predikat *fuzzy* yang merupakan nilai linguistik dari masing-masing variabel. Banyaknya aturan ditentukan oleh banyaknya nilai *linguistic* untuk masing-masing *variable* masukan.

3. Komposisi aturan

Apabila system terdiri dari beberapa aturan, maka inferensi diperoleh dari kumpulan dan kolerasi antar aturan. Ada 3 metode yang digunakan dalam melakukan inferensi *system fuzzy*, yaitu:

a) Metode Max (Maximum)

Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara mengambil nilai maksimum aturan, kemudian menggunakan nilai tersebut untuk memodifikasi daerah *fuzzy* dan mengaplikasikannya ke *output* dengan menggunakan operator OR (gabungan). Secara umum dapat dituliskan :

$$\mu(x_i) = \max(\mu_{sf}(x_i), \mu_{kf}(x_i)) \quad (2.3)$$

Dengan:

$\mu_{sf}(x_i)$: nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i

$\mu_{kf}(x_i)$: nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-i

Misalkan ada 4 aturan (proposisi) sebagai berikut:

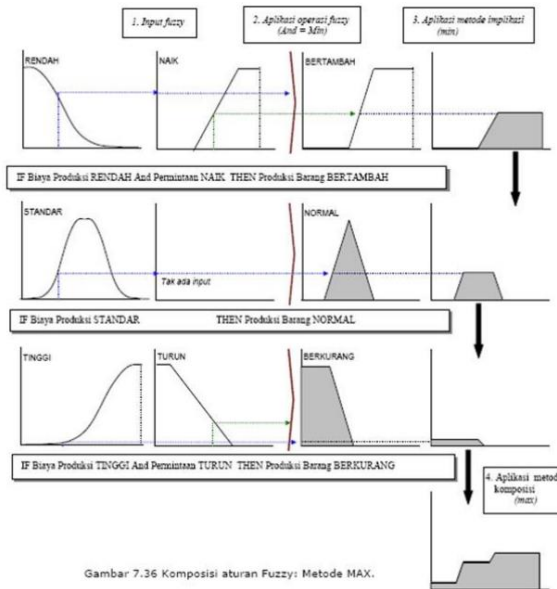
Rule (A) : *If Probability is Improbable and consequence is Negligible then risk is Low*

Rule (B) : *If Probability is Remote and Consequence is Marginal then risk is Medium*

Rule (C) : *If Probability is Occasional and Consequence is Critical then risk is Serious*

Rule (D) : *If Probability Frequent and Consequence is Catastrophic then risk is High*

Apabila digunakan fungsi implikasi MIN, maka metode komposisi ini sering disebut dengan nama MAX-MIN atau MIN-MAX atau MAMDANI.



Gambar 2.12 Komposisi aturan Fuzzy, Metode MAX

(Sumber: ejournals.itda.ac.id)

Gambar 2.12 di atas menunjukkan proses inferensi dengan menggunakan metode Max dalam melakukan komposisi aturan.

b) Metode Additive (Sum)

Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan penjumlahan terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan *bounded-sum* terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}(x_i) = \min(1, \mu_{sf}(x_i) + \mu_{kf}(x_i)) \quad (2.4)$$

Dengan :

$\mu_{sf}(x_i)$: nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-I

$\mu_{kf}(x_i)$: nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* aturan ke-I

c) Metode Probabilistik (Probor)

Solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan cara melakukan perkalian terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Pada metode ini, solusi himpunan *fuzzy* diperoleh dengan melakukan product terhadap semua *output* daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan:

$$\mu_{sf}(x_i) = (\mu_{sf}(x_i) + \pi_{kf}(x_i) - (\mu_{sf}(x_i) \times \mu_{sf}(x_i))) \quad (2.5)$$

Dengan :

$\mu_{sf}(x_i)$: nilai keanggotaan solusi *fuzzy* sampai aturan ke-i

$\mu_{sf}(x_i)$: nilai keanggotaan konsekuen *fuzzy* sampai aturan ke-i

4. Defuzzifikasi

Input dari proses defuzzifikasi adalah suatu himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada *domain* himpunan *fuzzy* tersebut. Sehingga jika diberikan suatu himpunan *fuzzy* dalam *range* tertentu, maka harus dapat diambil suatu nilai tegas tertentu sebagai *output*. Ada beberapa

cara metode penegasan yang biasa dipakai pada komposisi aturan Mamdani adalah sebagai berikut:

a) Metode *Centroid (Composite Moment)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil titik pusat (z^*) daerah *fuzzy*. Secara umum dirumuskan:

$$z^* = \frac{\int_z z\mu(z)dz}{\int_z \mu(z)dz} \text{ untuk variabel kontinu, atau } z^* = \frac{\sum_{j=1}^n z_j\mu(z_j)}{\sum_{j=1}^n \mu(z_j)} \quad (2.6)$$

b) Metode *Bisektor*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai pada domain *fuzzy* yang memiliki nilai keanggotaan setengah dari jumlah total nilai keanggotaan pada daerah *fuzzy*. Secara umum dituliskan:

$$z_p = \text{sedemikian hingga, } \int_{R_1}^p \mu(z)dz = \int_p^{R_n} \mu(z)dz \quad (2.7)$$

c) Metode *Mean of Maximum (MOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai rata-rata domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i x_i}{\sum_{i=1}^n \mu_i} \quad (2.8)$$

Dimana:

n : number of quantized output conclusions;

x_i : the support value of the i -th membership function;

μ_i : degree of truth of the i -th membership function.

d) Metode *Largest of Maximum (LOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terbesar dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum.

e) Metode *Smallest of Maximum (SOM)*

Pada metode ini, solusi *crisp* diperoleh dengan cara mengambil nilai terkecil dari domain yang memiliki nilai keanggotaan maksimum (Aryantini, 2017).

2.5.1.3 Metode Takagi-Sugeno

Dirasa pada metode mamdani dan *fuzzy* murni kurang efisien, maka Sistem Inferensi *Fuzzy* dikembangkan kembali oleh Takagi Sugeno Kang yang selanjutnya disebut menjadi Metode Sugeno (Mulyana, 2020). Dimana pada teori ini *input*nya berupa linguistik dan sedangkan keluarannya berupa numerik. Kaidah logika *fuzzy* Sugeno dinyatakan sebagai berikut:

$$L^{(1)}: \text{IF } x_1 \text{ is } F_1^1 \text{ and ... and } x_n \text{ is } F_n^1, \text{ THEN } Y^1 = c_0^1 + c_1^1 x_1 + c_n^1 x_n \quad (2.9)$$

Dimana F_1^1 adalah sebuah set *fuzzy*, c_1 adalah parameter berharga riil, y^1 keluaran sistem oleh kaidah $L^{(1)}$ dengan $l = 1, 2, \dots, M$ adalah jumlah kaidah *fuzzy* (Aisjah, 2011).

2.5.2 Fuzzy Logic Toolbox dan Simulink MATLAB

Dalam pengembangan teknologi komputasi, *Graphical User Interface (GUI)* merupakan jenis antarmuka pengguna yang menggunakan metode dalam interaksi pada

peralatan elektronik secara grafik dan bukan lagi perintah teks pada pengguna dan komputer. Pengimplementasian ini dapat digunakan secara langsung pada aplikasi dengan menggunakan media alat *input* seperti *keyboard* atau *mouse*.

Pada sistem ini akan menggambarkan informasi dan perintah yang tersedia untuk penggunaan ikon secara grafis dimana sudah dilakukan pada *Microsoft Words*, *macOS* dan *Xwin* yang mengimplementasikan GUI dalam hal yang berbeda.

Untuk penelitian ini GUI akan digunakan sebagai media grafis dimana merupakan kelanjutan dari proses logika *fuzzy* sehingga nantinya akan menyajikan informasi dan data secara grafis sehingga mempermudah dalam suatu sistem *fuzzy*. Sama seperti halnya sistem *fuzzy logic* pada penelitian digunakannya aplikasi MATLAB untuk membantu pengerjaan dimana GUI masuk dalam *toolbox* pada sistem *fuzzy* yang dapat digunakan untuk membangun, mengedit, dan mengobservasi dari sistem penalaran *fuzzy*, yaitu:

1. *Fuzzy Inference System (FIS) Editor*

Berfungsi untuk membuat sistem penalaran *fuzzy* yang baru.

2. *Membership Function Editor*

Berfungsi untuk mengedit fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk tiap-tiap variabel *input* dan *output*.

3. *Rule Editor*

Digunakan untuk mengedit maupun menampilkan aturan yang akan atau telah dibuat.

4. *Rule Viewer*

Berguna untuk melihat alur penalaran *fuzzy* pada sistem, meliputi pemetaan *input* yang diberikan ke tiap-tiap variabel *input*, aplikasi operator dan fungsi implikasi, tegas pada metode defuzzifikasi.

5. *Surface Viewer*

Berguna untuk melihat gambar pemetaan antara variabel-variabel *output* (Dari, 2018).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

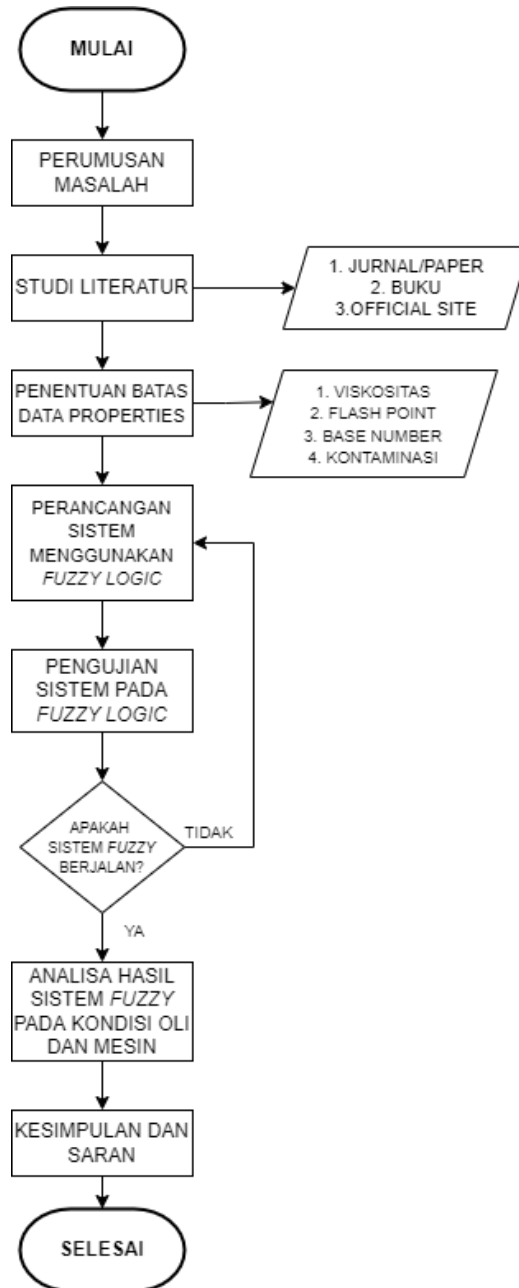
3.1 Pendahuluan

Pada penelitian ini dilakukan metode penelitian untuk membantu dalam pemecahan masalah berupa analisis data terhadap permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini. Proses yang akan dilakukan dalam metodologi penelitian ini berupa pencarian studi literatur yang dapat diperoleh melalui buku, jurnal, paper ataupun referensi-referensi pada studi tugas akhir yang memiliki beberapa kesamaan terhadap penelitian ini.

Penelitian ini akan di komputasi dengan aplikasi *MATLAB* yang dimana difokuskan pada perhitungan secara pemograman dengan melakukan metode *fuzzy logic* yang dimana akan di *input* dengan parameter yang akan ditentukan seperti viskositas, *flashpoint*, *base number* dan kontaminasi. Hasil dari pengukuran parameter tersebut akan digunakan sebagai pengukuran dalam menentukan rekomendasi *maintenance* dan kondisi dari pelumas dan mesin. Berdasarkan hasil pengukuran parameter tersebut akan dilanjutkan dengan menggunakan proses GUI (*Graphical User Interface*) sehingga akan membentuk tampilan sebagai monitor atau *display*.

3.2 Diagram Alir Penelitian

Pada tahapan ini dibuat sebuah diagram alir untuk menggambarkan rangkaian kegiatan yang akan dilakukan pada penelitian tugas akhir ini, seperti Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3 Perumusan Masalah

Tahap awal dalam penelitian ini berupa perumusan masalah. Perumusan masalah dilakukan untuk memecahkan suatu permasalahan agar dapat mencapai tujuan penelitian ini. Fokus permasalahan dalam penelitian ini yaitu menerapkan sistem *fuzzy* pada keadaan pelumas

dan mesin yang selanjutnya akan diperoleh rekomendasi untuk perawatan yang akan dilakukan pada pelumas dan mesin terutama pada sistem pelumasan kapal.

3.4 Studi Literatur

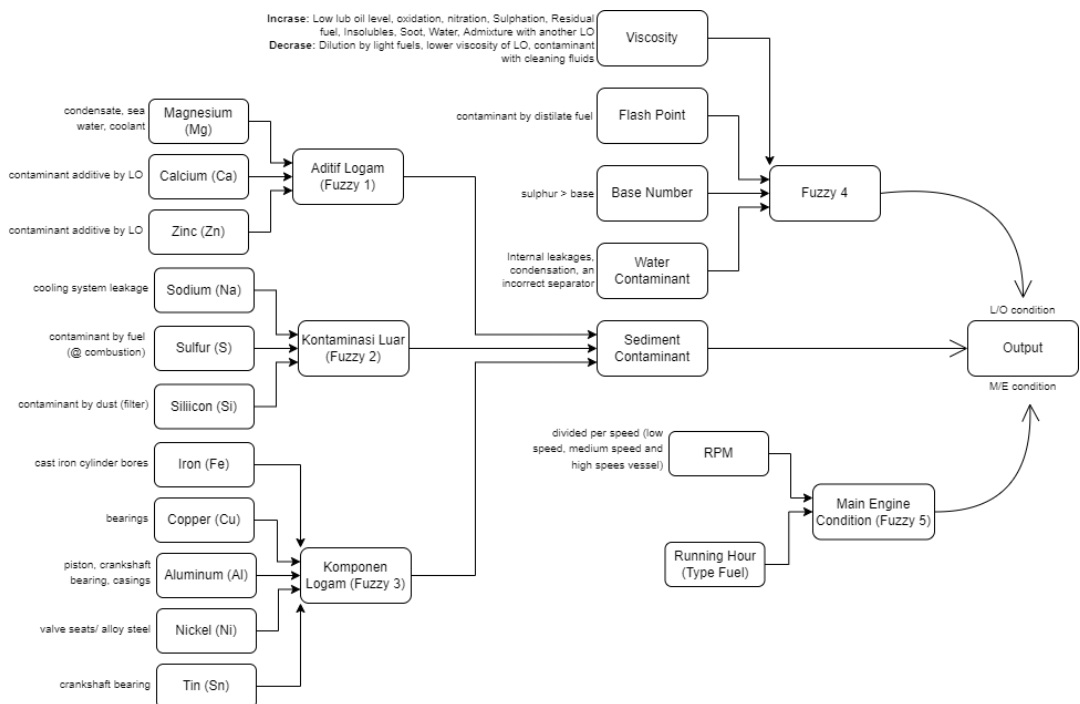
Tahapan kedua yang akan dilakukan ialah studi literatur dimana studi literatur ini dilakukan untuk mencari referensi permasalahan serta pembelajaran dan pengkajian data yang telah ada melalui sumber terkait untuk membantu dalam melakukan penyelesaian penelitian ini. Data yang ditelusuri adalah data yang berhubungan dan memiliki kesamaan dengan penelitian ini yang didapatkan melalui sumber jurnal/paper, buku, tugas akhir yang mempunyai kesamaan hubungan serta data perolehan dari internet. Dalam penelitian ini akan difokuskan dalam beberapa materi yang ditelusuri yaitu sistem pelumas, perawatan pada mesin utama dan *Fuzzy Logic*.

3.5 Penentuan Batas Data Parameter

Tahapan ketiga yang dilakukan dalam penelitian ini adalah penentuan batas data parameter. Penentuan ini dilakukan untuk mendapatkan batas data untuk tiap parameter yang akan dijadikan *input*-an pada aplikasi *MATLAB* untuk dilakukannya komputasi secara metode *Fuzzy Logic*.

3.6 Perancangan Sistem *Fuzzy* Menggunakan *Fuzzy Logic*

Tahapan keempat dilakukan pada penelitian ini ialah perancangan sistem *fuzzy* pada aplikasi *MATLAB* dengan menggunakan metode komputasi *Fuzzy Logic*, dimana pada metode ini merupakan lanjutan pada metode sebelumnya setelah menetapkan batas dan masukkan yang digunakan untuk membuat sebuah program.



Gambar 3.2 Perencanaan Sistem *Fuzzy*

Gambar 3.2 menunjukkan gambaran perencanaan sistem *fuzzy* yang akan disusun serta mempermudah dalam penyusunan yang akan dilakukan pada aplikasi MATLAB.

Terdapat lima bagian *fuzzy logic* yang akan disusun pada penelitian seperti gambar 3.2 yaitu;

- a. Aditif Logam (*Fuzzy 1*),
- b. Kontaminasi Luar (*Fuzzy 2*),
- c. Komponen Logam (*Fuzzy 3*),
- d. Penggabungan Viskositas, Flash Point, Base Number dan Water Contaminant (*Fuzzy 4*), dan
- e. *Main Engine Condition* (*Fuzzy 5*).

3.6.1 Fuzzy Inference System Editor (FIS Editor)

Langkah pertama dalam penyusunan sistem *fuzzy* ialah mengatur jumlah *input*, *output*, fungsi penalaran seperti AND, OR, fungsi implikasi, fungsi komposisi aturan (agregasi) atau metode *defuzzyfikasi*. Pada penelitian ini seluruh *rules* akan dihubungkan dengan fungsi penalaran AND.

3.6.2 Membership Function Editor

Pada langkah ini *membership function editor* memiliki fungsi untuk mengedit fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk tiap variabel masukan ataupun keluaran. Keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk penelitian ini didasari dari batas *properties yang* telah ditentukan pada tahapan sebelumnya, selain itu pada tahapan ini penelitian menggunakan fungsi trapesium.

3.6.3 Rule Editor

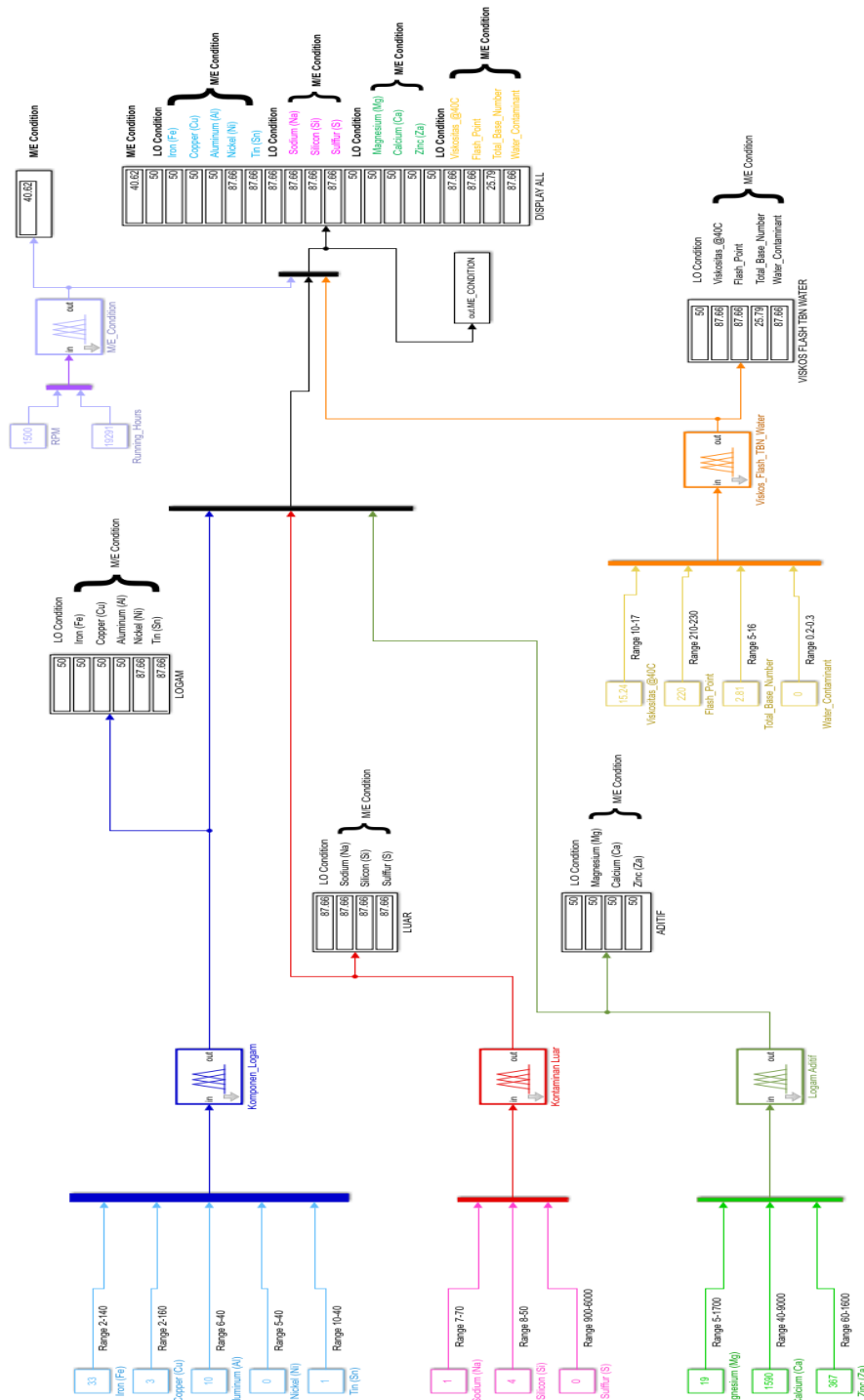
Penyusunan aturan atau *rule* merupakan langkah selanjutnya setelah melakukan pengaturan fungsi keanggotaan pada himpunan *fuzzy*. Pada fasilitas *rule editor* menampilkan aturan dan penyusunan aturan dengan berbagai perumusan seperti aturan *if-then*, hubungan aturan seperti *or-and* dan juga pemilihan *not*. Aturan yang akan di atur pada tahapan ini berupa *linguistic* yang akan disesuaikan dengan teori dari sistem pelumas.

3.7 Pengujian Sistem Fuzzy pada Fuzzy Logic

Tahapan selanjutnya adalah pengujian sistem *fuzzy* pada *Fuzzy Logic* dimana pada proses ini setelah program telah terbentuk langkah selanjutnya melihat keseluruhan dari himpunan yang telah dirangkai aturannya membentuk sebuah *surface view*. Pada *surface view* tersebut dapat terlihat hubungan antar aturan mengenai masukan dan keluaran hingga menyajikan *surface*, apabila terjadi cekukkan maka terjadi *error* pada aturan yang telah dibuat dan akan ditinjau kembali melalui *membership function*.

3.8 Validasi Sistem Fuzzy Berjalan

Tahapan selanjutnya berupa validasi pengujian pada sistem *fuzzy* ini melalui fasilitas Simulink yang ada pada MATLAB untuk mempermudah proses, dimana pada Simulink tersebut akan dirangkai dengan sitem *fuzzy* yang telah dibuat seperti pada Gambar 3.3 sehingga mempunyai masukan sebagai variabel bebas dan akan mengeluarkan hasil yang didasari oleh aturan yang telah disusun sebelumnya. Hasil dari Simulink tersebut akan dibenturkan kepada hasil *oil analysis report* oleh lab yang selama ini telah digunakan.



Gambar 3.3 Rangkaian Simulink

3.9 Analisis Sistem *Fuzzy* Menghasilkan Kondisi Pelumas dan Mesin

Tahapan yang akan dilakukan selanjutnya ialah menganalisis sistem *fuzzy* yang dihasilkan *output* aplikasi *MATLAB*. Hasil *output*-an tersebut akan dilihat apakah berhasil menghasilkan kondisi pelumas seperti tujuan pada penelitian atau tidak, apabila terjadi *error* pada *output* pada aplikasi yang selanjutnya akan dilakukan analisa terhadap penentuan langkah rekomendasi dan penerapan kondisipelumas untuk melakukan *engine control maintenance*.

3.10 Kesimpulan dan Saran

Setelah menyelesaikan analisis dan pembahasan pada sistem *fuzzy* dan di visualisasikan menggunakan bantuan *tool* GUI. Langkah selanjutnya adalah membuat kesimpulan dari seluruh pembahasan pada penelitian ini. Kesimpulan ini diharapkan bisa menjawab tujuan dari penelitian yang telah dilakukan. Kemudian diberikan juga saran atau rekomendasi yang dapat menunjang untuk dilakukan penelitian selanjutnya di waktu yang akan datang.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Dalam Bab Hasil dan Pembahasan ini terdapat penentuan *limit properties* pada pelumas yang akan digunakan sebagai acuan pada sistem *fuzzy logic rules* yang di dalamnya terkait viskositas, *flashpoint*, *base number* dan kontaminasi yang akan dikelompokkan menjadi dua yaitu; kontaminasi air dan juga sendimen atau padat. Selanjutnya terdapat perancangan mengenai kondisi dari pelumas pada *fuzzy logic* dengan *output* apakah hasil dari data *properties* yang telah di-*input* menghasilkan kondisi normal, penggantian pada pelumas tersebut atau hanya perawatan. Setelah melakukan perancangan mengenai kondisi dari pelumas, dari data *properties* pelumas tersebut juga dilakukannya perancangan *fuzzy logic* untuk mengetahui kondisi *main engine* yang menghasilkan analisa berupa kemungkinan *additive* pada pelumas rusak, kebocoran pada *cooling system*, *blow-by* pada ruang pembakaran serta terjadi kontaminasi komponen yang terdapat pada *main engine*.

4.2 Penentuan *Limit Properties* pada Pelumas

Limit atau batas *properties* pelumas dapat membantu membaca kondisi pelumas yang didasari oleh beberapa aturan atau regulasi terkait seperti ASTM (*American Standard Testing Material*) atau regulasi dari ISO (*International Organization for Standardization*) yang mencakup regulasi mengenai *properties* pada pelumas. Untuk penelitian ini mengambil beberapa regulasi seperti ASTM, ISO serta sumber lain yang mencakup regulasi mengenai *properties* pada pelumas.

Tabel 4.1 Limit Properties pada Pelumas

Parameters		Low	Normal/ Medium	High	Unit	Reg.	Type	Causes		
Viscosity	@40C	>20%	-20%/30%	<30%	cSt (mm ² .s ⁻¹)	ISO3104	Water/Particle	Increase: Low lub oil level, oxidation, nitration, Sulphation, Residual fuel, Insolubles, Soot, Water, Admixture with another LO		
	@100C	>20%	-20%/25%	<25%				Decrease: Dilution by light fuels, lower viscosity of LO, contaminant with cleaning fluids		
Flash Point		>170	170-190	<190	°C	ISO 2791	Water	Contaminant by distillate fuel (drops by >30°C)		
Total Base Number		>50% of fresh oil	50%-60% of fresh oil	<60 of fresh oil	mg.KOH/g*	ISO 3771	Water	Sulphur>Base (combustion)		
Kontaminasi	Water Contaminant		>0,2	0,2-0,3	<0,3	v/v	ASTM D5185-18	Water	Internal leakages (water jacket, coolers), condensation, an incorrect separator	
	Sediment Contaminant							Water	Condensate, sea water, coolant	
		Logam Aditif	Magnesium (Mg)	>5	5-1700	<1700		mg/kg	Water	Contaminant Additive by LO
			Calcium (Ca)	>40	40-9000	<9000			Water/Fuel	Contaminant Additive by LO
			Zinc (Zn)	>60	60-1600	<1600			Water	Cooling System leakages
		Kontaminan Luar	Sodium (Na)	>7	7-70	<70			Water	Contaminant by filter (Dust)
			Silicon (Si)	>8	8-50	<50			Water/Oil	Contaminant by Fuel
			Sulfur (S)	>900	900-6000	<6000			Oil	Gear, shaft, cast iron cylinder bores
Basic Metal		Komponen Logam	Iron (Fe)	>2	2-140	<140			Oil	Bearings
Alkaline Earth			Copper (Cu)	>2	2-160	<160			Oil	Valve seats/ alloy steel
Semi Metal			Nickel (Ni)	>5	5-40	<40	Additive/Oil		Piston, crankshaft bearing, casings	
Transition Metals		Aluminum (Al)	>6	6-40	<40	Additive/Oil	Crankshaft bearing			
Reactive nonmetals		Tin (Sn)	>10	10-40	<40					
Alkali Metal										

Tabel 4.1 menunjukkan pengelompokan *limit properties* yang terkandung pada pelumas yang akan dijadikan sebagai *input-an* dalam *fuzzy logic*. Untuk penelitian ini *properties* pada pelumas yang akan digunakan ialah viskositas, *flashpoint*, *base number* serta kontaminasi yang memiliki porsi cukup besar dalam menentukan kualitas daripada pelumas. Dalam tabel tersebut untuk mempermudah penyusunan dalam sistem *fuzzy logic* maka beberapa kontaminasi dikelompokkan berdasarkan jenisnya. Sehingga pengelompokan yang dilakukan pada kontaminasi terbagi menjadi dua yaitu kontaminasi air dan kontaminasi sedimen, pada kontaminasi sedimen akan dikelompokkan kembali berdasarkan jenisnya yaitu logam aditif, kontaminasi luar dan komponen logam.

Selain pengelompokan dari regulasi dan materi yang dijadikan sebagai acuan terdapat juga penyebab terjadinya degradasi atau gradasi dari *properties* yang terdapat pada pelumas tersebut.

Tabel 4.2 *Properties Oil Pertamina Meditran SAE40*

Characteristics	Test Method	MEDITRAN 40
SAE Vis. Grade		40
Density at 15°C, kg/l	ASTMD	0,8916
Kinematic Viscosity at 40°C, cSt		130,1
Viscosity Index		98
ASTM Colour		L 3,0
Flash Point °C		254
Pour Point, °C		-9
TBN, mg KOH/g		4,62

(Sumber: Pertamina Pelumas)

Sebagai acuan untuk data yang digunakan pada *variabel: Viskositas, Flash Point* dan *Total Base Number* penelitian ini menggunakan data *properties* dari pelumas Pertamina Meditran dengan SAE40 seperti Tabel 4.2.

4.2.1 Viskositas

Viskositas merupakan *properties* penting untuk pelumas, dimana viskositas tidak hanya melindungi dari gesekan yang terjadi pada ruangan pembakaran tetapi juga membuat bantalan antara permukaan *bearings*. Pada *properties* viskositas ini mempengaruhi suhu pada *bearing* dimana pelumas akan disalurkan dari bawah mahkota piston ke *cylinder liners* atau cincin piston untuk didinginkan, viskositas juga membantu penyebaran pada pelumas.

Pada penelitian ini, regulasi terkait *limit* viskositas mengikuti dari ISO 3104 dimana pada suhu 40°C memiliki *range* -25%/+30% dari viskositas awalnya. Dalam kontaminasi viskositas terdapat dua kemungkinan terjadinya kenaikan viskositas ataupun sebaliknya turunnya viskositas.

4.2.1.1 Viskositas Naik

1. Oksidasi, kondisi ini dipengaruhi oleh suhu, kontaminasi dan kandungan oksigen. Oksidasi dapat diperburuk oleh kontaminasi dengan bahan bakar. Hal ini

dapat menjadi katalis dalam komponen logam seperti baja dan besi yang dapat mengakselerasi oksidasi.

2. Nitrase, umumnya disebabkan oleh gas *blow-by* yang mengandung NO_x dengan jumlah yang tinggi.
3. Sulfur, salah satu indikasi penurunan pelumas yang berbanding terbalik dengan penurunan *base number*.
4. Kontaminasi residu bahan bakar, biasanya terdapat pada mesin yang menggunakan HFO (*Heavy Fuel Oil*) yang mengandung aspal.
5. Kontaminasi tidak larut, diakibatkan oleh pembakaran yang tidak sempurna, *purifiers* yang gagal, kandungan sulfur yang terbawa dari *cylinder liner*, kondisi mesin yang kurang memadai dan lainnya.
6. Jelaga, diakibatkan oleh tingginya SLOC (*specific lube oil consumption*) yang dimana akan meningkatkan produksi jelaga akibat pembakaran pada mesin.
7. Air, kontaminasi dari air yang akan membentuk emulsi yang dapat menaikkan viskositas pelumas.
8. Pencampuran antar pelumas lainnya, diakibatkan oleh pencampuran pelumas yang memiliki atau lebih tinggi viskositasnya dengan pelumas sebelumnya.

4.2.1.2 Viskositas Turun

Penurunan viskositas lebih berbahaya dari kenaikan viskositas pada *main engine*. Pada penurunan viskositas lapisan bantalan pelumas akan menipis. Dalam penurunan viskositas ini biasanya terjadi dikarenakan pengenceran dari bahan bakar ataupun dari kontaminasi oleh cairan pada saat pergantian ataupun penambahan.

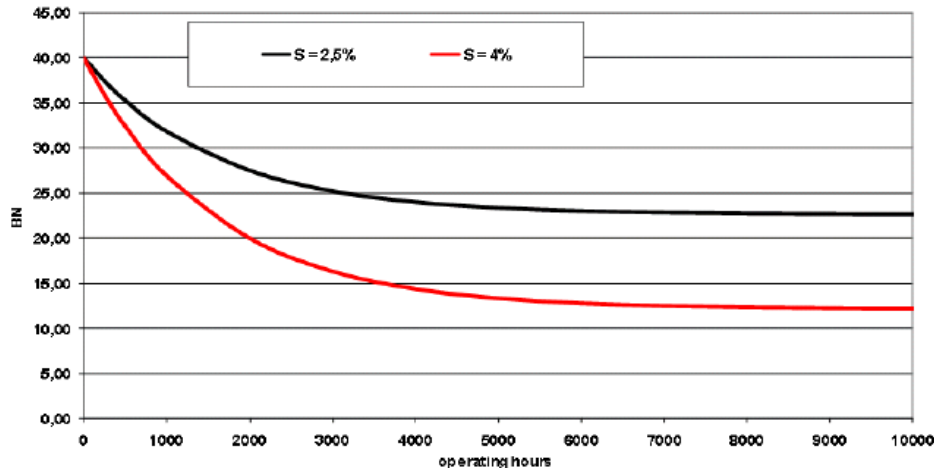
4.2.2 *Flashpoint*

Penurunan *flashpoint* normalnya terindikasi oleh kontaminasi bahan bakar yang tercampur pada saat proses pembakaran. Untuk batasannya dari kebocoran bahan bakar ketika *flashpoint* turun sebanyak 30°C atau lebih. Ketika *flashpoint* terkontaminasi bahan bakar yang titik bakarnya lebih rendah dari pelumas maka akan membuat titik bakar dari pelumas akan turun sehingga pelumas akan ikut terbakar.

Pada penelitian ini, regulasi terkait *limit flashpoint* mengikuti dari ISO 2719 memiliki *range* <170°C.

4.2.3 *Base Number*

Total Base Number (TBN) merupakan konsentrasi *alkaline* yang terdapat pada pelumas, dimana pada pelumas *engine* biasanya ditambahkan *alkaline* aditif sebagai penambah untuk menetralkan asam untuk menghindari kerusakan pada pelumas. Kerusakan atau turunnya *base number* ini dapat mengakibatkan resiko seperti korosi, lumpur dan juga pengikisan pada komponen mesin. Untuk mesin diesel rasio *base number* lebih tinggi daripada *gasoline engine* dimana pada mesin diesel antara 15-30 mg.KOH/g yang didasari pada setiap kondisinya.



Gambar 4.1 Penipisan *Base Number* terhadap *Operation hours*

Pada penelitian ini, regulasi terkait *limit base number* mengikuti dari ISO 3771 dimana memiliki *range* 50% dari *fresh oil* pada awalnya.

4.2.4 Kontaminasi

Pada proses pembakaran dimana pada saat *fuel* dan oksigen sebagai pemicu utama terjadinya pembakaran untuk menghasilkan daya sehingga terjadinya energi gerak. Selain menghasilkan daya yang akan digunakan sebagai penggerak, pada proses pembakaran juga menghasilkan kontaminasi yang mana akan dibagi menjadi dua bagian pada penelitian ini;

4.2.4.1 Kontaminasi Konten Air

Air yang terkandung pada pelumas dapat mempengaruhi viskositas pada pelumas yang dimana apabila dibiarkan akan terjadi emulsi yaitu air sudah tercampur dengan pelumas, untuk pemisahan antara air dan pelumas dapat menggunakan sistem sentrifugal. Kontaminasi air terkandung pada pelumas dapat mengganggu aditif yang mempengaruhi turunnya *base number*. Selain kontaminasi *fresh water*, kontaminasi air laut juga dapat membahayakan mesin dikarenakan sifatnya yang korosif sehingga untuk pelumas pada saat ini terdapat penambahan aditif seperti anti-korosi untuk menambah kapabilitas performa pelumas. Untuk batas kontaminasi air terdapat 0.2% yang terkandung dalam ISO 3733.

4.2.4.2 Kontaminasi Sediment

Selain kontaminasi konten air, terdapat juga kontaminasi oleh *sediment* yang dimana dapat diakibatkan oleh komponen mesin, ataupun zat yang terkandung dalam kontaminasi yang berasal dari *cooling system* ataupun *filter* dan sebagainya.

Untuk mempermudah penelitian kontaminasi sediment ini akan dibagi menjadi tiga yaitu;

1. Aditif Logam, dimana unsur yang termasuk berupa Mg, Ca dan Zn. Pada ketiga unsur ini biasanya diakibatkan oleh mutu daripada pelumas itu sendiri.
2. Kontaminan Luar, dimana unsur yang termasuk berupa Na, Si, dan S. Pada unsur Na biasanya ditemukan akibat kebocoran dari *cooling system* yang menggunakan *sea water*. Untuk unsur Si, ditemukan pada debu yang terdapat di udara yang tidak

terjangkau oleh *filter*. Sedangkan unsur S atau sulfur ditemukan akibat kontaminasi dari bahan bakar yang bocor.

3. Komponen Logam, dimana unsur yang termasuk berupa Fe, Cu, Al, Ni, dan Sn. Untuk unsur ini diakibatkan oleh pengikisan dari komponen yang terbawa oleh pelumas.

Untuk regulasi pada kontaminasi sediment mengikuti regulasi ASTM D5185 dengan batas seperti yang tertera pada Tabel 4.3 di bawah.

Tabel 4.3 *Limit Contaminant* ASTM D5185

Element	Range, mg/kg (ppm)	Element	Range, mg/kg (ppm)
Aluminium	6-4	Nickel	5-40
Barium	0,5-4	Phosphorus	10-1000
Boron	4-30	Potassium	40-1200
Calcium	40-9000	Silicon	8-50
Chromium	1-40	Silver	0,5-50
Copper	2-160	Sodium	7-70
Iron	2-140	Sulphur	900-6000
Lead	10-160	Tin	10-40
Magnesium	5-1700	Titanium	5-40
Manganese	5-700	Vanadium	1-50
Molybdenum	5-200	Zinc	60-1600

(Sumber: ASTM D5185-18)

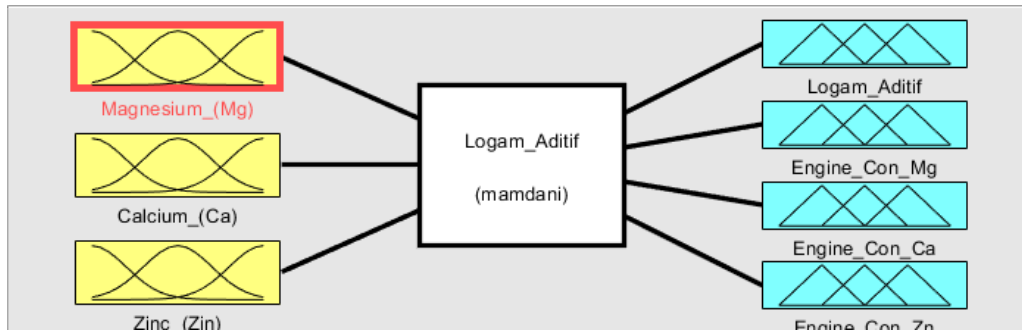
4.3 Perencanaan dan Penerapan Sistem *Fuzzy Logic*

Dalam perencanaan dan penerapan sistem *fuzzy logic* yang akan dilakukan pada aplikasi MATLAB dalam sub-aplikasi *Fuzzy Logic Designer*. Sistem yang akan diterapkan terbagi menjadi beberapa sub-sistem yang akan di kelompokkan seperti pembahasan dalam penentuan batas *limit properties*, pengelompokkan ini bertujuan untuk mempermudah dalam penyusunan *rules* atau aturan yang akan di rangkai pada *Fuzzy Logic Designer*.

4.3.1 *Input Fuzzy Membership Function*

Langkah pertama dalam penyusunan sistem *fuzzy* ialah mengatur jumlah *input*, *output*, fungsi penalaran seperti AND, OR, fungsi implikasi, fungsi komposisi aturan (agregasi) atau metode *defuzzyfikasi*. Pada penelitian ini seluruh *rules* akan dihubungkan dengan fungsi penalaran AND.

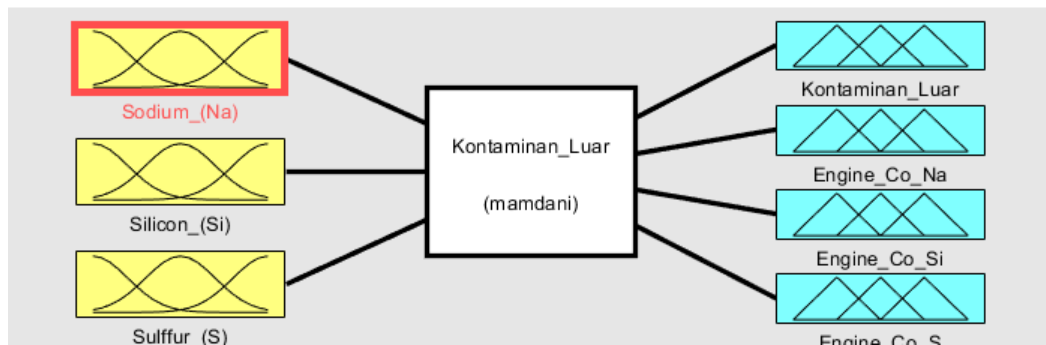
4.3.1.1 Aditif Logam (Fuzzy 1)



Gambar 4.2 FIS pada Aditif Logam

Pada gambar 4.2 terdapat 3 masukan yaitu magnesium (Mg), *calcium* (Ca) dan *zinc* (Zn) juga terdapat 4 keluaran yaitu logam aditif, *engine condition Mg*, *engine condition Ca*, dan *engine condition Zn* yang memiliki tujuan keluaran yang berbeda. Pada keluaran logam aditif keluarannya berupa kondisi dari pelumas sedangkan untuk keluaran lain berupa residu kontaminasi yang dihasilkan dari dalam mesin ataupun kandungan pelumas.

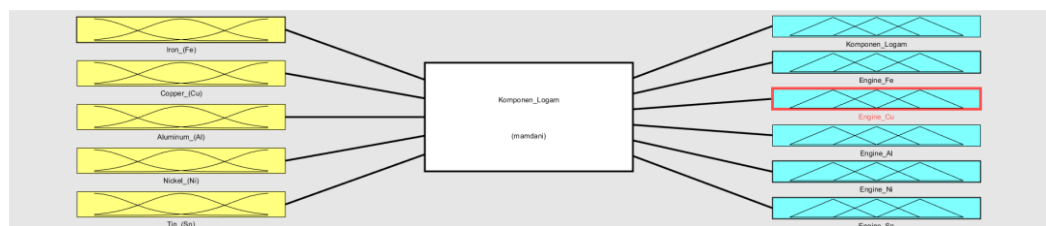
4.3.1.2 Kontaminasi Luar (Fuzzy 2)



Gambar 4.3 FIS pada Kontaminasi Luar

Pada Gambar 4.3 terdapat 3 masukan yaitu sodium (Na), silikon (Si) dan Sulfur (S) juga terdapat 4 keluaran yaitu kontaminasi luar, *engine condition Na*, *engine condition Si*, dan *engine condition S* yang memiliki tujuan keluaran yang berbeda. Pada keluaran kontaminasi luar keluarannya berupa kondisi dari pelumas sedangkan untuk keluaran lain berupa residu kontaminasi yang dihasilkan dari luar mesin.

4.3.1.3 Komponen Logam (Fuzzy 3)

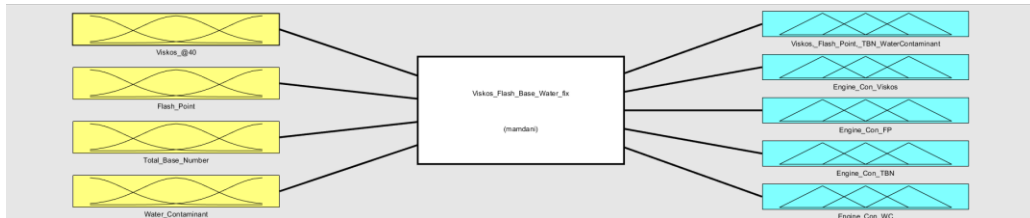


Gambar 4.4 FIS pada Komponen Logam

Pada Gambar 4.4 terdapat 5 masukan yaitu *iron* (Fe), *copper* (Cu), *aluminum* (Al), *nickel* (Ni) dan *tin* (Sn) juga terdapat 6 keluaran pada komponen logam, *engine condition Fe*,

engine condition Cu, engine condition Al, engine condition Ni dan engine condition Sn yang memiliki tujuan keluaran yang berbeda. Pada keluaran komponen logam keluarannya berupa kondisi dari pelumas sedangkan untuk keluaran lain berupa residu kontaminasi yang dihasilkan dari dalam mesin yaitu *compartment*.

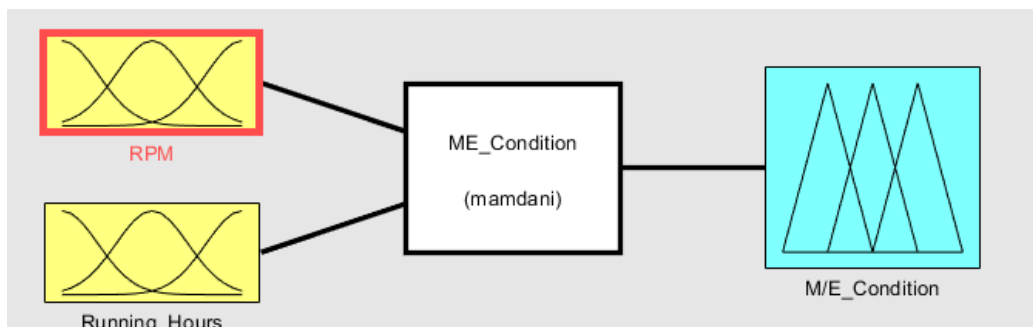
4.3.1.4 Viskositas, Flash Point, Base Number dan Kontaminasi Air (Fuzzy 4)



Gambar 4.5 FIS pada Viskositas, *Flash Point*, *Base Number* dan Kontaminasi Air

Pada Gambar 4.5 terdapat 4 masukan yaitu viskositas, *flashpoint*, *base number* dan *water contaminant* juga terdapat 5 keluaran yaitu Viskos_FlashPoint_TBN_WaterContaminant, *engine condition* Viskositas, *engine condition Flashpoint*, *engine condition* TBN dan *engine condition* Water Contaminant yang memiliki tujuan keluaran yang berbeda. Pada keluaran Viskos_FlashPoint_TBN_WaterContaminant keluarannya berupa kondisi dari pelumas sedangkan untuk keluaran lain berupa residu kontaminasi yang dihasilkan dari dalam mesin ataupun kandungan pelumas.

4.3.1.5 Main Engine Conditions (Fuzzy 5)



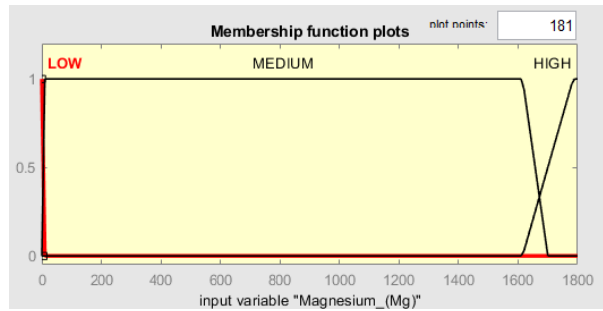
Gambar 4.6 FIS pada *Main Engine Condition*

Pada gambar 4.6 terdapat 2 masukan yaitu RPM dan *Running Hours* terdapat keluaran yaitu *Main Engine Condition*. Pada keluaran berupa kondisi dari mesin utama ketika sudah beroperasi.

4.3.2 Membership Function Editor

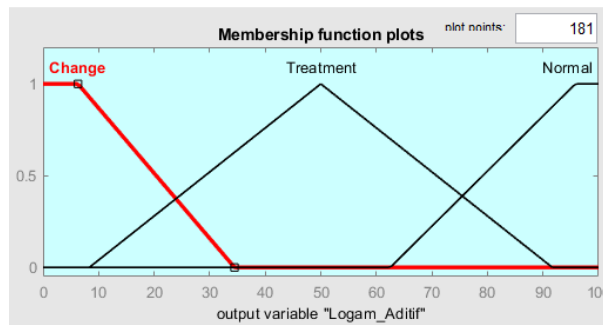
Pada langkah ini *membership function editor* memiliki fungsi untuk mengedit fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk tiap variabel masukan ataupun keluaran. Keanggotaan himpunan *fuzzy* untuk penelitian ini didasari dari batas *properties yang* telah ditentukan pada tahapan sebelumnya, selain itu pada tahapan ini penelitian menggunakan fungsi trapesium.

4.3.2.1 Aditif Logam (Fuzzy 1)



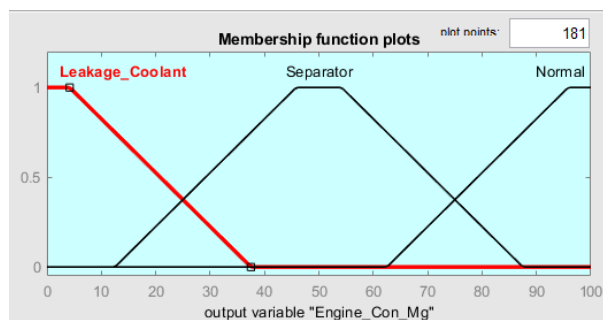
Gambar 4.7 Membership Function Magnesium (Input)

Pada proses penyusunan fungsi keanggotaan himpunan aditif logam terdapat tiga masukan yaitu Magnesium (Mg), Calcium (Ca) dan Zinc (Zn). Untuk ketiga masukan ini terdapat tiga kondisi yaitu, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) yang berfungsi sebagai parameter kandungan kontaminan yang ada pada pelumas dengan tampilan seperti Gambar 4.7. Untuk mengatur batas atau *range* anggota dari himpunan kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4.

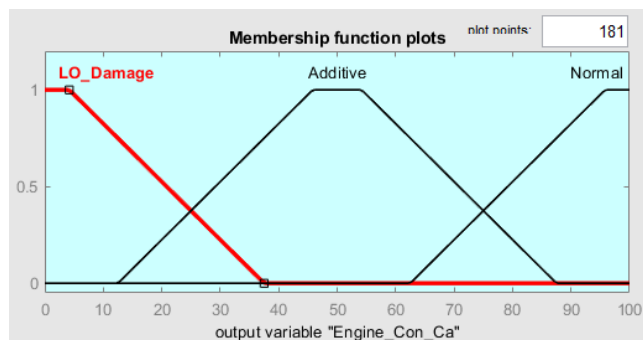


Gambar 4.8 Membership Function Logam Aditif (Output)

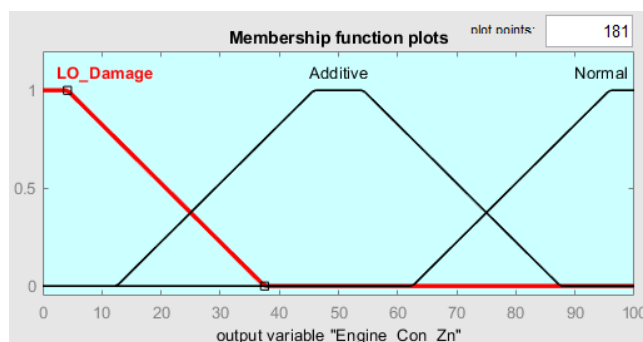
Untuk fungsi keanggotaan himpunan aditif logam dalam tipe keluaran pada keluaran logam aditif terdapat tiga kondisi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.8 dengan kondisi *Change* (Ganti), *Treatment* (Perawatan) dan *Normal* dengan batasan rentang pada Tabel 4.4. Pada keluaran logam aditif ini berfungsi untuk mengetahui kondisi dari pelumas. Sedangkan untuk keluaran lainnya dengan fungsi kondisi mesin memiliki tiga kondisi yang berbeda sesuai dengan jenis masukannya seperti Gambar 4.9, Gambar 4.10 dan Gambar 4.11 sama halnya dengan keluaran pada logam aditif untuk batasan dari keluaran ini mengacu pada rentang di Tabel 4.4.



Gambar 4.9 Membership Engine Condition Magnesium (Output)



Gambar 4.10 Membership Engine Condition Calcium (Output)



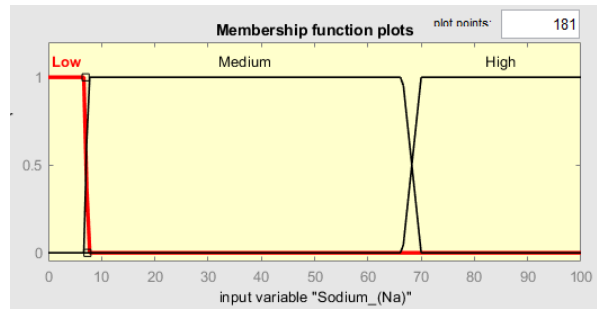
Gambar 4.11 Membership Engine Condition Zinc (Output)

Tabel 4.4 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Aditif Logam

No.	FIS Variabel	Type	Fungsi Keanggotaan	Rentang
1	Magnesium	Input	Low	[<0.25; 5.25]
2			Medium	[5; 5.25; 1615; 1700]
3			High	[1615; >1785]
4	Calcium		Low	[<40; 42]
5			Medium	[40; 42; 8550; 9000]
6			High	[8550; >9450]
7	Zinc		Low	[<60; 63]
8			Medium	[60; 63; 1520; 1600]
9			High	[1520; >1680]
10	Logam Aditif	Output	Change	[<4; 37.5]
11			Treatment	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
12			Normal	[62.5; >95.83]
13	Engine Condition Mg		Leakage Coolant	[<4; 37.5]
14			Separator	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
15			Normal	[62.5; >95.83]
16	Engine Condition Ca		LO Damage	[<4; 37.5]
17			Additive	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
18			Normal	[62.5; >95.83]
19	Engine Condition Zn	LO Damage	[<4; 37.5]	
20		Additive	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
21		Normal	[62.5; >95.83]	

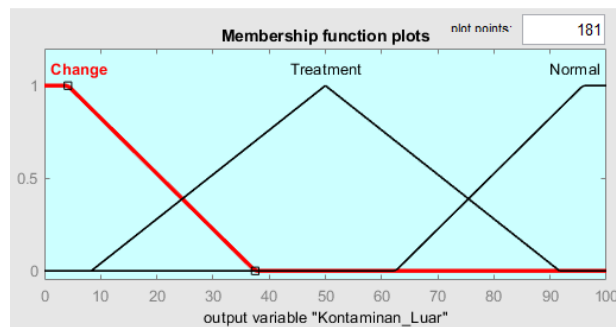
(Sumber: ASTM D 5185-18)

4.3.2.2 Kontaminasi Luar (Fuzzy 2)



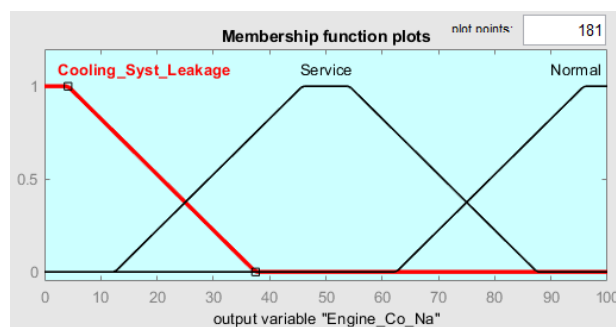
Gambar 4.12 *Membership Function Sodium (Input)*

Pada proses penyusunan fungsi keanggotaan himpunan kontaminasi luar terdapat tiga masukan yaitu Sodium (Na), *Silicon* (Si) dan Sulfur (S). Untuk ketiga masukan ini terdapat tiga kondisi yaitu, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) yang berfungsi sebagai parameter kandungan kontaminan yang ada pada pelumas dengan tampilan seperti Gambar 4.12. Untuk mengatur batas atau *range* anggota dari himpunan kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.5.

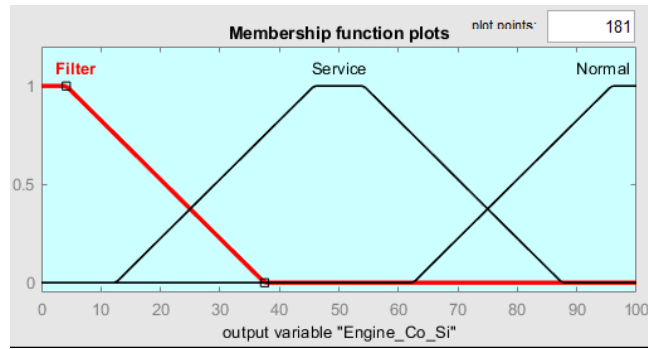


Gambar 4.13 *Membership Function Kontaminan Luar (Output)*

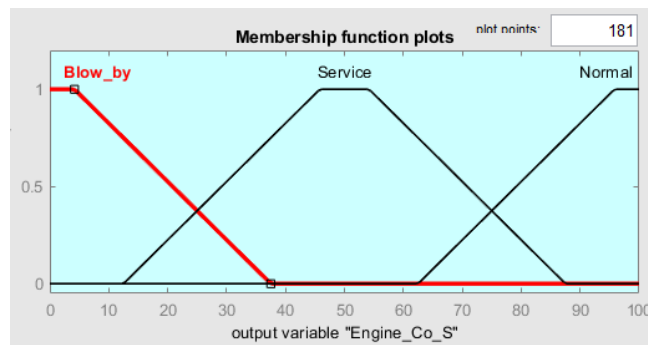
Untuk fungsi keanggotaan himpunan kontaminan luar dalam tipe keluaran pada keluaran kontaminan luar terdapat tiga kondisi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.13 dengan kondisi *Change* (Ganti), *Treatment* (Perawatan) dan Normal dengan batasan rentang pada Tabel 4.5. Pada keluaran kontaminan luar ini berfungsi untuk mengetahui kondisi dari pelumas. Sedangkan untuk keluaran lainnya dengan fungsi kondisi mesin memiliki tiga kondisi yang berbeda sesuai dengan jenis masukannya seperti Gambar 4.14, Gambar 4.15 dan Gambar 4.16 sama halnya dengan keluaran pada kontaminan luar untuk batasan dari keluaran ini mengacu pada rentang di Tabel 4.5.



Gambar 4.14 *Membership Engine Condition Sodium (Output)*



Gambar 4.15 Membership Engine Condition Silicon (Output)



Gambar 4.16 Membership Engine Condition Sulfur (Output)

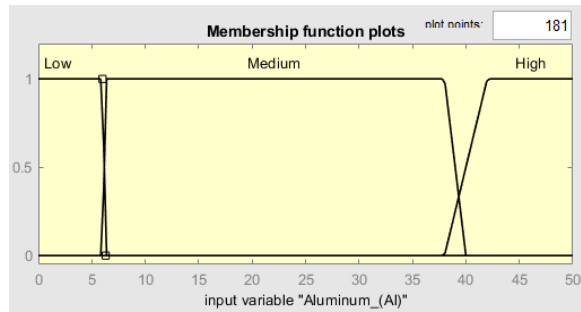
Tabel 4.5 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Kontaminasi Luar

No.	FIS Variabel	Type	Fungsi Keanggotaan	Rentang
1	Sodium	Input	Low	[<7; 7.35]
2			Medium	[7; 7.35; 66.5; 70]
3			High	[66.5; >70]
4	Silicon		Low	[<8; 8.4]
5			Medium	[8; 8.4; 47.5; 50]
6			High	[47.5; >52.5]
7	Sulfur		Low	[<900; 945]
8			Medium	[900; 945; 5700; 6000]
9			High	[5700; >6300]
10	Kontaminan Luar	Output	Change	[<4; 37.5]
11			Treatment	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
12			Normal	[62.5; >95.83]
13	Engine Condition Na		Cooling Syst Leakage	[<4; 37.5]
14			Service	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
15			Normal	[62.5; >95.83]
16	Engine Condition Si		Filter	[<4; 37.5]
17			Service	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
18			Normal	[62.5; >95.83]
19	Engine Condition Si	Blow by	[<4; 37.5]	
20		Service	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
21		Normal	[62.5; >95.83]	

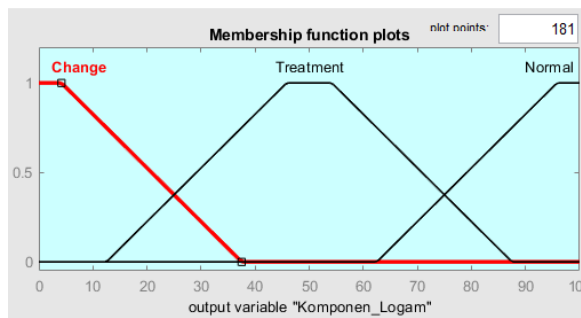
(Sumber: ASTM D 5185-18)

4.3.2.3 Komponen Logam (Fuzzy 3)

Pada proses penyusunan fungsi keanggotaan himpunan komponen logam terdapat lima masukkan yaitu *Iron* (Fe), *Cooper* (Cu), *Aluminium* (Al), *Nickel* (Ni) dan *Tin* (Pb). Untuk kelima masukkan ini terdapat tiga kondisi yaitu, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) yang berfungsi sebagai parameter kandungan kontaminan yang ada pada pelumas dengan tampilan seperti Gambar 4.17. Untuk mengatur batas atau *range* anggota dari himpunan kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.6.

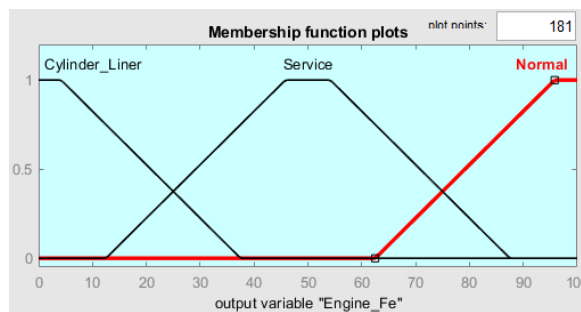


Gambar 4.17 Membership Function Aluminium (Input)

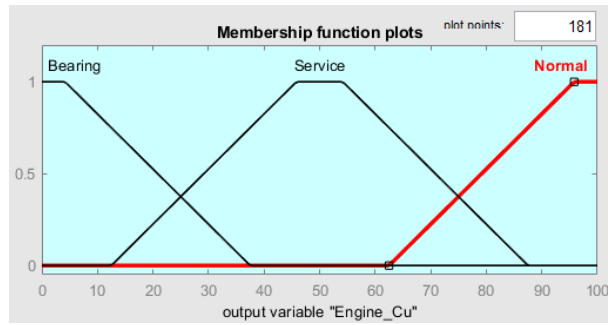


Gambar 4.18 Membership Function Komponen Logam (Output)

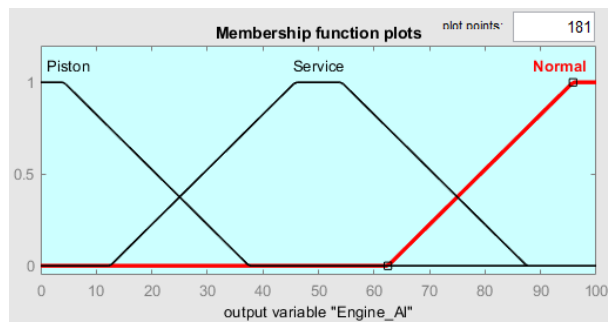
Untuk fungsi keanggotaan himpunan komponen logam dalam tipe keluaran pada keluaran komponen logam terdapat tiga kondisi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.18 dengan kondisi *Change* (Ganti), *Treatment* (Perawatan) dan *Normal* dengan batasan rentang pada Tabel 4.6. Pada keluaran kontaminan luar ini berfungsi untuk mengetahui kondisi dari pelumas. Sedangkan untuk keluaran lainnya dengan fungsi kondisi mesin memiliki tiga kondisi yang berbeda sesuai dengan jenis masukkannya seperti Gambar 4.19, Gambar 4.20, Gambar 4.21, Gambar 4.22 dan Gambar 4.23 sama halnya dengan keluaran pada komponen logam untuk batasan dari keluaran ini mengacu pada rentang di Tabel 4.6.



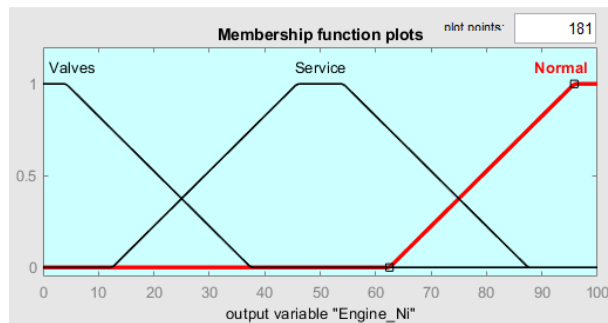
Gambar 4.19 Membership Function Iron (Output)



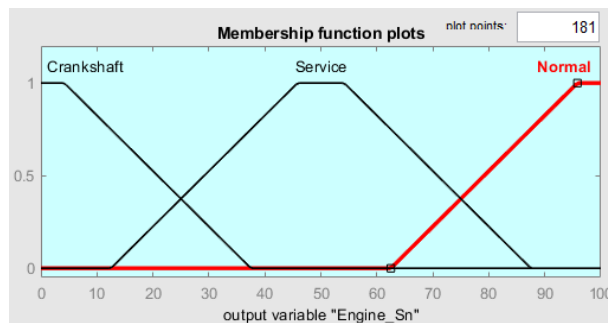
Gambar 4.20 Membership Function Cooper (Output)



Gambar 4.21 Membership Function Aluminium (Output)



Gambar 4.22 Membership Function Nickel (Output)



Gambar 4.23 Membership Function Tin (Output)

Tabel 4.6 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Komponen Logam

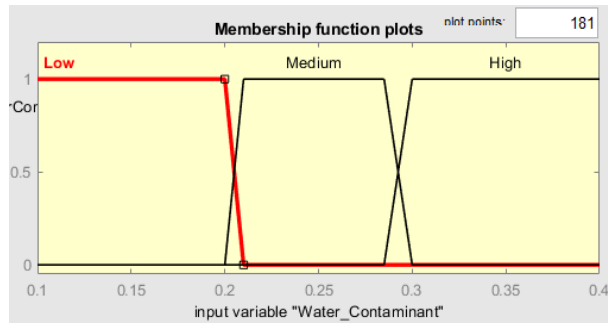
No.	FIS Variabel	Type	Fungsi Keanggotaan	Rentang
1	Iron	Input	Low	[<2; 2.1]
2			Medium	[2; 2.1; 133; 140]
3			High	[133; >147]

No.	FIS Variabel	Type	Fungsi Keanggotaan	Rentang	
4	Cooper		Low	[<2; 2.1]	
5			Medium	[2; 2.1; 152; 160]	
6			High	[152; >168]	
7	Aluminium		Low	[<6; 6.3]	
8			Medium	[6; 6.3; 38; 40]	
9			High	[38; >42]	
10	Nickel		Low	[<5; 5.25]	
11			Medium	[5; 5.25; 38; 40]	
12			High	[38; >42]	
13	Tin		Low	[<10; 10.5]	
14			Medium	[10; 10.5; 38; 40]	
15			High	[38; >42]	
16	Komponen Logam		Output	Change	[<4; 37.5]
17				Treatment	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
18				Normal	[62.5; >95.83]
19	Engine Condition Fe	Cylinder Liner		[<4; 37.5]	
20		Service		[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
21		Normal		[62.5; >95.83]	
22	Engine Condition Cu	Bearing		[<4; 37.5]	
23		Service		[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
24		Normal		[62.5; >95.83]	
25	Engine Condition Al	Piston		[<4; 37.5]	
26		Service		[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
27		Normal		[62.5; >95.83]	
19	Engine Condition Ni	Valves		[<4; 37.5]	
20		Service		[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
21		Normal		[62.5; >95.83]	
22	Engine Condition Sn	Crankshaft		[<4; 37.5]	
23		Service		[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
24		Normal		[62.5; >95.83]	

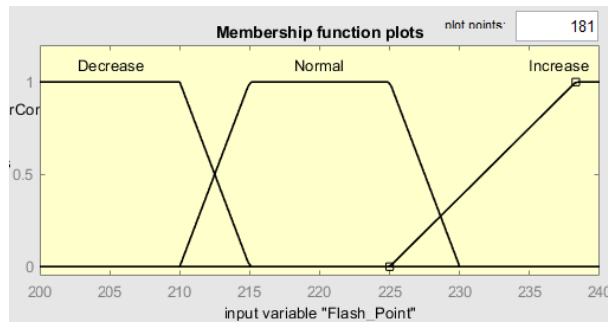
(Sumber: ASTM D 5185-18)

4.3.2.4 Viskositas, Flash Point, Base Number dan Kontaminasi Air (Fuzzy 4)

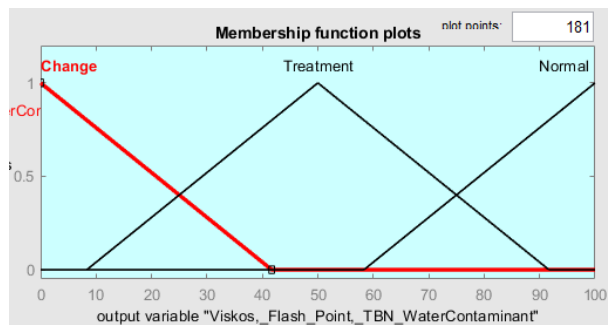
Pada proses penyusunan fungsi keanggotaan himpunan terkait viskositas, titik nyala, *base number* dan kontaminasi air yang juga sebagai masukkan pada *fuzzy* ini. Untuk masukkan berupa kontaminasi dari air terdapat tiga kondisi yaitu, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) yang berfungsi sebagai parameter kandungan kontaminan yang ada pada pelumas dengan tampilan seperti Gambar 4.24. Sedangkan untuk masukkan viskositas, titik nyala dan *base number* terdapat tiga kondisi berupa *Decrease* (Turun), Normal dan *Increase* (Naik) terlihat pada Gambar 4.25. Sama seperti *fuzzy* sebelumnya untuk mengatur batas atau *range* anggota dari himpunan kondisi tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7.



Gambar 4.24 *Membership Function Water Contaminant (Input)*

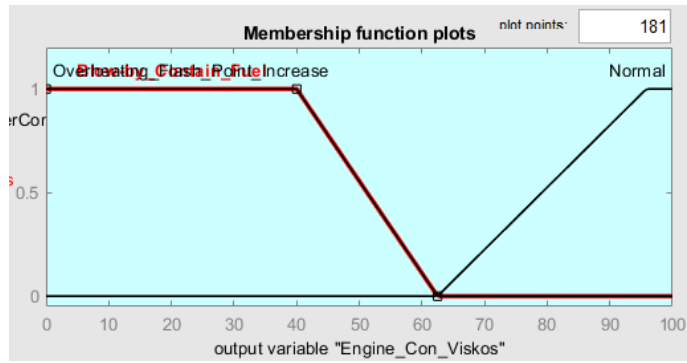


Gambar 4.25 *Membership Function Flash Point (Input)*

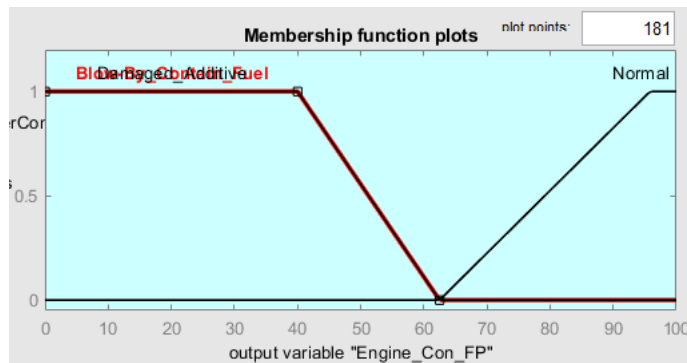


Gambar 4.26 *Membership Function Viskositas, Flash Point, Base Number dan Water Contaminant (Output)*

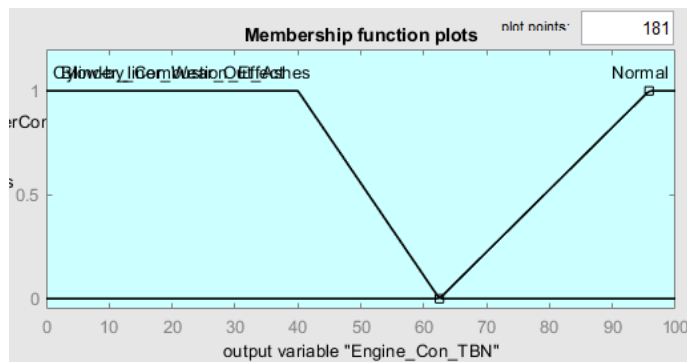
Untuk fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* 4 dalam tipe keluaran pada keluaran komponen logam terdapat tiga kondisi seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.26 dengan kondisi *Change* (Ganti), *Treatment* (Perawatan) dan Normal keluaran ini berfungsi untuk mengetahui kondisi dari pelumas dengan batasan rentang pada Tabel 4.7. Sedangkan untuk keluaran lainnya dengan fungsi kondisi mesin memiliki tiga kondisi yang berbeda sesuai dengan jenis masukkannya seperti Gambar 4.27, Gambar 4.28, Gambar 4.29 dan Gambar 4.30 sama halnya dengan keluaran pada keluaran sebelumnya untuk batasan dari keluaran ini mengacu pada rentang di Tabel 4.7.



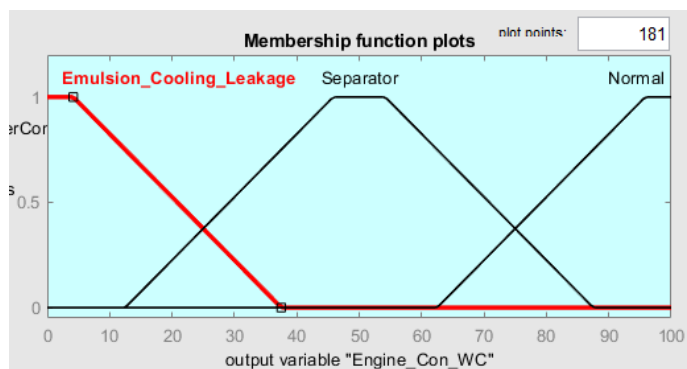
Gambar 4.27 Membership Function Viskositas (Output)



Gambar 4.28 Membership Function Flash Point (Output)



Gambar 4.29 Membership Function Base Number (Output)



Gambar 4.30 Membership Function Water Contaminant (Output)

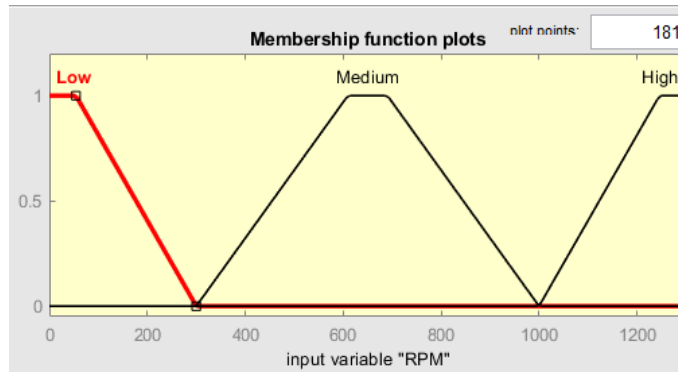
Tabel 4.7 Rentang Fungsi Keanggotaan FIS Viskositas, FP, TBN dan Kontaminasi Air

No.	FIS Variabel	Type	Fungsi Keanggotaan	Rentang
1	Viskositas	Input	Low	[<10.12; 10.63]
2			Normal	[10.12; 10.63; 16.03; 16.88]
3			High	[16.03; >16.88]
4	Flash Point		Low	[<185; 198.3]
5			Normal	[210; 215; 225; 230]
6			High	[225; >238]
7	Base Number		Low	[<2; 2.19]
8			Normal	[2.19; 2.3; 2.5; 2.77]
9			High	[2.77; >3]
10	Water Contaminant	Low	[<0; 0.06]	
11		Normal	[0.2; 0.21; 0.285; 0.3]	
12		High	[0.285; >0.3]	
13	Viskositas Flash Point Base Number Water Cont.	Change	[<4; 37.5]	
14		Treatment	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
15		Normal	[62.5; >95.83]	
16	Engine Condition Viskositas	Blow by (Contain Fuel)	[<30; 50]	
17		Normal	[48; 50; >100]	
18		Overheating	[<30; 50]	
19	Engine Condition Flash Point	Blow by (Contain Fuel)	[<30; 50]	
20		Normal	[48; 50; >100]	
21		Additive Damaged	[<30; 50]	
22	Engine Condition Base Number	Blow by (Combustion's Effect)	[<30; 50]	
23		Normal	[48; 50; >100]	
24		Cylinder liner (Wear Out_Ashes)	[<30; 50]	
25	Engine Condition Water Cont.	Emulsion Cooling Leakage	[<4; 37.5]	
26		Separator	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]	
27		Normal	[62.5; >95.83]	

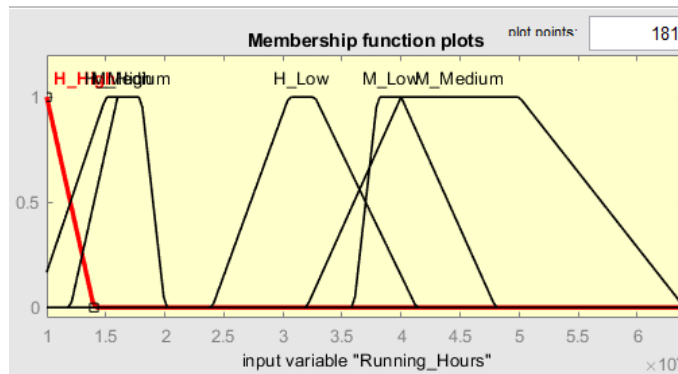
(Sumber: ISO:3104, ISO:2791, ISO:3733 dan ISO:3771.)

4.3.2.5 Main Engine Conditions (Fuzzy 5)

Pada proses penyusunan fungsi keanggotaan himpunan untuk kondisi *main engine* terdapat dua masukkan yaitu RPM dan *running hours*. Untuk masukkan RPM ini terdapat tiga kondisi yaitu, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) yang berfungsi sebagai parameter kategori mesin seperti yang terlihat pada tampilan seperti Gambar 4.31 dengan *range* atau rentang anggota himpunan pada Tabel 4.8. Sedangkan untuk masukkan *running hours* terbagi menjadi jenis dari bahan bakar yang digunakan yaitu HFO (*Heavy Fuel Oil*) dan MDO (*Marine Diesel Oil*) yang umumnya digunakan di kapal, dari kedua jenis bahan bakar tersebut akan dibagi menjadi tiga kondisi yaitu, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) terlihat pada tampilan seperti Gambar 4.31 sama halnya seperti masukkan pada RPM untuk rentang anggota himpunan mengacu pada Tabel 4.32.



Gambar 4.31 Membership Functions RPM (Input)



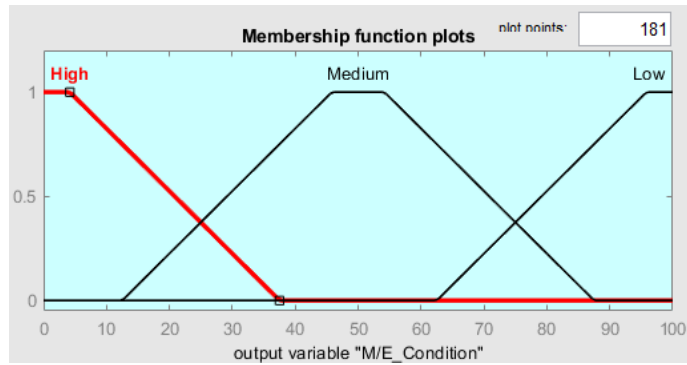
Gambar 4.32 Membership Function Running Hours (Input)

Tabel 4.8 Rentang Fungsi Keanggotaan untuk Main Engine Condition

No.	FIS Variabel	Type	Fungsi Keanggotaan	Rentang
1	RPM	Input	Low	[<54.17; 300]
2			Medium	[300; 600; 700; 1000]
3			High	[1000; >1246]
4	Running Hours		HFO_Low	[24000; 30500; 32700; 41300]
5			HFO_Medium	[12000; 16000; 18000; 20000]
6			HFO_High	[280 8920 10000 14000]
7			MDO_Low	[9000; 15000; 18000; 20000]
8			MDO_Medium	[9000; 15000; 18000; 20000]
9	MDO_High		[36000; 38000; 40000; 48000]	
10	M/E Condition	Output	High	[<4; 37.5]
11			Medium	[12.5; 45.83; 54.17; 87.5]
12			Low	[62.5; >95.83]

(Sumber: Wartsila Engine Type)

Untuk fungsi keanggotaan himpunan kondisi mesin pada keluarannya terdapat tiga kondisi *Change* (Ganti), *Treatment* (Perawatan) dan Normal yang terlihat pada Gambar 4.33 yang menunjukkan lama pemakaian dari mesin dan RPM dari mesin tersebut.



Gambar 4.33 *Membership Functions Main Engine Condition (Output)*

4.3.3 Rule Editor

Penyusunan aturan atau *rule* merupakan langkah selanjutnya setelah melakukan pengaturan fungsi keanggotaan pada himpunan *fuzzy*. Pada fasilitas *rule editor* menampilkan aturan dan penyusunan aturan dengan berbagai perumusan seperti aturan *if-then*, hubungan aturan seperti *or-and* dan juga pemilihan menggunakan fungsi *not* atau tidak. Aturan yang akan di atur pada tahapan ini berupa *linguistic* yang akan kombinasinya disesuaikan dengan teori dari pelumas.

4.3.3.1 Aditif Logam (Fuzzy 1)

Pada penyusunan *rule* atau aturan pada himpunan *fuzzy* aditif logam ini menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya dimana terdapat kondisi, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) dengan rentang atau batasan yang juga sudah ditentukan. Dari fungsi keanggotaan tersebut selanjutnya disusun fungsi *rules* aturan dengan menggunakan fasilitas fungsi *if* untuk masukkan dan *then* untuk menghasilkan keluaran. Dalam pengaturan aturan ini hubungan antar masukkan akan dihubungkan dengan fungsi *and*. Variasi dari tiga *inputan* yang ada pada aditif logam seperti Magnesium (Mg), *Calcium* (Ca) dan *Zinc* (Zn) akan divariasikan per kondisinya sesuai dengan yang tertera pada Tabel 4.9 dengan menghasilkan keluaran yang berbeda sesuai dengan kondisinya untuk keluaran mengenai *LO Condition*. Dalam menentukan kondisi tersebut apabila salah satu masukkan terdapat pada kondisi *high* maka rekomendasi untuk *L/O Condition* berupa penggantian dikarenakan seperti data pada Tabel 4.9 No. 4 dimana pada variabel *Zinc* ada pada kondisi *high* yang kemungkinan terjadi diakibatkan oleh mutu dari aditif pelumas itu sendiri, sehingga di rekomendasikan untuk penggantian pelumas untuk menghindari kerusakan yang dapat terjadi pada mesin.

Tabel 4.9 *Rule Base Linguistic L/O Condition (Aditif Logam)*

No.	Magnesium	Calcium	Zinc	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
4	LOW	HIGH	LOW	Change
5	LOW	LOW	HIGH	Change

Tabel dilanjutkan pada lampiran Aditif Logam (a) pada hal 60

Sedangkan untuk keluaran mengenai *Main Engine Condition* akan divariasikan dengan tiga masukkan yaitu Magnesium (Mg), *Calcium* (Ca) dan *Zinc* (Zn) serta untuk

keluarannya akan di spesifikasikan tergantung masukkannya sehingga untuk keluaran pun terdapat tiga dengan tiap keluarannya akan memiliki kondisi yang berbeda untuk masukkannya seperti yang terlihat pada Tabel 4.10. Sama halnya seperti penentuan rekomendasi pada Tabel 4.9, pada data Tabel 4.10 ini juga apabila terdapat salah satu variabel memiliki kondisi *high* seperti data pada No.7 maka perlunya pemeriksaan pada pipa di *cooling system* karena dengan adanya konten magnesium yang tinggi dapat terindikasi kebocoran pada pipa *cooling system* tersebut.

Tabel 4.10 *Rule Base Linguistic M/E Condition* (Aditif Logam)

NO	Magnesium	Calcium	Zinc	Rekomendasi		
				Mg	Ca	Zn
1	LOW	LOW	LOW	Normal	Normal	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal	Additive	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal	Normal	Additive
4	LOW	HIGH	LOW	Normal	LO Damaged	Normal
5	LOW	LOW	HIGH	Normal	Normal	LO Damaged
6	MEDIUM	LOW	LOW	Separator	Normal	Normal
7	HIGH	LOW	LOW	Cooling Leakage	Normal	Normal

Tabel dilanjutkan pada lampiran Aditif Logam (b) pada hal 60-61

4.3.3.2 Kontaminasi Luar (Fuzzy 2)

Pada penyusunan *rule* atau aturan pada himpunan *fuzzy* kontaminasi luar ini menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya dimana terdapat kondisi, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) dengan rentang atau batasan yang juga sudah ditentukan. Dari fungsi keanggotaan tersebut selanjutnya disusun fungsi *rules* aturan dengan menggunakan fasilitas fungsi *if* untuk masukkan dan *then* untuk menghasilkan *input*. Dalam pengaturan aturan ini hubungan antar masukkan akan dihubungkan dengan fungsi *and*. Variasi dari tiga *inputan* yang ada pada aditif logam seperti Sodium (Na), Silicon (Si) dan Sulfur (S) akan divariasikan per kondisinya sesuai dengan yang tertera pada Tabel 4.11 dengan menghasilkan keluaran yang berbeda sesuai dengan kondisinya untuk keluaran mengenai *LO Condition*. Dalam menentukan kondisi tersebut apabila salah satu masukkan terdapat pada kondisi *high* maka rekomendasi untuk *L/O Condition* berupa penggantian dikarenakan seperti data pada Tabel 4.11 No. 5 dimana pada variabel *Sulfur* ada pada kondisi *high* yang kemungkinan terjadi diakibatkan terkontaminasinya pelumas dengan bahan bakar sehingga pelumas perlu diganti untuk menghindari naiknya *flashpoint* dan turunnya *base number*.

Tabel 4.11 *Rule Base Linguistic L/O Condition* (Kontaminasi Luar)

No.	Sodium	Silicon	Sulfur	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
4	LOW	HIGH	LOW	Change
5	LOW	LOW	HIGH	Change

Tabel dilanjutkan pada lampiran Kontaminasi Luar (a) pada hal 61-62

Sedangkan untuk keluaran mengenai *Main Engine Condition* akan divariasikan dengan tiga masukkan yaitu Sodium (Na), *Silicon* (Si) dan Sulfur (S) serta untuk keluaranya akan di spesifikasikan tergantung masukkannya sehinga untuk keluaran pun terdapat tiga dengan tiap keluarannya akan memiliki kondisi yang berbeda untuk masukkannya seperti yang terlihat pada Tabel 4.12. Sama halnya seperti penentuan rekomendasi pada Tabel 4.11, pada data Tabel 4.12 ini juga apabila terdapat salah satu variabel memiliki kondisi *high* seperti data pada No.5 maka perlunya pemeriksaan pada *seal* antara piston dan *cylinder liner* karena dapat terjadi kebocoran atau *seal* tersebut rusak sehingga menyebabkan pelumas tercampur oleh bahan bakar.

Tabel 4.12 *Rules Base Linguistic M/E Condition* (Kontaminasi Luar)

No.	Sodium	Silicon	Sulfur	Rekomendasi		
				Na	Si	S
1	LOW	LOW	LOW	Normal	Normal	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal	Service	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal	Normal	Service
4	LOW	HIGH	LOW	Normal	Filter	Normal
5	LOW	LOW	HIGH	Normal	Normal	Blow by
6	MEDIUM	LOW	LOW	Service	Normal	Normal
7	HIGH	LOW	LOW	Cooling Syst Leakage	Normal	Normal

Tabel dilanjutkan pada lampiran Kontaminasi Luar (b) pada hal 62

4.3.3.3 *Komponen Logam (Fuzzy 3)*

Pada penyusunan *rule* atau aturan pada himpunan *fuzzy* komponen logam ini menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya dimana terdapat kondisi, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) dengan rentang atau batasan yang juga sudah ditentukan. Dari fungsi keanggotaan tersebut selanjutnya disusun fungsi *rules* aturan dengan menggunakan fasilitas fungsi *if* untuk masukkan dan *then* untuk menghasilkan *input*. Dalam pengaturan aturan ini hubungan antar masukkan akan dihubungkan dengan fungsi *and*. Variasi dari lima *inputan* yang ada pada komponen logam seperti *Iron* (Fe), *Cooper* (Cu), *Aluminum* (Al), *Nickel* (Ni) dan *Tin* (Sn) akan divariasikan per kondisinya sesuai dengan yang tertera pada Tabel 4.13 dengan menghasilkan keluaran yang berbeda sesuai dengan kondisinya untuk keluaran mengenai *LO Condition*. Dalam menentukan kondisi tersebut apabila salah satu masukkan terdapat pada tiga variabel yang mengalami kondisi *medium* maka rekomendasi untuk *L/O Condition* berupa *treatment* dikarenakan dinilai untuk kontaminasi yang terjadi terlalu banyak seperti data pada Tabel 4.13 No. 12 dimana pada variabel *Cooper*, *Aluminum*, dan *Nickel* pada kondisi *medium* yang mengakibatkan terdapatnya *gram* dari komponen pada mesin yang mengalami keausan sehingga tercampur oleh pelumas, maka rekomendasi pada kondisi pelumas yaitu *treatment* dengan menggunakan separator yang dapat berupa filter ataupun sentrifugal untuk memisahkan konten komponen logam dari pelumas.

Tabel 4.13 *Rules Base Linguistic L/O Condition (Komponen Logam)*

No.	Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	Normal
4	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
5	LOW	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
6	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	LOW	Normal
7	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	Normal
8	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Normal
9	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Normal
10	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
11	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	Normal
12	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment

Tabel dilanjutkan pada lampiran Komponen Logam (a) pada hal 62-68

Sedangkan untuk keluaran mengenai Main Engine Condition akan divariasikan dengan lima masukan yaitu *Iron* (Fe), *Cooper* (Cu), *Aluminum* (Al), *Nickel* (Ni) dan *Tin* (Sn) serta untuk keluarannya akan di spesifikasikan tergantung masukkannya sehingga untuk keluaran pun terdapat lima dengan tiap keluarannya akan memiliki kondisi yang berbeda untuk masukkannya seperti yang terlihat pada Tabel 4.14. Untuk menentukan penentuan rekomendasi pada Tabel 4.14 apabila terdapat variabel memiliki kondisi *medium* seperti data pada No.2 sampai dengan No.5 dimana terdapat kondisi *medium* yang mengeluarkan rekomendasi berupa *service* yang sesuai dengan variabelnya. Rekomendasi *service* pada hal ini berupa pengecekan pada komponennya untuk melihat berapa besar atau parah keausan yang terjadi pada komponen mesin.

Tabel 4.14 *Rules Base Linguistic M/E Condition (Komponen Logam)*

No.	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
1	L	L	L	L	L	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2	L	M	L	L	L	NORMAL	SERVICE	NORMAL	NORMAL	NORMAL
3	L	L	M	L	L	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL	NORMAL
4	L	L	L	M	L	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL
5	L	L	L	L	M	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE

-Tabel dilanjutkan pada lampiran Komponen Logam (b) pada hal 68-74

4.3.3.4 *Viskositas, Flash Point, Base Number dan Kontaminasi Air (Fuzzy 4)*

Pada penyusunan *rule* atau aturan pada himpunan *fuzzy* 4 ini menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya dimana terdapat kondisi, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) dengan rentang atau batasan yang juga sudah ditentukan. Dari fungsi keanggotaan tersebut selanjutnya disusun fungsi *rules* aturan dengan menggunakan fasilitas fungsi *if* untuk masukkan dan *then* untuk menghasilkan *input*. Dalam pengaturan aturan ini hubungan antar masukkan akan dihubungkan dengan fungsi *and*. Variasi

dari empat masukkan yang ada pada himpunan *fuzzy* ini seperti Viskositas, *flashpoint*, *base number* dan *water contaminant* akan divariasikan per kondisinya sesuai dengan yang tertera pada Tabel 4.15 dengan menghasilkan keluaran yang berbeda sesuai dengan kondisinya untuk keluaran mengenai *LO Condition*. Seperti halnya pada No.6 dimana untuk variabel seperti viskositas, *flashpoint*, dan *base number* memiliki kondisi normal pada *range medium* sehingga pada data No. 6 pada *base number* memiliki kondisi yang tidak normal atau degraded sedangkan untuk variabel kontaminasi air kondisinya normalnya yaitu *low*. Maka rekomendasi yang dianjurkan untuk pelumas berupa penambahan aditif.

Tabel 4.15 Rules Base Linguistic L/O Condition (Fuzzy 4)

No.	Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	LOW	Change
2	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	Change
3	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	Change
4	LOW	HIGH	LOW	LOW	Change
5	HIGH	LOW	LOW	LOW	Change
6	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	Treatment

Tabel dilanjutkan pada lampiran Fuzzy 4 (a) pada hal 74-76

Sedangkan untuk keluaran mengenai *Main Engine Condition* akan divariasikan dengan lima masukkan yaitu Viskositas, *flashpoint*, *base number* dan *water contaminant* serta untuk keluarannya akan di spesifikasikan tergantung masukkannya sehingga untuk keluaran pun terdapat empat dengan tiap keluarannya akan memiliki kondisi yang berbeda untuk masukkannya seperti yang terlihat pada Tabel 4.16. Sama halnya seperti pembahasan pada Tabel 4.15 untuk data pada Tabel 4.16 variabel yang mengalami kondisi tidak normal berupa *base number* dimana mengalami degraded yang kemungkinan disebabkan oleh mutu aditif pelumas yang sudah kurang bagus atau tercampur pelumas yang berbeda selain disebabkan oleh aditif pelumas yang kurang bagus penurunan *base number* ini dapat disebabkan oleh tercampurnya bahan bakar hingga perlu pemeriksaan pada *seal* yang ada pada *combustion chamber*. Namun dikarenakan pada *flashpoint* dan viskositas tidak mengalami perubahan maka kemungkinan terbesar diakibatkan oleh mutu aditif pelumas yang kurang bagus.

Tabel 4.16 Rules Base Linguistic M/E Condition (Fuzzy 4)

No.	Vis	FP	BN	WC	Rekomendasi			
					Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont.
1	D	L	D	L	OVERHEATING	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL
2	D	N	D	L	OVERHEATING	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL
3	N	L	D	L	NORMAL	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL
4	D	H	D	L	OVERHEATING	ADDITIVE	BLOW-BY	NORMAL
5	I	L	D	L	BLOW-BY	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL
6	N	N	D	L	NORMAL	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL

Tabel dilanjutkan pada lampiran Fuzzy 4 (b) pada hal 76-78

4.3.3.5 M/E Condition

Pada penyusunan *rule* atau aturan pada himpunan *fuzzy* kondisi mesin ini menggunakan fungsi keanggotaan yang telah dibentuk pada tahap sebelumnya dimana

terdapat kondisi, *Low* (Rendah), *Medium* (Sedang) dan *High* (Tinggi) dengan rentang atau batasan yang juga sudah ditentukan. Dari fungsi keanggotaan tersebut selanjutnya disusun fungsi *rules* aturan dengan menggunakan fasilitas fungsi *if* untuk memasukkan dan *then* untuk menghasilkan *input*. Dalam pengaturan aturan ini hubungan antar masukkan akan dihubungkan dengan fungsi *and*. Variasi dari dua masukkan yang ada pada himpunan *fuzzy* ini seperti RPM dan *running hours* akan divariasikan per-kondisinya sesuai dengan yang tertera pada Tabel 4.17.

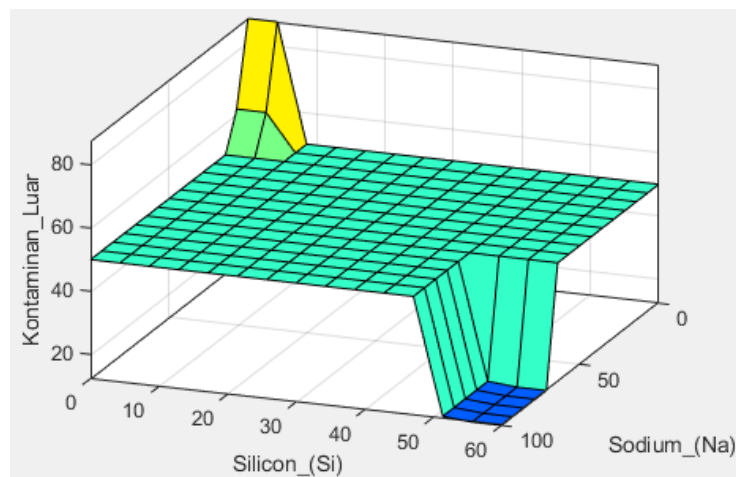
Tabel 4.17 Rule Base Linguistic M/E Condition

No.	RPM	Running Hours	M/E Condition
1	LOW	HFO_HIGH	High Used
2	LOW	HFO_MEDIUM	Medium Used
3	LOW	HFO_LOW	Low Used
4	MEDIUM	HFO_HIGH	High Used
5	MEDIUM	HFO_MEDIUM	Medium Used
6	MEDIUM	HFO_LOW	Low Used

Tabel dilanjutkan pada lampiran M/E Condition pada hal 78

4.3.4 Pemetaan Membership Function pada Sistem Fuzzy

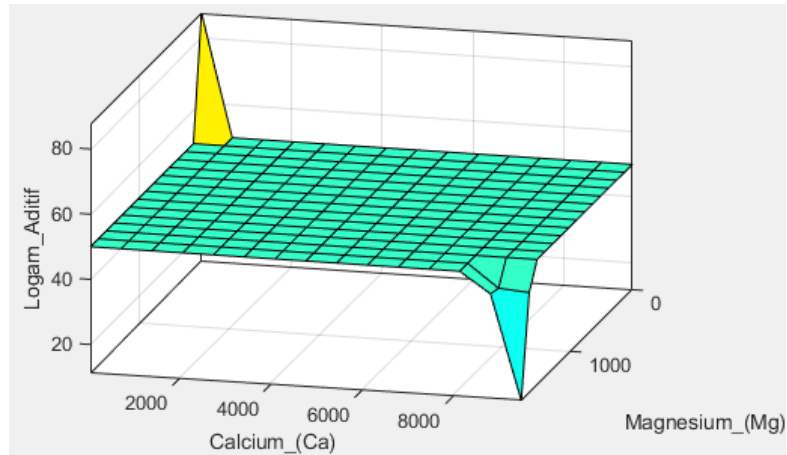
Pada proses ini setelah program telah terbentuk langkah selanjutnya melihat keseluruhan dari himpunan yang telah dirangkai aturannya membentuk sebuah *surface view*. Pada *surface view* tersebut dapat terlihat hubungan antar aturan mengenai masukkan dan keluaran hingga menyajikan *surface*, apabila terjadi cekukkan maka terjadi *error* pada aturan yang telah dibuat. Berikut pada Gambar 4.34, Gambar 4.35, Gambar 4.36 dan Gambar 4.37 merupakan *surface* dari himpunan *fuzzy* yang telah dirangkai di tahapan sebelumnya.



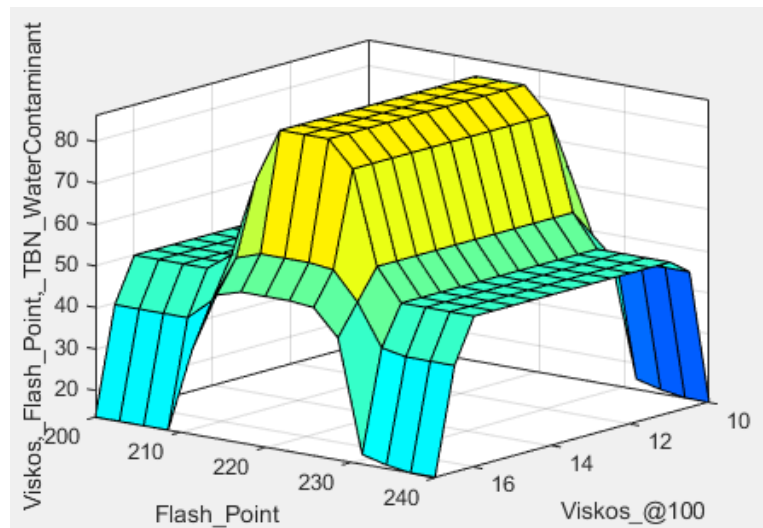
Gambar 4.34 Surface View untuk himpunan *fuzzy* Kontaminan Luar (Si vs Na)

Pada Gambar 4.34 terlihat bentuk *surface view* yang terbentuk dalam *range* 100-0 dimana untuk posisi 100 merupakan kondisi normal dan posisi 0 (nol) merupakan posisi *change* (ganti) untuk keluaran berupa *L/O Condition*. Terlihat pula pada *surface view* tersebut terdapat bidang datar pada angka 50 yang merupakan bentuk keluaran dengan kondisi *treatment* atau

perawatan, *surface* pada himpunan *fuzzy* ini terbentuk dari aturan yang sebelumnya telah dibuat. Begitupun pada Gambar 4.35 yang memiliki *surface* serupa dengan Gambar 4.34.

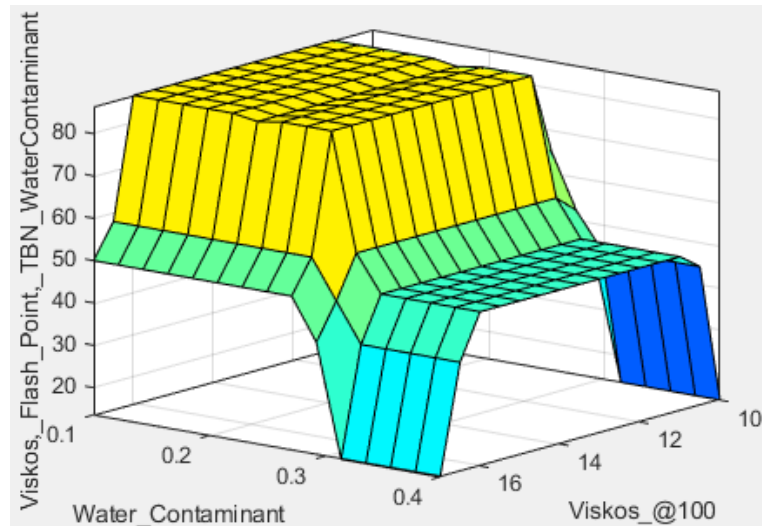


Gambar 4.35 *Surface View* untuk himpunan *fuzzy* Logam Aditif (Ca vs Mg)

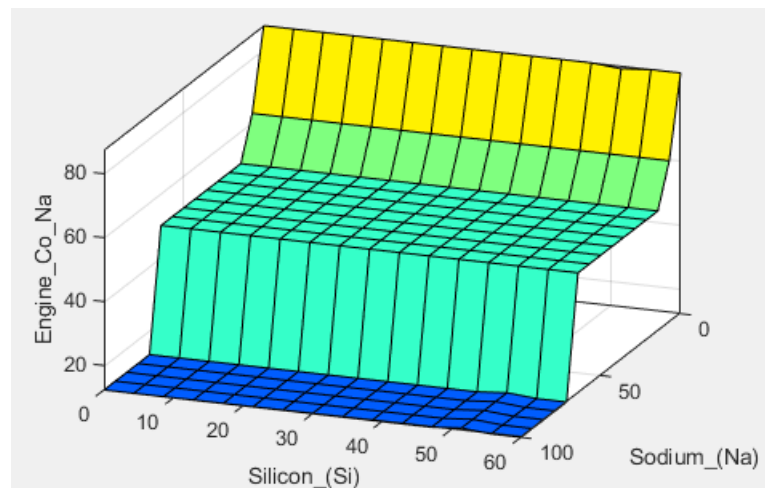


Gambar 4.36 *Surface View* untuk himpunan *fuzzy* mengenai Viskositas, *Flash Point*, *Base Number* dan *Water Contaminant*.

Pada Gambar 4.36 terlihat bentuk yang berbeda dari *surface view* sebelumnya. Pada *surface view* ini antara *flashpoint* dan viskositas memiliki titik normal pada tengah atau kondisi *medium* sehingga terlihat pada *surface* tersebut titik tertinggi atau 100 berada di tengah sedangkan pada nilai masing-masing yang berada pada rendah ataupun tinggi memiliki posisi *low* (0) yang dimana berarti kondisi *change* (ganti). Untuk *surface* pada viskositas, *flashpoint* dan *base number* memiliki gambaran yang serupa. Sedangkan untuk kontaminasi dari air memiliki *surface* yang berbeda dikarenakan pada kontaminasi air titik normalnya mulai dari kondisi *low* (rendah) hingga *medium* (sedang) seperti Gambar 4.37.



Gambar 4.37 *Surface View* untuk himpunan *fuzzy* mengenai Kontaminasi Air dengan Viskositas



Gambar 4.38 *Surface View* untuk keluaran pada *M/E Condition* (Si vs Na)

Untuk *surface view* pada keluaran yang mengenai *M/E Condition* mempunyai *surface* yang serupa dikarenakan memiliki kondisi dan perumusan aturan yang serupa seperti yang terlihat pada Gambar 4.38.

4.4 Validasi Sistem Fuzzy Logic

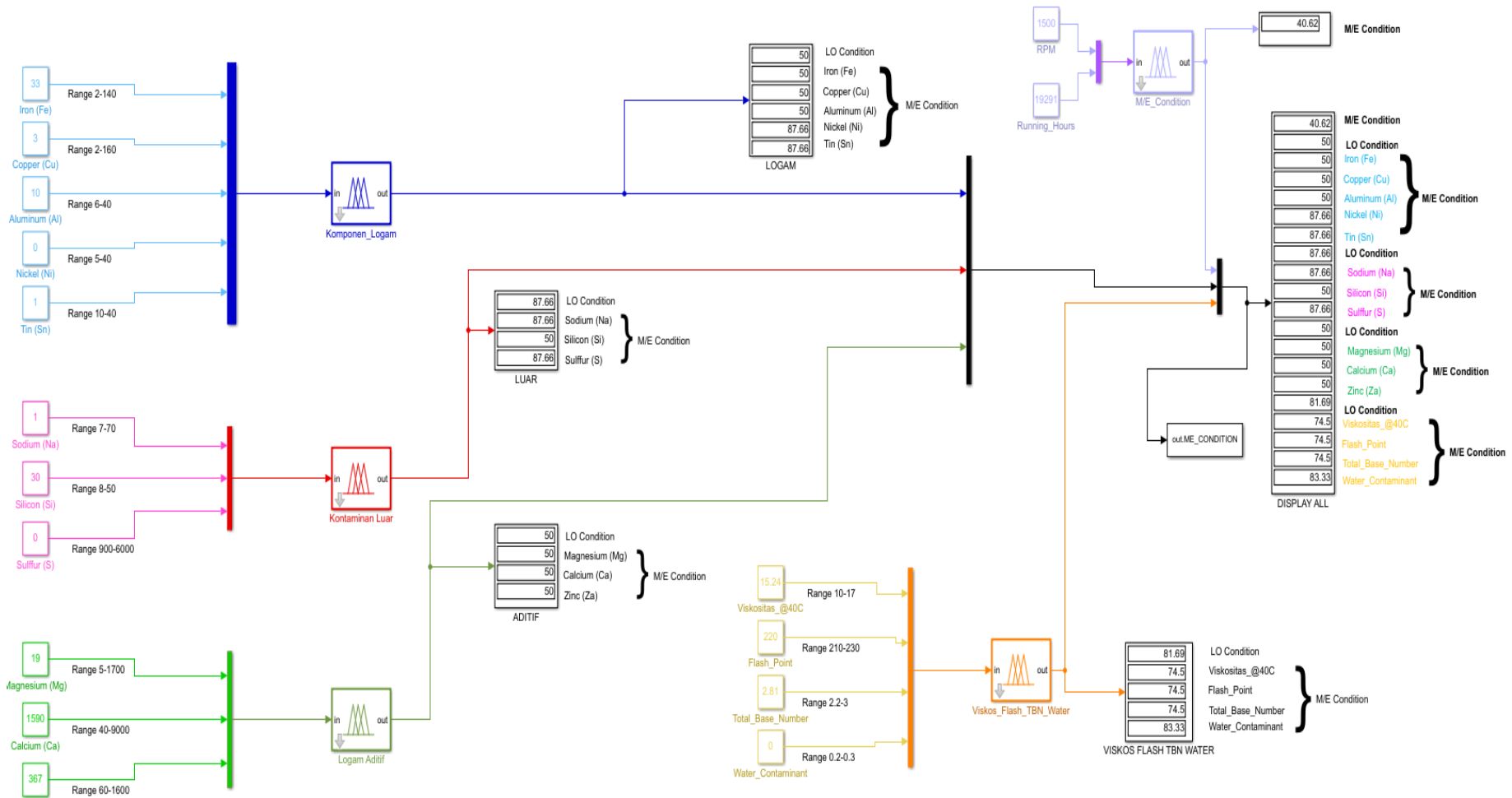
Pada tahap ini akan dilakukan validasi mengenai *membership function* yang telah dirangkai dengan *rules* dengan data nyata mengenai kondisi pelumas. Data yang digunakan untuk membenturkan kondisi pelumas tersebut merupakan data *Oil Analysis Report* yang diambil secara acak melalui situs dengan *grade* pelumas yang sama yaitu SAE40. Nilai yang tertera *Oil Analysis Report* tersebut akan dimasukkan ke dalam fasilitas Simulink yang terdapat pada MATLAB seperti yang tertera pada Gambar 3.3. dimana pada rangkaian tersebut seluruh masukkan akan dihubungkan masing-masing dengan FIS yang telah terbentuk yang selanjutnya dari FIS tersebut akan di hubungkan dengan *demux* yang akan mengeluarkan *output* sesuai dengan FIS yang telah ada.

Dalam proses tersebut hasil rekomendasi dan analisa dari *Oil Analysis Report* akan dibenturkan dengan keluaran yang terbentuk melalui Simulink, apabila dalam Simulink tersebut terdapat *error* atau keluarannya tidak sesuai maka batas pada *membership function* dan *rules* akan ditinjau kembali dan proses tersebut akan dilakukan hingga tidak terjadi *error* atau keluaran yang tidak sama antara Simulink dan *Oil Analysis Report*.

Tabel 4.18 *Value* untuk Simulasi

Viskositas	15,24	cSt	Sulfur	0	ppm
Flash Point	220	°C	Iron	33	ppm
TBN	2,81	mg KOH/g	Cooper	3	ppm
Water Contaminant	0	%	Aluminum	10	ppm
Magnesium	19	ppm	Nickel	0	ppm
Calcium	1590	ppm	Tin	1	ppm
Zinc	367	ppm	RPM	1500	
Natrium	1	ppm	Running Hours	19291	
Silicon	4	ppm			

Tabel 4.18 merupakan salah satu *Oil Analysis Report* dengan *grade* pelumas SAE40 dengan mesin CAT-3516 serta beberapa tambahan data seperti RPM mesin yaitu 1500 yang digunakan sebagai data uji validasi dari pemograman *fuzzy* untuk di masukkan nilai *testnya* ke dalam simulator Simulink.



Gambar 4.39 Running Simulink

40.62	M/E Condition	
50	LO Condition	
50	Iron (Fe)	} M/E Condition
50	Copper (Cu)	
50	Aluminum (Al)	
87.66	Nickel (Ni)	
87.66	Tin (Sn)	
87.66	LO Condition	
87.66	Sodium (Na)	} M/E Condition
50	Silicon (Si)	
87.66	Sulfur (S)	
50	LO Condition	
50	Magnesium (Mg)	} M/E Condition
50	Calcium (Ca)	
50	Zinc (Zn)	
81.69	LO Condition	
74.5	Viskositas_@40C	} M/E Condition
74.5	Flash_Point	
74.5	Total_Base_Number	
83.33	Water_Contaminant	

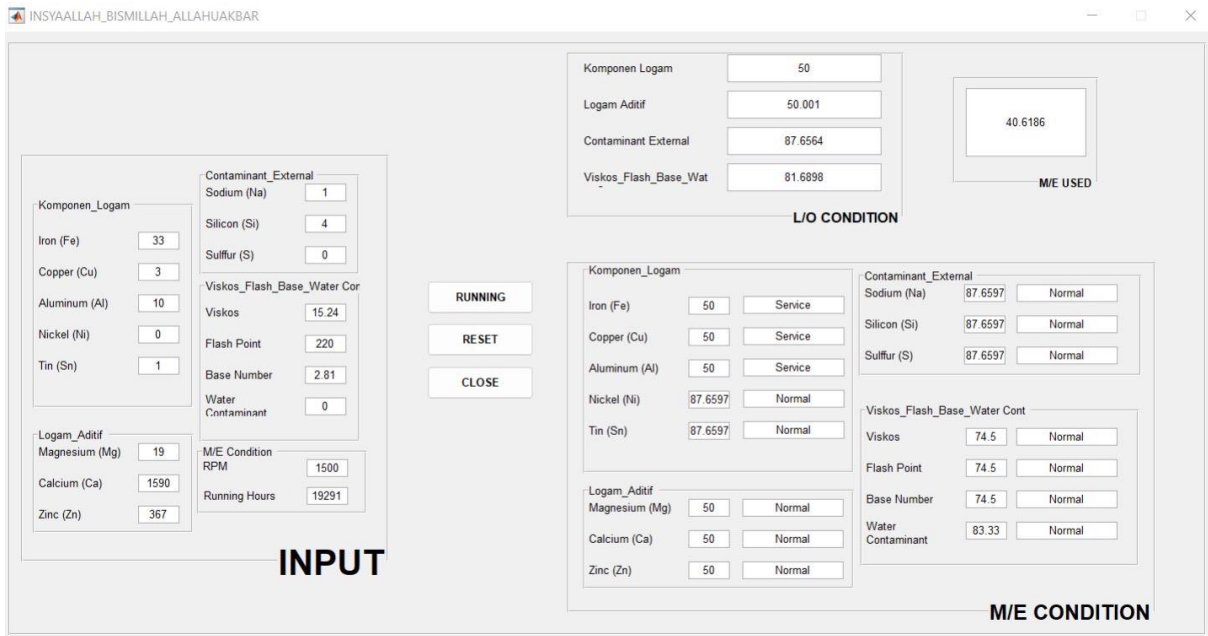
DISPLAY ALL

Gambar 4.40 *Display* Seluruh FIS

Dari Gambar 4.39 dan Gambar 4.40 setelah dimasukkan nilai *test* dari Tabel 4.18 menghasilkan kondisi yang serupa dengan rekomendasi dari laboratorium pengujian pelumas, dimana dalam validasi hasil dari laboratorium menunjukkan pada komponen logam memiliki kontaminan yang nilainya cukup besar pada variabel Fe atau besi yaitu 33 ppm. Hal yang sama ditunjukkan pada hasil simulasi Simulink yaitu menunjukkan angka keluaran dengan *linguistic treatment*, juga pada komponen *aluminum* yaitu 10 ppm serta *copper* 3 ppm. Sehingga baik dari laporan laboratorium ataupun simulasi memberikkan rekomendasi berupa pengecekan pada komponen yang sekiranya mengalami keausan yaitu pada Fe yang kemungkinan berasal dari *cylinder liner*, pada Al kemungkinan pada piston, *crankshaft bearing* ataupun *casings* dan pada Cu yaitu *bearings*. Sedangkan, untuk kondisi dari pelumas sendiri dibutuhkananya separator untuk memisahkan konten padat atau sedimen yang terkandung di pelumas tersebut.

4.5 GUI (Graphical User Interface)

Setelah melakukan pembentukan *membership function* hingga melakukan validasi pada Simulink MATLAB. Hasil keluaran dari Simulink MATLAB tersebut akan di desain melalui GUI (*Graphical User Interface*) untuk menghasilkan *Interface Simulator* agar mempermudah memasukkan nilai dan pembacaan hasil baik secara numerik maupun linguistik seperti yang terlihat pada Gambar 4.41. Pembuatan GUI ini sendiri didasari dari pengkodean yang dilakukan pada *Command Windows* MATLAB sehingga dapat menghasilkan tampilan yang mudah dipahami mengenai kondisi pelumas dan kondisi mesin.



Gambar 4.41 *Graphical User Interface*

BAB 5

KESIMPULAN

5.1 Gambaran Umum Penelitian

Dengan kapal yang memiliki banyak sistem dengan salah satunya *L/O System* dan mesin merupakan komponen terpenting di kapal maka perawatan perlu dilakukan secara berkala untuk menjaga komponen dan fungsi dari mesin tersebut. Seiring dengan waktu pengoperasian baik mesin maupun pelumasnya akan mengalami penurunan kondisi sehingga dari kapal memiliki rentang waktu untuk melakukan pemeriksaan pelumas yang juga dapat mengindikasikan kondisi dari mesin. Penelitian ini ditunjukkan untuk mempermudah dalam mengambil keputusan dengan merancang sistem pendukung menggunakan *fuzzy logic* untuk dapat memantau dan mengetahui kondisi pelumas maupun mesin kapal.

5.2 Kesimpulan

Bedasarkan tujuan dari penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut,

1. Dalam melakukan penelitian ini, pada penyusunan *membership function* berdasarkan regulasi yang mendukung dapat menghasilkan prediksi dari kondisi pelumas yang dibagi menjadi tiga yaitu Normal, *Treatment* dan *Change*. Dalam menentukan batas dari *membership function* tersebut mengacu pada regulasi seperti ASTM dan juga ISO. Mengenai kondisi mesin akan dipantau melalui kandungan konten yang ada pada pelumas.
2. Dalam melakukan penelitian ini, pada penyusunan *rules* mengenai kondisi dari pelumas didasari oleh regulasi dan teori untuk merangkai kondisi dari pelumas dan mesin yang didasari dari karakteristik pelumas ataupun kandungan logam dan aditif yang terkandung pada pelumas melalui informasi perawatan.
3. Dari penelitian ini dapat menghasilkan rekomendasi terkait kondisi pelumas dan mesin dengan keluaran sesuai dengan yang jumlah satuan pada *variabelnya* baik ketika dalam kondisi rendah, sedang dan tinggi yang akan memiliki rekomendasi berbeda disesuaikan dengan *variabel*. Rekomendasi pada penelitian ini divalidasi dengan data pada *report oil analysis*, dimana menunjukkan hasil yang serupa dari jumlah satuan pada komponen logam memiliki kontaminan pada *variable iron* kontaminannya masuk yaitu pada *iron* kondisi perawatan (2-140 ppm) yaitu 33 ppm, *aluminum* pada kondisi perawatan (6-40 ppm) yaitu 10 ppm serta *copper* pada kondisi perawatan (2-160 ppm) yaitu 3 ppm. Melalui data tersebut dari sistem merekomendasikan untuk *Service* dengan numerik 50%, untuk komponen logam *main engine* pengecekan dilakukan pada Fe (*cylinder liner*), Al (piston, *crankshaft bearing* ataupun *casings*), dan Cu (*bearings*). Sedangkan, untuk kondisi dari pelumas dibutuhkannya *separator* untuk memisahkan konten padat (*gram*) yang terkandung.

5.3 Saran

Pengembangan penelitian ini dapat dilakukan penambahan permodelan mengenai degradasi pelumas dengan fungsi waktu yang bisa dikombinasikan dengan *Machine Learning*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisjah, A. S. (2011). *Perancangan Sistem Pengendalian Pada Kapal Berbasis Data Ais (Automatic Identification System) Untuk Menghindari Tabrakan Di Perairan*. February.
- Arisandi, M., Darmanto, & Priangkoso, T. (2012). Pelumas Terhadap Viskositas. *MomentumMomentum*, Vol. 8, No. 1, 8(1), 56–61.
- Aryantini, P. W. (2017). Penilaian Risiko Ship To Ship Transfer Kapal Lpg Tanker Pertamina Gas 1 Menggunakan Metode Fuzzy Inference System Studi Kasus : Unloading Muatan Di Perairan Kalbut , Situbondo. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.
- Astrilyana, A., & Afni, N. (2017). Penerapan Metode Fuzzy Inference System (Fis) Dalam Membuat Model Penilaian Pemahaman Mata Pelajaran Pemrograman Web. *None*, 13(2), 281–288.
- Dari, W. (2018). Penerapan Metode Fuzzy Inference System (Fis) Untuk Penilaian Kinerja Karyawan Level Supervisor-Manager Pada Pt . Tpil Logistics Jakarta. *Jurnal Teknik Komputer*, 4(1), 123–127.
- Dharmastiti, R., & Riyadi, M. S. (2010). Evaluasi Penggantian Pelumas Meditran S 40 Pada Mesin Diesel Cummins KTA 38. *Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) Ke-9*, 13–15.
- EFENDI, F. (2016). Analisis Pengukuran Kinerja Pemeliharaan Kapal : Studi Kasus Pelayaran Perintis Analysis of Performance Measurement Maintenance of Ship : Case Study Shipping Pioneers. *TEKNOLOGI KELAUTAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER*.
- FRANSISKO, I. (2016). *Decision Support System Based on Automatic Identification System (Ais) for Illegal Unregulated Unreported (Iuu) Fishing Identification Using Fuzzy Logic*.
- Galbi, M., & A, I. (2017). Prediksi Penggantian Minyak Pelumas Motor Diesel Generator Set Berdasarkan Laju Perubahan Viskositas Dan Total Base Number Dengan Pendekatan Linieritas. *Bina Teknika*, 12(1), 111. <https://doi.org/10.54378/bt.v12i1.97>
- Hidayat, E. A., Iskandar, B. H., Purwangka, F., & Soeboer, D. A. (2019). Pola Penggunaan Pelumas Pada Mesin Kapal Nelayan Di Pangkalan Pendaratan Ikan (Ppi) Kota Kendari. *ALBACORE Jurnal Penelitian Perikanan Laut*, 3(1), 85–93. <https://doi.org/10.29244/core.3.1.85-93>
- Lansdown, A. R. (1982). *Lubrication: a practical guide to lubricant selection*.
- Logistik, I. K. dan. (2021). *Overhaul Mesin Kapal*. [Www.Kapaldanlogistik.Com](http://www.kapaldanlogistik.com). <https://www.kapaldanlogistik.com/2021/03/overhaul-mesin-kapal.html> (Di akses pada 23:00 WIB)
- Mulyana, S. (2020). FUZZY LOGICS AND ITS APPLICATIONS. *Universitas Gadjah Mada*, 221–240.
- Nasution, H. (2012). Implementasi Logika Fuzzy pada Sistem Kecerdasan Buatan. *ELKHA: Jurnal Teknik Elektro*, 4(2), 4–8. <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/512>
- Nugraha, G. N. (2018). ANALISA KELAYAKAN UMUR PAKAI MINYAK PELUMAS FEDERAL OIL ULTRATEC SAE 20W-50 BERDASARKAN VISKOSITAS

KINEMATIK DAN TOTAL BASE NUMBER PADA SEPEDA MOTOR HONDA SUPRA X 125. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*.

- Nugroho, R. N., & Sunarno, H. (2017). Identifikasi Fisis Viskositas Pelumas Mesin Kendaraan Bermotor terhadap Fungsi Suhu dengan Menggunakan Laser Helium Neon. *Appj* 2016, 8(2), 1–5. <https://ejournal.unri.ac.id/index.php/JST/article/view/3990/3874%0Ahttp://jetm.polinema.ac.id/>
- Priharanto, Y. E., & Abrori, M. Z. L. (2019). *PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS DAN FAULT TREE ANALYSIS UNTUK*. *September*.
- Ratna, I. (2020). KAJIAN KEGAGALAN DAN PERAWATAN PADA SISTEM PELUMAS MESIN DIESEL DI KAPAL. *Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Universitas Hang Tuah*, 1(I), 1–6.
- Samsinar, R., Almanda, D., & Priatna, E. (2019). Sistem Pengingat Ganti Pelumas Berdasarkan Running Hours Mesin, Lama Waktu Pemakaian dan Kekentalan Pelumas pada Mesin Wire Drawing Berbasis Raspberry Pi 1. *RESISTOR (ElektRONika KEndali TelekomunikaSI Tenaga LiSTrik KOmputeR)*, 2(2), 121. <https://doi.org/10.24853/resistor.2.2.121-130>
- Sudradjat. (2008). Dasar-Dasar Fuzzy Logic. *Pustaka Universitas Padjajaran*, 1(1). <https://doi.org/10.14710/medstat.1.1.43-51>
- Zadeh, L. A. (2013). Fuzzy logic. *Computational Complexity: Theory, Techniques, and Applications*, 9781461418, 1177–1200. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1800-9_73

LAMPIRAN

A. DATA

1. Aditif Logam (Fuzzy 1)

a. Rule Base Linguistic L/O Condition (Aditif Logam)

No.	Magnesium	Calcium	Zinc	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
4	LOW	HIGH	LOW	Treatment
5	LOW	LOW	HIGH	Change
6	MEDIUM	LOW	LOW	Normal
7	HIGH	LOW	LOW	Change
8	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
9	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
10	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
11	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Change
12	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Change
13	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
14	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
15	HIGH	HIGH	HIGH	Change
16	HIGH	LOW	HIGH	Change
17	HIGH	HIGH	LOW	Change
18	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
19	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
20	LOW	HIGH	HIGH	Change
21	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
22	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
23	LOW	HIGH	MEDIUM	Treatment
24	MEDIUM	LOW	HIGH	Treatment
25	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
26	HIGH	LOW	MEDIUM	Treatment
27	HIGH	MEDIUM	LOW	Treatment

b. Rule Base Linguistic M/E Condition (Aditif Logam)

NO	Magnesium	Calcium	Zinc	Rekomendasi		
				Mg	Ca	Zn
1	LOW	LOW	LOW	Normal	Normal	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal	Additive	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal	Normal	Additive
4	LOW	HIGH	LOW	Normal	LO Damaged	Normal
5	LOW	LOW	HIGH	Normal	Normal	LO Damaged
6	MEDIUM	LOW	LOW	Separator	Normal	Normal
7	HIGH	LOW	LOW	Cooling Leakage	Normal	Normal

NO	Magnesium	Calcium	Zinc	Rekomendasi		
				Mg	Ca	Zn
8	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Separator	Additive	Additive
9	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Separator	Normal	Additive
10	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Separator	Additive	Normal
11	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Separator	LO Damaged	Additive
12	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Separator	Additive	LO Damaged
13	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Normal	Additive	Additive
14	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Cooling Leakage	Additive	Additive
15	HIGH	HIGH	HIGH	Cooling Leakage	LO Damaged	LO Damaged
16	HIGH	LOW	HIGH	Cooling Leakage	Normal	LO Damaged
17	HIGH	HIGH	LOW	Cooling Leakage	LO Damaged	Normal
18	HIGH	MEDIUM	HIGH	Cooling Leakage	Additive	LO Damaged
19	HIGH	HIGH	MEDIUM	Cooling Leakage	LO Damaged	Additive
20	LOW	HIGH	HIGH	Normal	LO Damaged	LO Damaged
21	MEDIUM	HIGH	HIGH	Separator	LO Damaged	LO Damaged
22	LOW	MEDIUM	HIGH	Normal	Additive	LO Damaged
23	LOW	HIGH	MEDIUM	Normal	LO Damaged	Additive
24	MEDIUM	LOW	HIGH	Separator	Normal	LO Damaged
25	MEDIUM	HIGH	LOW	Separator	LO Damaged	Normal
26	HIGH	LOW	MEDIUM	Cooling Leakage	Normal	Additive
27	HIGH	MEDIUM	LOW	Cooling Leakage	Additive	Normal

2. Kontaminasi Luar (Fuzzy 2)

a. Rule Base Linguistic L/O Condition (Kontaminasi Luar)

No.	Sodium	Silicon	Sulphur	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
4	LOW	HIGH	LOW	Change
5	LOW	LOW	HIGH	Change
6	MEDIUM	LOW	LOW	Normal
7	HIGH	LOW	LOW	Treatment
8	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
9	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
10	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
11	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Change
12	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Change
13	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
14	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
15	HIGH	HIGH	HIGH	Change
16	HIGH	LOW	HIGH	Change
17	HIGH	HIGH	LOW	Change
18	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change

No.	Sodium	Silicon	Sulphur	LO Condition
19	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
20	LOW	HIGH	HIGH	Change
21	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
22	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
23	LOW	HIGH	MEDIUM	Treatment
24	MEDIUM	LOW	HIGH	Treatment
25	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
26	HIGH	LOW	MEDIUM	Treatment
27	HIGH	MEDIUM	LOW	Treatment

b. Rule Base Linguistic M/E Condition (Kontaminasi Luar)

NO	Sodium	Silicon	Sulphur	Rekomendasi		
				Na	Si	S
1	LOW	LOW	LOW	Normal	Normal	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	Normal	Service	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	Normal	Normal	Service
4	LOW	HIGH	LOW	Normal	Filter	Normal
5	LOW	LOW	HIGH	Normal	Normal	Blow by
6	MEDIUM	LOW	LOW	Service	Normal	Normal
7	HIGH	LOW	LOW	Cooling Syst Leakage	Normal	Normal
8	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Service	Service	Service
9	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Service	Normal	Service
10	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Service	Service	Normal
11	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Service	Filter	Service
12	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Service	Service	Blow by
13	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Normal	Service	Service
14	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Cooling Syst Leakage	Service	Service
15	HIGH	HIGH	HIGH	Cooling Syst Leakage	Filter	Blow by
16	HIGH	LOW	HIGH	Cooling Syst Leakage	Normal	Blow by
17	HIGH	HIGH	LOW	Cooling Syst Leakage	Filter	Normal
18	HIGH	MEDIUM	HIGH	Cooling Syst Leakage	Service	Blow by
19	HIGH	HIGH	MEDIUM	Cooling Syst Leakage	Filter	Service
20	LOW	HIGH	HIGH	Normal	Filter	Blow by
21	MEDIUM	HIGH	HIGH	Service	Filter	Blow by
22	LOW	MEDIUM	HIGH	Normal	Service	Blow by
23	LOW	HIGH	MEDIUM	Normal	Filter	Service
24	MEDIUM	LOW	HIGH	Service	Normal	Blow by
25	MEDIUM	HIGH	LOW	Service	Filter	Normal
26	HIGH	LOW	MEDIUM	Cooling Syst Leakage	Normal	Service
27	HIGH	MEDIUM	LOW	Cooling Syst Leakage	Service	Normal

3. Komponen Logam (Fuzzy 3)

a. Rule Base Linguistic L/O Condition (Komponen Logam)

NO	Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	LOW	LOW	Normal
2	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	Normal
3	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	Normal
4	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
5	LOW	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
6	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	LOW	Normal
7	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	Normal
8	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Normal
9	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Normal
10	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
11	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	Normal
12	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
13	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
14	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
15	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	Treatment
16	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	Treatment
17	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
18	MEDIUM	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
19	MEDIUM	MEDIUM	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
20	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
21	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
22	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
23	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
24	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
25	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Treatment
26	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Treatment
27	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
28	MEDIUM	HIGH	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
29	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	MEDIUM	Treatment
30	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	Treatment
31	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Treatment
32	HIGH	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
33	MEDIUM	HIGH	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
34	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	HIGH	Change
35	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
36	HIGH	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Change
37	HIGH	HIGH	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
38	MEDIUM	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	Change
39	HIGH	MEDIUM	HIGH	HIGH	HIGH	Change
40	HIGH	HIGH	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
41	HIGH	HIGH	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
42	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
43	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	Change
44	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	HIGH	Change

NO	Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin	LO Condition
45	HIGH	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	Change
46	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	HIGH	Change
47	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	Change
48	LOW	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	Change
49	HIGH	LOW	LOW	HIGH	HIGH	Change
50	HIGH	HIGH	LOW	LOW	HIGH	Change
51	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	LOW	Change
52	LOW	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	Change
53	LOW	LOW	HIGH	HIGH	HIGH	Change
54	HIGH	LOW	LOW	LOW	HIGH	Change
55	HIGH	HIGH	LOW	LOW	LOW	Change
56	LOW	HIGH	HIGH	LOW	LOW	Change
57	LOW	LOW	HIGH	HIGH	LOW	Change
58	LOW	LOW	LOW	HIGH	HIGH	Change
59	HIGH	LOW	LOW	LOW	LOW	Treatment
60	LOW	HIGH	LOW	LOW	LOW	Treatment
61	LOW	LOW	HIGH	LOW	LOW	Treatment
62	LOW	LOW	LOW	HIGH	LOW	Treatment
63	LOW	LOW	LOW	LOW	HIGH	Treatment
64	LOW	MEDIUM	HIGH	LOW	LOW	Change
65	LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
66	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
67	HIGH	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	Treatment
68	MEDIUM	HIGH	LOW	LOW	LOW	Treatment
69	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
70	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Treatment
71	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
72	MEDIUM	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	Treatment
73	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	LOW	LOW	Change
74	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Treatment
75	HIGH	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
76	MEDIUM	HIGH	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
77	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
78	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
79	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
80	LOW	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
81	MEDIUM	LOW	LOW	HIGH	HIGH	Change
82	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW	HIGH	Change
83	HIGH	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW	Change
84	LOW	HIGH	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
85	MEDIUM	LOW	HIGH	HIGH	HIGH	Change
86	HIGH	MEDIUM	LOW	HIGH	HIGH	Change
87	HIGH	HIGH	MEDIUM	LOW	HIGH	Change
88	HIGH	HIGH	HIGH	MEDIUM	LOW	Change

NO	Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin	LO Condition
89	MEDIUM	LOW	LOW	HIGH	MEDIUM	Treatment
90	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	HIGH	Treatment
91	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	Treatment
92	LOW	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
93	LOW	LOW	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
94	MEDIUM	HIGH	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
95	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	LOW	Change
96	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	Treatment
97	HIGH	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Treatment
98	HIGH	HIGH	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
99	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
100	HIGH	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	Treatment
101	MEDIUM	HIGH	HIGH	LOW	LOW	Change
102	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	LOW	Change
103	LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	Treatment
104	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	LOW	HIGH	Treatment
105	HIGH	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
106	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
107	MEDIUM	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
108	MEDIUM	MEDIUM	LOW	HIGH	HIGH	Treatment
109	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
110	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Normal
111	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	Normal
112	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	Normal
113	MEDIUM	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	Normal
114	MEDIUM	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
115	MEDIUM	MEDIUM	LOW	MEDIUM	LOW	Treatment
116	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
117	MEDIUM	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
118	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
119	HIGH	LOW	HIGH	LOW	HIGH	Change
120	HIGH	HIGH	LOW	HIGH	LOW	Change
121	LOW	HIGH	HIGH	LOW	HIGH	Change
122	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	LOW	Change
123	LOW	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	Change
124	LOW	HIGH	LOW	HIGH	LOW	Change
125	LOW	LOW	HIGH	LOW	HIGH	Change
126	HIGH	LOW	LOW	HIGH	LOW	Treatment
127	LOW	HIGH	LOW	LOW	HIGH	Treatment
128	HIGH	LOW	HIGH	LOW	LOW	Change
129	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
130	HIGH	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Change
131	MEDIUM	HIGH	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
132	HIGH	MEDIUM	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change

NO	Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin	LO Condition
133	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
134	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Change
135	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
136	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Change
137	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Change
138	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
139	LOW	MEDIUM	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
140	MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
141	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
142	HIGH	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
143	MEDIUM	HIGH	LOW	MEDIUM	LOW	Treatment
144	HIGH	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM	Change
145	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	LOW	HIGH	Change
146	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
147	LOW	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Change
148	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
149	LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	HIGH	Change
150	HIGH	LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
151	LOW	HIGH	LOW	HIGH	MEDIUM	Change
152	MEDIUM	LOW	HIGH	LOW	HIGH	Change
153	HIGH	MEDIUM	LOW	HIGH	LOW	Change
154	MEDIUM	HIGH	LOW	HIGH	MEDIUM	Change
155	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	LOW	HIGH	Change
156	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	LOW	Change
157	LOW	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Change
158	HIGH	LOW	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
159	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH	Change
160	HIGH	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Change
161	MEDIUM	HIGH	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
162	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
163	MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
164	MEDIUM	LOW	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
165	MEDIUM	MEDIUM	LOW	HIGH	LOW	Treatment
166	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	HIGH	Treatment
167	HIGH	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
168	LOW	HIGH	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
169	HIGH	LOW	MEDIUM	LOW	HIGH	Change
170	HIGH	HIGH	LOW	MEDIUM	LOW	Change
171	LOW	HIGH	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
172	MEDIUM	LOW	HIGH	HIGH	LOW	Change
173	LOW	MEDIUM	LOW	HIGH	HIGH	Change
174	LOW	HIGH	MEDIUM	HIGH	LOW	Change
175	LOW	LOW	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
176	HIGH	LOW	LOW	HIGH	MEDIUM	Change

NO	Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin	LO Condition
177	MEDIUM	HIGH	LOW	LOW	HIGH	Change
178	HIGH	MEDIUM	HIGH	LOW	LOW	Change
179	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
180	LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Treatment
181	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
182	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	Treatment
183	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW	Treatment
184	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
185	MEDIUM	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM	Treatment
186	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	HIGH	Treatment
187	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
188	LOW	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
189	HIGH	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
190	HIGH	HIGH	LOW	MEDIUM	HIGH	Change
191	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
192	MEDIUM	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	Change
193	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	HIGH	Change
194	LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW	Treatment
195	LOW	LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
196	LOW	LOW	LOW	HIGH	MEDIUM	Treatment
197	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	HIGH	Treatment
198	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	Treatment
199	HIGH	LOW	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
200	LOW	HIGH	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
201	HIGH	LOW	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
202	MEDIUM	HIGH	LOW	HIGH	LOW	Treatment
203	LOW	MEDIUM	HIGH	LOW	HIGH	Change
204	HIGH	MEDIUM	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
205	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
206	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
207	HIGH	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Treatment
208	MEDIUM	HIGH	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
209	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
210	LOW	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM	Treatment
211	MEDIUM	LOW	MEDIUM	LOW	HIGH	Treatment
212	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM	LOW	Treatment
213	LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
214	MEDIUM	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Treatment
215	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
216	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
217	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
218	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Treatment
219	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
220	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change

NO	Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin	LO Condition
221	MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Treatment
222	MEDIUM	MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH	Treatment
223	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
224	HIGH	MEDIUM	HIGH	HIGH	LOW	Change
225	LOW	HIGH	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
226	HIGH	LOW	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
227	HIGH	HIGH	LOW	HIGH	MEDIUM	Change
228	MEDIUM	HIGH	HIGH	LOW	HIGH	Change
229	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
230	MEDIUM	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	Change
231	HIGH	MEDIUM	HIGH	LOW	HIGH	Change
232	HIGH	HIGH	MEDIUM	HIGH	LOW	Change
233	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
234	LOW	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	Change
235	MEDIUM	LOW	HIGH	LOW	LOW	Change
236	LOW	MEDIUM	LOW	HIGH	LOW	Treatment
237	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	HIGH	Treatment
238	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	Treatment
239	MEDIUM	LOW	LOW	HIGH	LOW	Treatment
240	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	HIGH	Treatment
241	HIGH	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	Treatment
242	LOW	HIGH	LOW	MEDIUM	LOW	Treatment
243	LOW	LOW	HIGH	LOW	MEDIUM	Change

b. Rule Base Linguistic M/E Condition (Komponen Logam)

NO	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
1	L	L	L	L	L	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
2	L	M	L	L	L	NORMAL	SERVICE	NORMAL	NORMAL	NORMAL
3	L	L	M	L	L	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL	NORMAL
4	L	L	L	M	L	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL
5	L	L	L	L	M	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE
6	M	L	L	L	L	SERVICE	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
7	L	M	M	L	L	NORMAL	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL
8	L	L	M	M	L	NORMAL	NORMAL	SERVICE	SERVICE	NORMAL
9	L	L	L	M	M	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE	SERVICE
10	M	L	L	L	M	SERVICE	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE
11	M	M	L	L	L	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL	NORMAL
12	L	M	M	M	L	NORMAL	SERVICE	SERVICE	SERVICE	NORMAL
13	L	L	M	M	M	NORMAL	NORMAL	SERVICE	SERVICE	SERVICE
14	M	L	L	M	M	SERVICE	NORMAL	NORMAL	SERVICE	SERVICE
15	M	M	L	L	M	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL	SERVICE
16	M	M	M	L	L	SERVICE	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL
17	L	M	M	M	M	NORMAL	SERVICE	SERVICE	SERVICE	SERVICE

NO	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
18	M	L	M	M	M	SERVICE	NORMAL	SERVICE	SERVICE	SERVICE
19	M	M	L	M	M	SERVICE	SERVICE	NORMAL	SERVICE	SERVICE
20	M	M	M	L	M	SERVICE	SERVICE	SERVICE	NORMAL	SERVICE
21	M	M	M	M	L	SERVICE	SERVICE	SERVICE	SERVICE	NORMAL
22	M	M	M	M	M	SERVICE	SERVICE	SERVICE	SERVICE	SERVICE
23	M	H	M	M	M	SERVICE	Bearing	SERVICE	SERVICE	SERVICE
24	M	M	H	M	M	SERVICE	SERVICE	Piston	SERVICE	SERVICE
25	M	M	M	H	M	SERVICE	SERVICE	SERVICE	Valves	SERVICE
26	M	M	M	M	H	SERVICE	SERVICE	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
27	H	M	M	M	M	Cylinder	SERVICE	SERVICE	SERVICE	SERVICE
28	M	H	H	M	M	SERVICE	Bearing	SERVICE	SERVICE	SERVICE
29	M	M	H	H	M	SERVICE	SERVICE	Piston	SERVICE	SERVICE
30	M	M	M	H	H	SERVICE	SERVICE	SERVICE	Valves	SERVICE
31	H	M	M	M	H	Cylinder	SERVICE	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
32	H	H	M	M	M	Cylinder	Bearing	SERVICE	SERVICE	SERVICE
33	M	H	H	H	M	SERVICE	Bearing	Piston	SERVICE	SERVICE
34	M	M	H	H	H	SERVICE	SERVICE	Piston	Valves	SERVICE
35	H	M	M	H	H	Cylinder	SERVICE	SERVICE	Valves	Crankshaft
36	H	H	M	M	H	Cylinder	Bearing	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
37	H	H	H	M	M	Cylinder	Bearing	Piston	SERVICE	SERVICE
38	M	H	H	H	H	SERVICE	Bearing	Piston	Valves	Crankshaft
39	H	M	H	H	H	Cylinder	SERVICE	Piston	Valves	Crankshaft
40	H	H	M	H	H	Cylinder	Bearing	SERVICE	Valves	Crankshaft
41	H	H	H	M	H	Cylinder	Bearing	Piston	SERVICE	Crankshaft
42	H	H	H	H	M	Cylinder	Bearing	Piston	Valves	SERVICE
43	H	H	H	H	H	Cylinder	Bearing	Piston	Valves	Crankshaft
44	H	L	H	H	H	Cylinder	NORMAL	Piston	Valves	Crankshaft
45	H	H	L	H	H	Cylinder	Bearing	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
46	H	H	H	L	H	Cylinder	Bearing	Piston	NORMAL	Crankshaft
47	H	H	H	H	L	Cylinder	Bearing	Piston	Valves	NORMAL
48	L	H	H	H	H	NORMAL	Bearing	Piston	Valves	Crankshaft
49	H	L	L	H	H	Cylinder	NORMAL	NORMAL	Valves	Crankshaft
50	H	H	L	L	H	Cylinder	Bearing	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
51	H	H	H	L	L	Cylinder	Bearing	Piston	NORMAL	NORMAL
52	L	H	H	H	L	NORMAL	Bearing	Piston	Valves	NORMAL
53	L	L	H	H	H	NORMAL	NORMAL	Piston	Valves	Crankshaft
54	H	L	L	L	H	Cylinder	NORMAL	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
55	H	H	L	L	L	Cylinder	Bearing	NORMAL	NORMAL	NORMAL
56	L	H	H	L	L	NORMAL	Bearing	Piston	NORMAL	NORMAL
57	L	L	H	H	L	NORMAL	NORMAL	Piston	Valves	NORMAL
58	L	L	L	H	H	NORMAL	NORMAL	NORMAL	Valves	Crankshaft
59	H	L	L	L	L	Cylinder	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
60	L	H	L	L	L	NORMAL	Bearing	NORMAL	NORMAL	NORMAL
61	L	L	H	L	L	NORMAL	NORMAL	Piston	NORMAL	NORMAL

NO	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
62	L	L	L	H	L	NORMAL	NORMAL	NORMAL	Valves	NORMAL
63	L	L	L	L	H	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
64	L	M	H	L	L	NORMAL	SERVICE	Piston	NORMAL	NORMAL
65	L	L	M	H	L	NORMAL	NORMAL	SERVICE	Valves	NORMAL
66	L	L	L	M	H	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
67	H	L	L	L	M	Cylinder	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SERVICE
68	M	H	L	L	L	SERVICE	Bearing	NORMAL	NORMAL	NORMAL
69	L	M	M	H	L	NORMAL	SERVICE	SERVICE	Valves	NORMAL
70	L	L	M	M	H	NORMAL	NORMAL	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
71	H	L	L	M	M	Cylinder	NORMAL	NORMAL	SERVICE	SERVICE
72	M	H	L	L	M	SERVICE	Bearing	NORMAL	NORMAL	SERVICE
73	M	M	H	L	L	SERVICE	SERVICE	Piston	NORMAL	NORMAL
74	L	M	M	M	H	NORMAL	SERVICE	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
75	H	L	M	M	M	Cylinder	NORMAL	SERVICE	SERVICE	SERVICE
76	M	H	L	M	M	SERVICE	Bearing	NORMAL	SERVICE	SERVICE
77	M	M	H	L	M	SERVICE	SERVICE	Piston	NORMAL	SERVICE
78	M	M	M	H	L	SERVICE	SERVICE	SERVICE	Valves	NORMAL
79	L	H	H	M	L	NORMAL	Bearing	SERVICE	SERVICE	NORMAL
80	L	L	H	H	M	NORMAL	NORMAL	Piston	Valves	SERVICE
81	M	L	L	H	H	SERVICE	NORMAL	NORMAL	Valves	Crankshaft
82	H	M	L	L	H	Cylinder	SERVICE	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
83	H	H	M	L	L	Cylinder	Bearing	SERVICE	NORMAL	NORMAL
84	L	H	H	H	M	NORMAL	Bearing	Piston	Valves	SERVICE
85	M	L	H	H	H	SERVICE	NORMAL	Piston	Valves	Crankshaft
86	H	M	L	H	H	Cylinder	SERVICE	NORMAL	Valves	Crankshaft
87	H	H	M	L	H	Cylinder	Bearing	SERVICE	NORMAL	Crankshaft
88	H	H	H	M	L	Cylinder	Bearing	Piston	SERVICE	NORMAL
89	M	L	L	H	M	SERVICE	NORMAL	NORMAL	Valves	SERVICE
90	M	M	L	L	H	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
91	H	M	M	L	L	Cylinder	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL
92	L	H	M	M	L	NORMAL	Bearing	SERVICE	SERVICE	NORMAL
93	L	L	H	M	M	NORMAL	NORMAL	Piston	SERVICE	SERVICE
94	M	H	H	L	M	SERVICE	Bearing	SERVICE	NORMAL	SERVICE
95	M	M	H	H	L	SERVICE	SERVICE	Piston	Valves	NORMAL
96	L	M	M	H	H	NORMAL	SERVICE	SERVICE	Valves	Crankshaft
97	H	L	M	M	H	Cylinder	NORMAL	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
98	H	H	L	M	M	Cylinder	Bearing	NORMAL	SERVICE	SERVICE
99	H	L	L	M	H	Cylinder	NORMAL	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
100	H	H	L	L	M	Cylinder	Bearing	NORMAL	NORMAL	SERVICE
101	M	H	H	L	L	SERVICE	Bearing	Piston	NORMAL	NORMAL
102	L	M	H	H	L	NORMAL	SERVICE	Piston	Valves	NORMAL
103	L	L	M	H	H	NORMAL	NORMAL	SERVICE	Valves	Crankshaft
104	H	M	M	L	H	Cylinder	SERVICE	SERVICE	NORMAL	Crankshaft
105	H	H	M	M	L	Cylinder	Bearing	SERVICE	SERVICE	NORMAL

NO	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
106	L	H	H	M	M	NORMAL	Bearing	Piston	SERVICE	SERVICE
107	M	L	H	H	M	SERVICE	NORMAL	Piston	Valves	SERVICE
108	M	M	L	H	H	SERVICE	SERVICE	NORMAL	Valves	Crankshaft
109	L	M	L	M	L	SERVICE	SERVICE	NORMAL	SERVICE	NORMAL
110	L	L	M	L	M	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL	SERVICE
111	M	L	L	M	L	SERVICE	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL
112	L	M	L	L	M	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL	SERVICE
113	M	L	M	L	L	SERVICE	SERVICE	SERVICE	NORMAL	NORMAL
114	M	L	M	L	M	SERVICE	NORMAL	SERVICE	NORMAL	SERVICE
115	M	M	L	M	L	SERVICE	SERVICE	NORMAL	SERVICE	NORMAL
116	L	M	M	L	M	NORMAL	SERVICE	SERVICE	NORMAL	SERVICE
117	M	L	M	M	L	SERVICE	NORMAL	SERVICE	SERVICE	NORMAL
118	L	M	L	M	M	NORMAL	SERVICE	NORMAL	SERVICE	SERVICE
119	H	L	H	L	H	Cylinder	NORMAL	Piston	NORMAL	Crankshaft
120	H	H	L	H	L	Cylinder	Bearing	NORMAL	Valves	NORMAL
121	L	H	H	L	H	NORMAL	Bearing	Piston	NORMAL	Crankshaft
122	H	L	H	H	L	Cylinder	NORMAL	Piston	Valves	NORMAL
123	L	H	L	H	H	NORMAL	Bearing	NORMAL	Valves	Crankshaft
124	L	H	L	H	L	NORMAL	Bearing	NORMAL	Valves	NORMAL
125	L	L	H	L	H	NORMAL	NORMAL	Piston	NORMAL	Crankshaft
126	H	L	L	H	L	Cylinder	NORMAL	NORMAL	Valves	NORMAL
127	L	H	L	L	H	NORMAL	Bearing	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
128	H	L	H	L	L	Cylinder	NORMAL	Piston	NORMAL	NORMAL
129	H	M	H	M	H	Cylinder	SERVICE	Piston	SERVICE	Crankshaft
130	H	H	M	H	M	Cylinder	Bearing	SERVICE	Valves	SERVICE
131	M	H	H	M	H	SERVICE	Bearing	Piston	SERVICE	Crankshaft
132	H	M	H	H	M	Cylinder	SERVICE	Piston	Valves	SERVICE
133	M	H	M	H	H	SERVICE	Bearing	SERVICE	Valves	Crankshaft
134	M	H	M	H	M	SERVICE	Bearing	SERVICE	Valves	SERVICE
135	M	M	H	M	H	SERVICE	SERVICE	Piston	SERVICE	Crankshaft
136	H	M	M	H	M	Cylinder	SERVICE	SERVICE	Valves	SERVICE
137	M	H	M	M	H	SERVICE	Bearing	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
138	H	M	H	M	M	Cylinder	SERVICE	Piston	SERVICE	SERVICE
139	L	M	H	L	M	NORMAL	SERVICE	Piston	NORMAL	SERVICE
140	M	L	M	H	L	SERVICE	NORMAL	SERVICE	Valves	NORMAL
141	L	M	L	M	H	NORMAL	SERVICE	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
142	H	L	M	L	M	Cylinder	NORMAL	SERVICE	NORMAL	SERVICE
143	M	H	L	M	L	SERVICE	Bearing	NORMAL	SERVICE	NORMAL
144	H	M	L	H	M	Cylinder	SERVICE	NORMAL	Valves	SERVICE
145	M	H	M	L	H	SERVICE	Bearing	SERVICE	NORMAL	Crankshaft
146	H	M	H	M	L	Cylinder	SERVICE	Piston	SERVICE	NORMAL
147	L	H	M	H	M	NORMAL	Bearing	SERVICE	Valves	SERVICE
148	M	L	H	M	H	SERVICE	NORMAL	Piston	SERVICE	Crankshaft
149	L	H	M	L	H	NORMAL	Bearing	SERVICE	NORMAL	Crankshaft

NO	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
150	H	L	H	M	L	Cylinder	NORMAL	Piston	SERVICE	NORMAL
151	L	H	L	H	M	NORMAL	Bearing	NORMAL	Valves	SERVICE
152	M	L	H	L	H	SERVICE	NORMAL	Piston	NORMAL	Crankshaft
153	H	M	L	H	L	Cylinder	SERVICE	NORMAL	Valves	NORMAL
154	M	H	L	H	M	SERVICE	Bearing	NORMAL	Valves	SERVICE
155	M	M	H	L	H	SERVICE	SERVICE	Piston	NORMAL	Crankshaft
156	H	M	M	H	L	Cylinder	SERVICE	SERVICE	Valves	NORMAL
157	L	H	M	M	H	NORMAL	Bearing	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
158	H	L	H	M	M	Cylinder	NORMAL	Piston	SERVICE	SERVICE
159	H	M	L	M	H	Cylinder	SERVICE	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
160	H	H	M	L	M	Cylinder	Bearing	SERVICE	NORMAL	SERVICE
161	M	H	H	M	L	SERVICE	Bearing	Piston	SERVICE	NORMAL
162	L	M	H	H	M	NORMAL	SERVICE	Piston	Valves	SERVICE
163	M	L	M	H	H	SERVICE	NORMAL	SERVICE	Valves	Crankshaft
164	M	L	H	L	M	SERVICE	NORMAL	Piston	NORMAL	SERVICE
165	M	M	L	H	L	SERVICE	SERVICE	NORMAL	Valves	NORMAL
166	L	M	M	L	H	NORMAL	SERVICE	SERVICE	NORMAL	Crankshaft
167	H	L	M	M	L	Cylinder	NORMAL	SERVICE	SERVICE	NORMAL
168	L	H	L	M	M	NORMAL	Bearing	NORMAL	SERVICE	SERVICE
169	H	L	M	L	H	Cylinder	NORMAL	SERVICE	NORMAL	Crankshaft
170	H	H	L	M	L	Cylinder	Bearing	NORMAL	SERVICE	NORMAL
171	L	H	H	L	M	NORMAL	Bearing	Piston	NORMAL	SERVICE
172	M	L	H	H	L	SERVICE	NORMAL	Piston	Valves	NORMAL
173	L	M	L	H	H	NORMAL	SERVICE	NORMAL	Valves	Crankshaft
174	L	H	M	H	L	NORMAL	Bearing	SERVICE	Valves	NORMAL
175	L	L	H	M	H	NORMAL	NORMAL	Piston	SERVICE	Crankshaft
176	H	L	L	H	M	Cylinder	NORMAL	NORMAL	Valves	SERVICE
177	M	H	L	L	H	SERVICE	Bearing	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
178	H	M	H	L	L	Cylinder	SERVICE	Piston	NORMAL	NORMAL
179	L	M	H	M	L	NORMAL	SERVICE	Piston	SERVICE	NORMAL
180	L	L	M	H	M	NORMAL	NORMAL	SERVICE	Valves	SERVICE
181	M	L	L	M	H	SERVICE	NORMAL	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
182	H	M	L	L	M	Cylinder	SERVICE	NORMAL	NORMAL	SERVICE
183	M	H	M	L	L	SERVICE	Bearing	SERVICE	NORMAL	NORMAL
184	M	L	H	M	M	SERVICE	NORMAL	Piston	SERVICE	SERVICE
185	M	M	L	H	M	SERVICE	SERVICE	NORMAL	Valves	SERVICE
186	M	M	M	L	H	SERVICE	SERVICE	SERVICE	NORMAL	Crankshaft
187	H	M	M	M	L	Cylinder	SERVICE	SERVICE	SERVICE	NORMAL
188	L	H	M	M	M	NORMAL	Bearing	SERVICE	SERVICE	SERVICE
189	H	L	M	H	H	Cylinder	NORMAL	SERVICE	Valves	Crankshaft
190	H	H	L	M	H	Cylinder	Bearing	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
191	H	H	H	L	M	Cylinder	Bearing	Piston	NORMAL	SERVICE
192	M	H	H	H	L	SERVICE	Bearing	Piston	Valves	NORMAL
193	L	M	H	H	H	NORMAL	SERVICE	Piston	Valves	Crankshaft

NO	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
194	L	H	M	L	L	NORMAL	Bearing	SERVICE	NORMAL	NORMAL
195	L	L	H	M	L	NORMAL	NORMAL	Piston	SERVICE	NORMAL
196	L	L	L	H	M	NORMAL	NORMAL	NORMAL	Valves	SERVICE
197	M	L	L	L	H	SERVICE	NORMAL	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
198	H	M	L	L	L	Cylinder	SERVICE	NORMAL	NORMAL	NORMAL
199	H	L	M	H	L	Cylinder	NORMAL	SERVICE	Valves	NORMAL
200	L	H	L	M	H	NORMAL	Bearing	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
201	H	L	H	L	M	Cylinder	NORMAL	Piston	NORMAL	SERVICE
202	M	H	L	H	L	SERVICE	Bearing	NORMAL	Valves	NORMAL
203	L	M	H	L	H	NORMAL	SERVICE	Piston	NORMAL	Crankshaft
204	H	M	H	L	M	Cylinder	SERVICE	Piston	NORMAL	SERVICE
205	M	H	M	H	L	SERVICE	Bearing	SERVICE	Valves	NORMAL
206	L	M	H	M	H	NORMAL	SERVICE	Piston	SERVICE	Crankshaft
207	H	L	M	H	M	Cylinder	NORMAL	SERVICE	Valves	SERVICE
208	M	H	L	M	H	SERVICE	Bearing	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
209	M	L	H	M	L	SERVICE	NORMAL	Piston	SERVICE	NORMAL
210	L	M	L	H	M	NORMAL	SERVICE	NORMAL	Valves	SERVICE
211	M	L	M	L	H	SERVICE	NORMAL	SERVICE	NORMAL	Crankshaft
212	H	M	L	M	L	Cylinder	SERVICE	NORMAL	SERVICE	NORMAL
213	L	H	M	L	M	NORMAL	Bearing	SERVICE	NORMAL	SERVICE
214	M	L	M	M	H	SERVICE	NORMAL	SERVICE	SERVICE	Crankshaft
215	H	M	L	M	M	Cylinder	SERVICE	NORMAL	SERVICE	SERVICE
216	M	H	M	L	M	SERVICE	Bearing	SERVICE	NORMAL	SERVICE
217	M	M	H	M	L	SERVICE	SERVICE	Piston	SERVICE	NORMAL
218	L	M	M	H	M	NORMAL	SERVICE	SERVICE	Valves	SERVICE
219	M	H	M	M	L	SERVICE	Bearing	SERVICE	SERVICE	NORMAL
220	L	M	H	M	M	NORMAL	SERVICE	Piston	SERVICE	SERVICE
221	M	L	M	H	M	SERVICE	NORMAL	SERVICE	Valves	SERVICE
222	M	M	L	M	H	SERVICE	SERVICE	NORMAL	SERVICE	Crankshaft
223	H	M	M	L	M	Cylinder	SERVICE	SERVICE	NORMAL	SERVICE
224	H	M	H	H	L	Cylinder	SERVICE	Piston	Valves	NORMAL
225	L	H	M	H	H	NORMAL	Bearing	SERVICE	Valves	Crankshaft
226	H	L	H	M	H	Cylinder	NORMAL	Piston	SERVICE	Crankshaft
227	H	H	L	H	M	Cylinder	Bearing	NORMAL	Valves	SERVICE
228	M	H	H	L	H	SERVICE	Bearing	Piston	NORMAL	Crankshaft
229	H	L	H	H	M	Cylinder	NORMAL	Piston	Valves	SERVICE
230	M	H	L	H	H	SERVICE	Bearing	NORMAL	Valves	Crankshaft
231	H	M	H	L	H	Cylinder	SERVICE	Piston	NORMAL	Crankshaft
232	H	H	M	H	L	Cylinder	Bearing	SERVICE	Valves	NORMAL
233	L	H	H	M	H	NORMAL	Bearing	Piston	SERVICE	Crankshaft
234	L	H	L	L	M	NORMAL	Bearing	NORMAL	NORMAL	SERVICE
235	M	L	H	L	L	SERVICE	NORMAL	Piston	NORMAL	NORMAL
236	L	M	L	H	L	NORMAL	SERVICE	NORMAL	Valves	NORMAL
237	L	L	M	L	H	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL	Crankshaft

NO	Fe	Cu	Al	Ni	Sn	Rekomendasi				
						Iron	Cooper	Aluminium	Nickel	Tin
238	H	L	L	M	L	Cylinder	NORMAL	NORMAL	SERVICE	NORMAL
239	M	L	L	H	L	SERVICE	NORMAL	NORMAL	Valves	NORMAL
240	L	M	L	L	H	NORMAL	SERVICE	NORMAL	NORMAL	Crankshaft
241	H	L	M	L	L	Cylinder	NORMAL	SERVICE	NORMAL	NORMAL
242	L	H	L	M	L	NORMAL	Bearing	NORMAL	SERVICE	NORMAL
243	L	L	H	L	M	NORMAL	NORMAL	Piston	NORMAL	SERVICE

4. Viskositas, *Flash Point*, *Base Number*, dan Kontaminasi Air (Fuzzy 4)

a. Rule Base Linguistic L/O Condition (Fuzzy 4)

No	Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont	LO Condition
1	LOW	LOW	LOW	LOW	Change
2	LOW	MEDIUM	LOW	LOW	Change
3	MEDIUM	LOW	LOW	LOW	Change
4	LOW	HIGH	LOW	LOW	Change
5	HIGH	LOW	LOW	LOW	Change
6	MEDIUM	MEDIUM	LOW	LOW	Treatment
7	HIGH	MEDIUM	LOW	LOW	Change
8	MEDIUM	HIGH	LOW	LOW	Change
9	HIGH	HIGH	LOW	LOW	Change
10	LOW	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Change
11	LOW	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
12	MEDIUM	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
13	LOW	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
14	HIGH	LOW	MEDIUM	MEDIUM	Change
15	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Normal
16	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
17	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Treatment
18	HIGH	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	Change
19	HIGH	HIGH	HIGH	HIGH	Change
20	LOW	LOW	HIGH	HIGH	Change
21	LOW	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
22	MEDIUM	LOW	HIGH	HIGH	Change
23	LOW	HIGH	HIGH	HIGH	Change
24	HIGH	LOW	HIGH	HIGH	Change
25	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
26	HIGH	MEDIUM	HIGH	HIGH	Change
27	MEDIUM	HIGH	HIGH	HIGH	Change
28	LOW	LOW	LOW	MEDIUM	Change
29	LOW	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Change
30	MEDIUM	LOW	LOW	MEDIUM	Treatment
31	LOW	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
32	HIGH	LOW	LOW	MEDIUM	Change

No	Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont	LO Condition
33	MEDIUM	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Treatment
34	HIGH	MEDIUM	LOW	MEDIUM	Change
35	MEDIUM	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
36	HIGH	HIGH	LOW	MEDIUM	Change
37	LOW	LOW	LOW	HIGH	Change
38	LOW	MEDIUM	LOW	HIGH	Change
39	MEDIUM	LOW	LOW	HIGH	Change
40	LOW	HIGH	LOW	HIGH	Change
41	HIGH	LOW	LOW	HIGH	Change
42	MEDIUM	MEDIUM	LOW	HIGH	Change
43	HIGH	MEDIUM	LOW	HIGH	Change
44	MEDIUM	HIGH	LOW	HIGH	Change
45	HIGH	HIGH	LOW	HIGH	Change
46	LOW	LOW	MEDIUM	LOW	Change
47	LOW	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
48	MEDIUM	LOW	MEDIUM	LOW	Treatment
49	LOW	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
50	HIGH	LOW	MEDIUM	LOW	Change
51	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Normal
52	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	LOW	Treatment
53	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	LOW	Treatment
54	HIGH	HIGH	MEDIUM	LOW	Change
55	LOW	LOW	MEDIUM	HIGH	Change
56	LOW	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Change
57	MEDIUM	LOW	MEDIUM	HIGH	Change
58	LOW	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
59	HIGH	LOW	MEDIUM	HIGH	Change
60	MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Treatment
61	HIGH	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	Change
62	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
63	HIGH	HIGH	MEDIUM	HIGH	Change
64	LOW	LOW	HIGH	LOW	Change
65	LOW	MEDIUM	HIGH	LOW	Change
66	MEDIUM	LOW	HIGH	LOW	Change
67	LOW	HIGH	HIGH	LOW	Change
68	HIGH	LOW	HIGH	LOW	Change
69	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	LOW	Treatment
70	HIGH	MEDIUM	HIGH	LOW	Change
71	MEDIUM	HIGH	HIGH	LOW	Change
72	HIGH	HIGH	HIGH	LOW	Change
73	LOW	LOW	HIGH	MEDIUM	Change
74	LOW	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Treatment
75	MEDIUM	LOW	HIGH	MEDIUM	Change
76	LOW	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
77	HIGH	LOW	HIGH	MEDIUM	Change

No	Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont	LO Condition
78	MEDIUM	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Treatment
79	HIGH	MEDIUM	HIGH	MEDIUM	Change
80	MEDIUM	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change
81	HIGH	HIGH	HIGH	MEDIUM	Change

b. Rule Base Linguistic M/E Condition (Fuzzy 4)

NO	Vis	FP	BN	WC	Rekomendasi			
					Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont.
1	D	L	D	L	OVERHEATING	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL
2	D	N	D	L	OVERHEATING	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL
3	N	L	D	L	NORMAL	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL
4	D	H	D	L	OVERHEATING	ADDITIVE	BLOW-BY	NORMAL
5	I	L	D	L	BLOW-BY	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL
6	N	N	D	L	NORMAL	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL
7	I	N	D	L	BLOW-BY	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL
8	N	H	D	L	NORMAL	ADDITIVE	BLOW-BY	NORMAL
9	I	H	D	L	BLOW-BY	ADDITIVE	BLOW-BY	NORMAL
10	D	L	N	M	OVERHEATING	BLOW-BY	NORMAL	SEPARATOR
11	D	N	N	M	OVERHEATING	NORMAL	NORMAL	SEPARATOR
12	N	L	N	M	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL	SEPARATOR
13	D	H	N	M	OVERHEATING	ADDITIVE	NORMAL	SEPARATOR
14	I	L	N	M	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL	SEPARATOR
15	N	N	N	M	NORMAL	NORMAL	NORMAL	SEPARATOR
16	I	N	N	M	BLOW-BY	NORMAL	NORMAL	SEPARATOR
17	N	H	N	M	NORMAL	ADDITIVE	NORMAL	SEPARATOR
18	I	H	N	M	BLOW-BY	ADDITIVE	NORMAL	SEPARATOR
19	I	H	I	H	BLOW-BY	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	EMULSION
20	D	L	I	H	OVERHEATING	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	EMULSION
21	D	N	I	H	OVERHEATING	NORMAL	CYLINDER_LINER	EMULSION
22	N	L	I	H	NORMAL	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	EMULSION
23	D	H	I	H	OVERHEATING	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	EMULSION
24	I	L	I	H	BLOW-BY	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	EMULSION
25	N	N	I	H	NORMAL	NORMAL	CYLINDER_LINER	EMULSION
26	I	N	I	H	BLOW-BY	NORMAL	CYLINDER_LINER	EMULSION
27	N	H	I	H	NORMAL	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	EMULSION
28	D	L	D	M	OVERHEATING	BLOW-BY	BLOW-BY	SEPARATOR
29	D	N	D	M	OVERHEATING	NORMAL	BLOW-BY	SEPARATOR
30	N	L	D	M	NORMAL	BLOW-BY	BLOW-BY	SEPARATOR
31	D	H	D	M	OVERHEATING	ADDITIVE	BLOW-BY	SEPARATOR
32	I	L	D	M	BLOW-BY	BLOW-BY	BLOW-BY	SEPARATOR
33	N	N	D	M	NORMAL	NORMAL	BLOW-BY	SEPARATOR
34	I	N	D	M	BLOW-BY	NORMAL	BLOW-BY	SEPARATOR
35	N	H	D	M	NORMAL	ADDITIVE	BLOW-BY	SEPARATOR
36	I	H	D	M	BLOW-BY	ADDITIVE	BLOW-BY	SEPARATOR

NO	Vis	FP	BN	WC	Rekomendasi			
					Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont.
37	D	L	D	H	OVERHEATING	BLOW-BY	BLOW-BY	EMULSION
38	D	N	D	H	OVERHEATING	NORMAL	BLOW-BY	EMULSION
39	N	L	D	H	NORMAL	BLOW-BY	BLOW-BY	EMULSION
40	D	H	D	H	OVERHEATING	ADDITIVE	BLOW-BY	EMULSION
41	I	L	D	H	BLOW-BY	BLOW-BY	BLOW-BY	EMULSION
42	N	N	D	H	NORMAL	NORMAL	BLOW-BY	EMULSION
43	I	N	D	H	BLOW-BY	NORMAL	BLOW-BY	EMULSION
44	N	H	D	H	NORMAL	ADDITIVE	BLOW-BY	EMULSION
45	I	H	D	H	BLOW-BY	ADDITIVE	BLOW-BY	EMULSION
46	D	L	N	L	OVERHEATING	BLOW-BY	NORMAL	NORMAL
47	D	N	N	L	OVERHEATING	NORMAL	NORMAL	NORMAL
48	N	L	N	L	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL	NORMAL
49	D	H	N	L	OVERHEATING	ADDITIVE	NORMAL	NORMAL
50	I	L	N	L	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL	NORMAL
51	N	N	N	L	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL
52	I	N	N	L	BLOW-BY	NORMAL	NORMAL	NORMAL
53	N	H	N	L	NORMAL	ADDITIVE	NORMAL	NORMAL
54	I	H	N	L	BLOW-BY	ADDITIVE	NORMAL	NORMAL
55	D	L	N	H	OVERHEATING	BLOW-BY	NORMAL	EMULSION
56	D	N	N	H	OVERHEATING	NORMAL	NORMAL	EMULSION
57	N	L	N	H	NORMAL	BLOW-BY	NORMAL	EMULSION
58	D	H	N	H	OVERHEATING	ADDITIVE	NORMAL	EMULSION
59	I	L	N	H	BLOW-BY	BLOW-BY	NORMAL	EMULSION
60	N	N	N	H	NORMAL	NORMAL	NORMAL	EMULSION
61	I	N	N	H	BLOW-BY	NORMAL	NORMAL	EMULSION
62	N	H	N	H	NORMAL	ADDITIVE	NORMAL	EMULSION
63	I	H	N	H	BLOW-BY	ADDITIVE	NORMAL	EMULSION
64	D	L	I	L	OVERHEATING	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	NORMAL
65	D	N	I	L	OVERHEATING	NORMAL	CYLINDER_LINER	NORMAL
66	N	L	I	L	NORMAL	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	NORMAL
67	D	H	I	L	OVERHEATING	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	NORMAL
68	I	L	I	L	BLOW-BY	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	NORMAL
69	N	N	I	L	NORMAL	NORMAL	CYLINDER_LINER	NORMAL
70	I	N	I	L	BLOW-BY	NORMAL	CYLINDER_LINER	NORMAL
71	N	H	I	L	NORMAL	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	NORMAL
72	I	H	I	L	BLOW-BY	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	NORMAL
73	D	L	I	M	OVERHEATING	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	SEPARATOR
74	D	N	I	M	OVERHEATING	NORMAL	CYLINDER_LINER	SEPARATOR
75	N	L	I	M	NORMAL	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	SEPARATOR
76	D	H	I	M	OVERHEATING	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	SEPARATOR
77	I	L	I	M	BLOW-BY	BLOW-BY	CYLINDER_LINER	SEPARATOR
78	N	N	I	M	NORMAL	NORMAL	CYLINDER_LINER	SEPARATOR
79	I	N	I	M	BLOW-BY	NORMAL	CYLINDER_LINER	SEPARATOR
80	N	H	I	M	NORMAL	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	SEPARATOR

NO	Vis	FP	BN	WC	Rekomendasi			
					Viskositas	Flash Point	Base Number	Water Cont.
81	I	H	I	M	BLOW-BY	ADDITIVE	CYLINDER_LINER	SEPARATOR

5. Main Engine Used Condition (Fuzzy 5)

a. Rule Base Linguistic M/E Condition

NO	RPM	Running Hours	M/E Condition
1	LOW	HFO_HIGH	High Used
2	LOW	HFO_MEDIUM	Medium Used
3	LOW	HFO_LOW	Low Used
4	MEDIUM	HFO_HIGH	High Used
5	MEDIUM	HFO_MEDIUM	Medium Used
6	MEDIUM	HFO_LOW	Low Used
7	HIGH	HFO_HIGH	High Used
8	HIGH	HFO_MEDIUM	Medium Used
9	HIGH	HFO_LOW	Low Used
10	LOW	MDO_HIGH	High Used
11	LOW	MDO_MEDIUM	Medium Used
12	LOW	MDO_LOW	Low Used
13	MEDIUM	MDO_HIGH	High Used
14	MEDIUM	MDO_MEDIUM	Medium Used
15	MEDIUM	MDO_LOW	Low Used
16	HIGH	MDO_HIGH	High Used
17	HIGH	MDO_MEDIUM	Medium Used
18	HIGH	MDO_LOW	Low Used

B. REFERENSI



MEDITRAN Series are a moderate duty diesel oil designed for non turbocharged diesel engine which require API CD lubricant.

MEDITRAN Series adalah pelumas mesin diesel tugas medium yang didesain untuk mesin diesel tipe non-turbocharged yang mensyaratkan pelumas dengan tingkatan mutu API CD.

TYPICAL CHARACTERISTICS				
Characteristics	Test Method	MEDITRAN 30	MEDITRAN 40	MEDITRAN 50
SAE Viscosity Grade		30	40	50
Density at 15 °C, kg/l	ASTM D - 4052	0.8794	0.8916	0.8949
Kinematic Viscosity at 40 °C, cSt	ASTM D - 445	89.34	130.1	194.7
	ASTM D - 445	10.51	13.46	17.48
Viscosity Index	ASTM D - 2270	100	98	96
	ASTM D - 1500	L 3.0	L 3.0	3.0
Flash Point °C	ASTM D - 92	252	254	268
Pour Point, °C	ASTM D - 5950	-9	-9	-9
Total Base Number, mg KOH/g	ASTM D - 2896	4.72	4.62	4.79

PERFORMANCE LEVELS
MEDITRAN Series engine oils meet the performance level of API CD.

TINGKATAN MUTU
MEDITRAN Series memenuhi persyaratan API CD.

(References from pertaminalubricants.com)

Table 1 : Advisory / mandatory action limits for used oil analyses

Property	Method	Advisory	Mandatory
Viscosity 40 °C	ISO 3104	-20% / +25%	-25% / +30%
Viscosity 100 °C	ISO 3104	-20% / +20%	-25% / +25%
Flash point, PMCC, °C	ISO 2719	< 190	< 180
Total insolubles, %m #	IP 316	2.0 - 3.0	> 3.0
BN, mg KOH/g	ISO 3771	< 60% of fresh oil	< 50% of fresh oil
TAN, mg KOH/g	ASTM D 664	> new oil + 1.5	> new oil + 3
Water, %v/v	ISO 3733	> 0.2	> 0.3
Oxidation, abs/cm	FTIR	> 15	> 25
Nitration, abs/cm	FTIR	> 15	> 25
Wear elements [mg/kg]	ASTM D 5185 (ICP-PES)	OEM to advise on elements and limits	OEM to advise on elements and limits

(References from The International Council on Combustion Engines)

Element	Range, mg/kg
Aluminum	6–40
Barium	0.5–4
Boron	4–30
Calcium	40–9000
Chromium	1–40
Copper	2–160
Iron	2–140
Lead	10–160
Magnesium	5–1700
Manganese	5–700
Molybdenum	5–200
Nickel	5–40
Phosphorus	10–1000
Potassium	40–1200
Silicon	8–50
Silver	0.5–50
Sodium	7–70
Sulfur	900–6000
Tin	10–40
Titanium	5–40
Vanadium	1–50
Zinc	60–1600


(References from the ASTM D5185-18)

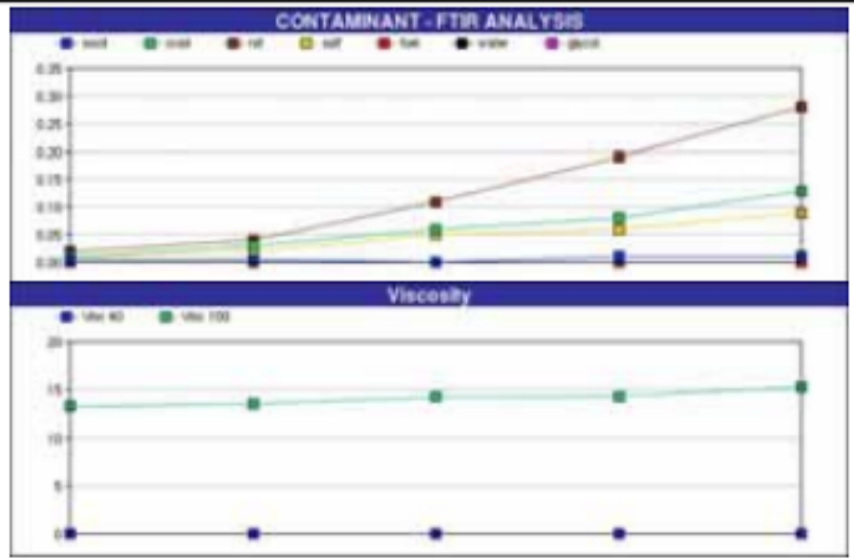
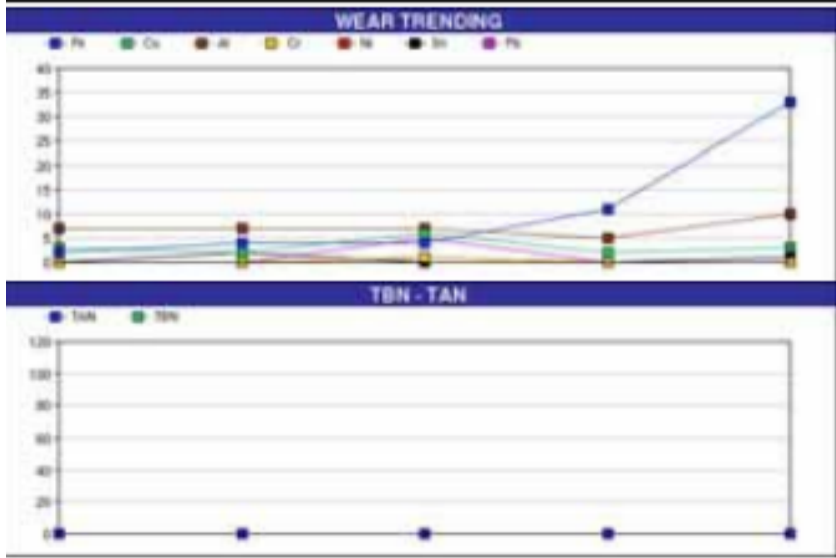


Lube and Fuel Laboratory Consultant
PT Petrolab Services
 Komplek Perkantoran Graha Mas Pemuda Blok AD No.23 Jl. Pemuda - Jakarta 13220
 Telp +62 21 4717001; Fax +62 21 4716985; petrolab@cbn.net.id; www.petrolab.co.id

OIL ANALYSIS REPORT

Company Name : PT. PENTA PRIMA SEJATI	Unit Number : CRL-01	Location : LEMPAKE
To Customer : PT. EXTERRAN	Serial Number : 12835	Make/Brand : CATERPILLAR
Unit Model : CAT 3516	Sample From :	Component Matrix : GE I
Equipment : ENGINE	Oil Matrix : CALTE HDAX 5200 LA	

TEST DETAILS								Overall Analysis Result:	
Lab. Number	OB1407619	OB1409673	OB1410697	OB1412640	OB1413383			 ATTENTION	
Sampling Date	2014-06-05	2014-07-05	2014-08-11	2014-10-10	2014-11-10				
Analysis Date	2014-06-10	2014-07-17	2014-08-13	2014-10-24	2014-11-14				
Hours on Oil	168	1150	2208	30	11				
Hours On Unit	15506	54013	54103	18706	19291				
Oil Added	CALTEX HDAX 5200 LA								
Lube Oil Name	CALTEX HDAX 5200 LA								
Oil Change	CALTEX HDAX 5200 LA								
Physical Test	Unit	Method	Test Value					Attention	Urgent
Visc@40C	cSt	ASTM D445						/	/
Visc@100C	cSt	ASTM D445	13.2	13.48	14.19	14.29	15.24	11.8/15.2	10.1/16.9
Visc Index	-	ASTM D2270							
Flash Point	°C	ASTM D92							
TBN	mg KOH/g	ASTM D2896	3.98	2.83	2.15	3.35	2.81	2.31	1.68
Metal Additive								Warning	Limit
Magnesium (Mg)	ppm	AAS/ICP	7	8	11	18	19		
Calcium (Ca)	ppm	AAS/ICP	1315	1495	1424	1433	1590		
Zinc (Zn)	ppm	AAS/ICP	353	287	317	276	367		
Molybdenum (Mo)	ppm	AAS/ICP							
Boron	ppm	AAS/ICP							
Phosphor	ppm	AAS/ICP							
Contaminant									
Natrium (Na)	ppm	AAS/ICP	0	0	0	0	1	35	50
Silicon (Si)	ppm	AAS/ICP	5	2	2	3	4	10	15
Fuel Dilution	%v	ASTM E2412	0	0	0	0	0		
Water Content	%v	ASTM E2412	0	0	0	0	0	0.1	0.2
Glycol	%v	ASTM E2412	0	0	0	0	0	2	3
Wear Metal									
Iron (Fe)	ppm	AAS/ICP	2	4	4	11	33	25	40
Copper (Cu)	ppm	AAS/ICP	3	2	6	2	3	20	30
Aluminium (Al)	ppm	AAS/ICP	7	7	7	5	10	15	20
Chromium (Cr)	ppm	AAS/ICP	0	0	1	0	0	10	15
Nickel (Ni)	ppm	AAS/ICP	0	0	1	0	0	5	10
Tin (Sn)	ppm	AAS/ICP	0	2	0	0	1		
Lead (Pb)	ppm	AAS/ICP	0	0	5	0	0	15	25
Vanadium (V)	ppm	AAS/ICP							
PQ Index									
Color			-	-	-	-	-		
FTIR								Warning	Limit
Soot	Abs/0.1mm	ASTM E2412	0.005	0.005	0	0.01	0.01	0.1	0.25
Oxidation	Abs/0.1mm	ASTM E2412	0.01	0.03	0.06	0.08	0.13	0.4	0.6
Nitration	Abs/0.1mm	ASTM E2412	0.02	0.04	0.11	0.19	0.28	0.4	0.6
Sulfation	Abs/0.1mm	ASTM E2412	0.01	0.02	0.05	0.06	0.09	0.4	0.6
Other Analysis									
ISO CODE	-	ISO 4406	-	-	-	-	-	/	/



Interpretation and Recommendation
 Tidak ada keterangan tentang oil change pelumas. Nilai viskositas pelumas naik tetapi masih dalam batas toleransi. Ausan Fe perlu diperhatikan, kemungkinan berasal dari keausan pada komponen Gear, Cylinder Liner, Camshaft atau Valve Mechanism. Mohon untuk melengkapi identitas sampel (oil change) untuk sampel-sampel berikutnya. Perhatikan level dan tekanan pelumas. Periksa bunyi atau getaran yang tidak biasa. Jika pelumas belum diganti: disarankan untuk melakukan penggantian pelumas sebagian (sekitar 20-30%v) (drain pelumas lama sekitar 20-30% kemudian masukkan 20-30% pelumas baru) untuk memperbaiki nilai viskositas atau percepat masa pakai pelumas. Periksa filter pelumas untuk observasi logam yang ada pada filter pelumas. Resampling 10 jam berikutnya untuk memonitor tren kadar Fe, nilai viskositas dan parameter lainnya.

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan pada 26 Juni 2000, merupakan anak kedua dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Aisyah Mataram, SDN 16 Mataram, SMPN 2 Mataram dan SMAN 1 Mataram. Setelah lulus dari SMAN tahun 2018, Penulis diterima di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK - ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 04211840000005.

Di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Penulis sempat aktif di beberapa kegiatan Seminar maupun agenda yang diselenggarakan oleh Departemen, Himpunan Mahasiswa Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) dan aktif sebagai Grader Praktikum Elektronika Kapal dan Praktikum Listrik Perkapalan.

Aldika Zihatul Mutmainah

al.zihatul@gmail.com