



**TUGAS AKHIR - ME184834**

# **ANALISA PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MESIN DIESEL SATU SILINDER DENGAN BAHAN BAKAR GREEN DIESEL BERBASIS SIMULASI**

**PRAFASTA ARU GINANTAKA**  
**NRP. 0421164000072**

**DOSEN PEMBIMBING**

**Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph. D**

**NIP. 197903192008011008**

**Ir. Agung Zuhdi M. Fathallah., M.Eng., Ph.D**

**NIP. 195605191986101001**

**Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2020**





**TUGAS AKHIR – ME184841**

**ANALISA PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI PADA  
MESIN DIESEL SATU SILINDER DENGAN BAHAN BAKAR  
GREEN DIESEL BERBASIS SIMULASI**

**Prafasta Aru Ginantaka**  
**NRP. 0421164000072**

**DOSEN PEMBIMBING**

Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.

NIP. 197903192008011008

Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D.

NIP. 195605191986101001

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020**







---

**BACHELOR THESIS – ME184841**

**ANALYSIS OF COMBUSTION PROCESS AND EMISSION  
ON ONE CYLINDER DIESEL ENGINE WITH GREEN  
DIESEL FUEL BASED ON SIMULATION**

**Prafasta Aru Ginantaka**  
**NRP. 0421164000072**

**SUPERVISOR**

Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197903192008011008  
Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D.  
NIP. 195605191986101001

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2020**







## LEMBAR PENGESAHAN

### **ANALISA PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MESIN DIESEL SATU SILINDER DENGAN BAHAN BAKAR GREEN DIESEL BERBASIS SIMULASI**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana  
Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Prafasta Aru Ginantaka**

**NRP. 04211640000072**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

(  )

2. Ir. Agung Zuhdi M. Fathallah., M.Eng., Ph.D  
NIP. 19560519198610100

(  )

**SURABAYA, AGUSTUS 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LEMBAR PENGESAHAN

### ANALISA PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI PADA MESIN DIESEL SATU SILINDER DENGAN BAHAN BAKAR GREEN DIESEL BERBASIS SIMULASI

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana  
Teknik  
Pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Prafasta Aru Ginantaka**  
**NRP. 0421164000072**

Ditstujui Oleh,  
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



**SURABAYA, AGUSTUS 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Analisa Proses Pembakaran dan Emisi pada Mesin Diesel Satu Silinder dengan Bahan Bakar *Green Diesel* Berbasis Simulasi**

Nama Mahasiswa : Prafasta Aru Ginantaka  
NRP : 0421164000072  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing I : Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M. Eng., Ph.D.  
Bidang Studi : MPP (*Marine Power Plant*)

### **ABSTRAK**

Seiring perkembangan jaman, riset berkelanjutan dilakukan untuk mendapat bahan bakar yang lebih optimal dan lebih ramah lingkungan, para peneliti membuat sebuah terobosan baru yaitu bahan bakar *green diesel*. *Green diesel* adalah bahan bakar yang berasal dari minyak nabati, dan melalui proses *hydrotreating* untuk memisahkan kandungan oksigen di dalam minyak. Karakteristik dari bahan bakar *green diesel* lebih bagus dibandingkan bahan bakar solar pada umumnya. Dari segi performa, bahan bakar *green diesel* juga lebih baik dibandingkan bahan bakar solar. Penelitian ini berfokus pada proses pembakaran dan kadar emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar *green diesel*. Pengujian data dilakukan pada 2200 RPM dan dengan beban mesin sebesar 25%, 50%, 75%, dan 100%. Dari hasil simulasi, diketahui bahwa bahan bakar *green diesel* menghasilkan tekanan dan temperature pembakaran lebih tinggi dibandingkan dengan biodiesel B30. Hal tersebut berpengaruh kepada kadar emisi NOx yang dihasilkan, karena NOx terbentuk dari temperatur dan tekanan pembakaran yang tinggi. Kadar NOx yang dihasilkan oleh bahan bakar *green diesel* lebih tinggi dibandingkan dengan biodiesel B30.

***Kata Kunci*** : *Green Diesel*, Bahan Bakar, Simulasi, Pembakaran, Emisi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **Analysis of Combustion Process and Emission on One Cylinder Diesel Engine with Green Diesel Fuel Based on Simulation**

Nama Mahasiswa : Prafasta Aru Ginantaka  
NRP : 0421164000072  
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing I : Beny Cahyono, S.T., M.T., Ph.D.  
Dosen Pembimbing II : Ir. Aguk Zuhdi M. Fathallah, M. Eng., Ph.D.  
Bidang Studi : MPP (*Marine Power Plant*)

### **ABSTRACT**

As time goes by, ongoing research is carried out to obtain more optimal and more environmentally friendly fuels, the researchers make a new breakthrough namely green diesel fuel. Green diesel is a fuel derived from vegetable oil, and through a hydrotreating process to separate the oxygen content in the oil. The characteristics of green diesel fuel are better than diesel fuel in general. In terms of performance, green diesel fuel is also better than diesel fuel. This research focuses on the combustion process and emission levels produced by green diesel fuel. Data testing was carried out at 2200 RPM and with an engine load of 25%, 50%, 75%, and 100%. From the simulation results, it is known that green diesel fuel produces a higher combustion pressure and temperature compared to B30 biodiesel. This affects the resulting NOx emission levels, because NOx is formed from high temperatures and combustion pressures. NOx levels produced by green diesel fuel are higher than B30 biodiesel.

**Keywords** : *Green Diesel, Fuel, Simulation, Combustion, Emission*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat nikmat dan karunia-Nya, sehingga laporan ini dapat diselesaikan dengan judul “Analisa Proses Pembakaran dan Emisi pada Mesin Diesel Satu Silinder dengan Bahan Bakar *Green Diesel* Berbasis Simulasi” dengan sebaik mungkin.

Selama pelaksanaan Skripsi, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak terkait. Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak yang telah memberikan motivasi, membantu, membimbing pelaksanaan dan penyusunan laporan kerja praktik ini, khususnya kepada :

1. Ibu Hamida Prasetiawati, Bapak Sunaryadi, serta seluruh anggota keluarga yang telah memberi dukungan moral dan materil sehingga pengerjaan Skripsi ini bisa berjalan hingga selesai.
2. Bapak Beny Cahyono S.T.,M.T.,Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Sistem Perkapalan juga sebagai dosen pembimbing I yang telah memberi banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
3. Bapak Ir. Agung Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D. sebagai dosen pembimbing II yang telah banyak membimbing penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.
4. *Green Diesel Project Team*, Hadrian dan Dhundhux, yang dengan kebersamaan dan kerjasamanya bisa saling membantu mengerjakan Skripsi masing – masing.
5. Seluruh anggota laboratorium dan *oiler* MPP, serta Bapak Nur Afandi, untuk semua bantuan, motivasi, dan doanya dalam pengerjaan Skripsi ini.
6. Mas Adhitya Rhengga sebagai kakak pembimbing penulis dalam menyelesaikan semua permasalahan yang dihadapi penulis dalam menyelesaikan Skripsi ini.
7. Ganggas, Dennis, Hanif, Kamil, Tatyana, Fikran, karena senantiasa menemani masa – masa sulit dalam pengerjaan Skripsi.
8. Voyage’16, untuk semua kebersamaan yang terjalin dari awal perkuliahan hingga tahun terakhir ini.
9. Asih Rahma Dianti, yang selalu memberi semangat dan mendengar keluh kesah penulis selama pengerjaan Skripsi.
10. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan penulis satu per satu, doa dan terima kasih penulis panjatkan untuk kalian.

Laporan ini masih memerlukan penyempurnaan serta pengembangan lebih lanjut. penulis menerima segala kritik dan saran yang akan menjadi masukan bagi laporan. Semoga hasil yang diperoleh selama proses pengerjaan laporan ini dapat bermanfaat, baik bagi kami maupun bagi pembaca.

Surabaya, Juni 2020

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Isi

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
Daftar Isi.....	xi
Daftar Gambar.....	xiii
Daftar Tabel.....	xv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Perumusan Masalah.....	1
1.3    Batasan Masalah.....	2
1.4    Tujuan Skripsi .....	2
1.5    Manfaat.....	2
BAB II.....	3
TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1    Motor Diesel.....	4
2.2    Green Diesel.....	6
2.2.1    Produksi <i>Green Diesel</i> .....	7
2.2.2    Teknologi Produksi <i>Green Diesel</i> .....	8
2.3    Proses Pembakaran.....	9
2.4    Emisi / Komponen Pencemaran Udara .....	10
2.4.1    Regulasi tentang Emisi.....	11
BAB III.....	13
METODOLOGI PENELITIAN .....	13
3.1    Identifikasi Masalah .....	14
3.2    Studi Literasi .....	14
3.3    Perumusan Hipotesa .....	14
3.4    Properti Green Diesel.....	14

3.5	Engine Set Up.....	15
3.6	Kalibrasi .....	15
3.7	Pengujian Proses Pembakaran dan Pengukuran Emisi.....	17
3.8	Analisa dan Pembahasan.....	17
3.9	Kesimpulan dan Saran.....	18
BAB IV .....		19
ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		19
4.1	Analisa Proses Pembakaran.....	19
4.1.1	Analisa <i>Combustion Pressure</i> .....	19
4.1.2	Analisa <i>Heat Release</i> .....	23
4.1.3	Analisa <i>Ignition Delay</i> .....	27
4.1.3	Analisa Temperatur Pembakaran .....	28
4.2	Analisa Emisi NOx.....	32
BAB V.....		35
KESIMPULAN DAN SARAN .....		35
5.1	Kesimpulan.....	35
5.2	Saran.....	35
Daftar Pustaka .....		37

## Daftar Gambar

Gambar 2. 1 Mesin Diesel.....	4
Gambar 2. 2 Siklus Motor Empat Langkah.....	5
Gambar 2. 3 Siklus Motor Dua Langkah.....	6
Gambar 2. 4 Produsen Green Diesel .....	7
Gambar 2. 5 Perbandingan Proses Pembuatan Bahan Bakar .....	7
Gambar 2. 6 Skema Pembuatan Green Diesel.....	9
Gambar 2. 7 Grafik Tahapan Pembakaran Mesin Diesel .....	9
Gambar 3. 1 Flowchart Metodologi Penelitian .....	13
Gambar 3. 2 Rangkaian Engine Setup.....	15
Gambar 3. 3 Project Guide Yanmar TF85MH .....	16
Gambar 4.1 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 25% beban .....	19
Gambar 4.2 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 50% beban .....	20
Gambar 4.3 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 75% beban .....	21
Gambar 4.4 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 100% beban .....	22
Gambar 4.5 Grafik perbandingan heat release rate pada 2200 RPM dengan 25% beban .....	23
Gambar 4.6 Grafik perbandingan heat release rate pada 2200 RPM dengan 50% beban .....	24
Gambar 4.7 Grafik perbandingan heat release rate pada 2200 RPM dengan 75% beban .....	25
Gambar 4.8 Grafik perbandingan heat release rate pada 2200 RPM dengan 100% beban .....	26
Gambar 4.9 Grafik perbandingan ignition delay .....	27
Gambar 4.10 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 25% beban ....	28
Gambar 4.11 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 50% beban ....	29
Gambar 4.12 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 75% beban ....	30
Gambar 4.13 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 100% beban ..	31
Gambar 4.14 Grafik Kadar NOx pada RPM 2200 .....	32
Gambar 4.15 Grafik Kadar NOx pada RPM 2200 .....	33

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Tabel

Tabel 2. 1 Perbandingan Karakteristik Bahan Bakar .....	8
Tabel 2. 2 Batasan kadar NOx sesuai MARPOL .....	12
Tabel 3. 1 Kandungan green diesel .....	14
Tabel 3. 2 Hasil Kalibrasi.....	16

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Motor bakar diesel adalah jenis motor yang paling umum digunakan pada bidang industri dan transportasi, baik darat maupun laut. Dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan penambahan penduduk, konsumsi bahan bakar minyak (BBM) di Indonesia periode 2000- 2014 mengalami peningkatan (Ana, 2016). Namun peningkatan konsumsi BBM tidak diiringi dengan pertumbuhan produksi minyak mentah domestik. Salah satu langkah pemerintah menanggulangi krisis bahan bakar adalah penggunaan biodiesel. Biodiesel adalah salah satu alternatif bahan bakar terbarukan untuk bahan bakar motor bakar diesel yang dapat diproduksi dengan minyak nabati atau hewani.

Seiring perkembangan jaman, pemerintah mulai menjalankan riset tentang bahan bakar yang berkelanjutan dan lebih ramah lingkungan. Riset bahan bakar diesel setelah biodiesel untuk mengatasi kebutuhan bahan bakar diesel yang semakin meningkat adalah *green diesel*. *Green diesel* merupakan minyak diesel yang berasal dari minyak nabati yang telah melalui proses *hydrotreating*, yaitu penginjeksian hydrogen dengan suhu dan temperature tertentu untuk memisahkan kandungan oksigen dari rantai karbon minyak.

Salah satu masalah yang timbul akibat maraknya penggunaan motor bakar yaitu emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakarannya. Gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel antara lain berupa Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>), Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO), dan *Particulate Matter* (PM), yang berpotensi mencemari lingkungan, serta mengganggu kesehatan makhluk hidup. Pemerintah sendiri telah menetapkan regulasi tentang *properties* dari bahan bakar, dan juga menetapkan regulasi mengenai emisi gas buang.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus untuk menganalisa proses pembakaran dan kadar emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar *green diesel*. Dengan analisa ini diharapkan dapat diketahui pengaruh penggunaan bahan bakar *green diesel* terhadap proses pembakaran dan kadar emisi yang dihasilkan, sehingga dapat menginformasikan kelayakan bahan bakar terhadap emisi yang ditimbulkan.

### 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui:

1. Bagaimana proses pembakaran pada motor diesel dengan bahan bakar *green diesel*?
2. Bagaimana kadar emisi NO<sub>x</sub> yang dihasilkan dari pembakaran menggunakan bahan bakar *green diesel*?
3. Bagaimana perbandingan antara proses pembakaran dan kadar emisi dengan bahan bakar *green diesel* dan B30?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan Batasan masalah sebagai berikut :

1. Mesin diesel yang digunakan adalah YANMAR TF85MH.
2. Proses pembakaran yang akan diuji adalah tekanan, temperatur, dan *heat release*.
3. Ruang lingkup analisa emisi mencakup NOx.
4. Bahan bakar pembanding yang digunakan adalah biodiesel B30.
5. Penelitian menggunakan *software*.

### 1.4 Tujuan Skripsi

Untuk menjawab semua pertanyaan yang terdapt pada perumusan masalah idatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut :

1. Untuk menganalisa proses pembakaran pada motor diesel dengan bahan bakar green diesel
2. Untuk menganalisa kadar emisi yang dihasilkan dari pembakaran menggunakan bahan bakar *green diesel*.
3. Untuk menganalisa perbandingan kadar emisi antara bahan bakar *green diesel* dan biodiesel B30.

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebaga berikut :

1. Menambah wawasan mengenai *green diesel*.
2. Memberi informasi tentang proses pembakaran yang dihasilkan dari bahan bakar *green diesel*.
3. Memberi informasi tentang kadar emisi yang dihasilkan dari bahan bakar *green diesel*.
4. Memahami perbandingan proses pembakaran dan emisi bahan bakar *green diesel* dan biodiesel B30.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bahan bakar diesel adalah salah satu bahan bakar yang paling banyak digunakan di dunia. Pemanfaatannya meliputi penggunaan untuk otomotif, industri, dan lain sebagainya. Namun, sebagian besar bahan baku minyak diesel berasal dari minyak fosil yang semakin hari semakin berkurang. Kondisi saat ini yang bertujuan untuk memastikan kelestarian lingkungan bersama dengan masalah ekonomi dan sosial telah mendorong para peneliti bahan bakar untuk memfokuskan kegiatan pada berbagai alternatif bahan bakar fosil. Beberapa upaya telah dilakukan untuk substitusi bahan bakar minyak dengan bahan bakar lainnya. Biodiesel dan *green diesel* adalah pengganti diesel yang berpeluang besar digunakan baik dalam bentuk utuh atau dalam campuran dengan bahan bakar minyak bumi dalam mesin diesel (Chiavola, 2018).

Salah satu masalah yang timbul akibat maraknya penggunaan motor bakar yaitu emisi gas buang yang dihasilkan dari proses pembakarannya. Gas buang yang dihasilkan oleh mesin diesel antara lain berupa Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>), Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO), dan *Particulate Matter* (PM), yang berpotensi mencemari lingkungan, serta mengganggu kesehatan makhluk hidup. Pemerintah sendiri telah menetapkan regulasi tentang *properties* dari bahan bakar, dan juga menetapkan regulasi mengenai emisi gas buang.

Sebelumnya, telah dilakukan penelitian tentang pemanfaatan bahan bakar *green diesel* dari segi proses produksi, bahan baku, dan *properties* bahan bakar. Proses *hydroprocessing* dari minyak trigliserida dan lemak telah dikenal sebagai teknologi yang paling umum digunakan untuk produksi bahan bakar alternatif. Bahan bakar diesel yang dihasilkan dari *hydroprocessing* menghasilkan bahan bakar *green diesel* yang memiliki rasio nilai CN, LHV, dan H / C yang jauh lebih tinggi daripada bahan bakar diesel berbahan baku minyak fosil (Savvas, 2019).

Karena masih sedikitnya penelitian tentang proses pembakaran dan kadar emisi dari bahan bakar *green diesel*, maka penulis berinisiatif untuk meneliti lebih lanjut tentang proses pembakaran dan kadar emisi yang dihasilkan dari bahan bakar *green diesel*, dengan harapan untuk menambah informasi dan pengetahuan lebih tentang *green diesel*.

## 2.1 Motor Diesel

Motor bakar diesel / mesin diesel adalah motor pembakaran dalam yang menggunakan kompresi dan suhu tinggi untuk menyalakan bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Mesin diesel tidak menggunakan busi sebagai pemantik seperti mesin bensin atau mesin gas. Mesin diesel ditemukan oleh Rudolf diesel pada tahun 1892. Mesin diesel memiliki efisiensi termal terbaik dibandingkan dengan mesin pembakaran dalam maupun mesin pembakaran luar, karena memiliki rasio kompresi yang sangat tinggi.

Secara umum konstruksi motor diesel mirip dengan konstruksi pada motor bensin. Keduanya merupakan kelompok mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*), dan menggunakan piston sebagai media untuk mengkonversi energi panas hasil pembakaran menjadi energi mekanik berupa gerak lurus yang selanjutnya menggunakan mekanisme poros engkol dikonversi menjadi gerak rotasi. Ukuran motor diesel sangat bervariasi dari yang berukuran kecil sampai dengan yang sangat besar dan berbagai pertimbangan yang salah satunya adalah pada gaya kesamping oleh masa piston, menyebabkan perkembangan desain dan konstruksi motor diesel hingga saat ini. Kondisi tersebut menyebabkan bervariasinya desain konstruksi, khususnya konstruksi piston yang dipergunakan. Piston merupakan komponen penting dari sebuah motor diesel, sebab komponen tersebut sebagai alat konversi energi. Selain itu, piston juga berfungsi untuk melakukan siklus motor diesel, dan karena ia selalu berhubungan dengan panas dan tekanan, maka piston perlu didesain seemikian rupa selain kuat dan juga tahan terhadap perubahan panas (Sukoco dan Arifin, 2013).



Gambar 2.1 Mesin diesel  
(Sumber : Yanmar Indonesia)

Berdasarkan siklus kerjanya, motor diesel dibagi menjadi dua, yaitu empat langkah dan dua langkah. Perbedaannya adalah jumlah langkah yang dibutuhkan untuk menghasilkan pembakaran. Pada mesin empat langkah, dibutuhkan empat

langkah kerja torak untuk menghasilkan satu siklus pembakaran, sedangkan pada mesin dua langkah, dibutuhkan dua langkah kerja torak untuk menghasilkan satu siklus pembakaran.

a. Motor empat langkah

Pada motor empat langkah, proses yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu siklus pembakaran yaitu:

1. Langkah hisap

Pada langkah hisap, torak bergerak dari titik mati atas ke titik mati bawah. Udara masuk melalui katup hisap karena kondisi *vacuum* terjadi di dalam ruang bakar, sedangkan katup buang tertutup.

2. Langkah kompresi

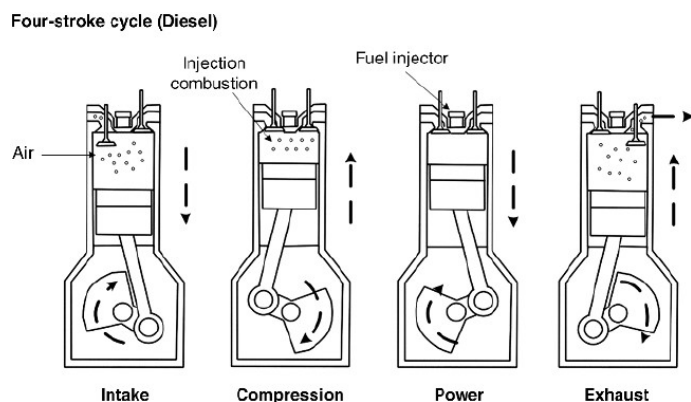
Saat langkah kompresi, katup hisap dan katup buang tertutup. Torak bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas sehingga suhu dan tekanan dalam ruang bakar meningkat. Beberapa saat sebelum torak mencapai titik mati atas, bahan bakar diinjeksikan masuk ke ruang bakar.

3. Langkah usaha

Karena kompresi dan temperature tinggi dalam ruang bakar, maka bahan bakar akan terbakar dan menghasilkan usaha sehingga torak bergerak ke titik mati bawah.

4. Langkah buang

Torak bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas, katup buang terbuka dan gas sisa pembakaran akan dibuang ke lingkungan..



Gambar 2.2 Siklus Motor Empat Langkah (Fallaf, 2014)

b. Motor dua langkah

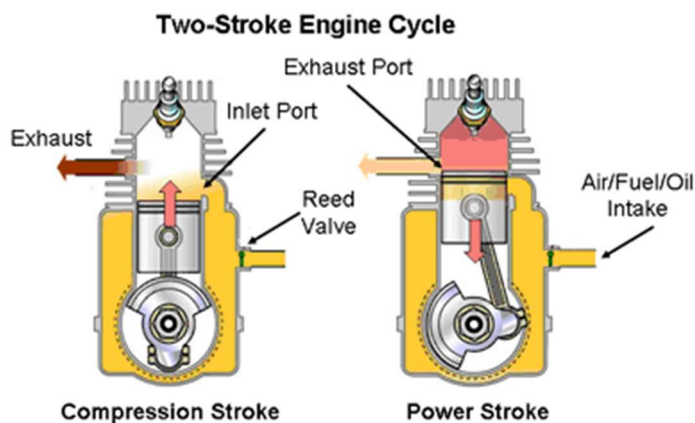
Pada motor dua langkah, proses yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu siklus pembakaran yaitu :

1. Langkah hisap – kompresi

Pada langkah ini, torak bergerak dari titik mati bawah ke titik mati atas sehingga udara yang masuk ke ruang bakar terkompresi dan temperatur meningkat. Bahan bakar diinjeksikan sebelum torak mencapai titik mati atas.

2. Langkah usaha – buang

Pada langkah ini, torak bergerak dari titik mati atas ke titik mati bawah yang disebabkan oleh usaha hasil pembakaran dan diikuti oleh gas hasil oembakaran dibuang ke luar.



Gambar 2.3 Siklus motor dua Langkah (Squeda, 2017)

## 2.2 Green Diesel

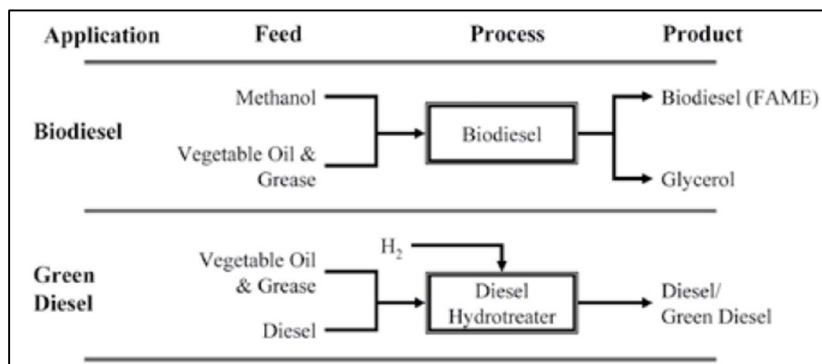
*Green diesel* adalah bahan bakar berbasis minyak alami, dan benar-benar terdeoksigenasi yang dihasilkan melalui reaksi katalitik yang mencakup proses hidroprosesor dan / atau dekarboksilasi / dekarbilasi dari triasilgliserol yang berasal dari sumber daya terbarukan yang berbeda (misalnya, minyak sayur) (Kalnes et al., 2009). *Green diesel*, adalah biofuel generasi kedua, yang memiliki struktur molekul yang sama dengan diesel minyak bumi tetapi menyediakan sifat diesel yang lebih baik. *Green diesel* diproduksi oleh *hydrotreating* trigliserida dalam minyak nabati dengan Proses *hydrotreating* terdiri dari 3 reaksi utama: *hydrodeoxygenation* (HDO), *decarbonylation* (DCO) dan *decarboxylation* (DCO<sub>2</sub>), dioperasikan untuk menghilangkan oksigen, karbonmonoksida dan air, dan masing-masing karbondioksida.



Gambar 2.4 Produsen green diesel  
Sumber : Webpage Diamond Green Diesel

### 2.2.1 Produksi Green Diesel

*Green diesel* secara umum berasal dari minyak nabati, seperti halnya biodiesel, namun ada perbedaan pada proses pembuatannya. Biodiesel diproduksi dengan transesterifikasi trigliserida dengan adanya bantuan methanol dan katalis, dan reaksi dikatalisis untuk menghasilkan FAME dan gliserol sebagai produk sampingannya. *Green diesel* diproduksi dengan menggunakan sistem *hydroprocessing*, yang menggunakan hydrogen untuk memisahkan oksigen dari molekul trigliserida, kemudian oksigen dihilangkan melalui reaksi dekarboksilasi dan hidrideoksigenasi.



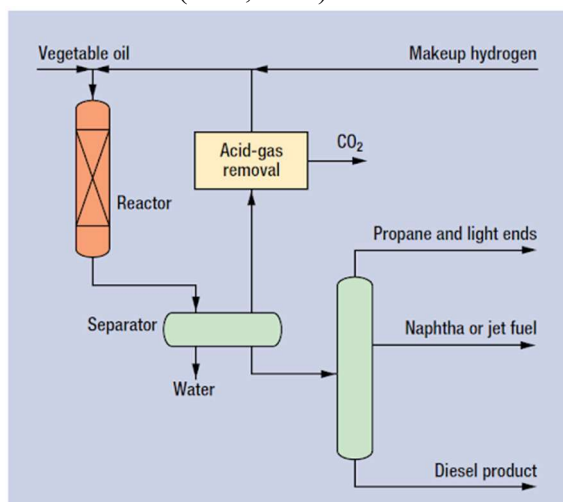
Gambar 2.5 Perbandingan proses pembuatan biodiesel dan green diesel (Piemonte, 2019)

Tabel 2.1 Perbandingan Karakteristik Bahan Bakar  
Sumber : Kanes, et al .,2007

	Petroleum ULSD	FAME (Biodiesel)	Green Diesel
Oxygen	0	11	0
Specific Gravity	0.84	0.88	0.78
Sulfur, ppm	<10	<1	<1
Heating Value MJ/kg	43	38	44
Cloud Point	-5	-5 to +15	-10 to +20
Distillation	200-350	340-355	265-320
Cetane Number	40	50-65	70-90
Stability	Good	Marginal	Good

## 2.2.2 Teknologi Produksi *Green Diesel*

*Green diesel* umumnya dapat diproduksi dari biomassa melalui empat teknologi yaitu *hydroprocessing*, peningkatan katalitik gula, pati dan konversi termal (pirolisis), dan proses termokimia. *Hydroprocessing* bertujuan untuk mengubah trigliserida minyak dan lemak biomassa menjadi hidrokarbon jenuh melalui pemrosesan katalitik dengan. Peningkatan katalitik gula dan melibatkan teknologi fase cair seperti *aqueous phase reforming* (APR). Konversi termal melibatkan pirolisis biomassa dan produksi bio-minyak yang kemudian disuling menjadi *green diesel*. Akhirnya, proses BTL melibatkan gasifikasi suhu tinggi dari biomassa untuk produksi syngas yang kaya akan H<sub>2</sub> dan CO dan sintesis kimia selanjutnya dari *green diesel* cair melalui proses Fischer-Tropsch (FT) yang terkenal. *Green diesel* yang diproduksi dengan metode Fischer-Tropsch kadang-kadang disebut *green diesel* FT (Srifa, 2014).

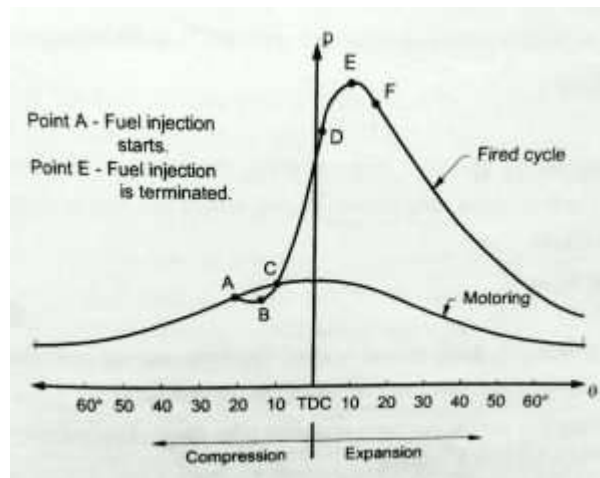


Gambar 2. 6 Skema Teknologi Pembuatan *Green Diesel* (Piemonte, 2019)



### 2.3 Proses Pembakaran

Pembakaran adalah proses reaksi kimia yang cepat antara bahan bakar dan udara. Pada mesin pembakaran dalam, ada beberapa tahapan pembakaran untuk mesin yang berbeda. Dalam mesin pengapian kompresi, pada langkah kompresi, hanya udara yang dikompresi pada tekanan dan suhu yang sangat tinggi. Rasio kompresi yang digunakan adalah dalam kisaran 12 hingga 120. Suhu udara menjadi lebih tinggi dari suhu bahan bakar yang diesel, kemudian bahan bakar diesel diinjeksikan di ruang bakar dibawah tekanan sangat tinggi sekitar 120 hingga 210 bar (Parkad, 2020).



Gambar 2.7 Grafik Tahapan Pembakaran Mesin Diesel (Parkad, 2020)

Ada empat tahapan pembakaran pada mesin diesel di mana pembakaran udara dan bahan bakar dilakukan sebagai berikut :

- Tahap *Ignition Delay*

Pada tahap pertama pembakaran di mesin diesel, bahan bakar dari sistem injeksi disemprotkan ke ruang bakar dengan tekanan tinggi, sehingga menjadi partikel – partikel kecil dan bercampur dengan udara. Dalam proses penguapan ini, bahan bakar mendapat panas dari udara yang terkompresi. Ini menyebabkan beberapa penurunan tekanan dalam silinder. Dapat dilihat penurunan tekanan ini (kurva AB) pada gambar 4.2.

- Tahap *Uncontrolled Combustion*

Ini adalah tahap kedua pembakaran pada mesin diesel. Setelah periode *ignition delay* yang disebutkan di atas berakhir, campuran udara dan bahan bakar akan menyala secara otomatis karena telah mencapai suhu pembakaran tertentu. Campuran udara dan bahan bakar di mesin diesel bersifat heterogen, sehingga nyala api muncul di lebih dari satu lokasi di mana konsentrasi campurannya tinggi. Campuran bahan bakar dan udara dengan konsentrasi lebih rendah pada titik lain akan ikut terbakar karena adanya proses perpindahan panas dalam ruang bakar.

- Tahap *Controlled Combustion*

Ketika bahan bakar yang terakumulasi selama periode sebelumnya benar-benar terbakar, suhu dan tekanan campuran bahan bakar dan udara dalam silinder menjadi sangat tinggi sehingga bahan bakar injeksi baru dari injektor akan terbakar dengan cepat karena adanya oksigen yang cukup di ruang bakar .

- Tahap *After Burning*

Ini adalah tahap terakhir dari empat tahap pembakaran di mesin diesel. Secara alami, proses pembakaran selesai pada titik ketika tekanan maksimum diperoleh di ruang pembakaran pada titik E seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Namun, pembakaran bahan bakar di ruang bakar tetap berlanjut selama langkah ekspansi. Penyebab utamanya adalah pencampuran antara partikel gas dan bahan bakar yang belum sempat terbakar sebelumnya.

## 2.4 Emisi / Komponen Pencemaran Udara

Emisi merupakan sisa hasil pembakaran dari motor bakar dalam yang bersifat mencemari udara. Penyumbang emisi terbesar saat ini yakni terdapat pada transportasi baik laut maupun darat khususnya pada motor disel. Terdapat beberapa komponen emisi yang dihasilkan dari motor diesel antara lain:

a) Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Maka dari itu suatu lingkungan yang sudah tercemar oleh karbon monoksida tidak dapat terlihat dan dirasakan. Apabila seseorang yang terpapar dalam waktu yang melebihi toleransi maka akan merusak kesehatan bahkan kematian. Karbon monoksida dihasilkan karena pembakaran yang tidak sempurna. Menurut hasil penelitian dari K.A. Abed dkk (2019) penggunaan dari biodiesel dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hal ini dikarenakan biodiesel mengandung lebih banyak oksigen sehingga berdampak pada pembakaran yang lebih sempurna dibanding bahan bakar diesel konvensional (Abed dkk, 2012).

b) Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Pada umumnya karbon dioksida banyak dihasilkan oleh motor pembakaran dalam khususnya motor diesel. Apabila pencemaran karbon dioksida di udara semakin banyak maka akan berdampak terbentuknya gas rumah kaca yang berefek terjadinya pemanasan global. Menurut hasil penelitian Abed dkk (2019) penggunaan biodiesel terbukti dapat mengurangi emisi karbon dioksida.

c) Nitrogen Monoksida (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen Monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak terbakar. NO<sub>x</sub> pada umumnya dihasilkan dari motor pembakaran dalam khususnya pada motor diesel. Dimana NO<sub>x</sub> terbentuk akibat reaksi dari oksigen dan nitrogen yang bereaksi pada pada ruang bakar. Menurut hasil penelitian Abed dkk (2019) NO<sub>x</sub> terbanyak dihasilkan oleh pembakaran motor diesel berbahan bakar

biodiesel, ini merupakan kelemahan dari bahan bakar biodiesel. Hal ini dapat terjadi karena pada bahan bakar biodiesel mengandung lebih banyak oksigen.

d) Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon adalah suatu gas yang dihasilkan pada motor bakar dalam khususnya pada motor diesel yang bersifat mencemari udara. Hidrokarbon terbentuk dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna pada motor bakar dalam khususnya motor diesel yang sudah berumur. Ketidak sempurnaan dalam pembakaran disebabkan kurangnya kandungan oksigen. Menurut hasil penelitian Abed dkk (2019) membuktikan penggunaan motor diesel berbahan bakar biodiesel B10, B20 dapat mengurangi pembentukan hidrokarbon dengan motor diesel berbahan bakar diesel konvensional. Hal ini dapat terjadi karena adanya kandungan oksigen pada bahan bakar biodiesel sehingga akan berdampak pada pembakaran yang sempurna.

e) Asap

Asap adalah hasil dari pembakaran khususnya pada motor pembakaran dalam seperti motor diesel. Selain, asap lebih banyak dihasilkan oleh transportasi khususnya alat transportasi berpengerak motor diesel. Dapat dilihat pada pengoperasian pada motor diesel terdapat asap berwarna hitam kelam saat motor diesel dioperasikan pada rpm tinggi dan beban tinggi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan banyaknya bahan bakar diesel yang terbakar dengan sedikit kandungan udara. Menurut Abed dkk, 2012 ketika molekul oksigen lebih banyak dan kandungan karbon pada bahan bakar yang rendah maka berdampak pembakaran yang lebih baik. Hal ini membuktikan penelitiannya bahwa penggunaan motor diesel berbahan bakar biodiesel B10, B20 dapat mengurangi pembentukan asap dengan penggunaan motor diesel berbahan bakar diesel konvensional.

#### 2.4.1 Regulasi tentang Emisi

MARPOL annex VI regulasi 13 membahas mengenai peraturan kadar NOx baik yang dikeluarkan oleh mesin maupun akibat dari karakteristik bahan bakar. Dalam regulasi ini untuk mengatur emisi dari NOx dibagi menjadi 3 tingkatan, sebagai berikut:

a) Tier I

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembangunan 1 Januari 2000 sampai 1 Januari 2011. Adapun batasan berat NOx yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini, sebagai berikut:

- Berat NOx 17.0 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm
- Berat NOx  $45.0 \times n(-0.2)$ g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm.
- Berat NOx 9.8 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 2000 rpm.

b) Tier II

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembangunan setelah 1 Januari 2011. Adapun batasan berat NOx yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini, sebagai berikut:

- Berat NOx 14.4 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm.
- Berat NOx  $44,0 \times n(-0.23)$ g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm.
- Berat NOx 7.7 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 2000 rpm.

c) Tier III

Tingkatan ini untuk mesin diesel yang dipasang di kapal dengan tahun pembangunan setelah 1 Januari 2016. Adapun batasan berat NOx yang dikeluarkan mesin dalam tingkatan ini, sebagai berikut:

- Berat NOx 3.4 g/kWh untuk putaran mesin kurang dari 130 rpm.
- Berat NOx  $9.0 \times n(-0.2)$ g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 130 rpm tetapi kurang dari 2000 rpm.
- Berat NOx 2.0 g/kWh untuk putaran mesin lebih dari 2000 rpm.

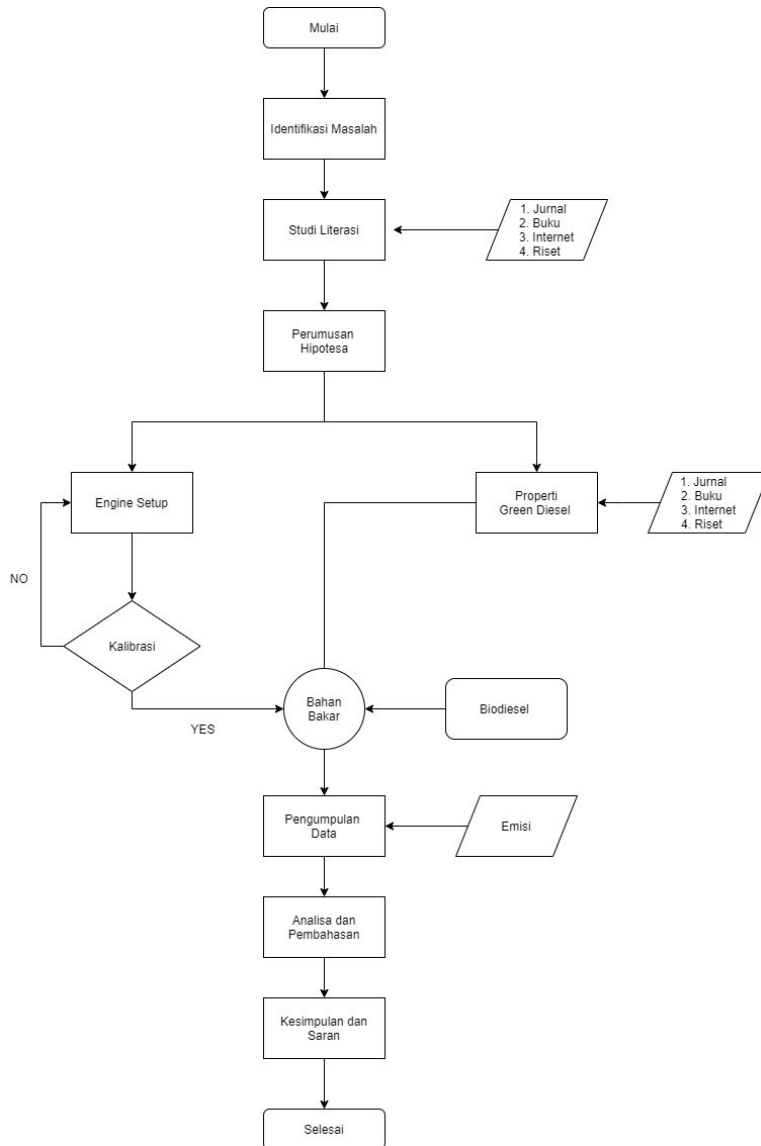
Tabel 2.2 Batasan NOx berdasarkan MARPOL

Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		$n < 130$	$130 \leq n < 2000$	$n \geq 2000$
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96

† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).

### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian kali ini, metode yang digunakan adalah simulasi. Dalam pelaksanaannya, diperlukan proses berkesinambungan untuk melakukan simulasi. Urutan kegiatan penelitian dapat dilihat pada diagram alur seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Flowchart Metodologi Penelitian

### 3.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui proses pembakaran dari *green diesel*, serta membandingkan emisi gas buang motor diesel menggunakan bahan bakar biodiesel B30 dengan *green diesel* yang meliputi NOx.

### 3.2 Studi Literasi

Merupakan acuan dan referensi yang dimanfaatkan untuk mempelajari teori-teori yang digunakan guna menyelesaikan masalah yang terkait pada penelitian ini. Yang diantaranya adalah buku, jurnal, tugas akhir, dan internet mengenai *green diesel*. Dari hasil studi literatur, masih sangat sedikit informasi tentang pembuatan *green diesel* pada skala laboratorium, namun tidak menutup kemungkinan untuk memproduksinya.

### 3.3 Perumusan Hipotesa

Hipotesa pada penelitian ini yaitu :

- a. *Properties* dari *green diesel* lebih baik dari B30 dan masuk ke dalam batas regulasi bahan bakar diesel dari pemerintah.
- b. Emisi gas buang yang dihasilkan *green diesel* lebih ramah lingkungan daripada B30.

### 3.4 Properti Green Diesel

Dari beberapa referensi yang diperoleh, diketahui bahwa proses pembuatan *green diesel* adalah melalui proses *hydrotreatment*. Untuk uji *properties*, dilakukan uji laboratorium yang meliputi viskositas, *cetane number*, LHV, titik nyala, dan titik tuang. Namun karena penulis menggunakan metode simulasi, maka diambil property bahan bakar dari referensi yang didapat untuk selanjutnya diolah di dalam *software*. Kandungan bahan bakar *green diesel* yaitu :

Tabel 3.1 Kandungan *green diesel* (Savvas, 2019)

No	Kandungan	Satuan	Nilai
1	Carbon (wt%)	-	84.9
2	Hydrogen (wt%)	-	15.1
3	Oxygen(wt%)	-	0.0
4	Cetane Number (CN)	-	>70
5	Lower Heating Value	MJ/Kg	43.7-44.5
6	Density at 150°C	Kg/m3	770-790
7	Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (wt%)	-	<0.1
8	Sulfur Content	Mg/Kg	<5

9	Flash Point	°C	>59
10	Ash Content(wt%)	-	<0.001
11	Water Content(mg/kg)	Mg/Kg	<200
12	Viscosity at 40°C	cSt	2 - 4

### 3.5 Engine Set Up

Pada simulasi ini, mesin diesel yang digunakan yaitu :

Merk : YANMAR

Model : TF 85 MH

Jumlah silinder, langkah : 1, 4 langkah

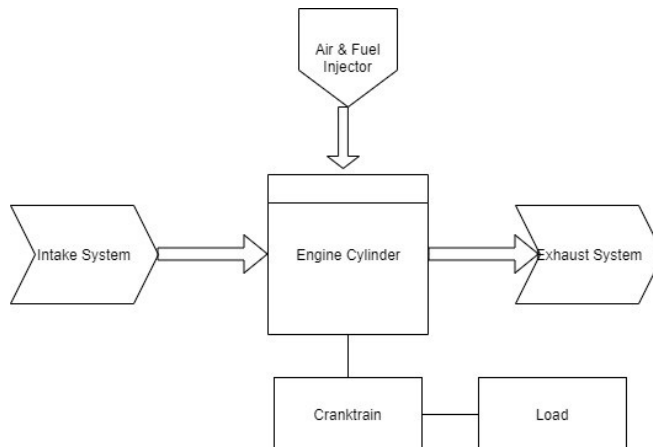
Bore x stroke : 85mm x 87mm

Volume ruang bakar : 493cc

Rasio kompresi : 18:1

RPM maksimum : 2200 rpm

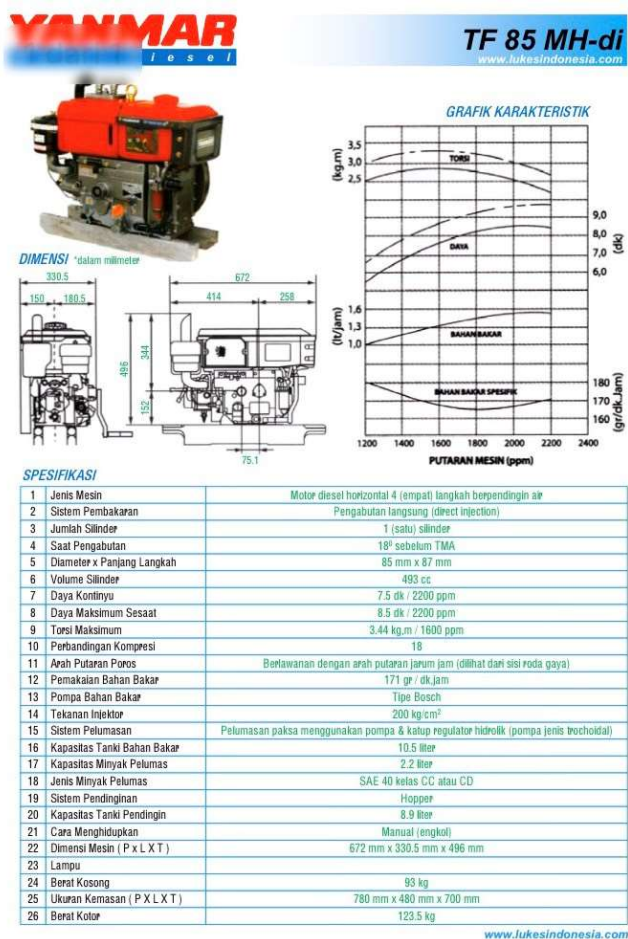
Untuk selanjutnya, komponen mesin dan beban pada simulasi dirangkai sesuai dengan tutorial yang ada pada aplikasi simulasi.



Gambar 3.2 Rangkaian Engine Set Up

### 3.6 Kalibrasi

Persiapan simulasi setelah *set up* mesin dan komponen – komponennya, yaitu, melakukan kalibrasi. Kalibrasi dilakukan supaya data pemodelan pada *software* sesuai dengan data asli mesin yang digunakan untuk simulasi. Kalibrasi mesin menyesuaikan dengan *project guide* mesin yang digunakan. Tidak hanya mesin, namun hal – hal lain yang perlu dikalibrasi antara lain *properties* bahan bakar yang digunakan agar data luaran simulasi menjadi semirip mungkin dengan data eksperimen.



Gambar 3.3 Project Guide Yanmar TF85MH

(sumber : Katalog Mesin Yanmar)

Setelah dilakukan kalibrasi, didapat hasil data luaran simulasi yang sudah mendekati data asli mesin. Di sini, penulis menggunakan bahan bakar diesel, dan mencocokkan torsi maksimum dan daya maksimum dari mesin pada RPM 1600 dan 2200.

Tabel 3.2 Hasil Kalibrasi

	1600 RPM		2200RPM	
	Kalibrasi	Manual	Kalibrasi	Manual
Daya (HP)	6.9		8.5	8.5
Daya (kW)	5.1		6.4	6.35
Torsi (kgf-m)	3.3	3.4	2.8	



SFOC (g/HP-h)	170.7		171.3	171
------------------	-------	--	-------	-----

Dari hasil kalibrasi, dapat diketahui pada 1600 RPM, daya yang dihasilkan 5.1 kW, torsi yang dihasilkan 3.1 kgf-m, dan SFOC sebesar 170.7 g/HP-h. Torsi maksimum yang didapat memiliki eror sekitar 1% jika dibandingkan dengan *project guide*.

Pada 2200 RPM, dapat diketahui daya yang dihasilkan sebesar 6.4 kW, torsi sebesar 2.8 kgf-m, dan SFOC sebesar 171.3 g/HP-h. Daya maksimum yang dihasilkan dari simulasi sudah sesuai dengan *project guide*, sedangkan SFOC memiliki eror senilai 0.5%.

### 3.7 Pengujian Proses Pembakaran dan Pengukuran Emisi

Pengujian performansi dilakukan pada mesin diesel YANMAR TF85 pada simulasi dengan bahan bakar *green diesel* dan pembandingnya adalah biodiesel B30 yang kandungan *propertiesnya* sudah diketahui melalui studi literatur sebelumnya. Standar pengujian yang digunakan mengacu pada MARPOL Annex VI. Pengujian permormfansi akan dilakukan dengan beberapa variabel, diantaranya:

#### a. Variabel tetap

##### - Bahan bakar

Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah *green diesel* dan biodiesel B30.

##### - RPM

RPM mesin untuk pengujian emisi dilakukan pada RPM tertinggi mesin yaitu 2200 RPM

#### b. Variabel berubah

##### - Beban

Pembebanan yg diberikan untuk pengujian emisi yaitu pada 25% beban, 50% beban, 75% beban, dan 100% beban

### 3.8 Analisa dan Pembahasan

Analisa dilakukan pada data yang diperoleh dari hasil eksperimen dua jenis bahan bakar yang berbeda. Analisa tersebut akan digunakan sebagai grafik dan tabel perbandingan yang akan dibahas dalam penelitian ini. Analisa dan pembahasan dilakukan dengan membandingkan emisi bahan bakar motor diesel satu silinder yang telah diuji sebelumnya.

### **3.9 Kesimpulan dan Saran**

Setelah melaksanakan rangkaian kegiatan sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan dari seluruh simulasi yang dilakukan. Kesimpulan dan saran dibuat menurut data luaran yang dihasilkan saat simulasi.

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

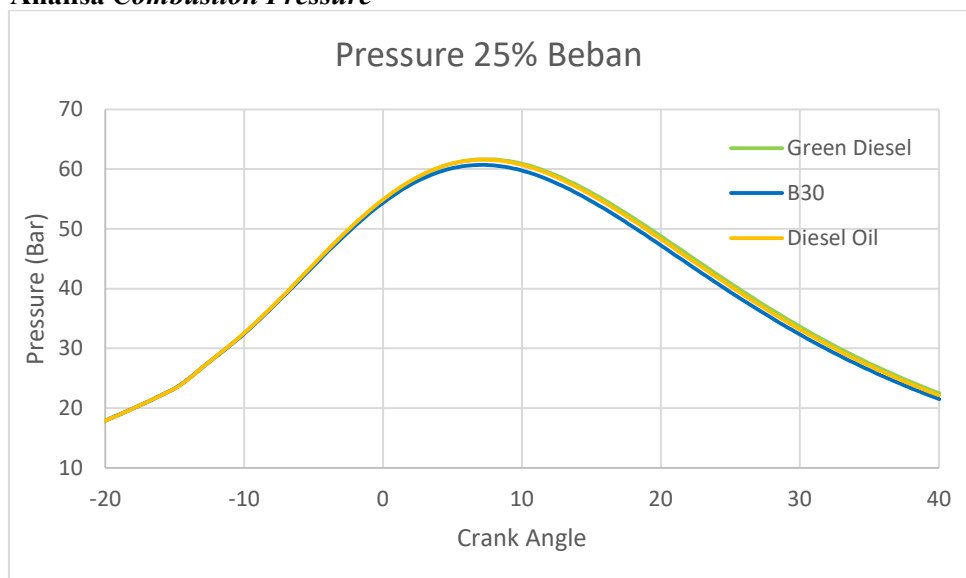
Bahan bakar diesel adalah minyak campuran hidrokarbon yang berasal dari rangkaian proses pengolahan pemurnian minyak mentah. Setiap pembakaran akan menghasilkan kadar emisi tertentu. Kadar emisi hasil pembakaran bahan bakar diesel banyak dipengaruhi oleh proses pembakaran dari bahan bakar tersebut. Pada bab ini, penulis akan membandingkan kandungan dan kadar emisi yang dihasilkan antara bahan bakar biodiesel B30 dan *green diesel*. Analisa juga akan dilakukan untuk mengetahui penyebab tinggi rendahnya kadar emisi dari kedua bahan bakar tersebut.

### 4.1 Analisa Proses Pembakaran

Untuk proses pengambilan data proses pembakaran, penulis menggunakan standar uji IMO MARPOL Annex VI tentang *test cycle* untuk pengujian emisi NOx. Pemberian beban dan RPM mesin yang diatur dalam *test cycle* ini yaitu pada 25% beban, 50% beban, 75% beban, dan 100% beban pada RPM maksimum mesin, yaitu 2200 RPM.

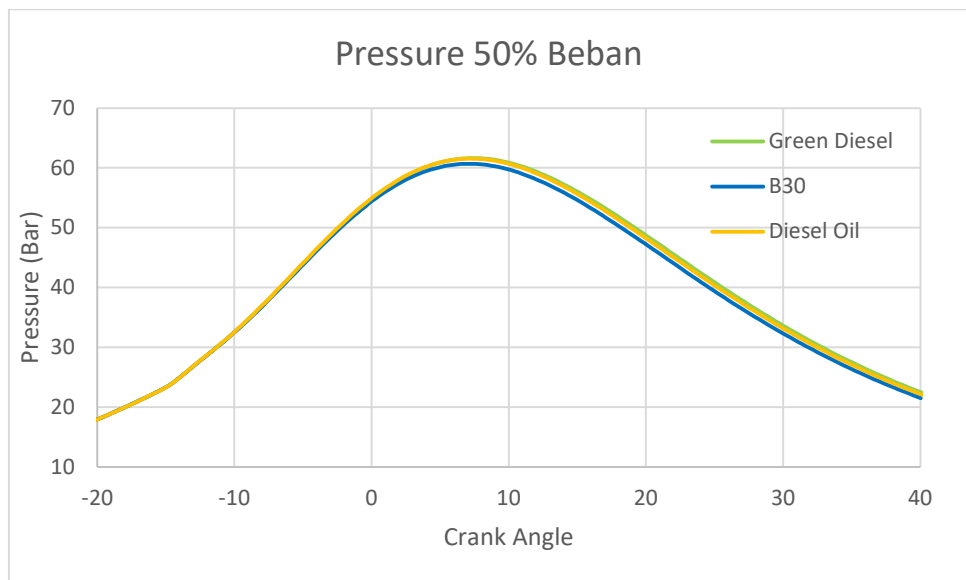
Setelah diketahui hasil proses pembakaran, dari hasil tersebut akan dapat dianalisa grafik *pressure*, *temperature*, *rate of heat release*, dan *ignition delay*. Hasil tersebut didapatkan dari kegiatan simulasi.

#### 4.1.1 Analisa Combustion Pressure



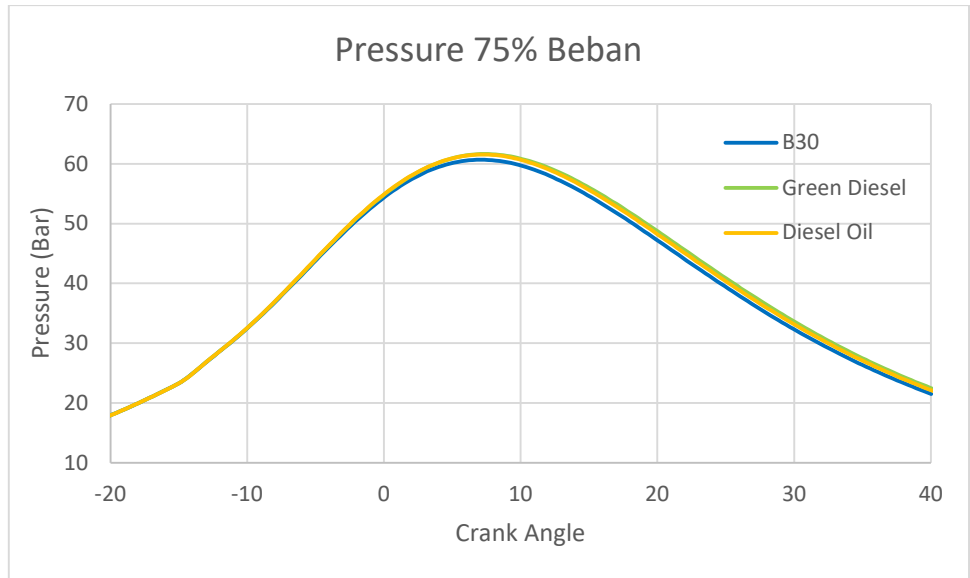
Gambar 4.1 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 25% beban

Grafik pada gambar 4.1 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada 2200 RPM dengan 25% beban dari masing – masing bahan bakar yang digunakan. Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa *maximum combustion pressure* dengan bahan bakar *green diesel* lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Pada titik beban ini, *peak pressure* bahan bakar *green diesel* terjadi pada 7.33°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.64 Bar, sedangkan untuk bahan bakar biodiesel B30 *peak pressure* terjadi pada 7.06°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60.7 Bar, dan pada bahan bakar solar *peak pressure* terjadi pada 7.36°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.57 Bar.



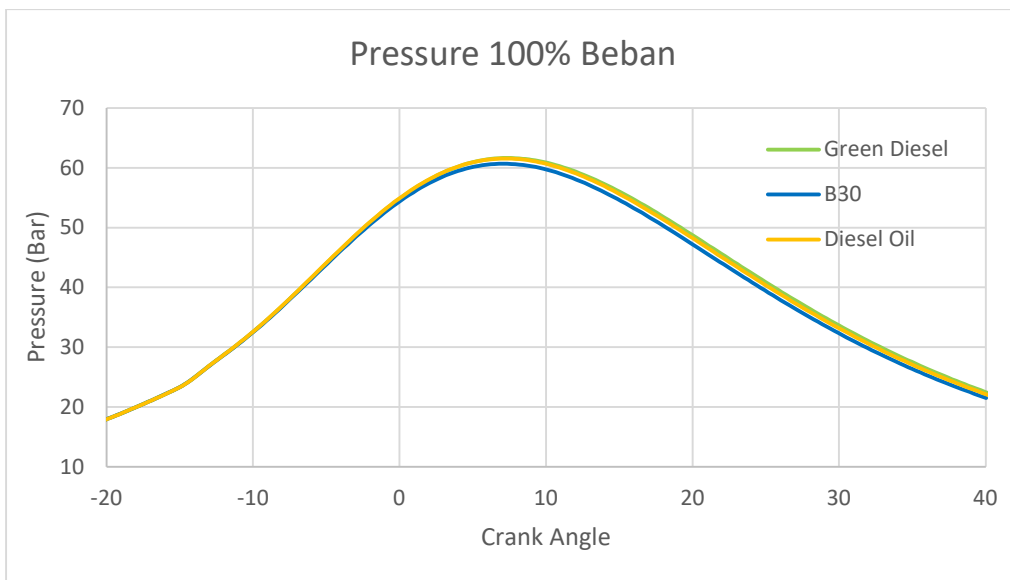
Gambar 4.2 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 50% beban

Grafik pada gambar 4.2 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada 2200 RPM dengan 50% beban dari masing – masing bahan bakar yang digunakan. Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa *maximum combustion pressure* dengan bahan bakar *green diesel* lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Pada titik beban ini, *peak pressure* bahan bakar *green diesel* terjadi pada 7.33°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.65 Bar, sedangkan untuk bahan bakar biodiesel B30 *peak pressure* terjadi pada 7.06°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60.7 Bar, dan pada bahan bakar solar *peak pressure* terjadi pada 7.36°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.57 Bar.



Gambar 4.3 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 75% beban

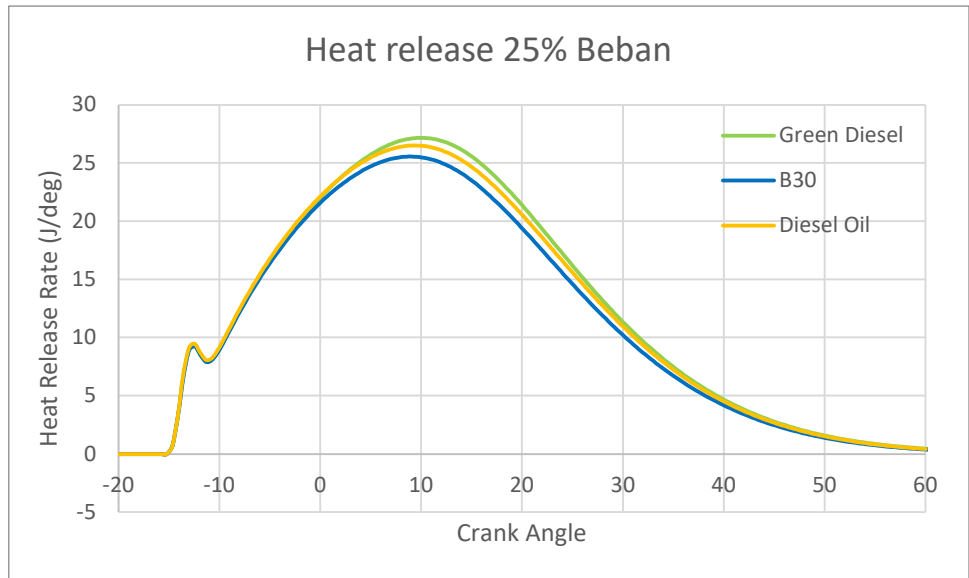
Grafik pada gambar 4.3 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada 2200 RPM dengan 75% beban dari masing – masing bahan bakar yang digunakan. Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa *maximum combustion pressure* dengan bahan bakar *green diesel* lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Pada titik beban ini, *peak pressure* bahan bakar *green diesel* terjadi pada 7.33°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.65 Bar, sedangkan untuk bahan bakar biodiesel B30 *peak pressure* terjadi pada 7.06°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60.71 Bar, dan pada bahan bakar solar *peak pressure* terjadi pada 7.36°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.57 Bar.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan tekanan pada 2200 RPM dengan 100% beban

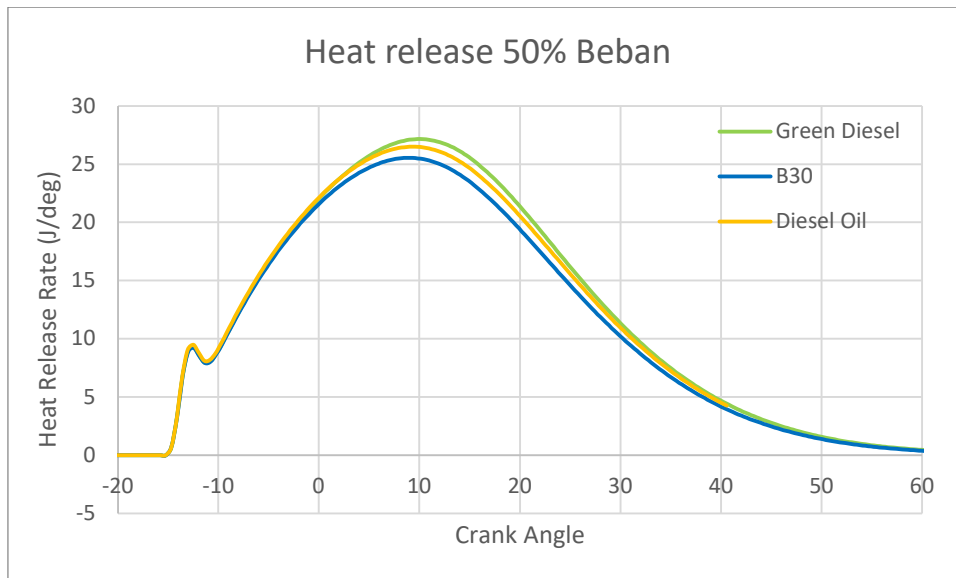
Grafik pada gambar 4.4 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada 2200 RPM dengan 100% beban dari masing – masing bahan bakar yang digunakan. Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa *maximum combustion pressure* dengan bahan bakar *green diesel* lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Pada titik beban ini, *peak pressure* bahan bakar *green diesel* terjadi pada 7.33°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.65 Bar, sedangkan untuk bahan bakar biodiesel B30 *peak pressure* terjadi pada 7.06°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60.71 Bar, dan pada bahan bakar solar *peak pressure* terjadi pada 7.36°CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61.56 Bar.

#### 4.1.2 Analisa *Heat Release Rate*



Gambar 4.5 Grafik perbandingan *heat release rate* pada 2200 RPM dengan 25% beban

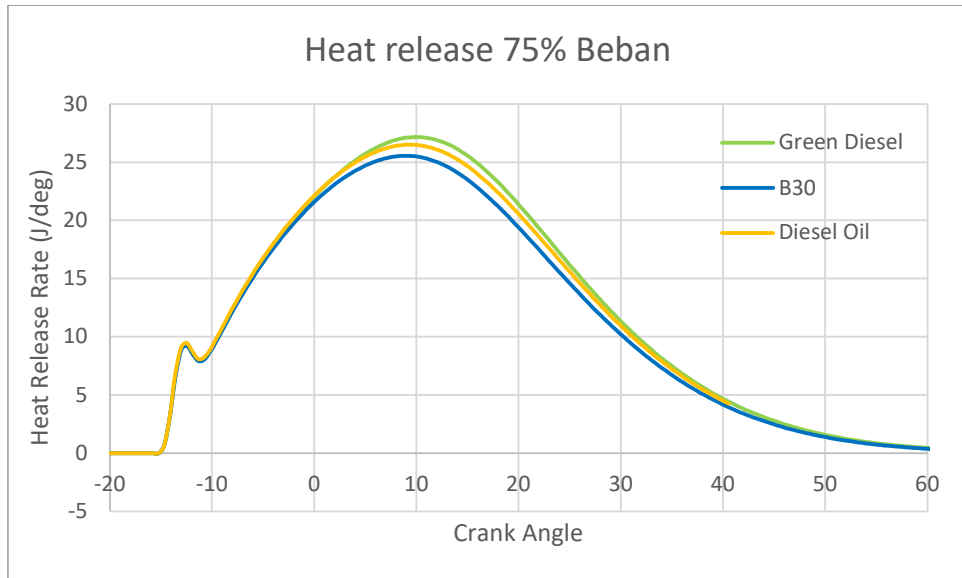
Gambar 4.5 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* pada 2200 RPM dengan 25% beban mesin. Pada grafik *rate of heat release*, dapat diketahui informasi tentang proses pelepasan panas dan waktu tunda pembakaran atau *ignition delay*. Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa bahan bakar *green diesel* memiliki laju pelepasan panas lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Untuk penelitian kali ini, mesin diesel yang digunakan adalah Yanmar TF85MH, di mana waktu penginjeksian bahan bakar terjadi pada 18°C sebelum TMA. Pada bahan bakar *green diesel*, titik puncak *heat release* terjadi pada 10°C setelah TMA dengan nilai tertinggi *rate of heat release* sebesar 27.17 J/deg. Bahan bakar biodiesel B30 mempunyai titik puncak *heat release* pada 9°C setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 25.56 J/deg. Bahan bakar solar mempunyai titik puncak *heat release* pada 10°C setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 26.51 J/deg.



Gambar 4.6 Grafik perbandingan *heat release* pada 2200 RPM dengan 50% beban

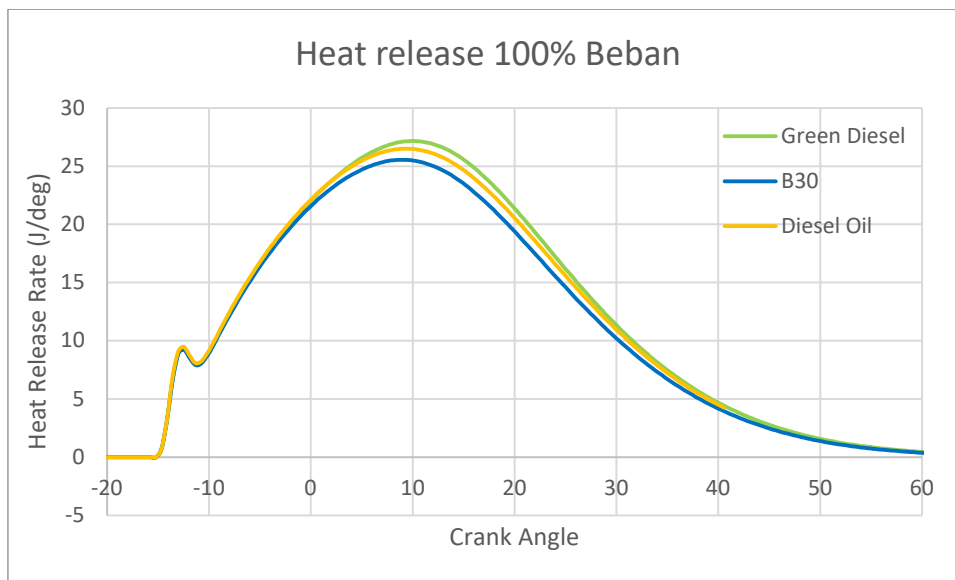
Gambar 4.6 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* pada 2200 RPM dengan 25% beban mesin. Pada grafik *rate of heat release*, dapat diketahui informasi tentang proses pelepasan panas dan waktu tunda pembakaran atau *ignition delay*. Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa bahan bakar *green diesel* memiliki laju pelepasan panas lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Untuk penelitian kali ini, mesin diesel yang digunakan adalah Yanmar TF85MH, di mana waktu penginjeksian bahan bakar terjadi pada 18°CA sebelum TMA. Pada bahan bakar *green diesel*, titik puncak *heat release* terjadi pada 10°CA setelah TMA dengan nilai tertinggi *rate of heat release* sebesar 27.17 J/deg. Bahan bakar biodiesel B30 mempunyai titik puncak *heat release* pada 9°CA setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 25.56 J/deg. Bahan bakar solar mempunyai titik puncak *heat release* pada 10°CA setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 26.51 J/deg.





Gambar 4.7 Grafik perbandingan *heat release* pada 2200 RPM dengan 75% beban

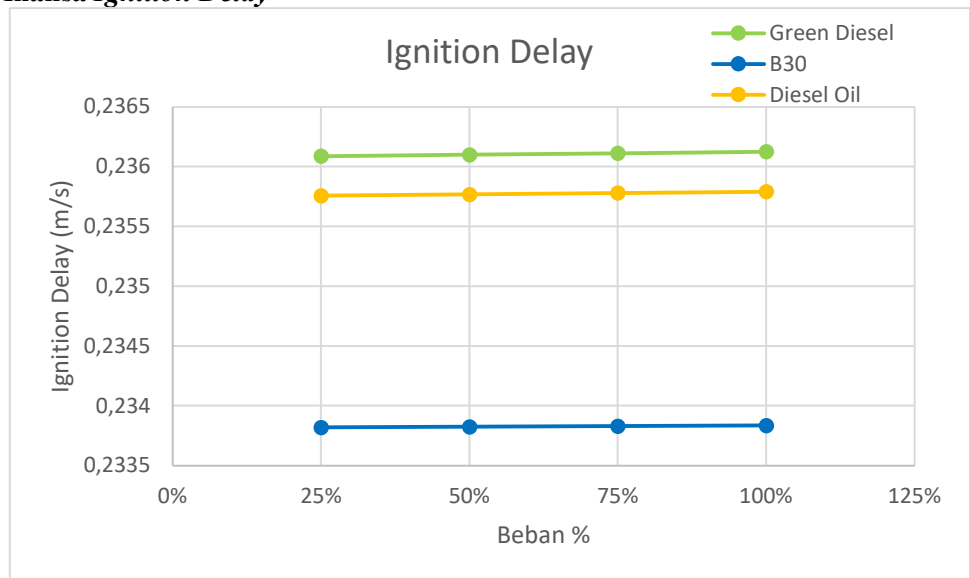
Gambar 4.7 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* pada 2200 RPM dengan 25% beban mesin. Pada grafik *rate of heat release*, dapat diketahui informasi tentang proses pelepasan panas dan waktu tunda pembakaran atau *ignition delay*. Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa bahan bakar *green diesel* memiliki laju pelepasan panas lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Untuk penelitian kali ini, mesin diesel yang digunakan adalah Yanmar TF85MH, di mana waktu penginjeksian bahan bakar terjadi pada 18°CA sebelum TMA. Pada bahan bakar *green diesel*, titik puncak *heat release* terjadi pada 10°CA setelah TMA dengan nilai tertinggi *rate of heat release* sebesar 27.17 J/deg. Bahan bakar biodiesel B30 mempunyai titik puncak *heat release* pada 9°CA setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 25.56 J/deg. Bahan bakar solar mempunyai titik puncak *heat release* pada 10°CA setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 26.48 J/deg.



Gambar 4.8 Grafik *heat release* pada 2200 RPM dengan 100% beban

Gambar 4.8 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* pada 2200 RPM dengan 25% beban mesin. Pada grafik *rate of heat release*, dapat diketahui informasi tentang proses pelepasan panas dan waktu tunda pembakaran atau *ignition delay*. Dapat dilihat pada grafik di atas bahwa bahan bakar *green diesel* memiliki laju pelepasan panas lebih tinggi dari bahan bakar biodiesel B30. Untuk penelitian kali ini, mesin diesel yang digunakan adalah Yanmar TF85MH, di mana waktu penginjeksian bahan bakar terjadi pada 18°CA sebelum TMA. Pada bahan bakar *green diesel*, titik puncak *heat release* terjadi pada 10°CA setelah TMA dengan nilai tertinggi *rate of heat release* sebesar 27.17 J/deg. Bahan bakar biodiesel B30 mempunyai titik puncak *heat release* pada 9°CA setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 25.56 J/deg. Bahan bakar solar mempunyai titik puncak *heat release* pada 10°CA setelah TMA, dengan nilai tertinggi *heat release rate* sebesar 26.48 J/deg.

### 4.1.3 Analisa Ignition Delay

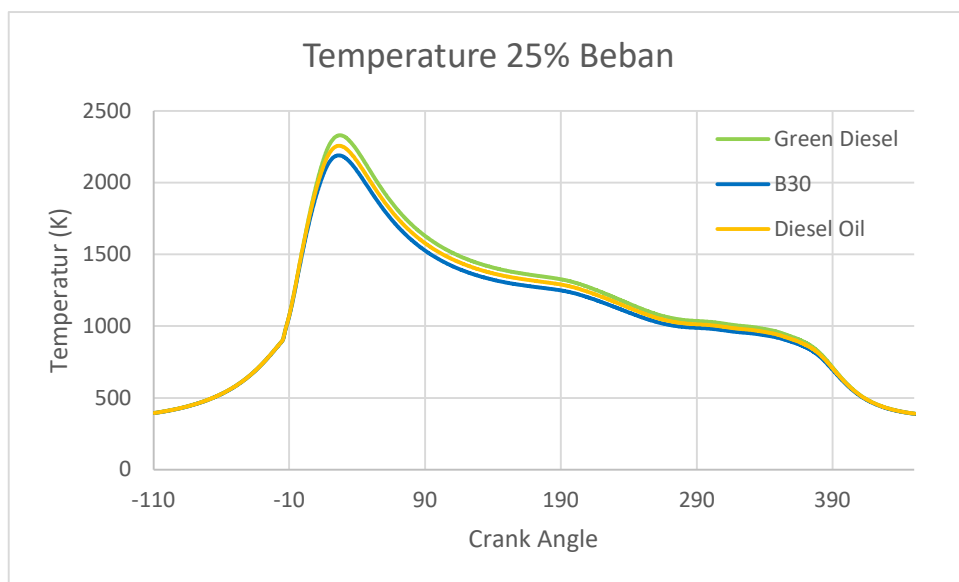


Gambar 4.9 Grafik perbandingan *ignition delay*

Gambar 4.9 adalah grafik perbandingan *ignition delay* pada 2200 RPM dengan beban mesin 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada 25% beban, bahan bakar *green diesel* mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms, bahan bakar biodiesel B30 mengalami waktu *ignition delay* 0.234 ms, dan bahan bakar solar mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms. Pada 50% beban, bahan bakar *green diesel* mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms, bahan bakar biodiesel B30 mengalami waktu *ignition delay* 0.234 ms, dan bahan bakar solar mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms. Pada 75% beban, bahan bakar *green diesel* mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms, bahan bakar biodiesel B30 mengalami waktu *ignition delay* 0.234 ms, dan bahan bakar solar mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms. Pada 100% beban, bahan bakar *green diesel* mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms, bahan bakar biodiesel B30 mengalami waktu *ignition delay* 0.234 ms, dan bahan bakar solar mengalami waktu *ignition delay* 0.236 ms.

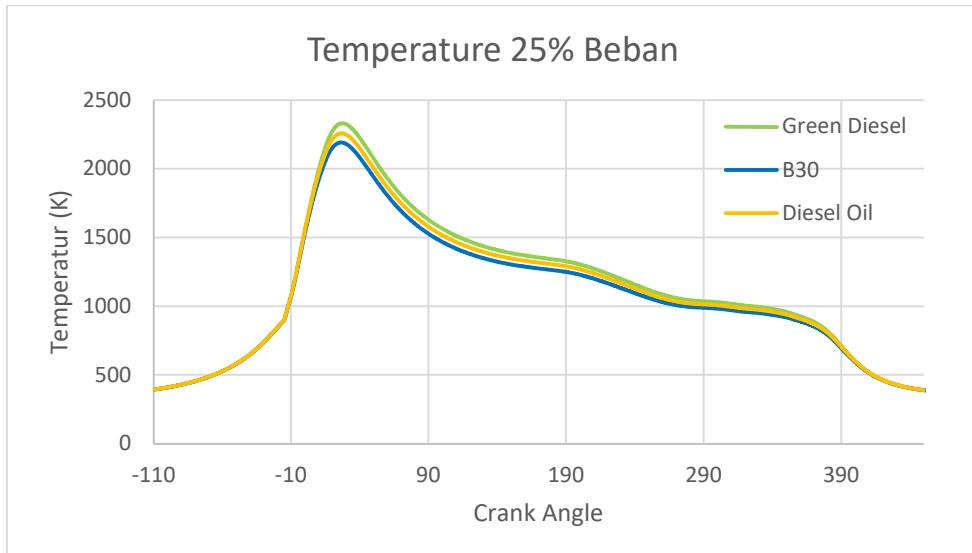
Hasil penelitian Aldhaidhawi, 2017, menunjukkan bahwa biodiesel biji rapeseed, baik yang murni maupun yang dicampur dengan bahan bakar diesel, memiliki laju pelepasan panas yang lebih rendah, dan mengurangi *ignition delay*. Pada penelitian ini, laju pelepasan panas tertinggi dimiliki oleh *green diesel*, sehingga *ignition delay* memiliki waktu paling lama.

### 4.1.3 Analisa Temperatur Pembakaran



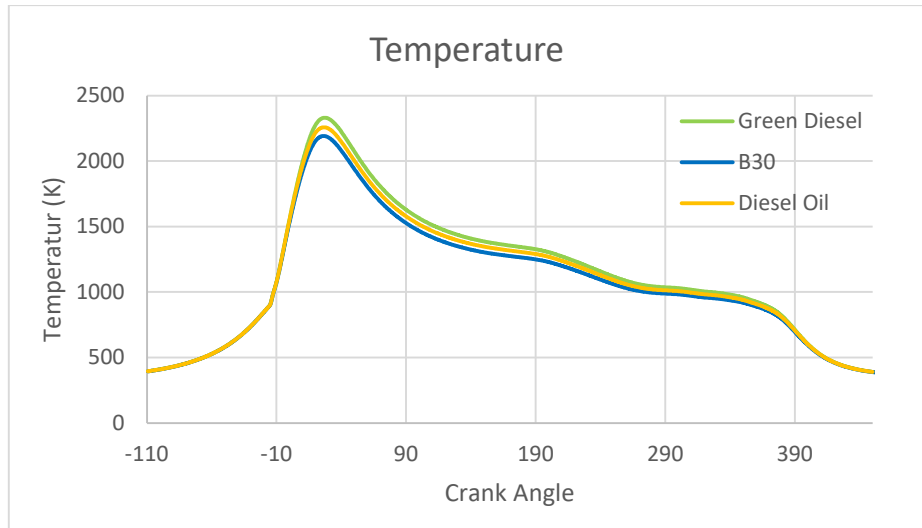
Gambar 4.10 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 25% beban

Gambar 4.10 adalah grafik perbandingan temperatur pembakaran pada 2200 RPM dengan 25% beban mesin. Dapat dilihat bahwa bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperature pembakaran lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel B30 dan bahan bakar solar. Pada 25% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2331.08 K, bahan bakar biodiesel B30 menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2191.08 K, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan temperature pembakaran maksimum sebesar 2258.01 K.



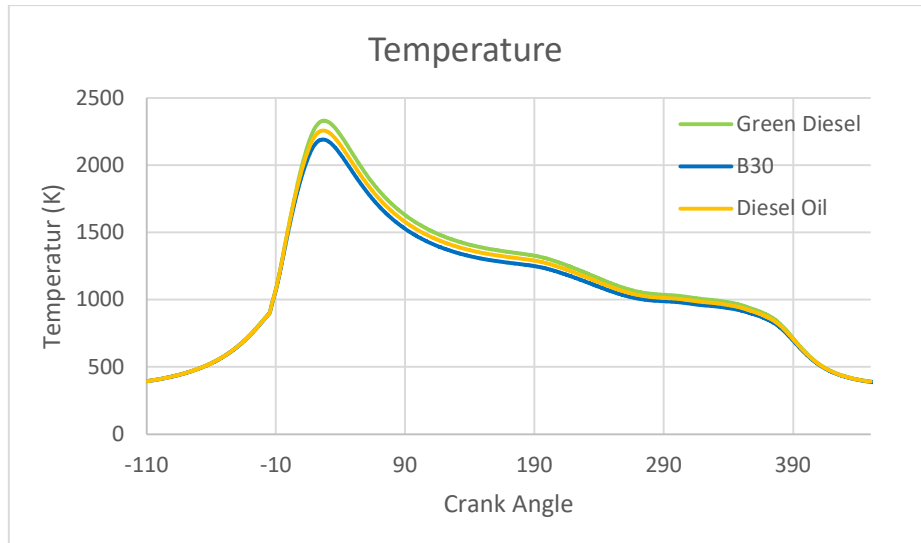
Gambar 4.11 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 50% beban

Gambar 4.11 adalah grafik perbandingan temperatur pembakaran pada 2200 RPM dengan 50% beban mesin. Dapat dilihat bahwa bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperature pembakaran lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel B30 dan bahan bakar solar. Pada 50% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2331.11 K, bahan bakar biodiesel B30 menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2191.11 K, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan temperature pembakaran maksimum sebesar 2258.04 K.



Gambar 4.12 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 75% beban

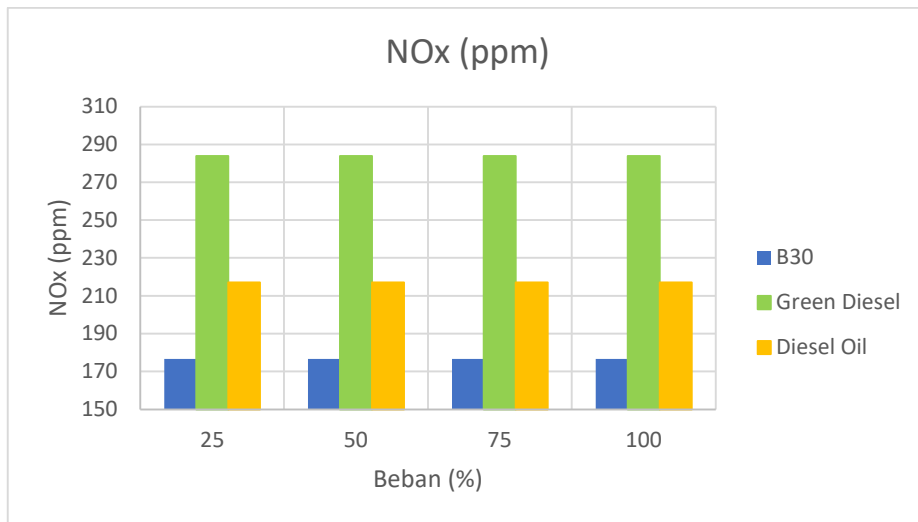
Gambar 4.12 adalah grafik perbandingan temperatur pembakaran pada 2200 RPM dengan 75% beban mesin. Dapat dilihat bahwa bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperature pembakaran lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel B30 dan bahan bakar solar. Pada 75% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2331.14 K, bahan bakar biodiesel B30 menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2191.14 K, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan temperature pembakaran maksimum sebesar 2258.08 K.



Gambar 4.13 Grafik perbandingan temperatur pada 2200 RPM dengan 100% beban

Gambar 4.13 adalah grafik perbandingan temperatur pembakaran pada 2200 RPM dengan 100% beban mesin. Dapat dilihat bahwa bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperature pembakaran lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel B30 dan bahan bakar solar. Pada 100% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2331.18 K, bahan bakar biodiesel B30 menghasilkan temperatur pembakaran maksimum sebesar 2191.17 K, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan temperature pembakaran maksimum sebesar 2258.11 K.

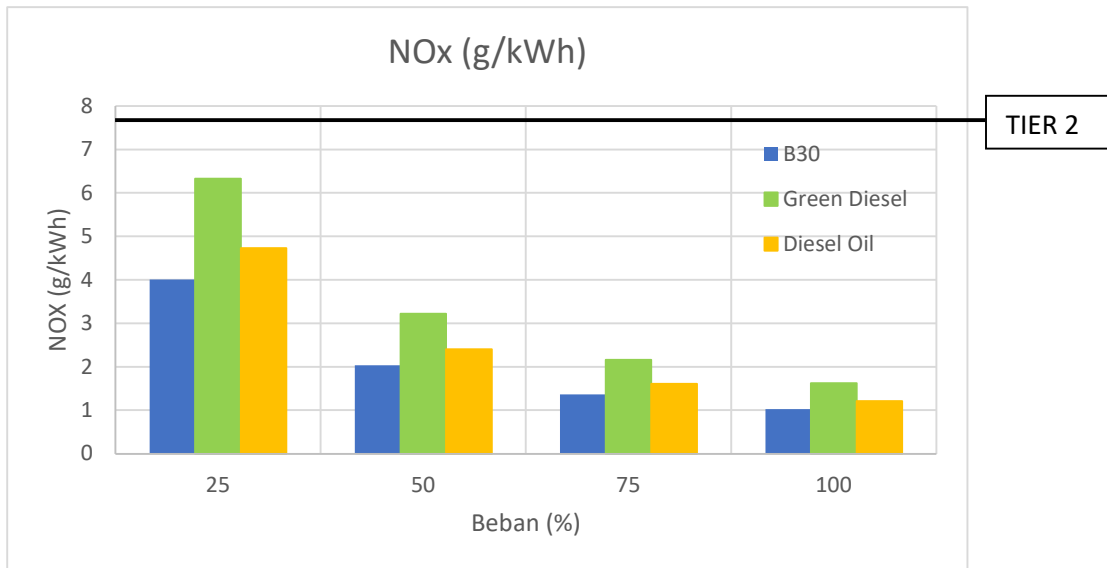
## 4.2 Analisa Emisi NOx



Gambar 4.14 Grafik Kadar NOx pada RPM 2200

. Gambar 4.14 adalah grafik perbandingan kadar NOx pada 2200 RPM dengan beban 25%, 50%, 75%, dan 100%. Pada beban 25%, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 283.85187 ppm, biodiesel B30 menghasilkan 176.62091 ppm, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 217.06018 ppm. Pada beban 50%, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 283.85934 ppm, biodiesel B30 menghasilkan 176.62857 ppm, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 217.06798 ppm. Pada 75% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 283.86673 ppm, biodiesel B30 menghasilkan 176.63565 ppm, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 217.07576 ppm. Dan pada 100% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 283.874 ppm, biodiesel B30 menghasilkan 176.64275 ppm, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 217.08357 ppm. Berdasarkan informasi tersebut, dapat dikatakan bahwa emisi NOx yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar *green diesel* lebih tinggi dari pembakaran dengan bahan bakar biodiesel B30. Hal tersebut dikarenakan temperatur dan tekanan pembakaran pada bahan bakar *green diesel* lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel B30.





Gambar 4.15 Grafik Kadar NOx pada RPM 2200

Pada gambar 4.15, nilai kandungan NOx ditampilkan dengan satuan g/kWh, yang merupakan satuan standar emisi IMO. Pada beban 25%, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 6.33 g/kWh, biodiesel B30 menghasilkan 4.01 g/kWh, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 4.73 g/kWh. Pada beban 50%, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 3.22 g/kWh, biodiesel menghasilkan 2.04 g/kWh, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 2.4 g/kWh. Pada 75% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 2.16 g/kWh, sedangkan biodiesel B30 menghasilkan 1.37 g/kWh, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 1.61 g/kWh. Dan pada 100% beban, bahan bakar *green diesel* menghasilkan NOx sebanyak 1.62 g/kWh, biodiesel B30 menghasilkan 1.03 g/kWh, sedangkan bahan bakar solar menghasilkan 1.21 g/kWh. Dapat disimpulkan dari informasi tersebut bahwa emisi NOx yang dihasilkan dari bahan bakar green diesel maupun biodiesel B30 memenuhi standar emisi TIER II yang dikeluarkan oleh IMO.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Setelah mendapatkan data dari simulasi dan menganalisa data – data tersebut, didapat kesimpulan sebagai berikut;

1. Dari data hasil analisa proses pembakaran *green diesel*, data yang dapat diketahui pada RPM 2200 yaitu :
  - Tekanan pembakaran maksimum yang dihasilkan sebesar 2191.1 Bar hingga 2191.2 Bar
  - *Heat release rate* yang dihasilkan sebesar 27.17 J/deg
  - Temperatur pembakaran maksimum yang dihasilkan sebesar 2331.1 K hingga 2331.2 K
  - Waktu *ignition delay* 0.24 ms
2. Emisi NOx yang dihasilkan dari pembakaran *green diesel* paling tinggi sebesar 6.33 g/kWh, di mana dapat diklasifikasikan untuk masuk ke dalam standar MARPOL Annex VI pada TIER 2.
3. Jika dibandingkan dengan biodiesel B30, bahan bakar *green diesel* menghasilkan tekanan, dan temperature pembakaran yang lebih tinggi, begitu juga untuk nilai *rate of heat release*. Sedangkan untuk waktu *ignition delay*, bahan bakar *green diesel* memiliki waktu yang lebih lama. Pada kadar emisi, bahan bakar *green diesel* menghasilkan lebih banyak NOx dibandingkan dengan biodiesel B30.

### 5.2 Saran

Saran dari penulis untuk penelitian lebih lanjut adalah :

1. Melakukan kalibrasi mesin yang lebih mendetail.
2. Melakukan penelitian secara eksperimen untuk mengetahui hasil riil dari simulasi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## Daftar Pustaka

- Abed, K.A., Gad, M.S., Elyazeed, S.A.**, 2019. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Egyptian Journal of Petroleum* 28, 183–188.  
doi:10.1016/j.ejpe.2019.03.001
- Aldhaidhawi, M., Chiriac, R. and Badescu, V.**, 2017. Ignition delay, combustion and emission characteristics of Diesel engine fueled with rapeseed biodiesel—A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, pp.178-186.
- Douvartzides, Savvas L.**, 2019. Green Diesel: Biomass Feedstocks, Production Technologies, Catalytic Research, Fuel Properties and Performance in Compression Ignition Internal Combustion Engines. *Energies* 2019, 12, 809;  
doi:10.3390/en12050809.
- Fathallah Aguk Zuhdi M, Ananta Pudi Oktavianto** Pengaruh Penggunaan Dual Fuel Terhadap Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel. Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, - Surabaya, 2016
- Fathallah Aguk Zuhdi M, Iswantoro Adhi dan Putri Salva Swastika** Pengaruh Penggunaan Dual Fuel Terhadap Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang pada Motor Diesel. Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya, 2018.
- International Maritime Organization** IMO 1998, Annex VI MARPOL 77/78 Regulation for the Prevention of Air Pollution from Ship and NOx Technical Code. - London.
- Kalnes, T., Marker, T. and Shonnard, D.R.**, 2007. Green diesel: a second generation biofuel. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 5(1)
- Kementrian ESDM RI** Standar dan Kualitas (spesifikasi) biofuel yang dipasarkan secara domestic [Buku]. -Jakarta, 2019.
- Parkad, A.**, 2020. 4 Stages of combustion in CI engine. *Engineering Study*. <  
<https://www.enggstudy.com/stages-of-combustion-in-ci-engine>>
- Piemonte, V.**, 2019. Green Diesel. *Rome: University UCMB. Oil and Gas Portal*. 20 Maret 2020 < <http://www.oil-gasportal.com/green-diesel/?print=pdf>>
- Srifa, A. et al.**, 2014. Production of bio-hydrogenated diesel by catalytic hydrotreating of palm oil over NiMoS<sub>2</sub>/γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalyst.. *Bioresour. Technol.*

**Yoon, J. J.**, 2011. What's the Difference between Biodiesel and Renewable (Green) Diesel. *Advanced Biofuels USA*. < [https://advancedbiofuelsusa.info/wp-content/uploads/2011/03/11-0307-Biodiesel-vs-Renewable\\_Final-3\\_JJY-formatting-FINAL.pdf](https://advancedbiofuelsusa.info/wp-content/uploads/2011/03/11-0307-Biodiesel-vs-Renewable_Final-3_JJY-formatting-FINAL.pdf) >

## Lampiran

### Torsi Pembebanan Tiap Bahan Bakar

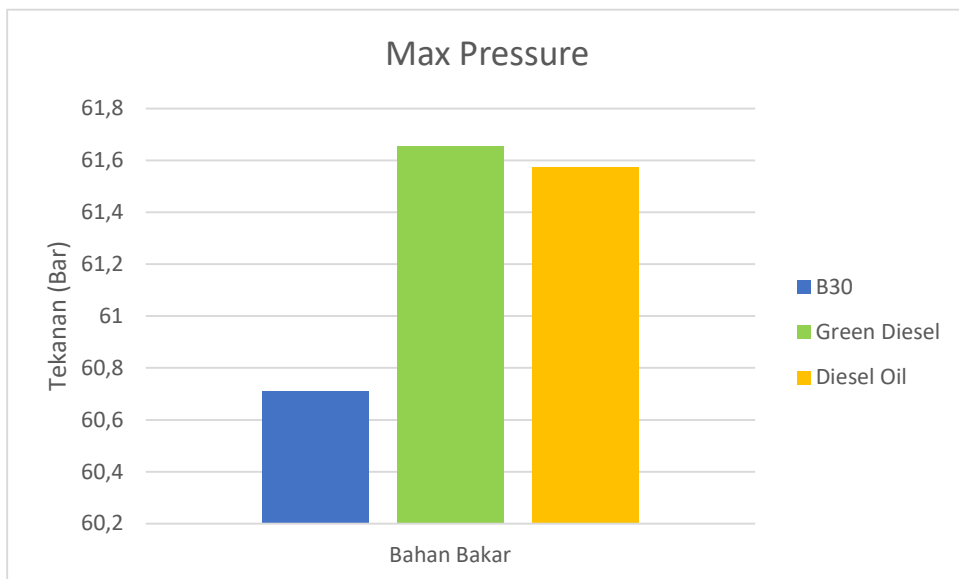
B30	
Beban (%)	Torsi (Nm)
25	6.75807
50	13.51614
60	16.21937
75	20.27421
90	24.32905
100	27.03228

Green Diesel	
Beban (%)	Torsi (Nm)
25	7.19854
50	14.39708
60	17.276496
75	21.59562
90	25.914744
100	28.79416

Diesel Oil	
Beban (%)	Torsi (Nm)
25	7.050378
50	14.10076
60	16.92091
75	21.15113
90	25.38136
100	28.20151

## Maximum Pressure

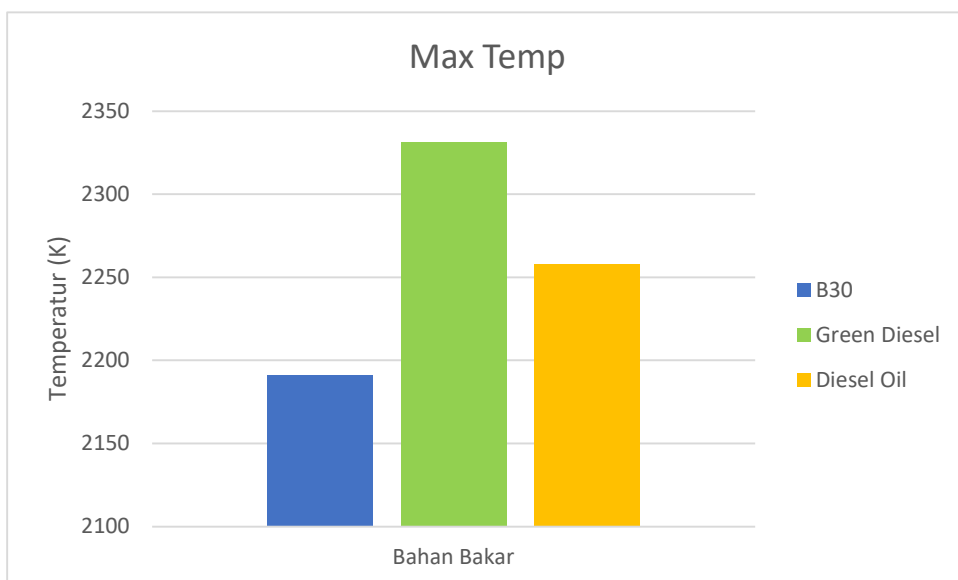
Pressure (bar)			
Beban (%)	B30	Green Diesel	Diesel Oil
25	60.702606	61.642742	61.567577
50	60.704918	61.64518	61.57013
60	60.705265	61.648052	61.571148
75	60.70723	61.64762	2558
90	60.708027	61.65116	61.574207
100	60.709538	61.652203	61.575226





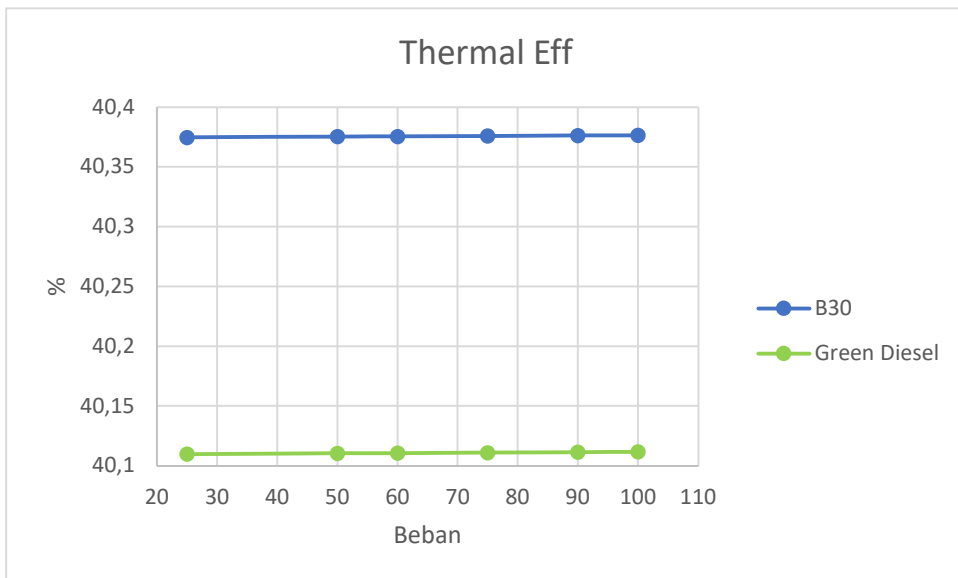
## Maximum Temperature

Temperature (K)			
Beban (%)	B30	Green Diesel	Diesel Oil
25	2191.0767	2331.078	2258.0134
50	2191.1064	2331.11	2258.0444
60	2191.1182	2331.123	2258.057
75	2191.136	2331.1423	2258.0754
90	2191.1538	2331.1619	2258.094
100	2191.1658	2331.1748	2258.1064



## Thermal Efficiency

Thermal Efficiency (%)			
Beban (%)	B30	Green Diesel	Diesel Oil
25	40.374756	40.109932	40.169807
50	40.375362	40.110523	40.170433
60	40.375607	40.110764	40.170654
75	40.375927	40.111126	40.171036
90	40.376305	40.11149	40.171486
100	40.376545	40.111732	40.171734



### Biodata Penulis



Penulis lahir dari pasangan Ibu Hamida Prasetiawati dan Bapak Sunaryadi pada 5 Maret 1998 di Surabaya. Penulis adalah anak pertama dari tiga bersaudara. Pendidikan formal yang pernah ditempuh oleh penulis yaitu TK Dharmawanita Krian, TK Puspa Bangsa 1 Bekasi, SDN Krian 4, SDN Pondok Ranggan 3, SMPN 1 Sidoarjo, SMAN 5 Bekasi, dan SMAN 5 Surabaya sebelum selanjutnya melanjutkan jenjang Strata 1 di Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS pada tahun 2016 melalui jalur SBMPTN, dengan NRP 0421164000072. Pengalaman kerja praktek penulis adalah sebagai bagian reparasi di PT Adiluhung Saranasegara Indonesia pada 2018, dan sebagai bagian *maintenance* turbin di PT YTL Jawa Power pada 2020. Pada tahun keempat, penulis masuk ke laboratorium *Marine Power Plant* sebagai ketua laboratorium. Selama berkuliah di departemen ini, penulis beberapa kali mengikuti kegiatan kepanitiaan di departemen. Selain kegiatan perkuliahan, penulis juga mengembangkan ilmu – ilmu lain melalui berbagai macam seminar dan juga pelatihan *soft skill*. Segala kritik dan saran tentang penelitian sangat diharapkan, penulis dapat dihubungi melalui e-mail [prafasta.aru@gmail.com](mailto:prafasta.aru@gmail.com) atau ponsel 081515427242.