



SKRIPSI - 141501

Analisa *Combustion Process* dan Emisi NOx dari Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) Berbasis Eksperimen

**Hanifan Ardi Wibawa
0421 1440 000017**

**Dosen Pembimbing 1 :
Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.**

**Dosen Pembimbing 2 :
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



THESIS - 141501

Analysis of Combustion Process and NO_x Emissions of Diesel Engine with Biodiesel Fuel of Nyamplung Seed (*Calophyllum Inophyllum L.*) Based Experiment

**Hanifan Ardi Wibawa
0421 1440 000017**

**Academic Supervisor 1 :
Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.**

**Academic Supervisor 2 :
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D**

**DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa *Combustion Process* dan Emisi NO_x dari Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) Berbasis Eksperimen

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:

Hanifan Ardi Wibawa

NRP. 0421 1440 000 017

Disetujui oleh Dosen Pemimbing Skripsi

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

NIP. 1979 0319 2008 01 1008

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

NIP. 1956 0519 1986 10 1001



Surabaya
Juli, 2018

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

Analisa *Combustion Process* dan Emisi NOx dari Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) Berbasis Eksperimen

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:

Hanifan Ardi Wibawa
NRP. 0421 1440 000 017

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan



“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Analisa *Combustion Process* dan Emisi NO_x dari Mesin Diesel dengan Bahan Bakar Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) Berbasis Eksperimen

Nama Mahasiswa : Hanifan Ardi Wibawa
NRP : 0421 1440 000 017
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Beny Cahyono, S.T. M.T. P.hD
Ir. Agung Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

Ketersediaan bahan bakar fosil menjadi permasalahan utama yang ada di Indonesia. Hal ini mendorong untuk melakukan pengembangan energi alternatif yang dapat menggantikan penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan biodiesel dengan bahan dasar minyak nabati dan lemak hewani diupayakan semaksimal mungkin untuk menjaga keberlanjutannya. Minyak biji nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) merupakan salah satu alternatif yang bisa dijadikan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Ada beberapa manfaat menggunakan minyak biji nyamplung sebagai bahan bakar pengganti yaitu: ketersediaannya yang terjamin, menghasilkan polutan yang rendah, dapat digunakan untuk mesin diesel dengan sedikit atau tanpa modifikasi. Penelitian ini dilakukan melalui uji pembakaran dan uji emisi NO_x dengan mesin diesel YANMAR TF85-MH menggunakan bahan bakar biodiesel minyak biji nyamplung dengan campuran B20. Dari hasil uji Pembakaran, ditunjukkan bahwa penggunaan minyak biji nyamplung memberikan *maximum pressure* lebih rendah, *ignition delay* yang terjadi lebih pendek, nilai *heat release* yang lebih tinggi dan potensi *knocking* yang lebih rendah daripada penggunaan bahan bakar fosil pada mesin yang sama. Selain itu, emisi NO_x biodiesel biji nyamplung memiliki nilai keluaran NO_x yang lebih rendah daripada bahan bakar diesel fosil. Penambahan persentase biodiesel minyak biji nyamplung kedalam bahan bakar fosil menghasilkan emisi NO_x yang lebih rendah dan memberikan potensi *knocking* yang lebih rendah.

Keywords : Biodiesel, Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*), *Combustion Process*, Emisi, NO_x, *Diesel Engine*, *Renewable Fuel*

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

Analysis of Combustion Process and NOx Emissions of Diesel Engine with Biodiesel Fuel of Nyamplung Seed (*Calophyllum Inophyllum L.*) Based Experiment

Student Name : Hanifan Ardi Wibawa
NRP : 0421 1440 000 017
Departement : Teknik Sistem Perkapalan
Academic Supervisor : Beny Cahyono, S.T. M.T. P.hD
Ir. Agung Zuhdi M. Fathallah, M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

The availability of fossil fuels is the main problem in Indonesia.. This encourages to develop alternative energy that can replace the use of fossil root materials. The use of biodiesel using vegetable oils and animal fats is strived to the greatest extent possible to maintain its continuation. Seed oil nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) is one alternative that can be used as a substitute for fossil fuels. There are several benefits of using nyamplung seed oil as a substitute fuel: the availability of which is assured, produces low pollutants, can be used for diesel engines with little or no modification. This research was conducted through burning test and NOx emission test with YANMAR TF85 MH diesel engine using biodiesel fuel of nyamplung seed with mixed of B20. From Combustion test results, it is shown that the use of nyamplung seed oil gives lower maximum pressure, shorter ignition delay, higher heat release value and lower knocking potential than fossil fuel use on the same machine. In addition, NOx emissions of nyamplung seed biodiesel have a lower NOx output value than fossil diesel fuel. The addition of biodiesel percentage of nyamplung seed oil into lower NOx fuel emissions and provides a lower knocing potential.

Keywords : Biodiesel, Nyamplung Seed (*Calophyllum Inophyllum L.*), *Combustion Process*, Emission, NOx, *Diesel Engine*, *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 Combustion Process dan Emisi NOx Mesin Diesel dari Bahan Bakar Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L.*) Berbasis Eksperimen**” 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. Resmiyati, S.Pd. selaku ibu dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan dukungan moral maupun material kepada penulis.
2. Bapak Beny Cahyono, S.T. M.T. Ph.D dan Ir. Agung Zuhdi M.F., M.Eng, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, semangat, ilmu serta gemblengan kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Agoes Santoso, M.Sc., M.Phil.. selaku dosen wali yang telah memberikan semangat, serta bersedia untuk mendengarkan keluh kesah penulis dalam menjalani penelitian tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, ST. MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
5. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium Marine Power Plant yang telah membantu penulis dalam menjalani proses eksperimen penelitian tugas akhir ini.
6. Ella Primantari Purbaningsih dan Fathya Riskyana Kharismawati selaku kakak dan adik dari penulis yang selalu memberikan doa, kasih sayang dan dukungan kepada penulis.
7. Saudara Gusma Hamdana Putra S.T. selaku kakak tingkat yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi perihal berjalannya analisa penelitian tugas akhir ini.
8. Asrija Wafiq dan Dedy Ardiansyah selaku rekan satu tim Biodiesel Biji Nyamplung yang telah membantu untuk menyelesaikan pembuatan biodiesel.
9. Linggar, Afif, Dwiky, Koko, AA, Azzam, Azka, Vianto, Rheza, Reggi, Ipuks, Rayzeeladita dan Anggota Laboratorium Marine Power Plant FTK-ITS lainnya yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Teman-teman seperjuangan MERCUSUAR'14 yang selalu mendukung dan menjadi semangat penulis dalam menyelesaikan penelitian tugas akhir ini.
11. Ardany, Ribhi, Alam, Horas, Arif, Sabil dan teman-teman JAMBRET lainnya yang telah membantu dan memberikan *support* kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
12. Bagong, Raka, Thoni, Handi, Azzam, Mia, Ida, Widya, Rizal dan teman-teman Kontrakan KSB dan teman-teman KMKS lainnya yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk bertukar pikiran dan menjadi teman kopi disaat penulis merasa *Down*.
13. Romdhony, Alvina, Tiara, Anggi, Faiz, Fajar dan Teman-teman DA 19 serta BIONIC yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk berdiskusi dan memberikan dukungan moral kepada penulis.

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 2018

Hanifan Ardi Wibawa

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxiii
DAFTAR TABEL.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Overview.....	5
2.2. Biodiesel.....	6
2.3. Proses Pembakaran.....	8
2.4. Emisi NO _x	10
BAB III METODE PENELITIAN.....	13
3.3. Persiapan Alat dan Bahan.....	14
3.5. Pengumpulan Data.....	16
3.6. Analisa Data.....	16
BAB IV.....	17
HASIL dan PEMBAHASAN.....	17
4.1. <i>Properties</i> Biodiesel Biji Nyamplung.....	17
4.1.1. Viskositas.....	17
4.1.2. Flash Point.....	18
4.1.3. Pour Point.....	18
4.1.4. Lower Heating Value.....	18
4.1.5. Densitas.....	19
4.2. Analisis Proses Pembakaran.....	19
4.2.1. Analisa <i>Max. Pressure</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 25%.....	19

4.2.2.	Analisa <i>Max. Pressure</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 50%.....	20
4.2.3.	Analisa <i>Max. Pressure</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 75%.....	22
4.2.4.	Analisa <i>Max. Pressure</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 100%.....	23
4.2.5.	Analisa <i>Heat Release</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 25%.....	24
4.2.6.	Analisa <i>Heat Release</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 50%.....	25
4.2.7.	Analisa <i>Heat Release</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 75%.....	27
4.2.8.	Analisa <i>Heat Release</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 100%.....	29
4.2.9.	Analisa <i>Knock Detection</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 100%.....	31
4.2.10.	Analisa <i>Knock Detection</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Variasi Beban.....	32
4.2.11.	Analisa <i>Ignition Delay</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200.....	33
4.3.	Analisa Emisi NOx.....	35
BAB V.....		39
KESIMPULAN dan SARAN.....		39
5.1.	Kesimpulan.....	39
5.2.	Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA.....		41
LAMPIRAN 1.....		43
1.	Proses Pembuatan Biodiesel.....	43
1.1.	Proses Pengepresan Biji Nyamplung.....	43
1.2.	Proses Pemisahan Gum atau Getah (<i>Degumming</i>).....	44
1.3.	Proses Esterifikasi.....	45
1.4.	Proses Trans-esterifikasi.....	45
1.5.	Hasil Pengujian <i>Properties</i> Biodiesel Minyak Biji Nyamplung.....	47
LAMPIRAN 2.....		49
2.	Analisa Proses Pembakaran.....	49
2.1.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1800 Beban 25% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i>	49

2.2.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1800 Beban 50% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	50
2.3.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1800 Beban 75% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	50
2.4.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	51
2.5.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1900 Beban 25% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	52
2.6.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1900 Beban 50% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	53
2.7.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1900 Beban 75% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	54
2.8.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	55
2.9.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 2000 Beban 25% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	56
2.10.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 2000 Beban 50% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	57
2.11.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 2000 Beban 75% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	58
2.12.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	59
2.13.	Analisa <i>Max. Pressure</i> pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	60
2.14.	Analisa <i>Heat Release</i> pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	61
2.15.	Analisa <i>Heat Release</i> pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	63
2.16.	Analisa <i>Heat Release</i> pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	64
2.17.	Analisa <i>Heat Release</i> pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	66
2.18.	Analisa <i>Knock Detection</i> pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	67
2.19.	Analisa <i>Knock Detection</i> pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	68
2.20.	Analisa <i>Knock Detection</i> pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i> .	69

2.21. Analisa <i>Knock Detection</i> pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i>	70
2.22. Analisa <i>Knock Detection</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar High Speed Diesel (<i>High Speed Diesel</i>) dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 25%.	71
2.23. Analisa <i>Knock Detection</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar High Speed Diesel (<i>High Speed Diesel</i>) dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 50%.	72
2.24. Analisa <i>Knock Detection</i> Terhadap Jenis Bahan Bakar <i>High Speed Diesel</i> dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 75%.....	73
2.25. Analisa <i>Ignition Delay</i> pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i>	74
2.26. Analisa <i>Ignition Delay</i> pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i>	75
2.27. Analisa <i>Ignition Delay</i> pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i>	76
2.28. Analisa <i>Ignition Delay</i> pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan <i>High Speed Diesel</i>	77
LAMPIRAN 3	79
3. Emisi NOx.....	79
3.1. Hasil Pengujian Emisi NOx Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung	79
3.2. Hasil Pengujian Emisi NOx Bahan Bakar High Speed Diesel.....	80
BIODATA PENULIS.....	81

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	20
Grafik 4.2. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2200 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	21
Grafik 4.3. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2200 Beban 75% Dari Jenis Bahan bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	22
Grafik 4.4. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	23
Grafik 4.5. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	24
Grafik 4.6. Analisa <i>Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	25
Grafik 4.7. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	26
Grafik 4.8. Analisa <i>Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	27
Grafik 4.9. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	28
Grafik 4.10. Analisa <i>Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	29
Grafik 4.11. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	30
Grafik 4.12. Analisa <i>Heat Release</i> Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	31
Grafik 4.13. Analisa <i>Knock detection</i> Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	32
Grafik 4.14. Analisa <i>Knock detection</i> Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i> Pada RPM 2200 dengan Variasi Beban.....	33
Grafik 4.15. Analisa <i>Ignition Delay</i> Pada RPM 2200 Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	34
Grafik 4.16. Analisa <i>Ignition Delay</i> Pada Beban 100% dengan Variasi Putaran Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	35
Garfik. 4.17. Analisa Perbandingan Emisi NOx dari Bahan Bakar B20 biji nyamplung dengan <i>High Speed Diesel</i>	36
Grafik 2.1. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1800 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	49
Grafik 2.2. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1800 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	50

Grafik 2.3. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1800 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	51
Grafik 2.4. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1800 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	52
Grafik 2.5. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1900 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	53
Grafik 2.6. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1900 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	54
Grafik 2.7. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1900 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	55
Grafik 2.8. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 1900 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	56
Grafik 2.9. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2000 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	57
Grafik 2.10. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2000 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	58
Grafik 2.11. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2000 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	59
Grafik 2.12. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2000 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	60
Grafik 2.13. Analisa <i>Max. Pressure</i> Pada RPM 2000 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	61
Grafik 2.15. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	62
Grafik 2.16. <i>Heat Release</i> Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	63
Grafik 2.17. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	64
Grafik 2.18. <i>Heat Release</i> Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	65
Grafik 2.19. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	65
Grafik 2.20. <i>Heat Release</i> Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	66
Grafik 2.21. Analisa <i>Rate of Heat Release</i> Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	67
Grafik 2.17. Analisa <i>Knock Detection</i> Pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	68
Grafik 2.18. Analisa <i>Knock Detection</i> Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	69

Grafik 2.19. Analisa <i>Knock Detection</i> Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	70
Grafik 2.20. Analisa <i>Knock Detection</i> Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	71
Grafik 4.21. Analisa <i>Knock detection</i> Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	72
Grafik 4.22. Analisa <i>Knock detection</i> Pada RPM 2200 Beban 2 Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	73
Grafik 4.23. Analisa <i>Knock detection</i> Pada RPM 2200 Beban 3 Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	74
Grafik 4.24. Analisa <i>Ignition Delay</i> Pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	75
Grafik 4.25. Analisa <i>Ignition Delay</i> Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	76
Grafik 2.26. Analisa <i>Ignition Delay</i> Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	77
Grafik 2.27. Analisa <i>Ignition Delay</i> Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan <i>High Speed Diesel</i>	78

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Biodiesel hasil teresterifikasi minyak biji nyamplung</i>	6
Gambar 2.2. Buah Nyamplung.....	7
Gambar 2.3. Maksimum Pressure (bar).....	9
Gambar 2.4. <i>Heat Release</i>	9
Gambar 2.5. Diagram Regulasi IMO	11
Gambar 2.6. Opasitas Gas Buang Pada Berbagai Putaran	11
Gambar 2.7. Opasitas Terhadap Putaran Mesin	12
Gambar 3.1. Metodologi Penelitian	13
Gambar 3.2. Engine Set Up.....	15
Gambar 1.1. Hasil Degumming.....	44
<i>Gambar 1.2. Hasil Esterifikasi</i>	45
Gambar 1.3. Hasil Pengujian Properties Biodiesel Minyak Biji Nyamplung	47
Gambar 1.5. Hasil Pengujian Emisi NOx HSD.....	80

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2 1. Properties Biodiesel sesuai SNI	5
Tabel 3 2. Test Cycle Type E2	16
Tabel 3 3 Standar Emisi NOx.....	16
Tabel 4 1. Properties Biodiesel Seed Nyamplung.	17
Tabel 4 2. Hasil Pengujian Emisi NOx (ppm).....	36

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil minyak bumi di dunia. Namun sampai saat ini masih mengimpor bahan bakar minyak untuk mencukupi kebutuhan baik untuk sektor transportasi maupun energi. Persediaan bahan bakar fosil di Indonesia akan habis dalam waktu 23 tahun kedepan jika dieksploitasi terus menerus tanpa ada penggantian.

Energi merupakan roda penggerak utama roda perekonomian nasional. Konsumsi energi terus meningkat mengikuti permintaan berbagai sektor pembangunan khususnya industri dan transportasi. Kebutuhan terhadap sumber energi khususnya bahan bakar selalu tinggi, sedangkan ketersediaan sumber energi dalam hal ini bahan bakar fosil semakin berkurang keberadaannya. Dan beberapa tahun ke depan kebutuhan minyak bumi semakin besar, “sementara berdasarkan beberapa laporan disebutkan bahwa cadangan minyak dunia semakin menipis diperkirakan 22 tahun kedepan”, *head land new metro-tv*. Hal ini menuntut beberapa upaya untuk diciptakan bahan bakar alternatif, mengingat minyak bumi merupakan bahan galian yang sifatnya tidak dapat tumbuh kembali. ”Kebutuhan masyarakat akan minyak bumi menempati proporsi terbesar sebagai sumber energi penduduk, yakni mencapai 54,4 persen, disusul gas bumi 26,5 persen” (*Suntaro, 2011:01*).

Sudah saatnya untuk mengembangkan berbagai energi alternatif yang dapat diperbaharui. Oleh karenanya dibutuhkan upaya terpadu dalam mencari dan mengembangkan bahan baku minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif yang tidak berfungsi sebagai bahan baku konsumsi industri dan makanan. Kebutuhan energi dari bahan bakar minyak bumi (BBM) di berbagai negara di dunia dalam tahun terakhir ini mengalami peningkatan tajam. Tidak hanya pada negara-negara maju, tetapi juga di negara berkembang seperti Indonesia.

Biodiesel adalah suatu *ester* monokotil dari asal lemak rantai panjang yang berasal dari sumber yang dapat diperbarui. Seperti minyak tumbuhan dan lemak hewan, yang dapat digunakan di mesin diesel. Kandungan utama biodiesel adalah minyak nabati atau lemak hewani melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan methanol. Biodiesel memiliki karakteristik yang sama dengan bahan bakar diesel konvensional. Sehingga biodiesel dapat dijadikan bahan bakar *alternative* untuk mesin diesel konvensional (*Nathasya, 2008*).

Sebagai bahan bakar alternatif biodiesel memiliki beberapa keunggulan diantaranya: biodiesel yaitu salah satu bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan karena biodiesel

dapat mengurangi emisi gas buang karbon monoksida dan gas karbon dioksida dan bebas kandungan sulfur dibandingkan dengan bahan petroleum diesel lainnya.

Salah satu alternatif yang bisa dilakukan adalah pemanfaatan minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) sebagai bahan bakar untuk mesin diesel. Telah banyak dilakukan penelitian tentang penggunaan minyak biji nyamplung. Banyak penelitian yang sudah dilakukan tentang pembuatan biodiesel minyak biji nyamplung dan diperoleh bahwa biodiesel ini memiliki sifat yang cukup baik apabila digunakan sebagai bahan bakar alternatif seperti halnya nilai kalor, viskositas dan bilangan setana yang mendekati sifat bahan bakar High Speed Diesel

Terjadinya proses pembakaran di dalam motor diesel dipengaruhi oleh beberapa hal. Hal tersebut terdiri dari tiga komponen yaitu bahan bakar (*fuel*), udara (*air*) serta energi panas (*heat*). Dikatakannya bahan bakar itu 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. Hasil pembakaran menghasilkan emisi gas buang yang tinggi, salah satunya adalah emisi NOx yang berbahaya.

Penelitian ini akan membahas tentang analisis proses pembakaran (*Combustion Process*) dan emisi NOx dari salah satu bahan bakar alternatif yaitu biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). Dari hasil analisis tersebut dapat diketahui karakteristik serta kandungan *properties* dari biodiesel tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana *properties* biodiesel dari Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) ?
2. Bagaimana hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) ?
3. Bagaimana hasil emisi NOx biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) ?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih focus, yaitu :

1. Ruang lingkup dari analisis proses pembakaran (*Combustion Process*) terdiri atas proses penginjeksian (*Ignition Delay*), tekanan maksimum (*Maximum Pressure*), perubahan energi panas (*Heat Release*) dan knocking (*Knocking*) dan emisi NOx.
2. Variabel bahan bakar yang digunakan meliputi biodiesel dari minyak biji nyamplung B20%.

3. Analisis proses pembakaran menggunakan alat sensor TMR-Instrument serta *SYSMONSoft v2.0.3* sebagai data akuisisi, proses dan analisis.
4. Analisis proses pembakaran dilakukan pada motor diesel Yanmar TF85-MH yang berada di Laboratorium Marine Power Plant FTK ITS.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui *properties* biodiesel dari Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) ?
2. Mengetahui hasil proses pembakaran (*Combustion Process*) biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) ?
3. Mengetahui hasil emisi NO_x biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) ?

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Menambah pengetahuan tentang sumber bahan bakar nabati sebagai pembuatan biodiesel dan cara membuat biodiesel
2. Mengetahui *Properties* dan hasil dari proses pembakaran (*Combustion Process*) dan emisi NO_x biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) saat digunakan sebagai bahan bakar pada motor diesel.
3. Mengetahui bagaimana penanganan biodiesel terhadap penggunaan sebagai bahan bakar di motor diesel pada umumnya.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Overview

Seiring dengan perkembangan industri dunia, peningkatan kebutuhan terhadap bahan bakar merupakan hal yang tidak dapat dihindari. Selama ini, bahan bakar fosil telah menjadi bahan bakar yang umum dipakai dan tidak asing lagi dengan kehidupan kita. Ketersediaan bahan bakar tersebut untuk masa depan semakin menipis. Bahan bakar fosil pun tidak dapat diperbarui, sedangkan kebutuhan dunia akan bahan bakar semakin meningkat. Indonesia mendekati krisis bahan bakar minyak, Hal ini dibuktikan dengan besarnya konsumsi bahan bakar minyak. Konsumsi bakar minyak dalam negeri mencapai 1,3 juta barrel per hari. Sementara produksi bahan bakar minyak dalam negeri baru menyentuh angka 950.000 barrel setiap harinya. Dengan laju peningkatan sebesar 6-9% tiap tahunnya, diperkirakan Indonesia akan mengalami kelangkaan bahan bakar minyak fosil (Budi, 2016).

Pemerintah mengeluarkan peraturan melalui perpes nomor 5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional. Pemerintah berupaya untuk mengembangkan sumber energi alternatif pengganti bahan bakar minyak fosil. Pengembangan bioenergi dari sumber bahan nabati merupakan langkah yang sangat strategis untuk mengatasi masalah tersebut. Selain itu untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak. Salah satu cara dengan pemanfaatan minyak dari tumbuhan untuk diolah menjadi bahan bakar nabati seperti biodiesel. (Pranowo, dkk, 2014).

Adapun *properties* biodiesel sesuai Standar Negara Indonesia (SNI) ada pada Tabel 1. Dibawah ini:

Tabel 2 1. Properties Biodiesel sesuai SNI

No	Parameter & Satuannya	Batas Nilai
1.	Densitas pada 15°C, Kg/m ³	850–890
2.	Viskositas kinematik pada 40°C (cSt)	2,3-6,0
3.	Angka Setana	Min. 51
4.	Titik nyala (flash point) pada 0°	Min.100
5.	Titik kabut (Cloud Point)	Max. 18
6.	Titik Tuang (Pour Point)	Max. 18
7.	Korosi bilah tembaga (3 jam, 500°C)	Max.3
8.	Residu karbon,%-berat,	Max.0,05
9.	Air dan sediman,%-volume	Maks.0,05
10.	Temperatur distilasi 90%, 0C	Maks.360

11.	Abu tersulfatkan,%-berat	Maks 0,02
12.	Belerang,ppm-b (mg/kg)	Maks.100
13.	Fosfor,ppm-b (mg/kg)	Maks.10
14.	Angka asam,mg-KOH/gr	Maks.0,8
15.	Gliserol bebas,%-berat	Maks.0,02
16.	Gliserol total,%-berat	Maks.0,24
17.	Kadar ester alkil,%-berat	Min.96,5
18.	Lower Heating Value, BTU/lbm	Maks.18288

(Sumber: Sahirman, 2009)

2.2. Biodiesel

Dalam membuat biodiesel, metode yang sering digunakan adalah metode transesterifikasi. Dimana metode ini menggunakan methanol serta katalis yang bisa berupa homogen ataupun heterogen. Adapun reaksi kimia yang dihasilkan dari metode ini berupa alkohol rantai pendek (methanol), konsentrasi katalis, rasio molar dari minyak, perubahan suhu, tekanan serta perubahan waktu reaksi (Ramos. 2012).

Proses transesterifikasi menghasilkan produk dengan dua lapisan yang sangat kontras sehingga mudah dipisahkan . lapisan atas adalah metal ester sedangkan lapisan bawah adalah gliserol dan sisa metanol. Produk hasil proses transesterifikasi ditampilkan pada Gambar 1(Sahirman, 2009).



Gambar 2.1 Biodiesel hasil transesterifikasi minyak biji nyamplung
(Sumber: Sahirman, 2009)

Harian Equator edisi 11 Januari 2012 melaporkan hasil penelitian yang dilakukan Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Kayong Utama (KKU) bekerja sama dengan Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura, menunjukkan satu kilogram biji nyamplung kering dapat menghasilkan 53,87% atau sekitar 0,5 liter minyak diesel. Selain itu rendemen minyak nyamplung lebih tinggi sekitar 40-73% dibandingkan jarak pagar yang hanya 40-60% dan sawit 46-67%. Dalam Penelitian ini juga menunjukkan bahwa nyamplung tidak hanya berpotensi dalam penggunaannya untuk biodiesel, tetapi juga dapat dimanfaatkan sebagai pengganti minyak tanah, dimana daya bakar minyak nyamplung dua kali lebih lama dibandingkan minyak tanah biasa.



Gambar 2.2. Buah Nyamplung
(Sumber; Anonim, 2008).

Penelitian dari pengaruh biodiesel biji nyamplung yang sudah pernah dilakukan menyatakan bahwa hasil pengujian biodiesel nyamplung oleh Badan Litbang Kehutanan menghasilkan sejumlah kesimpulan antara lain kelayakan atas kinerja permesinan. Biodiesel nyamplung dapat digunakan untuk kendaraan bermotor (*otomotif*) sebesar 100%, tanpa campuran High Speed Diesel (B100). Penggunaannya dapat dilakukan secara murni (100% biodiesel biji nyamplung) tetapi harus dalam kondisi-kondisi tertentu seperti perubahan mesin yang sesuai dengan kemampuan biodiesel tersebut. Hal tersebut disebabkan karena pada biodiesel nyamplung murni memiliki viskositas yang tinggi yang dapat mempengaruhi kerja mesin. Penelitian yang dilakukan oleh Prastyanto dan Sudarman (2012), yang menyatakan bahwa biodiesel minyak biji nyamplung dengan uji yang dilakukan pada mesin diesel generator set menghasilkan kesimpulan bahwa pada pencampuran biodiesel biji nyamplung dengan *bioHigh Speed Diesel* mampu memberikan kerja terbaik pada mesin dengan komposisi biodiesel biji nyamplung sebanyak 10% saja (B10). Karena pada penelitian yang dilakukan, semakin tinggi

persentase jumlah biodiesel yang ditambahkan maka viskositas yang diperoleh semakin tinggi sedangkan titik nyala justru semakin rendah. Dalam keadaan ini, viskositas tentu saja akan mempengaruhi kerja mesin, semakin tinggi maka aliran bahan bakar dalam mesin akan semakin lambat sehingga mesin akan tidak bekerja dengan baik. Dan *flash point* yang rendah dari penambahan biodiesel biji nyamplung akan menyebabkan proses pembakaran yang terjadi kurang optimal.

Pembakaran internal adalah perangkat yang mengubah bahan kimia energi dalam bahan bakar menjadi energi mekanik yang berguna, melalui proses pembakaran. Pembakaran yaitu proses mengubah energi kimia menjadi energi panas, menggunakan bahan bakar dan zat pengoksidasi. Internal mengacu pada proses pembakaran yang terjadi di dalam mesin, dalam pembakaran ruang. (*Arismunandar dan Tsuda. 1986.*)

Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan bahan bakar diesel *petroleum*. Beberapa kelebihan dari biodiesel merupakan bahan bakar yang tidak beracun dan mempunyai bilangan setana yang tinggi. Biodiesel dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hidrokarbon dan NOx. Biodiesel juga merupakan bahan bakar dalam fase cair. Bahan bakar pada mesin diesel dikehendaki memiliki sifat mudah terbakar sendiri (tanpa harus dipicu dengan letikan api busi) jika disemprotkan ke ruang bakar. Tolok ukur dari sifat ini adalah bilangan setana. Minyak diesel dikehendaki memiliki kekentalan yang relatif rendah agar mudah mengalir melalui pompa injeksi dan mudah dikabutkan. (*Haryanto, 2002.*)

Secara umum parameter yang menjadi standar mutu biodiesel adalah densitas, titik nyala, angka setana, viskositas kinematik, abu sulfat, energi yang dihasilkan, bilangan iodin dan residu carbon. Untuk dapat digunakan dalam menjalankan sebuah mesin diesel bahan bakar yang digunakan harus sudah memenuhi standard SNI 7182:2012. Hal ini sangat berpengaruh pada performa dari mesin diesel apabila karakteristik dari bahan bakar yang digunakan tidak memenuhi standard.

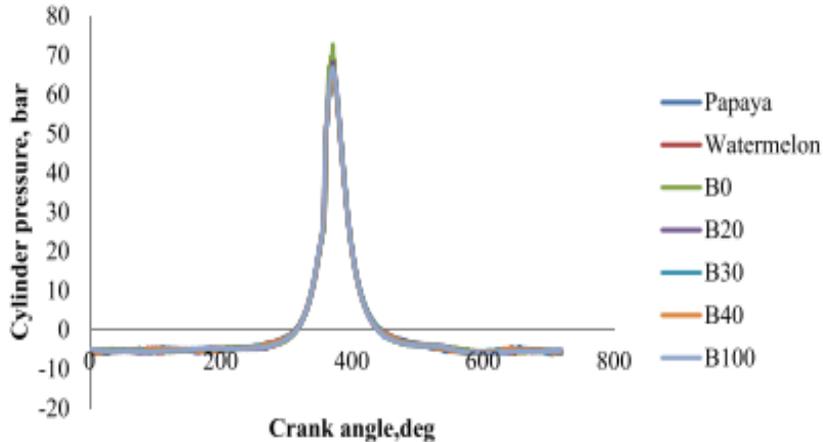
2.3. Proses Pembakaran

Dalam pengoperasian bahan bakar biodiesel ke motor diesel ada hal yang harus diperhatikan, yaitu munculnya *knocking*. *Knocking* merupakan sebuah kondisi pembakaran yang abnormal yang ditandai dengan adanya suara atau getaran yang disebabkan karena ignition timing yang tidak tepat yang mengakibatkan pembakaran yang ada di ruang bakar terlambat. Hal ini bisa terjadi apabila angka cetane yang ada pada bahan bakar terlalu rendah jadi ketika langkah kompresi pada piston posisi titik mati bawah sampai dengan piston menyentuh titik mati atas bahan bakar tidak kunjung terbakar dan proses pembakaran pada motor diesel terlambat. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian analisa *combustion process* motor diesel yang menggunakan biodiesel biji nyamplung sebagai bahan bakarnya untuk mengetahui bagaimana kondisi pembakaran (*combustion process*).

Combustion analysis process merupakan penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik proses pembakaran meliputi *ignition delay*, *maximum*

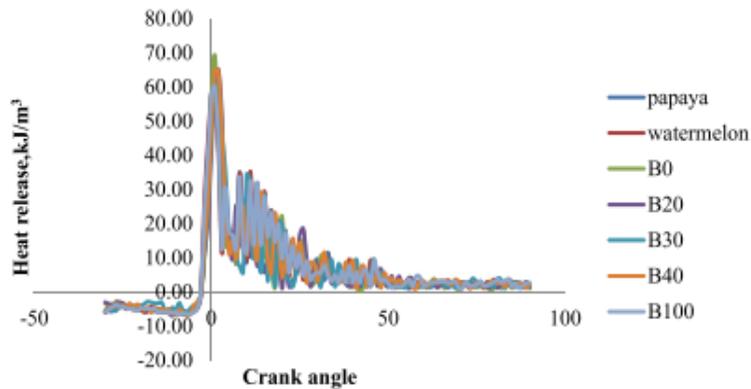
pressure, heat release dan *knocking*. Penelitian tentang pengaruh biodiesel terhadap proses pembakaran (*combustion process*) sudah banyak yang melakukan. Asokan (2017) melakukan eksperimen uji proses pembakaran dengan biodiesel papaya dan semangka. Adapun pengujian proses pembakaran seperti uji tekanan (*Pressure Test*), *Position of Crank Angle, Heat Release*. Untuk hasilnya ada pada Gambar 2.4, dan 2.5 dibawah ini.

Tekanan tertinggi yang dialami oleh piston terjadi pada busur derajat engkol 390° dengan beban maksimum. Proses penelitian ini menggunakan perbandingan jenis komposisi kandungan biodiesel.



Gambar 2.3. Maksimum Pressure (bar)
(Sumber: Asokan, 2017)

Heat release atau pelepasan panas, merupakan variasi pelepasan panas dengan derajat sudut engkol untuk bahan bakar pada kondisi beban penuh dan kecepatan mesin konstan (3000 rpm).



Gambar 2.4. Heat Release
(Sumber: Asokan, 2017)

Eksperimen diatas menunjukkan tekanan silinder dengan sudut engkol untuk biodiesel biji pepaya, biodiesel biji semangka dan campuran WP dan diesel yang berbeda pada beban 100% mesin. Tekanan silinder dalam hal diesel tertinggi sedangkan biodiesel murni memiliki tekanan silinder rendah bila dibandingkan dengan diesel. Dengan demikian semua bahan bakar menunjukkan pola kenaikan tekanan yang sama. Dan hasil lain terkait variasi Heat release ke sudut engkol pada masing-masing stroke untuk biodiesel biji pepaya, biodiesel biji semangka dan campuran WP dan diesel yang berbeda pada beban 100% mesin. Jumlah panas yang dilepaskan lebih tinggi untuk diesel murni dibandingkan campuran biodiesel. Dan tingkat pelepasan panas tertinggi kedua adalah untuk campuran B40.

2.4. Emisi NOx

Setiap proses pembakaran yang terjadi pada engine selalu menghasilkan beberapa gas produk pembakaran yang disebut emisi gas buang. (Kristanto,2015:208). Pada motor diesel gas buang yang dihasilkan terdiri atas bermacam-macam zat berbahaya, zat yang paling dominan adalah asap dan partikulat kotor. Komponen-komponen gas buang yang membahayakan itu antara lain adalah asap hitam (angus), hidrokarbon yang tidak terbakar (UHC), karbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO) dan NO₂. NO dan NO₂ biasa dinyatakan dengan NO_x. Namun jika dibandingkan dengan motor bensin, motor diesel tidak banyak mengandung CO dan HC. Selain itu, kadar NO₂ sangat rendah jika dibandingkan dengan NO. jadi, boleh dikatakan bahwa komponen utama gas buang motor diesel yang membahayakan adalah NO dan asap hitam (Arismunandar dan Tsuda, 1986:51).

Standar uji emisi gas buang kendaraan diesel dalam penelitian ini mengacu pada Peraturan Menteri Negara dan Lingkungan Hidup Nomor 05 tahun 2006, tentang ambang batas emisi gas buang. Pengujian pada kondisi akselerasi bebas dilakukan dengan cara memasukan alat smoke opacimeter kedalam saluran exhaust gas agar gas buang dapat melewati alat tersebut, kemudian kandungan NO_x dibaca pada alat yang sudah disediakan.

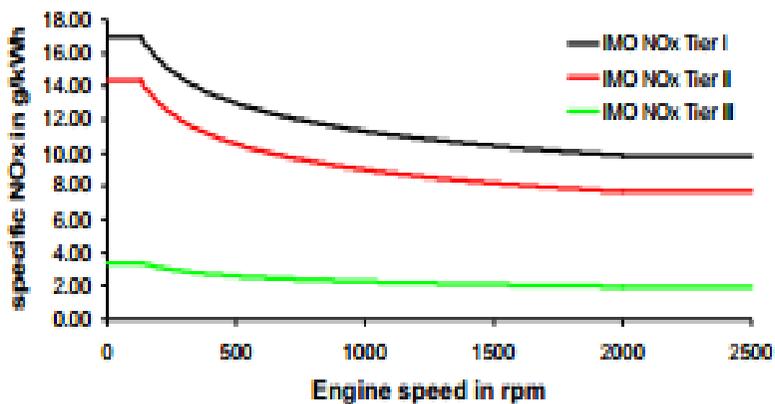
Gas nitrogen oksida (NO_x) terbagi menjadi dua macam yaitu gas nitrogen dioksida dan gas nitrogen monoksida. Kedua gas tersebut mempunyai sifat yang berbeda tetapi, keduanya berbahaya bagi kesehatan. Udara yang mengandung gas NO dapat berbahaya jika dalam konsentrasi yang tinggi.

Secara umum, temperatur maksimum, durasi penurunan temperature dan konsentrasi oksigen didalam bahan bakar memiliki efek dominan pada emisi NO_x. Semakin tinggi nilai temperature maksimum dan semakin lama penurunan temperatur bakar maka akan menghasilkan nilai emisi NO_x yang semakin tinggi. (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. (IMO,2016)

Untuk pengujian emisi NO_x yang dilakukan berpedoman pada aturan Marpol annex VI regulasi 13. Penggunaan mesin diesel dimana peraturan ini berlaku sangat dibatasi, kecuali ketika emisi yang dihasilkan berupa nitrogen oksida dari mesin dengan beberapa syarat :

- 17.0 g/kW h ketika kurang dari 130 rpm
- $45,0 \times n^{-0,2}$ g/kW h dengan n adalah 130 atau lebih tetapi kurang dari 2000 rpm
- 9.8 g/kW h ketika n adalah 2000 rpm atau lebih.

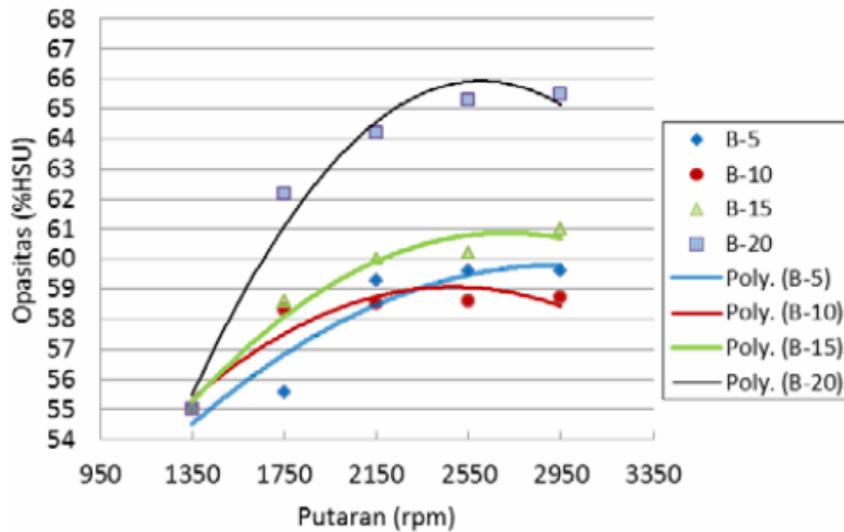


Gambar 2.5. Diagram Regulasi IMO
(sumber: Saif, 2016)

I Wayan Susila (2010) melakukan penelitian yang berjudul “Kinerja Mesin Diesel Memakai Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisa Emisi Gas Buang” mendapatkan hasil sebagai berikut :

Putaran mesin (rpm)	Opasitas (%HSU)			
	B-5	B-10	B-15	B-20
1350	55,0	55,0	55,0	55,0
1750	55,6	58,3	58,6	62,2
2150	59,3	58,5	60,0	64,2
2550	59,6	58,6	60,2	65,3
2950	59,6	58,7	61,0	65,5
Rata-rata	57,82	57,82	58,96	62,44

Gambar 2.6. Opasitas Gas Buang Pada Berbagai Putaran
(Sumber: (Sumber: Susila , 2010)

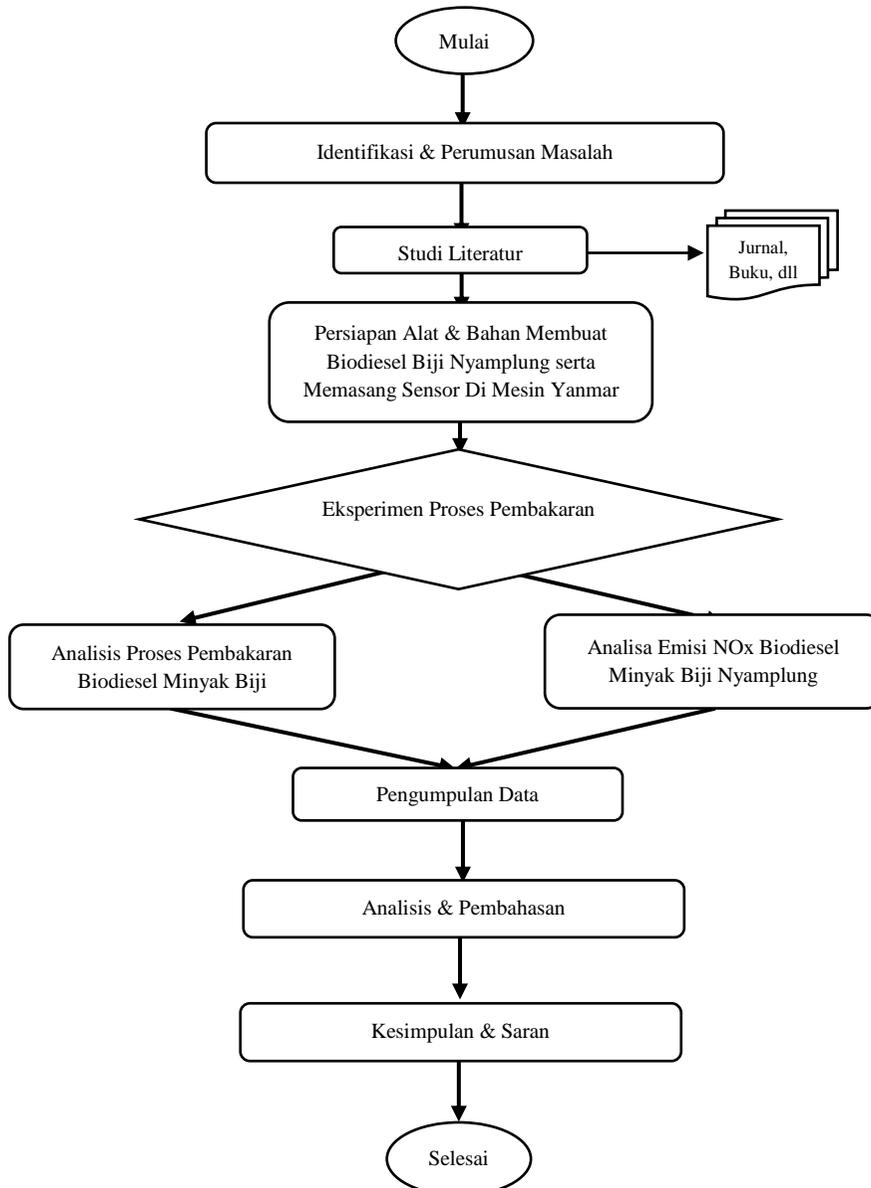


Gambar 2.7. Opasitas Terhadap Putaran Mesin
(Sumber: Susila, 2010)

Pada Tabel 2 dan Gambar 8 tampak jelas bahwa semakin tinggi putaran mesin maka opasitas gas buang semakin naik untuk semua jenis bahan bakar baik dari bahan bakar B-5 s/d B-20. Pada putaran 2550 rpm, B-20 menghasilkan opasitas terbesar kemudian disusul oleh B-15, B-5, kemudian terkecil oleh B-10. Opasitas gas buang berada pada kisaran antara 57,82 s/d 62,44% HSU.

BAB III METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah dengan metode eksperimen. Adapun diagram metodologi yang digunakan sebagai berikut :



Gambar 3.1. Metodologi Penelitian

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Pengidentifikasian masalah pada penelitian ini, untuk mengetahui bagaimana proses pembakaran dan hasil emisi NO_x pada biodiesel dari minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*).

3.2 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori-teori yang dapat menunjang permasalahan yang ada. Studi literatur didapatkan dari beberapa sumber seperti, buku, jurnal, tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini, mengacu pada karakteristik biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*), proses pembakaran yang meliputi dari tekanan maksimum (*Maximum Pressure*), *Ignition Delay*, *Heat Release*, dan *Knocking* dan emisi NO_x.

3.3. Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan perlengkapan sebelum dilaksanakannya eksperimen analisis proses pembakaran biodiesel dan emisi NO_x biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) . Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen ini adalah sebagai berikut :

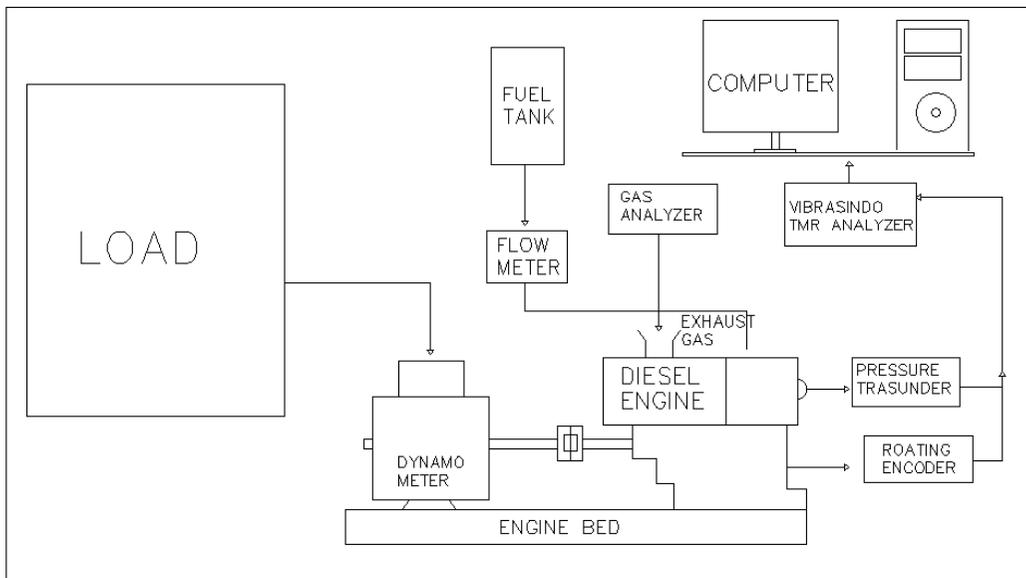
- a. Bahan Bakar High Speed Diesel
- b. Bahan bakar CI (*Calophyllum inophyllum*).
- c. Mesin Diesel Yanmar TF85-MH
- d. Komputer sebagai pengolahan data
- e. *Software SYSMONSoft v2.0.3* sebagai data akuisisi, proses dan analisis.
- f. Hardware Vibrasindo *TMR-Card Board & TMR Crankangle-CPU* dengan *Entry Level Cards*

Untuk penentuan variabel bahan bakar yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Variabel Bahan Bakar
 - i. D100 : *High Speed Diesel*
 - ii. B20 : Campuran Biodiesel 20% dan *High Speed Diesel* 80%
- b. Variabel RPM
 - i. Pada RPM 1800
 - ii. Pada RPM 1900
 - iii. Pada RPM 2000
 - iv. Pada RPM 2100
 - v. Pada RPM 2200
- c. Variabel Beban
 - i. Pada beban 25%
 - ii. Pada beban 50%

- iii. Pada beban 75%
 - iv. Pada beban 100%
- d. Variabel Kontrol
- i. *Analog Set Up*
 - ii. *Engine Set Up*
 - iii. *Angel Sensor Set Up*
 - *Top Dead Center Detection*
 - *Thermodynamics Set Up*
 - *Knock Detection Set Up*
- e. Variabel Hasil
- i. *Ignition Delay*
 - ii. *Heat Release*
 - iii. *Maximum Pressure*
 - iv. *Knock Detection*
 - v. *NOx*

Pada Engine Set Up dilakukan pengecekan awal (*Running Test*) mesin terlebih dahulu mengenai kondisi mesin, *basic performance* mesin, *full load* dari mesin untuk mengetahui kondisi awal mesin sebelum dilakukan penelitian terhadap mesin yang akan digunakan. Data mesin yang digunakan dalam pengambilan data adalah YANMAR Diesel Engine dengan tipe TF 85 MH-di. Mesin ini berkapasitas 493 cc. Berikut gambar engine set up yang akan dirancang.



Gambar 3.2. Engine Set Up

3.4. Eksperimen Proses pembakaran dan Emisi NOx

Eksperimen ini dilakukan setelah tahap-tahap sebelumnya sudah terlaksana. Eksperimen ini menggunakan mesin Yanmar TF85-MH yang berada di Laboratorium Power Plant FTK ITS serta mesin analisis proses pembakaran yaitu *Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crankangle-CPU* dengan *Entry Level Cards*. Dalam eksperimen ini dilakukan dengan bahan bakar biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*).

Untuk Eksperimen Emisi NOx melakukan variasi sebagai berikut :

Tabel 3 2. Test Cycle Type E2

Speed	100%	100%	100%	100%
Power	100%	75%	50%	25%
Weighting Factor	0,2	0,5	0,15	0,15

Tabel 3 3 Standar Emisi NOx

Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17	45.n ^{-0,2}	9,8
Tier II	2011	14,4	44.n ^{-0,23}	7,7
Tier III	2016	3,4	9.n ^{-0,2}	1,96

3.5. Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh setelah melakukan Eksperimen analisis proses pembakaran. Hasilnya diperoleh beberapa data dari biodiesel biji karet (*Hevea Brasiliensis Muell. Arg*) dan minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). Adapun datanya yang diperoleh adalah *Maximum Pressure*, *Ignition Delay*, *Knocking*, *Heat Release* dan *NOx* dari bahan bakar High Speed Diesel dengan B20% biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) pada beban dan RPM yang bervariasi.

3.6. Analisa Data

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah analisa pada proses pembakaran dan emisi NOx biodiesel minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*).

BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

4.1. *Properties Biodiesel Biji Nyamplung*

Untuk mendapatkan biodiesel biji nyamplung pada penelitian ini menggunakan bahan dasar minyak nabati yang diperoleh dari proses pengolahan biji nyamplung. Dari biji nyamplung tersebut akan dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Setelah didapatkan biodiesel yang berasal dari bahan baku minyak biji nyamplung melalui proses degumming, esterifikasi dan transesterifikasi. Untuk mengetahui bagaimana proses pembuatan biodiesel dapat dilihat di lampiran 1.1.

Setelah didapatkan biodiesel biji nyamplung maka untuk menentukan kualitasnya diperlukan pengujian properties dari biodiesel tersebut. Pada penelitian ini, pengujian properties biodiesel dilakukan di Laboratorium Energi ITS.

Tabel 4 1. Properties Biodiesel Seed Nyamplung.

No.	Test Parameters	Unit	SNI	Result	Test Method
1	<i>Kinematic Viscosity at 40°C</i>	cSt	2,3 - 6	7,23	ASTM D 445-97
2	<i>Densitas at 40°C</i>	-	0,85 - 0,89	0,86	Piknometer
3	<i>Lower Heating Value</i>	BTU/lb	Max 18,288	18,336	ASTM D 240
4	<i>Flash Point</i>	°C	Min 100	85	ASTM D 93-00
5	<i>Pour Point</i>	°C	Max 18	-7	ASTM D 97-85

Data dari hasil uji karakteristik Biodiesel Biji Nyamplung ini akan dianalisa yang mana mengacu pada standar nasional biodiesel untuk setiap parameternya. Analisa parameter Karakteristik dalam pengujian ini meliputi viskositas, *flash point*, *pour point*, dan *cetane number*.

4.1.1. Viskositas

Viskositas merupakan ukuran kekentalan yang menyatakan besar kecilnya gesekan didalam fluida. Viskositas bahan bakar mempunyai pengaruh yang besar terhadap

bentuk semprotan bahan bakar. Dimana untuk bahan bakar dengan viskositas yang terlalu tinggi akan mengakibatkan mesin sulit di start. Jika viskositas bahan bakar terlalu rendah maka akan terjadi kebocoran pada pompa bahan bakarnya dan mempercepat keausan pada komponen pompa dan injektor bahan bakar. Menurut standar biodiesel nasional menyebutkan bahwa viskositas dari biodiesel harus mempunyai nilai antara 2,3 – 6 Cst. Nilai viskositas pada bahan bakar biodiesel biji nyamplung (B100) menunjukkan angka sebesar 7,23 CSt, dengan demikian dapat dikatakan bahwa nilai viskositas dari biodiesel biji nyamplung belum memenuhi standard kualitas berdasarkan SNI. Tingginya nilai viskositas yang terkandung dalam biodiesel biji nyamplung dikarenakan kesalahan dalam pencampuran kadar metanol dengan katalis KOH pada proses transesterifikasi dan karakter minyak biji nyamplung sendiri yang terlalu kental.

4.1.2. Flash Point

Flash point merupakan temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar (biodiesel) akan terbakar dengan cepat (meledak). Flash Point menunjukkan mudah atau tidaknya bahan bakar untuk terbakar. Semakin tinggi flash point, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Pada penelitian ini, nilai dari titik nyala biodiesel biji nyamplung sebesar 85 °C, Nilai flash point biodiesel biji nyamplung ini belum memenuhi standar dari SNI yang memiliki standar batas minimal sebesar 100°C .

4.1.3. Pour Point

Titik tuang merupakan batas temperatur tuang dimana akan mulai terbentuk kristal-kristal parafin yang dapat menyumbat saluran bahan bakar dan injektor. Pada titik tuang yang tinggi bahan bakar tidak dapat mengalir sempurna dan tidak akan terjadi atomisasi yang baik ketika diinjeksikan ke ruang bakar. Pada biodiesel biji nyamplung memiliki nilai titik tuang sebesar -7°C, dimana nilai tersebut telah memenuhi standar dari biodiesel nasional yang memiliki batas nilai sebesar maksimal 18°C.

4.1.4. Lower Heating Value

Nilai panas (nilai pembakaran) atau HV (*Heating Value*) merupakan jumlah energi yang terkandung di dalam bahan bakar setiap satuan massa bahan bakar (Btu/lbm) atau (kCal/kg). Nilai kalor dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah jenis bahan bakar dan berat jenis bahan bakar. Semakin tinggi berat jenis bahan bakar maka makin rendah nilai kalor yang dihasilkan. Terdapat dua macam nilai pembakaran yaitu nilai pembakaran atas atau Higher Heating Value (HHV) dan nilai pembakaran bawah atau *Lower Heating Value* (LHV). HHV merupakan nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berbentuk cairan, sedangkan LHV yaitu nilai pembakaran bila didalam gas hasil pembakaran terdapat H₂O berbentuk gas. Pada penelitian ini, pengujian *properties* biodiesel biji nyamplung hanya menguji nilai kandungan LVH. Nilai LHV pada biodiesel biji nyamplung didapatkan sebesar 18.336 BTU/lb , dimana nilai tersebut belum memenuhi standard biodiesel nasional yaitu maksimal 18,288 BTU/lb.

4.1.5. Densitas

Berat jenis (*density*) merupakan perbandingan antara massa dengan volume bahan bakar. Density pada bahan bakar dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur, maka *density* akan semakin turun dan sebaliknya. Berat jenis biodiesel biji nyamplung memiliki nilai sebesar 860 kg/m³. Nilai berat jenis biodiesel minyak biji nyamplung ini telah memenuhi standard dari SNI yang memiliki batas nilai 850 – 890 kg/m³.

Dari hasil yang didapatkan setelah melakukan pengujian properties dari biodiesel minyak biji nyamplung dapat diketahui bahwa masih ada beberapa parameter yang belum memenuhi standar SNI biodiesel. Parameter yang belum memenuhi standar yaitu viskositas, LHV dan *flash point*. Hal ini dapat disebabkan karena komposisi metanol yang terlalu banyak ketika melakukan pembuatan biodiesel, proses pencampuran antara katalis dan minyak yang belum tercampur dengan sempurna.

4.2. Analisis Proses Pembakaran

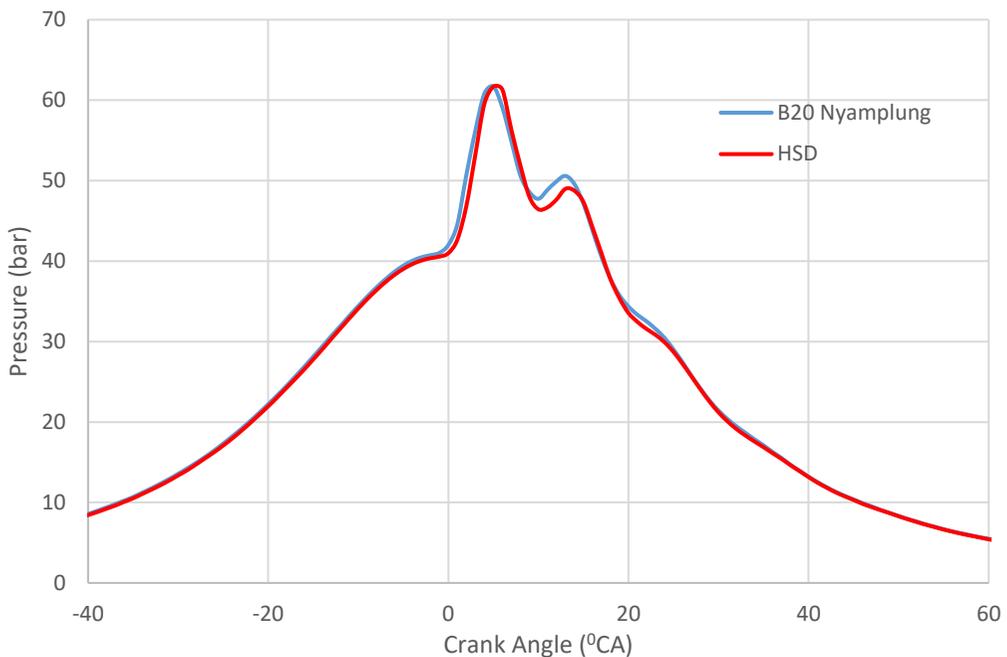
Pada Penelitian ini dilakukan analisa Proses Pembakaran (*Combustion Proseses*) untuk mengetahui bagaimana pengaruh biodiesel biji nyamplung terhadap proses pembakaran yang terjadi pada *diesel engine*. Hasil dari Penelitian ini nantinya akan menentukan analisa maksimum *pressure*, *heat release*, *knocking*, dan *ignition delay* pada putaran *engine* 1800 RPM, 1900 RPM, 2000 RPM, 2100 RPM, dan 2200 RPM. Pembebanan pada masing-masing putaran akan diberikan beban 25%, 50%, 75% dan 100%.

Pada penelitian ini juga akan melakukan pengujian Emisi NO_x dengan menggunakan alat *gas analyzer*. Hasil pengujian ini untuk mengetahui kadar NO_x yang dihasilkan dari proses pembakaran *diesel engine*. Penelitian ini dilakukan pada putaran maksimum yaitu 2200 RPM dengan memberikan pembebanan 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Jenis bahan bakar yang digunakan dalam percobaan ini yang pertama menggunakan High Speed Diesel. Jenis bahan bakar yang kedua menggunakan campuran antara biodiesel biji nyamplung sebesar 20% dengan High Speed Diesel sebesar 80% (B20). Untuk mengetahui hasil proses pembakaran *diesel engine*, hasilnya diperoleh dari alat *combustion analyzer* yang berupa grafik yang nantinya ditampilkan pada lampiran untuk analisa maksimum *pressure*, *heat release*, *knocking*, dan *ignition delay*.

4.2.1. Analisa Max. Pressure Terhadap Jenis Bahan Bakar High Speed Diesel dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 25%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran maksimum dengan beban 25%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan tekanan paling tinggi yang ada di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



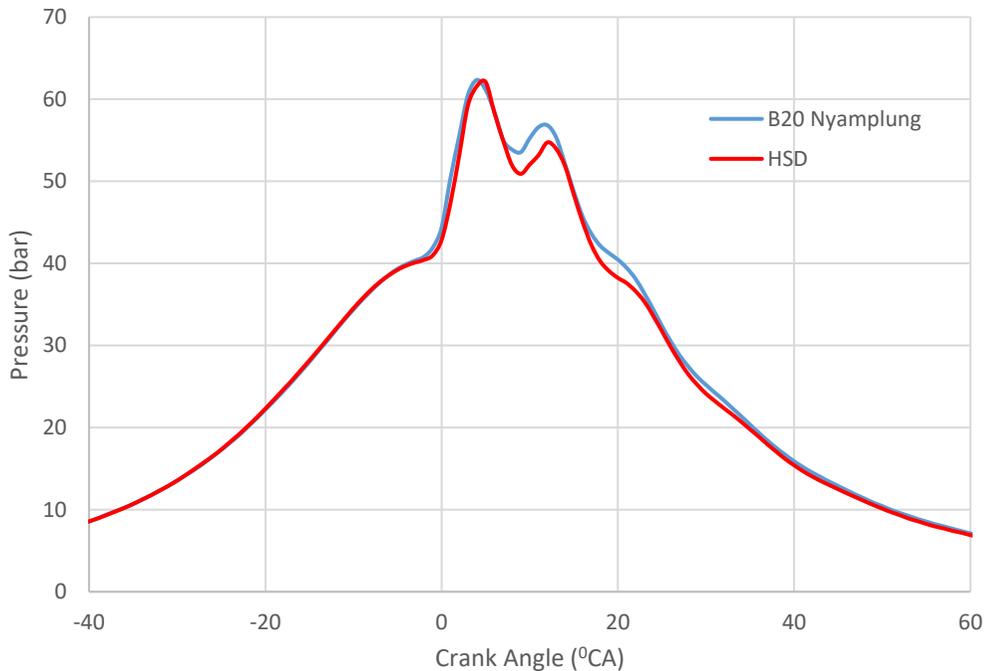
Grafik 4.1. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2200 pada *load* 25% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 61,72 bar pada posisi 5° setelah TMA, kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 61,69 bar pada 5° setelah TMA.

Nilai maksimum. *pressure* dapat dipengaruhi oleh waktu *ignition delay*, karena semakin lama waktu *ignition delay* maka semakin lama juga waktu bahan bakar yang diinjeksikan, hal ini mengakibatkan jumlah bahan bakar yang ada di ruang bakar lebih banyak sehingga tekanan yang ada di ruang bakar meningkat dan pembakaran akan menjadi tidak sempurna. Grafik 4.13 yang menunjukan bahwa nilai *ignition delay* B20 biji nyamplung nilainya sama dengan bahan bakar *High Speed Diesel*.

4.2.2. Analisa *Max. Pressure* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan *Load* 50%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar High Speed Diesel dengan B20 biji nyamplung pada putaran maksimum dengan beban 50%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan tekanan paling tinggi yang ada di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



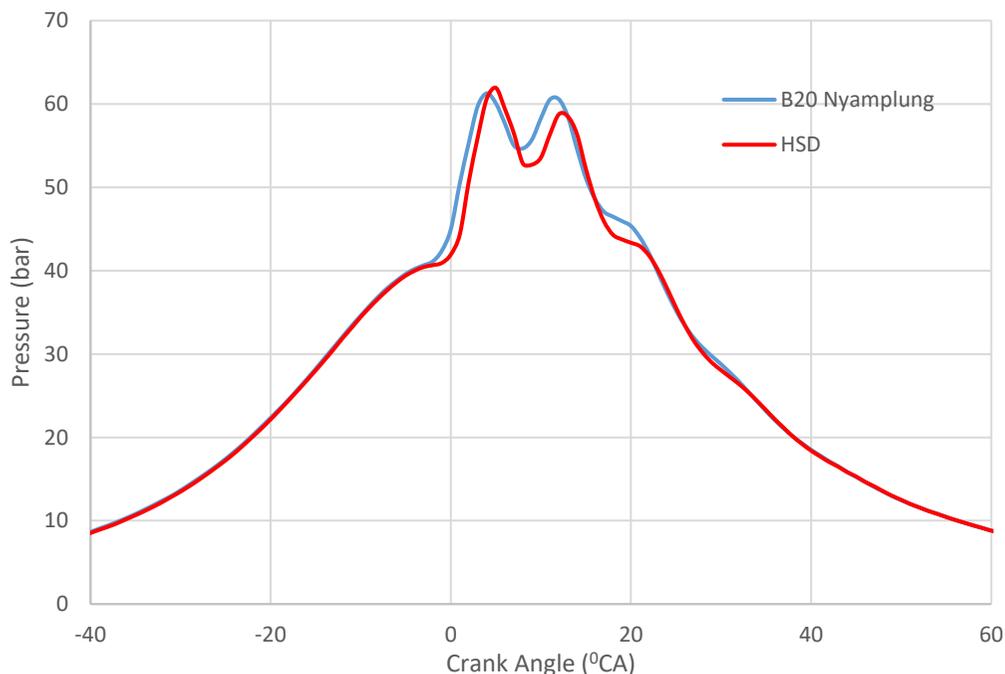
Grafik 4.2. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2200 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel (HSD)*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2200 pada *load* 50% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 62,35 bar pada posisi 4° setelah TMA, kemudian High Speed Diesel dengan nilai 62,09 bar pada 5° setelah TMA.

Nilai maksimum. *pressure* dapat dipengaruhi oleh waktu *ignition delay*, karena semakin lama waktu *ignition delay* maka semakin lama juga waktu untuk bahan bakar yang diinjeksikan, hal ini mengakibatkan jumlah bahan bakar yang ada di ruang bakar lebih banyak sehingga tekanan yang ada di ruang bakar meningkat dan pembakaran akan menjadi tidak sempurna. Grafik 4.13 yang menunjukkan bahwa nilai *ignition delay* B20 biji nyamplung nilainya sama dengan bahan bakar *High Speed Diesel*.

4.2.3. Analisa Max. Pressure Terhadap Jenis Bahan Bakar High Speed Diesel dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 75%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran maksimum dengan beban 75%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan tekanan paling tinggi yang ada di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.3. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2200 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

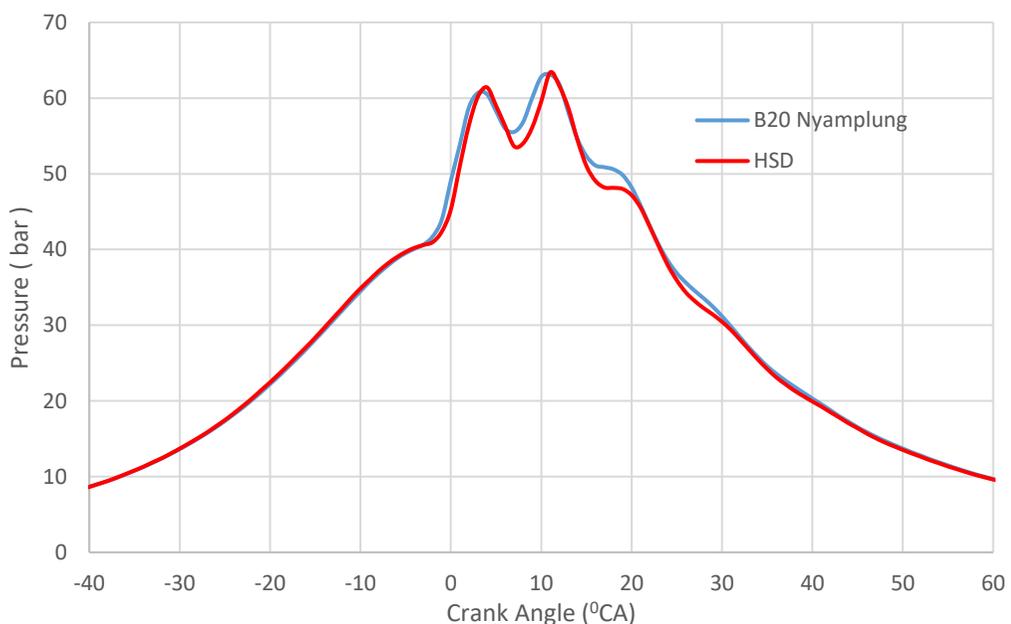
Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18⁰ sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2200 pada *load* 75% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 61,94 bar pada posisi 5⁰ setelah TMA, kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 61,28 bar pada 4⁰ setelah TMA.

Nilai maksimum. *pressure* dapat dipengaruhi oleh waktu *ignition delay*, karena semakin lama waktu *ignition delay* maka semakin lama juga waktu untuk bahan bakar yang diinjeksikan, hal ini mengakibatkan jumlah bahan bakar yang ada di ruang bakar lebih banyak sehingga tekanan yang ada di ruang bakar meningkat dan pembakaran akan menjadi tidak sempurna. Seperti yang terlihat pada grafik 4.13 yang menunjukkan bahwa

nilai *ignition delay* dari bahan bakar *High Speed Diesel* nilainya lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung.

4.2.4. Analisa *Max. Pressure* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 100%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran maksimum dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan tekanan paling tinggi yang ada di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.4. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

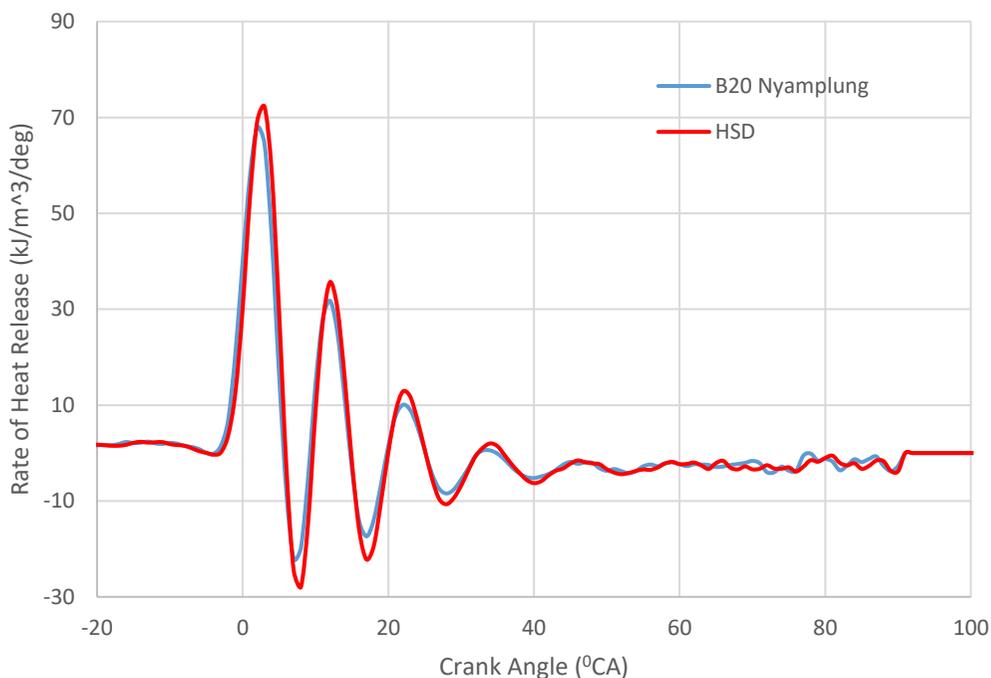
Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18⁰ sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2200 pada load 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 63,40 bar pada posisi 11⁰ setelah TMA, kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung dengan nilai 63,11 bar pada 11⁰ setelah TMA.

Nilai maksimum. *pressure* dapat dipengaruhi oleh waktu *ignition delay*, karena semakin lama waktu *ignition delay* maka semakin lama juga waktu untuk bahan bakar yang diinjeksikan, hal ini mengakibatkan jumlah bahan bakar yang ada di ruang bakar lebih banyak sehingga tekanan yang ada diruang bakar meningkat dan pembakaran akan

menjadi tidak sempurna. Seperti yang terlihat pada grafik 4.13 yang menunjukkan bahwa nilai *ignition delay* dari bahan bakar *High Speed Diesel* nilainya lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung.

4.2.5. Analisa *Heat Release* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 25%.

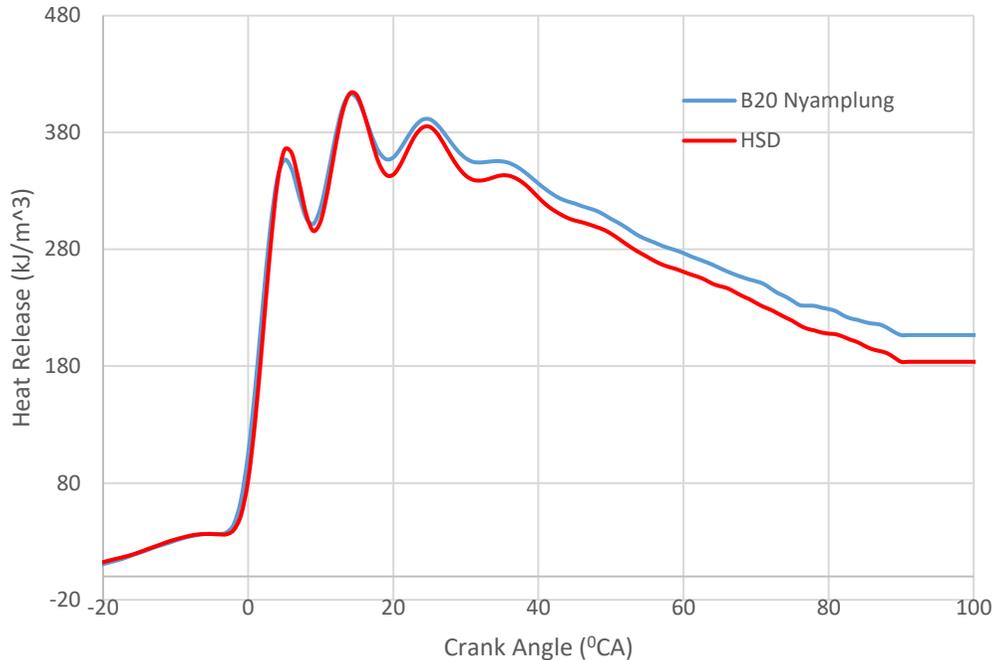
Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 25%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai panas yang dilepaskan ketika proses pembakaran terjadi di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.5. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Rate of Heat Release* pada RPM 2200 dengan *load* 25% dari bahan bakar B20 Biji Nyamplung memiliki titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada posisi 3°CA sebelum TMA. Sedangkan bahan bakar HSD memiliki titik awal dan udara terjadi pada posisi 3°CA sebelum TMA. Untuk nilai tertinggi dari *rate of heat release* dengan nilai

72,27 kJ/m³/deg pada posisi 2 °CA setelah TMA adalah bahan bakar HSD, kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung dengan nilai 68,05 kJ/m³/deg pada posisi 1 °CA setelah TMA.

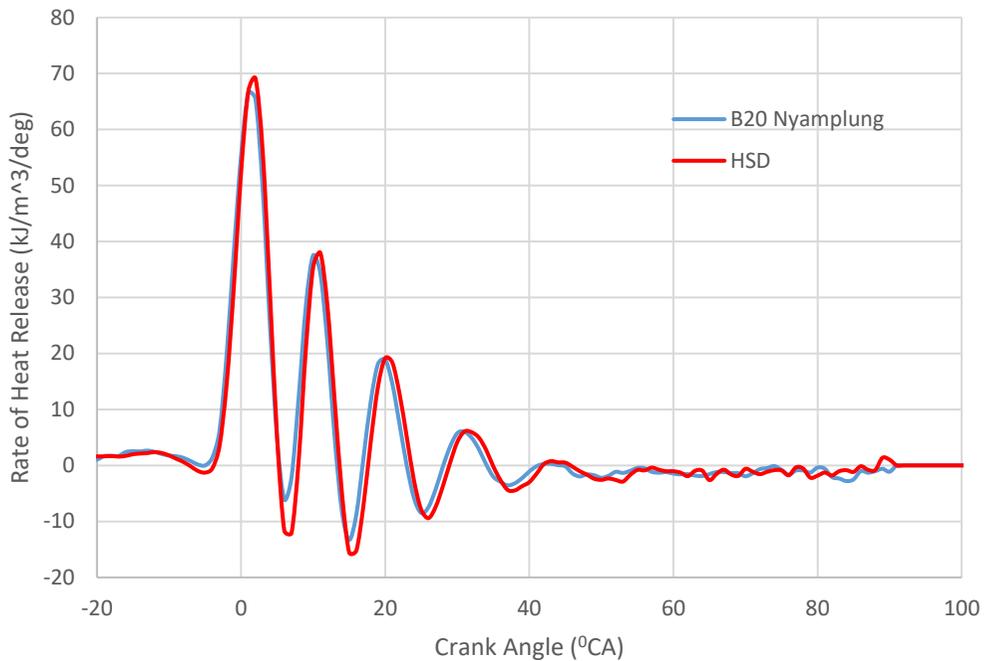


Grafik 4.6. Analisa *Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Heat Release* pada RPM 2200 dengan load 25% tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai 413,35 kJ/m³ pada posisi 14 °CA setelah TMA adalah bahan bakar HSD, kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung dengan nilai 412,48 kJ/m³ pada posisi 14 °CA setelah TMA.

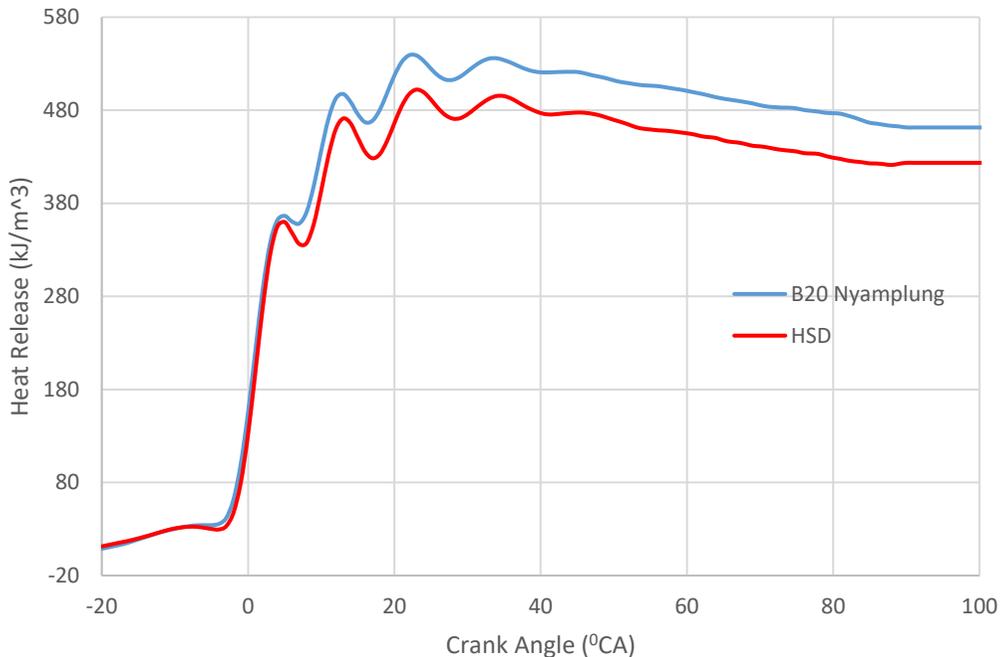
4.2.6. Analisa *Heat Release* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 50%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji yamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 50%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai panas yang dilepaskan ketika proses pembakaran terjadi di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.7. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Rate of Heat Release* pada RPM 2200 dengan *load* 50% dari bahan bakar B20 Biji Nyamplung memiliki titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada posisi 4° CA sebelum TMA. Sedangkan bahan bakar HSD memiliki titik awal dan udara terjadi pada posisi 4° CA sebelum TMA. Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai 69,12 kJ/m³/deg pada posisi 2° CA setelah TMA adalah bahan bakar HSD, kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung dengan nilai 66,57 kJ/m³/deg pada posisi 1° CA setelah TMA.

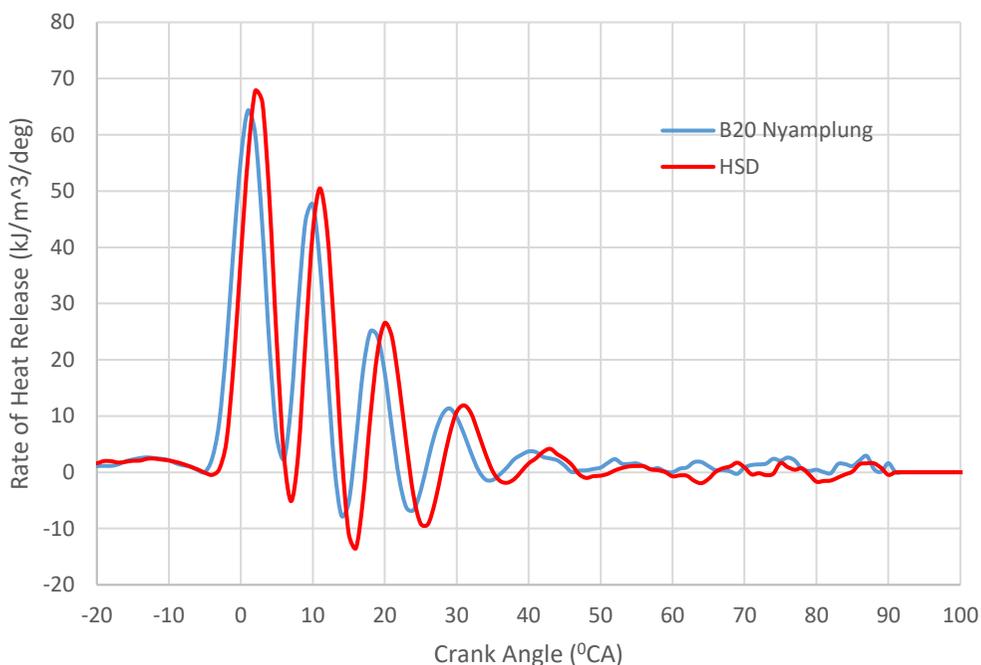


Grafik 4.8. Analisa *Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 50% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Heat Release* pada RPM 2200 dengan *load* 50% memiliki perbedaan yang cukup besar. Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai $538,98 \text{ kJ/m}^3$ pada posisi 22°CA setelah TMA adalah bahan bakar B20 biji nyamplung, kemudian bahan bakar HSD dengan nilai $502,09 \text{ kJ/m}^3$ pada posisi 23°CA setelah TMA.

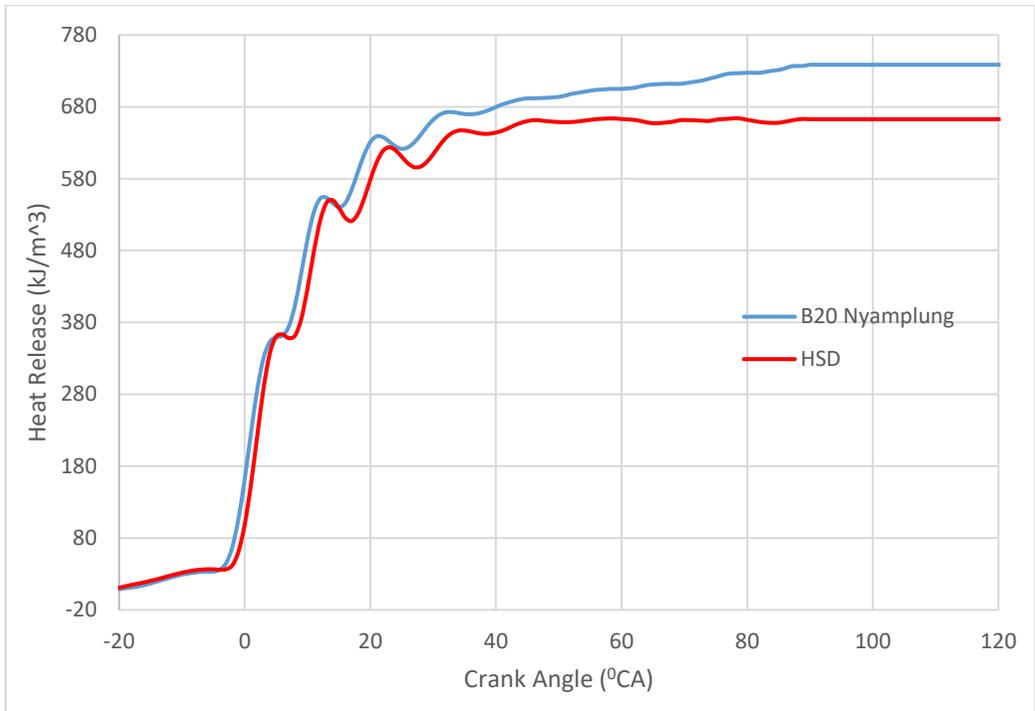
4.2.7. Analisa *Heat Release* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 75%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 75%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai panas yang dilepaskan ketika proses pembakaran terjadi di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.9. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Rate of Heat Release* pada RPM 2200 dengan *load* 75% dari bahan bakar B20 Biji Nyamplung memiliki titik awal *heat release* antara bahan bakar dan udara terjadi pada posisi 3° CA sebelum TMA. Sedangkan bahan bakar HSD memiliki titik awal dan udara terjadi pada posisi 3° CA sebelum TMA. Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai $67,78 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi 2° CA setelah TMA adalah bahan bakar HSD, kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung dengan nilai $64,32 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi 1° CA setelah TMA.

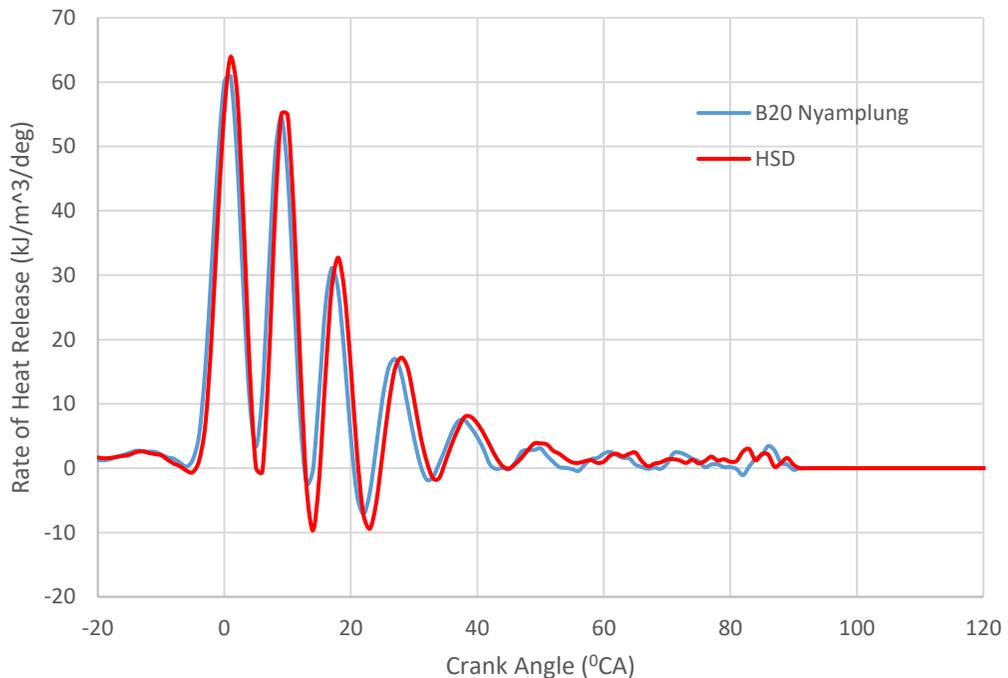


Grafik 4.10. Analisa *Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 75% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18^o sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Heat Release* pada RPM 2200 dengan *load* 75% memiliki perbedaan yang cukup besar. Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai 738,57 kJ/m³ pada posisi 90^oCA setelah TMA adalah bahan bakar B20 biji nyamplung, kemudian bahan bakar HSD dengan nilai 664,07 kJ/m³ pada posisi 78^oCA setelah TMA.

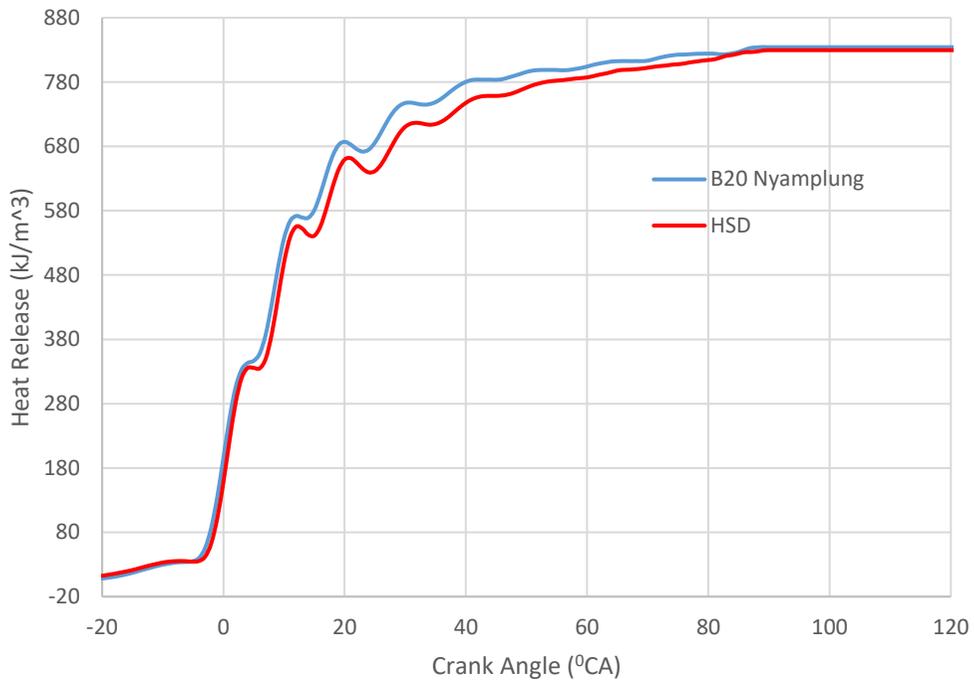
4.2.8. Analisa *Heat Release* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 100%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 4. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai panas yang dilepaskan ketika proses pembakaran terjadi di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.11. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan rata-rata proses pelepasan panas atau *rate of heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Rate of Heat Release* pada RPM 2200 dengan *load* 100% dari bahan bakar B20 Biji Nyamplung memiliki titik awal heat release antara bahan bakar dan udara terjadi pada posisi 5° CA sebelum TMA. Sedangkan bahan bakar HSD memiliki titik awal dan udara terjadi pada posisi 4° CA sebelum TMA. Untuk nilai tertinggi dari *rate of heat release* dengan nilai $63,95 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi 1° CA setelah TMA adalah bahan bakar HSD, kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung dengan nilai $60,83 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi 1° CA setelah TMA.

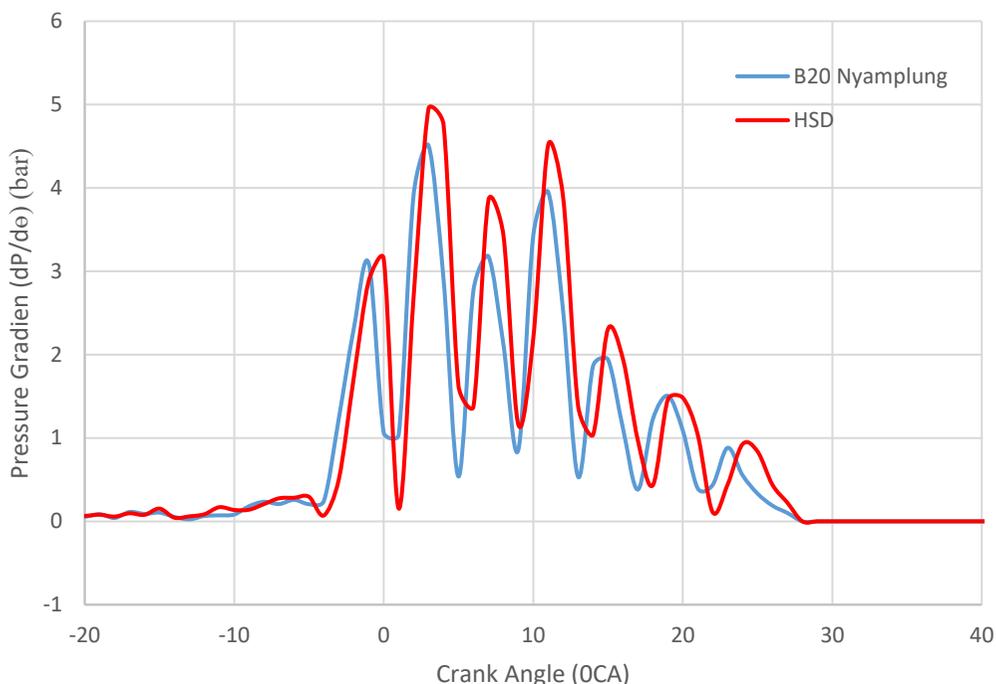


Grafik 4.12. Analisa *Heat Release* Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) biji nyamplung -dan *High Speed Diesel*. Pada grafik diatas dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut memiliki nilai *Heat Release* pada RPM 2200 dengan load 100% tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai $834,51 \text{ kJ/m}^3$ pada posisi 89°CA setelah TMA adalah bahan bakar B20 biji nyamplung, kemudian bahan bakar HSD dengan nilai $829,67 \text{ kJ/m}^3$ pada posisi 90°CA setelah TMA.

4.2.9. Analisa *Knock Detection* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 100%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *knock detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 4. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.13. Analisa *Knock detection* Pada RPM 2200 Beban 100% Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

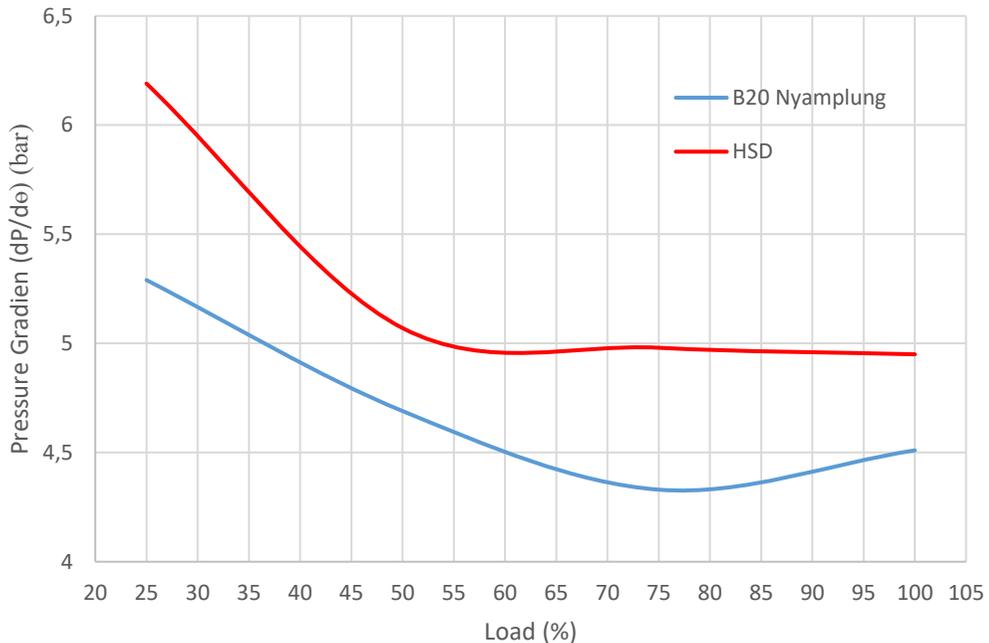
Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai *knocking* tertinggi di RPM 2200 pada *load* 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 4,95 bar pada posisi 3° setelah TMA, kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 4,51 bar pada 3° setelah TMA.

Nilai *knocking* dapat dipengaruhi oleh waktu *ignition delay*, karena semakin lama waktu *ignition delay* maka semakin lama juga waktu untuk bahan bakar yang diinjeksikan, hal ini mengakibatkan jumlah bahan bakar yang ada di ruang bakar lebih banyak sehingga volume diruang bakar meningkat dan pembakaran akan menjadi tidak sempurna. Seperti yang terlihat pada grafik 4.13 yang menunjukkan bahwa nilai *ignition delay* dari bahan bakar *High Speed Diesel* nilainya lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung .

4.2.10. Analisa *Knock Detection* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Variasi Beban.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *knock detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan

variasi beban. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



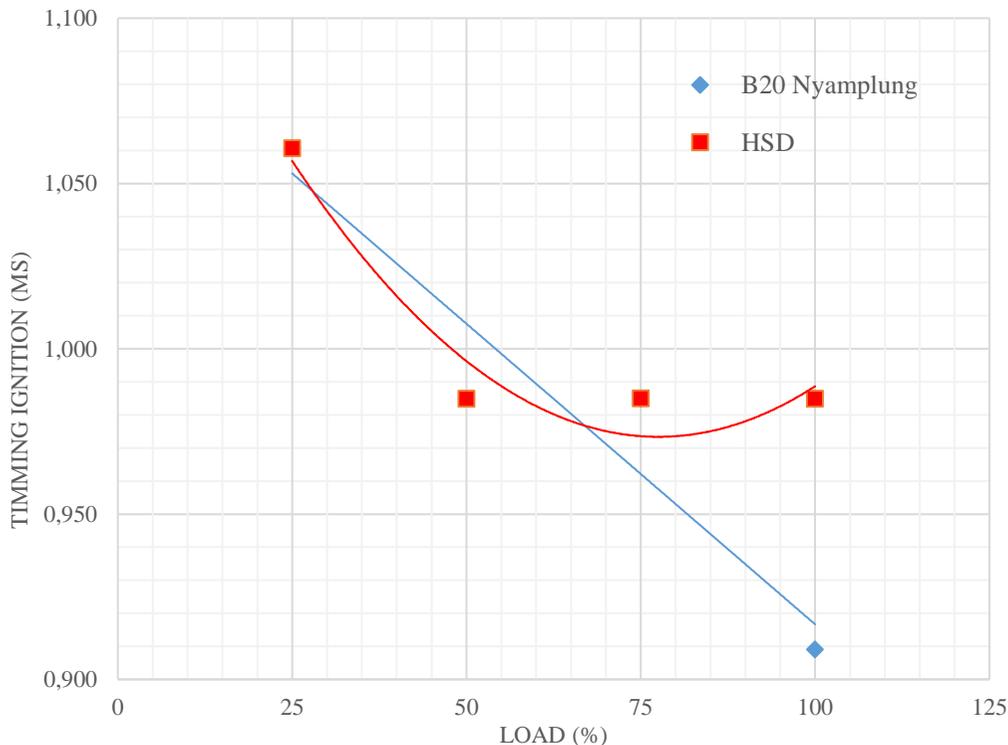
Grafik 4.14. Analisa *Knock detection* Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel* Pada RPM 2200 dengan Variasi Beban.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) nyamplung dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan tiap diberikan pembebanan. Grafik tersebut memiliki nilai *knocking* tertinggi di RPM 2200 adalah bahan bakar *High Speed Diesel* dengan nilai 6,19, 5,07, 4,98 dan 4,95 bar , kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung dengan nilai 5,29, 4,69, 4,33 dan 4,51 bar .

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada putaran yang sama dan diberikan pembebanan akan mempengaruhi nilai *knocking*. Semakin besar beban yang diberikan nilai *knocking* yang dihasilkan semakin kecil.

4.2.11. Analisa *Ignition Delay* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200.

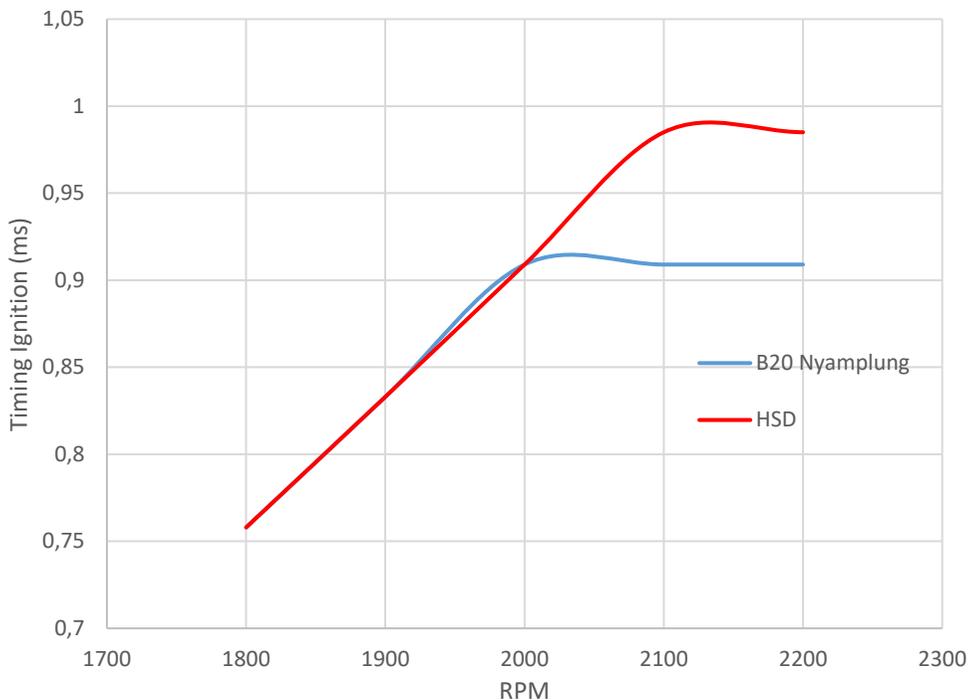
Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *ignition delay* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 25% sampai 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *ignition delay* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 4.15. Analisa *Ignition Delay* Pada RPM 2200 Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas merupakan analisa *Ignition Delay* pada RPM 2200. Dalam beban 25% sampai 75% nilai *ignition delay* yang terjadi pada bahann bakar B20 biji nyamplung dan *High Speed Diesel* memiliki nilai waktu penginjeksian yang sama yaitu 1,061 ms, 1,06 ms, 0,985 ms. Namun, pada kondisi beban 100% , *High Speed Diesel* yang memiliki waktu penginjeksian yang lebih lama yaitu dan 0,985 ms, kemudian bahan bakar B20 biji nyamplung waktu penginjeksiannya yaitu 0,909 ms.

Berapa lama waktu dari *ignition delay* dapat dipengaruhi oleh nilai dari cetane number yang dimiliki oleh bahan bakar. Semakin tinggi nilai dari *cetane number* yang dimiliki oleh suatu bahan bakar maka kemampuan bahan bakar untuk dapat bereaksi akan lebih cepat sehingga mengakibatkan waktu bahan bakar terbakar akan lebih cepat. Hal ini akan membuat waktu *ignition delay* menjadi semakin kecil. Maka dari itu, berdasarkan data grafik 4.15 maka dapat diasumsikan bahwa nilai *cetane number* bahan bakar B20 biji nyamplung lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar HSD.



Grafik 4.16. Analisa *Ignition Delay* Pada Beban 100% dengan Variasi Putaran Dari Jenis Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas merupakan analisa *Ignition Delay* pada beban 100% dengan variasi pembebanan dari bahan bakar B20 biji nyamplung dengan *high speed diesel*. Pada putaran 1800 sampai dengan 2000 rpm memiliki timing ignition yang sama yaitu 0,758 ms, 0,833 ms dan 0,909 ms. Sedangkan pada putaran 2100 dan 2200 pada bahan bakar high speed diesel memiliki timing ignition yang lebih lama dengan nilai 0,985 ms, kemudian pada bakar B20 biji nyamplung dengan nilai 0,909 ms.

Nilai dari *timing ignition* pada putaran tetap dan variasi beban akan semakin cepat *timing* nya apabila beban semakin besar dapat dilihat pada Grafik 4.15. Sedangkan ketika pada beban tetap dan variasi putaran akan semakin lama *timing* nya apabila putaran semakin besar dapat dilihat pada Grafik 4.16.

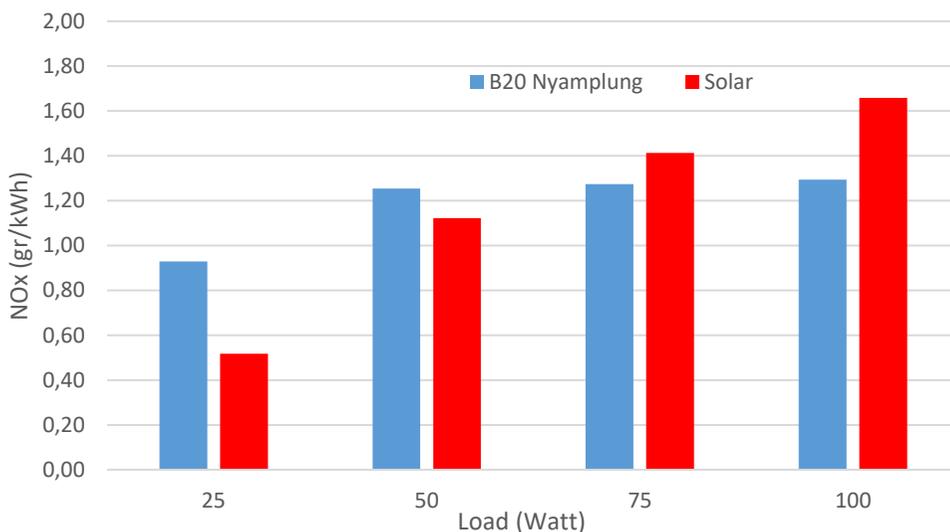
4.3. Analisa Emisi NOx

Pengujian Emisi NOx dilakukan dengan menggunakan *gas analyzer* untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini menggubnakan dua jenis bahan bakar yaitu dengan bahan bakar B20 biji nyamplung dan bahan bakar *High Speed Diesel*. Dimana perlakuan pada penelitian ini dengan RPM 100% dan variasi pembebanan 25%, 50%, 75% dan 100%.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Emisi NOx (ppm).

Load	B20 biji nyamplung (ppm)	Solar (ppm)
1,02	140	78
2,17	189	169
3,39	192	213
4,49	195	250

Pada tabel 4.2. merupakan nilai yang dihasilkan dari pengujian emisi menggunakan gas *analyzer*. Dari data yang dihasilkan menggunakan alat gas *analyzer*, berupa nilai NO dengan satuan ppm. Untuk memenuhi persyaratan dari IMO, maka hasil uji emisi yang berupa ppm harus di konversi menjadi gr/kWh. Hasil uji emisi rata – rata terbesar dihasilkan oleh bahan bakar *High Speed Diesel* dengan nilai NO yang dihasilkan sebesar 244 ppm. Bahan bakar B20 biji nyamplung mempunyai nilai gas buang emisi NO yang lebih kecil.



Garfik. 4.17. Analisa Perbandingan Emisi NOx dari Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung dengan *High Speed Diesel*.

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan perbandingan hasil nilai kadar emisi NOx antara bahan bakar B20 biji nyamplung dengan bahan bakar *High Speed Diesel* pada putaran maksimal yakni pada putaran 2200 RPM dan 4 variasi pembebanan berdasarkan metode pengujian pada regulasi IMO marpol Annex VI.

Untuk beban 25% pada putaran 2200 untuk bahan bakar B20 biji nyamplung menghasilkan keluaran NOx sebesar 0,93 gr/kWh, jumlah NOx yang dikeluarkan oleh bahan bakar ini merupakan nilai yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar

High Speed Diesel pada beban 25% menghasilkan keluaran NO_x dengan nilai 0,52 gr/kWh. Jumlah NO_x bahan bakar ini pada beban 1 belum bisa memenuhi peraturan tier 1, tier 2, maupun tier 3.

Untuk beban 50% pada putaran 2200 untuk bahan bakar B20 biji nyamplung menghasilkan keluaran NO_x sebesar 1,25 gr/kWh, jumlah NO_x yang dikeluarkan oleh bahan bakar ini mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan bahan bakar *High Speed Diesel* pada beban 50% menghasilkan keluaran NO_x dengan nilai 1,12 gr/kWh. Jumlah NO_x bahan bakar ini pada beban 2 belum bisa memenuhi peraturan tier 1, tier 2, maupun tier 3.

Untuk beban 75% pada putaran 2200 untuk bahan bakar *High Speed Diesel* menghasilkan keluaran NO_x sebesar 1,41 gr/kWh, jumlah NO_x yang dikeluarkan oleh bahan bakar mengalami kenaikan dan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan bahan bakar B20 biji nyamplung pada beban 75% mengalami penurunan keluaran NO_x dengan nilai 1,27 gr/kWh. Jumlah NO_x bahan bakar ini pada beban 3 belum bisa memenuhi peraturan tier 1, tier 2, maupun tier 3.

Untuk beban 100% pada putaran 2200 untuk bahan bakar *High Speed Diesel* menghasilkan keluaran NO_x sebesar 1,66 gr/kWh, jumlah NO_x yang dikeluarkan oleh bahan bakar ini mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan bahan bakar B20 biji nyamplung pada beban 4 kW dan daya 4,46 kW menghasilkan keluaran NO_x dengan nilai 1,29 gr/kWh. Jumlah NO_x bahan bakar ini pada daya 50% belum bisa memenuhi peraturan tier 1, tier 2, maupun tier 3.

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi daya mesin maka NO_x yang dihasilkan akan relatif semakin besar. Untuk bahan bakar B20 biji nyamplung pada beban 25% dan 50% keluaran NO_x nilainya lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar *High Speed Diesel*. Pada beban 75% dan 100% keluaran NO_x dari bahan bakar *High Speed Diesel* lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung . Pada beban 75% nilai NO_x mengalami penurunan 9,86%, sedangkan pada beban 100% nilai NO_x mengalami penurunan sebesar 22%. Pada RPM 2200 dengan variasi 4 beban hasil keluaran NO_x yang rendah sehingga belum memnuhi syarat tier 1, tier 2 dan tier 3.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN dan SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan proses pembuatan biodiesel minyak Biji Nyamplung yang didapatkan kandungan *properties*, beserta pengaruh dalam proses pembakaran dan emisi NOx dari motor diesel, maka dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil uji *properties* biodiesel minyak biji nyamplung, telah didapatkan bahwa kandungan *properties* yang dihasilkan sebagian telah memenuhi standar dari biodiesel nasional yang ditetapkan. Hanya saja untuk nilai viskositas, *flash point* dan *lower heating value* (LHV) dari biodiesel minyak biji nyamplung belum memenuhi standar, dimana nilai yang telah ditentukan untuk viskositas 2,3 sampai 6 cst. Pada *lower heating value* nilai standar telah ditentukan dengan nilai maksimal 18,288 BTU/lb dan nilai flash point tidak mencapai batas minimal dari standar yang sudah ditentukan. Nilai tersebut disebabkan karena adanya kesalahan langkah-langkah serta kadar komposisi katalis dalam proses pembuatan biodiesel sehingga menghasilkan nilai viskositas sebesar 7,23 cst , Flash Point sebesar 85⁰ dan nilai LHV biodiesel 18,336 BTU/lb.
2. Hasil proses pembakaran yang dapat diketahui dari variabel diantaranya sebagai berikut:
 - a. Untuk perbandingan *Max. Pressure* diantara bahan bakar B20 biji nyamplung dengan *high speed diesel* (HSD) pada RPM sama dan beban 25% sampai 50% nilai tekanan tertinggi lebih besar bahan bakar B20 biji nyamplung dibandingkan dengan bahan bakar HSD. Pada beban 75% sampai 100% nilai tekanan tertinggi lebih besar bahan bakar HSD.
 - b. Pada grafik *Heat Release*, pada RPM maksimal dan pembebanan yang dinaikkan maka akan semakin meningkat nilai *Heat Release*-nya. Untuk nilai *heat release* bahan bakar B20 biji nyamplung lebih besar dibandingkan dengan *high speed diesel* (HSD).
 - c. Pada grafik *Knock Detection*, pada RPM maksimal dan pembebanan yang dinaikkan maka nilai *knocking* yang terjadi akan semakin kecil. Nilai *knocking* dari bahan bakar *high speed diesel* (HSD) lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung.
 - d. Pada grafik *Ignition Delay*, dengan RPM yang sama dan pembebanan dinaikkan maka waktu penginjeksian yang terjadi akan semakin singkat. *Ignition delay*. Sedangkan *ignition delay* dengan beban yang sama dan RPM yang dinaikkan maka waktu penginjeksian yang terjadi semakin lama. Pada bahan bakar *high speed diesel* (HSD) membutuhkan waktu

penginjeksian yang lebih lama dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung.

3. Pada pengujian emisi NO_x, dengan RPM yang sama dan pembebanan dinaikkan nilai keluaran dari NO_x semakin besar. Pada beban 25% sampai 50% nilai keluaran NO_x dari bahan bakar B20 biji nyamplung lebih besar dibandingkan dengan *high speed diesel* (HSD). Sedangkan pada beban 75% sampai 100% nilai keluaran NO_x dari bahan bakar HSD lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung. Sehingga bahan bakar B20 biji nyamplung lebih baik dibandingkan dengan HSD.

5.2. Saran

- a. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan emisi dan proses pembakaran biodiesel biji nyamplung ini dengan bahan bakar biodiesel berpotensi lainnya.
- b. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh emulsi biodiesel biji nyamplung terhadap emisi gas buang mesin diesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhaq, Saif. 2016. *Analisa Emisi Berbasis Eksperimen Dan Kelayakan Ekonomis Bahan Bakar Biodiesel Umbi Porang (Amarphallus Onchophillus)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Anonim. 2008. “*Pusat Penelitian Dan Pengembangan Hasil Hutan (P3hh) Telah Melaksanakan Penelitian Pembuatan Biodiesel Dari Biji Nyamplung (Calophyllum inophyllum L.)*”. [Online]. Tersedia: <http://www.forda-mof.org>. Diakses 9 Desember 2014
- Arismunandar dan Tsuda. 1986. *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Asokan, Miftahul. A., Prabu, S. Senthur., Kamesh, Shikhar., Khan, Wasiuddin. *Performance, combustion and emission characteristics of diesel engine fuelled with papaya and watermelon seed oil bio-diesel/diesel blends*. VIT University. India.
- Budi, Fiki Ardian Setio. 2016. *Analisa Engine Perform dan Combustion Process dari Mesin Diesel Berbahan Bakar Biodiesel – Minyak Kemiri Sunan*. Skripsi pada Departemen Teknik Sistem Perkapalan ITS
- Cai, Lu Xing., Yang, Jian-Guang., Zhang, Wu-Gao., Zhen, Huang. 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
- Hariram. 2013. *Combustion Analisis Of Algal Oil Methylene In Direct Injection Compression Ignition Engine*. India
- Jakfar, Amin dan Bambang. (2014). “*Pembuatan Dan Pengujian Biodiesel Biji Nyamplung Pada Mesin Diesel Multi Injeksi Dengan Variasi Komposisi Campuran Biodiesel Dan BioHigh Speed Diesel* ”., Institut Teknologi Sepuluh Nopember., Surabaya.
- Kristanto. 2015. *Motor Bakar Torak (Teori & Aplikasinya)*. Yogyakarta: Penerbit Andi
- Malik, Azhar dan David E., 2015., *Study of Biodiesel Emission Characteristics in Internal Combustion Engine* ., *Norwegia University of Science and Technology.*, *Departement of Energy and Process Engineering.*

- Nathasya. 2008. *Sintesis Metil Ester (Biodiesel) dari Minyak Biji Kemiri (Aleurites moluccana) Hasil Eksteraksi Melalui Metode Ultrasonikimia*. UI, Depok.
- Pranowo, Dibyo. 2014. *Pembuatan Biodiesel dari Kemiri Sunan (Reutealis trisperma (Blanco) Airy Shaw) dan Pemanfaatan Hasil Samping*. IAARD Press. Jakarta.
- Ramos, B. 2012. *“Production Of Biodiesel From Vegetable Oils”*. Departement of Chemical Science and Tecnology, Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm, Sweden
- Sahirman. 2009. *Perancangan Proses Produksi Biodiesel dari Minyak Biji Nyamplung (Calophyllum inophyllum L.)*. Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor.
- Suntaro. 2011. *Minyak Jarak dan Alternatif Bioenergi* Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Susila, I Wayan. 2010. *Kinerja Mesin Diesel Memakai Bahan Bakar Biodiesel Biji Karet dan Analisa Emisi Gas Buang*. Teknik Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.

LAMPIRAN 1

1. Proses Pembuatan Biodiesel

Dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen berupa proses pembuatan biodiesel dari bahan baku biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*). Pada proses pembuatan biodiesel akan dilakukan beberapa tahapan atau proses dengan bantuan katalis *methanol* dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi. Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan biodiesel, diantaranya:

- Alat : - Neraca
 - *Erlen meyer*
 - Gelas ukur
 - Pipet tetes
 - Timbangan analitik
 - Pengaduk kaca
 - *Hot plate* / Pemanas
 - Termometer
 - Jarum Suntik
 - Wadah *Stainless Steel*
 - Pengaduk
 - Botol Kaca

- Bahan : - Minyak Biji Nyamplung (*crude oil*)
 - Metanol
 - *Aquades*
 - CaO
 - H_2SO_4
 - *O-Phosporic Acid* 85% (H_3PO_4)
 - Fenolftalein
 - High Speed Diesel

Dalam pembuatan biodiesel dari bahan baku biji nyamplung ada beberapa tahapan yang harus dilakukan, antara lain:

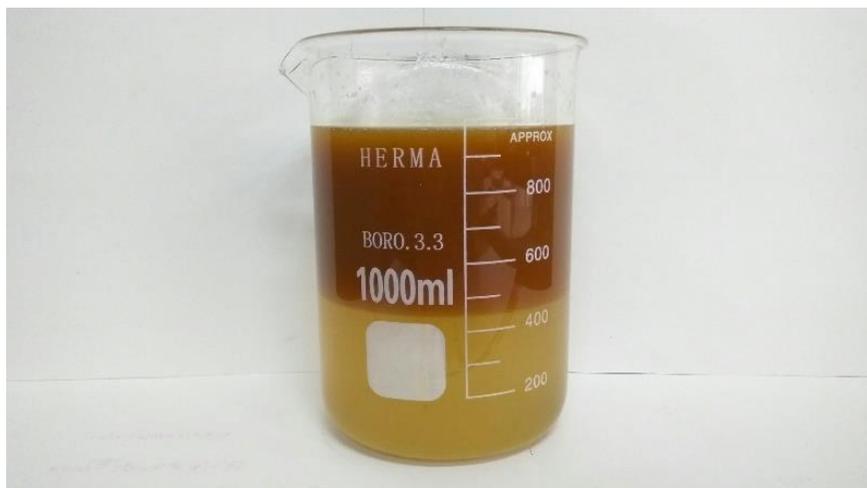
1.1. Proses Pengepresan Biji Nyamplung

Metode pengepresan yang digunakan dalam pembuatan biodiesel Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) adalah metode pengepresan berulir (*screw press*). Cara ekstraksi ini paling sesuai untuk memisahkan minyak dari bahan dengan kadar rendamen di atas 10%. Prinsip oprasinya yaitu bahan mendapat tekanan dari ulir yang berputar dan dengan sendirinya terdorong keluar. Minyak keluar melalui celah di antara ulir dan penutup yang dapat berupa pipa atau lempengan besi berongga yang mempunyai celah dengan ukuran tertentu, sedangkan ampasnya keluar dari tempat yang lain. Dengan biji kemiri sunan seberat 5 kg, didapatkan minyak *cruide* sebanyak 2 liter.

1.2. Proses Pemisahan Gum atau Getah (*Degumming*)

Degumming adalah proses pemisahan *gum*, yaitu proses pemisahan getah atau lendir yang terdiri dari fosfolipid, protein, residu, karbohidrat, air dan resin. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk proses pemisahan *gum* antara lain adalah pemanasan, penambahan asam (H_3PO_4 , H_2SO_4 dan HCl) atau basa ($NaOH$). Dalam pemisahan *Gum* pada minyak biji nyamplung ini menggunakan asam jenis H_3PO_4 . Proses pemisahan *gum* ada beberapa tahap, di antaranya :

1. Minyak *Cruide* Biji Nyamplung yang telah di press, dipanaskan dengan hingga suhu mencapai $\pm 80^{\circ}C$.
2. Setelah mencapai suhu $80^{\circ}C$ kemudian menambahkan asam fosfat (H_3PO_4) sebanyak 5% (v/v)
3. Aduk dan pertahankan suhu pemanas pada $\pm 80^{\circ}C$ selama 15 menit menggunakan pengaduk.
4. Masukkan kedalam gelas beker , kemudian dilakukan pencucian menggunakan aquades yang sudah dipanaskan sampai suhu $\pm 60^{\circ}C$ dan diaduk hingga mencampur.
5. Mendinginkan hasil pencucian selama 1 hari, agar air dengan gum yang terikat turun dan terpisah dengan minyak.
6. Setelah mengendap, proses pemisahan *gum* dapat dilakukan.



Gambar 1.1. Hasil Degumming

Proses degumming menghasilkan endapan sebanyak 8 mL dari minyak biji nyamplung sebanyak 200 mL atau 4% dari volume minyak biji nyamplung.

1.3. Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi bertujuan untuk menurunkan kadar asam bebas untuk proses transesterifikasi. Berikut proses esterifikasi minyak biji nyamplung.

1. Membuatlah larutan metoksida yaitu campuran katalis asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 10% (v/v) dengan metanol dengan perbandingan mol minyak dan metanol 1:40.
2. Memanaskan campuran katalis dengan metanol hingga tercampur.
3. Memanaskan hasil *degumming* minyak *cruide* biji nyamplung hingga mencapai suhu $45 - 50^\circ\text{C}$.
4. Menambahkan campuran katalis asam sulfat (H_2SO_4) dan metanol kedalam minyak yang sudah dipanaskan $\pm 45 - 50^\circ\text{C}$ sedikit demi sedikit sambil diaduk.
5. Lanjutkan proses pemanasan dan pengadukan yang sudah tercampur dengan metoksida dan dipertahankan pada suhu $45 - 50^\circ\text{C}$ selama ± 15 menit.
6. Angkat dan diamkan hingga suhu ruangan, kemudian masukkan kedalam gelas beker. Dan diamkan selama ± 8 jam.



Gambar 1.2. Hasil Esterifikasi

1.4. Proses Trans-esterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan salah satu proses dalam pembuatan biodiesel yang bertujuan untuk merubah minyak menjadi metil ester dengan cara memisahkan minyak dengan gliserol. Pada proses transesterifikasi ini menggunakan

katalis metanol dan katalis basa yaitu KOH. Berikut proses transesterifikasi minyak biji nyamplung:

1. Memanaskan minyak biji nyamplung yang sudah diesterifikasi sebanyak hingga mencapai suhu $55 - 60^{\circ}\text{C}$.
2. Membuat larutan metoksida yaitu campuran katalis basa (KOH) 4% (ww) dengan metanol (ratio mol minyak-metanol 1:9)
3. Menambahkan campuran katalis basa (KOH) dan metanol kedalam minyak yang sudah dipanaskan $55 - 60^{\circ}\text{C}$ sedikit demi sedikit sambil diaduk.
4. Melanjutkan proses pemanasan dan pengadukan yang sudah tercampur dengan metoksida dan mempertahankan pada suhu 55°C selama 1 jam.
5. Melakukan pencucian, dengan menambahkan Aquades yang sudah dipanaskan kedalam minyak hasil transesterifikasi dan melakukan pengadukan sampai tercampur. Diamkan campuran hingga terjadi pengendapan/sparasi ± 8 jam.
6. Setelah terjadi sparasi, lakukan pemisahan.

1.5. Hasil Pengujian *Properties* Biodiesel Minyak Biji Nyamplung



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
 Gedung Pusat Riset, Lantai Lobby, Kampus ITS Sukolilo - Surabaya 60111
 Telp : 031 - 5953759, Fax : 031 - 5955793, PABX : 1404, 1405
<http://www.lppm.its.ac.id>

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Asrija Wafiq

Alamat Pemilik : Teknik Sistem Perkapalan ITS

Nama Contoh : **B100 Biodiesel Nyamplung** Tanggal Terima : 22 Juni 2018

Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 25 Juni 2018

Contoh : Volume :- Tanggal Selesai : 05 Juli 2018

Kemasan : Botol Pengujian : 05 Juli 2018

Kode Contoh : **EN-028** Jumlah Contoh : 01

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	B 100 Biodiesel Nyamplung	<i>Kinematic Viscosity at 40°C</i>	7,23	cSt	ASTM D 445-97
		<i>Densitas at 40°C</i>	0,860	-	Piknometer
		<i>Lower Heating Value</i>	18.336	BTU/lb	ASTM D 240
		<i>Flash Point</i>	85	°C	ASTM D 93-00
		<i>Pour Point</i>	-7	°C	ASTM D 97-85

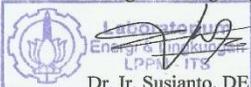
Catatan : Untuk Angka Cetane Range Pengujiannya 20-100

Suhu : 20,4°C
 Humidity : 43%
 Analisis : NRS, MBB, EVY, WNN

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Kepala Laboratorium
Energi dan Lingkungan



Dr. Ir. Susianto, DEA
NIP. 19620820 198903 1 004

Koordinator Teknis



Vita Yuliana, S.Si
NIP. 1990201822404

FR/LEL-ITS/7.8-01 Laporan Hasil Pengujian

Ter/Rev./TP: 2/1/30/04/2018

Gambar 1.3. Hasil Pengujian *Properties* Biodiesel Minyak Biji Nyamplung

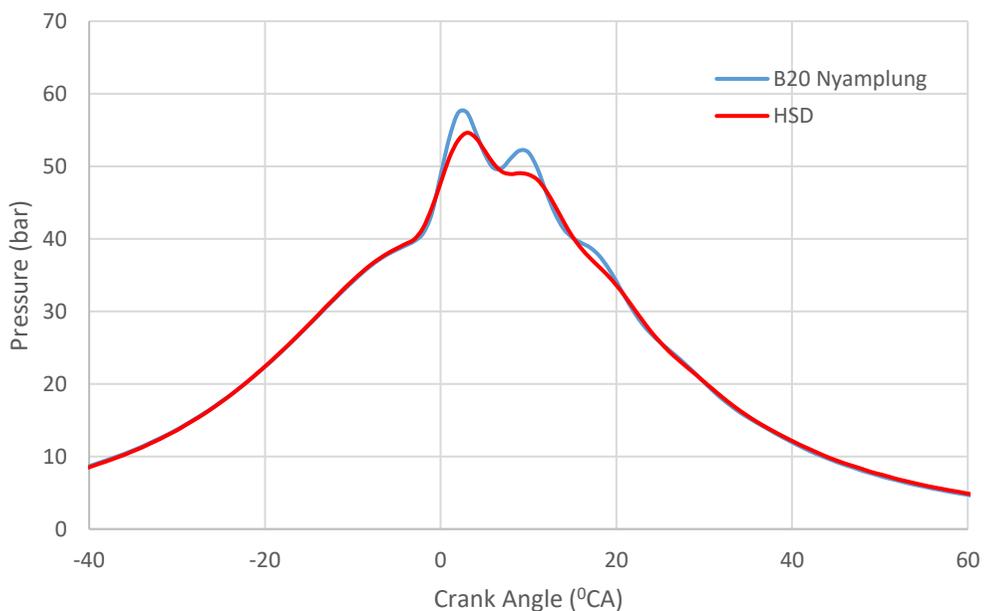
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN 2

2. Analisa Proses Pembakaran

2.1. Analisa Max. Pressure pada RPM 1800 Beban 25% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan High Speed Diesel.

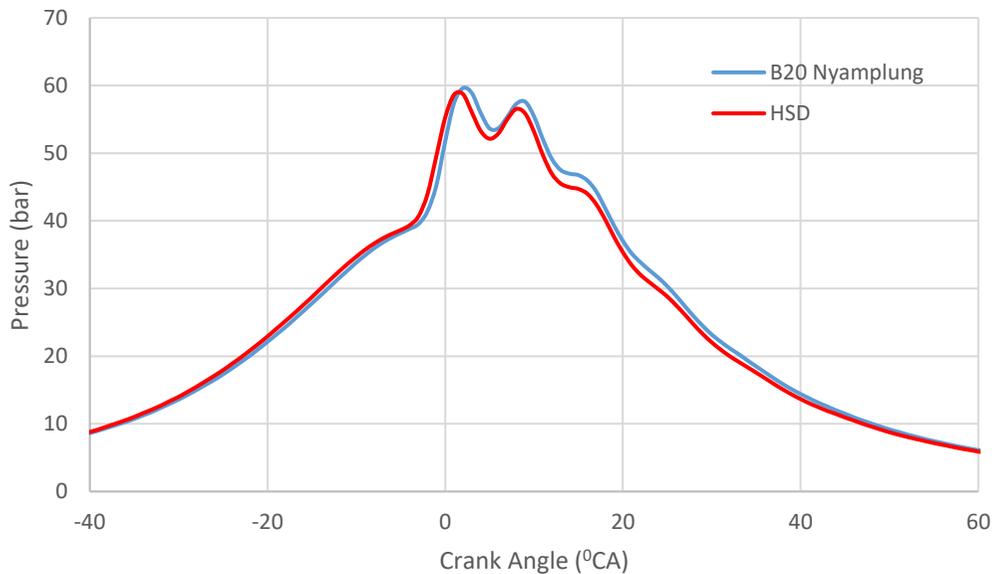
Analisa grafik ini merupakan analisa *Max. Pressure*. Analisa dilakukan ketika mesin dalam keadaan RPM maksimum dengan beban 25%. Pada grafik dibawah akan terlihat perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar B20 biji nyamplung dengan *High Speed Diesel* dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 2.1. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1800 Beban 25% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1800 pada Load 25% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 57,41 bar pada posisi 3° setelah TMA, kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 54,61 bar pada 3° setelah TMA.

2.2. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 1800 Beban 50% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

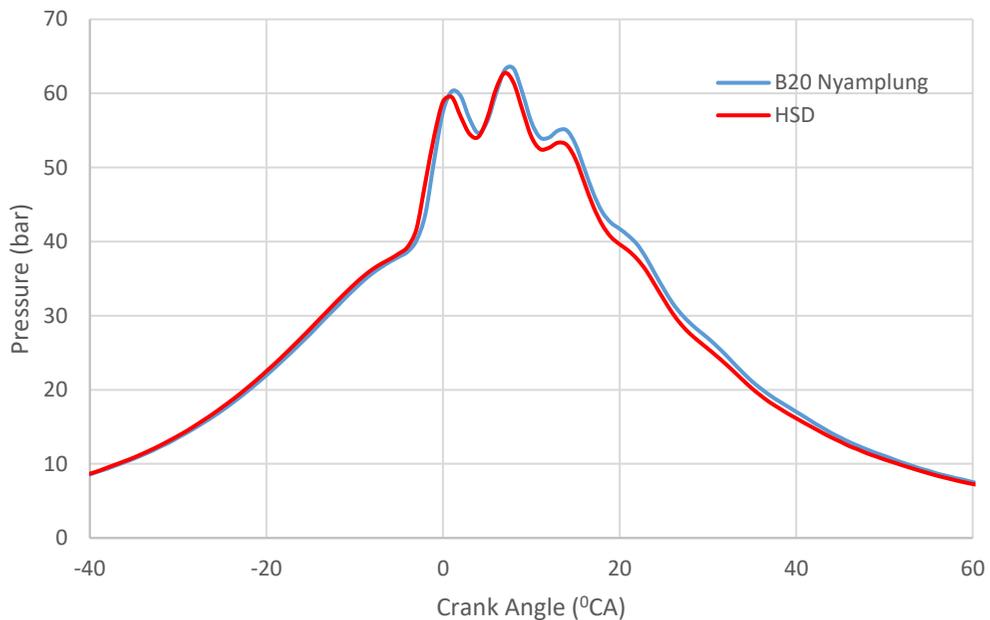


Grafik 2.2. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1800 Beban 50% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18⁰ sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1800 pada Load 50% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 59,62 bar pada posisi 2⁰ setelah TMA, kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 58,74 bar pada 2⁰ setelah TMA.

2.3. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 1800 Beban 75% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1800 RPM dengan beban 75%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

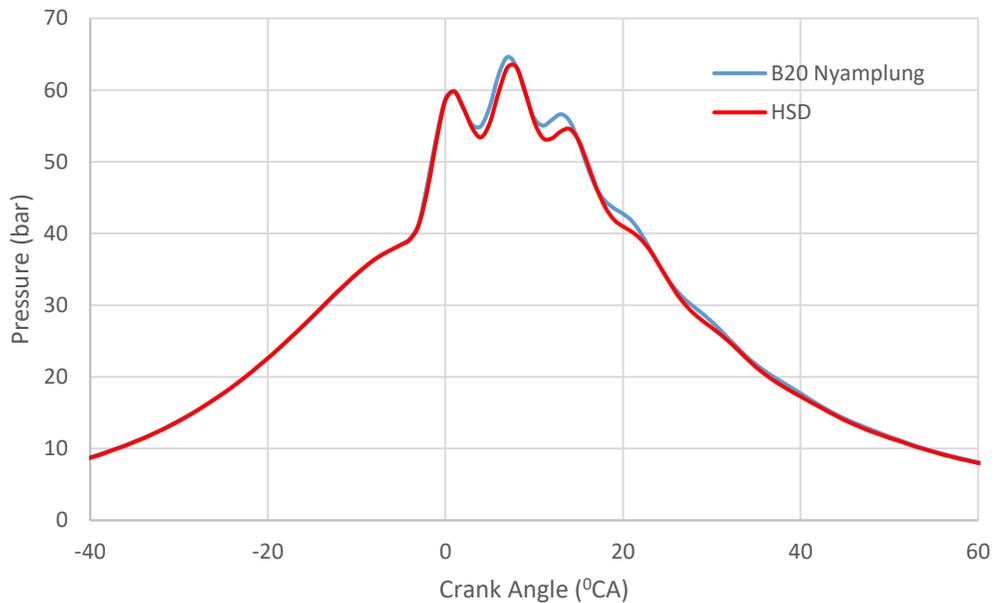


Grafik 2.3. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1800 Beban 75% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1800 pada Load 75% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 63,33 bar pada posisi 8° setelah TMA, kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 62,76 bar pada 7° setelah TMA.

2.4. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1800 RPM dengan beban 75%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

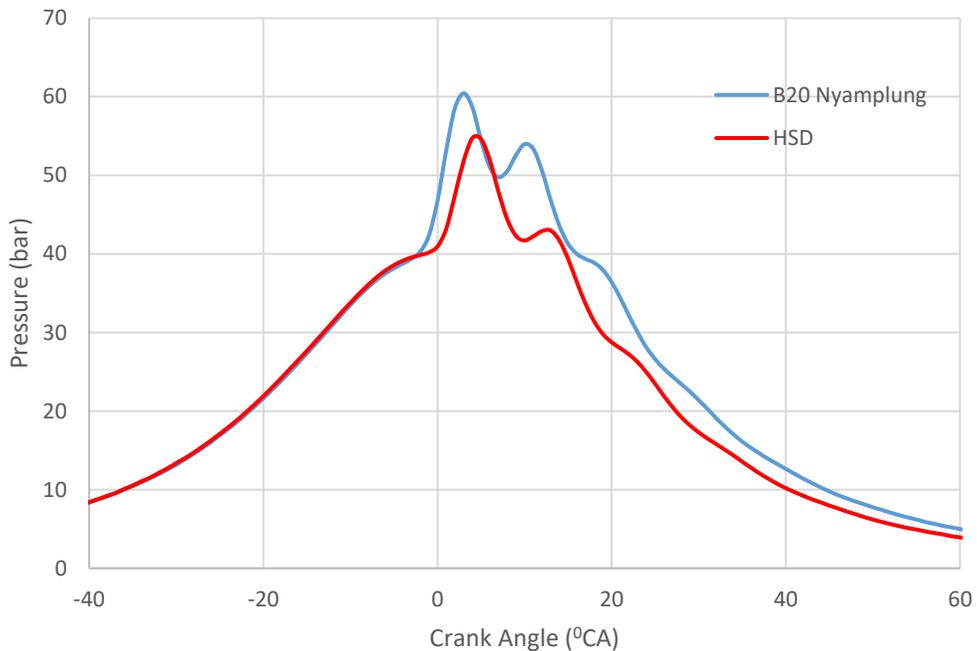


Grafik 2.4. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1800 Beban 100% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1800 pada Load 100% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 64,62 bar pada posisi 7° setelah TMA, kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 63,19 bar pada 8° setelah TMA.

2.5. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 1900 Beban 25% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1900 RPM dengan beban 25%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

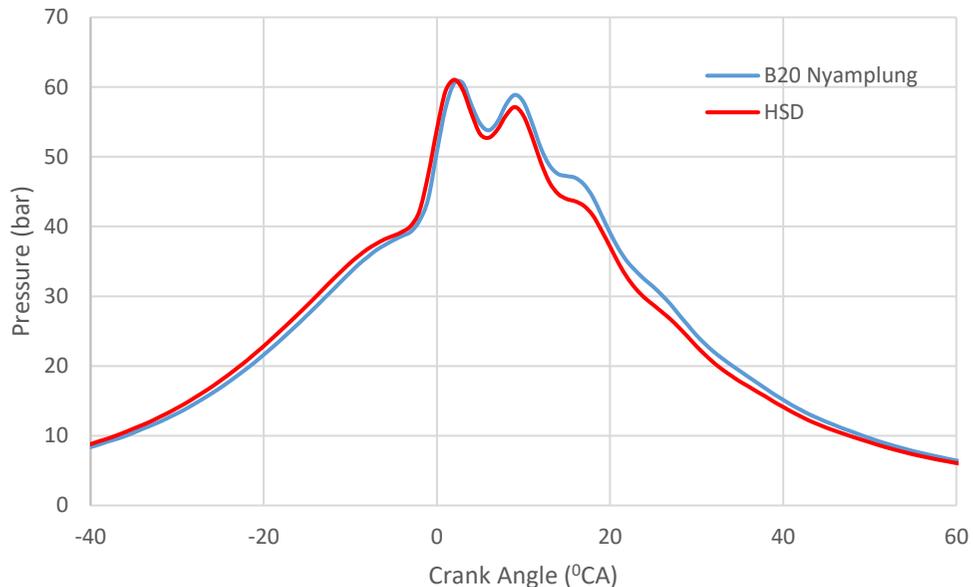


Grafik 2.5. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1900 Beban 25% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1900 pada Load 25% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 60,45 bar pada posisi 3° setelah TMA, kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 54,75 bar pada 4° setelah TMA.

2.6. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 1900 Beban 50% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1900 RPM dengan beban 50%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

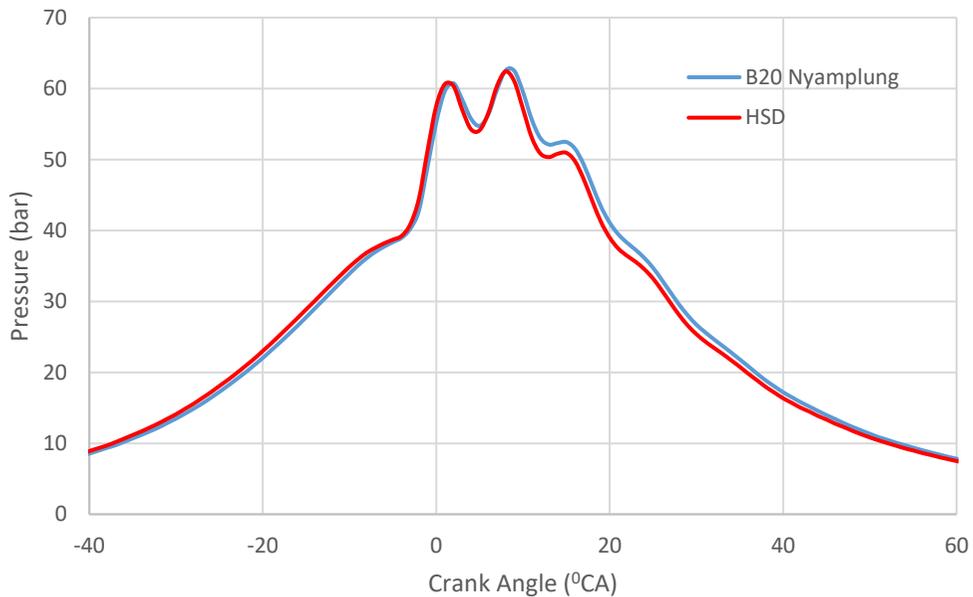


Grafik 2.6. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1900 Beban 50% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1900 pada Load 50% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 61,04 bar pada 2° setelah TMA. kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 60,55 bar pada posisi 3° setelah TMA.

2.7. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 1900 Beban 75% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1900 RPM dengan beban 75%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

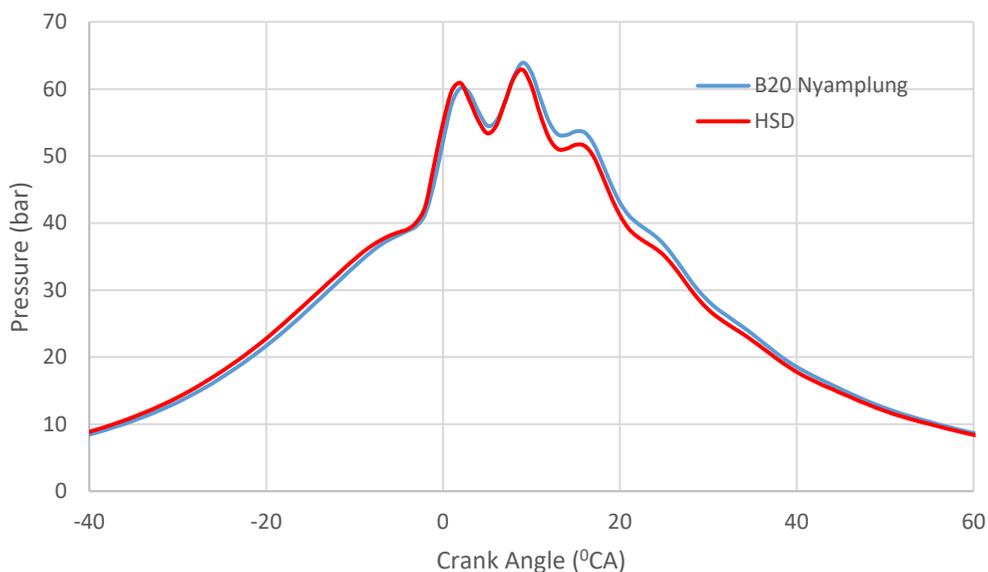


Grafik 2.7. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1900 Beban 75% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1900 pada Load 75% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 62,55 bar pada 9° setelah TMA. Kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 62,41 bar pada posisi 8° setelah TMA.

2.8. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1900 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

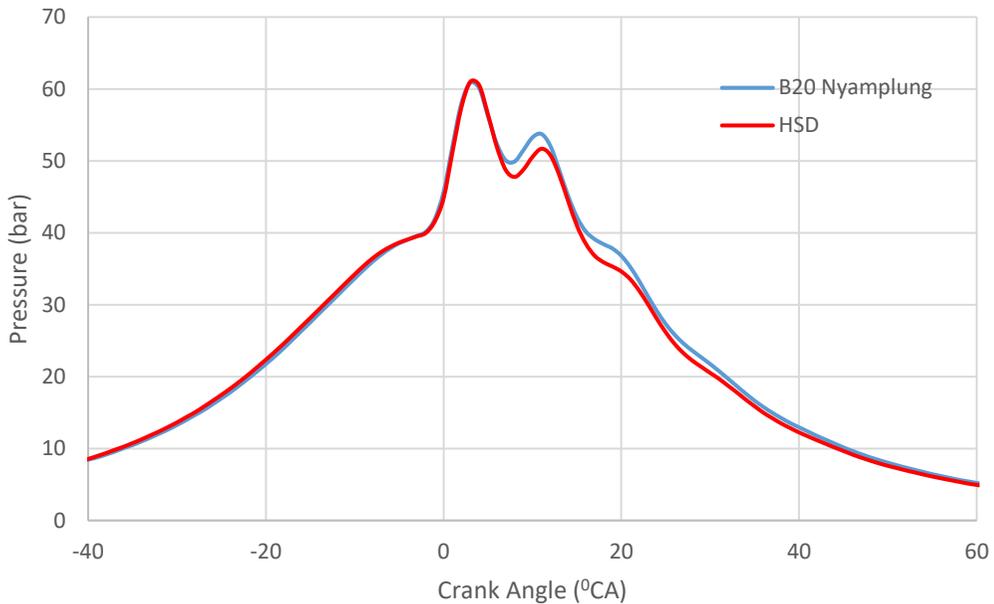


Grafik 2.8. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 1900 Beban 100% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 1900 pada Load 100% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 63,9 bar pada 9° setelah TMA. Kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 62,87 bar pada posisi 8° setelah TMA.

2.9. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 2000 Beban 25% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2000 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

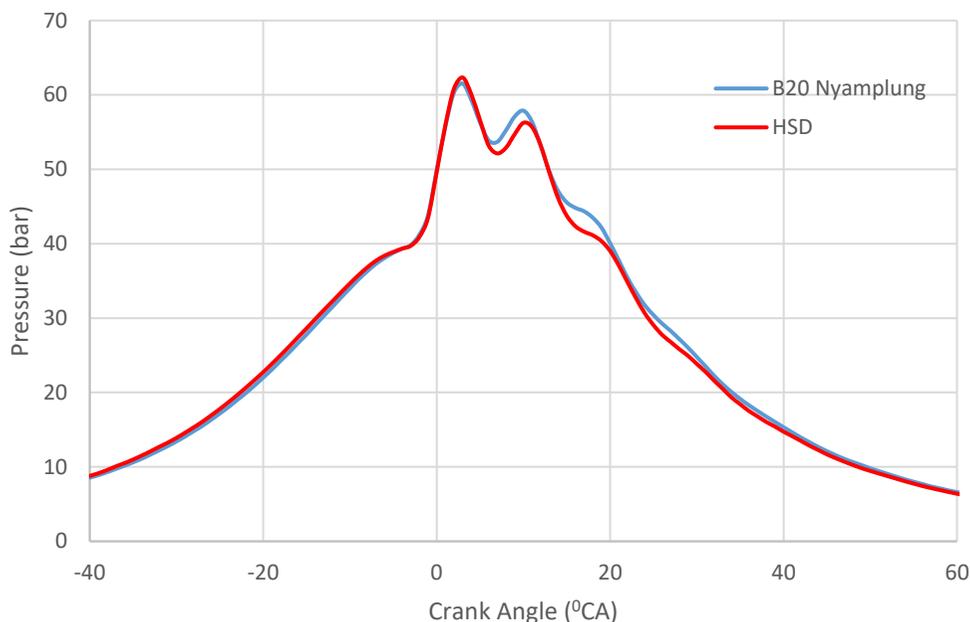


Grafik 2.9. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2000 Beban 25% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2000 pada *load* 25% adalah *High Speed Diesel* (HSD) dengan nilai 60,99 bar pada 3° setelah TMA. Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 60,84 bar pada posisi 3° setelah TMA.

2.10. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 2000 Beban 50% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2000 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

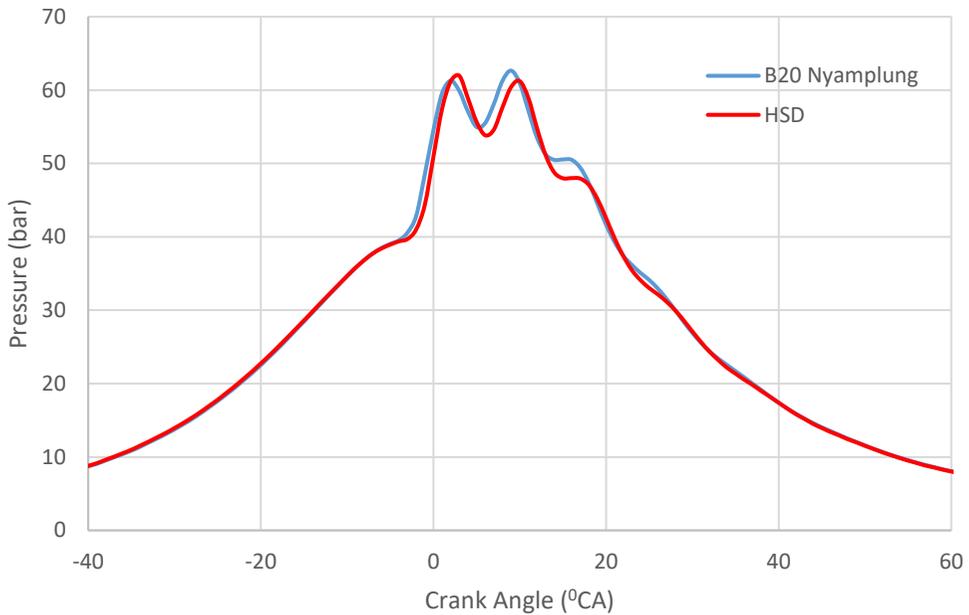


Grafik 2.10. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2000 Beban 50% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2000 pada *load* 50% adalah *High Speed Diesel* (HSD) dengan nilai 62,34 bar pada 3° setelah TMA. Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 61,53 bar pada posisi 3° setelah TMA.

2.11. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 2000 Beban 75% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2000 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

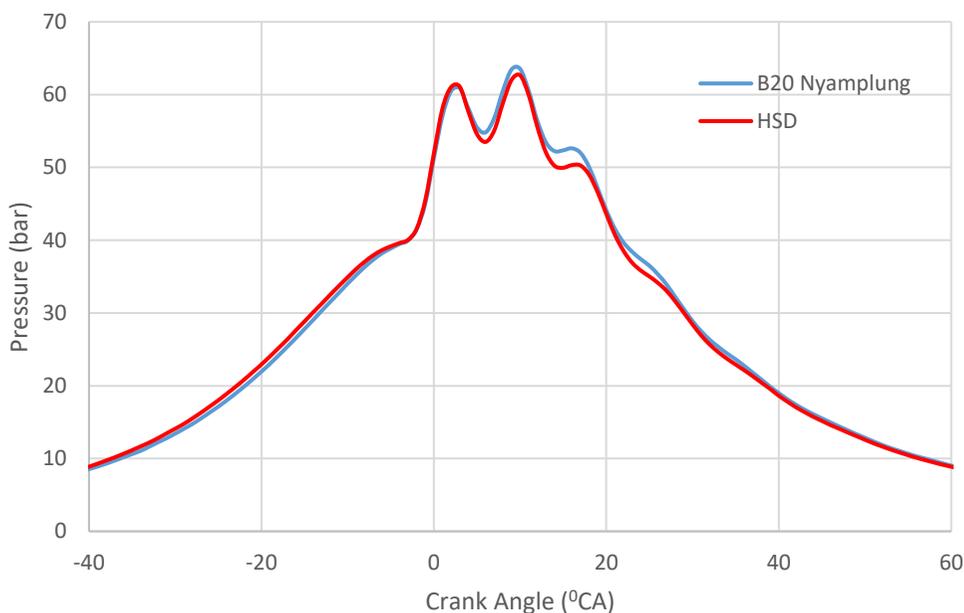


Grafik 2.11. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2000 Beban 75% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2000 pada Load 75% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 62,64 bar pada 9° setelah TMA. Kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 61,95 bar pada posisi 3° setelah TMA.

2.12. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2000 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

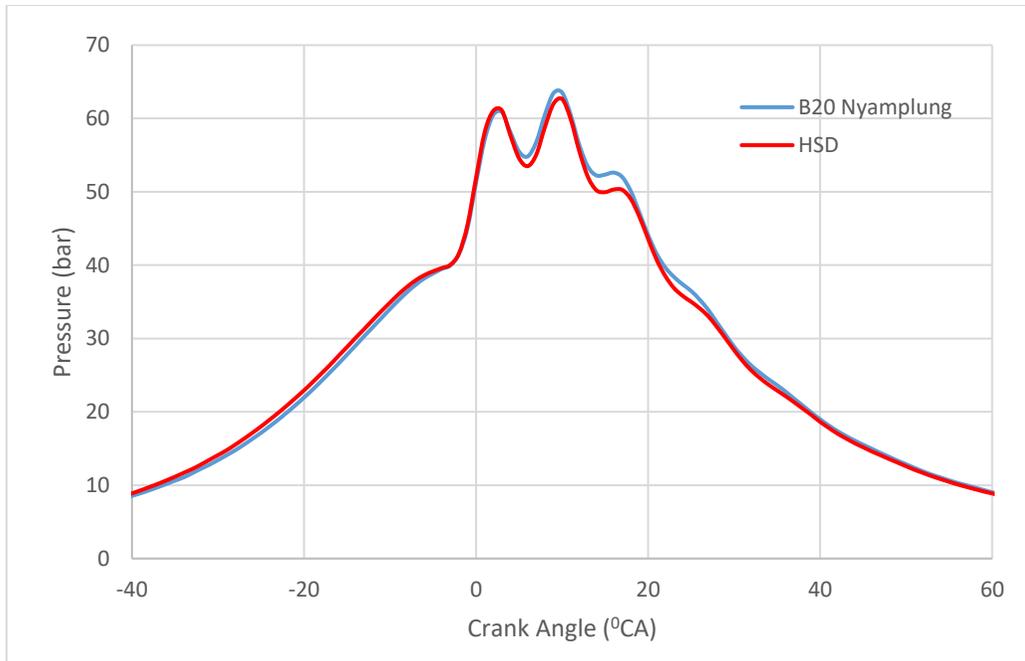


Grafik 2.12. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2000 Beban 100% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Max. Pressure* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap angle (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tekanan tertinggi di RPM 2000 pada Load 100% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 63,54 bar pada 10^0 setelah TMA. Kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 62,66 bar pada posisi 10^0 setelah TMA.

2.13. Analisa *Max. Pressure* pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

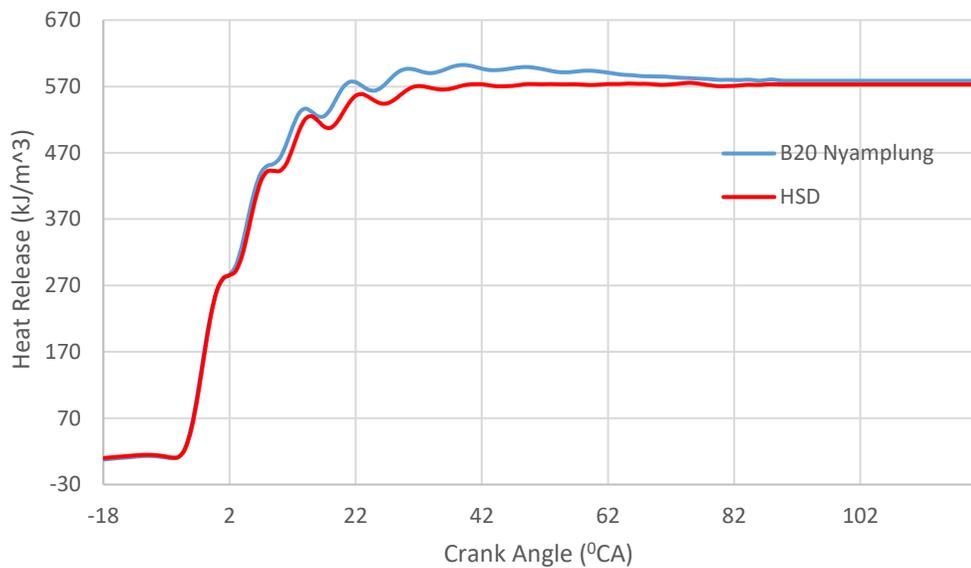
Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Max. Pressure* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2100 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Max. Pressure* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



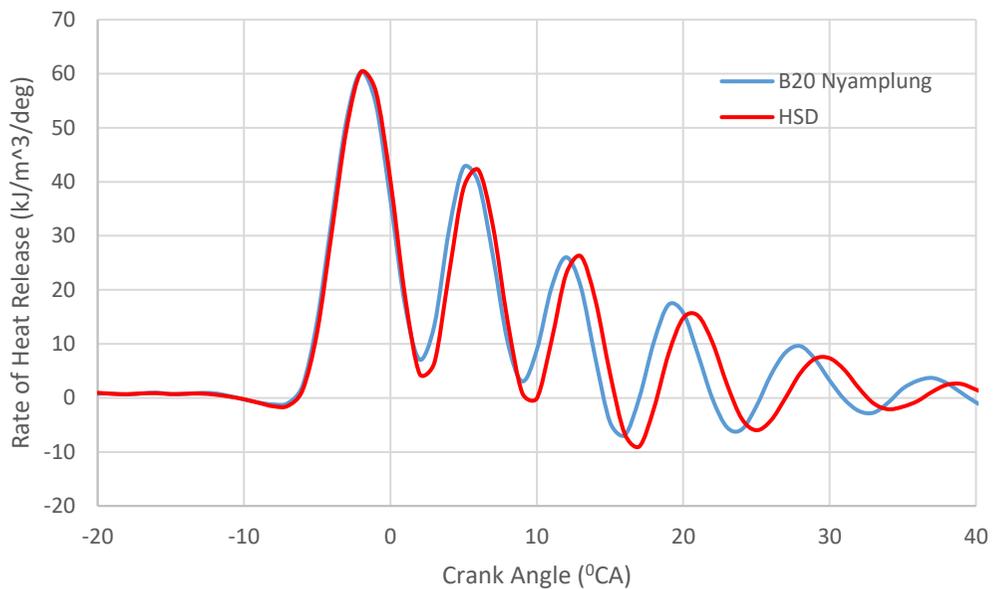
Grafik 2.13. Analisa *Max. Pressure* Pada RPM 2000 Beban 100% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

2.14. Analisa *Heat Release* pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1800 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Rate of Heat Release* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 2.14. Heat Release Pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan High Speed Diesel.



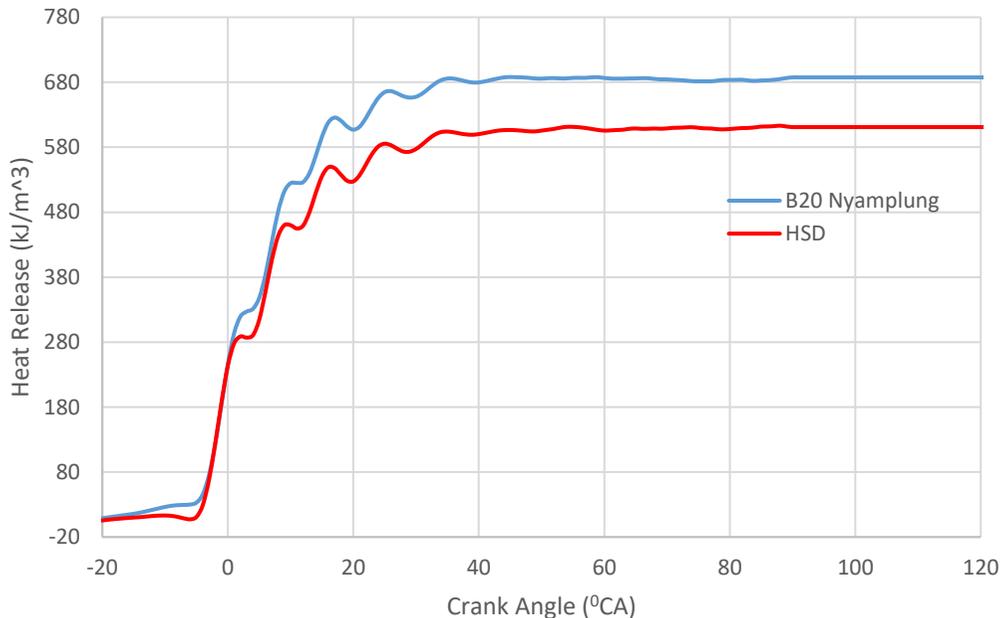
Grafik 2.15. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-

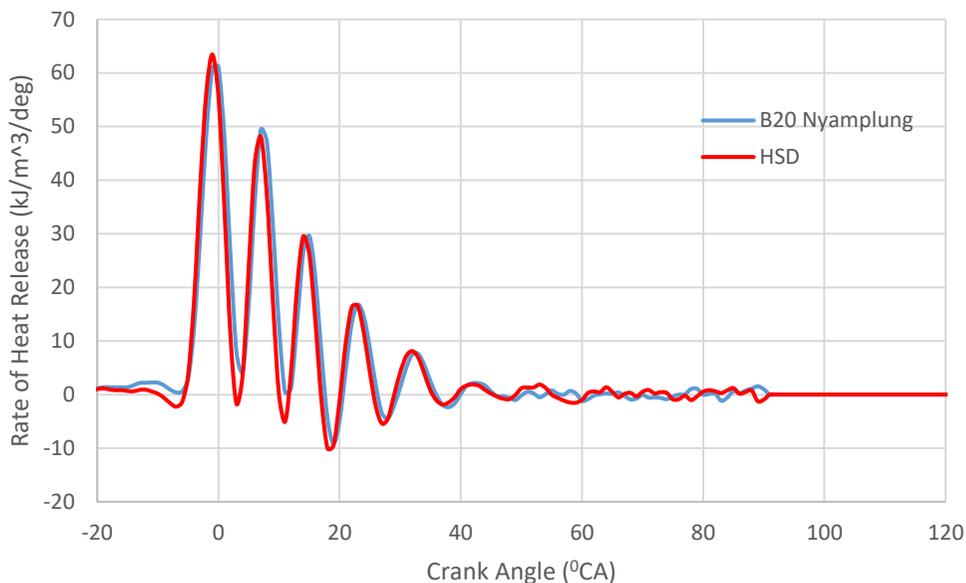
85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 1800 pada *load* 100% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai $60,37 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada 2° sebelum TMA. Kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai $60,33 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi 2° sebelum TMA.

2.15. Analisa *Heat Release* pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1900 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Rate of Heat Release* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 2.16. *Heat Release* Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

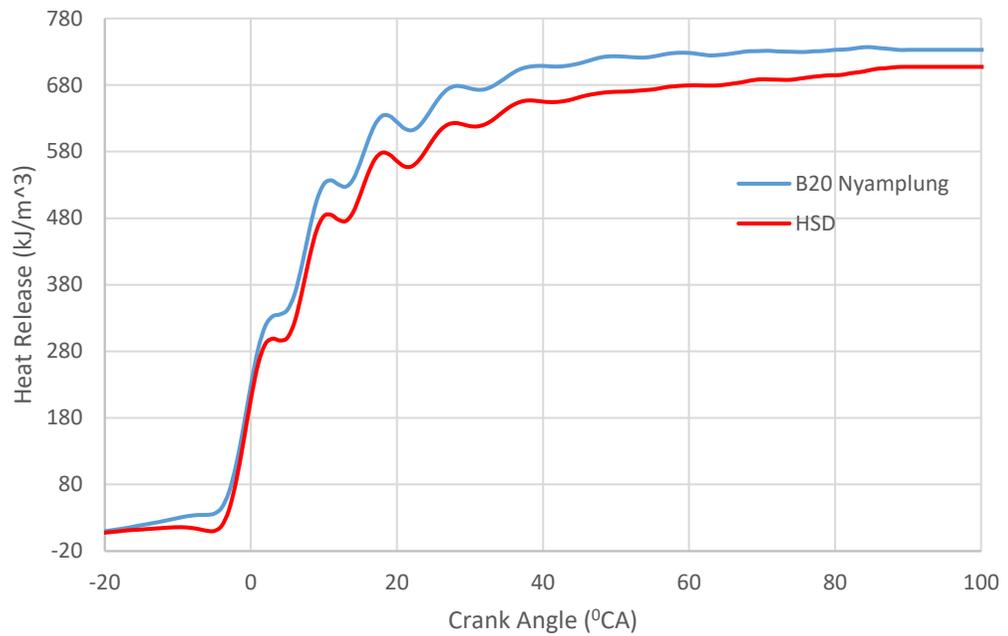


Grafik 2.17. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

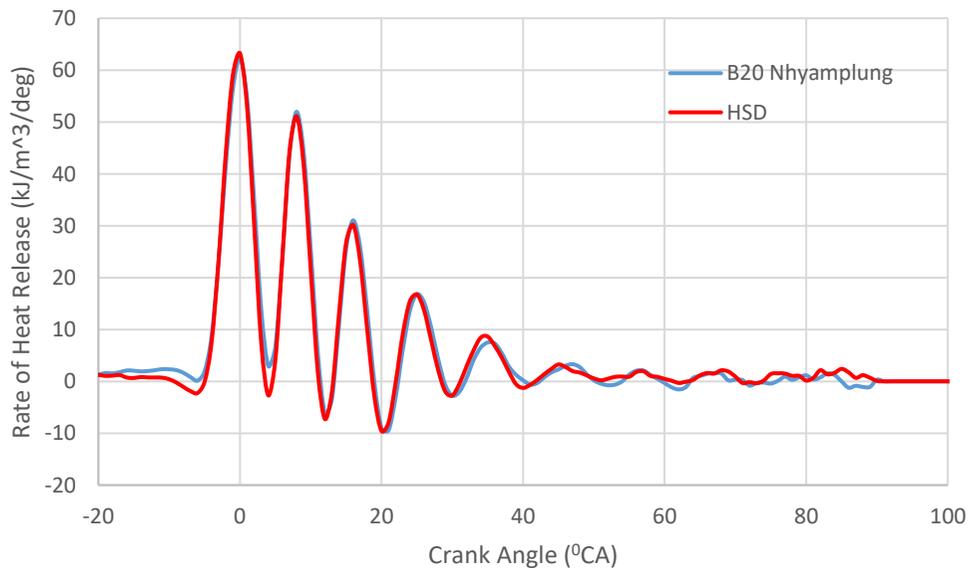
Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 1900 pada *load* 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 63,46 kJ/m³/deg pada posisi 1° sebelum TMA. Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 61,12 kJ/m³/deg pada posisi TMA 0° .

2.16. Analisa *Heat Release* pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Rate of Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2000 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Rate of Heat Release* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 2.18. *Heat Release* Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

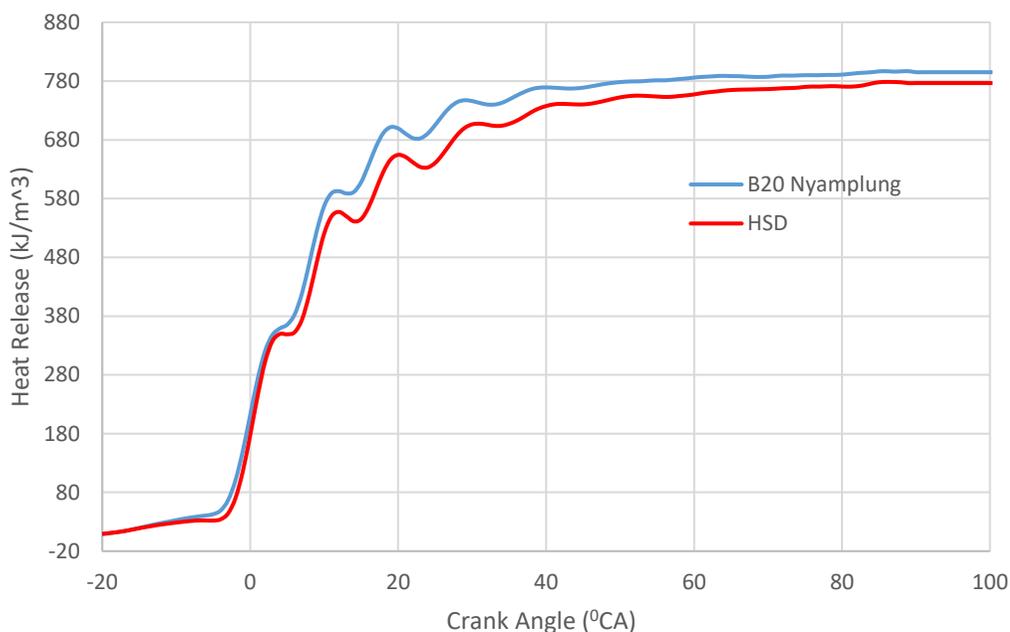


Grafik 2.19. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

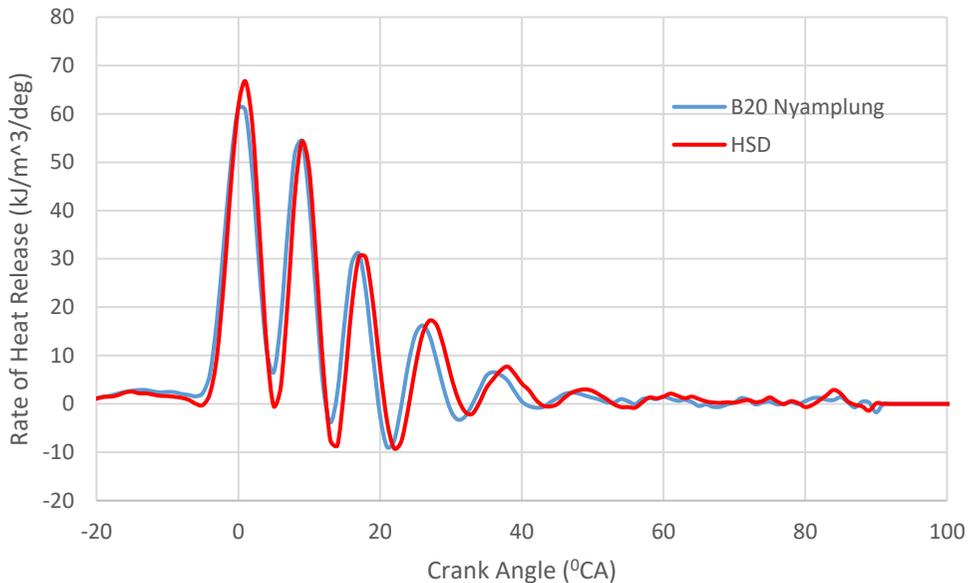
Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 2000 pada *load* 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai $63,25 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi TMA 0° . Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai $62,38 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi TMA 0° .

2.17. Analisa *Heat Release* pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Rate of Heat Release* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2100 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Rate of Heat Release* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 2.20. *Heat Release* Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

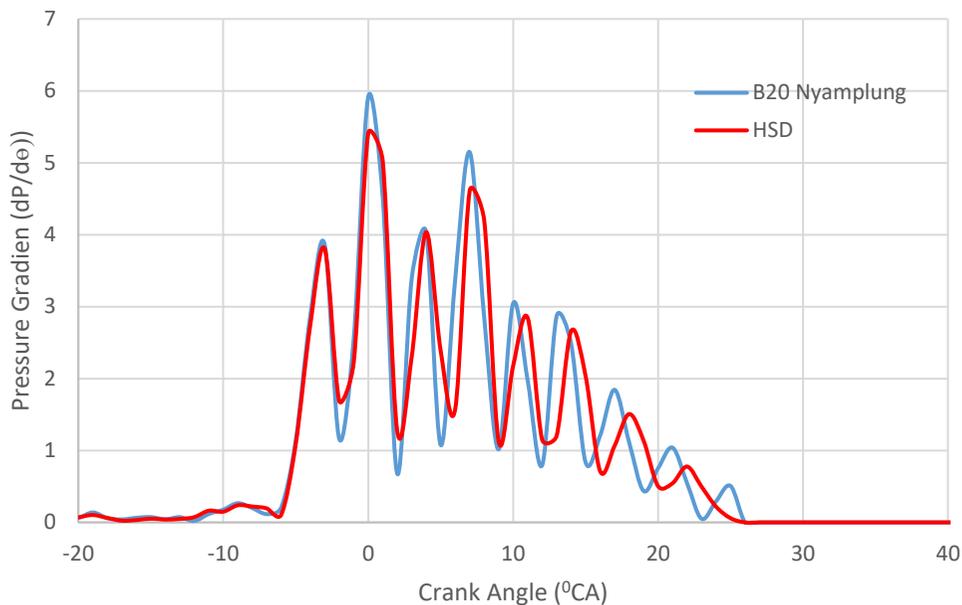


Grafik 2.21. Analisa *Rate of Heat Release* Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Rate of Heat Release* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 2100 pada *load* 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai $66,76 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi 1° setelah TMA . Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai $61,18 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$ pada posisi TMA 0° .

2.18. Analisa *Knock Detection* pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Knock Detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1800 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

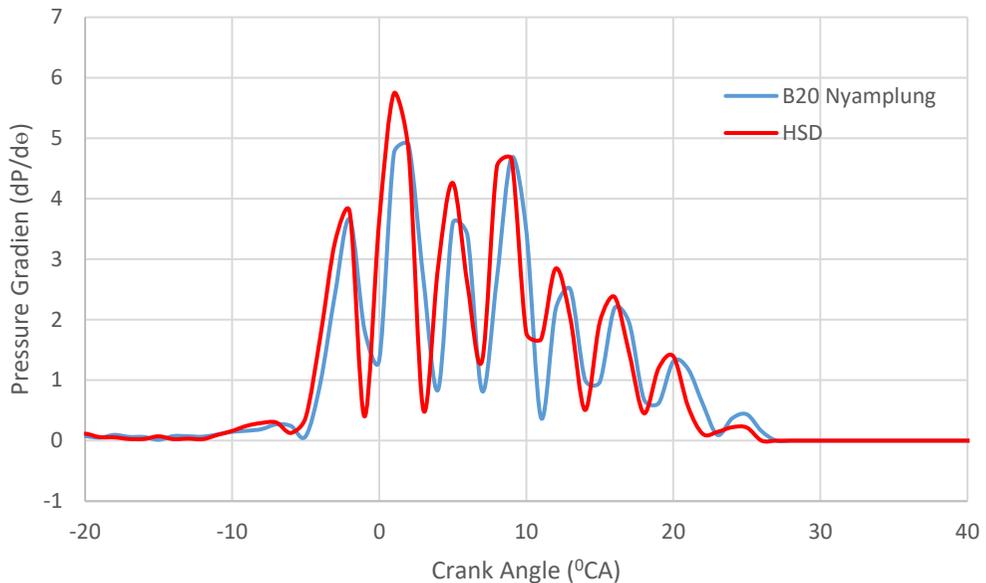


Grafik 2.17. Analisa *Knock Detection* Pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 1800 pada *load* 100% adalah B20 biji nyamplung dengan nilai 5,94 dP/d θ pada posisi TMA 0^0 . Kemudian *High Speed Diesel* dengan nilai 5,4 dP/d θ pada posisi TMA 0^0 .

2.19. Analisa *Knock Detection* pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Knock Detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1900 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

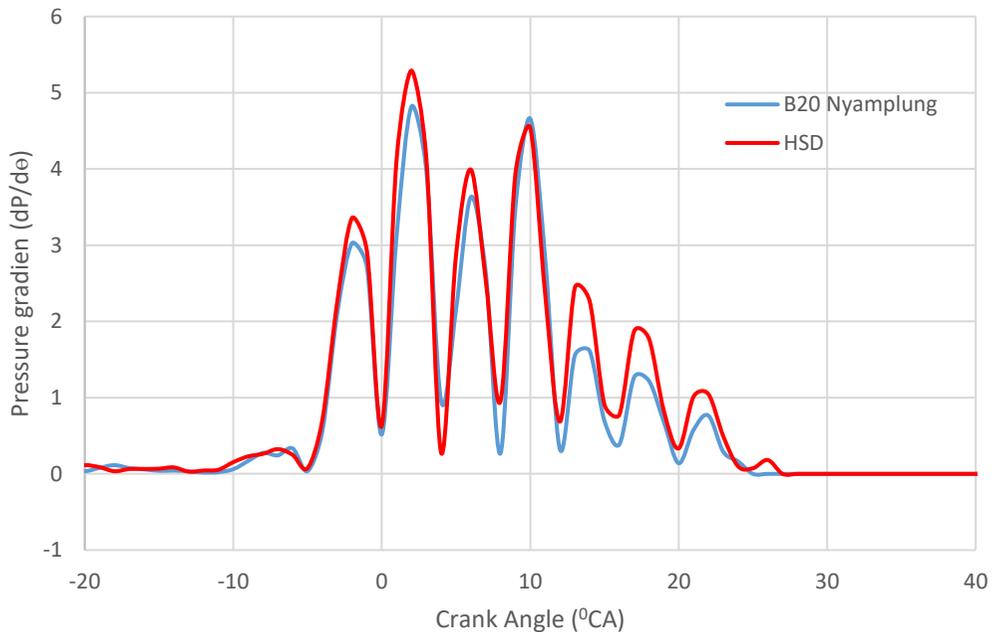


Grafik 2.18. Analisa *Knock Detection* Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 1900 pada *load* 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 5,73 dP/dθ pada posisi 1° setelah TMA . Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 4,89 dP/dθ pada posisi 2° setelah TMA.

2.20. Analisa *Knock Detection* pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Knock Detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2000 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

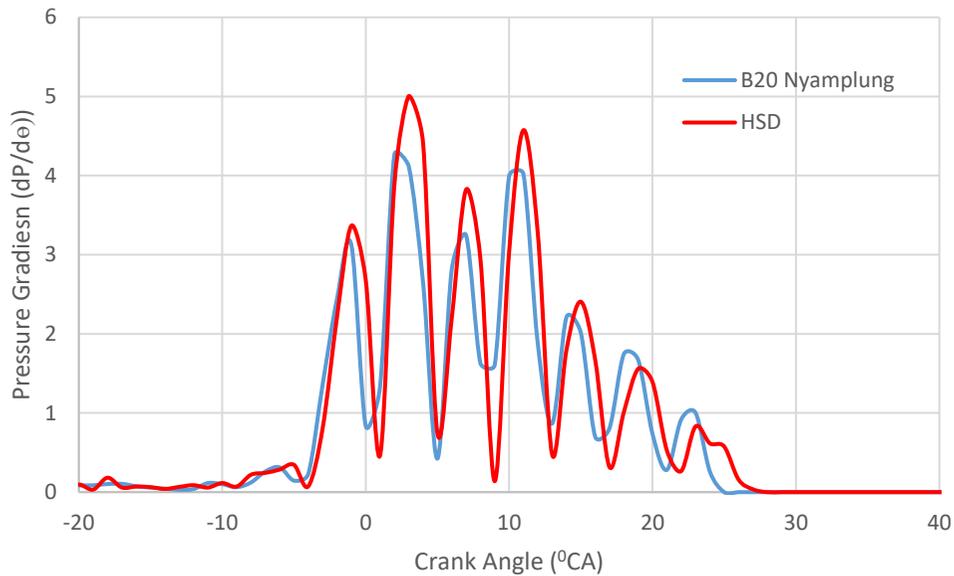


Grafik 2.19. Analisa *Knock Detection* Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 2000 pada *load* 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 5,29 dP/dθ pada posisi 2° setelah TMA . Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 4,81 dP/dθ pada posisi 2° setelah TMA.

2.21. Analisa *Knock Detection* pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *Knock Detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2100 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *Knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

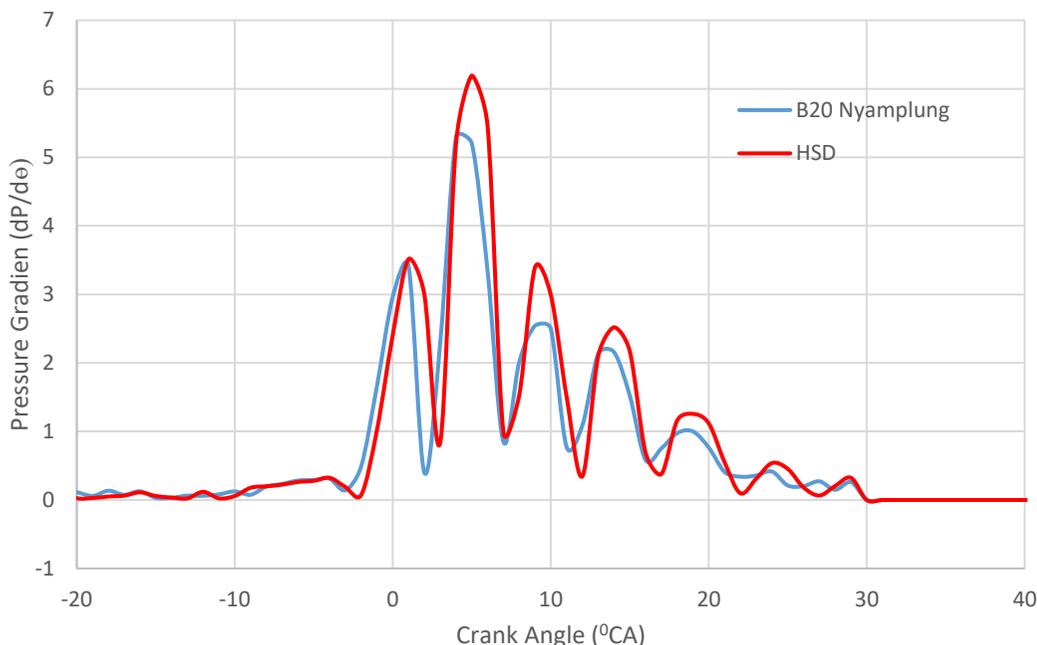


Grafik 2.20. Analisa *Knock Detection* Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai tertinggi di RPM 2000 pada *load* 100% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 5 dP/dθ pada posisi 3° setelah TMA . Kemudian B20 biji nyamplung dengan nilai 4,26 dP/dθ pada posisi 2° setelah TMA.

2.22. Analisa *Knock Detection* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel (High Speed Diesel)* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 25%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *knock detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 Nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 25%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

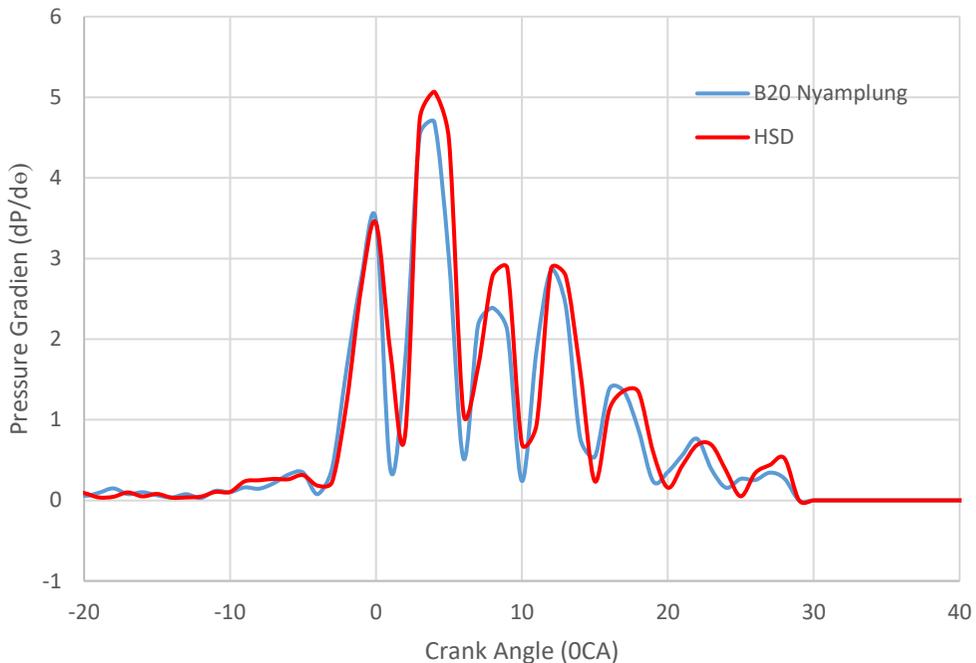


Grafik 4.21. Analisa *Knock detection* Pada RPM 2200 Beban 25% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai *knocking* tertinggi di RPM 2200 pada *Load 50%5%* adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 6,19 dP/d θ pada posisi 5° setelah TMA, kemudian B20 Nyamplung dengan nilai 5,29 dP/d θ pada 4° setelah TMA.

2.23. Analisa *Knock Detection* Terhadap Jenis Bahan Bakar High Speed Diesel (*High Speed Diesel*) dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 50%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *knock detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 Nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 2. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

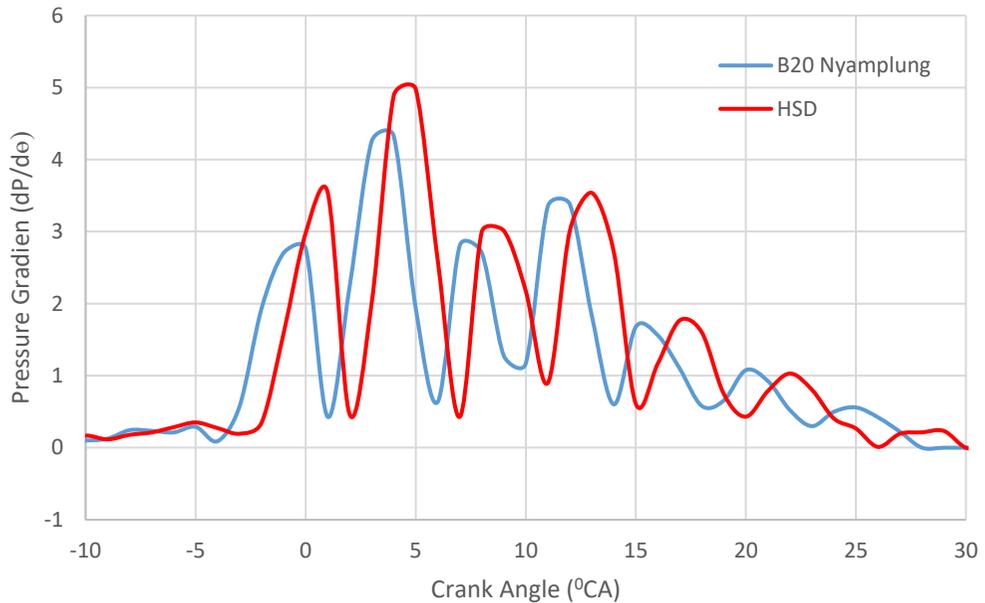


Grafik 4.22. Analisa *Knock detection* Pada RPM 2200 Beban 50% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel*. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai *knocking* tertinggi di RPM 2200 pada Load 50% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 5,07 dP/dθ pada posisi 4° setelah TMA, kemudian B20 Nyamplung dengan nilai 4,69 dP/dθ pada 4° setelah TMA.

2.24. Analisa *Knock Detection* Terhadap Jenis Bahan Bakar *High Speed Diesel* dan B20 Biji Nyamplung Pada RPM 2200 Dengan Load 75%.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *knock detection* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 Nyamplung pada putaran 2200 RPM dengan beban 3. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *knocking* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

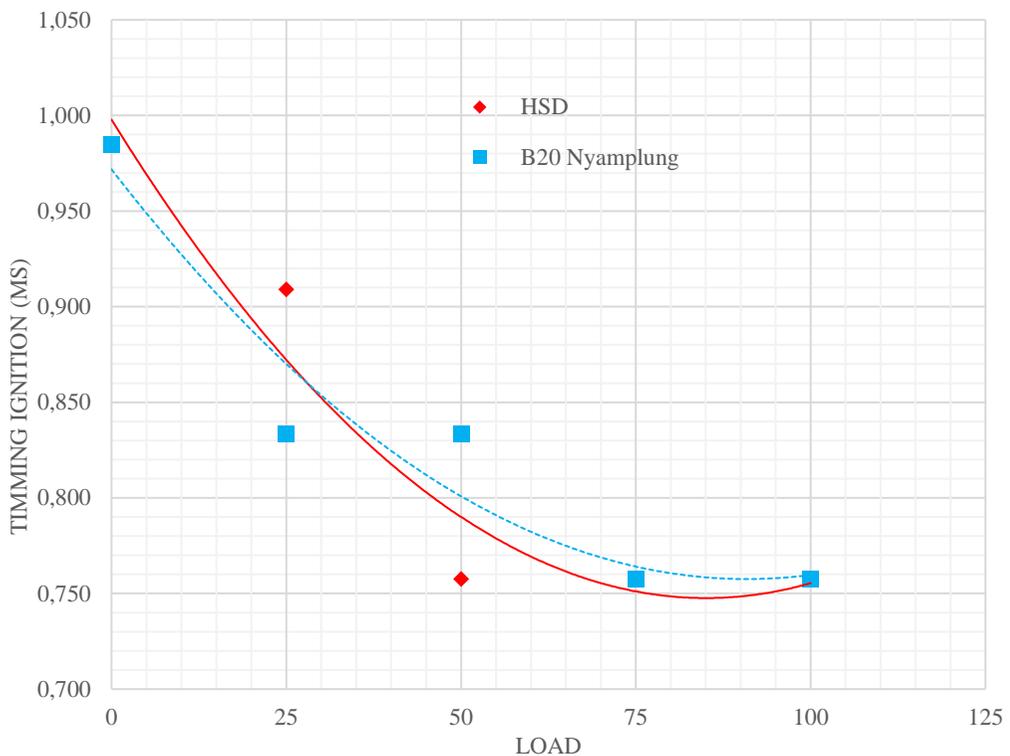


Grafik 4.23. Analisa *Knock detection* Pada RPM 2200 Beban 75% Dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik *Knock Detection* dari biodiesel sebesar 20% (B20) dan *High Speed Diesel* Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu penginjeksian yaitu pada posisi 18° sebelum TMA. Grafik tersebut dapat di analisa dengan perubahan tekanan pada tiap *angle* (derajat). Grafik tersebut memiliki nilai *knocking* tertinggi di RPM 2200 pada *Load* 75% adalah *High Speed Diesel* dengan nilai 4,98 dP/dθ pada posisi 5° setelah TMA, kemudian B20 Nyamplung dengan nilai 4,33 dP/dθ pada 4° setelah TMA.

2.25. Analisa *Ignition Delay* pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *ignition delay* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1800 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *ignition delay* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

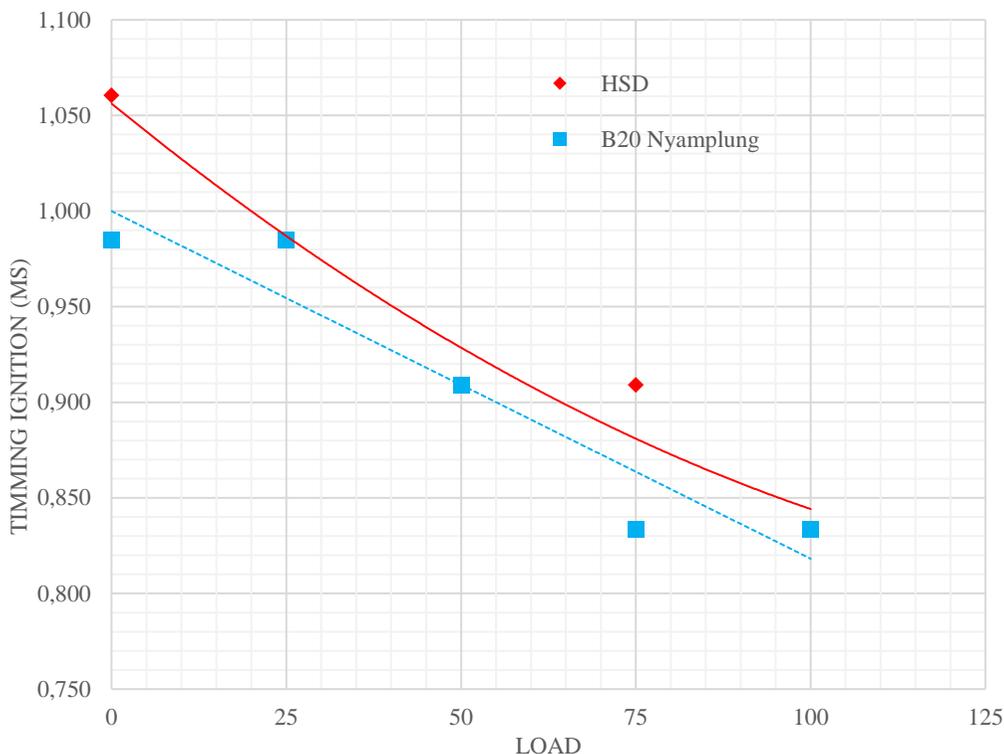


Grafik 4.24. Analisa *Ignition Delay* Pada RPM 1800 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas merupakan analisa *Ignition Delay* pada RPM 1900 dengan pembebanan dinaikkan waktu penginjeksian yang terjadi pada bahan bakar *High Speed Diesel* lebih lama dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung. Waktu penginjeksian bahan bakar HSD yaitu 0,909 ms, 0,758 ms, 0,758 ms dan 0,758 ms. Sedangkan untuk bahan bakar B20 biji nyamplung waktu penginjeksiannya yaitu 0,833 ms, 0,833, 0,758 ms dan 0,758 ms.

2.26. Analisa *Ignition Delay* pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *ignition delay* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 1900 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *ignition delay* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

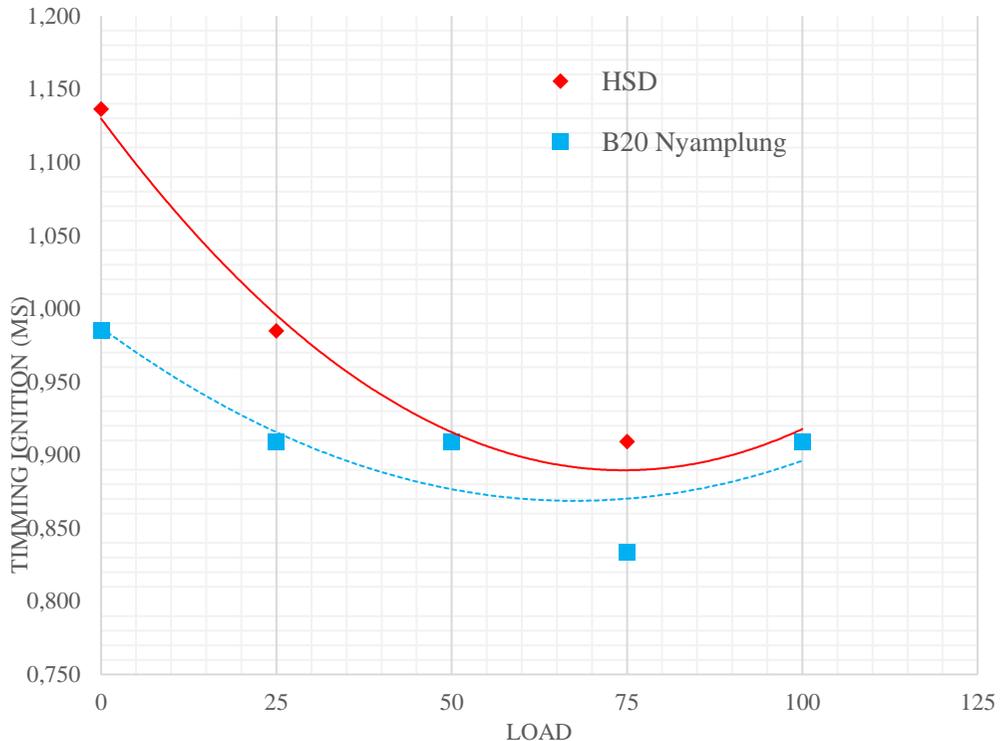


Grafik 4.25. Analisa *Ignition Delay* Pada RPM 1900 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas merupakan analisa *Ignition Delay* pada RPM 1900 dengan pembebanan dinaikkan waktu penginjeksian yang terjadi pada bahan bakar *High Speed Diesel* lebih lama dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung. Waktu penginjeksian bahan bakar HSD yaitu 0,985 ms, 0,909, 0,909 ms dan 0,833 ms. Sedangkan untuk bahan bakar B20 biji nyamplung waktu penginjeksiannya yaitu 0,985 ms, 0,909, 0,833 ms dan 0,833 ms.

2.27. Analisa *Ignition Delay* pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *ignition delay* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2000 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *ignition delay* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.

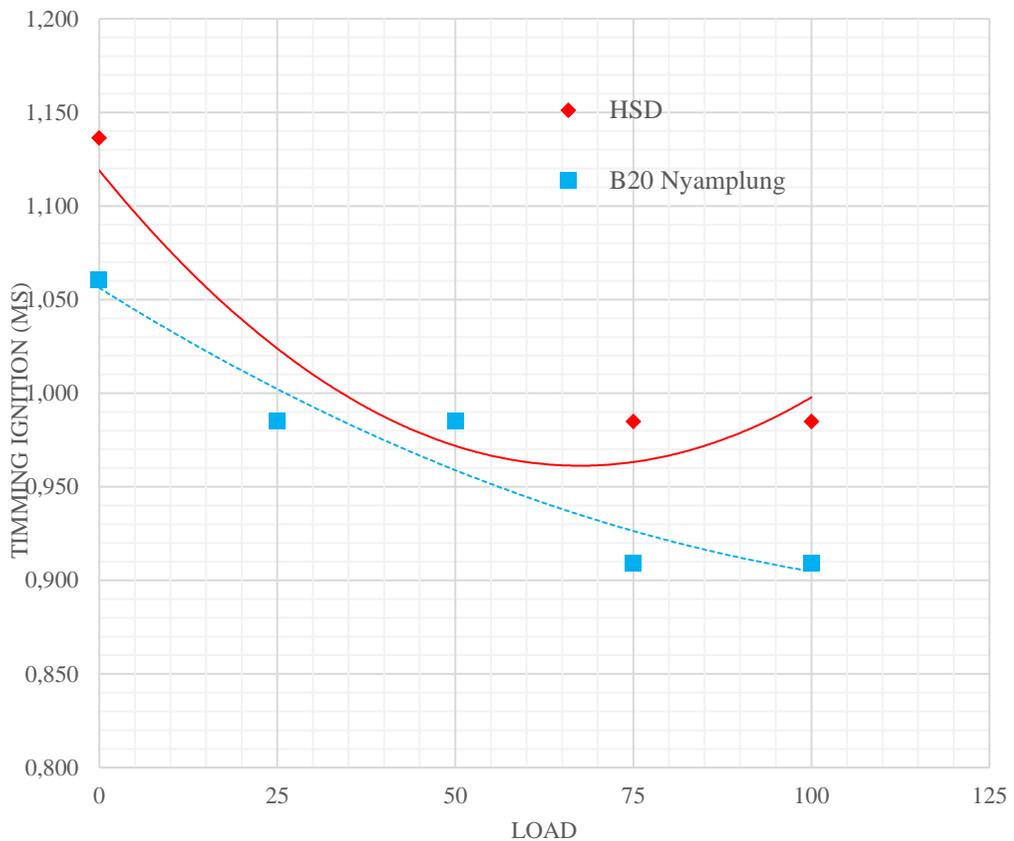


Grafik 2.26. Analisa *Ignition Delay* Pada RPM 2000 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas merupakan analisa *Ignition Delay* pada RPM 1900 dengan pembebanan dinaikkan waktu penginjeksian yang terjadi pada bahan bakar *High Speed Diesel* lebih lama dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung. Waktu penginjeksian bahan bakar HSD yaitu 0,985 ms, 0,909, 0,909 ms dan 0,909 ms. Sedangkan untuk bahan bakar B20 biji nyamplung waktu penginjeksiannya yaitu 0,909 ms, 0,909, 0,833 ms dan 0,909 ms.

2.28. Analisa *Ignition Delay* pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan Bakar B20 biji nyamplung Dan *High Speed Diesel*.

Analisa yang dilakukan merupakan perbandingan *ignition delay* antara bahan bakar *High Speed Diesel* dengan B20 biji nyamplung pada putaran 2100 RPM dengan beban 100%. Analisa ini dilakukan untuk mendapatkan nilai *ignition delay* yang terjadi ketika proses pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan alat *combustion analyzer*.



Grafik 2.27. Analisa *Ignition Delay* Pada RPM 2100 Beban 100% dari Jenis Bahan B20 Biji Nyamplung dan *High Speed Diesel*.

Grafik diatas merupakan analisa *Ignition Delay* pada RPM 1900 dengan pembebanan dinaikkan waktu penginjeksian yang terjadi pada bahan bakar *High Speed Diesel* lebih lama dibandingkan dengan bahan bakar B20 biji nyamplung. Waktu penginjeksian bahan bakar HSD yaitu 0,985 ms, 0,985, 0,985ms dan 0,985ms. Sedangkan untuk bahan bakar B20 biji nyamplung waktu penginjeksiannya yaitu 0,985ms, 0,985, 0,909 ms dan 0,909 ms.

LAMPIRAN 3

3. Emisi NOx

3.1. Hasil Pengujian Emisi NOx Bahan Bakar B20 Biji Nyamplung



PEMERINTAH PROVINSI JAWA TIMUR
DINAS TENAGA KERJA DAN TRANSMIGRASI
UNIT PELAKSANA TEKNIS KESELAMATAN DAN KESEHATAN KERJA
(UPT K3)

Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234
 Email : uptk3sby@gmail.com; admin@k3.disnakertrans.jatimprov.go.id
 Website : www.k3.disnakertrans.jatimprov.go.id



LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran
LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 No. PT. 42 / VI / 2018

I Nama Pengguna Jasa : **HANIFAN ARDI**
 (Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan – ITS)

II Alamat : Sukolilo – Surabaya

III Jenis Pengukuran : **Emisi Gas Buang Genset**

IV Tanggal Pengukuran : 26 Juni 2018

V Alat yang Digunakan : Gas Analyzer Merk E-COM

VI Hasil Pengukuran :

Bahan Bakar	RPM	Beban	Jam (WIB)	Kadar NO _x (ppm)
Biodiesel Biji Nyamplung	2200	1000	10.12	140
		2000	10.14	189
		3000	10.17	192
		4000	10.19	195

Mengetahui,

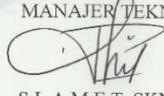
KEPALA UPT K3 SURABAYA



Dra. R. H. WINARNI, MM.
 NIP. 19611110 198603 2 017

Surabaya, 02 Juli 2018

MANAJER TEKNIK



SLAMET, SKM.
 NIP. 19630111 198803 1 012

Gambar 1.4. Hasil Pengujian Emisi NOx Biodiesel Minyak Biji Nyamplung

3.2. Hasil Pengujian Emisi NOx Bahan Bakar High Speed Diesel

(UPT K3)
 Jl. Dukuh Menanggal 122 Telepon 8280440, 8294490, Fax. 8294277 Surabaya 60234
 Email : uptk3sby@gmail.com; admin@k3.disnakertrans.jatimprov.go.id
 Website : www.k3.disnakertrans.jatimprov.go.id

LHU ini merupakan hasil pada lokasi dan saat pengukuran
LAPORAN HASIL PENGUJIAN
 No. PT. 42-a/VII /2018

I Nama Pengguna Jasa : HANIFAN ARDI
 Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan- ITS
 II Alamat : Sukolilo – Surabaya
 III Jenis Pengukuran : Emisi Gas Buang Genset
 IV Tanggal Pengukuran : 6 Juli 2018
 V Alat yang Digunakan : Gas Analyzer Merk E-COM
 VI Hasil Pengukuran :

Bahan Bakar	RPM	Beban (Watt)	Kadar NO _x (ppm)
Solar HSD	2200	1000	78
		2000	169
		3000	213
		4000	250

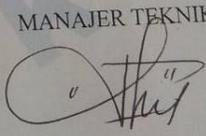
Mengetahui,
 An KEPALA UPT K3 SURABAYA
 KASUBAG TATA USAHA



NONO SUWARSONO, SH, M.Si.
 NIP. 19630505 1985031 018

Surabaya, 9 Juli 2018

MANAJER TEKNIK



SLAMET, SKM.
 NIP. 19630111 198803 1 012

Gambar 1.5. Hasil Pengujian Emisi NOx HSD

BIODATA PENULIS



Hanifan Ardi Wibawa, dilahirkan di Klaten (Jawa Tengah), 7 Desember 1995, merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 2 Taskombang, SMPN 1 Manisrenggo, SMAN 1 Klaten. Setelah melakukan pendaftaran di perguruan tinggi, penulis akhirnya berhasil diterima studi di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun

2014 dan terdaftar dengan Nomor Registrasi Pokok 04211440000017. Selama masa studi penulis juga aktif di

berbagai kegiatan dan kepanitiaan seminar, seperti menjadi anggota pengurus Badan Eksekutif Fakultas Teknologi Kelautan (BEM FTK) di bidang Sosial Masyarakat menjadi Staff 2015/2014 dan pada tahun 2016/2017 menjadi Kepala Departemen serta menjadi tim Panitia Waterbike Marine Icon 2017, penulis juga menjadi Koordinator Bidang Eksternal Keluarga Mahasiswa Klaten di Indonesia (KMKI). Pesan yang ingin penulis sampaikan adalah jangan pernah putus asa dalam melakukan apapun, karena usaha yang baik akan menghasilkan hasil yang baik juga.