



SKRIPSI – 141501

Analisa Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NO_x pada Mesin Diesel Satu Silinder

Gage Cendekiaji Hadi
04211340000100

Dosen Pembimbing:
Prof. Semin, S.T. M.T. Ph.D

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



THESIS - 141501

Effect Analysis of Biodiesel – Kapok Seeds (*Ceiba Pentandra*) on Combustion Process and NO_x Emission on Single Cylinder Diesel Engine

Gage Cendekiaji Hadi
04211340000100

Academic Supervisor:
Prof. Semin, S.T. M.T. Ph.D.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kapuk (*Ceiba pentandra*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu Silinder

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
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:
Gage Cendekiaji Hadi
NRP. 4213 100 100

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi



Prof. Semin, S.T. M.T. Ph.D.
NIP: 1971 0110 1997 02 1001

Surabaya
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kapuk (*Ceiba pentandra*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu Silinder

Skripsi

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
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:

Gage Cendekiaji Hadi
NRP. 4213 100 100

Disetujui oleh Kepala Departemen



Surabaya
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Analisa Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kapuk (*Ceiba pentandra*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu Silinder

Nama Mahasiswa : Gage Cendekiaji Hadi
NRP : 4213 100 100
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Prof, Semin, S.T. M.T. P.hD

Abstrak

Krisis dunia dari ketersediaan bahan bakar fosil mendorong pengembangan untuk mengeksplorasi energi alternatif yang memungkinkan untuk menggantikan penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan biodiesel dengan menggunakan minyak nabati dan lemak hewani diupayakan semaksimal mungkin untuk menjaga keberlanjutannya. Minyak biji kapuk (*ceiba pentandra*) merupakan salah satu alternatif yang bisa dijadikan pengganti bahan bakar. Ada empat keuntungan menggunakan minyak biji kapas sebagai bahan bakar pengganti yaitu: menghasilkan polutan tingkat rendah, ketersediaan terjamin, dapat digunakan untuk mesin diesel dengan sedikit atau tanpa modifikasi dan pada campuran tertentu dapat meningkatkan pelumasan mesin yang harus meningkatkan umur mesin. Penelitian dilakukan melalui uji pembakaran dan uji emisi NOx mesin diesel YANMAR TF85-MH menggunakan biodiesel minyak biji kapuk dengan campuran B30, B20 yang dibandingkan dengan menggunakan mesin diesel YANMAR TF85-MH. Dari hasil uji Pembakaran, ditunjukkan bahwa penggunaan minyak biji kapuk memberikan *maximum pressure* lebih rendah, *ignition delay* yang lebih pendek, nilai *heat release rate* yang lebih rendah dan potensi *knocking* yang lebih rendah daripada penggunaan bahan bakar fosil pada mesin yang sama. Selain itu, emisi NOx biodiesel biji kapuk memiliki nilai lebih rendah dari pada bahan bakar diesel fosil. Penambahan persentase biji kapas biodiesel ke dalam bahan bakar memberikan emisi NOx yang lebih rendah namun memberikan potensi *knocking* yang lebih tinggi.

Keywords : Biodiesel, Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra*), *Combustion Process*, Emisi, NOx, Diesel Engine, dan Renewable Fuel

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Effect Analysis of Biodiesel – Kapok Seeds (*Ceiba pentandra*) on Combustion Process and NOx Emission on Single Cylinder Diesel Engine

Nama Mahasiswa : Gage Cendekiaji Hadi
NRP : 4213 100 100
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Prof, Semin, S.T. M.T. P.hD

Abstract

The world crisis of fossil fuel availability encourages the development to explore alternative energy which is possible to replace of fossil fuel use. The use of biodiesel by using plant oil and animal fats is strived to the maximum extent possible, in order to maintain its sustainability. Cotton seed oil (*ceiba pentandra*) is one alternative that can be used as a replacement fuel. There are four advantages of using cotton seed oil as a substitute fuel which are: produce a low level of pollutant, guaranteed availability, can be used for diesel engines with little or no modification and in certain mixes can increase engine lubrication that should increase engine life. The research was conducted through combustion performance and NOx emission test of YANMAR TF85-MH diesel engine using cotton seed oil biodiesel with mixture of B30, B20 which has be compared with using YANMAR TF85-MH diesel engine. From the results of combustion test, it showed that the using of cotton seed oil give lower maximum pressure, shorter ignition delay, lower heat release rate value and lower potentation of knocking than fossil diesel fuel use on the same engine. Beside of that, the NOx emission of cotton seed oil has lower value than fossil diesel fuel. The addition of biodiesel cotton seed percentage into the fuel provide lower NOx emission but it provide the higher knocking potentation

Keywords : Biodiesel, Cotton Seed (*ceiba pentandra*), Combustion Process, Emission, NOx, Diesel Engine, dan Renewable Fuel

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah S.W.T berkat limpahan rahmat, hidayah dan bimbingan-Nya sehingga skripsi dengan judul “**Analisa Pengaruh Penggunaan Biodiesel Biji Kapuk (*Ceiba Pentandra*) terhadap Proses Pembakaran dan Kadar Emisi NOx pada Mesin Diesel Satu Silinder**” dapat diselesaikan dengan baik dan lancar

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyelesaian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan doa berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Bapak Prof. Semin, S.T. M.T. Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, semangat, ilmu serta gemblengan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. A.A. Masroeri, M.Eng. selaku dosen wali yang telah memberikan semangat, serta bersedia untuk mendengarkan keluh kesah penulis dalam menjalani penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Marine Power Plant yang telah membantu penulis dalam menjalani proses eksperimen penelitian tugas akhir ini.
4. Ir. Sihadi, M.Kes dan Dr. Sri Poedji Hastoety Djaiman, SKM., M.K selaku ayah dan ibu dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan dukungan moral maupun material kepada penulis.
5. Saudara Gusma Hamdana Putra S.T. selaku kakak tingkat yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi perihal berjalannya analisa penelitian tugas akhir ini.
6. Anggota Laboratorium Marine Power Plant FTK-ITS yang telah membantu penulis dalam berjalannya penelitian tugas akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan BARAKUDA'13 yang selalu mendukung dan menjadi semangat penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
8. Teman-teman *Warper Society* yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk bertukar pikiran dan menjadi teman kopi disaat penulis merasa *Down*.
9. Saudari Aurora Ghassani selaku wanita yang ada dihati penulis yang selalu memberikan doa, dorongan dan alasan penulis untuk bangkit kembali.

Penulis menyadari pula bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu perlunya saran dan masukan demi membangun kebaikan dan kemajuan skripsi ini. Akhir kata semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

_Toc488189266	
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK	ix
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Skripsi	2
1.4 Batasan Permasalahan	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II.....	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Proses pembakaran biodiesel.....	6
2.3 Emisi Biodiesel	7
2.4 Perbandingan Proses Pembakaran Biodiesel.....	8
2.5 Perbedaan Emisi Biodiesel	8
BAB III.....	9
METODOLOGI PENELITIAN	9
3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah	10
3.2 Studi Literatur	10
3.3 Eksperimen Setup.....	10
3.4 Eksperimen.....	16
3.5 Eksperimen Kadar Emisi NOx	16

3.6 Eksperimen Proses Pembakaran.....	16
3.7 Analisa dan Pembahasan.....	16
3.8 Kesimpulan dan Saran.....	17
BAB IV	19
HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Emisi Penggunaan Biodiesel Biji Kapuk	19
4.2 Proses Pembakaran.....	20
4.2.1 Analisa Max Pressure pada RPM 2200, 25% Load.....	20
4.2.2 Analisa <i>Ignition delay</i> pada RPM 2200, 25% Load.....	21
4.2.3 Analisa <i>Heat release rate</i> pada RPM 2200, 25% Load.....	22
4.2.4 Analisa <i>Knock Detection</i> pada RPM 2200 dan 25% Load.....	23
BAB V	25
KESIMPULAN DAN SARAN	25
5.1 Kesimpulan.....	25
5.2 Saran.....	25
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Diagram alur penelitian.....	9
Gambar 3.2 Rangkaian pengaturan Eksperimen Uji Kadar Emisi NO _x	10
Gambar 3.3 Rangkaian pengaturan Eksperimen Proses Pembakaran.....	11
Gambar 3.4 Proses Degumming Minyak Biji Kapuk.....	12
Gambar 3.5 Proses Esterifikasi Minyak biji Kapuk.....	13
Gambar 3.6 Proses Transesterifikasi Minyak Biji Kapuk.....	13
Gambar 3.7 Proses Washing Minyak Biji Kapuk.....	14
Gambar 3.8 Proses Drying Minyak Biji Kapuk.....	14
Gambar 4.1 Hasil Pengujian Emisi NO _x	19
Gambar 4.2. Grafik <i>Max. Pressure</i> pada RPM 2200, 25% Power.....	21
Gambar 4.3. Grafik <i>Ignition Delay</i> pada RPM 2200.....	21
Gambar 4.4. Grafik <i>Heat Release Rate</i> pada RPM 2200, 25% Power.....	22
Gambar 4.7. Grafik <i>Knocking Detection</i> pada RPM 2200.....	23

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Regulasi Standar Mutu Biodiesel.....	4
Tabel 2.2 Tabel Pengetesan IMO.....	5

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

World Health Organization (WHO) 2016 menegaskan 92% populasi dunia tinggal ditempat dengan kualitas udara yang tidak memadai, lebih dari tiga juta kematian pertahun terkait dengan paparan polusi udara (WHO, 2016). WHO dan *United Nations Environment Programme* (UNEP) memberikan informasi tentang paparan populasi-tertimbang untuk partikel dengan diameter aerodinamis kurang dari 2,5 mikrometer (PM 2.5) untuk semua negara (WHO, 2016). Kusumaningrum (2008) mengungkapkan dari monitoring beberapa kota besar di Indonesia kualitas udara di beberapa kota tersebut sudah melampaui standar kualitas udara ambient khususnya untuk parameter *oksida nitrogen (NOx)*, *partikel (SPM10)* dan *hidrokarbon (HC)* (Kusumaningrum, 2008). Sejalan dengan pesatnya pertumbuhan ekonomi serta peningkatan jumlah penduduk di Indonesia, meningkatkan jumlah penggunaan transportasi dan berkembangnya industri terutama di kota-kota besar. Di kota-kota besar, kontribusi gas buang kendaraan bermotor sebagai sumber polusi udara mencapai 60-70%, sementara, kontribusi gas buang dari cerobong asap industri hanya berkisar 10-15%, dan sisanya berasal dari sumber pembakaran lain; misalnya rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain-lain. (Ismiyati, dkk. 2014). Tingginya kontribusi gas buangan kendaraan bermotor mendorong pemerintah untuk menciptakan inovasi yang dapat menekan tingkat polusi yang disebabkan oleh buangan kendaraan bermotor.

Pada bagian lain dunia dihadapkan dengan krisis ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis dari hari ke hari, sehingga mendorong perkembangan eksplorasi energy alternative yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar fosil yang semakin menipis tersebut. Biodiesel merupakan salah satu pertimbangan yang dimungkinkan untuk dapat mengatasi permasalahan tersebut. Ong, dkk, (2013) membuktikan bahwa diesel dengan bahan bakar *jatropha curcas*, *ceiba pentandra* dan *calophyllum ino* mempunyai performansi yang cukup baik untuk dapat digunakan sebagai bahan bakar (Ong, dkk, 2013). Hal tersebut diperkuat dengan temuan Rohim tahun 2008 yang melakukan pengujian emisi gas buang pada mesin diesel yang menggunakan bahan bakar biodiesel dan bahan bakar solar dari pengujian kerja mesin diesel tersebut ditemukan kerja mesin diesel dengan menggunakan biodiesel pertama, opasitas menunjukkan angka sebesar 11,7% ($k=0,34 \text{ m}^{-1}$) ini berarti biodiesel ini bekerja pada keadaan normal dan memiliki opasitas rendah. Karena bahan bakar biodiesel menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar solar (Rohim, 2008). Dewasa ini penggunaan mesin diesel terus meningkat dalam bidang transportasi maupun industri. Bahan bakar diesel konvensional masih menjadi pilihan utama bagi pengguna dalam pengoperasian mesin diesel tersebut. Hasil pembakaran dari bahan bakar tersebut adalah gas emisi. Pada masa sekarang ini, *trend* dikalangan pemilik kendaraan ialah melakukan uji emisi untuk melihat kinerja mesin kendaraannya. Kinerja kendaraan yang baik adalah tingkat konsumsi bahan bakar yang rendah dengan menghasilkan kadar emisi yang rendah. (Syahrani, 2006)

Dilihat dari emisi gas buangnya, biodiesel diyakini memiliki tingkat emisi yang lebih rendah dibandingkan bahan bakar diesel konvensional. Ini dapat dilihat dari komposisi bahan biodiesel itu sendiri. Biodiesel terbuat dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya yang dapat diperbaharui. Beberapa bahan baku untuk pembuatan biodiesel adalah kelapa sawit, kedelai, jarak pagar, tebu, umbi porang, dan beberapa jenis tanaman lainnya. (Alhaq, 2015). Penelitian tentang pengaruh penggunaan biodiesel dari berbagai jenis tanaman terhadap emisi gas buang baik secara tunggal maupun secara variasi komposisi telah banyak dilakukan namun penelitian tentang penggunaan biodiesel biji kapuk (*Ceiba pentandra*) dengan komposisi B20 dan B30 masih jarang dilakukan.

Kualitas emisi yang dibuang oleh hasil pembakaran juga dipengaruhi oleh kualitas dari bahan bakar tersebut. Bahan bakar telah dapat dikatakan sempurna apabila memiliki proses pembakaran yang baik. Proses pembakaran itu meliputi penginjeksian bahan bakar, pencampuran bahan bakar dengan udara, perubahan tekanan, energi panas, knocking dan hasil gas buang (Gusma, 2016).

Penelitian ini membahas pengaruh penggunaan biodiesel biji kapuk (*Ceiba Petandra*) terhadap proses pembakaran dan hasil emisi Nox pada mesin diesel satu silinder. Penelitian ini diakhiri dengan membandingkan hasil proses pembakaran serta hasil emisi Nox penggunaan biodiesel biji kapuk dengan Pertamina Dex sebagai pembanding.

1.2 Perumusan Masalah

1. Bagaimana hasil proses pembakaran yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kapuk (*ceiba petandra*) ?
2. Bagaimana hasil kadar emisi NOx yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kapuk (*ceiba pentandra*) ?
3. Bagaimana perbandingan hasil proses pembakaran yang dihasilkan oleh penggunaan Biodiesel Biji Kapuk (*ceiba pentandra*) dengan Pertamina Dex ?
4. Bagaimana perbandingan hasil kadar emisi NOx yang dihasilkan oleh penggunaan biodiesel biji kapuk (*ceiba pentandra*) dengan Pertamina Dex ?

1.3 Tujuan Skripsi

Guna menjawab pertanyaan yang telah tercantum pada perumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui hasil proses pembakaran biodiesel biji kapuk (*ceiba petandra*)
2. Untuk mengetahui hasil kadar emisi NOx yang dihasilkan oleh sisa pembakaran biodiesel biji kapuk (*ceiba petandra*)

3. Untuk mengetahui perbedaan hasil proses pembakaran biodiesel biji kapuk (*ceiba petandra*) terhadap Pertamina Dex
4. Untuk mengetahui perbedaan hasil kadar emisi biodiesel biji kapuk (*ceiba petandra*) terhadap Pertamina Dex

1.4 Batasan Permasalahan

1. Ruang lingkup dari analisis proses pembakaran terdiri atas proses penginjeksian (*ignition delay*), tekanan maksimum (*maximum pressure*), perubahan energi panas (*heat release rate*) dan *knocking*. Serta pada kadar emisi yaitu kadar emisi NOx
2. Variable bahan bakar yang digunakan meliputi Pertamina Dex sebagai variable bahan bakar pembanding dan biodiesel dari minyak biji kapuk (*ceiba pentandra*) dengan kadar 20% (B20) dan 30% (B30)
3. Analisis proses pembakaran menggunakan alat sensor TMR-Instrument serta *SYSMONsoft v2.0.3* sebagai data akuisisi, proses dan analisis
4. Analisis kadar emisi menggunakan alat E-com gas analyzer
5. Analisis proses pembakaran dan kadar emisi NOx dilakukan pada motor diesel Yanmar TF85MH-di yang berada di laboratorium *marine power plant* FTK-ITS

1.5 Manfaat

1. Memberi informasi mengenai proses pembakaran dan emisi yang dikeluarkan oleh sisa pembakaran biodiesel biji kapuk (*ceiba pentandra*)
2. Memberi informasi mengenai perbandingan hasil kadar emisi NOx dan hasil proses pembakaran biodiesel biji kapuk dengan Pertamina Dex

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Dengan meningkatnya taraf ekonomi di Indonesia menyebabkan kualitas udara semakin memburuk. Mengingat, dalam kurun waktu 10 tahun terakhir, terjadi kenaikan jumlah kendaraan bermotor yang sangat pesat. Peningkatan ini didominasi dengan penambahan sepeda motor, dengan kenaikan hingga 30% dengan kurang lebih 70% terdistribusi di daerah perkotaan. (Ismiyati, dkk, 2014).

Disamping itu permasalahan lain yang dihadapi dunia ialah semakin maraknya kelangkaan bahan bakar fosil. Faktanya, cadangan dan produksi bahan bakar minyak bumi (fosil) di Indonesia terjadi penurunan sebesar 10% tiap tahunnya. Namun, tingkat konsumsi minyak rata-rata mengalami kenaikan sebesar 6% per tahunnya. Maka dapat disimpulkan, permasalahan yang terjadi adalah produksi minyak bumi di Indonesia kurang bisa mengimbangi konsumsi dari minyak bumi itu sendiri di Indonesia. (Kuncahyo, 2013). Untuk mengatasi kedua permasalahan ini secara serentak dilakukan pencarian bahan bakar alternatif dengan karakteristik bahan bakar yang paling baik guna mengganti bahan alternatif konvensional.

Biodiesel itu sendiri merupakan bahan bakar yang terbuat dari minyak nabati dan mempunyai sifat menyerupai minyak solar. Bahan bakar biodiesel diyakini bersifat ramah lingkungan dikarenakan dapat menghasilkan emisi gas buang yang lebih baik dari bahan bakar minyak solar biasa (Amalia, 2006).

Tabel 2.1 Regulasi Standar Mutu Biodiesel (SNI-7182, 2015)

No	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40 °C	kg/m ³	850 – 890
2	Viskositas kinematik pada 40 °C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka setana	min	51
4	Titik nyala (mangkok tertutup)	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50 °C)		nomor 1
7	Residu karbon - dalam percontoh asli; atau - dalam 10% ampas distilasi	%-massa, maks	0,05 0,3
8	Air dan sedimen	%-volume, maks	0,05
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
11	Belerang	mg/kg, maks	50
12	Fosfor	mg/kg, maks	4
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24

Dalam pembuatannya, biodiesel telah diatur dalam regulasi syarat mutu yang ditentukan oleh SNI dalam pembuatan biodiesel (SNI-7182, 2015) sebagaimana yang tercantum pada Tabel 2.1.

Nixon,P (2013), telah melakukan penelitian pembuatan biodiesel dari minyak biji kapok dengan metode esterifikasi dan transesterifikasi. Dengan menggunakan beberapa bahan, meliputi; minyak biji kapok, methanol (CH_3COOH) dengan kemurnian 99,5% dan KOH sebagai katalis dari reaksi transesterifikasi dan esterifikasi. Katalis yang digunakan ialah katalis basa.

Dengan metode yang sama, R. Handoyo, dkk (2007) juga melakukan penelitian terhadap pembuatan minyak biji kapok sebagai biodiesel dengan melakukan perhitungan kebutuhan metanol untuk reaksi transesterifikasi dengan trigliserida, serta kebutuhan KOH yang berfungsi untuk menyambungkan FFA, dan diperoleh perbandingan: minyak biji kapok : methanol : KOH = 250 : 27,5 : 6,55

Namun, setelah dilakukannya percobaan didapatkan perbandingan campuran yang menghasilkan reaksi yang diperlukan yaitu; minyak biji kapok : methanol : KOH = 250 : 40 : 6,45 dengan hasil biodiesel yang diperoleh 70% dari jumlah crude oil biji kapok

Pengetesan dan factor pembebanan harus dilakukan untuk memferifikasikan penyesuaian dari mesin diesel dengan pembatasan limit bedasarkan pada regulasi 13 pada Annex VI (IMO, 2016) pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Tabel Pengetesan IMO

Test cycle type E2	Speed	100%	100%	100%	100%	
	Power	100%	75%	50%	25%	
	Weighting factor	0.2	0.5	0.15	0.15	
Test cycle type E3	Speed	100%	91%	80%	63%	
	Power	100%	75%	50%	25%	
	Weighting factor	0.2	0.5	0.15	0.15	
Test cycle type D2	Speed	100%	100%	100%	100%	100%
	Power	100%	75%	50%	25%	10%
	Weighting factor	0.05	0.25	0.3	0.3	0.1

2.2 Proses pembakaran biodiesel

Analisa proses pembakaran tak luput dari pengaruh sifat dan karakteristik bahan bakar itu sendiri. Sifat dan karateristik bahan bakar ini berpengaruh terhadap waktu bahan bakar mengalami ignition. Jika waktu ignition dari bahan bakar semakin lama

maka akan mengakibatkan kenaikan dari *maximum pressure* dan juga kenaikan dari temperature yang dihasilkan (Zhu L,dkk, 2010)

Jika waktu ignition dari bahan bakar semakin mundur, ini menyebabkan banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan. Terlalu banyaknya bahan bakar yang terbakar pada periode ini mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat drastis sehingga mengakibatkan tekanan dalam silinder meningkat signifikan serta getaran yang keras. Kenaikan tekanan secara signifikan serta getaran keras yang terjadi ini ialah tanda munculnya *knocking* dengan nilai yang tinggi (Pranowo, Dkk, 2014)

Rata-rata minyak biodiesel nabati memiliki angka *cetane* yang tinggi, hal ini yang menyebabkan *ignition delay* yang lebih pendek. Maka diduga minyak biodiesel nabati memiliki hasil proses pembakaran yang baik jika dibandingkan dengan minyak solar. (Seno D, 2010)

Praduga diperkuat dengan hasil analisis proses pembakaran pada biodiesel umbi porang (*amarphopallus onchophillus*) yang dilakukan oleh Gusma H (2016). Analisis menyatakan bahwa biodiesel umbi porang menghasilkan tekanan maksimal yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar pertamina dex, tekanan yang lebih tinggi tersebut disebabkan karena angka *heat release* yang tinggi dan *ignition delay* yang lebih lambat.

2.3 Emisi Biodiesel

Gas buang yang dihasilkan dari pembakaran kendaraan bermotor terdiri dari atas zat yang tidak beracun, seperti karbondioksida (CO_2), nitrogen (N_2), dan uap air (H_2O), dan zat beracun seperti karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO_x), hidrokarbon (HC), debu timbal (Pb), sulfur oksida (SO_x), zat dan partikulat. (Syahrani. 2006)

Gas nitrogen oksida (NO_x) dapat dibagi menjadi dua macam yaitu gas nitrogen dioksida dan gas nitrogen monoksida. Kedua gas tersebut memiliki sifat yang berbeda namun, keduanya berbahaya bagi kesehatan. Udara yang mengandung gas NO dapat berbahaya jika dalam konsentrasi yang tinggi. (Alhaq. 2015)

Pada prinsipnya, temperatur maksimum, durasi penurunan temperature dan konsentrasi oksigen didalam bahan bakar memiliki efek dominan pada emisi NO_x . Semakin tinggi angka temperature maksimum dan semakin lama penurunan temperatur bakar maka akan menghasilkan nilai emisi NO_x yang semakin tinggi pula. (LU Xing, 2003)

Diperuntukan kepada mesin diesel dengan kecepatan konstan dan digunakan untuk mesin penggerak utama atau digunakan sebagai diesel electric menggunakan *test cycle* E2, untuk *controll-able pitch propeller* menggunakan *test cycle* E2. Dan untuk *auxiliary engines* berkecepatan konstan menggunakan *test cycle* D2. (IMO,2016)

2.4 Perbandingan Proses Pembakaran Biodiesel

Gusma, H (2016) melakukan eksperimen perbandingan *combustion process* mesin diesel dari bahan bakar biodiesel minyak umbi porang (*amarphallus onchophillus*) dan pertamina dex menggunakan mesin YANMAR TF85-MH dengan didapatkan kesimpulan bahwa biodiesel umbi porang merupakan bahan bakar yang lebih banyak menghasilkan panas, *ignition delay* yang lebih lama dan menghasilkan *maximum pressure* yang paling tinggi jika dibandingkan dengan pertamina dex

Fiki (2016) juga melakukan eksperimen *combustion process* dengan mesin diesel dari bahan bakar biodiesel minyak kemiri sunan dan mendapatkan kesimpulan bahwa biodiesel kemiri sunan menghasilkan tekanan maksimal yang lebih tinggi, produksi energi panas yang lebih tinggi serta lama waktu penginjeksian yang lebih lama jika dibandingkan dengan biosolar. Dari hasil pengujian juga didapatkan kesimpulan bahwa minyak biodiesel kemiri sunan B15 ialah bahan bakar yang peling berpotensi untuk terjadi *knocking* jika dibandingkan dengan B20 kemiri sunan dan biosolar.

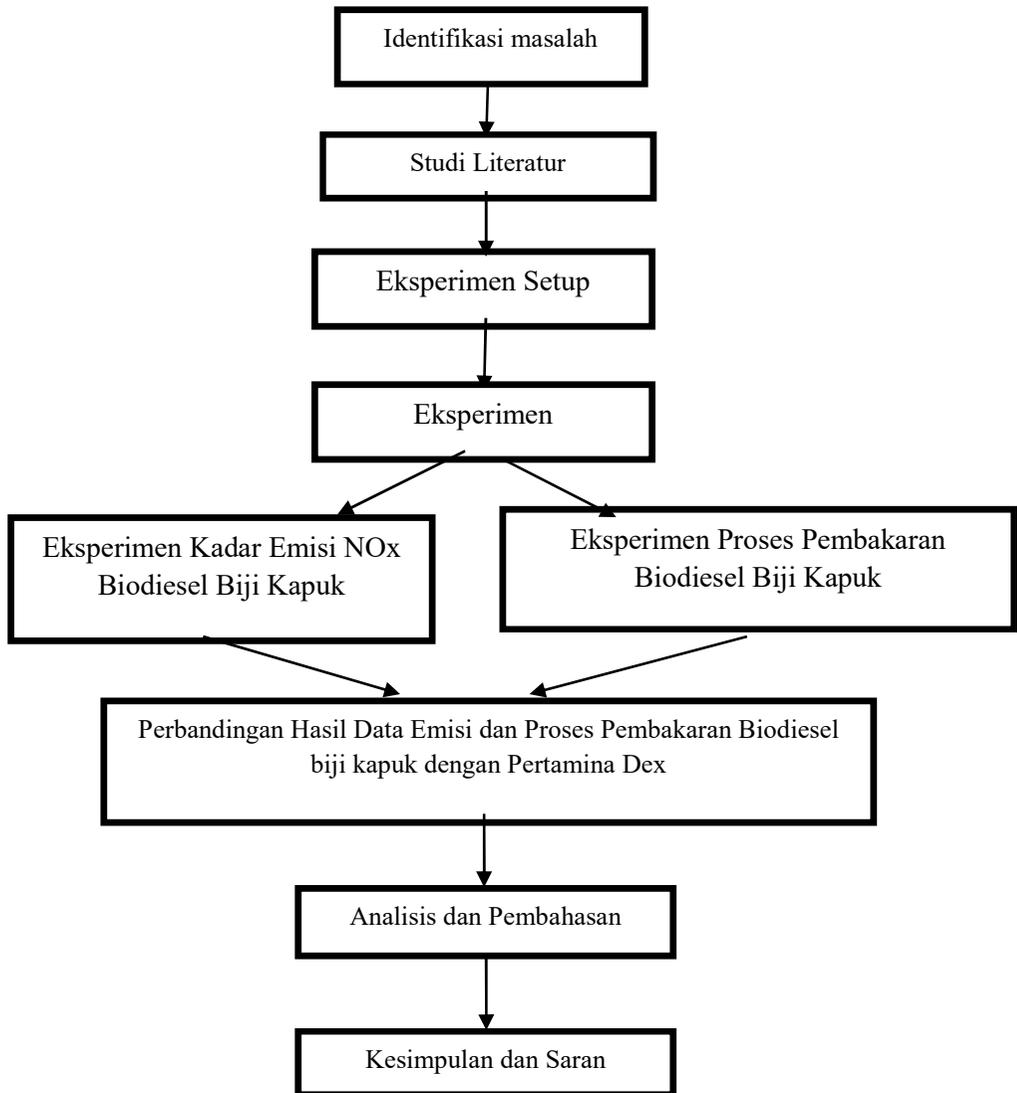
2.5 Perbedaan Emisi Biodiesel

Alhaq.S (2016) melakukan eksperimen uji kadar emisi NO_x hasil pembakaran bahan bakar biodiesel umbi porang (*armaphallus onchophillus*) dengan menggunakan mesin diesel YANMAR TF 85 MH 5,5 kW

Eksperimen menunjukkan bahwa penggunaan minyak bio porang sebagai biodiesel memberikan nilai kadar emisi NO_x yang lebih buruk jika dibandingkan bahan bakar pertamina dex dan biosolar pertamina. Bio porang menghasilkan nilai rata-rata 37,5% lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar dex, dan 47,45% lebih tinggi dibandingkan bio solar pertamina

Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh R.Handoyo, dkk, (2007) emisi nitrogen oksida dengan menggunakan biodiesel minyak biji kapok adalah 3,6% lebih rendah daripada menggunakan minyak solar.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram alur penelitian

3.1 Identifikasi & Perumusan Masalah

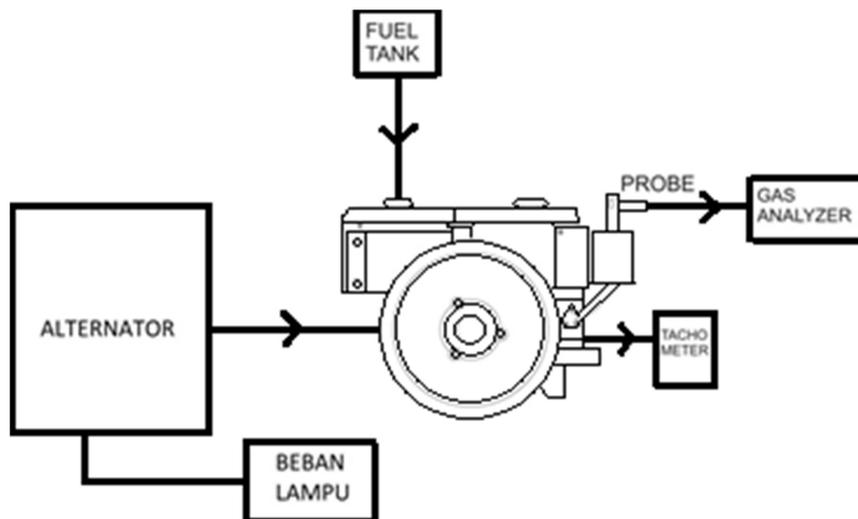
Identifikasi masalah pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kadar emisi NO_x dan proses pembakaran yang dihasilkan oleh motor diesel dengan berbahan bakar biodiesel biji kapuk (*ceiba pentandra*) serta membandingkan hasil emisinya terhadap pertamina dex.

3.2 Studi Literatur

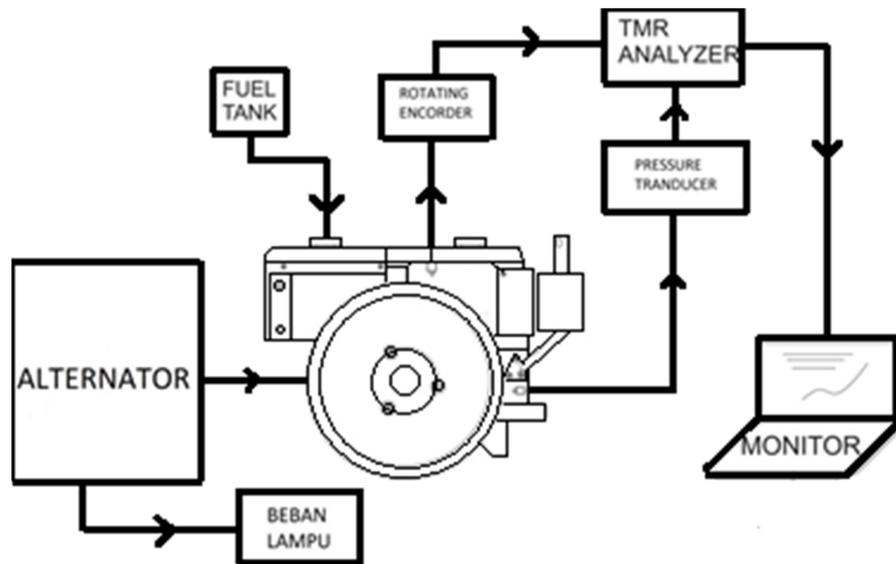
Studi literatur dilakukan bertujuan guna mempelajari teori yang menunjang permasalahan penelitian. Untuk penelitian ini, studi literatur mengacu kepada karakteristik biodiesel biji kapuk, penelitian hasil uji kadar emisi NO_x, dan proses pembakaran pada motor Diesel. Literatur berupa sumber seperti journal, buku, dan tugas akhir yang didapatkan melalui internet maupun ruang baca.

3.3 Eksperimen Setup

Eksperimen setup merupakan langkah persiapan dan merencanakan eksperimen yang akan diteliti, tahap persiapan juga digunakan untuk menyiapkan bahan dan akan alat yang akan digunakan memilih variable bebas dan variable tetap dari penelitian. Didalam langkah ini juga dilakukan pembuatan biodiesel minyak biji kapuk serta perangkaian engine dan yang akan dipakai. Engine yang akan digunakan dalam penelitian ialah mesin diesel satu silinder YANMAR TF85-MH perangkaian engine dilakukan seperti rangkaian pada gambar 3.2 dan 3.3



Gambar 3.2 Rangkaian pengaturan Eksperimen Uji Kadar Emisi NO_x



Gambar 3.3 Rangkaian pengaturan Eksperimen Proses Pembakaran

Pada tahapan ini dilakukan pembuatan biodiesel biji kapuk. Pembuatan biodiesel biji kapuk menggunakan proses transesterifikasi dengan mengeluarkan gliserin dari minyak nabati dan mereaksikan asam lemak bebas dengan alkohol menjadi alcohol ester (*fatty acid methyl ester/FAME*). Pembuatan biodiesel pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan sebagai berikut:

- a. Minyak biji kapuk (*ceiba pentandra*)
- b. Methanol
- c. KOH
- d. *Aquadest*
- e. H_3PO_4
- f. H_2SO_4
- g. *Thermometer*
- h. *Beaker glass*
- i. Gelas Ukur
- j. Panci
- k. Tungku Pemanas (kompor)
- l. Timbangan
- m. Saringan 100 mikron
- n. Bor dengan kecepatan putar 200 RPM yang telah dimodifikasi (alat pengaduk)
- o. Sarung tangan *rubber*
- p. Pipet

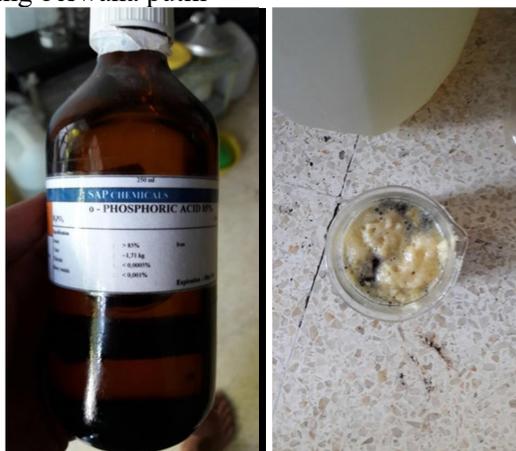
Pada penelitian ini, pembuatan biodiesel minyak biji kapuk menggunakan katalis basa yang terdiri dari 5 proses utama. Yaitu, proses *degumming*, *esterifikasi*, *transesterifikasi*, proses *washing* dan proses *drying*. Lalu selanjutnya biodiesel biji kapuk (B100) akan dicampur dengan pertamina dex dan divariasikan perbandingan

komposisinya 20% B100 biji kapuk + 80% Pertamina Dex dan 30% B100 biji kapuk + 70% Pertamina dex.

a. Proses *Degumming*

Proses *degumming* bertujuan untuk memisahkan getah yang terdiri dari *fosfolipid*, protein, residu, karbohidrat, air dan resin. Pada pembuatan minyak biji kapuk proses *degumming* menggunakan asam H_3PO_4 sebanyak 0,1% volume minyak. Berikut merupakan tahapan proses *degumming*:

- Minyak biji kapuk dipanaskan didalam panci menggunakan tungku hingga mencapai temperatur $70^{\circ}C$
- Penambahan larutan H_3PO_4 sebanyak 0,1% dari volume minyak
- Lakukan pengadukan dengan RPM konstan dan Temperatur yang konstan pada $70^{\circ}C$
- Diamkan minyak pada *beaker glass* hingga minyak dan *gum* ter-*Settling* dengan sempurna. langkah ini dilakukan selama 2 hari
- Buang *gum* yang berwarna putih



Gambar 3.4 Proses *degumming* Minyak Biji Kapuk

b. Proses *Esterifikasi*

Proses *esterifikasi* bertujuan untuk menurunkan kadar FFA (*free fatty acid*) di dalam minyak. Kadar FFA yang tinggi dapat menyebabkan reaksi *saponifikasi* (reaksi penyabunan) pada minyak. Proses *esterifikasi* menggunakan H_2SO_4 sebanyak 1% massa minyak. Berikut merupakan tahapan proses *esterifikasi*:

- Minyak biji kapuk dipanaskan hingga temperature $60^{\circ}C$
- Larutan *metoksid* dibuat dengan mencampurkan methanol dengan perbandingan volume 1:6 minyak dengan H_2SO_4 sejumlah 1% massa minyak
- Larutan metoksid dicampurkan kedalam minyak biji kapuk dan dilakukan pengadukan selama 1,5 jam dengan RPM konstan dan temperature $60^{\circ}C$
- Diamkan minyak pencampuran di dalam *beaker glass* selama 24 jam hingga ter-*settling* dan lakukan pemisahan



Gambar 3.5 Proses *Esterifikasi* Minyak biji Kapuk

c. Proses *Transesterifikasi*

Pada proses *Transesterifikasi* dilakukan pencampuran crude oil biji kapuk, methanol, dan KOH sebagai katalis dengan perbandingan; minyak biji kapuk : methanol : KOH = 250 : 40 : 6,45 dengan suhu tungku sebesar 55°C . setelah proses pencampuran selesai maka hasil campuran di *settling* selama 14 jam untuk memisahkan antara FAME dengan gliserol. Berikut merupakan tahapan proses *transesterifikasi*:

- a. Minyak biji kapuk dipanaskan hingga temperature 55°C
- b. Larutan metoksid dibuat dengan mencampurkan methanol dan katalis basa (KOH) dengan perbandingan berat minyak biji kapuk : methanol : KOH = 250 : 40 : 6,45
- c. Campur larutan methanol kedalam minyak biji kapuk dan lakukan pengadukan dengan RPM konstan dengan temperature 55°C selama 1 jam
- d. Diamkan minyak pencampuran di dalam *beaker glass* selama 24 jam higga larutan FAME terpisah dengan gliserol terpisah secara sempurna, lalu gliserol yang terendapkan dibuang
- e.



Gambar 3.6 Proses *transesterifikasi* Minyak Biji Kapuk

d. Proses *Washing*

Pada proses *washing* FAME hasil proses *transesterifikasi* dicampur dengan *aquadest* guna menghilangkan larutan metoksida dan gliserol yang masih tertinggal pada larutan FAME. Pencampuran FAME dan *aquadest* menggunakan perbandingan 1 : 2. *settling* selama 8 jam perlu dilakukan guna memisahkan kembali larutan *aquadest* dan FAME. Langkah *washing* dilakukan sebanyak 4 kali pengulangan hingga buih atau reaksi penyabunan tidak terjadi pada larutan minyak. Berikut merupakan tahapan proses *washing*:

- Tuang *aquadest* dengan perkiraan perbandingan 1:2 volume minyak
- Lakukan pengadukan hingga merata
- Lakukan *settling* dengan mendinginkan campuran pada gelas ukur selama 12 jam hingga minyak dan *aquadest* terpisah kembali.
- Ulangi proses dengan rata-rata pengulangan sebanyak 4 kali hingga larutan minyak jernih dan tidak terjadi reaksi buih



Gambar 3.7 Proses *washing* minyak biji kapuk

e. Proses *Drying*

Gambar 3.8 Proses *drying* minyak biji kapuk

Pada proses *drying*, minyak yang sudah melewati proses pencucian dengan *aquadest* dipanaskan hingga mencapai suhu 100⁰C guna menghilangkan larutan *aquadest* yang masih tercampur didalam larutan minyak. Larutan *aquadest* dihilangkan dengan cara penguapan. Parameter proses *drying* telah berhasil dan selesai ialah tidak adanya buih didih yang muncul pada larutan minyak

Pada tahapan ini juga dilakukan persiapan perlengkapan sebelum dilaksanakannya eksperimen analisis kandungan NOx dan proses pembakaran biodiesel Biji Kapuk (*ceiba pentandra*). Adapun alat dan bahan yang akan digunakan untuk melakukan eksperimen ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan bakar biodiesel biji kapuk (*ceiba pentandra*)
2. Bahan bakar pertamina dex
3. Bahan bakar biosolar pertamina
4. Mesin diesel satu silinder YANMAR TF85-MH
5. Hardware *vibrasindo TMR-card board & TMR crankangle-CPU*
6. Software *SYSMONSoft v2.0.3* sebagai data akuisisi, proses dan analisis
7. Gas analyzer *E-COM*
8. Tachometer
9. Alternator sebagai alat pemvariasi beban
10. Komputer sebagai pengolahan data

Adapun variabel uji yang akan digunakan pada penelitian emisi NOx dan proses pembakaran berdasarkan standar yang diberikan oleh Marpol serta dengan penyesuaian ialah seperti berikut;

- Variasi bahan bakar:
 1. Biodiesel biji kapuk B20
 2. Biodiesel biji kapuk B30
 3. Bahan bakar pertamina dex
- Variable beban
 1. 1000, 2000, 3000, 4000 watt
- Variable putaran:
 1. Konstan 2200 RPM
- Variable hasil:
 1. Daya
 2. NOx

Untuk variable uji yang akan digunakan pada penelitian *combustion process* dengan penyesuaian terhadap variable uji kandungan NOx diatas maka digunakan variable uji sebagai berikut;

- Variasi bahan bakar:
 1. Biodiesel biji kapuk B20
 2. Biodiesel biji kapuk B30
 3. Bahan bakar pertamina dex
- Variable beban
 1. 1000, 2000, 3000, 4000 watt

- Variable putaran:
 1. Konstan 2200 RPM
- Variable Hasil:
 1. *ignition delay*
 2. *heat release*
 3. *maximum pressure*
 4. *knocking detection*

3.4 Eksperimen

Eksperimen atau pengujian dilakukan guna mendapatkan hasil data yang diharapkan menjawab masalah yang telah dirumuskan. Sebelum melakukan eksperimen pengujian emisi NO_x dan proses pembakaran, dilakukan perlu dilakukan pengujian performa engine untuk mengetahui daya maksimal serta sfoc engine tersebut. Performa engine digunakan untuk mencari nilai daya maksimum yang digunakan untuk uji performa emisi sesuai regulasi yang telah dikeluarkan oleh IMO dalam regulasi Annex MARPOL VI serta data perhitungan. Eksperimen dibagi menjadi dua kelompok yaitu eksperimen kadar emisi NO_x dan eksperimen proses pembakaran.

3.5 Eksperimen Kadar Emisi NO_x

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan *gas analyzer* untuk mendapatkan nilai Emisi yang dihasilkan. Pada penelitian ini eksperimen dibagi menjadi dua bagian yaitu dengan menggunakan variable bahan bakar Biodiesel biji kapuk B20 dan B30 dan bahan bakar pertamina dex pada variasi load pembebanan dan RPM engine. Setelah hasil nilai emisi dari mesin berbahan bakar biji kapuk dan berbahan bakar fosil pertamina dex telah diperoleh maka data tersebut dibandingkan pada tahapan berikutnya.

3.6 Eksperimen Proses Pembakaran

Eksperimen dilakukan dengan menggunakan mesin diesel satu langkah dan mesin analisa proses pembakaran yaitu *vibrasindo TMR-card board dan TMR-crankangle-CPU* dengan *entry level cards*. Eksperimen dibagi menjadi dua variable berdasarkan bahan bakar yaitu dengan bahan bakar Biodiesel Biji Kapuk (*ceiba petandra*) B20 dan B30 dan dengan bahan bakar pertamina dex. Eksperimen dilakukan pada variasi load pembebanan dan RPM engine. Adapun data yang akan diperoleh ialah sebagai berikut;

1. *Maximum pressure*
2. *Ignition delay*
3. *Heat release rate*
4. *Knock detection*

3.7 Analisa dan Pembahasan

Setelah melakukan langkah eksperimen maka pada langkah analisa dan pembahasan akan dilakukan perbandingan hasil proses pembakaran serta nilai kadar

emisi NO_x yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar biosolar dengan berbahan bakar biodiesel. Perbandingan ini akan dianalisa berdasarkan beberapa ketentuan dan rules Annex IV Marpol. Analisis tersebut dapat menunjukkan kelayakan dari penggunaan bahan bakar biodiesel biji kapuk.

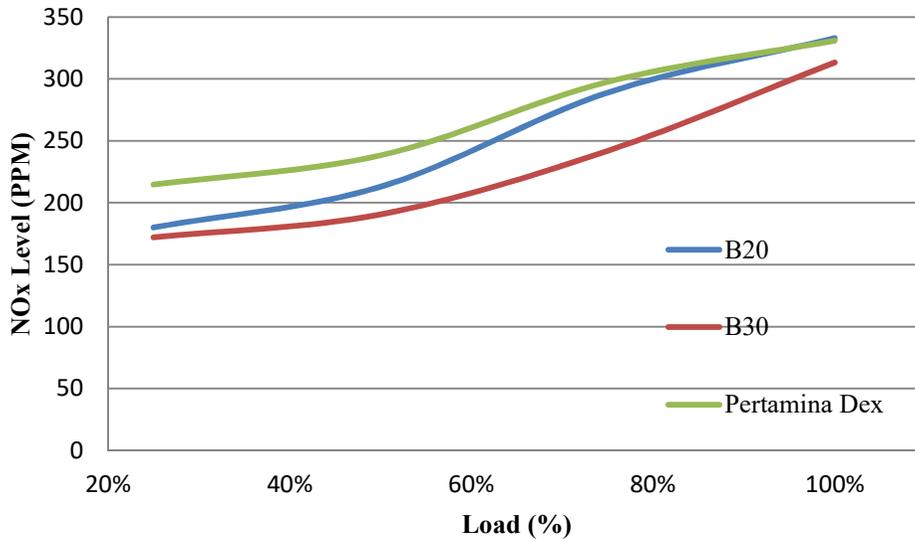
3.8 Kesimpulan dan Saran

Setelah semua tahapan telah dilakukan, maka tahapan terakhir ialah menarik kesimpulan dari analisa dan pembahasan dari eksperimen yang telah dilakukan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi. Selain itu saran dibuat berdasarkan hasil penelitian guna penyempurnaan tugas akhir Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini ialah metode eksperimen.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Emisi Penggunaan Biodiesel Biji Kapuk



Gambar 4.1 Hasil pengujian emisi NOx

Grafik pada gambar 4.1 menunjukkan perbandingan hasil nilai kadar emisi NOx antara variasi bahan bakar biji kapuk dengan persentase 20 dan 30 persen, serta bahan bakar Pertamina Dex pada putaran maksimal yakni pada putaran 2200 RPM dan 4 variasi pembebanan berdasarkan metode pengujian pada regulasi IMO marpol Annex VI. Pada grafik dapat diketahui bahwa bahan bakar biodiesel biji kapuk menempati hasil kadar NOx yang lebih kecil jika dibandingkan dengan Pertamina Dex pada 20 maupun 30 persen persentase kadar biodiesel dalam bahan bakar. Namun bahan bakar B30 memperoleh nilai kadar NOx yang paling rendah dibandingkan dengan variable bahan bakar lain. Nilai kadar NOx mengalami kenaikan seiring naiknya penambahan beban pada setiap variasi bahan bakar. Kadar emisi terendah diperoleh oleh bahan bakar B20 pada beban 1 kW, sementara kadar emisi tertinggi diperoleh oleh bahan bakar B30 pada beban 4 kW.

Pada pembebanan 1 kW atau pada 25% daya dan putaran 2200 RPM, bahan bakar B30 menempati posisi nilai emisi terendah dengan kadar NOx sebesar 172 PPM. Pada pembebanan ini B20 memperoleh kadar NOx yang lebih tinggi dari B30 namun tidak signifikan dengan nilai 180 PPM. Sementara Pertamina Dex memperoleh kadar NOx

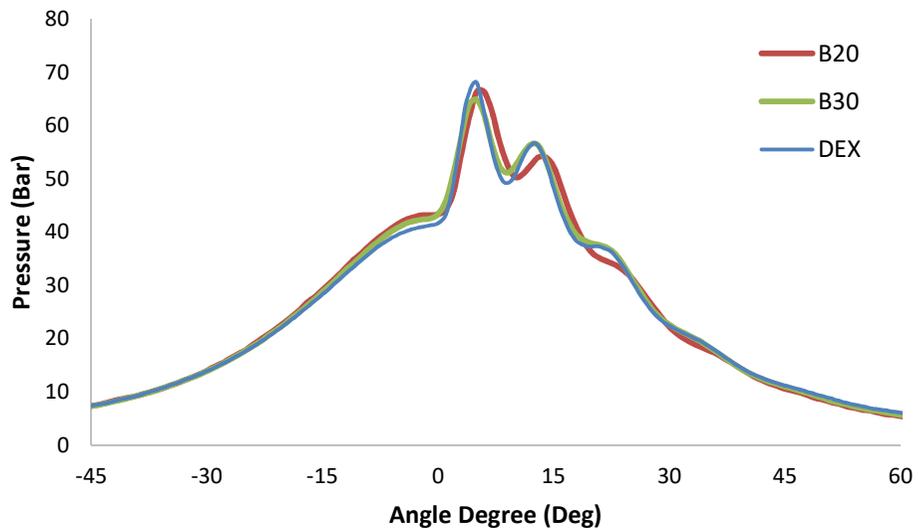
tertinggi dengan nilai 215 PPM. Untuk pembebanan 2 kW atau pada 50% daya pada putaran 2200 RPM, kenaikan nilai kadar NOx pada setiap variasi bahan bakar cenderung stabil. Selain itu dapat dilihat bahwa perbedaan nilai kadar NOx pada setiap variasi bahan bakar cenderung konstan dengan rata-rata perbedaan sekitar 20 PPM. Bahan bakar B30 tetap menempati posisi nilai kadar NOx terendah dengan nilai sebesar 191 PPM, sementara itu B20 memperoleh nilai sebesar 213 PPM, dan diikuti oleh pertamina dex dengan 238 PPM. Sementara itu pada pembebanan tinggi, nilai kadar NOx bahan bakar B20 mendekati nilai kadar NOx pada bahan bakar pertamina dex dengan nilai 289 PPM pada beban 3 kW dan 333 PPM pada beban 4 kW untuk B20 dan nilai 298 PPM pada beban 3 kW dan 331 PPM pada beban 4 kW untuk bahan bakar pertamina dex. Pada beban 3 kW dan 4 kW, bahan bakar B30 tetap menempati posisi terendah dengan nilai kadar NOx sebesar 242 PPM pada beban 3 kW dan 313 PPM pada beban 4 kW.

4.2 Proses Pembakaran

4.2.1 Analisa Max Pressure pada RPM 2200, 25% Load

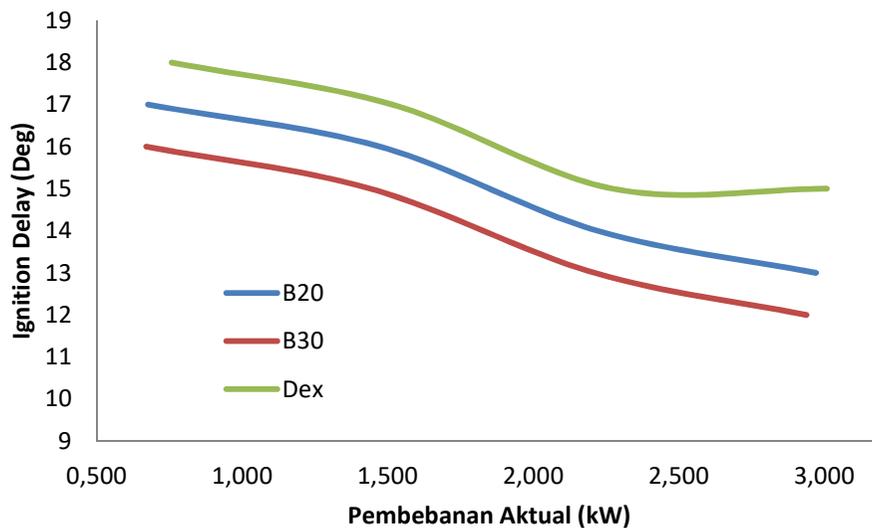
Dari beberapa variable pembebanan dan variable bahan bakar, masing masing menghasilkan bentuk yang berbeda. Adapun pengaruh bahan bakar dapat dilihat dari gambar 4.2 dan 4.3. Grafik pada gambar 4.2 dan 4.3 menunjukkan salah satu dari variable grafik yang didapatkan. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara biodiesel biji kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Dari karakteristik mesin yanmar ini, waktu penginjeksian berada pada posisi 18⁰ sebelum TMA. Biodiesel biji kapuk B30 menempati nilai *maximum pressure* terendah yaitu pada tekanan 64.89 bar yang diperoleh pada posisi 5⁰ sebelum TMA, kemudian disusul oleh bahan bakar B20 dengan tekanan sebesar 66.35 bar yang diperoleh pada posisi 5⁰ sebelum TMA, dan posisi tertinggi ditempati oleh pertamina dex dengan tekanan sebesar 68,09 bar pada posisi 5⁰.

Hasil pengujian pertamina dex menghasilkan nilai tekanan maksimal yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan B20 dan B30 dikarenakan waktu *ignition delay* yang lebih panjang jika dibandingkan dengan yang lain. Waktu *ignition delay* yang lebih panjang ini memberikan waktu untuk bahan bakar untuk bercampur dengan udara dengan lebih baik. Pencampuran yang lebih baik ini menyebabkan bahan bakar yang terbakar pada *abrupt combustion period* lebih banyak secara kuantitas, menyebabkan tekanan pada periode ini naik secara signifikan. Pembakaran yang merata ini juga mengakibatkan nilai tekanan maksimum yang diperoleh menjadi lebih tinggi.



Gambar 4.2. Grafik *Max. Pressure* pada RPM 2200, 25% Power

4.2.2 Analisa *ignition delay* pada RPM 2200



Gambar 4.3. Grafik *ignition delay* pada RPM 2200

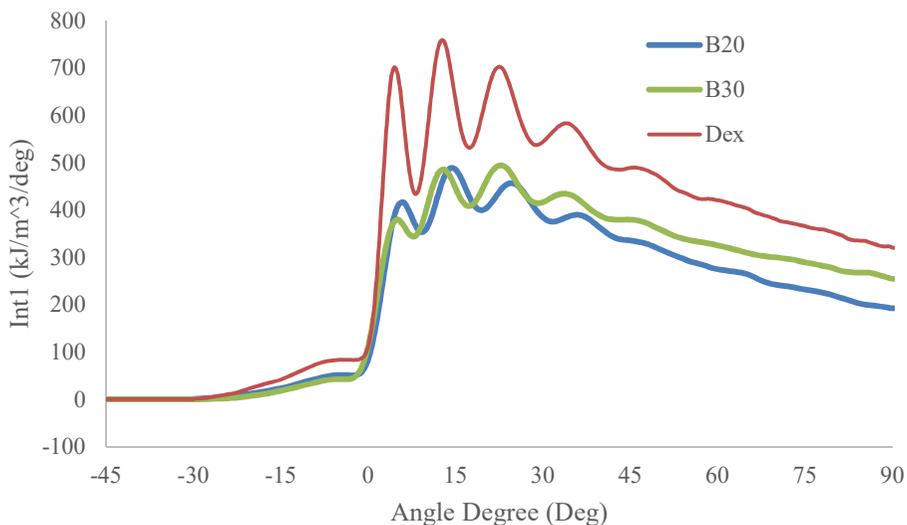
Grafik pada gambar 4.3 menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik perbandingan *ignition delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara biodiesel biji kapuk B20, B30 dan pertamina dex pada setiap

kenaikan beban yang diberikan. Analisa *ignition delay* dilakukan dengan melihat lama waktu jeda dari awal penginjeksian bahan bakar hingga bahan bakar mulai terbakar. mesin YANMAR TF 85-MH memiliki waktu penginjeksian pada -18° sebelum TMA. Dari gambar 4.4 didapatkan bahwa bahan bakar B30 memperoleh waktu *ignition* tercepat. Disusul dengan B20 sementara letak *ignition* terjauh ditempati oleh pertamina dex.

Panjang waktu *ignition delay* dipengaruhi oleh besar nilai *cetane number* yang dimiliki oleh bahan bakar. Secara teori, semakin besar *cetane number* maka semakin pendek waktu *ignition delay* yang diperoleh. Oleh karena itu, dengan melihat data pada grafik di Gambar 4.4, maka dapat diprediksi bahwa jumlah *cetane number* pada bahan bakar biodiesel biji kapuk B30 lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel biji kapuk B20 dan bahan bakar diesel pertamina dex.

4.2.3 Analisa *heat release rate* pada RPM 2200, 25% Load

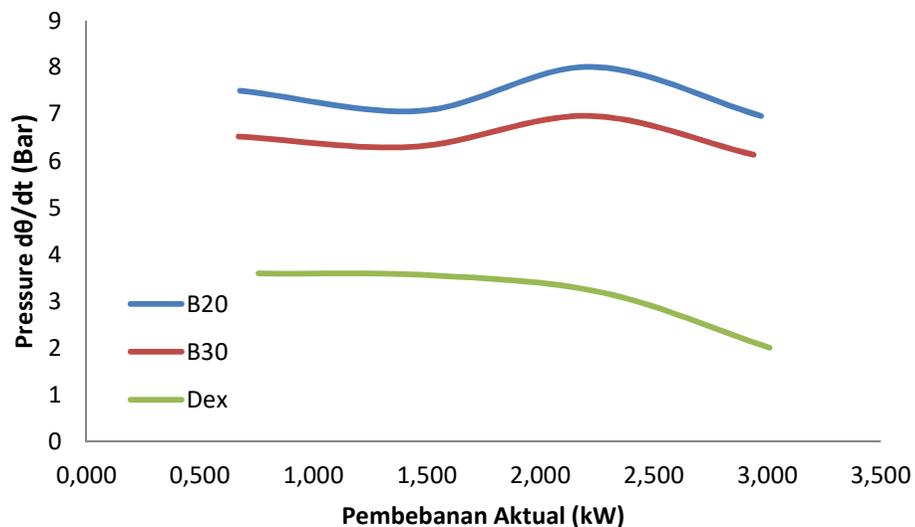
Grafik pada Gambar 4.4 menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu Grafik *heat release rate* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 25%. Analisa *heat release rate* dilakukan dengan melihat titik puncak energi panas yang dihasilkan pada proses pembakaran dan juga tingkat lama pendinginan dari penurunan jumlah energi panas yang dihasilkan. Dari gambar diketahui bahwa pertamina dex menempati posisi tertinggi dengan nilai energi sebesar $757 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 12.5° . Lalu disusul oleh B20 dengan nilai energi sebesar $490 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 13° . Dan posisi terendah ditempati oleh B30 dengan nilai energi sebesar $487 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 14° . Untuk tingkat pendinginan, B20 memiliki waktu pendinginan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan B30 dan pertamina dex.



Grafik 4.4. Grafik *Heat Release Rate* pada RPM 2200, 25% Power

pertamina dex menghasilkan nilai *heat release rate* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel biji kapuk B30 dan B20. Hal ini disebabkan karena pertamina dex menghasilkan waktu *ignition delay* yang lebih panjang. Pertamina dex memiliki waktu yang lebih panjang untuk mencampur bahan bakar dengan udara yang menyebabkan kuantitas bahan bakar yang terbakar pada periode *abrupt combustion* lebih banyak dan melepaskan energi panas yang lebih besar jika dibandingkan dengan bahan bakar B20 dan B30 dari biodiesel biji kapuk.

4.2.4 Analisa *Knock Detection* pada RPM 2200



Gambar 4.5. Grafik *Knocking Detection* pada RPM 2200

Grafik pada gambar 4.5 menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu Grafik *knocking detection* pada RPM 2200 dengan variasi pembebanan. Analisa *knocking detection* dilakukan dengan melihat peringkat tekanan puncak yang dihasilkan dari proses pembakaran. Dari gambar diketahui bahwa B20 menempati posisi tertinggi. Lalu disusul oleh bahan bakar B30 dengan nilai tekanan sementara itu posisi terendah ditempati oleh bahan bakar dex. Bahan bakar B20 dan B30 memiliki *trend* grafik yang sama disetiap kenaikan beban dan menunjukkan penurunan nilai potensi *knocking* disetiap kenaikan beban hingga pada beban 75% nilai potensi *knocking* mengalami kenaikan lalu terjadi penurunan kembali di beban 100%. Dengan melihat grafik maka didapatkan bahwa pada setiap bahan bakar disetiap variasi beban tidak terjadi *knocking* dikarenakan tidak ditemukannya nilai gradien tekanan diatas 10 bar. Namun potensi *knocking* paling tinggi tetap diperoleh oleh bahan bakar B20 dan potensi *knocking* terendah diperoleh oleh bahan bakar pertamina dex.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil analisa pengaruh penggunaan bahan bakar biji kapuk B20 dan B30 dan pertamina dex terhadap kadar emisi gas buang NO_x dan proses pembakaran, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut;

- a. Untuk perbandingan *maximum pressure*, diantara ketiga bahan bakar, posisi tertinggi hingga terendah berdasarkan tekanan yang dihasilkannya adalah bahan bakar pertamina dex, B20 dan B30.
- b. Untuk perbandingan *ignition delay*, diantara ketiga bahan bakar, posisi tertinggi hingga terendah berdasarkan lama waktu dari bahan bakar terinjeksikan di -18° hingga bahan bakar terbakar adalah bahan bakar pertamina dex, B20 dan B30
- c. Untuk perbandingan *heat release rate*, diantara ketiga bahan bakar, posisi tertinggi hingga terendah berdasarkan jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran adalah bahan bakar pertamina dex, B20 dan B30. Namun jika dilihat dari lama penurunan panasnya, diantara ketiga bahan bakar, posisi tertinggi hingga terendah adalah bahan bakar pertamina dex, B30 dan B20
- d. Untuk perbandingan *knocking detection*, diantara ketiga bahan bakar, biodiesel biji kapuk B20 yang paling berpotensi terhadi *dnocking*
- e. Dilihat dari kadar emisi yang dihasilkan, bahan bakar biodiesel B20 memiliki nilai NO_x yang lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel B30
- f. Jika dibandingkan dengan bahan bakar pertamina dex, biodiesel biji kapuk menghasilkan nilai kadar emisi yang lebih bersih namun menghasilkan potensi *knocking* yang lebih besar

5.2 Saran

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan emisi dan karakteristik pembakaran biodiesel biji kapuk ini dengan bahan bakar biodiesel berpotensi lainnya.
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengujian emisi dengan melihat fuel properties biodiesel biji kapuk.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Alhaq,S., 2016.,Analisa Emisi Berbasis Eksperimen dan Kelayakan Ekonomis Bahan Bakar Biodiesel Umbi Porang (*Amarphallus Onchopillus*) ., Departemen Teknik Sistem Perkapalan., Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya
- Amalia,S., 2006.,Prospek Pengembangan Biodiesel dan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Alterdatif di Indonesia., Economic Review No.203
- Fiki, A, 2016., Engine Perform and Combustion Process Analysis Diesel Engine from Biodiesel – Kemiri Sunan Oil (*Reutealis Trisperma (Blanco) Airy Shaw.*, Departemen Teknik Sistem Perkapalan., Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya
- Gusma, H, 2016., Analisis Perbandingan Combustion Process Mesin Diesel dari Bahan Bakar Biodiesel Minyak Umbi Porang (*Amarphopallus Onchophillus*) dengan Minyak Kelapa Sawit (*Crude Palm Oil*) Berbasis Eksperimen., Departemen Teknik Sistem Perkapalan., Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya
- Havendri,A., 2008., Kaji Eksperimental Perbandingan Prestasi dan Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel Menggunakan Bahan Bakar Campuran Solar dengan Biodiesel CPO, Minyak Jarak dan Minyak Kelapa., Departemen Teknik Mesin., Fakultas Teknik, Universitas Andalas., Padang.
- International Maritime Organization. 2016. MARPOL REGULATION., IMO, hal. 408-410,
- Ismiyati., Marlita,D., Saidah,D., 2014.,Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor., JMTransLog, 1(3)
- Kuncahyo,P. 2013.,Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel Sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel di Indonesia., Departemen Teknik Sistem Perkapalan., Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya (Skripsi)
- Kusumaningrum, Nanny; Gunawan, 2008. *Polusi Udara Akibat Aktifitas Kendaraan Bermotor di Jalan Perkotaan Pulau Jawa dan Bali.* Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
- Lu Xing, Dkk, 2003. Effect of Cetane Number Improver on Heat Release Rate and Emissions of High Speed Diesel Engine Fueled with Ethanol-Diesel Blend Fuel., Institute of Internal Combustion Engine, Shanghai Jiaotong University., Shanghai
- Manurung, R. 2006. Transesterifikasi Minyak Nabati, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara., Medan

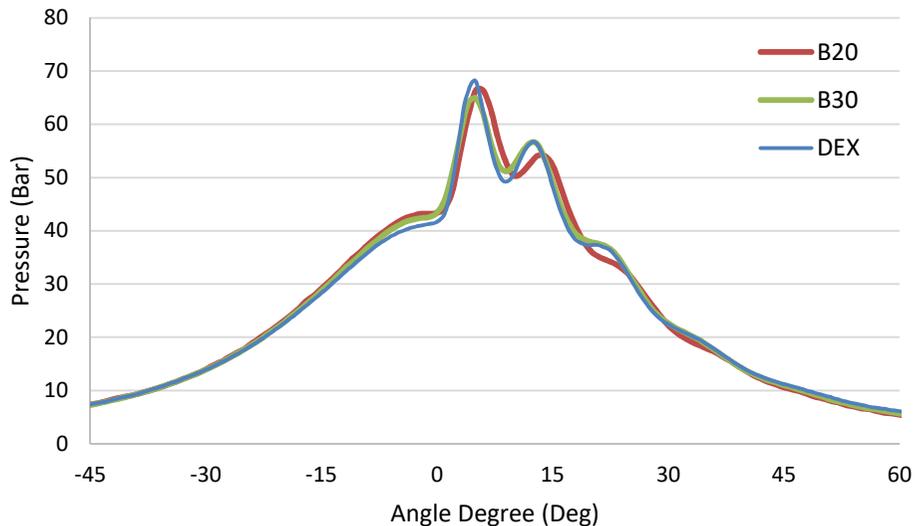
- Nixon,P, 2013. Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapok dengan Proses Esterifikasi Transesterifikasi., Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro., Semarang
- Ong, et all. 2013. *Engine performance and emissions using Jatropha curcas, Ceiba pentandra and Calophyllum inophyllum biodiesel in a CI diesel engine.* [Online] Available from: *Journal Homepage: www.elsivier.com/locate/energi* [Accessed 2016 December 30]
- Pranowo, Dibyo, Dkk. 2014. Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (*Reutealis Trisperma (Blanco) Airy Shaw* dan Pemanfaatan Hasil Samping., IAARD Press. Jakarta.
- Rahim,A., 2008., Pengujian Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel yang Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel dan Bahan Bakar Solar., Departemen Teknik Mesin., Fakultas Teknologi Industri, Universitas Mercu Buana., Jakarta.
- R. Handoyo., Ananta, A, & Saiful,A., 2007., Biodiesel dari Minyak Biji Kapok, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM., Yogyakarta
- Samiaji,T., 2012., Karakteristik Gas N₂O (Nitrogen Oksida) di Atmosfer Indonesia., Lapan 13(4)
- Sonya,A., Norma S.P. & Roesyadi, A., 2013.,Pembuatan Biodiesel dari Minyak Biji Kapok (*Ceiba pentandra*) Melalui proses Transesterifikasi dengan Katalis MgO/CaO, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.
- Standar Nasional Indonesia, 2015, Regulasi Biodiesel, SNI 7182:2015, hal.1-3,
- Syahrani,A., 2006, Analisa Kinerja Mesin Bensin Berdasarkan Hasil Uji Emisi,SMARTek
- WHO, 2016. *WHO Releases Country Estimates on Air Pollution Exposure and Health Impact.* Geneva, WHO Department of Public Health, Environmental and Social Determinants of Health. [on line] www.WHO.int/mediacentre/news/releases/2016/air-pollution-estimates/en
- Zhu,L., C.S. Cheung., W.G. Zhang, & Zhen,H., 2010, *Combustion, Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine Fueled with Ethanol-Biodiesel Blends.* [Online] Available from: *Journal Homepage: www.elsivier.com/locate/fuel* [Accessed 2017 February 2]

LAMPIRAN

Lampiran 1. Grafik Proses Pembakaran Bahan Bakar B20

1. Grafik Proses Pembakaran pada RPM 2200 dan load 25%

1.1. Analisa Max Pressure pada RPM 2200, 25% Load



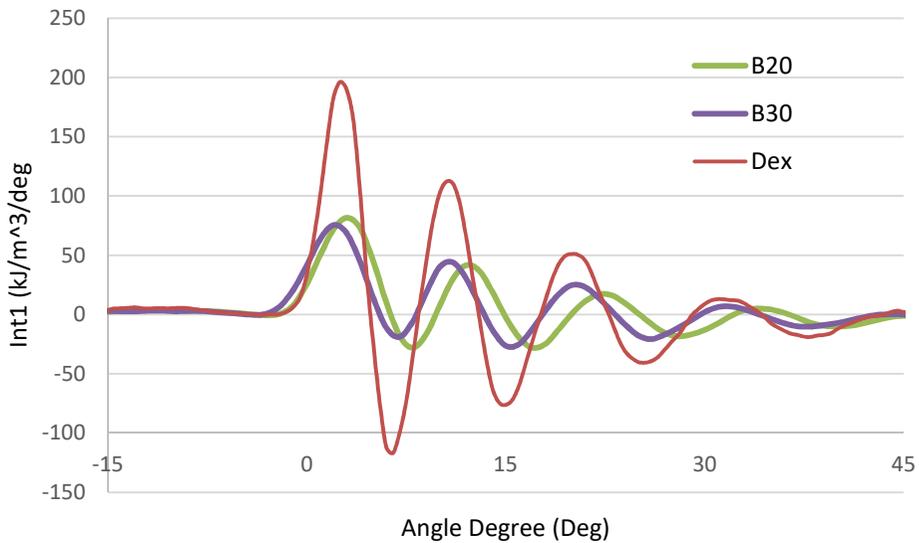
Grafik *Max. Pressure* pada RPM 2200, 25% Power

Dari beberapa variable pembebanan dan variable bahan bakar, masing masing menghasilkan bentuk yang berbeda. Adapun pengaruh bahan bakar dapat dilihat dari grafik menunjukkan salah satu dari variable grafik yang didapatkan. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara biodiesel biji kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Dari karakteristik Mesin yanmar ini, waktu penginjeksian berada pada posisi 18^0 sebelum TMA. Biodiesel biji kapuk B30 menempati nilai *maximum pressure* terendah yaitu pada tekanan 64.89 bar yang diperoleh pada posisi 5^0 sebelum TMA, kemudian disusul oleh bahan bakar B20 dengan tekanan sebesar 66.35 bar yang diperoleh pada posisi 5^0 sebelum TMA, dan posisi tertinggi ditempati oleh pertamina dex dengan tekanan sebesar 68,09 bar pada posisi 5^0 .

1.2. Analisa *ignition delay* pada RPM 2200, 25% Load

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik perbandingan *ignition delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara biodiesel biji kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Analisa *ignition delay* dilakukan dengan melihat lama waktu jeda dari awal penginjeksian bahan bakar hingga bahan

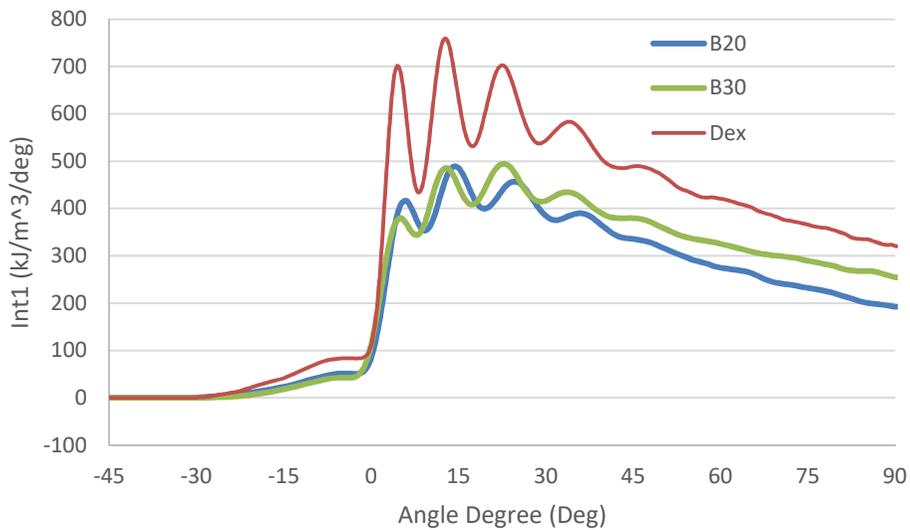
bakar mulai terbakar. Mesin YANMAR TF 85-MH memiliki waktu penginjeksian pada -18° sebelum TMA. Dari gambar diatas didapatkan bahwa bahan bakar B30 memperoleh waktu *ignition* tercepat yang terjadi pada titik -2° dan waktu *ignition delay* berjumlah 16 derajat. Disusul dengan B20 dengan *ignition* terjadi pada titik -1° dan lama *ignition delay* sebesar 17 derajat. Lalu letak *ignition* terjauh ditempati oleh pertamina dex pada titik -1° dengan dengan waktu *ignition delay* sebesar 17° .



Grafik *Ignition delay* pada RPM 2200, 25% Power

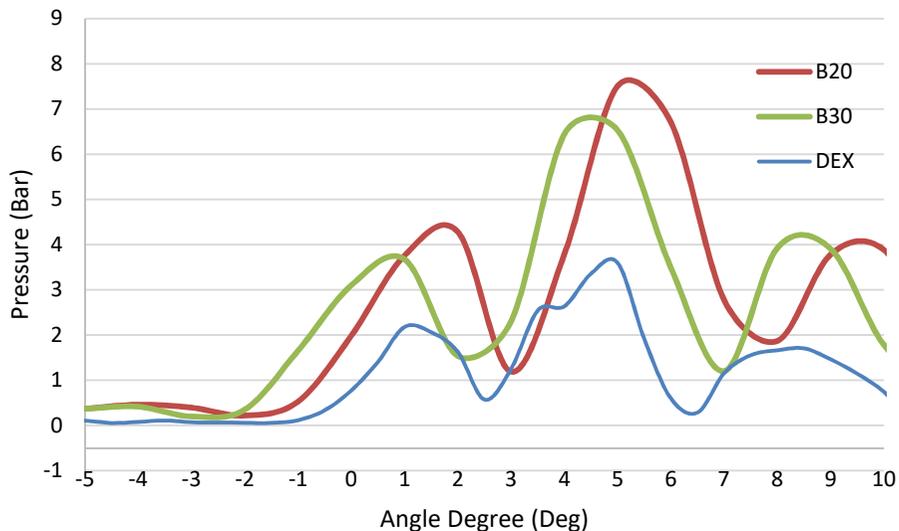
1.3. Analisa *heat release rate* pada RPM 2200, 25% Load

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu Grafik *heat release rate* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 25%. Analisa *heat release rate* dilakukan dengan melihat titik puncak energi panas yang dihasilkan pada proses pembakaran dan juga tingkat lama pendinginan dari penurunan jumlah energi panas yang dihasilkan. Dari gambar diketahui bahwa pertamina dex menempati posisi tertinggi dengan nilai energi sebesar $757 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 12.5° . Lalu disusul oleh B20 dengan nilai energi sebesar $490 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 13° . Dan posisi terendah ditempati oleh B30 dengan nilai energi sebesar 487 pada titik 14° . Untuk tingkat pendinginan, B20 memiliki waktu pendinginan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan B30 dan pertamina dex.



Grafik *Heat release rate* pada RPM 2200, 25% Power

1.4 Analisa *Knock Detection* pada RPM 2200 dan 25% Load



Grafik *Knocking Detection* pada RPM 2200, 25% Power

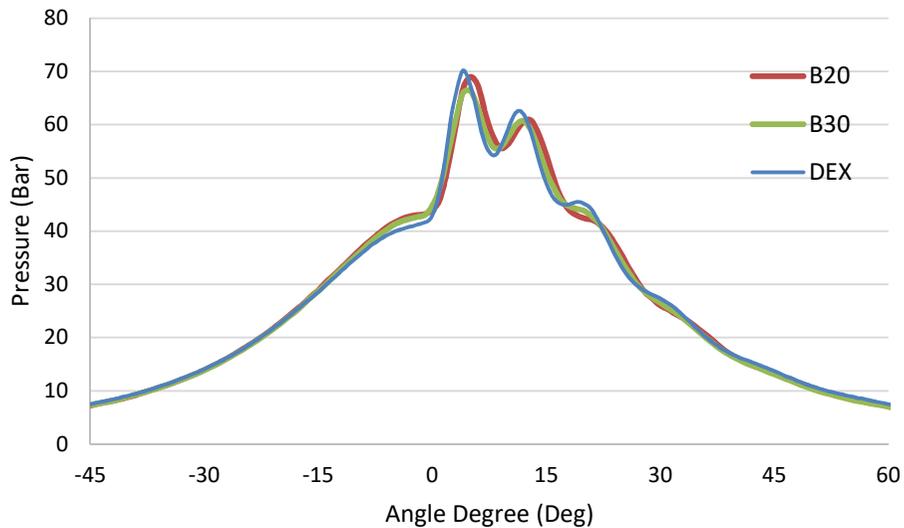
Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik *knocking detection* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 25%. Analisa *knocking detection* dilakukan dengan melihat peringkat tekanan puncak yang dihasilkan dari proses pembakaran. Dari gambar diketahui bahwa B20 menempati posisi tertinggi dengan nilai tekanan sebesar 7.5 bar pada titik 5⁰ sebelum TMA. Lalu disusul oleh

bahan bakar B30 dengan nilai tekanan sebesar 6.52 bar pada titik 5° sebelum TMA. Sementara itu posisi terendah ditempati oleh bahan bakar dex dengan nilai tekanan sebesar 3.59 bar pada titik 5° sebelum TMA.

2. Grafik Proses Pembakaran pada RPM 2200 dan load 50%

2.1 Analisa *Maximum pressure* pada RPM 2200 dan load 50%

Dari beberapa variable pembebanan dan variable bahan bakar, masing masing menghasilkan bentuk yang berbeda. Adapun pengaruh bahan bakar dapat dilihat dari grafik menunjukkan salah satu dari variable grafik yang didapatkan. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara biodiesel Biji Kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Dari karakteristik Mesin yanmar ini, waktu penginjeksian berada pada posisi 18° sebelum TMA. biodiesel biji kapuk B30 menempati nilai *maximum pressure* Terendah yaitu pada tekanan 66.3 bar yang diperoleh pada posisi 5° sebelum TMA, kemudian disusul oleh bahan bakar B20 dengan tekanan sebesar 68.9 bar yang diperoleh pada posisi 5° sebelum TMA, dan posisi tertinggi ditempati oleh pertamina dex dengan tekanan sebesar 70.16 bar pada posisi 4° .

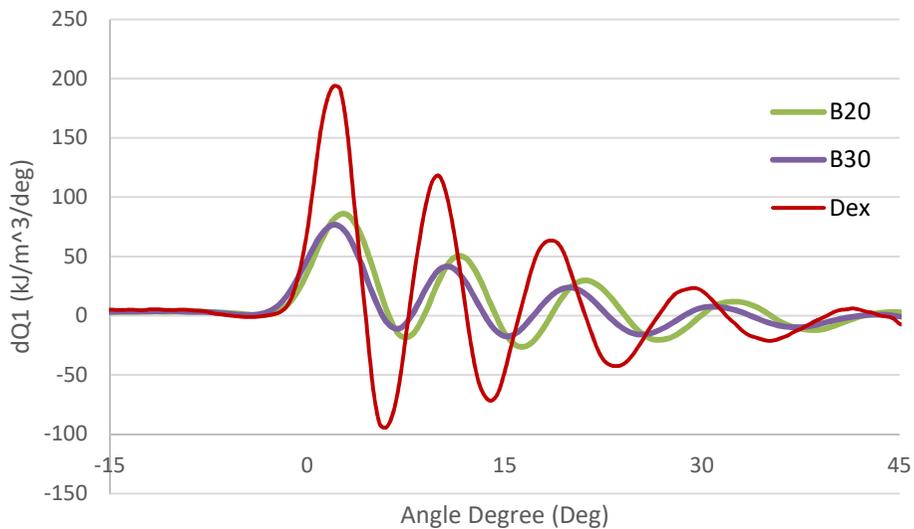


Grafik *maximum pressure* pada RPM 2200, 50% Power

2.2 Analisa *ignition delay* pada RPM 2200 dan load 50%

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik perbandingan *Ignition delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara biodiesel biji kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Analisa *ignition delay* dilakukan

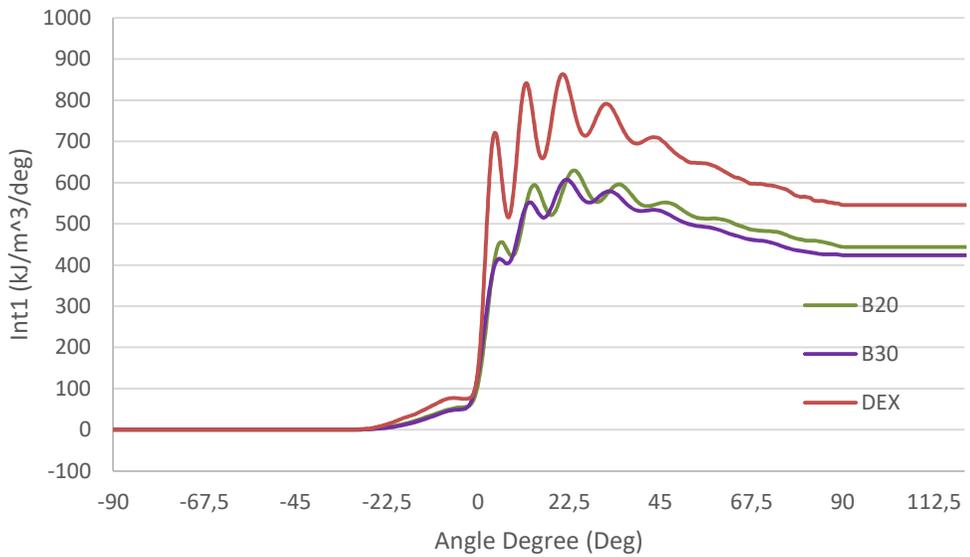
dengan melihat lama waktu jeda dari awal penginjeksian bahan bakar hingga bahan bakar mulai terbakar. Mesin YANMAR TF 85-MH memiliki waktu penginjeksian pada -18° sebelum TMA. Dari gambar diatas didapatkan bahwa bahan bakar B30 memperoleh waktu *ignition* tercepat yang terjadi pada titik -3° dan waktu *ignition delay* berjumlah 15 derajat. Disusul dengan B20 dengan *ignition* terjadi pada titik -2° dan lama *ignition delay* sebesar 16 derajat. Lalu letak *ignition* terjauh ditempati oleh pertamina dex pada titik -1° dengan dengan waktu *ignition delay* sebesar 17° .



Grafik *Ignition delay* pada RPM 2200, 50% Power

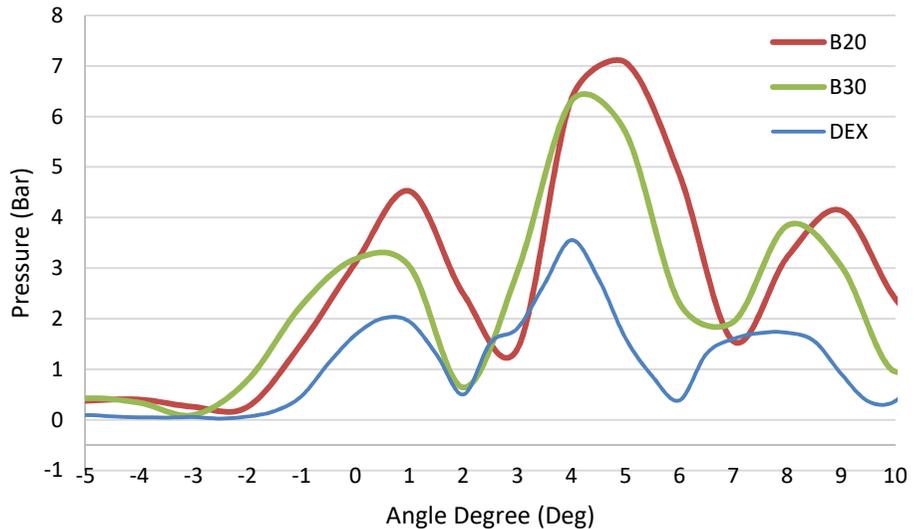
2.3 Analisa *heat release rate* pada RPM 2200 dan load 50%

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu Grafik *heat release rate* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 50%. Analisa *heat release rate* dilakukan dengan melihat titik puncak energi panas yang dihasilkan pada proses pembakaran dan juga tingkat lama pendinginan dari penurunan jumlah energi panas yang dihasilkan. Dari gambar diketahui bahwa pertamina dex menempati posisi tertinggi dengan nilai energi sebesar $863 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 21° . Lalu disusul oleh B20 dengan nilai energi sebesar $628 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 24° . Dan posisi terendah ditempati oleh B30 dengan nilai energi sebesar 607 pada titik 22° . Untuk tingkat pendinginan, B20 memiliki waktu pendinginan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan B30 dan pertamina dex.



Grafik *heat release rate* pada RPM 2200, 50% Power

2.4 Analisa *Knocking Detection* pada RPM 2200 dan load 50%



Grafik *Knock Detection* pada RPM 2200, 50% Power

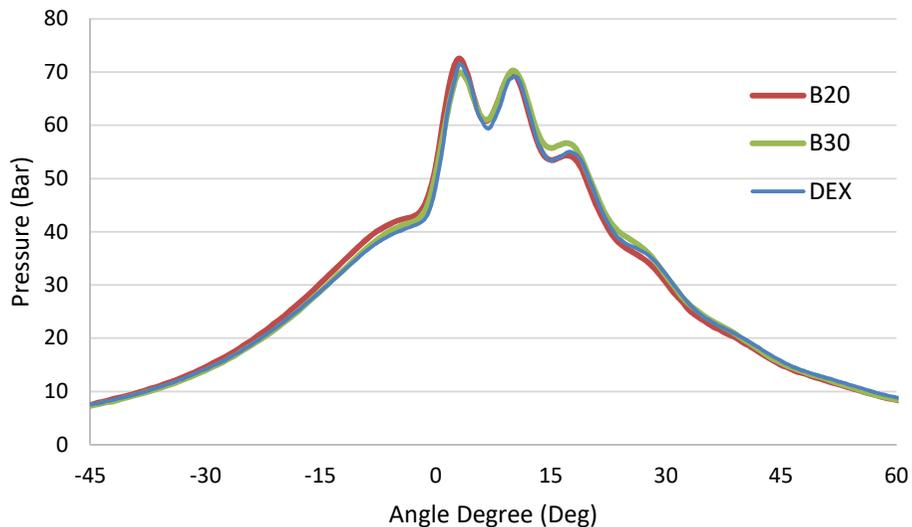
Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu Grafik *knocking detection* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 50%. Analisa *knocking detection* dilakukan dengan melihat peringkat tekanan puncak yang dihasilkan dari proses pembakaran. Dari gambar diketahui bahwa B20 menempati posisi tertinggi

dengan nilai tekanan sebesar 7.07 bar pada titik 5° sebelum TMA. Lalu disusul oleh bahan bakar B30 dengan nilai tekanan sebesar 6.3 bar pada titik 4° sebelum TMA. Sementara itu posisi terendah ditempati oleh bahan bakar dex dengan nilai tekanan sebesar 3.55 bar pada titik 4° sebelum TMA.

3. Grafik Proses Pembakaran pada RPM 2200 dan Load 75%

3.1 Analisa *maximum pressure* pada RPM 2200, Load 75%

Dari beberapa variable pembebanan dan variable bahan bakar, masing masing menghasilkan bentuk yang berbeda. Adapun pengaruh bahan bakar dapat dilihat dari grafik menunjukkan salah satu dari variable grafik yang didapatkan. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara biodiesel Biji Kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Dari karakteristik mesin yanmar ini, waktu penginjeksian berada pada posisi 18° sebelum TMA. biodiesel biji kapuk B30 menempati nilai *maximum pressure* terendah yaitu pada tekanan 69.7 bar yang diperoleh pada posisi 3° sebelum TMA, kemudian disusul oleh Bahan bakar pertamina dex dengan tekanan sebesar 71.33 bar yang diperoleh pada posisi 3° sebelum TMA, dan posisi tertinggi ditempati oleh B20 dengan tekanan sebesar 72.54 bar pada posisi 3° .

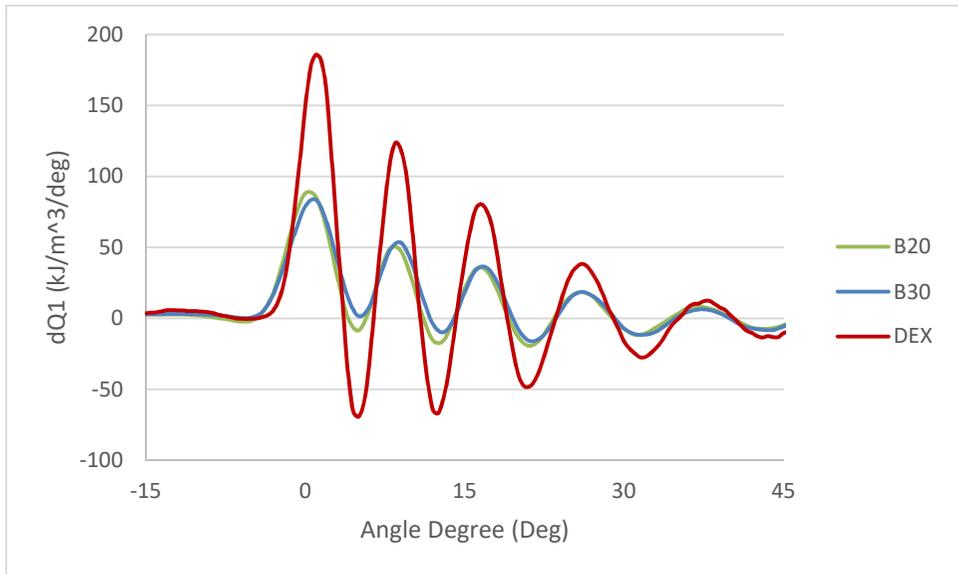


Grafik *Maximum pressure* pada RPM 2200, 75% Power

3.2 Analisa *ignition delay* pada RPM 2200, Load 75%

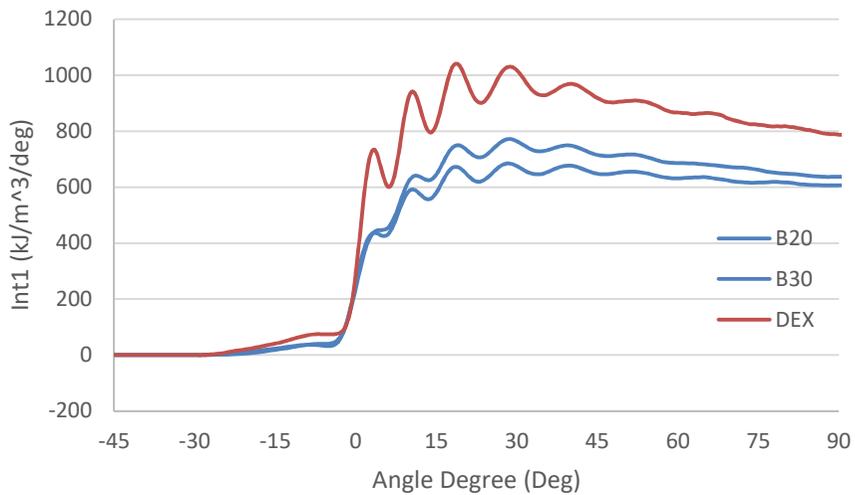
Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik perbandingan *ignition delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara biodiesel biji kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Analisa *ignition delay* dilakukan dengan melihat lama waktu jeda dari awal penginjeksian bahan bakar hingga bahan bakar mulai terbakar. Mesin YANMAR TF 85-MH memiliki waktu penginjeksian pada -18° sebelum TMA. Dari gambar diatas didapatkan bahwa bahan bakar B30

memperoleh waktu *ignition* tercepat yang terjadi pada titik -4° dan waktu *ignition delay* berjumlah 14 derajat. Disusul dengan B20 dengan *ignition* terjadi pada titik -4° dan lama *ignition delay* sebesar 14 derajat. Lalu letak *ignition* terjauh ditempati oleh pertamina dex pada titik -3° dengan dengan waktu *ignition delay* sebesar 15° .



Grafik *Ignition delay* pada RPM 2200, 75% Power

3.3 Analisa *Heat release rate* pada RPM 2200, Load 75%

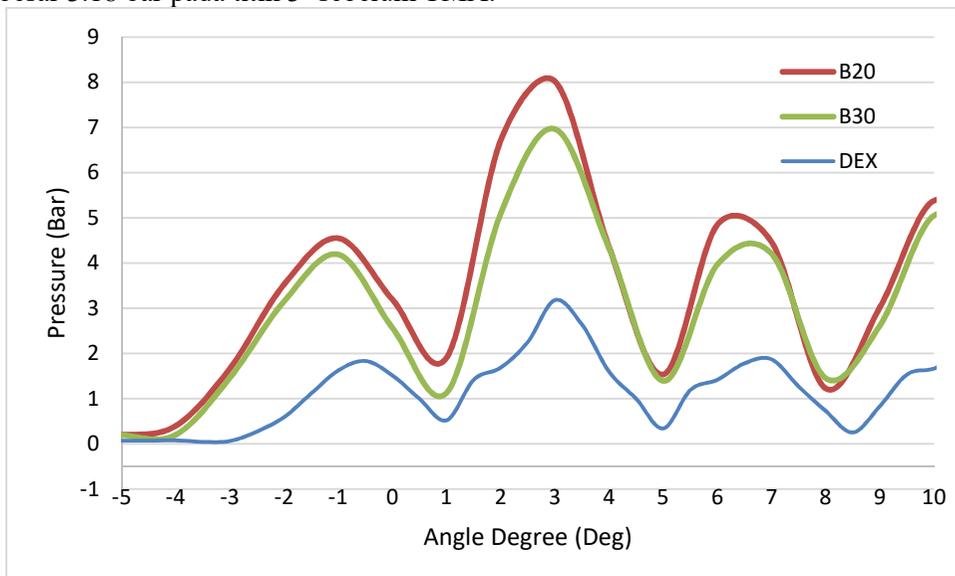


Grafik *heat release rate* pada RPM 2200, 75% Power

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik *heat release rate* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 75%. Analisa *heat release rate* dilakukan dengan melihat titik puncak energi panas yang dihasilkan pada proses pembakaran dan juga tingkat lama pendinginan dari penurunan jumlah energi panas yang dihasilkan. Dari gambar diketahui bahwa Pertamina Dex menempati posisi tertinggi dengan nilai energi sebesar $1040 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 19° . Lalu disusul oleh B30 dengan nilai energi sebesar $750 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 19° . Dan posisi terendah ditempati oleh B20 dengan nilai energi sebesar $671 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 19° . Untuk tingkat pendinginan, B30 memiliki waktu pendinginan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan B20 dan Pertamina Dex.

3.4 Analisa *Knock Detection* pada RPM 2200, Load 75%

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu Grafik *knocking detection* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 50%. Analisa *knocking detection* dilakukan dengan melihat peringkat tekanan puncak yang dihasilkan dari proses pembakaran. Dari gambar diketahui bahwa B20 menempati posisi tertinggi dengan nilai tekanan sebesar 8.01 bar pada titik 3° sebelum TMA. Lalu disusul oleh bahan bakar B30 dengan nilai tekanan sebesar 6.96 bar pada titik 3° sebelum TMA. Sementara itu posisi terendah ditempati oleh bahan bakar dex dengan nilai tekanan sebesar 3.18 bar pada titik 3° sebelum TMA.



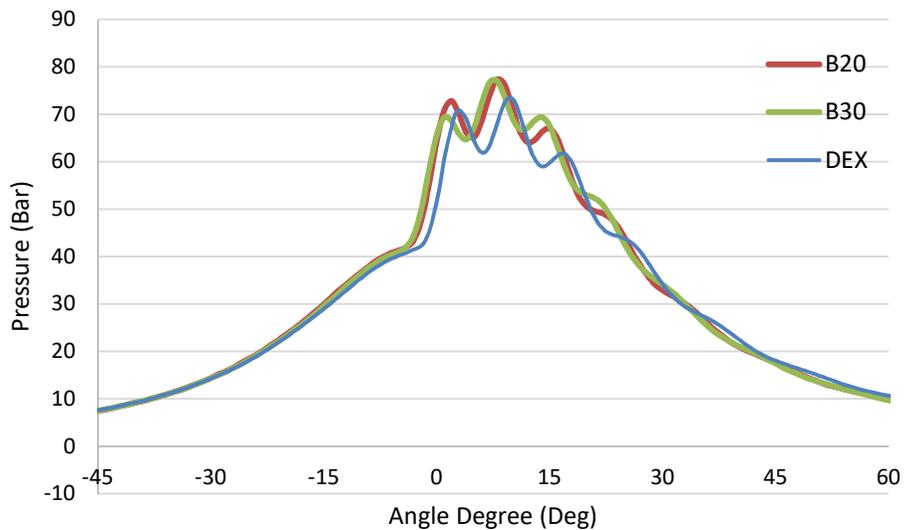
Grafik *Knocking Detection* pada RPM 2200, 75% Power

4. Grafik Proses Pembakaran pada RPM 2200 dan Load 100%

4.1 Analisa *maximum pressure* pada RPM 2200, Load 100%

Dari beberapa variable pembebanan dan variable bahan bakar, masing masing menghasilkan bentuk yang berbeda. Adapun pengaruh bahan bakar dapat dilihat dari

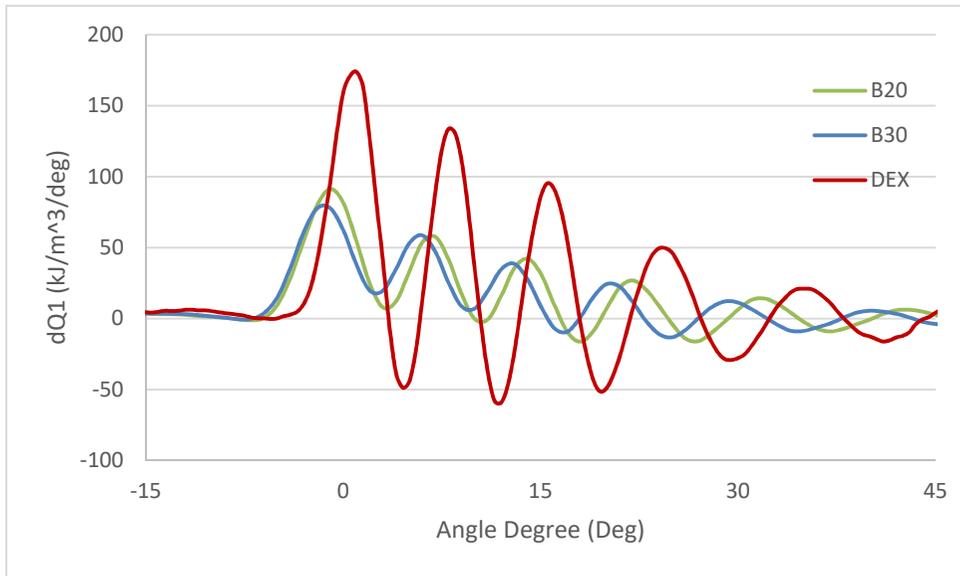
Gambar 9.1. Grafik pada Gambar 9.1 dan 9.2 menunjukkan salah satu dari variable grafik yang didapatkan. Grafik ini menyajikan hasil proses pembakaran antara biodiesel biji kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Dari karakteristik Mesin yanmar ini, waktu penginjeksian berada pada posisi 18° sebelum TMA. Pertamina dex menempati nilai *maximum pressure* terendah yaitu pada tekanan 73.3 bar yang diperoleh pada posisi 10° setelah TMA, kemudian disusul oleh bahan bakar B30 dengan tekanan sebesar 77.05 bar yang diperoleh pada posisi 8° sebelum TMA, dan posisi tertinggi ditempati oleh B20 dengan tekanan sebesar 77.28 bar pada posisi 8° .



Grafik *Maximum pressure* pada RPM 2200, 100% Power

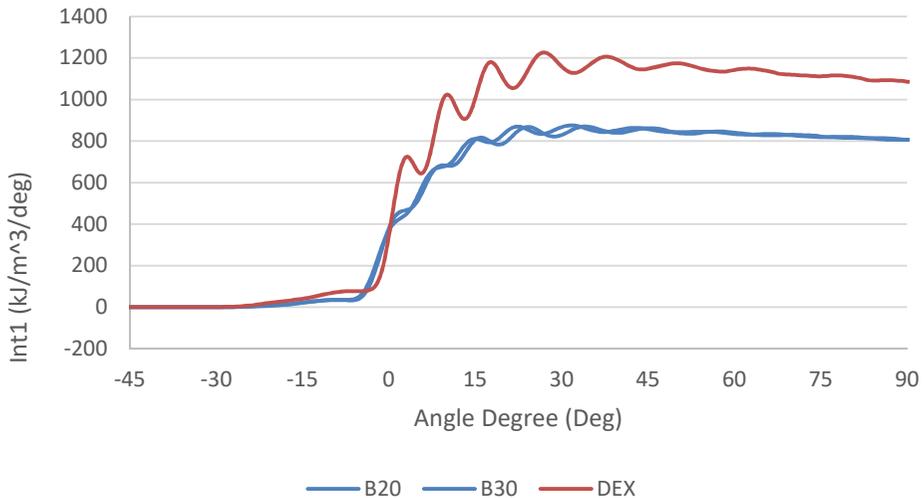
4.2 Analisa *Ignition delay* pada RPM 2200, Load 100%

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik perbandingan *ignition delay*. Grafik ini menyajikan proses pembakaran antara Biodiesel Biji Kapuk B20, B30 dan pertamina dex. Analisa *ignition delay* dilakukan dengan melihat lama waktu jeda dari awal penginjeksian bahan bakar hingga bahan bakar mulai terbakar. Mesin YANMAR TF 85-MH memiliki waktu penginjeksian pada -18° sebelum TMA. Dari gambar diatas didapatkan bahwa bahan bakar B30 memperoleh waktu *ignition* tercepat yang terjadi pada titik -6° dan waktu *ignition delay* berjumlah 12 derajat. Disusul dengan B20 dengan *ignition* terjadi pada titik -5° dan lama *ignition delay* sebesar 13 derajat. Lalu letak *ignition* terjauh ditempati oleh pertamina dex pada titik -3° dengan dengan waktu *ignition delay* sebesar 15° .



Grafik *ignition delay* pada RPM 2200, 100% Power

4.3 Analisa *heat release rate* pada RPM 2200, Load 100%

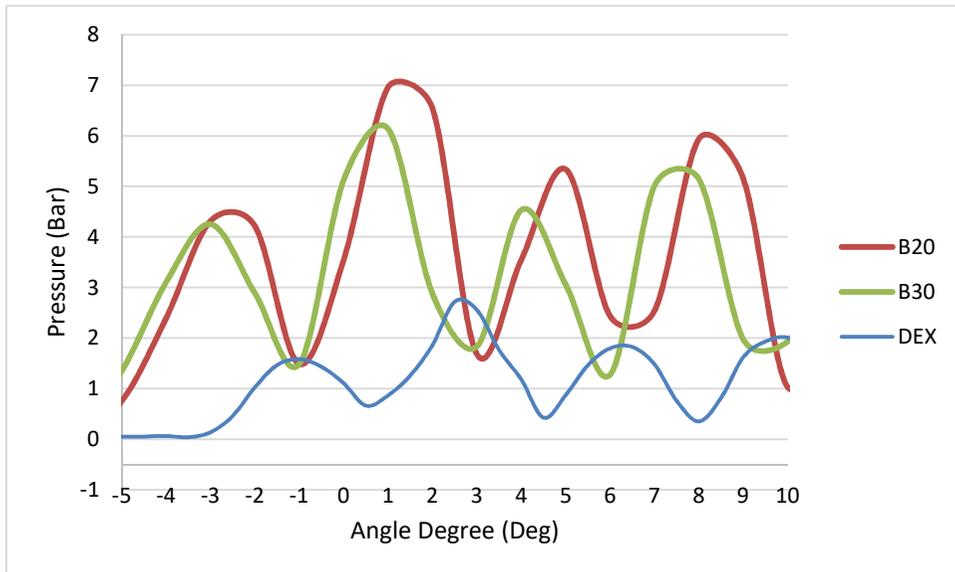


Grafik *heat release rate* pada RPM 2200, 100% Power

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu grafik *heat release rate* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 100%. Analisa *heat release rate* dilakukan dengan melihat titik puncak energi panas yang dihasilkan pada proses pembakaran dan juga tingkat lama pendinginan dari penurunan jumlah energi panas yang dihasilkan. Dari gambar diketahui bahwa Pertamina dex menempati

posisi tertinggi dengan nilai energi sebesar $1226 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 27° . Lalu disusul oleh B30 dengan nilai energi sebesar $875 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 32° . Dan posisi terendah ditempati oleh B20 dengan nilai energi sebesar $870 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada titik 34° . Untuk tingkat pendinginan, B30 memiliki waktu pendinginan yang lebih cepat jika dibandingkan dengan B20 dan pertamina dex.

4.4 Analisa *Knock Detection* pada RPM 2200, Load 100%



Grafik *Knocking Detection* pada RPM 2200, 100% Power

Grafik menunjukkan salah satu dari beberapa variable grafik yang didapatkan yaitu Grafik *knocking detection* pada RPM 2200 dan pembebanan pada power 100%. Analisa *knocking detection* dilakukan dengan melihat peringkat tekanan puncak yang dihasilkan dari proses pembakaran. Dari gambar diketahui bahwa B20 menempati posisi tertinggi dengan nilai tekanan sebesar 6.96 bar pada titik 1° setelah TMA. Lalu disusul oleh bahan bakar B30 dengan nilai tekanan sebesar 6.13 bar pada titik 1° setelah TMA. Sementara itu posisi terendah ditempati oleh bahan bakar dex dengan nilai tekanan sebesar 2 bar pada titik 10° setelah TMA.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



Penulis, Gage Cendekiaji Hadi lahir di Jakarta pada 6 oktober 1997. Anak tunggal dari pasangan ibu Sri Poedji Hastoety Djaiman dan bapak Sihadi ini bertempat tinggal di Kota Bogor Jawa Barat. Setelah lulus dari SMAN 9 Bogor pada tahun 2013, penulis melanjutkan studinya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan konsentrasi Teknik Sistem Perkapalan.

Di tahun keempat, penulis mengambil salah satu bidang studi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan yaitu Marine Power Plant (MPP). Selama masa perkuliahan, penulis aktif mengikuti serangkaian studi dan juga aktif dalam berorganisasi. Penulis sempat mengikuti kepanitiaan dalam beberapa *Event* yang diadakan oleh departemen serta menjadi Ketua DPA (Dewan Perwakilan Angkatan) Teknik Sistem Perkapalan ITS 2015/2016. Selain aktif dalam organisasi di lingkup ITS, penulis juga aktif dalam organisasi diluar kampus seperti organisasi World Merit Indonesia Chapter Surabaya dan forum daerah IMAJAS (Ikatan Mahasiswa Jakarta dan Sekitarnya) serta forum daerah SAFARY (Surabaya Family of Rain City).

Selama penulisan Tugas Akhir ini, penulis tak luput dari kekurangan. Untuk kritik, saran dan pertanyaan mengenai Tugas Akhir ini dapat dikirimkan melalui *e-mail* gagecendekiaji@gmail.com.