



TUGAS AKHIR - ME184834

ANALISIS PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI NOX PADA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR B50-B100 BERBASIS SIMULASI

**BRILIAN ALFARISY
NRP. 0421164000038**

**Dosen Pembimbing
Prof. Semin S.T.,M.T., Ph.D.
Beny Cahyono S.T., M.T., Ph.D.**

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



TUGAS AKHIR - ME 184834

ANALISIS PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI NOX PADA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR B50-B100 BERBASIS SIMULASI

BRILIAN ALFARISY
NRP. 04211640000038

DOSEN PEMBIMBING :
Prof. Semin S.T.,M.T., Ph.D.
Beny Cahyono S.T., M.T., Ph.D.

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



BACHELOR THESIS - ME 184834

**ANALYSIS OF THE COMBUSTION PROCESS
AND NOX EMISSION OF DIESEL ENGINE
FUELED WITH B50-B100 BIODIESEL BASED
ON SIMULATION**

BRILIAN ALFARISY
NRP. 04211640000038

Supervisor
Prof. Semin S.T., M.T., Ph.D.
Beny Cahyono S.T., M.T., Ph.D.

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI NOX PADA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR B50-B100 BERBASIS SIMULASI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

BRILIAN ALFARISY

NRP. 0421 16 40000 038

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Prof. Semin ST., MT., Ph.D.
NIP. 197101101997021001



(Pembimbing I)

2. Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.
NIP. 197903192008011008



(Pembimbing II)

Surabaya, Juli 2020

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI NOX PADA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR B50-B100 BERBASIS SIMULASI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

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

Oleh :

Brilian Alfarisy
NRP. 0421164000038

Disetujui Oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Beny Cahyono, ST, MT, Ph.D.
NIP 197903192008011008

SURABAYA
AGUSTUS 2020

ANALISIS PROSES PEMBAKARAN DAN EMISI NOX PADA MESIN DIESEL BERBAHAN BAKAR B50-B100 BERBASIS SIMULASI

Nama Mahasiswa : Brilian Alfarisy
NRP : 0421164000038
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Semin ST., MT., Ph.D.
Dosen Pembimbing 2 : Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.

ABSTRAK

Menipisnya cadangan minyak bumi di dunia satunya dipicu dari ketergantungan pada konsumsi bahan bakar fosil. Hal ini juga didorong oleh kebutuhan energi minyak dibidang transportasi maupun sector industri lainnya. Oleh karena itu, dibutuhkan bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui serta mudah didapatkan, salah satunya adalah biodiesel dari minyak goreng bekas karena minyak goreng bekas memiliki potensi yang besar di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh biodiesel minyak goreng bekas terhadap proses pembakaran dan emisi NOx menggunakan bahan bakar HSD dan biodiesel minyak goreng bekas B50,B60,B70,B80,B90,B100. Metode yang digunakan didalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode simulasi.

Pada penggunaan bahan bakar campuran 50% biodiesel minyak goreng bekas (B50) dengan dibandingkan dengan bahan bakar HSD. Hasil proses pembakaran nilai *peak pressure*, *peak ROHR*, *peak heat release*, dan *temperature maximum* secara berturut-turut mengalami penurunan sebesar 3,8%, 3,4%, 7,5%, 2,8% pada kondisi beban penuh. Sedangkan pada analisis emisi NOx dengan penggunaan bahan bakar B50 dibandingkan dengan HSD emisi NOx mengalami penurunan sebesar 27% pada kondisi beban penuh dan akan terus mengalami penurunan pada setiap kenaikan beban.

Kata Kunci : Biodiesel, Minyak Goreng Bekas, Proses Pembakaran, Emisi NOx.

ANALYSIS OF THE COMBUSTION PROCESS AND NOX EMISSION OF DIESEL ENGINE FUELED WITH B50-B100 BASES ON SIMULATION

Author : **Brilian Alfarisy**
ID No : **04211640000038**
Dept / Faculty : **Marine Engineering FTK-ITS**
Supervisor : **Prof. Semin ST., MT., Ph.D.**
Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.

ABSTRACT

Depletion of petroleum reserves in the world is triggered from dependence on fossil fuel consumption. This is also driven by the need for oil energy in the transportation sector and other industrial sectors. Therefore, alternative fuels that are renewable and easy to obtain are needed, one of which is biodiesel from waste cooking oil because waste cooking oil has great potential in Indonesia. The purpose of this study was to determine the effect of waste cooking oil biodiesel on the combustion process and NO_x emissions using HSD fuel and biodiesel used cooking oil B50, B60, B70, B80, B90, B100. The method used in this research is to use a simulation method.

In the use of a mixture of 50% biodiesel used cooking oil (B50) compared with HSD fuel. The results of the combustion process peak pressure, peak ROHR, peak heat release, and maximum temperature respectively decreased by 3.8%, 3.4%, 7.5%, 2.8% at full load conditions. Whereas in the analysis of NO_x emissions with the use of B50 fuel compared with HSD NO_x emissions decreased by 27% at full load and will continue to decrease with every increase in load.

Keywords: **Biodiesel, Waste Cooking Oil, Combustion Process, NO_x Emission**

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Karena atas pertolongan-Nya, laporan Tugas Akhir dengan judul “Analisis Proses Pembakaran dan Emisi NOx Pada Mesin Diesel Berbahan Bakar B50-B100” ini dapat terselesaikan, Saya ingin mengucapkan terimakasih kepada Dosen pembimbing Tugas Akhir saya Bapak Prof Semin ST., MT., Ph.D. dan Bapak Beny Cahyono ST., MT., Ph.D. karena telah memberikan arahan dan membimbing saya selama penyelesaian Tugas Akhir ini, Banyak sekali pihak-pihak yang sangat membantu saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa karena telah memberikan anugerah berupa kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua saya yang selalu memberikan dukungan.
3. Bapak Prof Semin ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing penulis yang telah senantiasa memberikan saran dan bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan tepat waktu.
4. Bapak Beny Cahyono ST., MT., Ph.D. selaku ketua jurusan, dosen pembimbing sekaligus dosen wali penulis yang telah memberikan bimbingan dalam mengerjakan tugas akhir ini.
5. Teman-teman tim Tugas Akhir Himmawan Aan L, Prafasta Aru, Evan Harley, Rizky Budi, Karoomur Roziq.
6. Seluruh Keluarga Lab MPP.
7. Seluruh saudara-saudara SETIA HATI TERATE ITS yang telah menemani penulis di waktu luang.
8. Sahabat penulis Hadhu selaku teman minum kopi.
9. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.

Penulis sangat menyadari bahwa dalam pembuatan dan penyusunan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih banyak kekurangan yang perlu dipenuhi. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan adanya saran dan kritik yang membangun dari para pembaca untuk membantu tercapainya kesempurnaan laporan tugas akhir ini.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II	3
TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Biodiesel	3
2.2 Karakteristik Biodiesel Minyak Goreng Bekas	4
2.3 GT-POWER	6
2.4 Proses Pembakaran	7
2.4.1 Umum	7
2.4.2 Periode-Periode Proses Pembakaran	7
2.5 Jurnal Penelitian Proses Pembakaran	9
2.6 Jurnal Penelitian Emisi NO _x	12
BAB III	15

METODOLOGI.....	15
3.1Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir	15
3.2Identifikasi dan Perumusan Masalah.....	16
3.3Studi Literatur	16
3.4Pembuatan Simulasi Model Mesin.....	16
3.4.1 Pengukuran Rancangan	17
3.4.2 Pembuatan Model Perbagian	17
3.4.3 Mendefinisikan Objek	17
3.4.4 Perangkaian Objek.....	30
3.5Pembuatan Variasi Bahan Bakar Biodiesel Pada Software GT-Power.....	30
3.6Hasil Karakteristik Biodiesel Minyak Goreng Bekas	37
3.7Validasi Simulasi GT-Power.....	37
3.8Simulasi GT-Power.....	38
3.9Pengambilan dan Analisis Data.....	39
3.10 Hasil dan Kesimpulan.....	39
BAB IV	41
HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1Analisis Proses Pembakaran Biodiesel Minyak Goreng Bekas B50-B100.....	41
4.1.1 Analisis Combustion Pressure	41
4.1.2 Analisis Rate of Heat Release.....	49
4.1.3 Analisis Heat Release	56
4.1.4 Analisis Temperature Maximum	61
4.2Analisis Emisi NOx Biodiesel Minyak Goreng Bekas B50-B100.....	69
BAB V	74
KESIMPULAN DAN SARAN	75
4.1Kesimpulan	75
4.2Saran	75

DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN.....	77
LAMPIRAN A.....	77
LAMPIRAN B	91
BIODATA PENULIS	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Properties Biodiesel B100 Minyak Goreng Bekas	4
Gambar 2.2 Fatty Acid Composition B100 Minyak Goreng Bekas.....	5
Gambar 2.3 Viscosity dan thermal conductivity dari Liquid B100 Minyak Goreng Bekas.....	5
Gambar 2.4 Vapor viscosities and thermal conductivities B100 Minyak Goreng Bekas	6
Gambar 2.5 Definisi Pembakaran dan Karakteristik Injeksi	8
Gambar 2.6 Proses Pembakaran Mesin Diesel	8
Gambar 2.7 Perbandingan Nilai Kalor D100 dan B100	9
Gambar 2.8 Grafik Analisa Max Pressure RPM 1500 Beban 4 kw	9
Gambar 2.9 Grafik Heat Release Rate RPM 1500 Beban 4 kw	10
Gambar 2.10 Grafik Temperature RPM 1500 Beban 4 kw.....	10
Gambar 2.11 Grafik Ignition Delay	11
Gambar 2.12 Grafik Temperature Max dan NOx	12
Gambar 2.13 Grafik Cylinder Pressure dan Heat Release Rate	12
Gambar 2.14 Grafik Peak of Heat Release Rate	13
Gambar 2.15 Grafik Peak of Cylinder Temperature	13
Gambar 2.16 Grafik NOx Pada Campuran Biodiesel	13
Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian	15
Gambar 3.2 Skema Mesin Diesel	17
Gambar 3.3 Main Folder dari Inlet Environment	18
Gambar 3.4 Composition dari Udara Pada Simulasi	18
Gambar 3.5 Basic Geometry dan Initial Condition dari Intrunner	18
Gambar 3.6 Thermal dari Intrunner	19
Gambar 3.7 Basic Geometry dan Initial Condition dari Intport	19
Gambar 3.8 Thermal dari Intport.....	19
Gambar 3.9 Timing dari Intake Valve	20
Gambar 3.10 Lift dari Intake Valve.....	20
Gambar 3.11 Lift Array dari Intake Valve	20
Gambar 3.12 Main Folder dari Silinder.....	21
Gambar 3.13 Main Folder dari Initial State Object.....	21
Gambar 3.14 Main Folder dari Wall Temperature	21
Gambar 3.15 Main Folder dari Piston Cup Object	22
Gambar 3.16 Main Folder dari Combustion Object	22
Gambar 3.17 Mass Folder dari Injector	22
Gambar 3.18 Timing Folder dari Injector.....	23

Gambar 3.19 Fluid Folder dari Injector	23
Gambar 3.20 Nozzle Folder dari Injector	23
Gambar 3.21 Profile Folder dari Injector.....	24
Gambar 3.22 Main Folder dari Cranktrain	24
Gambar 3.23 Main Folder dari Friction.....	25
Gambar 3.24 Main Folder dari EngCylGeom.....	25
Gambar 3.25 Inertia Folder dari Cranktrain	25
Gambar 3.26 Main Folder dari Torque	25
Gambar 3.27 Timing Folder dari Exhaust Valve.....	26
Gambar 3.28 Lift Folder dari Exhaust Valve.....	26
Gambar 3.29 Lift Folder dari Exhaust Valve.....	27
Gambar 3.30 Flow Coefficient Folder dari Exhaust Valve.....	27
Gambar 3.31 Main Folder dari Exhport	28
Gambar 3.32 Thermal Folder dari Exhport	28
Gambar 3.33 Main Folder dari Exhrunner.....	28
Gambar 3.34 Thermal Folder dari Exhrunner.....	29
Gambar 3.35 Main Folder dari End-outlet.....	29
Gambar 3.36 Pemodelan Skema Mesin Yanmar TF 85 MH	30
Gambar 3.37 Input Main “FluidGas” B100.....	30
Gambar 3.38 Input Enthalpy “FluidGas” B100	31
Gambar 3.39 Input Transport Properties “FluidGas”	31
Gambar 3.40 Input Main “FluidLiqIncompressed” B100.....	31
Gambar 3.41 Input Enthalpy “FluidLiqIncompressed” B100.....	32
Gambar 3.42 Input Transport Properties “FluidLiqIncompressed” B100.....	32
Gambar 3.43 Input Main “FluidLiqIncompressed” HSD	32
Gambar 3.44 Input Enthalpy “FluidLiqIncompressed” HSD	33
Gambar 3.45 Input Transport Properties “FluidLiqIncompressed” HSD	33
Gambar 3.46 Input Fluids “FluidMixtureCombined” B50	33
Gambar 3.47 Input Fluids “FluidMixtureCombined” B60	34
Gambar 3.48 Input Fluids “FluidMixtureCombined” B70	34
Gambar 3.49 Input Fluids “FluidMixtureCombined” B80	35
Gambar 3.50 Input Fluids “FluidMixtureCombined” B90	35
Gambar 4.1 Grafik Combustion Pressure pada 100% RPM dan 10% Load	40
Gambar 4.2 Grafik (Zoom) Combustion Pressure pada 100% RPM dan 10% Load	41
Gambar 4.3 Grafik Combustion Pressure pada 100% RPM dan 25% Load	42
Gambar 4.4 Grafik (Zoom) Combustion Pressure pada 100% RPM dan 25% Load	42
Gambar 4.5 Grafik Combustion Pressure pada 100% RPM dan 50% Load	43
Gambar 4.6 Grafik (Zoom) Combustion Pressure pada 100% RPM dan 50% Load	44
Gambar 4.7 Grafik Combustion Pressure pada 100% RPM dan 75% Load	45
Gambar 4.8 Grafik (Zoom) Combustion Pressure pada 100% RPM dan 75% Load	45

Gambar 4.9 Grafik Combustion Pressure pada 100% RPM dan 100% Load	46
Gambar 4.10 Grafik (Zoom) Combustion Pressure pada 100% RPM dan 100% Load	47
Gambar 4.11 Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM dan 10% Load.....	48
Gambar 4.12 Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM dan 25% Load.....	49
Gambar 4.13 Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM dan 50% Load.....	50
Gambar 4.14 Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM dan 75% Load.....	51
Gambar 4.15 Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM dan 100% Load.....	52
Gambar 4.16 Grafik Heat Release pada 100% RPM dan 10% Load	53
Gambar 4.17 Grafik Heat Release pada 100% RPM dan 25% Load	54
Gambar 4.18 Grafik Heat Release pada 100% RPM dan 50% Load	55
Gambar 4.19 Grafik Heat Release pada 100% RPM dan 75% Load	56
Gambar 4.20 Grafik Heat Release pada 100% RPM dan 100% Load	57
Gambar 4.21 Grafik Temperature pada 100% RPM dan 10% Load.....	58
Gambar 4.22 Grafik (Zoom) Temperature pada 100% RPM dan 10% Load.....	58
Gambar 4.23 Grafik Temperature pada 100% RPM dan 25% Load.....	59
Gambar 4.24 Grafik (Zoom) Temperature pada 100% RPM dan 25% Load.....	60
Gambar 4.25 Grafik Temperature pada 100% RPM dan 50% Load.....	61
Gambar 4.26 Grafik (Zoom) Temperature pada 100% RPM dan 50% Load.....	61
Gambar 4.27 Grafik Temperature pada 100% RPM dan 75% Load.....	62
Gambar 4.28 Grafik (Zoom) Temperature pada 100% RPM dan 75% Load.....	63
Gambar 4.29 Grafik Temperature pada 100% RPM dan 75% Load.....	64
Gambar 4.30 Grafik (Zoom) Temperature pada 100% RPM dan 100% Load.....	64
Gambar 4.31 Diagram Batang Kadar NOx Pada Kondisi RPM 100% dan Beban Bervariasi	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik Biodiesel sesuai SNI	3
Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Yanmar TF 85 MH	16
Tabel 3.2 Hasil Karakteristik Biodiesel Minyak Goreng Bekas	36
Tabel 3.3 Hasil Kalibrasi Simulasi GT-Power	36
Tabel 3.4 Perbandingan Spesifikasi Dengan Kalibrasi	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin diesel banyak digunakan untuk menggerakkan kendaraan, kereta api, kapal, pesawat terbang, pompa irigasi dan juga diperluas untuk menghasilkan tenaga listrik. Emisi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil memiliki efek parah pada ekosistem dan kesehatan manusia. Untuk mengatasi kekurangan ini, telah menjadi agenda global untuk mengembangkan bahan bakar pengganti bersih yang mudah tersedia, dapat diterima secara global, dan layak secara teknis. Karena kesadaran masalah energi dan lingkungan yang terkait dari proses pembakaran berbasis bahan bakar minyak bumi, banyak peneliti untuk membahas peluang memanfaatkan sumber energi non-konvensional, sebagai sumber bahan bakar alternatif bahan bakar fosil dan turunannya (Ahmad, 2011).

Menurut Menteri Koordinator Perekonomian Darmin Nasution (Akbar, 2019), Pemerintah sudah menyiapkan berbagai rencana untuk memanfaatkan minyak sawit sebagai bahan bakar alternatif. Selain menerapkan kebijakan B30 pemerintah juga berencana memproduksi B50. Sehingga Indonesia dapat mengurangi ketergantungan terhadap impor BBM sekaligus mengantarkan kelapa sawit berjaya sebagai komoditas primadona Indonesia di pasar global.

Biodiesel merupakan salah satu energi alternatif yang cukup menjanjikan. Bahan bakunya yang berasal dari bahan terbarukan menjadikan ketersediaannya dapat dijamin. Biodiesel juga merupakan bahan bakar yang ramah lingkungan dan tidak mengandung belerang (Suwarso et al. 2008).

Salah satu kendala yang dihadapi dalam penggunaan biodiesel sekarang ini adalah harganya yang lebih mahal dari minyak solar. Untuk itu diperlukan cara untuk menekan biaya produksi biodiesel. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah menggunakan bahan baku yang berasal dari minyak goreng bekas. Pemanfaatan minyak goreng bekas untuk pembuatan biodiesel akan memberikan beberapa keuntungan, diantaranya : dapat mereduksi limbah rumah tangga atau industri makanan dan mereduksi biaya produksi biodiesel sehingga harganya lebih murah dibanding dengan menggunakan minyak nabati murni (Aziz, 2012).

Pada penelitian ini akan menguji proses pembakaran dan emisi NOx pada biodiesel minyak goreng bekas. Karakteristik biodiesel minyak goreng bekas sudah pernah diteliti sebelumnya dengan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 2015, namun hanya sebatas uji karakteristiknya. Dari situlah, maka penulis melakukan penelitian lebih lanjut tentang proses pembakaran dan emisi gas buang NOx dengan menggunakan *software GT-POWER*. Sehingga, kedepan penelitian ini akan mendukung penggunaan biodiesel B50-B100 minyak goreng bekas sebagai bahan bakar alternatif apabila di produksi secara komersil.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang dibahas dalam skripsi ini adalah :

1. Bagaimana proses pembakaran pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar B50-B100 minyak goreng bekas?
2. Bagaimana emisi gas buang Nox pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar B50-B100 minyak goreng bekas ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup proses pembakaran meliputi *temperature, pressure, heat release*, dan *reat of heat release*,
2. Tidak dilakukan kajian atau Analisa terhadap performa.
3. Variable putaran mesin diesel 2200 rpm.
4. Analisis proses pembakaran dan emisi NOx menggunakan software GT-Power sebagai data akuisisi, proses dan analisis.

1.4 Tujuan

Untuk menjawab seluruh pertanyaan pada perumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui proses pembakaran pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar B50-B100 minyak goreng bekas.
2. Untuk mengetahui emisi gas buang Nox pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar B50-B100 minyak goreng bekas.

1.5 Manfaat

Penelitian skripsi ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses pembakaran dan emisi gas buang NOx pada bahan bakar B50-B100 minyak goreng bekas serta pengaruh dari perubahan proses pembakaran terhadap emisi NOx .

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif minyak diesel yang sedang dikembangkan di Indonesia. Biodiesel berasal dari minyak nabati atau hewani yang mengandung trigliserida diantaranya minyak kelapa sawit, kedelai, kacang tanah, biji bunga matahari, pohon jarak, kemiri yang diolah melalui proses trans-esterifikasi. Bagi Indonesia, minyak sawit (palm oil) akan tampil sebagai minyak nabati paling potensial untuk dimanfaatkan sebagai bahan mentah utama pembuatan biodiesel, paling tidak dalam tahap awal pengembangan industri bahan bakar terbarukan di dalam negeri karena Indonesia memiliki potensi produk minyak sawit dalam jumlah besar. Minyak goreng kelapa sawit bekas merupakan salah satu bahan baku yang memiliki peluang untuk pembuatan biodiesel, karena minyak ini masih mengandung trigliserida, di samping asam lemak bebas. Data statistik menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan produksi minyak goreng sawit. Dari 2,49 juta ton pada tahun 1998, menjadi 4,53 juta ton tahun 2004 dan 5,06 juta ton pada tahun 2005 (www.wartaekonomi.com/indicator, 2006). Selain ketersediaannya yang relatif berlimpah, minyak goreng kelapa sawit bekas merupakan limbah kelapa sawit. Jika dikonsumsi oleh manusia, dapat menyebabkan beberapa penyakit seperti kanker dan penyempitan darah, serta berpotensi mencemari lingkungan dikarenakan naiknya kadar COD dan BOD dalam perairan, selain itu juga menimbulkan bau busuk akibat degradasi biologi (Haryono dkk, 2010). Oleh karena perlu dilakukan usaha-usaha pemanfaatan minyak kelapa sawit bekas tersebut. Salah satunya adalah sebagai bahan baku dalam pembuatan biodiesel.

Tabel 2.1 Karakteristik Biodiesel sesuai SNI
(Sumber : Standard Biodiesel Indonesia)

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

Minyak jelantah juga memiliki kandungan trigliserida yang sangat tinggi. Trigliserida ini dapat diolah menjadi biodiesel melalui reaksi kimia trans esterifikasi. Pada prinsipnya, proses pembuatan biodiesel sangat sederhana. Biodiesel dihasilkan melalui proses yang disebut reaksi esterifikasi asam lemak bebas atau reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol dengan bantuan katalis dan dari reaksi ini akan dihasilkan metil ester/etil ester asam lemak dan gliserol :



2.2 Karakteristik Biodiesel Minyak Goreng Bekas

Pada penelitian yang dilakukan oleh Crady dkk (2017) ditemukan informasi mengenai karakteristik dari B100 minyak goreng bekas sebagai data yang dibutuhkan pada saat simulasi.

State	Property	Waste Cooking Oil		Unit
		Biodiesel	Rapeseed Biodiesel	
Liquid	Heat of Vaporization at 298 K	357000	353000	J/kg
	Density at 25°C	890.7	885.7	kg/m ³
	Enthalpy of the Liquid	See Appendix 2	See Appendix 2	J/kg
	Viscosity of the Liquid	See Appendix 3	See Appendix 3	kg/m-s
	Thermal Conductivity of the Liquid	See Appendix 3	See Appendix 3	W/m-K
Vapor	Number of Carbon Atoms in each Molecule	18.82	18.91	
	Number of Oxygen Atoms in each Molecule	34.39	34.98	
	Number of Hydrogen Atoms in each Molecule	2	2	
	Number of Nitrogen Atoms in each Molecule	0	0	
	Lower Heating Value of the Fuel	37110000	37150000	J/kg
	Critical Temperature	785.87	779.76	K
	Critical Pressure	12.07	11.86	bar
	Enthalpy of the Vapor	See Appendix 4	See Appendix 4	J/kg
	Viscosity of the Fuel Vapor	See Appendix 5	See Appendix 5	kg/m-s
	Thermal Conductivity of the Fuel Vapor	See Appendix 5	See Appendix 5	W/m-K

Gambar 2.1 *Properties* Biodiesel B100 Minyak Goreng Bekas
(Sumber : Crady dkk,2007)

Designation	Fatty Acid	Composition (Percentage)	
	Name	WCO	Rapeseed Oil
C16:0	Methyl Palmitate	8.54	4.36
C18:0	Methyl Stearate	4.19	1.65
C18:1	Methyl Oleate	20.83	58.61
C18:2	Methyl Linoleate	57.2	23.08
C18:3	Methyl linolenate	9.23	12.28

Gambar 2.2 *Fatty Acid Composition* B100 Minyak Goreng Bekas
(Sumber : Crady dkk,2007)

Temperature Kelvin	Viscosity, Poise		Thermal Conductivity, W/m-K	
	WCO	Rapeseed	WCO	Rapeseed
300	0.000045993	0.000048537	0.17887	0.17696
310	0.000036646	0.000038411	0.17719	0.17531
320	0.00002994	0.000031204	0.17549	0.17365
330	0.000024982	0.000025914	0.17377	0.17198
340	0.000021223	0.000021927	0.17205	0.1703
350	0.000018309	0.000018852	0.17031	0.1686
360	0.000016007	0.000016434	0.16855	0.16689
370	0.000014157	0.000014498	0.16678	0.16517
380	0.000012649	0.000012926	0.165	0.16343
390	0.000011402	0.00001163	0.1632	0.16168
400	0.00001036	0.00001055	0.16139	0.15991
410	0.00000948	0.00000964	0.15955	0.15813
420	0.000008729	0.000008865	0.1577	0.15633
430	0.000008083	0.0000082	0.15584	0.15452
440	0.000007523	0.000007625	0.15395	0.15268
450	0.000007034	0.000007123	0.15204	0.15083
460	0.000006604	0.000006682	0.15011	0.14896
470	0.000006224	0.000006294	0.14816	0.14707
480	0.000005886	0.000005948	0.14618	0.14515
490	0.000005584	0.00000564	0.14418	0.14321
500	0.000005313	0.000005364	0.14216	0.14125
510	0.000005069	0.000005115	0.14011	0.13927
520	0.000004848	0.00000489	0.13803	0.13725
530	0.000004647	0.000004686	0.13591	0.13521
540	0.000004463	0.000004499	0.13377	0.13314
550	0.000004296	0.000004329	0.13159	0.13104
560	0.000004142	0.000004173	0.12937	0.1289
570	0.000004	0.000004029	0.12711	0.12673
580	0.000003869	0.000003897	0.12481	0.12452
590	0.000003748	0.000003774	0.12247	0.12227
600	0.000003636	0.000003661	0.12007	0.11997
610	0.000003531	0.000003555	0.11762	0.11762
620	0.000003434	0.000003457	0.11511	0.11522
630	0.000003343	0.000003365	0.11253	0.11276
640	0.000003259	0.000003279	0.10988	0.11024

Gambar 2.3 *Viscosity dan thermal conductivity* dari Liquid B100 Minyak Goreng Bekas
(Sumber : Crady dkk,2007)

Temperature Kelvin	Viscosity Poise	Thermal Conductivity W/m-K
617	8.05715E-05	0.023996841
620	8.09543E-05	0.024174589
640	8.34962E-05	0.025364339
660	8.60214E-05	0.026562371
680	8.85297E-05	0.027768685
700	9.10212E-05	0.02898328
720	9.34959E-05	0.030206157
740	9.59537E-05	0.031437315
760	9.83948E-05	0.032676755
780	0.000100819	0.033924477
800	0.000103226	0.03518048
820	0.000105617	0.036444765
840	0.000107991	0.037717331
860	0.000110348	0.038998179
880	0.000112688	0.040287309
900	0.000115011	0.04158472
920	0.000117318	0.042890413
940	0.000119608	0.044204387
960	0.000121881	0.045526643
980	0.000124137	0.046857181
1000	0.000126376	0.048196

Gambar 2.4 *Vapor viscosities and thermal conductivities* B100 Minyak Goreng Bekas
(Sumber : Crady dkk,2007)

2.3 GT-POWER

GT-POWER adalah simulasi standar kinerja mesin industri, yang digunakan oleh semua produsen mesin utama dan OEM kendaraan. GT-POWER digunakan untuk memprediksi jumlah performa mesin seperti daya, torsi, aliran udara, efisiensi volumetrik, konsumsi bahan bakar, performa turbocharger, dan kerugian pemompaan. GT-POWER mencakup model fisik untuk memperluas prediksi, termasuk silinder dan emisi gas buang, sistem intake, karakteristik akustik sistem gas buang knalpot (level dan kualitas), suhu struktur di dalam silinder maupun pipa / manifold, analisa tekanan silinder terukur, dan pemodelan sistem kontrol (Gamma Technologies, 2004).

2.4 Proses Pembakaran

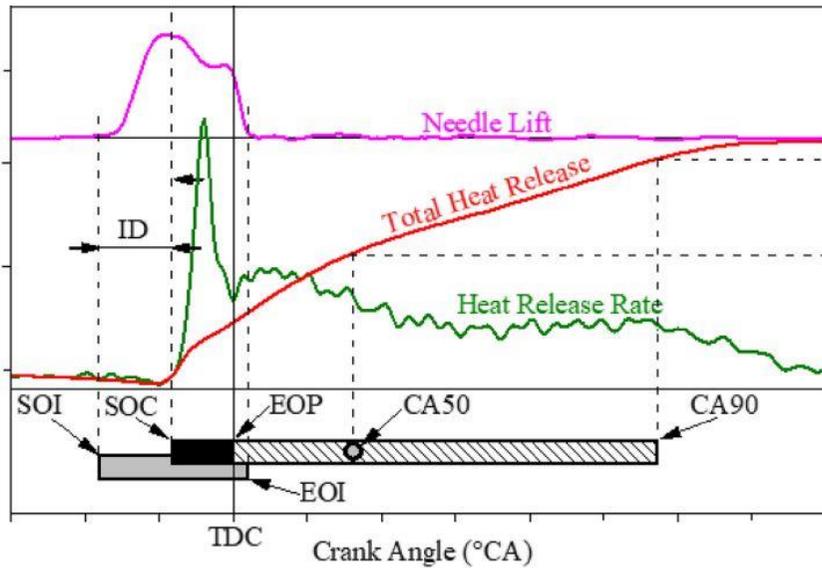
2.4.1 Umum

Prinsip kerja motor diesel adalah merubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia di dapatkan melalui proses reaksi kimia pembakaran dari bahan bakar dan oksigen di dalam silinder ruang bakar. Proses pembakaran motor diesel dimulai dari bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar berbentuk butir-butir cairan yang halus. Karena udara pada ruang bakar bertemperatur tinggi, maka butir-butir bahan bakar tersebut akan menguap. Penguapan butiran bahan bakar tersebut dimulai pada bagian permukaan terluarnya, karena bagian ini merupakan bagian terpanas. Uap tersebut bercampur dengan udara sekitarnya. Begitu seterusnya selama motor diesel digunakan.

Mesin diesel menghasilkan kerja langsung dari hasil proses pembakaran didalam ruang bakar pada tekanan dan temperatur yang sangat tinggi dan lebih dikenal dengan *compression ignition engine*, bahan bakar diinjeksikan kedalam silinder sesaat sebelum mulai pembakaran, sehingga hampir keseluruhan bagian kritis pada siklus distribusi bahan bakar adalah non uniform.

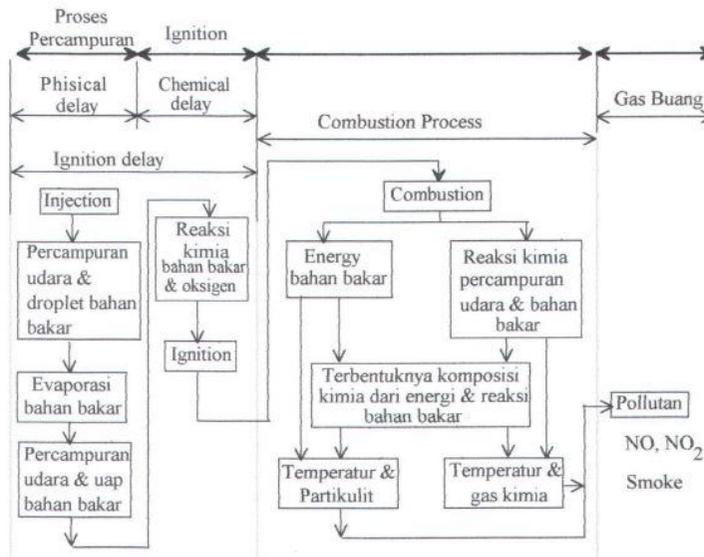
2.4.2 Periode-Periode Proses Pembakaran

Proses pembakaran pada mesin diesel dibagi ke dalam empat periode waktu pembakaran yaitu; *Ignition Delay Period*, *Premixed Combustion Period*, *Diffusion Combustion Period*, *After Burning* (Sawitra,1997). Durasi injeksi adalah diperoleh dari perbedaan sudut *crank angle* antara SOI (*Start Of Injection*) dan EOI (*End Of Injection*). *Ignition delay* (ID) sama dengan jarak sudut antara SOI/ awal dari injeksi dan awal dari pembakaran (SOC). Derivasi keduanya dari tekanan silinder digunakan untuk mendapatkan SOC. Sedangkan EOP (*End of Premixed Combustion*) diukur dari *crank angle* minimum sesaat setelah titik maksimum HRR (*Heat Release Rate*). Durasi *Premixed Combustion* adalah interval dari *crank angle* SOC dan EOP. Sementara itu, untuk *Diffusion Combustion* dihitung dari interval *crank angle* EOP dan 90% *comulative heat release*. Total *Premixed Combustion* dan *Diffusion Combustion* adalah Durasi pembakaran/*Combustion Duration* (Ozturk,2019). Gambar 2.5 menunjukkan definisi dari pembakaran dan karakteristik injeksi.



Gambar 2.5 Definisi Pembakaran dan Karakteristik Injeksi
(Sumber : Ozturk dkk,2019)

Tingkat konsentrasi emisi NO_x yang dihasilkan dari proses pembakaran pada mesin diesel sangat bergantung pada desain awal dan kondisi operasi mesin diesel terutama *temperature* yang mana NO_x sangat peka terhadap temperatur, peningkatan temperatur akan meningkatkan produksinya. Periode premixed combustion terjadi pada *temperature* yang tinggi, sehingga NO_x sangat banyak terbentuk pada periode pembakaran ini. *Premixed combustion* juga dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya waktu penginjeksian bahan bakar serta berhubungan langsung dengan *ignition delay* (Sawitra,1997).



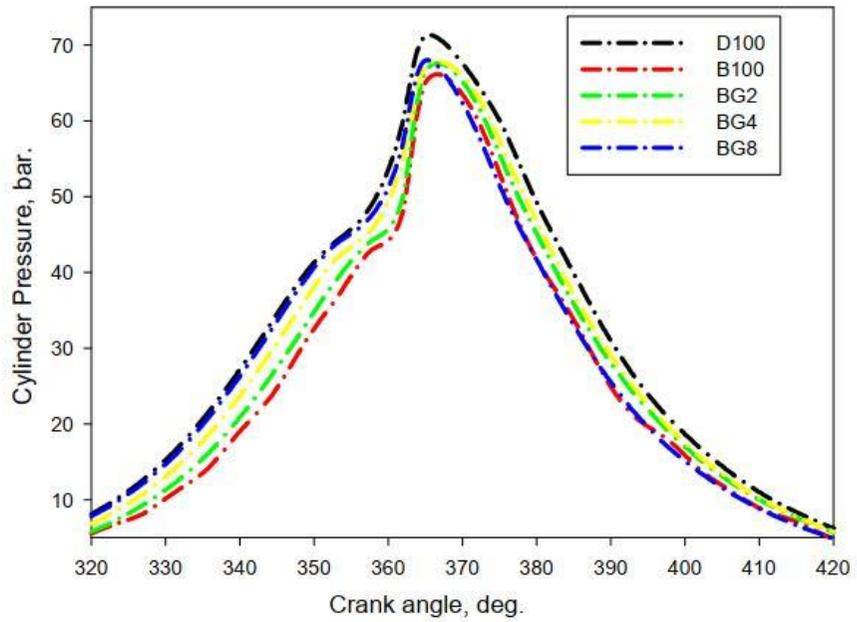
Gambar 2.6 Proses Pembakaran Mesin Diesel
(Sumber : Sawitra,1997)

2.5 Jurnal Penelitian Proses Pembakaran

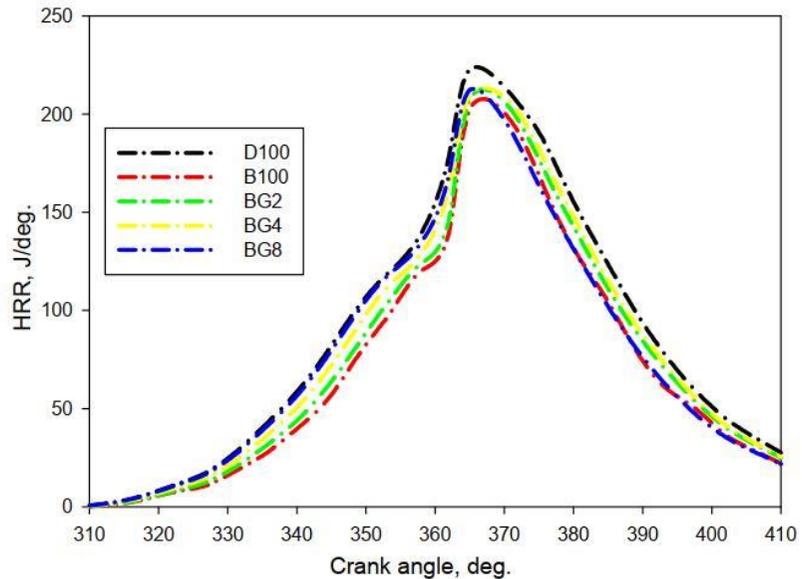
Dalam penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2020), nilai tekanan dalam silinder (*max pressure*), laju pelepasan panas (*heat release rate*), dan suhu di dalam silinder (*temperature*) dengan *crank angle* pada beban 4 kw untuk bahan bakar B100 mengalami penurunan dibandingkan dengan D100 (*pure diesel oil*), hal ini disebabkan oleh penurunan nilai kalor dan peningkatan viskositas. Nilai *ignition delay* pada diesel lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel murni, hal itu disebabkan oleh biodiesel murni memiliki cetane number dan viskositas yang lebih besar daripada bahan bakar diesel/D100 (Gad dkk,2013). Gambar 2.7 menunjukkan perbandingan *properties* nilai kalor D100 dan B100. Gambar 2.5 menunjukkan grafik analisa *pressure* di dalam silinder dengan membandingkan bahan bakar D100, B100, BG2 (campuran biodiesel 98% dan 2% gasoline), BG4, BG8. Dari hasil gambar 2.8 diperoleh informasi bahwa *pressure max* D100 lebih tinggi daripada B100.

Properties	Method	Biodiesel	Diesel oil
Density @ 15.56 °C, kg/m ³	ASTM D-4052	883	835
Kinematic viscosity @ 40 °C, cSt,	ASTM D-445	5.1	3.4
Flash point, °C	ASTM D-93	120	72
Cetane number	ASTM D-613	55	49
Calorific value, MJ/ kg	ASTM D-224	39.5	42

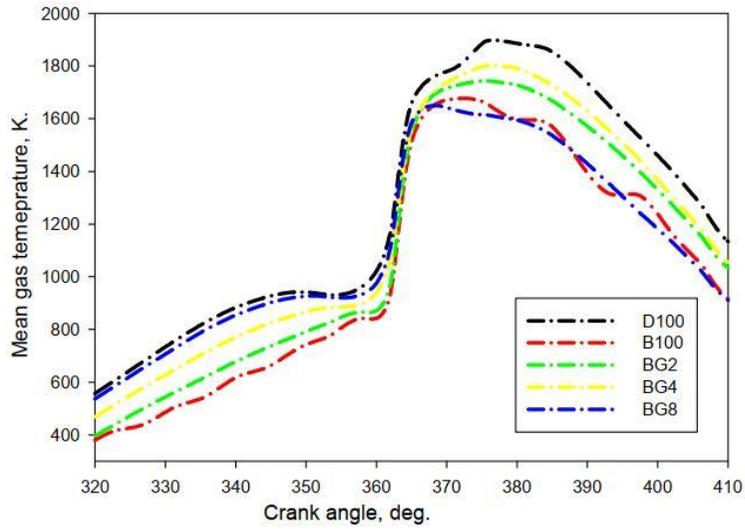
Gambar 2.7 Perbandingan Nilai Kalor D100 dan B100
(Sumber : Gad dkk 2013)



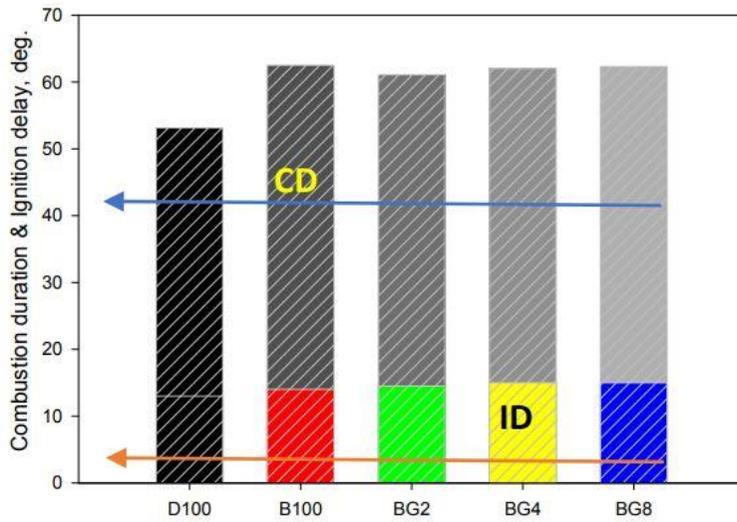
Gambar 2.8 Grafik *Analisa Max Pressure* RPM 1500 Beban 4 kw
(Sumber : Gad dkk 2013)



Gambar 2.9 Grafik *Heat Release Rate* RPM 1500 Beban 4 kw
(Sumber : Gad dkk 2013)



Gambar 2.10 Grafik *Temperature* RPM 1500 Beban 4 kw
(Sumber : Gad dkk 2013)



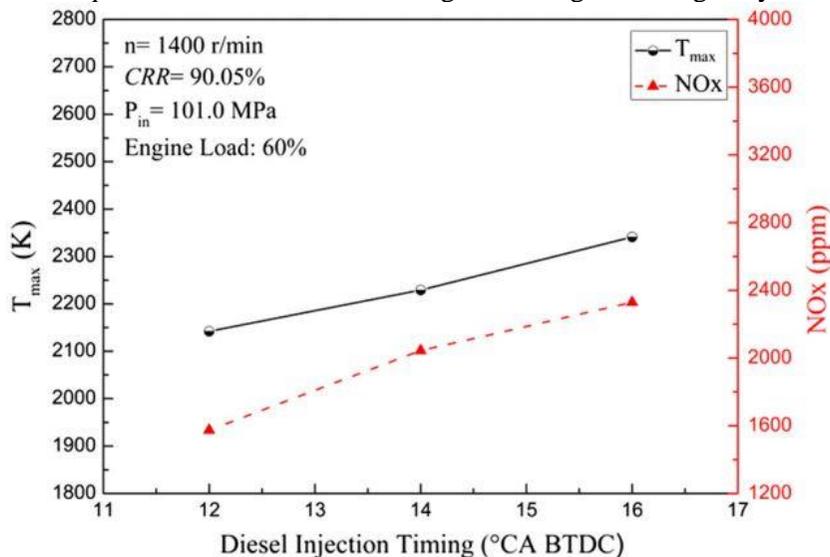
Gambar 2.11 Grafik *Ignition Delay*
(Sumber : Gad dkk 2013)

2.6 Jurnal Penelitian Emisi NOx

Emisi merupakan sisa hasil pembakaran dari motor bakar dalam yang bersifat mencemari udara. Penyumbang emisi terbesar saat ini yakni terdapat pada sektor transportasi baik laut maupun darat khususnya pada motor disel. Menurut hasil penelitian K.A. Abed dkk (2019) . Nitrogen Monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak terbakar. NOx pada umumnya dihasilkan dari motor pembakaran dalam khususnya pada motor diesel. Dimana NOx terbentuk akibat reaksi dari oksigen dan nitrogen yang bereaksi pada temperatur tinggi khususnya pada ruang bakar.

Pembentukan emisi NOx dalam mesin diesel sangat tergantung pada suhu nyala adiabatik, yang terkait erat dengan *temperature max* di dalam silinder. Emisi NOx akan mengalami peningkatan dengan bertambahnya nilai bmep pada setiap bahan bakar, hal ini menyebabkan *temperature max* juga ikut meningkat (Rosha dkk,2019). Selain itu, pembentukan NOx juga tergantung pada suhu di mana molekul nitrogen dan oksigen mulai masuk didalam proses pembakaran serta mulai terbentuk pada suhu 1800 K dan akan terus meningkat dengan seiring meningkatnya suhu didalam silinder (Abdullah dkk,2017).

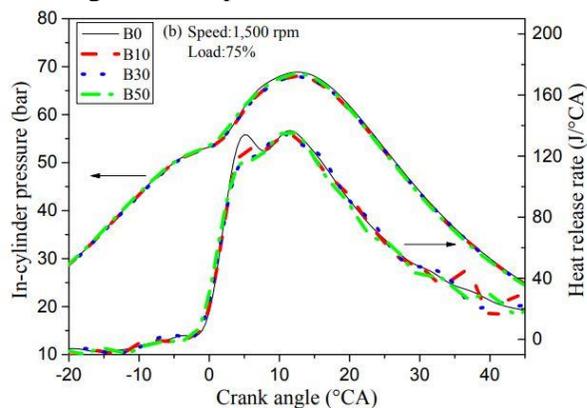
Menurut Zhang dkk (2017), pembentukan emisi NOx dipengaruhi oleh seberapa besar kandungan Oksigen dan suhu pembakaran didalam silinder. Peningkatan tekanan intake menyebabkan meningkatnya udara didalam silinder. Semua ini menunjukkan bahwa *temperature maximum* memainkan peranan utama dalam pembentukan NOx. Gambar 2.11 menunjukkan perbandingan temperature max dengan emisi NOx, peningkatan *temperature maximum* berbanding lurus dengan meningkatnya NOx.



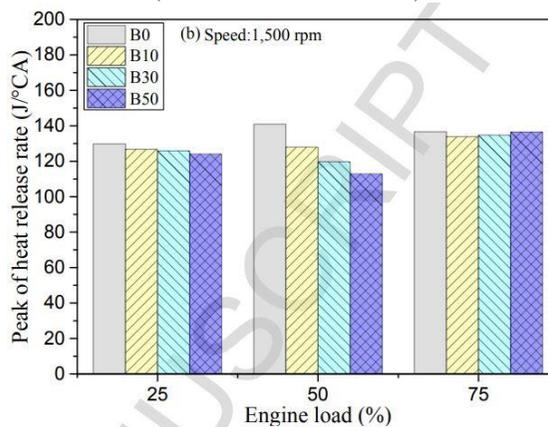
Gambar 2.12 Grafik *Temperature Max* dan NOx
(Sumber : Zhang dkk 2013)

Campuran biodiesel dapat menyebabkan peningkatan emisi NOx karena sifatnya yang mengandung oksigen. Pada penelitian yang dilakukan oleh Chauhan dkk (2012) menyatakan bahwa emisi NOx meningkat dengan peningkatan rasio campuran biodiesel pada bahan bakar. Namun, Pembentukan emisi NOx tidak hanya terkait dengan konsentrasi kandungan nilai oksigen tetapi juga dipengaruhi oleh reaksi suhu dan *residence time*. Suhu didalam silinder adalah faktor utama yang berpengaruh karena energi aktivasi tinggi diperlukan dalam pembentukan NOx.

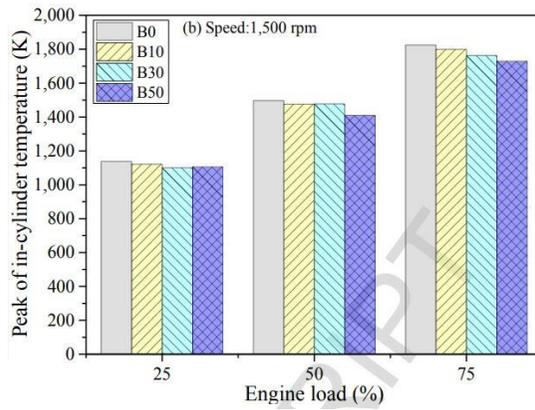
Penurunan emisi NOx dengan meningkatnya rasio campuran biodiesel ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Wei dkk (2012), hal ini disebabkan oleh penurunan suhu rata-rata didalam silinder. Gambar 2.12, gambar 2.13, gambar 2.14, dan gambar 2.15 menunjukkan data bahwa penurunan dari *peak of heat release rate* dan *peak of in cylinder temperature* mengakibatkan penurunan emisi NOx.



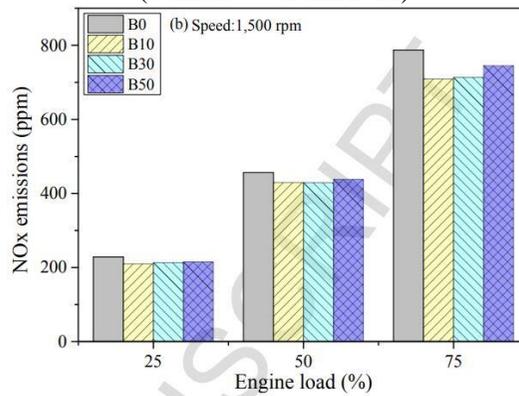
Gambar 2.13 Grafik Cylinder Pressure dan Heat Release Rate
(Sumber : Wei dkk 2012)



Gambar 2.14 Grafik Peak of Heat Release Rate
(Sumber : Wei dkk 2012)



Gambar 2.15 Grafik Peak of Cylinder Temperature
(Sumber : Weidick 2012)

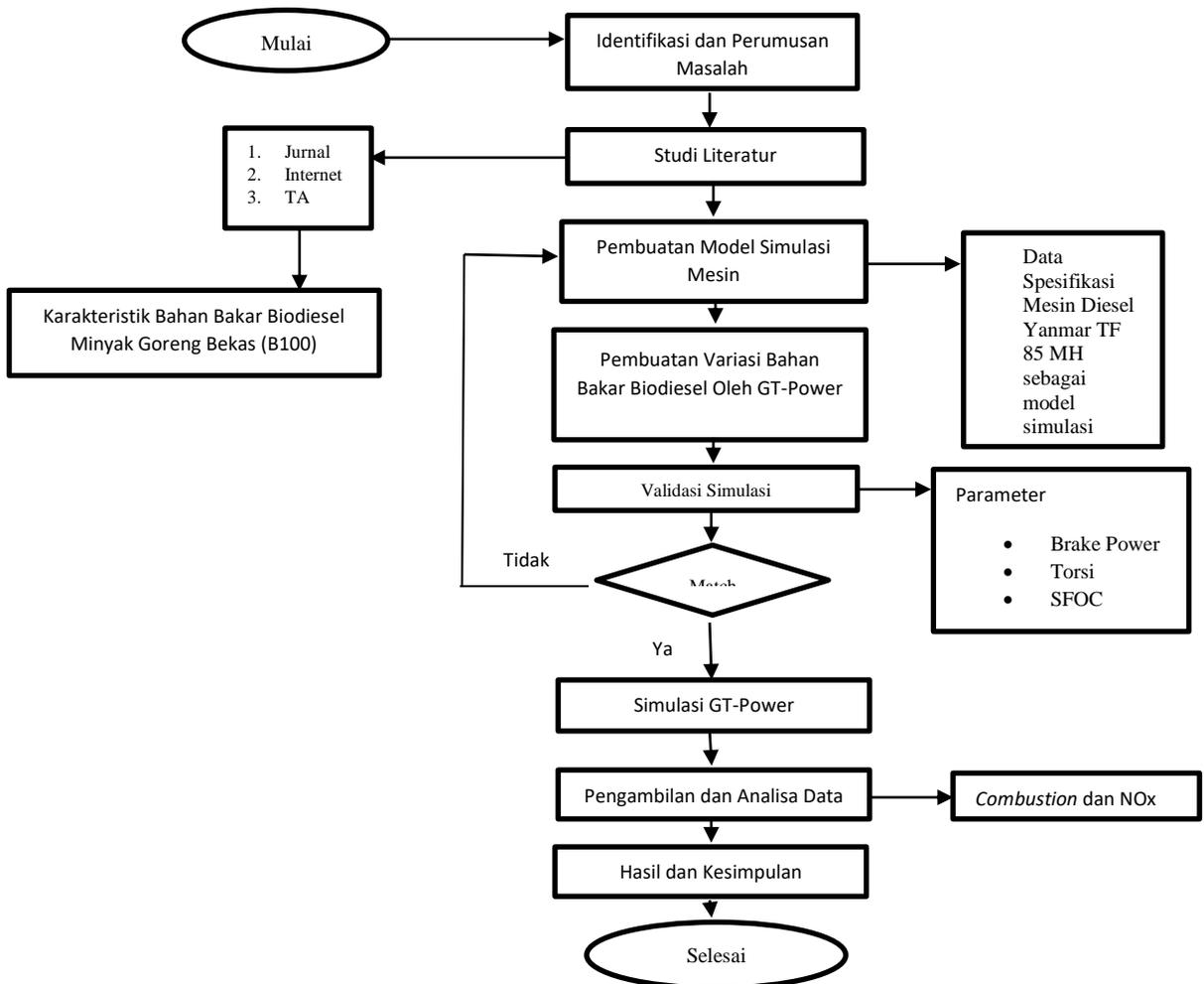


Gambar 2.16 Grafik NOx Pada Campuran Biodiesel
(Sumber : Weidick 2012)

BAB III METODOLOGI

3.1 Flow Chart Pengerjaan Tugas Akhir

Seperti yang sudah dijelaskan pada bab 1 untuk menjawab permasalahan yang muncul maka metode penelitian penulis yaitu simulasi . Pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram *flow chart* gambar 3.1



Gambar 3.1 Flow Chart Metodologi Penelitian

3.2 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Identifikasi dan perumusan masalah adalah langkah awal untuk mengetahui karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas dari proses pembakaran dan hasil uji emisi serta menentukan perbandingan campuran biodiesel sebagai variasi bahan bakar mesin diesel.

3.3 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan tujuan untuk mengenal teori-teori dasar yang relevan terhadap permasalahan yang dibahas dengan mengumpulkan referensi-referensi mengenai karakteristik biodiesel B100 minyak goreng bekas serta standar pengujian emisi pada mesin diesel. Sumber literatur didapatkan dari jurnal-jurnal International maupun Nasional.

3.4 Pembuatan Simulasi Model Mesin

Pembuatan mesin diesel 4 langkah satu silinder menggunakan *software* GT-Power simulasi dengan mengacu pada standar spesifikasi mesin diesel 4 langkah injeksi langsung merek Yanmar tipe TF 85 MH. Pemodelan dilakukan dengan semirip mungkin dengan perancangan yang sudah dilakukan sehingga dapat diperoleh data untuk dianalisis.

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Yanmar TF 85 MH
(Sumber :www.lukesindonesia.com)

Tipe Mesin	Mesin Diesel
Jenis Mesin	4 Langkah
Sistem Pembakaran	<i>Direct Injection</i>
Jumlah Silinder	1 Silinder
Diameter x Panjang Langkah	85mm x 87mm
Saat Pengabutan	18 ⁰ sebelum TMA
Volume Silinder	493 cc
Daya Kontinyu	7,5 dk/2200 rpm
Daya Max Sesaat	8,5 dk/2200 rpm
Torsi Maksimum	3,44 kg.m/1600 rpm
Perbandingan kompresi	18
Pemakaian Bahan Bakar	171 gr/dk.jam
Tekanan Injektor	200 kg/cm ²
Sistem pendingin	Hopper

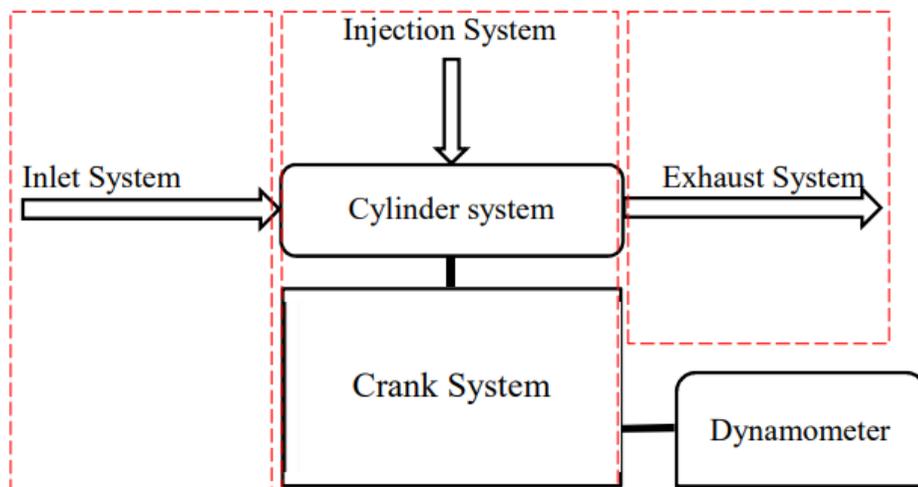
Jenis Oli	SAE 40 kelas CC atau CD
Dimensi Mesin (mm)	672 x 330,5 x 496
Berat kotor	123,5 kg
Berat bersih	93 kg

Pemodelan dan simulasi dilakukan berdasarkan spesifikasi mesin diesel yang telah dirancang sebelumnya. Data spesifikasi dasar dapat dilihat pada tabel 3.1 Dalam pemodelan dan simulasi, terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan sehingga menghasilkan data yang valid untuk dianalisa. Tahapan-tahapan untuk pemodelan adalah sebagai berikut:

3.4.1 Pengukuran Rancangan

Tahap yang pertama dilakukan dalam pemodelan simulasi mesin adalah tahap pengukuran rancangan. Hal ini dilakukan karena software memerlukan data yang sangat detail terkait dengan dimensi-dimensi mesin diesel dan kondisi lingkungan untuk mendapatkan simulasi yang lebih akurat.

3.4.2 Pembuatan Model Perbagian



Gambar 3.2 Skema Mesin Diesel
(Sumber : Muwaffaq 2016)

3.4.3 Mendefinisikan Objek

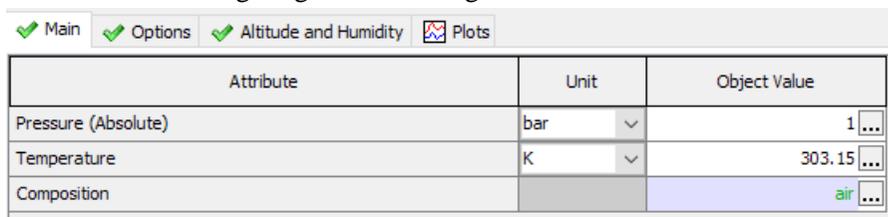
Untuk membuat model maka bagian-bagian motor diesel harus dibuat dengan memasukkan data sesuai dengan parameter yang dibutuhkan. Hal ini disebut dengan

pendefinisian objek. Pada dasarnya model dibagi atas 3 sistem utama, antara lain: sistem *intake*, silinder dan sistem injeksi bahan bakar, dan sistem *exhaust*.

a) Sistem *intake* terdapat beberapa komponen yang harus didefinisikan, diantaranya :

1. *Inlet Environment*

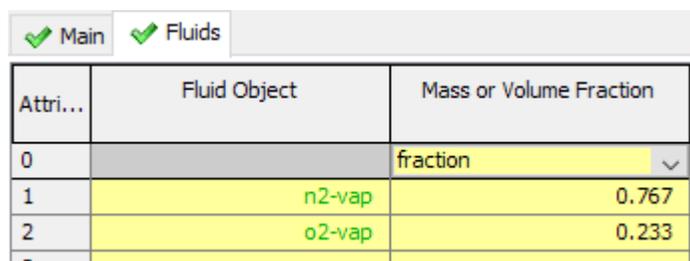
Langkah pertama adalah membuat batasan kondisi lingkungan dengan menentukan nilai seperti *pressure* sebesar 1 bar, *temperature* sebesar 303,15 K, dan kondisi udara lingkungan sesuai dengan kondisi normal.



Attribute	Unit	Object Value
Pressure (Absolute)	bar	1
Temperature	K	303.15
Composition		air

Gambar 3.3 Main Folder dari *Inlet Environment*

(Sumber : Simulasi GT-Power)



Attri...	Fluid Object	Mass or Volume Fraction
0		fraction
1	n2-vap	0.767
2	o2-vap	0.233

Gambar 3.4 Composition dari Udara Pada Simulasi

(Sumber : Simulasi GT-Power)

2. Sistem Perpipaan *Intake*

Pada simulasi ini aliran udara dari inlet environment akan dialirkan melalui sistem perpipaan, sehingga perlu untuk didefinisikan. Pada tahap ini terdapat 2 komponen yang harus didefinisikan yaitu *intrunner* dan *intport*. Pada komponen *intrunner* dan *intport* dilakukan dengan mendefinisikan *basic geometry initial condition* dan *thermal*.

Main Thermal Pressure Drop Plots			
Attribute	Unit	Object Value	
Basic Geometry and Initial Conditions			
Diameter at Inlet End	mm	40.34 ...	
Diameter at Outlet End	mm	40.1 ...	
Length	mm	59.7 ...	
Discretization Length	mm	34.4 ...	
Initial State Name		initial ...	
Surface Finish			
<input type="radio"/> Smooth			
<input type="radio"/> Roughness from Material			
<input checked="" type="radio"/> Sand Roughness	mm	def ...	
Additional Geometry Options			
Radius of Bend	mm	ign ...	
Angle of Bend	deg	ign ...	
Pipe Elevation Change or 3D Acceleration Object	mm	ign ...	
Number of Identical Pipes		def (=1.0) ...	

Gambar 3.5 Basic Geometry dan Initial Condition dari Inrunner
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main Thermal Pressure Drop Plots			
Attribute	Unit	Object Value	
Wall Temperature Method			
<input checked="" type="radio"/> Imposed Wall Temperature	K	323.15 ...	
<input type="radio"/> Calculated Wall Temperature			
<input type="radio"/> Wall Temperature from Connected Thermal Primitive			
<input type="radio"/> Adiabatic			

Gambar 3.6 Thermal dari Inrunner
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main Thermal Pressure Drop Plots			
Attribute	Unit	Object Value	
Basic Geometry and Initial Conditions			
Diameter at Inlet End	mm	40.5873 ...	
Diameter at Outlet End	mm	32.78 ...	
Length	mm	55.2 ...	
Discretization Length	mm	34.4 ...	
Initial State Name		initial ...	
Surface Finish			
<input type="radio"/> Smooth			
<input type="radio"/> Roughness from Material			
<input checked="" type="radio"/> Sand Roughness	mm	def ...	
Additional Geometry Options			
Radius of Bend	mm	ign ...	
Angle of Bend	deg	ign ...	
Pipe Elevation Change or 3D Acceleration Object	mm	ign ...	
Number of Identical Pipes		def (=1.0) ...	

Gambar 3.7 Basic Geometry dan Initial Condition dari Intport
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main
 Thermal
 Pressure Drop
 Plots

Attribute	Unit	Object Value
Wall Temperature Method		
<input checked="" type="radio"/> Imposed Wall Temperature	K	323.15 ...
<input type="radio"/> Calculated Wall Temperature		
<input type="radio"/> Wall Temperature from Connected Thermal Primitive		
<input type="radio"/> Adiabatic		

Gambar 3.8 Thermal dari Intport
(Sumber : Simulasi GT-Power)

3. Intake Valve

Pendefinisian pada objek ini meliputi geometri, lift profile, dan karakteristik aliran.

Timing
 Lift
 Flow Coefficients
 Output
 Plots

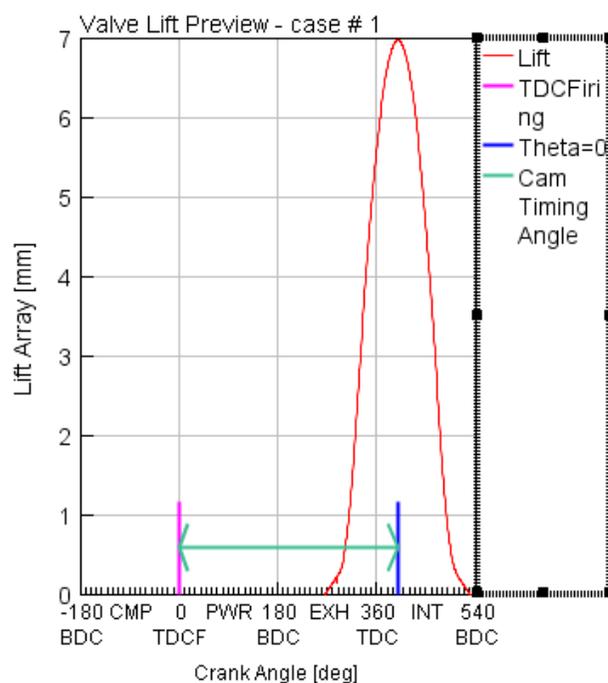
Attribute	Unit	Object Value
Cam Timing Angle	Cam Angle	199.5 ...
Cam Timing Anchor Reference		TDCFiring
Cam Timing Lift Array Reference		Theta=0
Source of Angle		
<input checked="" type="radio"/> Attached Cylinder		
<input type="radio"/> Part on Map		ign
<input type="radio"/> Driver Reference Object		ign

Gambar 3.9 Timing dari Intake Valve
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Timing
 Lift
 Flow Coefficients
 Output
 Plots

Attribute	Unit	Object Value
Valve Lash	mm	0.125 ...
Variable Profile Dependency Object		ign ...
Dwell at Maximum Lift	Cam Angle	ign ...
Angle Multiplier		def (=1.0) ...
Lift Multiplier		def (=1.0) ...

Gambar 3.10 Lift dari Intake Valve
(Sumber : Simulasi GT-Power)



Gambar 3.11 Lift Array dari Intake Valve
(Sumber : Simulasi GT-Power)

- b) Silinder, *crank*, dan sistem injeksi bahan bakar, terdapat beberapa komponen yang harus didefinisikan, diantaranya:

1. Silinder

Untuk membuat model silinder membutuhkan input data seperti, objek referensi, seperti temperatur dinding silinder, aliran fluida, transfer panas, model pembakaran.

<input checked="" type="checkbox"/> Main <input checked="" type="checkbox"/> Advanced <input checked="" type="checkbox"/> Plots			
	Attribute	Unit	Object Value
	Initial State Object		initial ...
<input checked="" type="radio"/>	Wall Temperature defined by Reference Object		twall ...
<input type="radio"/>	Wall Temperature defined by FE Structure part ('EngCylSt...		
	Heat Transfer Object		htr ...
	Flow Object		Piston_Yanmar_Standart ...
	Combustion Object		comb ...
	Measured Cylinder Pressure Analysis Object		ign ...
	Cylinder Pressure Analysis Mode		off ▾

Gambar 3.12 Main Folder dari Silinder
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main Altitude and Humidity		
Attribute	Unit	Object Value
Pressure (Absolute)	bar	1
Temperature	C	30
Composition		air

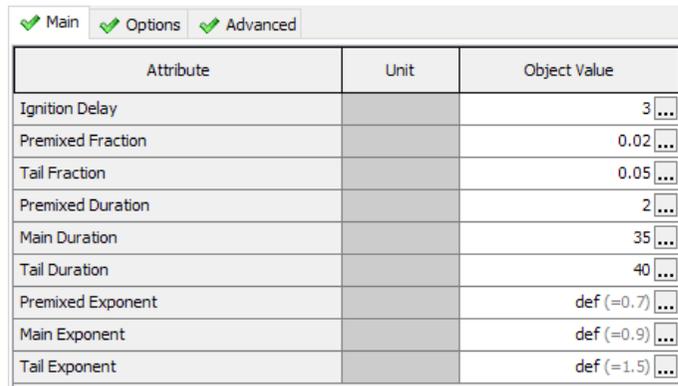
Gambar 3.13 Main Folder dari Initial State Object
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main		
Attribute	Unit	Object Value
Head Temperature	K	523.15
Piston Temperature	K	523.15
Cylinder Temperature	K	403.15

Gambar 3.14 Main Folder dari Wall Temperature
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main		
Attribute	Unit	Object Value
Piston Cup Diameter (Maximum)	mm	45
Piston Cup Depth at Maximum Diameter	mm	15.5
Piston Cup Diameter (Edge)	mm	45
Piston Cup Center Depth	mm	8.2

Gambar 3.15 Main Folder dari Piston Cup Object
(Sumber : Simulasi GT-Power)



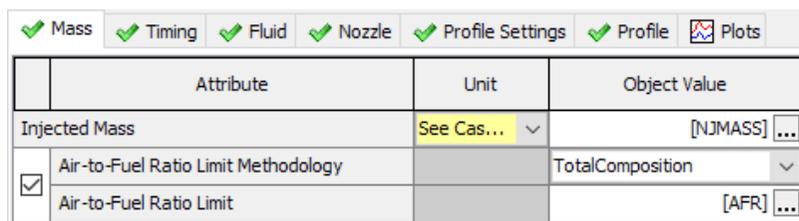
Attribute	Unit	Object Value
Ignition Delay		3 ...
Premixed Fraction		0.02 ...
Tail Fraction		0.05 ...
Premixed Duration		2 ...
Main Duration		35 ...
Tail Duration		40 ...
Premixed Exponent		def (=0.7) ...
Main Exponent		def (=0.9) ...
Tail Exponent		def (=1.5) ...

Gambar 3.16 Main Folder dari *Combustion Object*

(Sumber : Simulasi GT-Power)

2. Injektor Bahan Bakar

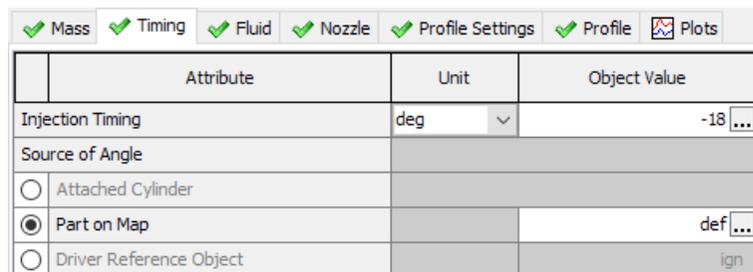
Objek selanjutnya adalah injektor nozzle, untuk motor dengan tipe Direct Injection Compression Ignition (DICI) Atribut yang diisi antara lain, temperatur bahan bakar, jenis bahan bakar, sudut mulai terjadi pembakaran, massa bahan bakar yang diinjeksikan.



Attribute	Unit	Object Value
Injected Mass	See Cas... ▾	[NJMASS] ...
<input checked="" type="checkbox"/> Air-to-Fuel Ratio Limit Methodology		TotalComposition ▾
Air-to-Fuel Ratio Limit		[AFR] ...

Gambar 3.17 Mass Folder dari *Injektor*

(Sumber : Simulasi GT-Power)



Attribute	Unit	Object Value
Injection Timing	deg ▾	-18 ...
Source of Angle		
<input type="radio"/> Attached Cylinder		
<input checked="" type="radio"/> Part on Map		def ...
<input type="radio"/> Driver Reference Object		ign

Gambar 3.18 Timing Folder dari *Injektor*

(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Fluid Object		[BahanBakar] ...
Injected Fluid Temperature	K	303.15 ...
Vaporized Fluid Fraction		0 ...

Gambar 3.19 Fluid Folder dari Injector
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Nozzle Hole Diameter	mm	0.3 ...
Number of Holes per Nozzle		4 ...
Nozzle Discharge Coefficient		def ...
Injector Location (for Injection into Pipes)		ign ...

Gambar 3.20 Nozzle Folder dari Injector
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attri...	Time or Angle Array	Pressure or Mass Array
0		bar
1	-18.0 ...	0.0 ...
2	-17.0 ...	15.1111111 ...
3	-16.0 ...	18.1111111 ...
4	-15.0 ...	22.1111111 ...
5	-14.0 ...	27.1111111 ...
6	-13.0 ...	33.1111111 ...
7	-12.0 ...	40.1111111 ...
8	-11.0 ...	48.1111111 ...
9	-10.0 ...	57.1111111 ...
10	-9.0 ...	67.1111111 ...
11	-8.0 ...	78.1111111 ...
12	-7.0 ...	90.1111111 ...
13	-6.0 ...	103.1111111 ...
14	-5.0 ...	117.1111111 ...
15	-4.0 ...	132.1111111 ...
16	-3.0 ...	148.1111111 ...
17	-2.0 ...	165.1111111 ...
18	-1.0 ...	183.1111111 ...
19	0.0 ...	200.0 ...
20	1.0 ...	183.1111111 ...
21	2.0 ...	165.1111111 ...
22	3.0 ...	148.1111111 ...
23	4.0 ...	132.1111111 ...
24	5.0 ...	117.1111111 ...
25	6.0 ...	103.1111111 ...
26	7.0 ...	90.1111111 ...
27	8.0 ...	78.1111111 ...

Gambar 3.21 Profile Folder dari Injector
(Sumber : Simulasi GT-Power)

3. Engine Cranktrain

Objek ini mendefinisikan tipe motor, susunan silinder, firing order, karakteristik crankshaft, dan karakteristik blok motor yang lainnya. Untuk membuat cranktrain atribut yang harus diisi pada *cranktrain* antara lain, tipe motor, putaran motor, nilai gesekan, geometri silinder, urutan pembakaran.

Attribute	Unit	Object Value
Engine Type		4-stroke
Speed or Load Specification		load
Engine Speed	See Cas...	[RPM]
Engine Friction Object or FMEP		friction
Start of Cycle (CA at IVC)		-110

Gambar 3.22 Main Folder dari *Cranktrain*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Constant part of FMEP	bar	0.03
Peak Cylinder Pressure Factor		0.004
Mean Piston Speed Factor	bar/(m/s)	0.053
Mean Piston Speed Squared Factor	bar/(m/s...)	0.0006
Engine Speed Upon Entering Friction Transition Band	RPM	def (=2.0)

Gambar 3.23 Main Folder dari *Friction*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Bore	mm	85
Stroke	mm	87
Connecting Rod Length	mm	118.1
Compression Ratio		18
TDC Clearance Height	mm	0.8

Gambar 3.24 Main Folder dari *EngCylGeom*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Engine Effective Rotating Inertia	kg-m ²	1...
Number of Periods at Initial Speed		def (=4,0)...

Gambar 3.25 *Inertia* Folder dari *Cranktrain*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

4. Load Torsi

Load Torsi bisa disebut juga Dinamometer yaitu komponen yang dibuat dan dikopel pada sisi engine *cranktrain*. Dinamometer berfungsi untuk mengatur pembebanan pada mesin dengan cara mengganti nilai *load* yang diinginkan untuk pembebanan.

Attribute	Unit	Object Value
Torque	See Cas...	[BEBAN]...

Gambar 3.26 *Main* Folder dari *Torque*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

c) Sistem *exhasut* terdapat beberapa komponen yang harus didefinisikan, diantaranya:

1. *Exhaust Valve*

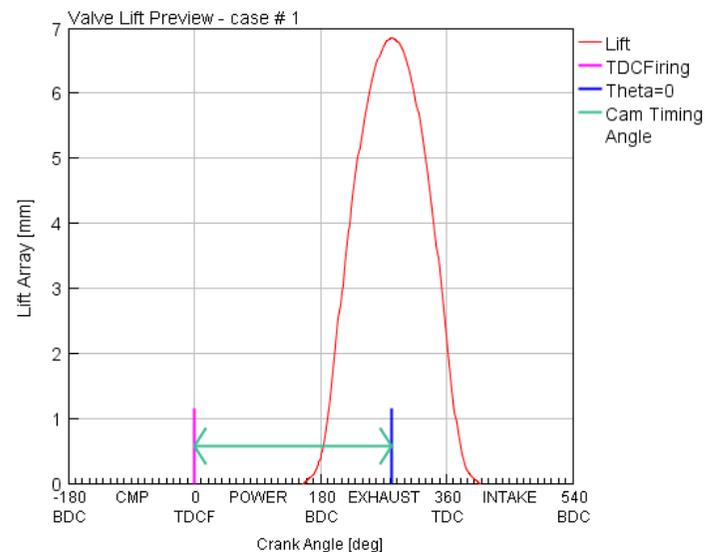
Seperti pembuatan model katup *intake*, *exhaust valve* juga berfungsi untuk membuat karakteristik dari *camshaft* dan katup motor diesel. *Intake* model katup dibuat dengan memasukkan nilai diameter katup, valve lash, cam *timing angle*, dan juga *lift arrays*.

Attribute	Unit	Object Value
Cam Timing Angle	Cam Angle	141...
Cam Timing Anchor Reference		TDCFiring
Cam Timing Lift Array Reference		Theta=0
Source of Angle		
<input checked="" type="radio"/> Attached Cylinder		
<input type="radio"/> Part on Map		ign
<input type="radio"/> Driver Reference Object		ign

Gambar 3.27 *Timing* Folder dari *Exhaust Valve*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Valve Lash	mm	0.25
Variable Profile Dependency Object		ign
Dwell at Maximum Lift	Cam Angle	ign
Angle Multiplier		def (=1.0)
Lift Multiplier		def (=1.0)

Gambar 3.28 Lift Folder dari Exhaust Valve
(Sumber : Simulasi GT-Power)



Gambar 3.29 Lift Folder dari Exhaust Valve
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Valve Reference Diameter	mm	32
Discharge Coefficient Reference Area Definition		curtain
Flow Coefficient Lift Unit		LiftOverDiam
Flow Area Multiplier		def (=1.0)
Number of Identical Holes		def (=1.0)

Gambar 3.30 Flow Coefficient Folder dari Exhaust Valve
(Sumber : Simulasi GT-Power)

2. Sistem Perpipaan *Exhaust*

Pada simulasi ini aliran gas buang akan dialirkan melalui sistem perpipaan, sehingga perlu untuk didefinisikan. Pada tahap ini terdapat 2 komponen yang harus didefinisikan yaitu *exhport* dan *ehxrunner*. Pada komponen *exhport* dan *ehxrunner* dilakukan dengan mendefinisikan *basic geometry*, *initial condition* dan *thermal*.

Attribute	Unit	Object Value
Basic Geometry and Initial Conditions		
Diameter at Inlet End	mm	38.5873 ...
Diameter at Outlet End	mm	30.78 ...
Length	mm	30.2 ...
Discretization Length	mm	46.75 ...
Initial State Name		Gas_buang ...
Surface Finish		
<input type="radio"/> Smooth		
<input checked="" type="radio"/> Roughness from Material		cast_iron
<input type="radio"/> Sand Roughness	mm	
Additional Geometry Options		
Radius of Bend	mm	ign ...
Angle of Bend	deg	ign ...
Pipe Elevation Change or 3D Acceleration Object	mm	ign ...
Number of Identical Pipes		def (=1.0) ...

Gambar 3.31 Main Folder dari *Exhport*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Attribute	Unit	Object Value
Wall Temperature Method		
<input checked="" type="radio"/> Imposed Wall Temperature	K	489 ...
<input type="radio"/> Calculated Wall Temperature		
<input type="radio"/> Wall Temperature from Connected Thermal Primitive		
<input type="radio"/> Adiabatic		
Additional Thermal Options		
Heat Transfer Multiplier		1.5 ...
Heat Input Rate	W	ign ...
Thermocouple Object		ign ...
<input checked="" type="radio"/> Heat Transfer Correlation (Colburn)		
<input type="radio"/> User Defined Heat Transfer Model		ign
Heat Transfer Coefficient	W/(m ² ·K)	
Condense/Evaporate Water Vapor (Non-Refrigerant Circuits)		off

Gambar 3.32 Thermal Folder dari *Exhport*
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main Thermal Pressure Drop Plots			
Attribute	Unit	Object Value	
Basic Geometry and Initial Conditions			
Diameter at Inlet End	mm	38.44 ...	
Diameter at Outlet End	mm	38.1 ...	
Length	mm	152.7 ...	
Discretization Length	mm	32.4 ...	
Initial State Name		Gas_buang ...	
Surface Finish			
<input type="radio"/> Smooth			
<input checked="" type="radio"/> Roughness from Material		steel ...	
<input type="radio"/> Sand Roughness	mm		
Additional Geometry Options			
Radius of Bend	mm	ign ...	
Angle of Bend	deg	ign ...	
Pipe Elevation Change or 3D Acceleration Object	mm	ign ...	
Number of Identical Pipes		def (=1.0) ...	

Gambar 3.33 Main Folder dari Exrunner
(Sumber : Simulasi GT-Power)

Main Thermal Pressure Drop Plots			
Attribute	Unit	Object Value	
Wall Temperature Method			
<input checked="" type="radio"/> Imposed Wall Temperature	K	489 ...	
<input type="radio"/> Calculated Wall Temperature			
<input type="radio"/> Wall Temperature from Connected Thermal Primitive			
<input type="radio"/> Adiabatic			
Additional Thermal Options			
Heat Transfer Multiplier		def (=1.0) ...	
Heat Input Rate	W	ign ...	
Thermocouple Object		ign ...	
<input checked="" type="radio"/> Heat Transfer Correlation (Colburn)			
<input type="radio"/> User Defined Heat Transfer Model		ign ...	
<input type="radio"/> Heat Transfer Coefficient	W/(m ² ·K)		
Condense/Evaporate Water Vapor (Non-Refrigerant Circuits)		off ...	

Gambar 3.34 Thermal Folder dari Exrunner
(Sumber : Simulasi GT-Power)

3. End Environment

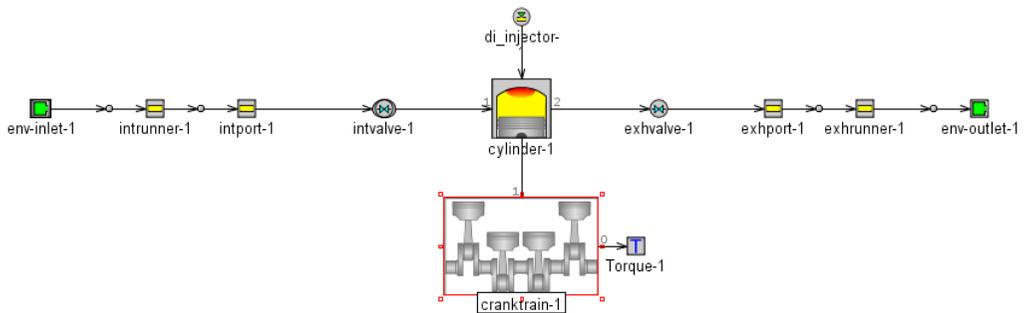
Langkah terakhir adalah membuat batasan kondisi lingkungan gas buang pembakaran. Pembuatan dilakukan seperti “environment” pada sisi inlet, yakni dengan menentukan nilai tekanan, temperatur, dan komposisi udara hasil sisa pembakaran.

Main Options Altitude and Humidity Plots			
Attribute	Unit	Object Value	
Pressure (Absolute)	bar	1 ...	
Temperature	K	303.15 ...	
Composition		air ...	

Gambar 3.35 Main Folder dari End-outlet
(Sumber : Simulasi GT-Power)

3.4.4 Perangkaian Objek

Setelah pendefinisian objek selesai dilakukan, maka selanjutnya adalah perangkaian objek. Objek dirangkai sesuai dengan urutan sistem sehingga membentuk model mesin diesel yang utuh sesuai dengan skema pada Gambar 3.2



Gambar 3.36 Pemodelan Skema Mesin Yanmar TF 85 MH
(Sumber : Software GT-Power)

3.5 Pembuatan Variasi Bahan Bakar Biodiesel Pada Software GT-Power

3.5.1 Input Data B100 Minyak Goreng Bekas

Pada tahapan ini dilakukan inputan karakteristik bahan minyak goreng bekas B100 yang telah didapatkan dari literatur Jurnal. Data yang telah didapatkan dimasukkan ke dalam *template* “References” tab “FluidGas” kemudian klik 2 kali.

Template: FluidGas

Object Usage

- minyak-jelantah-vapor
- Objects

Object Comment:

Help

Main
 Enthalpy
 Transport Properties

Attribute	Unit	Object Value
Molecular Weight		ign ...
Carbon Atoms per Molecule		18.82 ...
Hydrogen Atoms per Molecule		34.39 ...
Oxygen Atoms per Molecule		2 ...
Nitrogen Atoms per Molecule		0 ...
Sulfur Atoms per Molecule		0 ...
Argon Atoms per Molecule		0 ...
Lower Heating Value	J/kg	3.71E+07 ...
Critical Temperature	K	785.87 ...
Critical Pressure	bar	12.07 ...
Absolute Entropy at 298K	J/kg-K	ign ...

Gambar 3.37 Input Main “FluidGas” B100
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Template: FluidGas

Object Usage

- minyak-jelantah-vapor
- Objects

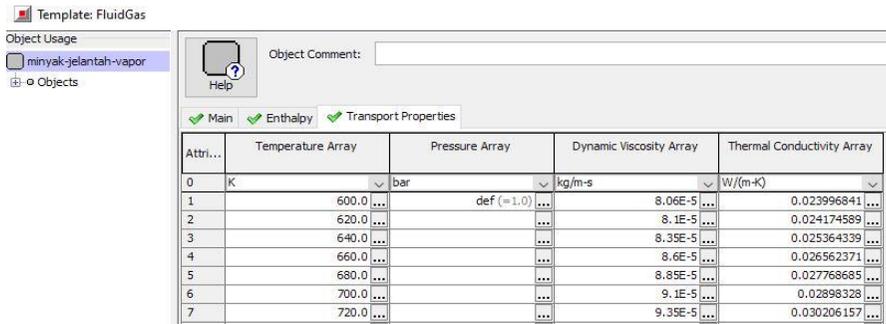
Object Comment:

Help

Main
 Enthalpy
 Transport Properties

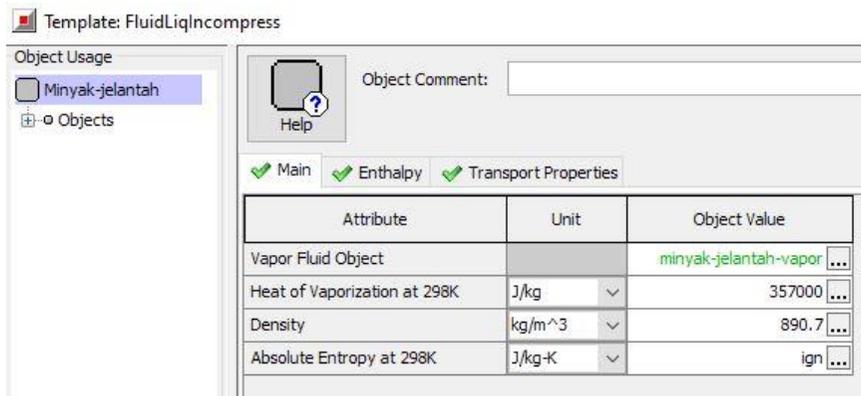
Attribute	Unit	Object Value
(T-Tref) Coefficient, a1		1675 ...
(T-Tref)^2 Coefficient, a2		1 ...
(T-Tref)^3 Coefficient, a3		0 ...
(T-Tref)^4 Coefficient, a4		0 ...
(T-Tref)^5 Coefficient, a5		0 ...

Gambar 3.38 Input Enthalpy “FluidGas” B100
(Sumber : Dokumen Pribadi)

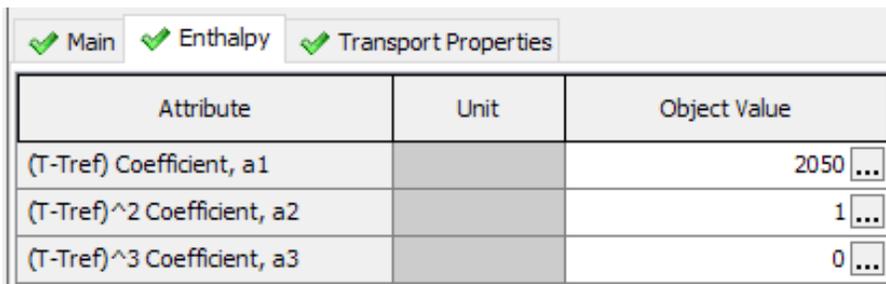


Gambar 3.39 *Input Transport Properties “FluidGas”*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Setelah memasukkan data “*FluidGas*” B100 minyak goreng bekas, maka tab “*FluidLiqIncompressed*” dari dalam *template “References”*, kemudian klik 2 kali.



Gambar 3.40 *Input Main “FluidLiqIncompressed” B100*
(Sumber : Dokumen Pribadi)



Gambar 3.41 *Input Enthalpy “FluidLiqIncompressed” B100*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Attri...	Temperature Array	Pressure Array	Dynamic Viscosity Array	Thermal Conductivity Array
0	K	bar	kg/m-s	W/(m-K)
1	300.0 ...	def (=1.0) ...	4.5993E-5 ...	0.17887 ...
2	310.0 ...	...	3.6646E-5 ...	0.17719 ...
3	320.0 ...	...	2.994E-5 ...	0.17549 ...
4	330.0 ...	...	2.4982E-5 ...	0.17377 ...
5	340.0 ...	...	2.1223E-5 ...	0.17205 ...
6	350.0 ...	...	1.8309E-5 ...	0.17031 ...
7	360.0 ...	...	1.6007E-5 ...	0.16855 ...
8	370.0 ...	...	1.4157E-5 ...	0.16678 ...

Gambar 3.42 Input Transport Properties “FluidLiqIncompressed” B100
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3.5.2 Input Data HSD /Solar

Untuk karakteristik bahan bakar HSD didapatkan dari “*template Library*” GT-Power. Tab “FindTemplate” kemudian cari “*diesel2-combust*” dan masukkan ke dalam “*FluidLiqIncompressed*”.

Attribute	Unit	Object Value
Vapor Fluid Object		diesel-vap
Heat of Vaporization at 298K	J/kg	250000
Density	kg/m ³	830
Absolute Entropy at 298K	J/kg-K	2913.25

Gambar 3.43 Input Main “FluidLiqIncompressed” HSD
(Sumber : Dokumen Pribadi)

Attribute	Unit	Object Value
(T-Tref) Coefficient, a1		2050
(T-Tref) ² Coefficient, a2		0
(T-Tref) ³ Coefficient, a3		0

Gambar 3.44 Input Enthalpy “FluidLiqIncompressed” HSD

(Sumber : Dokumen Pribadi)

Template: FluidLiqIncompress

Object Usage
diesel2-combust

Object Comment:

Help

✓ Main ✓ Enthalpy ✓ Transport Properties

Attri...	Temperature Array	Pressure Array	Dynamic Viscosity Array	Thermal Conductivity Array
0	K	bar	kg/m-s	W/(m-K)
1	273.15	def (=1.0)	0.00219	0.116645
2	290.15		0.00171	0.113925
3	310.15		0.00133	0.110725
4	330.15		0.0011	0.107525
5	350.15		9.6E-4	0.104325
6	373.15		8.8E-4	0.100645
7	400.15		8.7E-4	0.096325
8	450.15		0.00112	0.088325

Gambar 3.45 Input Transport Properties “FluidLiqIncompressed” HSD
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3.5.2 Input Data B50 Minyak Goreng Bekas

Untuk mendapatkan karakteristik bahan bakar campuran antara biodiesel dengan HSD dapat menggunakan *Tools* yang terdapat pada GT-Power. Tab “References” klik “FluidMixtureCombined” untuk membuat bahan bakar B50.

Template: FluidMixtureCombined

Object Usage
B50

Object Comment:

Help

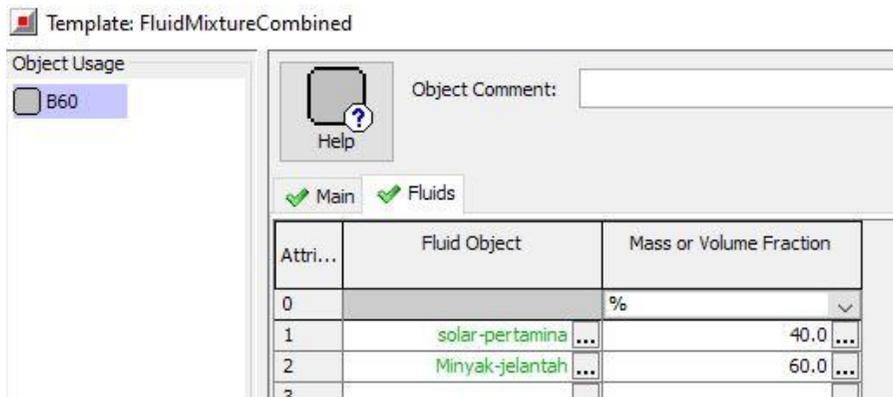
✓ Main ✓ Fluids

Attri...	Fluid Object	Mass or Volume Fraction
0		%
1	solar-pertamina ...	50.0 ...
2	Minyak-jelantah ...	50.0 ...
3	...	...

Gambar 3.46 Input Fluids “FluidMixtureCombined” B50
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3.5.2 Input Data B60 Minyak Goreng Bekas

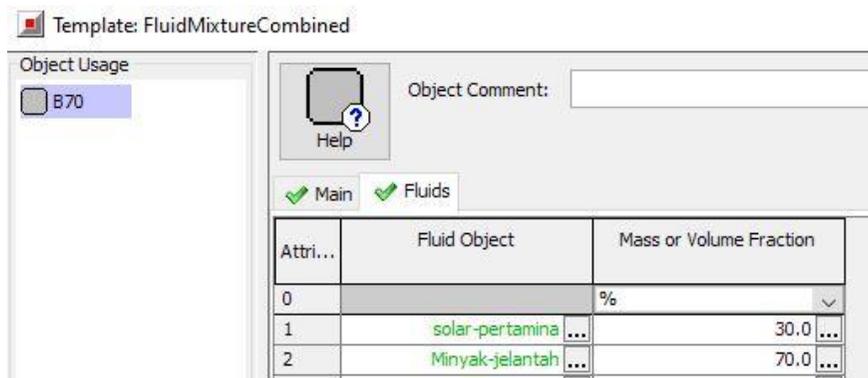
Untuk mendapatkan karakteristik bahan bakar campuran antara biodiesel dengan HSD dapat menggunakan *Tools* yang terdapat pada GT-Power. Tab “References” klik “FluidMixtureCombined” untuk membuat bahan bakar B60.



Gambar 3.47 *Input Fluids “FluidMixtureCombined” B60*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3.5.2 Input Data B70 Minyak Goreng Bekas

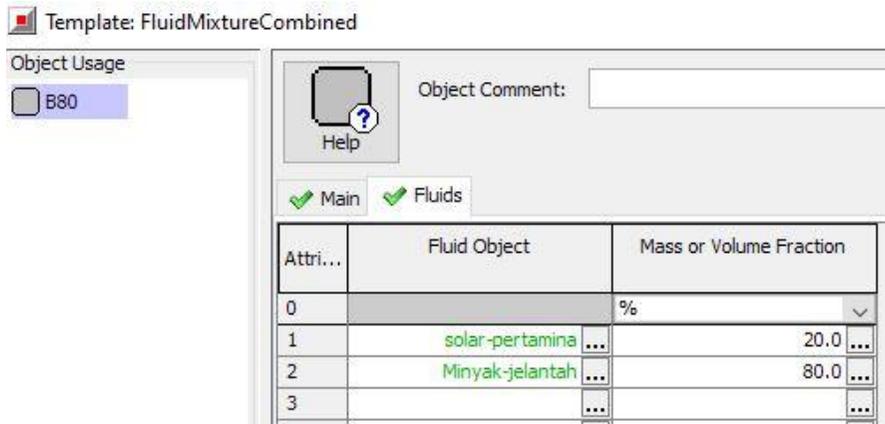
Untuk mendapatkan karakteristik bahan bakar campuran antara biodiesel dengan HSD dapat menggunakan *Tools* yang terdapat pada GT-Power. Tab “*References*” klik “*FluidMixtureCombined*” untuk membuat bahan bakar B70.



Gambar 3.48 *Input Fluids “FluidMixtureCombined” B70*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3.5.2 Input Data B80 Minyak Goreng Bekas

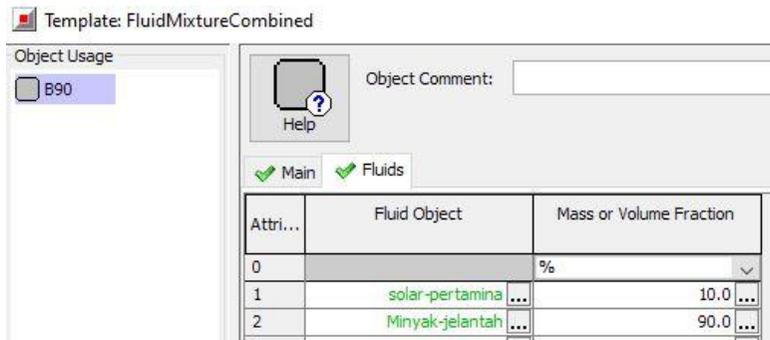
Untuk mendapatkan karakteristik bahan bakar campuran antara biodiesel dengan HSD dapat menggunakan *Tools* yang terdapat pada GT-Power. Tab “*References*” klik “*FluidMixtureCombined*” untuk membuat bahan bakar B80.



Gambar 3.49 *Input Fluids “FluidMixtureCombined” B80*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3.5.2 Input Data B90 Minyak Goreng Bekas

Untuk mendapatkan karakteristik bahan bakar campuran antara biodiesel dengan HSD dapat menggunakan *Tools* yang terdapat pada GT-Power. Tab “*References*” klik “*FluidMixtureCombined*” untuk membuat bahan bakar B90.



Gambar 3.50 *Input Fluids “FluidMixtureCombined” B90*
(Sumber : Dokumen Pribadi)

3.6 Hasil Karakteristik Biodiesel Minyak Goreng Bekas

Untuk melihat hasil pembuatan campuran biodiesel dengan HSD, klik 2 kali "View Result". Tabel 3.3 merupakan karakteristik bahan bakar yang disimulasikan di GT-POWER.

Pada permodelan ini menggunakan settingan didalam software yang memungkinkan pencampuran (*blend*) bahan bakar dilakukan secara komputasi. Dimana untuk melakukan itu diperlukan data pendukung atas karakteristik bahan bakar yang dibutuhkan yaitu B100 Jelantah, HSD pertamina. Berikut adalah inputan data dari masing-masing bahan bakar tersebut.

Tabel 3.2 Karakteristik Bahan Bakar

(Sumber : Library Gt Power, Craddy dkk 2011, Komputasi Gt Power)

Fuel Properties	HSD	B100	B50	B60	B70	B80	B90
Density, kg/m ³	836	890.7	863.4	868.82	874.29	879.8	885.23
Lower Heating Valve (MJ/kg)	43.25	37.11	39.76	39.14	38.52	37.92	37.33
Critical Temperature (K)	569.4	785.9	677.7	699.3	720.95	742.6	764.25
Critical Pressure (bar)	24.6	12.07	18.34	17.082	15.829	14.58	13.323

3.7 Validasi Simulasi GT-Power

Pada penelitian ini melakukan validasi simulasi dengan cara mengkalibrasikan hasil data kalibrasi yaitu Daya, Torsi, dan SFOC dengan spesifikasi mesin yanmar TF-85 yang disimulasikan. Berikut hasil data kalibrasi dan spesikasi mesin yanmar TF-85 :

Tabel 3.3 Hasil Kalibrasi Simulasi GT-Power

(Sumber : Dokumen Pribadi)

HSD			
RPM	POWER (Kw)	TORQUE (N-m)	BSFC (gr/kw-h)
500	1.5844271	30.260328	282.64145
600	1.9778173	31.477942	268.28235
700	2.3680298	32.304314	258.16147
800	2.751818	32.847404	250.71738
900	3.1261702	33.1697	245.12404

1000	3.4907706	33.334404	240.76488
1100	3.8426309	33.358566	237.43828
1200	4.181567	33.275852	234.83461
1300	4.50431	33.086918	232.8921
1400	4.8130145	32.829216	231.34583
1500	5.103609	32.490585	230.2726
1600	5.377105	32.09223	229.52277
1700	5.6312118	31.63183	229.11383
1800	5.867771	31.129492	228.91557
1900	6.08444	30.580069	228.94571
2000	6.282582	29.997118	229.1506
2100	6.4565473	29.359753	229.66156
2200	6.6133823	28.70598	230.25352

Tabel 3.3 menunjukkan hasil nilai keluaran pada simulasi Gt-Power, nilai yang diberi warna merah adalah torsi, power, dan SFOC pada simulasi mesin yang akan dikalibrasikan dengan spesifikasi dari mesin Yanmar TF-85 MH.

Tabel 3.4 Perbandingan Spesifikasi Dengan Kalibrasi
(Sumber : Dokumen Pribadi)

	Spesifikasi TF-85	Hasil Kalibrasi	Margin Error
Power Maksimal 2.200 RPM	6.33 Kw	6.61 KW	4.42
Torsi Maksimal 1600 RPM	33.73 Nm	32.09	4.86
SFOC Maksimal 2200 RPM	229.315 gr/Kw-H	230.25 gr/Kw-H	4.07
	Sumber : Project Guide TF-85	Sumber : Hasil Simulasi	

3.8 Simulasi GT-Power

3.8.1 Simulasi Proses Pembakaran

Pada simulasi proses pembakaran data yang akan diambil adalah *Maximum Pressure, Maximum Temperature, Heat Release, Rate of Heat Release*.

- Variabel Bebas : Bahan Bakar (HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100).
- Variabel Terikat : *Maximum Pressure, Maximum Temperature, Heat Release, Rate of Heat Release.*
- Variabel Kontrol : *Speed (2200 rpm)*
- Variabel Kontrol : *Load torsi (10%,25%, 50%, 75%, 100%)*

3.8.2 Simulasi Emisi NOx

Untuk pengambilan data emisi NOx

- Variabel Bebas : Bahan Bakar (HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100).
- Variabel Terikat : NOx
- Variabel Kontrol : *Speed 2200 rpm.*
- Variabel Kontrol : *Load torsi (10%,25%, 50%, 75%, 100%)*

3.8.3 Pembebanan Pada Simulasi

Pada simulasi GT-Power, nilai beban maksimal/100% didapatkan dengan cara merunning bahan bakar yang diujikan didalam simulasi tanpa tools "*Load Torque*". Nilai beban maksimal pada setiap variasi bahan bakar digunakan untuk menentukan *part load* dan medium load yaitu 10%, 25%, 50%,75%. Setelah nilai variasi pembebanan torsi didapatkan, maka nilai pembebanan dimasukkan ke dalam tools "*Load Torque*".

3.9 Pengambilan dan Analisis Data

Pada penelitian ini, analisis data yang dilakukan adalah *Maximum Pressure, Maximum Temperature, Heat Release, Rate of Heat Release*, dan emisi NOx pada simulasi pemodelan mesin diesel *GT-POWER*.

3.10 Hasil dan Kesimpulan

Setelah semua tahapan dilakukan, maka selanjutnya adalah kesimpulan analisa data dan percobaan. Diharapkan nantinya hasil kesimpulan dapat menjawab permasalahan yang menjadi tujuan skripsi ini. Selain itu diperlukan saran berdasarkan hasil penelitian untuk perbaikan tugas akhir supaya lebih sempurna.

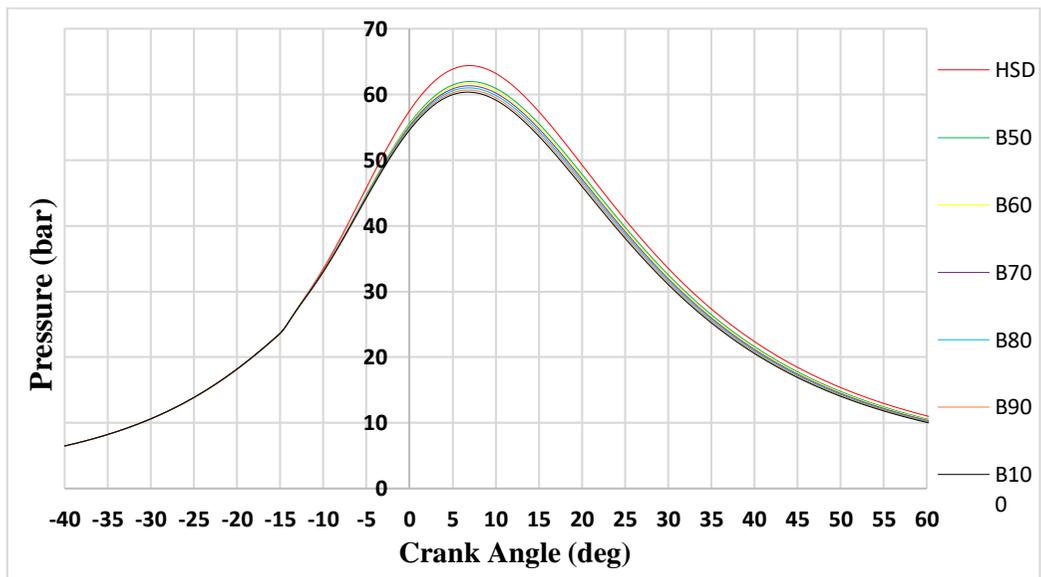
“Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Proses Pembakaran Biodiesel Minyak Goreng Bekas B50-B100

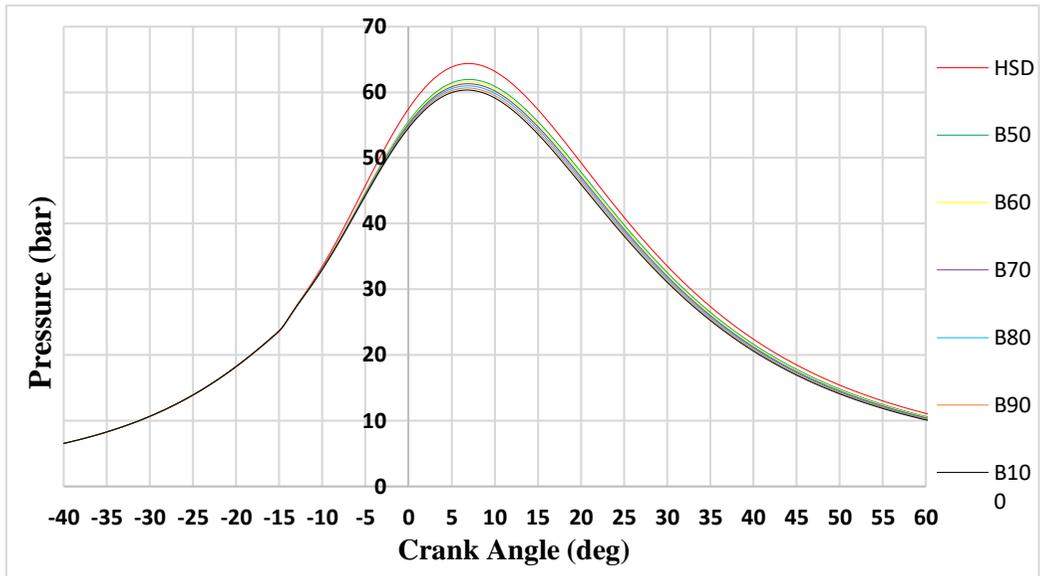
Pengambilan titik hasil proses pembakaran pada variasi 2200 RPM dan 2100 RPM sedangkan untuk variasi pembebanan dimulai dari 10%, 25%, 50%, 75% dan , 100%. Proses pembakaran yang dianalisa adalah grafik *rate of heat release*, *heat release*, *combustion pressure*, dan *temperature* didalam silinder. Hasil proses pembakaran didapatkan melalui simulasi. Hasil proses pembakaran adalah sebagai berikut :

4.1.1 Analisis Combustion Pressure



Gambar 4.1 Grafik *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 10% Load

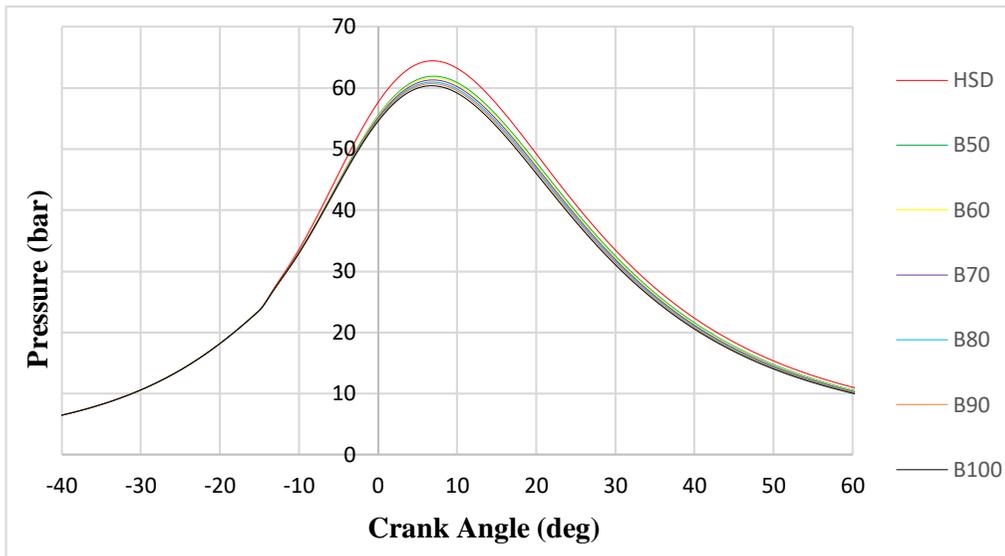
Grafik pada gambar 4.1 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat crank angle yang terjadi pada 100% RPM dengan load 10% . Pada grafik *combustion pressure* dilakukan analisis *peak pressure* untuk mengetahui nilai tekanan maksimum pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.1 memberikan informasi bahwa pola penurunan *peak pressure* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.2 Grafik (Zoom) Combustion Pressure pada 100% RPM dan 10% Load

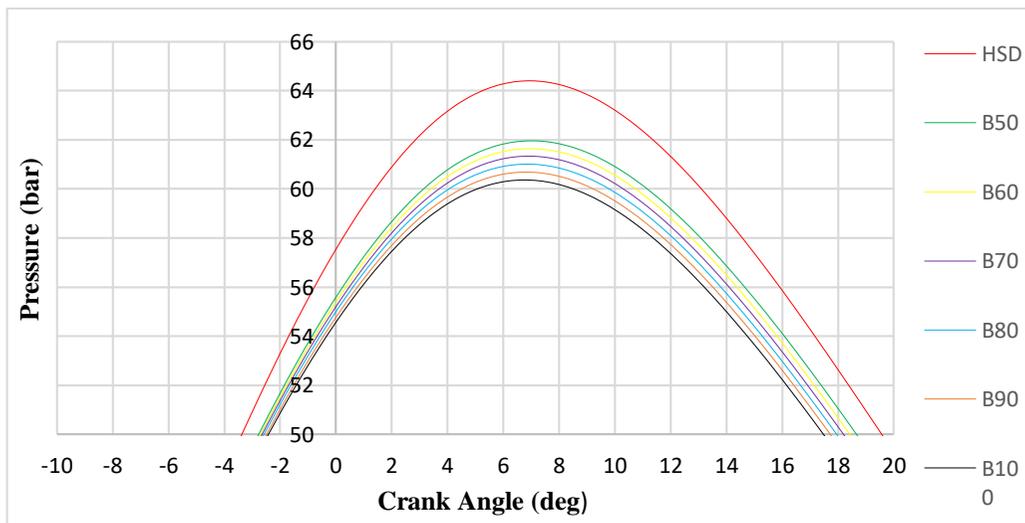
Grafik pada gambar 4.2 merupakan *zooming* dari *combustion pressure* pada 100% RPM dan *load* 10%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik tekanan maksimum/*peak pressure* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *peak pressure* terdapat pada 7,02 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 64,39 bar, sedangkan B50 *peak pressure* terdapat pada 6,89 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,95 bar. Pada B60 *peak pressure* terdapat pada 6,97 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,63 bar, sedangkan B70 *peak pressure* terdapat pada 7,01 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,31 bar. Pada B80 *peak pressure* terdapat pada 7,11 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,99 bar, sedangkan B90 *peak pressure* terdapat pada 6,64 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,67 bar. Untuk B100 *peak pressure* terdapat pada 6,73 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,35 bar.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan persentase biodiesel minyak goreng bekas maka semakin kecil nilai *peak pressure*. Penurunan *peak pressure* dari bahan bakar HSD ke B50 terlihat signifikan, sementara untuk penambahan campuran biodiesel 10% atau dari B50 ke B60 penurunan *peak pressure* terlihat tidak terlalu signifikan. Secara keseluruhan urutan nilai *peak pressure* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa Penurunan *peak pressure* disebabkan karena penurunan nilai kalor pada setiap penambahan persen bahan bakar campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.3 Grafik *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 25% *Load*

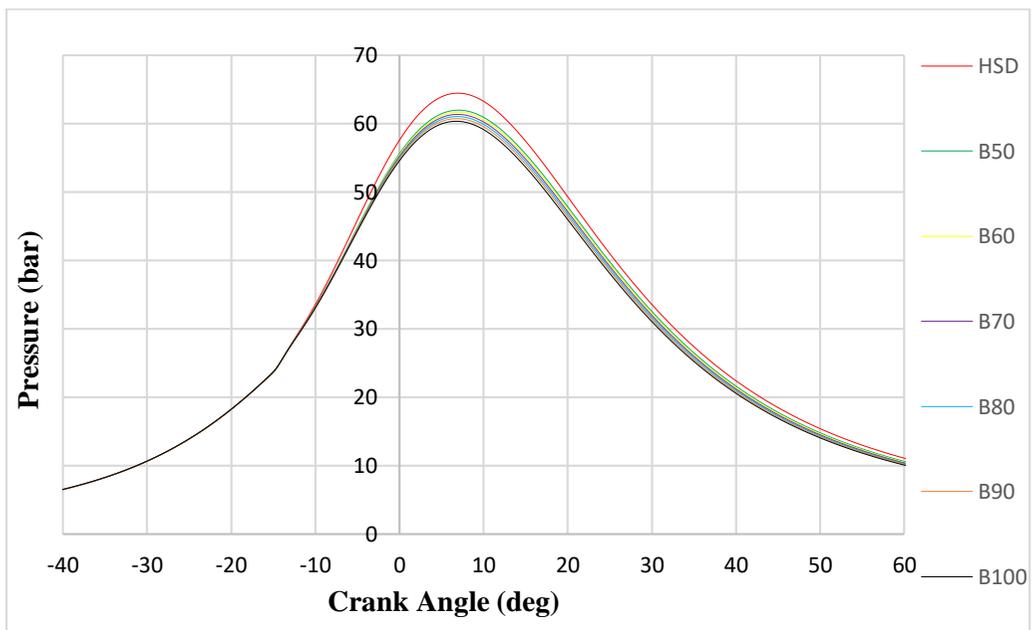
Grafik pada gambar 4.3 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat crank angle yang terjadi pada 100% RPM dengan load 25% . Pada grafik *combustion pressure* dilakukan analisis *peak pressure* untuk mengetahui nilai tekanan maksimum pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.3 memberikan informasi bahwa pola penurunan *peak pressure* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.4 Grafik (*Zoom*) *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 25% *Load*

Grafik pada gambar 4.4 merupakan *zooming* dari *combustion pressure* pada 100% RPM dan *load* 25%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik tekanan maksimum/*peak pressure* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *peak pressure* terdapat pada 7,01 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 64,40 bar, sedangkan B50 *peak pressure* terdapat pada 6,89 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,96 bar. Pada B60 *peak pressure* terdapat pada 6,97 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,64 bar, sedangkan B70 *peak pressure* terdapat pada 7,01 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,32 bar. Pada B80 *peak pressure* terdapat pada 7,11 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61 bar, sedangkan B90 *peak pressure* terdapat pada 6,64 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,68 bar. Untuk B100 *peak pressure* terdapat pada 6,73 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,36 bar.

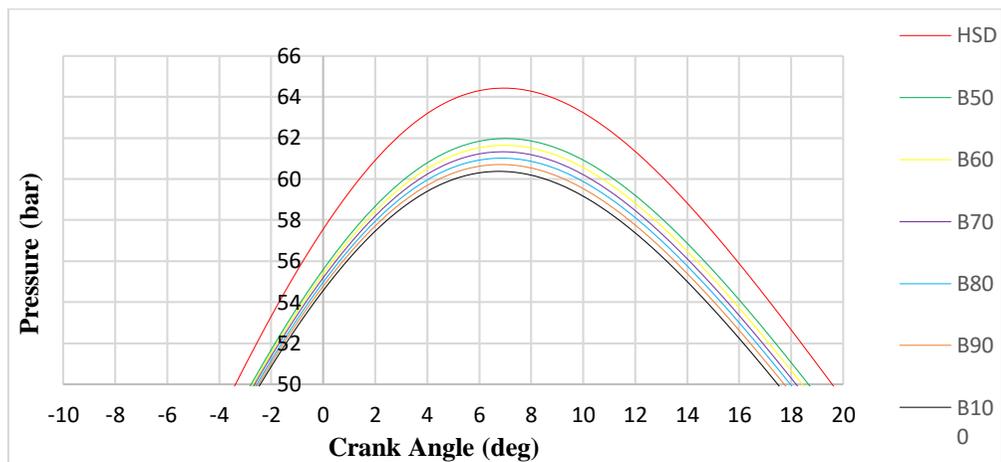
Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan persentasi biodiesel minyak goreng bekas maka semakin kecil nilai *peak pressure*. Penurunan *peak pressure* dari bahan bakar HSD ke B50 terlihat signifikan, sementara untuk penambahan campuran biodiesel 10% atau dari B50 ke B60 penurunan *peak pressure* terlihat tidak terlalu signifikan. Secara keseluruhan urutan nilai *peak pressure* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa Penurunan *peak pressure* disebabkan karena penurunan nilai kalor pada setiap penambahan persen bahan bakar campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.5 Grafik *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 50% *Load*

Grafik pada gambar 4.5 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan *load* 50%. Pada grafik

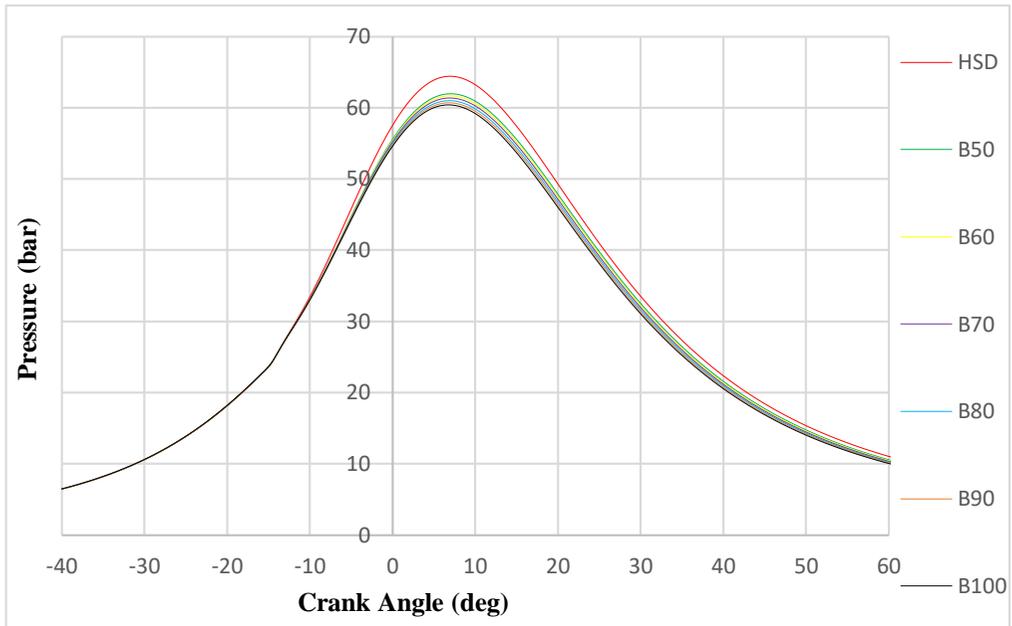
combustion pressure dilakukan analisis *peak pressure* untuk mengetahui nilai tekanan maksimum pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.5 memberikan informasi bahwa pola penurunan *peak pressure* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.6 Grafik (Zoom) *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 50% Load

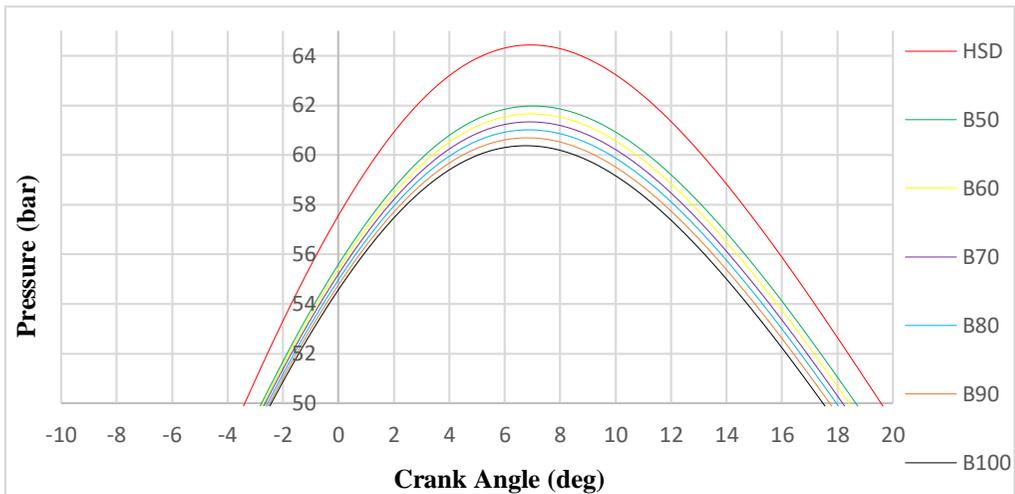
Grafik pada gambar 4.6 merupakan *zooming* dari *combustion pressure* pada 100% RPM dan *load* 50%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik tekanan maksimum/*peak pressure* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *peak pressure* terdapat pada 7,01 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 64,42 bar, sedangkan B50 *peak pressure* terdapat pada 6,88 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,97 bar. Pada B60 *peak pressure* terdapat pada 6,96 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,65 bar, sedangkan B70 *peak pressure* terdapat pada 7 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,33 bar. Pada B80 *peak pressure* terdapat pada 7,1 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,01 bar, sedangkan B90 *peak pressure* terdapat pada 6,63 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,69 bar. Untuk B100 *peak pressure* terdapat pada 6,72 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,37 bar.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan persentase biodiesel minyak goreng bekas maka semakin kecil nilai *peak pressure*. Penurunan *peak pressure* dari bahan bakar HSD ke B50 terlihat signifikan, sementara untuk penambahan campuran biodiesel 10% atau dari B50 ke B60 penurunan *peak pressure* terlihat tidak terlalu signifikan. Secara keseluruhan urutan nilai *peak pressure* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa Penurunan *peak pressure* disebabkan karena penurunan nilai kalor pada setiap penambahan persen bahan bakar campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.7 Grafik *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 75% *Load*

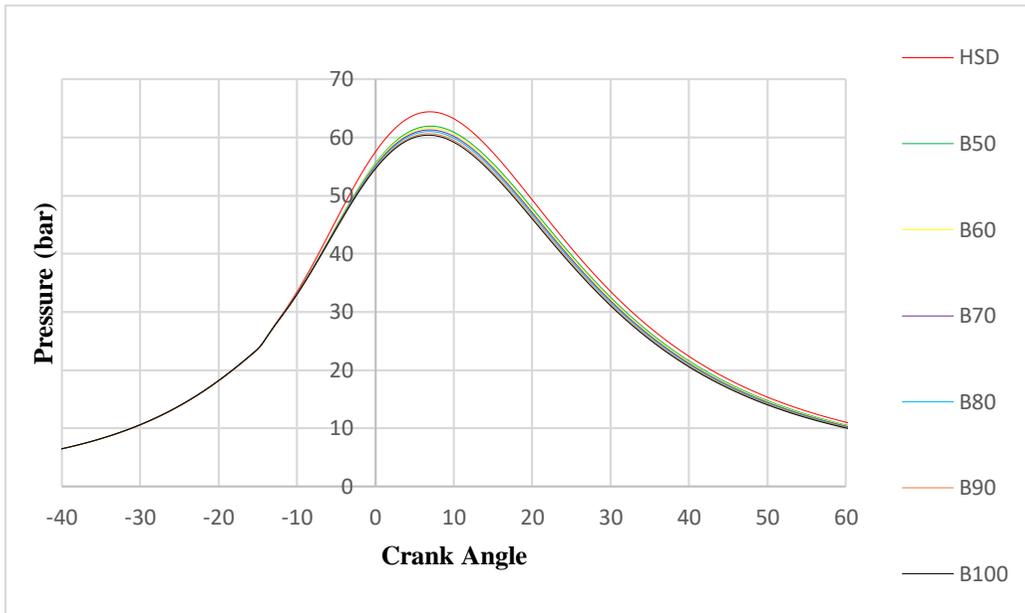
Grafik pada gambar 4.7 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan *load* 75% . Pada grafik *combustion pressure* dilakukan analisis *peak pressure* untuk mengetahui nilai tekanan maksimum pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.7 memberikan informasi bahwa pola penurunan *peak pressure* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.8 Grafik (Zoom) *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 75% Load

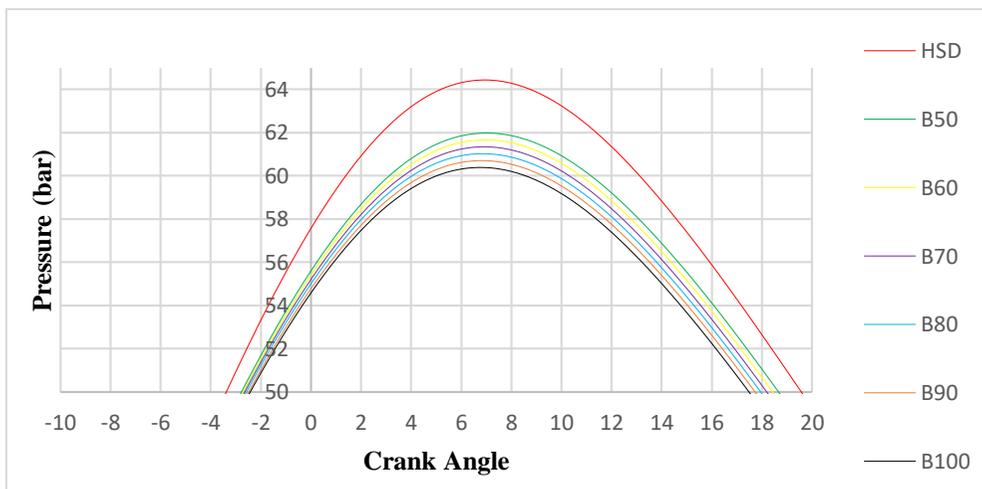
Grafik pada gambar 4.8 merupakan *zooming* dari *combustion pressure* pada 100% RPM dan *load* 75%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik tekanan maksimum/*peak pressure* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *peak pressure* terdapat pada 6,99 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 64,42 bar, sedangkan B50 *peak pressure* terdapat pada 6,87 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,97 bar. Pada B60 *peak pressure* terdapat pada 6,95 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,65 bar, sedangkan B70 *peak pressure* terdapat pada 7 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,34 bar. Pada B80 *peak pressure* terdapat pada 7,09 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 6,01 bar, sedangkan B90 *peak pressure* terdapat pada 6,62 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,69 bar. Untuk B100 *peak pressure* terdapat pada 6,71 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,38 bar.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan persentase biodiesel minyak goreng bekas maka semakin kecil nilai *peak pressure*. Penurunan *peak pressure* dari bahan bakar HSD ke B50 terlihat signifikan, sementara untuk penambahan campuran biodiesel 10% atau dari B50 ke B60 penurunan *peak pressure* terlihat tidak terlalu signifikan. Secara keseluruhan urutan nilai *peak pressure* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa Penurunan *peak pressure* disebabkan karena penurunan nilai kalor pada setiap penambahan persen bahan bakar campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.9 Grafik *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 100% Load

Grafik pada gambar 4.9 adalah grafik perbandingan *combustion pressure* pada setiap derajat crank angle yang terjadi pada 100% RPM dengan load 100% . Pada grafik *combustion pressure* dilakukan analisis *peak pressure* untuk mengetahui nilai tekanan maskimum pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.9 memberikan informasi bahwa pola penurunan *peak pressure* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.

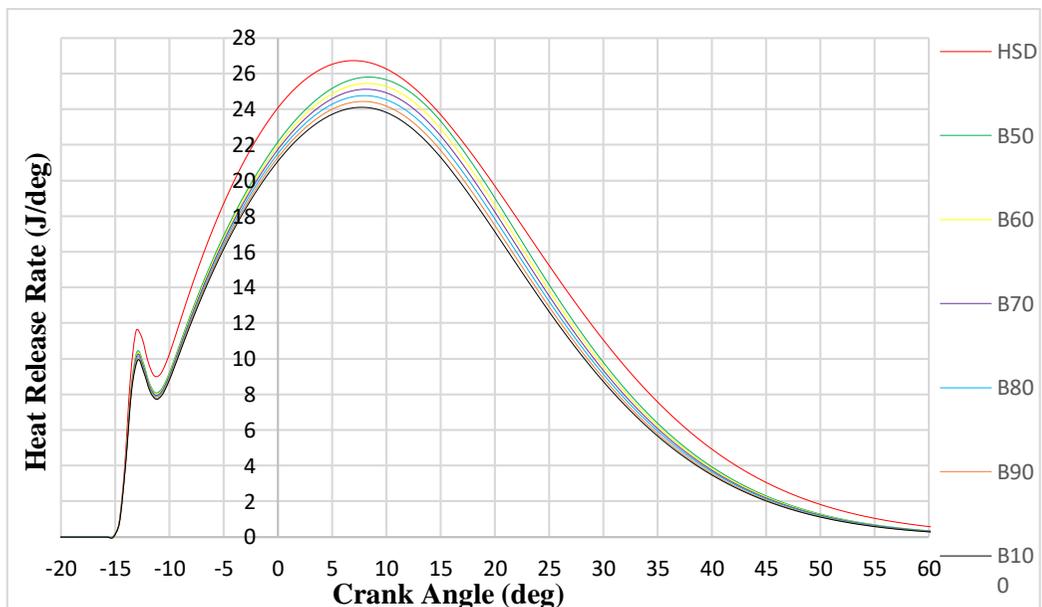


Gambar 4.10 Grafik (*Zoom*) *Combustion Pressure* pada 100% RPM dan 100% Load

Grafik pada gambar 4.10 merupakan *zooming* dari *combustion pressure* pada 100% RPM dan *load* 100%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik tekanan maksimum/ *peak pressure* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *peak pressure* terdapat pada 6,99 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 64,44 bar, sedangkan B50 *peak pressure* terdapat pada 6,87 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,99 bar. Pada B60 *peak pressure* terdapat pada 6,95 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,67 bar, sedangkan B70 *peak pressure* terdapat pada 7 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 61,35 bar. Pada B80 *peak pressure* terdapat pada 7,09 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,2 bar, sedangkan B90 *peak pressure* terdapat pada 6,62 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,71 bar. Untuk B100 *peak pressure* terdapat pada 6,71 °CA setelah TMA dengan *pressure* sebesar 60,39 bar.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar penambahan persentasi biodiesel minyak goreng bekas maka semakin kecil nilai *peak pressure*. Penurunan *peak pressure* dari bahan bakar HSD ke B50 terlihat signifikan, sementara untuk penambahan campuran biodiesel 10% atau dari B50 ke B60 penurunan *peak pressure* terlihat tidak terlalu signifikan. Secara keseluruhan urutan nilai *peak pressure* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa Penurunan *peak pressure* disebabkan karena penurunan nilai kalor pada setiap penambahan persen bahan bakar campuran biodiesel minyak goreng bekas.

4.1.2 Analisis Rate of Heat Release

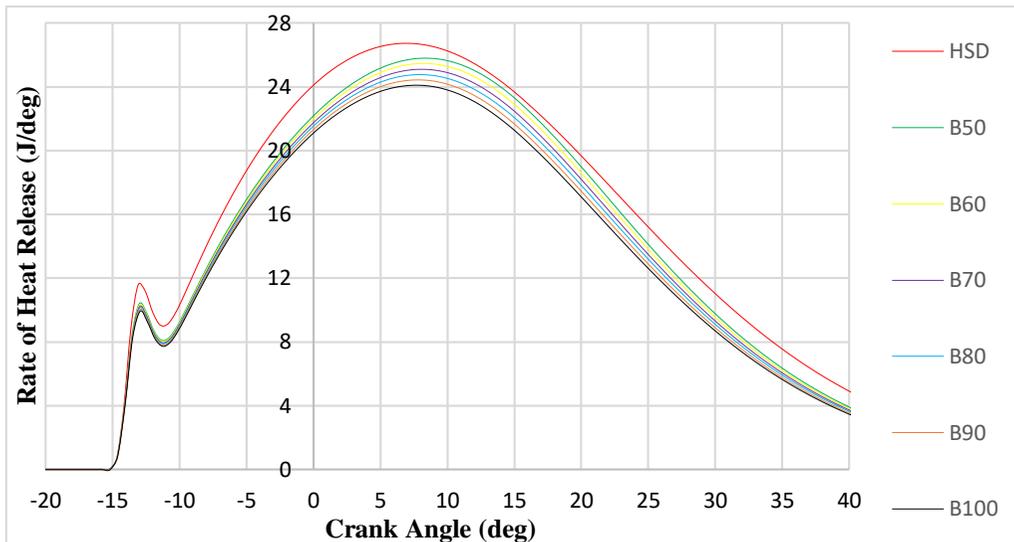


Gambar 4.11 Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM dan 10% Load

Gambar 4.11 merupakan grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 10% *load*. Pada gambar 4.11 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses laju pelepasan panas atau *rate of heat release* dan analisa fase *premixed combustion* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *rate of heat release* (ROHR) dilakukan dengan cara membandingkan nilai *peak rate of heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada analisis *peak rate of heat release* untuk bahan bakar HSD terjadi pada 7,01 °CA setelah TMA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 26,72 J/deg, sedangkan bahan bakar B50 berada pada 8,55 °CA setelah TMA dengan laju pelepasan energi sebesar 25,79 J/deg. Pada bahan bakar B60 terjadi pada 8,08 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,11 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B70 berada pada 8,13 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,11 J/deg. Pada bahan bakar B80 terjadi pada 8,23 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,76 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B90 berada pada 7,76 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,43 J/deg. Sedangkan untuk bahan bakar B100 terjadi pada 7,85 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,09 J/deg. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak rate of heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak rate of heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak rate of heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *peak rate of heat release* diakibatkan oleh karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.

Pada analisis fase *premixed combustion* dilakukan dengan cara melihat luas area yang terbentuk oleh grafik *rate of heat release* dengan *crank angle*. Luasan area tersebut menjelaskan seberapa besar nilai *heat release*. Analisis *premixed combustion* dimulai dari titik SOC (*start of combustion*) sampai dengan akhir dari fase *premixed combustion* (EOP). Nilai EOP berada pada titik terendah setelah titik tertinggi ROHR pertama. Pada grafik 4.11 pada bahan bakar HSD memiliki luasan area *premixed combustion* tertinggi, kemudian disusul dibawahnya yaitu bahan bakar B50, dan akan terus menurun seiring dengan penambahan jumlah prosentase biodiesel minyak goreng bekas.



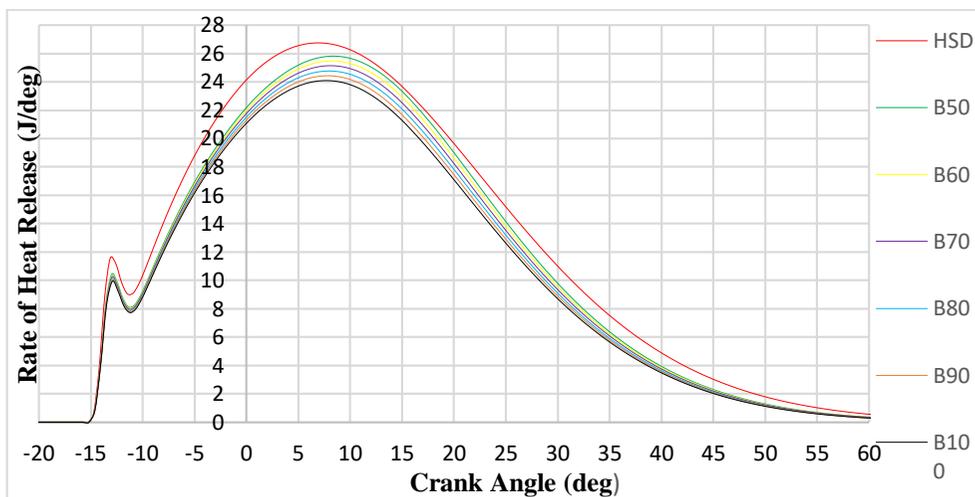
Gambar 4.12 Grafik *Rate of Heat Release* pada 100% RPM dan 25% Load

Gambar 4.12 merupakan grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 25% load. Pada gambar 4.12 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses laju pelepasan panas atau *rate of heat release* dan analisis *premixed combustion* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *rate of heat release* (ROHR) dilakukan dengan cara membandingkan nilai *peak rate of heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada analisis *peak rate of heat release* untuk bahan bakar HSD terjadi pada 7,01 °CA setelah TMA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 26,73 J/deg, sedangkan bahan bakar B50 berada pada 8,55 °CA setelah TMA dengan laju pelepasan energi sebesar 25,80 J/deg. Pada bahan bakar B60 terjadi pada 8,08 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,12 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B70 berada pada 8,13 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,12 J/deg. Pada bahan bakar B80 terjadi pada 8,23 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,77 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B90 berada pada 7,76 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,44 J/deg. Sedangkan untuk bahan bakar B100 terjadi pada 7,85 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,10 J/deg. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak rate of heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak rate of heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak rate of heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *peak rate of heat release* diakibatkan oleh

karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.

Pada analisis fase *premixed combustion* dilakukan dengan cara melihat luas area yang terbentuk oleh grafik *rate of heat release* dengan *crank angle*. Luasan area tersebut menjelaskan seberapa besar nilai *heat release*. Analisis *premixed combustion* dimulai dari titik SOC (*start of combustion*) sampai dengan akhir dari fase *premixed combustion* (EOP). Nilai EOP berada pada titik terendah setelah titik tertinggi ROHR pertama. Pada grafik 4.12 pada bahan bakar HSD memiliki luasan area *premixed combustion* tertinggi, kemudian disusul dibawahnya yaitu bahan bakar B50, dan akan terus menurun seiring dengan penambahan jumlah prosentase biodiesel minyak goreng bekas.



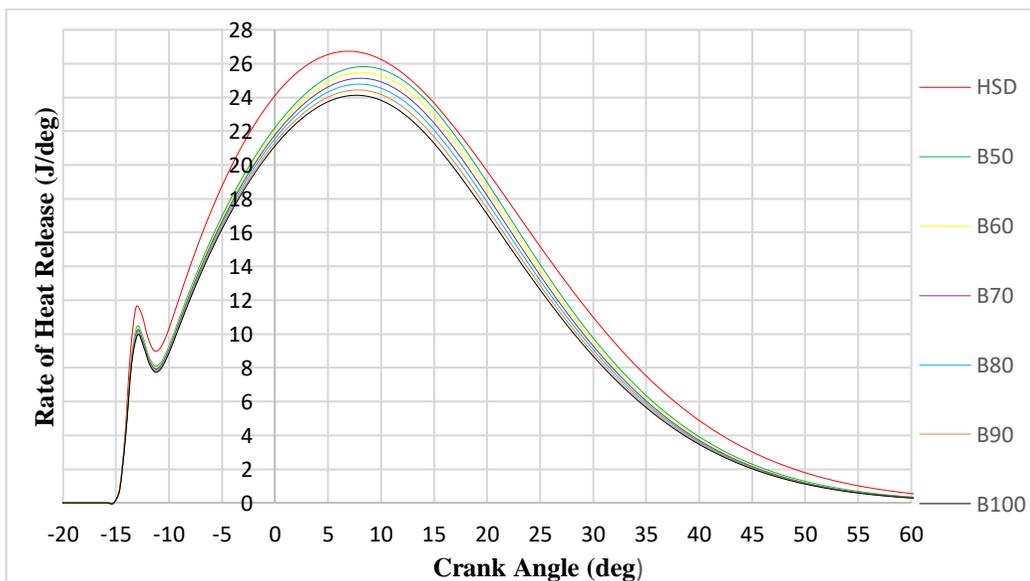
Gambar 4.13 Grafik Rate of Heat Release pada 100% RPM dan 50% Load

Gambar 4.13 merupakan grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 50% load. Pada gambar 4.13 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses laju pelepasan panas atau *rate of heat release* dan analisis *premixed combustion* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *rate of heat release* (ROHR) dilakukan dengan cara membandingkan nilai *peak rate of heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada analisis *peak rate of heat release* untuk bahan bakar HSD terjadi pada 5,92 °CA setelah TMA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 26,8 J/deg, sedangkan bahan bakar B50 berada pada 8,54 °CA setelah TMA dengan laju pelepasan energi sebesar 25,8 J/deg. Pada bahan bakar B60 terjadi pada 8,07 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,46 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B70 berada pada 8,12 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,12 J/deg. Pada bahan bakar B80 terjadi pada 8,22 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,78 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B90 berada pada 7,75 °CA dengan nilai laju pelepasan energi

sebesar 24,44 J/deg. Sedangkan untuk bahan bakar B100 terjadi pada 7,85 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,10 J/deg. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak rate of heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak rate of heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak rate of heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *peak rate of heat release* diakibatkan oleh karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.

Pada analisis fase *premixed combustion* dilakukan dengan cara melihat luas area yang terbentuk oleh grafik *rate of heat release* dengan *crank angle*. Luasan area tersebut menjelaskan seberapa besar nilai *heat release*. Analisis *premixed combustion* dimulai dari titik SOC (*start of combustion*) sampai dengan akhir dari fase *premixed combustion* (EOP). Nilai EOP berada pada titik terendah setelah titik tertinggi ROHR pertama. Pada grafik 4.13 pada bahan bakar HSD memiliki luasan area *premixed combustion* tertinggi, kemudian disusul dibawahnya yaitu bahan bakar B50, dan akan terus menurun seiring dengan penambahan jumlah prosentase biodiesel minyak goreng bekas.



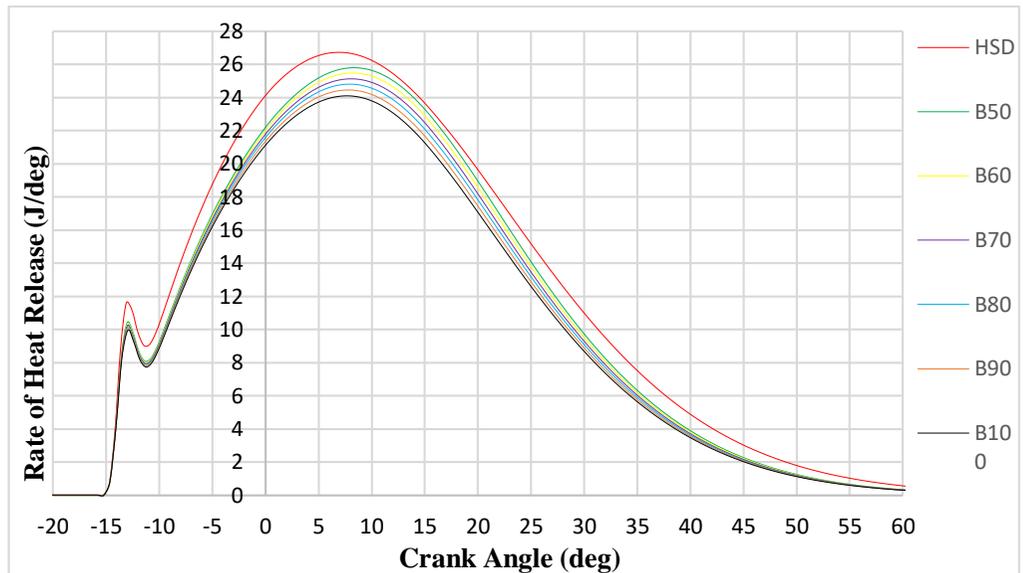
Gambar 4.14 Grafik *Rate of Heat Release* pada 100% RPM dan 75% Load

Gambar 4.14 merupakan grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 75% load. Pada gambar 4.14 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses laju pelepasan panas atau *rate of heat release* dan

premixed combustion pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *rate of heat release* (ROHR) dilakukan dengan cara membandingkan nilai *peak rate of heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada analisis *peak rate of heat release* untuk bahan bakar HSD terjadi pada 7 °CA setelah TMA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 26,74 J/deg, sedangkan bahan bakar B50 berada pada 8,54 °CA setelah TMA dengan laju pelepasan energi sebesar 25,81 J/deg. Pada bahan bakar B60 terjadi pada 8,06 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,47 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B70 berada pada 8,11 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,13 J/deg. Pada bahan bakar B80 terjadi pada 8,22 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,78 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B90 berada pada 7,75 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,45 J/deg. Sedangkan untuk bahan bakar B100 terjadi pada 7,84 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,11 J/deg. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak rate of heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak rate of heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak rate of heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *peak rate of heat release* diakibatkan oleh karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.

Pada analisis fase *premixed combustion* dilakukan dengan cara melihat luas area yang terbentuk oleh grafik *rate of heat release* dengan *crank angle*. Luasan area tersebut menjelaskan seberapa besar nilai *heat release*. Analisis *premixed combustion* dimulai dari titik SOC (*start of combustion*) sampai dengan akhir dari fase *premixed combustion* (EOP). Nilai EOP berada pada titik terendah setelah titik tertinggi ROHR pertama. Pada grafik 4.14 pada bahan bakar HSD memiliki luasan area *premixed combustion* tertinggi, kemudian disusul dibawahnya yaitu bahan bakar B50, dan akan terus menurun seiring dengan penambahan jumlah prosentase biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.15 Grafik *Rate of Heat Release* pada 100% RPM dan 100% Load

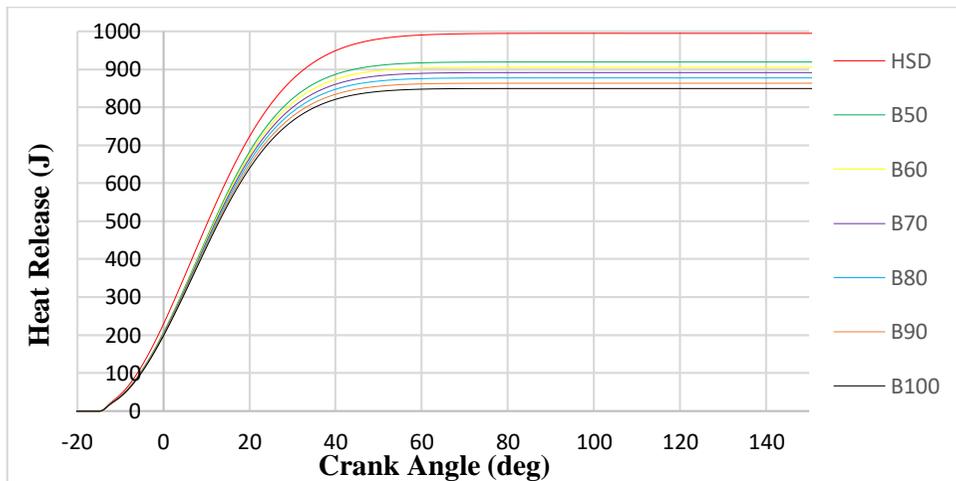
Gambar 4.15 merupakan grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 100% RPM dan 100% load. Pada gambar 4.15 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses laju pelepasan panas atau *rate of heat release* dan analisis *premixed combustion* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *rate of heat release* (ROHR) dilakukan dengan cara membandingkan nilai *peak rate of heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada analisis *peak rate of heat release* untuk bahan bakar HSD terjadi pada 6,69 °CA setelah TMA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 26,75 J/deg, sedangkan bahan bakar B50 berada pada 8,53 °CA setelah TMA dengan laju pelepasan energi sebesar 25,81 J/deg. Pada bahan bakar B60 terjadi pada 8,06 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,47 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B70 berada pada 8,11 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 25,13 J/deg. Pada bahan bakar B80 terjadi pada 8,22 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,79 J/deg, sementara itu untuk bahan bakar B90 berada pada 7,75 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,46 J/deg. Sedangkan untuk bahan bakar B100 terjadi pada 7,84 °CA dengan nilai laju pelepasan energi sebesar 24,12 J/deg. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak rate of heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak rate of heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak rate of heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *peak rate of heat release* diakibatkan oleh

karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.

Pada analisis fase *premixed combustion* dilakukan dengan cara melihat luas area yang terbentuk oleh grafik *rate of heat release* dengan *crank angle*. Luasan area tersebut menjelaskan seberapa besar nilai *heat release*. Analisis *premixed combustion* dimulai dari titik SOC (*start of combustion*) sampai dengan akhir dari fase *premixed combustion* (EOP). Nilai EOP berada pada titik terendah setelah titik tertinggi ROHR pertama. Pada grafik 4.15 pada bahan bakar HSD memiliki luasan area *premixed combustion* tertinggi, kemudian disusul dibawahnya yaitu bahan bakar B50, dan akan terus menurun seiring dengan penambahan jumlah prosentase biodiesel minyak goreng bekas.

4.1.3 Analisis Heat Release

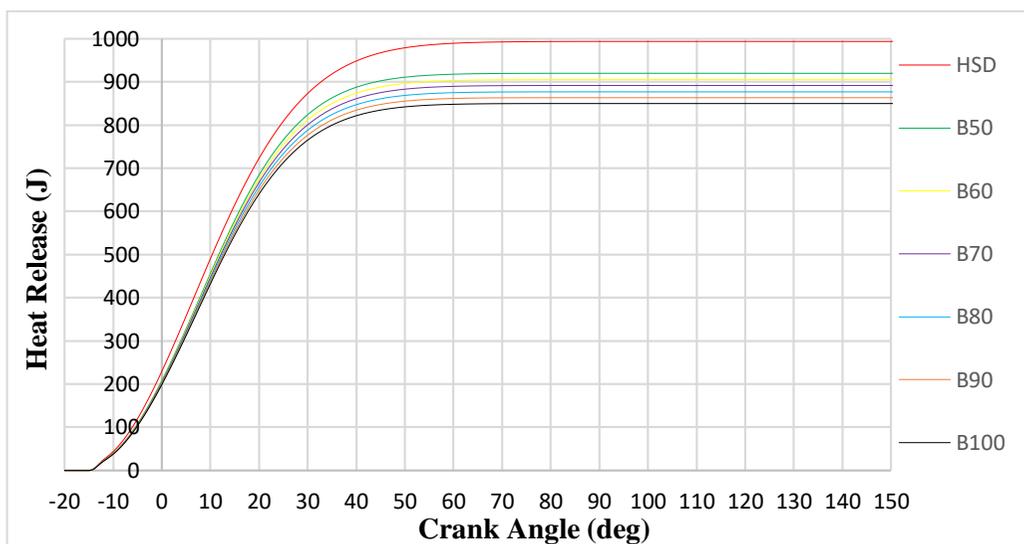


Gambar 4.16 Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan 10% Load

Gambar 4.16 merupakan grafik perbandingan *heat release* pada 100% RPM dan 10% load. Pada gambar 4.16 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *heat release* dilakukan dengan cara membandingkan nilai maksimum pelepasan panas atau *peak heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada penelitian ini pemodelan simulasi mesin diesel yang digunakan adalah merek Yanmar tipe 85 MH yang spesifikasi *start of injection* (SOI) berada pada 18 °CA sebelum TMA. Untuk bahan bakar HSD *peak heat release* berada pada 78,27 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 994,01 J, sedangkan bahan bakar B50 *peak heat release* berada pada 65,12 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 919,03 J. Pada bahan bakar B60 *peak heat release* berada pada 67,64 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 905,06 J, sedangkan bahan bakar B70 *peak heat release* berada pada 68,37 °CA stelah TMA dengan nilai

sebesar 891,04 J. Pada bahan bakar B80 *peak heat release* berada pada 67,55 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 877,01 J. Untuk bahan bakar B90 *peak heat release* berada pada 65,56 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 863,04 J, sedangkan bahan bakar B100 *peak heat release* berada pada 74,52 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 850,01 J. Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100.

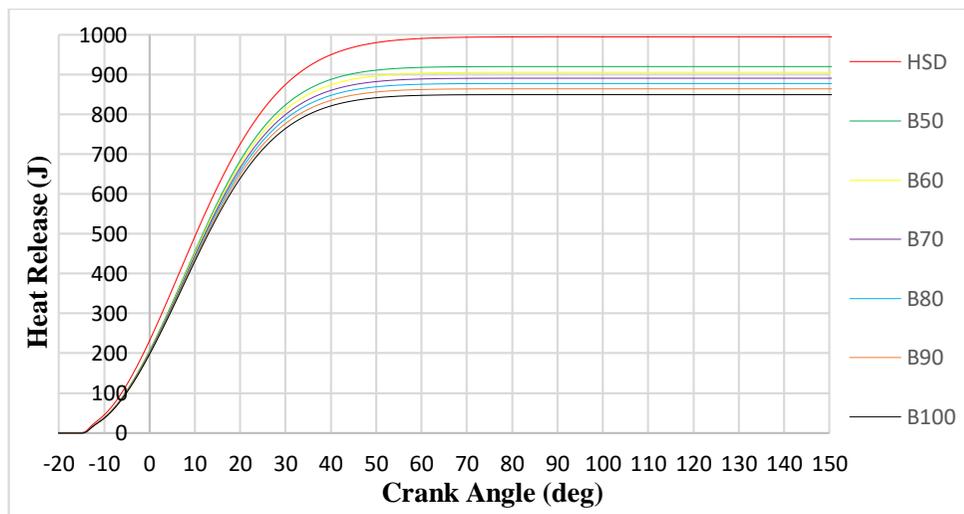


Gambar 4.17 Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan 25% Load

Gambar 4.17 merupakan grafik perbandingan *heat release* pada 100% RPM dan 25% load. Pada gambar 4.17 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *heat release* dilakukan dengan cara membandingkan nilai maksimum pelepasan panas atau *peak heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada penelitian ini pemodelan simulasi mesin diesel yang digunakan adalah merek Yanmar tipe 85 MH yang spesifikasi *start of injection* (SOI) berada pada 18 °CA sebelum TMA. Untuk bahan bakar HSD *peak heat release* berada pada 78,27 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 994,01 J, sedangkan bahan bakar B50 *peak heat release* berada pada 65,1°CA stelah TMA dengan nilai sebesar 919,03 J. Pada bahan bakar B60 *peak heat release* berada pada 67,63 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 905,05 J, sedangkan bahan bakar B70 *peak heat release* berada pada 68,36°CA stelah TMA dengan nilai sebesar 891,04 J. Pada bahan bakar B80 *peak heat release* berada pada 67,54 °CA stelah

TMA dengan nilai sebesar 877,01 J. Untuk bahan bakar B90 *peak heat release* berada pada 65,55 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 863,04 J, sedangkan bahan bakar B100 *peak heat release* berada pada 74,5°C_A stelah TMA dengan nilai sebesar 850,01 J. . Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak heat relase* mengalami penurunan. Penurunan *peak heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD,B50,B60,B70,B80,B90,B100.

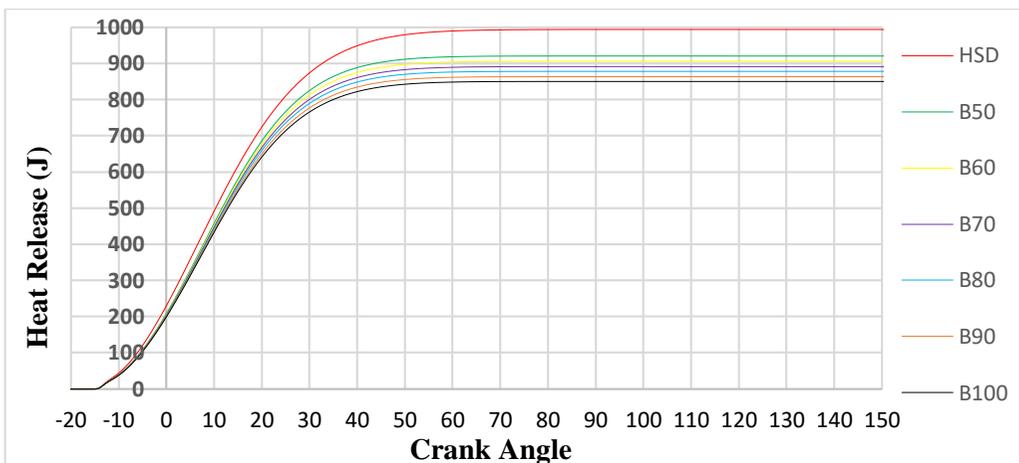


Gambar 4.18 Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan 50% Load

Gambar 4.18 merupakan grafik perbandingan *heat release* pada 100% RPM dan 50% load. Pada gambar 4.18 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *heat release* dilakukan dengan cara membandingkan nilai maksimum pelepasan panas atau *peak heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada penelitian ini pemodelan simulasi mesin diesel yang digunakan adalah merek Yanmar tipe 85 MH yang spesifikasi *start of injection* (SOI) berada pada 18 °CA sebelum TMA. Untuk bahan bakar HSD *peak heat release* berada pada 78,25 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 994,01 J, sedangkan bahan bakar B50 *peak heat release* berada pada 65,08°C_A stelah TMA dengan nilai sebesar 919,03 J. Pada bahan bakar B60 *peak heat release* berada pada 68,74 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 905,05 J, sedangkan bahan bakar B70 *peak heat release* berada pada 68,30°C_A stelah TMA dengan nilai sebesar 891,04 J. Pada bahan bakar B80 *peak heat release* berada pada 67,54 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 877,01 J. Untuk bahan bakar B90 *peak heat release* berada pada 67,49 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 863,04 J, sedangkan bahan bakar B100

peak heat release berada pada 74,45 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 850,01 J. . Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *peak rate of heat release* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *peak heat release* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD,B50,B60,B70,B80,B90,B100.

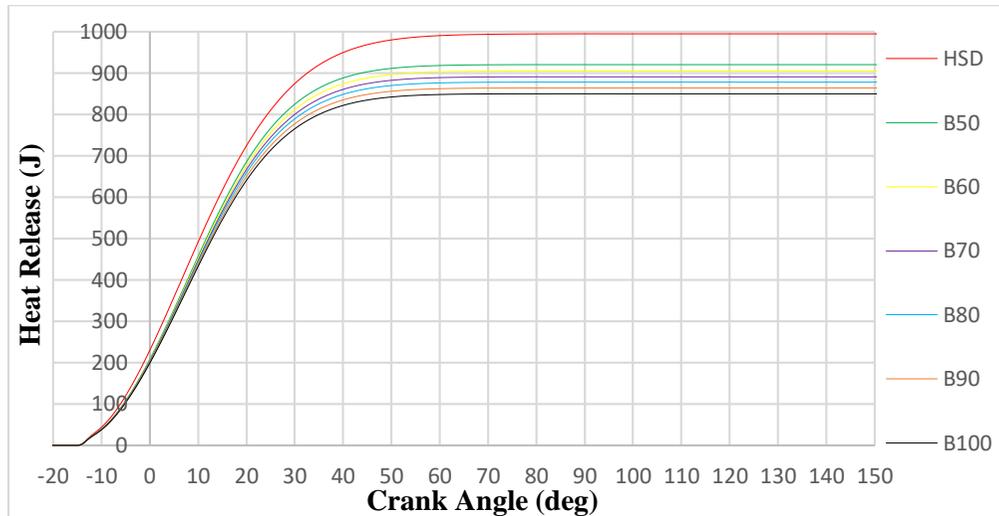


Gambar 4.19 Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan 75% Load

Gambar 4.19 merupakan grafik perbandingan *heat release* pada 100% RPM dan 75% load. Pada gambar 4.19 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *heat release* dilakukan dengan cara membandingkan nilai maksimum pelepasan panas atau *peak heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada penelitian ini pemodelan simulasi mesin diesel yang digunakan adalah merek Yanmar tipe 85 MH yang spesifikasi *start of injection* (SOI) berada pada 18 °CA sebelum TMA. Untuk bahan bakar HSD *peak heat release* berada pada 78,21 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 994,01 J, sedangkan bahan bakar B50 *peak heat release* berada pada 65,05°CA stelah TMA dengan nilai sebesar 919,03 J. Pada bahan bakar B60 *peak heat release* berada pada 67,57 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 905,05 J, sedangkan bahan bakar B70 *peak heat release* berada pada 68,30°CA stelah TMA dengan nilai sebesar 891,04 J. Pada bahan bakar B80 *peak heat release* berada pada 67,49 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 877,01 J. Untuk bahan bakar B90 *peak heat release* berada pada 65,50 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 863,04 J, sedangkan bahan bakar B100 *peak heat release* berada pada 74,45 °CA stelah TMA dengan nilai sebesar 850,01 J. Penambahan persentase campuran biodiesel menghasilkan nilai maksimum pelepasan

panas atau *peak heat release* semakin menurun dibandingkan dengan nilai *peak heat release* bahan bakar HSD.



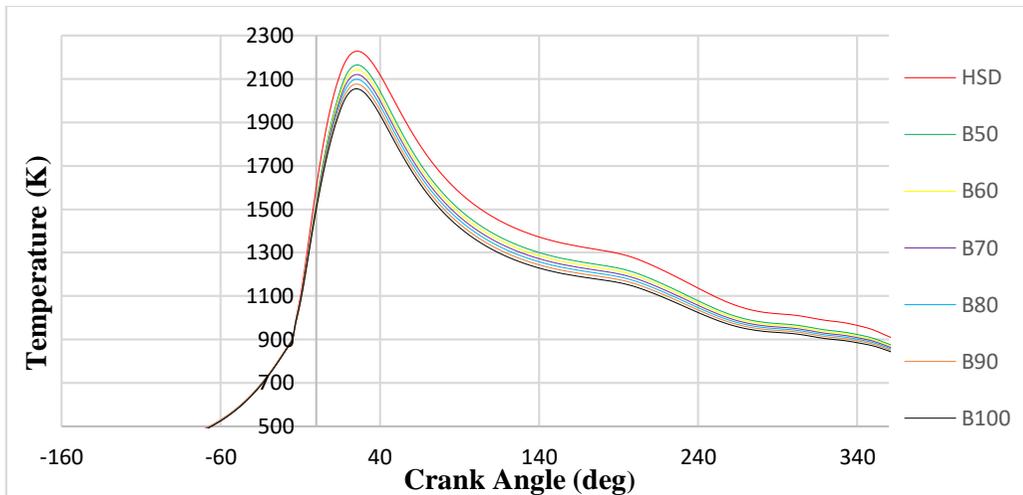
Gambar 4.20 Grafik *Heat Release* pada 100% RPM dan 100% Load

Gambar 4.20 merupakan grafik perbandingan *heat release* pada 100% RPM dan 100% load. Pada gambar 4.20 dapat diperoleh informasi mengenai perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau *heat release* pada mesin diesel satu silinder berbahan bakar biodiesel minyak goreng bekas. Analisis *heat release* dilakukan dengan cara membandingkan nilai maksimum pelepasan panas atau *peak heat release* antara bahan bakar HSD dengan variasi campuran dari biodiesel minyak goreng bekas.

Pada penelitian ini pemodelan simulasi mesin diesel yang digunakan adalah merek Yanmar tipe 85 MH yang spesifikasi *start of injection* (SOI) berada pada 18 °CA sebelum TMA. Untuk bahan bakar HSD *peak heat release* berada pada 78,18 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 994,01 J, sedangkan bahan bakar B50 *peak heat release* berada pada 65,02°CA setelah TMA dengan nilai sebesar 919,03 J. Pada bahan bakar B60 *peak heat release* berada pada 67,55 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 905,05 J, sedangkan bahan bakar B70 *peak heat release* berada pada 68,27°CA setelah TMA dengan nilai sebesar 891,04 J. Pada bahan bakar B80 *peak heat release* berada pada 67,46 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 877,01 J. Untuk bahan bakar B90 *peak heat release* berada pada 65,48 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 863,04 J, sedangkan bahan bakar B100 *peak heat release* berada pada 74,42 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 850,01 J.

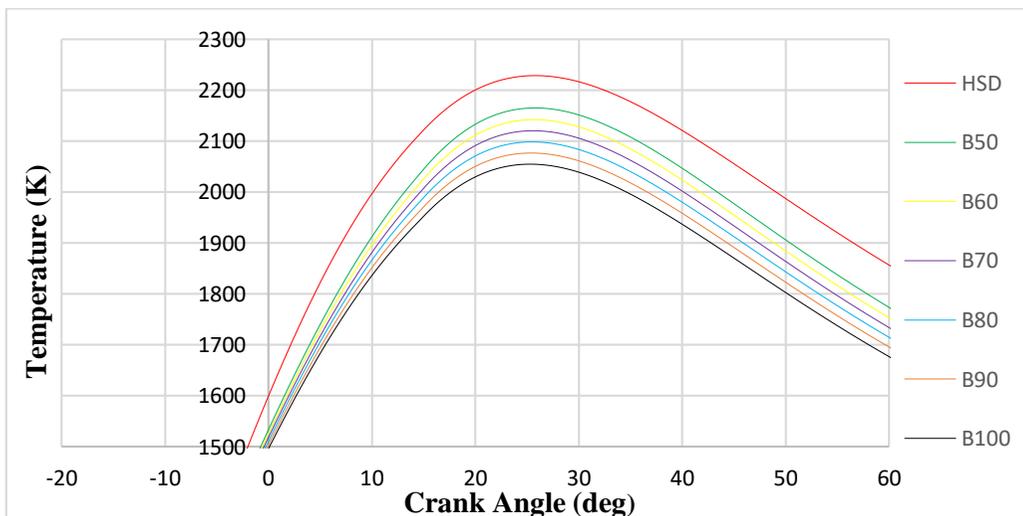
Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *peak heat release* mengalami penurunan. Penurunan *peak heat release* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan peak rate of heat release tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai peak heat release mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD,B50,B60,B70,B80,B90,B100.

4.1.4 Analisis Temperature Maximum



Gambar 4.21 Grafik *Temperature* pada 100% RPM dan 10% *Load*

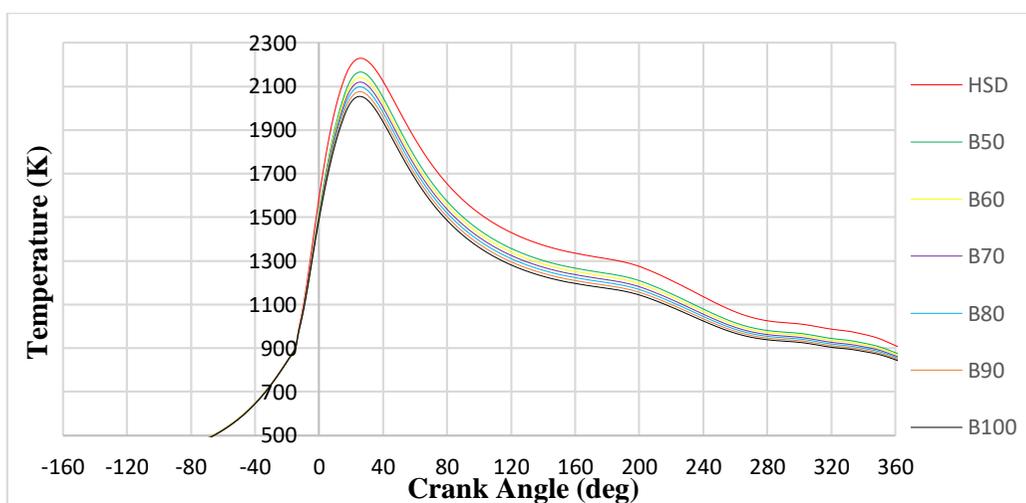
Grafik pada gambar 4.21 adalah grafik perbandingan *temperature* di dalam silinder pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan load 10% . Pada grafik *temperature* dilakukan analisis *temperature maximum* untuk mengetahui nilai suhu maksimum di dalam silinder pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.21 memberikan informasi bahwa pola penurunan *temperature maximum* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.22 Grafik (Zoom) *Temperature* pada 100% RPM dan 10% Load

Grafik pada gambar 4.22 merupakan *zooming* dari *temperature* di dalam silinder pada 100% RPM dan *load* 10%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik temperatur maksimum/ *temperature maximum* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *temperature maximum* terdapat pada 25,57 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2229,29 K, sedangkan B50 *temperature maximum* terdapat pada 25,76 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2165 K. Pada bahan bakar B60 *temperature maximum* terdapat pada 25,89 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2142,47 K, sedangkan B70 *temperature maximum* terdapat pada 25,41 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2120,3 K. Pada bahan bakar B80 *temperature maximum* terdapat pada 25,58 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2098,34 K, sedangkan B90 *temperature maximum* terdapat pada 25,17 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2076,63 K. Untuk bahan bakar B100 *temperature maximum* terdapat pada 25,33 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2055,19 K.

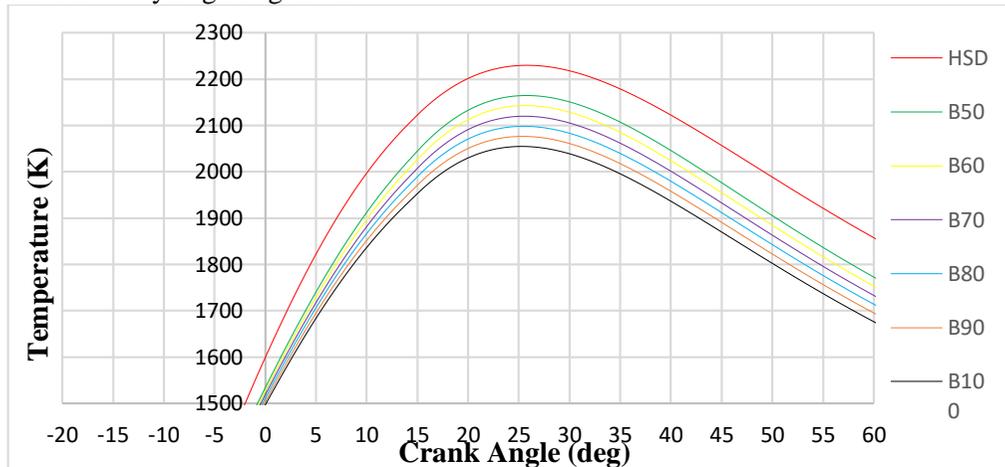
Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *temperature maximum* mengalami penurunan. Penurunan *temperature maximum* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *temperature maximum* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *temperature maximum* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD,B50,B60,B70,B80,B90,B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *temperature maximum* dipengaruhi oleh nilai dari *pressure maximum* didalam silinder ruang bakar dan karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.



Gambar 4.23 Grafik *Temperature* pada 100% RPM dan 25% Load

Grafik pada gambar 4.23 adalah grafik perbandingan *temperature* di dalam silinder pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan load 25%. Pada

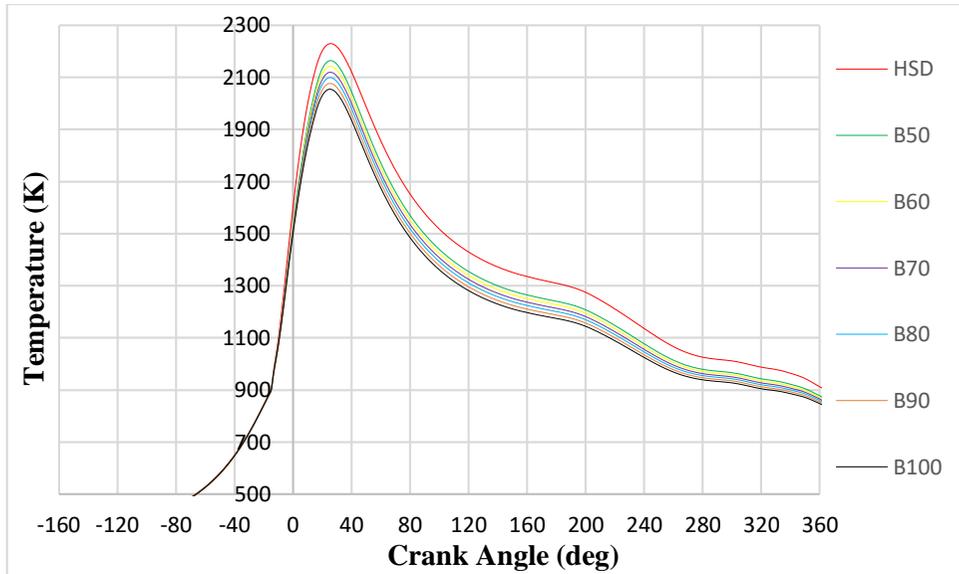
grafik *temperature* dilakukan analisis *temperature maximum* untuk mengetahui nilai suhu maksimum di dalam silinder pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.23 memberikan informasi bahwa pola penurunan *temperature maximum* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.24 Grafik (Zoom) *Temperature* pada 100% RPM dan 25% Load

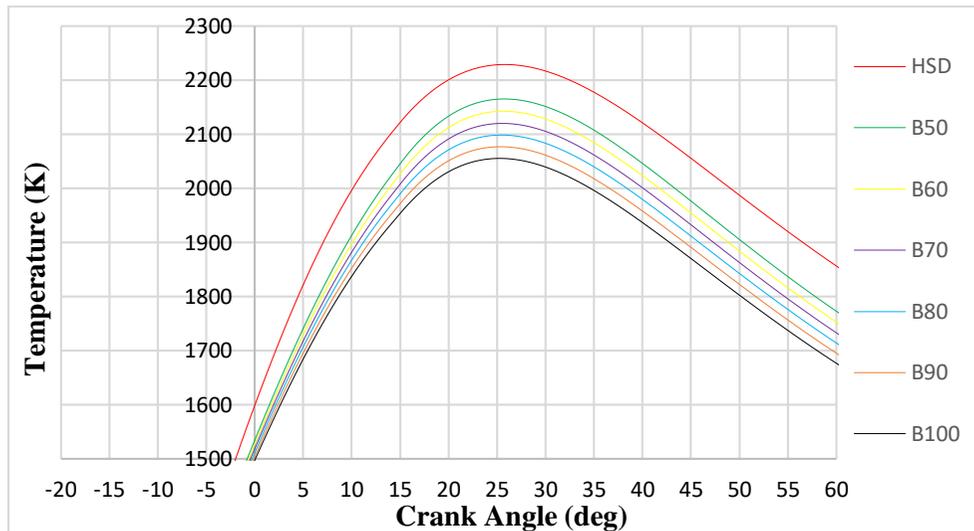
Grafik pada gambar 4.24 merupakan *zooming* dari *temperature* di dalam silinder pada 100% RPM dan *load* 25%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik temperatur maksimum/ *temperature maximum* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *temperature maximum* terdapat pada 25,57 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2229,29 K, sedangkan B50 *temperature maximum* terdapat pada 25,76 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2165 K. Pada bahan bakar B60 *temperature maximum* terdapat pada 25,89 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2142,47 K, sedangkan B70 *temperature maximum* terdapat pada 25,41 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2120,3 K. Pada bahan bakar B80 *temperature maximum* terdapat pada 25,58 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2098,34 K, sedangkan B90 *temperature maximum* terdapat pada 25,17 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2076,63 K. Untuk bahan bakar B100 *temperature maximum* terdapat pada 25,33 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2055,19 K.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *temperature maximum* mengalami penurunan. Penurunan *temperature maximum* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *temperature maximum* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *temperature maximum* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD,B50,B60,B70,B80,B90,B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *temperature maximum* dipengaruhi oleh nilai dari *pressure maximum* didalam silinder ruang bakar dan karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.



Gambar 4.25 Grafik *Temperature* pada 100% RPM dan 50% Load

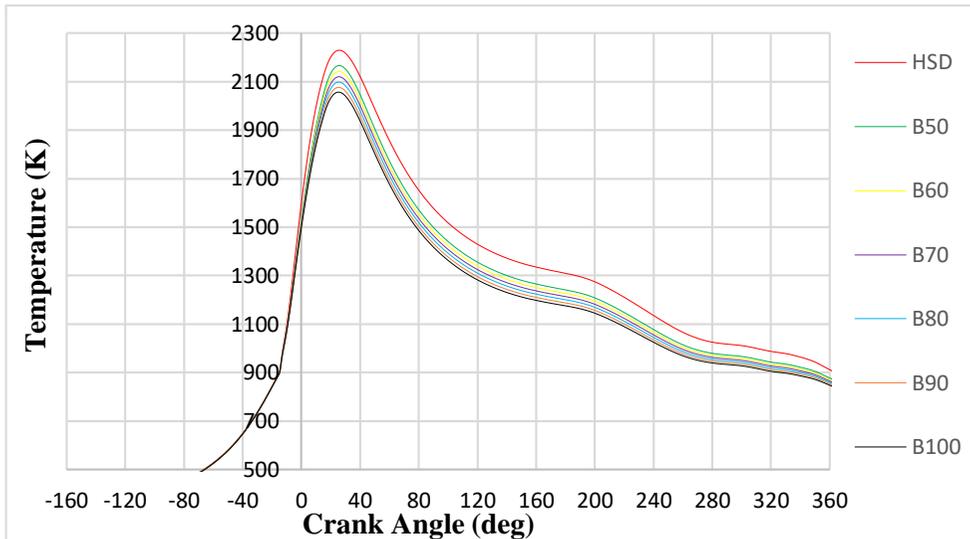
Grafik pada gambar 4.25 adalah grafik perbandingan *temperature* di dalam silinder pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan load 50% . Pada grafik *temperature* dilakukan analisis *temperature maximum* untuk mengetahui nilai suhu maksimum di dalam silinder pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.25 memberikan informasi bahwa pola penurunan *temperature maximum* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.26 Grafik (Zoom) *Temperature* pada 100% RPM dan 50% Load

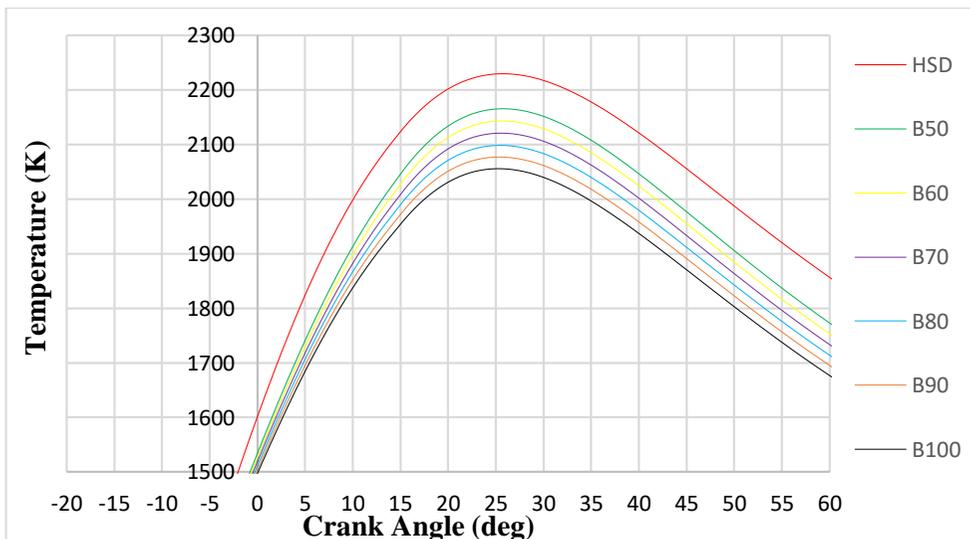
Grafik pada gambar 4.26 merupakan *zooming* dari *temperature* di dalam silinder pada 100% RPM dan *load* 50%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik temperatur maksimum/ *temperature maximum* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *temperature maximum* terdapat pada 25,56 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2229,52 K, sedangkan B50 *temperature maximum* terdapat pada 25,75 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2165,12 K. Pada bahan bakar B60 *temperature maximum* terdapat pada 25,88 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2142,59 K, sedangkan B70 *temperature maximum* terdapat pada 25,40 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2120,42 K. Pada bahan bakar B80 *temperature maximum* terdapat pada 25,57 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2098,47 K, sedangkan B90 *temperature maximum* terdapat pada 25,16 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2076,75 K. Untuk bahan bakar B100 *temperature maximum* terdapat pada 25,32 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2055,31 K.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *temperature maximum* mengalami penurunan. Penurunan *temperature maximum* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *temperature maximum* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *temperature maximum* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *temperature maximum* dipengaruhi oleh nilai dari *pressure maximum* didalam silinder ruang bakar dan karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.



Gambar 4.27 Grafik *Temperature* pada 100% RPM dan 75% Load

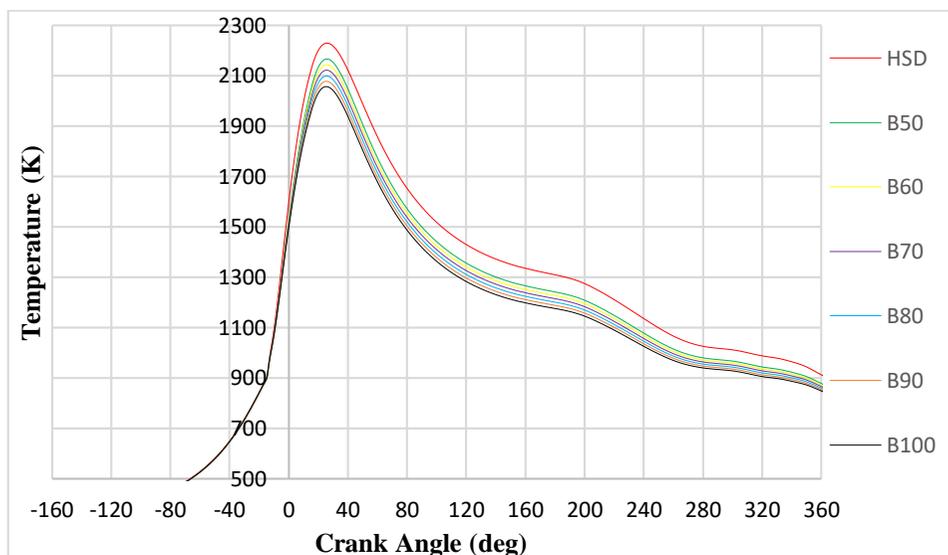
Grafik pada gambar 4.27 adalah grafik perbandingan *temperature* di dalam silinder pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan load 75% . Pada grafik *temperature* dilakukan analisis *temperature maximum* untuk mengetahui nilai suhu maksimum di dalam silinder pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.27 memberikan informasi bahwa pola penurunan *temperature maximum* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.28 Grafik (*Zoom*) *Temperature* pada 100% RPM dan 75% Load

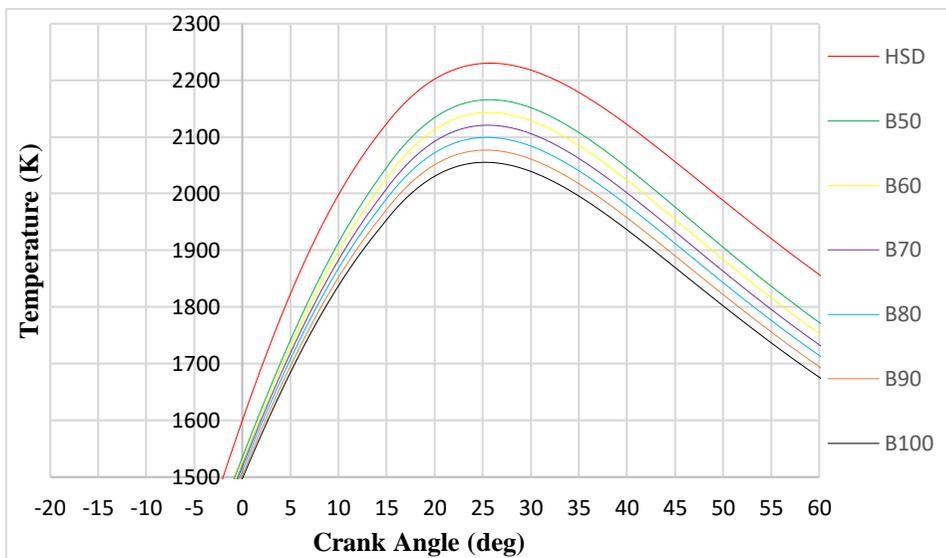
Grafik pada gambar 4.28 merupakan *zooming* dari *temperature* di dalam silinder pada 100% RPM dan *load* 75%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik temperatur maksimum/ *temperature maximum* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *temperature maximum* terdapat pada 25,55 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2229,64 K, sedangkan B50 *temperature maximum* terdapat pada 25,74 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2165,25 K. Pada bahan bakar B60 *temperature maximum* terdapat pada 25,87 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2142,71 K, sedangkan B70 *temperature maximum* terdapat pada 25,39 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2120,54 K. Pada bahan bakar B80 *temperature maximum* terdapat pada 25,56 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2098,58 K, sedangkan B90 *temperature maximum* terdapat pada 25,15 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2076,88 K. Untuk bahan bakar B100 *temperature maximum* terdapat pada 25,31 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2055,42 K.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *temperature maximum* mengalami penurunan. Penurunan *temperature maximum* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *temperature maximum* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *temperature maximum* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD,B50,B60,B70,B80,B90,B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *temperature maximum* dipengaruhi oleh nilai dari *pressure maximum* didalam silinder ruang bakar dan karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.



Gambar 4.29 Grafik *Temperature* pada 100% RPM dan 100% *Load*

Grafik pada gambar 4.29 adalah grafik perbandingan *temperature* di dalam silinder pada setiap derajat *crank angle* yang terjadi pada 100% RPM dengan load 75% . Pada grafik *temperature* dilakukan analisis *temperature maximum* untuk mengetahui nilai suhu maksimum di dalam silinder pada setiap bahan bakar HSD maupun campuran biodiesel minyak goreng bekas. Grafik pada gambar 4.29 memberikan informasi bahwa pola penurunan *temperature maximum* berbanding terbalik dengan penambahan campuran biodiesel minyak goreng bekas.



Gambar 4.30 Grafik (Zoom) *Temperature* pada 100% RPM dan 100% Load

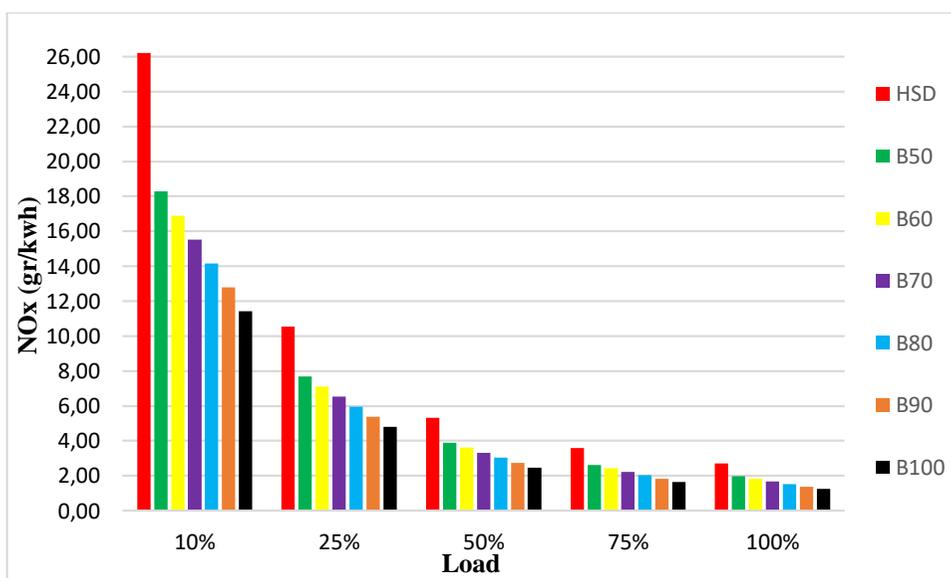
Grafik pada gambar 4.30 merupakan *zooming* dari *temperature* di dalam silinder pada 100% RPM dan *load* 100%. Pendetailan dilakukan untuk mengetahui titik temperatur maksimum/ *temperature maximum* pada variasi campuran biodiesel. Pada bahan bakar HSD atau B0 *temperature maximum* terdapat pada 25,54 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2229,76 K, sedangkan B50 *temperature maximum* terdapat pada 25,73 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2165,37 K. Pada bahan bakar B60 *temperature maximum* terdapat pada 25,86 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2142,83 K, sedangkan B70 *temperature maximum* terdapat pada 25,38 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2120,65 K. Pada bahan bakar B80 *temperature maximum* terdapat pada 25,55 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2098,70 K, sedangkan B90 *temperature maximum* terdapat pada 25,14 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2076,98 K. Untuk bahan bakar B100 *temperature maximum* terdapat pada 25,30 °CA setelah TMA dengan nilai sebesar 2055,54 K.

Dari pengamatan grafik secara keseluruhan, nilai *temperature maximum* mengalami penurunan. Penurunan *temperature maximum* pada penambahan campuran biodiesel 50% atau dari HSD ke B50 terlihat signifikan, sedangkan penurunan *temperature maximum* tidak terlalu signifikan pada penambahan 10% atau dari B50 ke

B60 maupun dari B60 ke B70. Secara keseluruhan urutan nilai *temperature maximum* mulai dari tertinggi ke terendah adalah HSD,B50,B60,B70,B80,B90,B100. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2013) menyatakan bahwa penurunan *temperature maximum* dipengaruhi oleh nilai dari *pressure maximum* didalam silinder ruang bakar dan karakteristik dari biodiesel minyak goreng bekas yang memiliki nilai kalor lebih rendah daripada nilai kalor diesel/D100.

4.2 Analisis Emisi NOx Biodiesel Minyak Goreng Bekas B50-B100

Hasil emisi pada proses pembakaran salah satunya adalah NOx atau *Nitrogen Oxides*. Pada penelitian ini, analisis data NOx untuk variasi pembebanan dan *speed* disamakan dengan pengambilan data pada proses pembakaran. Yaitu pada 10%,25%,50%,75%,100% load dan 2200 RPM.



Gambar 4.31 Diagram Batang Kadar NOx Pada Kondisi RPM 100% dan Beban Bervariasi

Dari hasil pengamatan diagram batang pada gambar 4.27 dapat diperoleh informasi mengenai kadar emisi NOx pada kondisi 100% rpm dan variasi beban 25%,50%,75%,100%. Pada diagram batang yang berwarna merah merupakan hasil yang didapatkan bahan bakar HSD, yang berwarna hijau tua adalah B50, yang berwarna kuning adalah B60, yang berwarna ungu adalah B70, yang berwarna biru laut adalah B80, yang berwarna oranye adalah B90, sedangkan yang berwarna hitam adalah B100.

Pada kondisi beban 10% dengan beban daya berturut-turut dari HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100 adalah 0,71 kw; 0,66 kw; 0,66 kw; 0,65 kw; 0,64 kw; 0,63 kw; 0,62 kw. Bahan bakar HSD menempati urutan tertinggi pertama dengan nilai 26,22 g/kWh, sedangkan bahan bakar B50 menempati urutan tertinggi kedua dengan nilai 18,30 g/kWh, bahan bakar B60 menempati urutan tertinggi ketiga dengan nilai 16,90 g/kWh, bahan bakar B70 menempati urutan tertinggi keempat dengan nilai 15,53 g/kWh, bahan bakar B80 menempati urutan tertinggi kelima dengan nilai 14,16 g/kWh, bahan bakar B90 menempati urutan keenam dengan nilai 12,79 g/kWh, bahan bakar B100 menempati urutan yang paling rendah dengan nilai 11,42 g/kWh.

Dari pengamatan grafik 4.31, pada beban dan rpm yang sama yaitu pada beban 10% dan 2200 rpm dapat disimpulkan bahwa penambahan prosentase biodiesel menghasilkan emisi yang semakin menurun. Penjelasan mengenai penurunan emisi NO_x dikonfirmasi oleh hasil *temperature maximum* pada grafik 4.22 yang memberikan informasi bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan penurunan *temperature maximum*. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa NO_x juga tergantung pada suhu di mana molekul nitrogen dan oksigen mulai masuk didalam ruang bakar pada proses pembakaran serta mulai terbentuk pada suhu 1800 K dan akan terus meningkat dengan seiring meningkatnya suhu didalam silinder (Abdullah dkk,2017).

Selain itu, alasan mengenai penurunan emisi juga dikonfirmasi oleh jumlah energi yang dilepaskan selama fase *premixed combustion*. Pada grafik 4.11 didapatkan hasil bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan menurunnya jumlah eneri yang dilepaskan pada periode *premixed combustion*. Hal ini sesuai dengan teori menyebutkan bahwa, Periode *premixed combustion* terjadi pada temperature yang tinggi, sehingga NO_x sangat banyak terbentuk pada periode pembakaran ini. *Premixed combustion* juga dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya waktu penginjeksian bahan bakar serta berhubungan langsung dengan *ignition delay* (Sawitra,1997).

Pada kondisi beban 25% dengan beban daya berturut-turut dari HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100 adalah 1,70 kw; 1,59 kw; 1,57 kw; 1,55 kw; 1,53 kw; 1,51 kw; 1,49 kw. Bahan bakar HSD menempati urutan tertinggi pertama dengan nilai 10,54 g/kWh, sedangkan bahan bakar B50 menempati urutan tertinggi kedua dengan nilai 7,68 g/kWh, bahan bakar B60 menempati urutan tertinggi ketiga dengan nilai 7,10 g/kWh, bahan bakar B70 menempati urutan tertinggi keempat dengan nilai 6,52 g/kWh, bahan bakar B80 menempati urutan tertinggi kelima dengan nilai 5,96 g/kWh, bahan bakar B90 menempati urutan keenam dengan nilai 5,38 g/kWh, bahan bakar B100 menempati urutan yang paling rendah dengan nilai 4,81 g/kWh.

Dari pengamatan grafik 4.31, pada beban dan rpm yang sama yaitu pada beban 25% dan 2200 rpm dapat disimpulkan bahwa penambahan prosentase biodiesel menghasilkan emisi yang semakin menurun. Penjelasan mengenai penurunan emisi NO_x dikonfirmasi oleh hasil *temperature maximum* pada grafik 4.24 yang memberikan informasi bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan penurunan *temperature maximum*. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa NO_x juga tergantung pada suhu di mana molekul nitrogen dan oksigen mulai masuk

didalam ruang bakar pada proses pembakaran serta mulai terbentuk pada suhu 1800 K dan akan terus meningkat dengan seiring meningkatnya suhu didalam silinder (Abdullah dkk,2017).

Selain itu, alasan mengenai penurunan emisi juga dikonfirmasi oleh jumlah energi yang dilepaskan selama fase *premixed combustion*. Pada grafik 4.12 didapatkan hasil bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan menurunnya jumlah energi yang dilepaskan pada periode *premixed combustion*. Hal ini sesuai dengan teori menyebutkan bahwa, Periode *premixed combustion* terjadi pada temperature yang tinggi, sehingga NO_x sangat banyak terbentuk pada periode pembakaran ini. *Premixed combustion* juga dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya waktu penginjeksian bahan bakar serta berhubungan langsung dengan *ignition delay* (Sawitra,1997).

Pada kondisi beban 50% dengan beban daya berturut-turut dari HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100 adalah 3,34 kw; 3,13 kw; 3,09 kw; 3,05 kw; 3 kw; 2,9 kw; 2,9 kw. Bahan bakar HSD menempati urutan tertinggi pertama dengan nilai 5,32 g/kWh, sedangkan bahan bakar B50 menempati urutan tertinggi kedua dengan nilai 3,90 g/kWh, bahan bakar B60 menempati urutan tertinggi ketiga dengan nilai 3,61 g/kWh, bahan bakar B70 menempati urutan tertinggi keempat dengan nilai 3,32 g/kWh, bahan bakar B80 menempati urutan tertinggi kelima dengan nilai 3,02 g/kWh, bahan bakar B90 menempati urutan keenam dengan nilai 2,74 g/kWh, bahan bakar B100 menempati urutan yang paling rendah dengan nilai 2,45 g/kWh.

Dari pengamatan grafik 4.31, pada beban dan rpm yang sama yaitu pada beban 50% dan 2200 rpm dapat disimpulkan bahwa penambahan prosentase biodiesel menghasilkan emisi yang semakin menurun. Penjelasan mengenai penurunan emisi NO_x dikonfirmasi oleh hasil *temperature maximum* pada grafik 4.26 yang memberikan informasi bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan penurunan *temperature maximum*. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa NO_x juga tergantung pada suhu di mana molekul nitrogen dan oksigen mulai masuk didalam ruang bakar pada proses pembakaran serta mulai terbentuk pada suhu 1800 K dan akan terus meningkat dengan seiring meningkatnya suhu didalam silinder (Abdullah dkk,2017).

Selain itu, alasan mengenai penurunan emisi juga dikonfirmasi oleh jumlah energi yang dilepaskan selama fase *premixed combustion*. Pada grafik 4.13 didapatkan hasil bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan menurunnya jumlah energi yang dilepaskan pada periode *premixed combustion*. Hal ini sesuai dengan teori menyebutkan bahwa, Periode *premixed combustion* terjadi pada temperature yang tinggi, sehingga NO_x sangat banyak terbentuk pada periode pembakaran ini. *Premixed combustion* juga dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya waktu penginjeksian bahan bakar serta berhubungan langsung dengan *ignition delay* (Sawitra,1997).

Pada kondisi beban 75% dengan beban daya berturut-turut dari HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100 adalah 4,99 kw; 4,67 kw; 4,61 kw; 4,51 kw; 4,48 kw; 4,42 kw; 4,35 kw. Bahan bakar HSD menempati urutan tertinggi pertama dengan nilai 3,58 g/kWh, sedangkan bahan bakar B50 menempati urutan tertinggi kedua dengan nilai 2,62

g/kWh, bahan bakar B60 menempati urutan tertinggi ketiga dengan nilai 2,42 g/kWh, bahan bakar B70 menempati urutan tertinggi keempat dengan nilai 2,22 g/kWh, bahan bakar B80 menempati urutan tertinggi kelima dengan nilai 2,03 g/kWh, bahan bakar B90 menempati urutan keenam dengan nilai 1,84 g/kWh, bahan bakar B100 menempati urutan yang paling rendah dengan nilai 1,64 g/kWh.

Dari pengamatan grafik 4.31, pada beban dan rpm yang sama yaitu pada beban 75% dan 2200 rpm dapat disimpulkan bahwa penambahan prosentase biodiesel menghasilkan emisi yang semakin menurun. Penjelasan mengenai penurunan emisi NO_x dikonfirmasi oleh hasil *temperature maximum* pada grafik 4.28 yang memberikan informasi bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan penurunan *temperature maximum*. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa NO_x juga tergantung pada suhu di mana molekul nitrogen dan oksigen mulai masuk didalam ruang bakar pada proses pembakaran serta mulai terbentuk pada suhu 1800 K dan akan terus meningkat dengan seiring meningkatnya suhu didalam silinder (Abdullah dkk,2017).

Selain itu, alasan mengenai penurunan emisi juga dikonfirmasi oleh jumlah energi yang dilepaskan selama fase *premixed combustion*. Pada grafik 4.14 didapatkan hasil bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan menurunnya jumlah eneri yang dilepaskan pada periode *premixed combustion*. Hal ini sesuai dengan teori menyebutkan bahwa, Periode *premixed combustion* terjadi pada temperature yang tinggi, sehingga NO_x sangat banyak terbentuk pada periode pembakaran ini. *Premixed combustion* juga dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya waktu penginjeksian bahan bakar serta berhubungan langsung dengan *ignition delay* (Sawitra,1997).

Pada kondisi beban 100% dengan beban daya berturut-turut dari HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100 adalah 6,63 kw; 6,21 kw; 6,12 kw; 6,04 kw; 5,95 kw; 5,87 kw; 5,78 kw. Bahan bakar HSD menempati urutan tertinggi pertama dengan nilai 2,71 g/kWh, sedangkan bahan bakar B50 menempati urutan tertinggi kedua dengan nilai 1,97 g/kWh, bahan bakar B60 menempati urutan tertinggi ketiga dengan nilai 1,82 g/kWh, bahan bakar B70 menempati urutan tertinggi keempat dengan nilai 1,67 g/kWh, bahan bakar B80 menempati urutan tertinggi kelima dengan nilai 1,53 g/kWh, bahan bakar B90 menempati urutan keenam dengan nilai 1,38 g/kWh, bahan bakar B100 menempati urutan yang paling rendah dengan nilai 1,24 g/kWh.

Dari pengamatan grafik 4.31, pada beban dan rpm yang sama yaitu pada beban 100% dan 2200 rpm dapat disimpulkan bahwa penambahan prosentase biodiesel menghasilkan emisi yang semakin menurun. Penjelasan mengenai penurunan emisi NO_x dikonfirmasi oleh hasil *temperature maximum* pada grafik 4.30 yang memberikan informasi bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan penurunan *temperature maximum*. Hal ini sesuai dengan teori yang menyebutkan bahwa NO_x juga tergantung pada suhu di mana molekul nitrogen dan oksigen mulai masuk didalam ruang bakar pada proses pembakaran serta mulai terbentuk pada suhu 1800 K dan akan terus meningkat dengan seiring meningkatnya suhu didalam silinder (Abdullah dkk,2017).

Selain itu, alasan mengenai penurunan emisi juga dikonfirmasi oleh jumlah energi yang dilepaskan selama fase *premixed combustion*. Pada grafik 4.15 didapatkan hasil bahwa penambahan prosentase biodiesel minyak goreng bekas menyebabkan menurunnya jumlah energi yang dilepaskan pada periode *premixed combustion*. Hal ini sesuai dengan teori menyebutkan bahwa, Periode *premixed combustion* terjadi pada temperature yang tinggi, sehingga NOx sangat banyak terbentuk pada periode pembakaran ini. *Premixed combustion* juga dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya waktu penginjeksian bahan bakar serta berhubungan langsung dengan *ignition delay* (Sawitra,1997).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi uji proses pembakaran dan emisi NO_x pada perbandingan bahan bakar HSD, B50, B60, B70, B80, B90, B100 biodiesel minyak goreng bekas dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada analisa proses pembakaran, penambahan prosentase 50% biodiesel minyak goreng bekas menghasilkan nilai *peak pressure* pada kondisi *full load* menurun sebesar 3,8%, nilai *peak ROHR* menurun 3,4%, nilai *peak heat release* menurun 7,5%, dan nilai *temperature maximum* menurun 2,8%. Sedangkan pada penambahan prosentase 100%, nilai *peak pressure* pada kondisi *full load* menurun sebesar 6,2%, nilai *peak ROHR* menurun 9,8%, nilai *peak heat release* menurun 14%, dan nilai *temperature maximum* menurun 7,8%.
2. Pada analisis emisi NO_x mengalami penurunan dengan penambahan persentase biodiesel minyak goreng bekas. Pada kondisi beban penuh, nilai emisi NO_x tertinggi yaitu bahan bakar HSD sebesar 2,7 gr/kwh. Selanjutnya perbandingan nilai emisi NO_x HSD dengan B50 turun sebesar 27,2% , B60 turun 32,7% , B70 turun 38,1% , B80 turun 43,5% , B90 turun 48,% , B100 turun 54%.

4.2 Saran

- a) Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai efek perubahan *injection timing* pada bahan bakar biodiesel minyak goreng bekas.
- b) Peneliti selanjutnya dapat meneliti perpaduan antara biodiesel minyak goreng bekas dan zat aditif atau emulsi untuk mendapatkan proses pembakaran yang lebih baik.

“Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., Zhing, S. S., & Bugik, C. B. (2017). Biodiesel unsaturation degree effects on diesel engine NOx emissions and cotton wick flame Temperature.
- Ahmad, A., Yasin, N., Derek, C., & Lim, J. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production. *Renew Sustain Energy*, 15(1):584–93.
- Akbar, c. (2019, september 6). <https://bisnis.tempo.co/>. Retrieved from /setelah-b30-pemerintah-kembangkan-biodiesel-b50: <https://bisnis.tempo.co/read/1244657/setelah-b30-pemerintah-kembangkan-biodiesel-b50>
- Aziz, I. (2012). Uji Performance Mesin Diesel Menggunakan Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas. 2-3.
- Chauhan BS, Kumar N, Cho HM. A study on the performance and emission of a diesel 431 engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends. *Energy*, 2012;37:616–22.
- Crady, J., Hansen, A., & Fon Lee, C. (2007). Modeling Biodiesel Combustion Using GT-Power. ASABE.
- Gad, M., I, A., & Ridwan, A. (2013). Enhancing the combustion and emission parameters of a diesel engine fueled by waste cooking oil biodiesel and gasoline additives.
- Gamma Technologies,(2004). GT-POWER User’s Manual 6.1, Gamma Technologies Inc.
- Haryono, Fairus, S., Sari, Y., & Rakhmawati, I. (Januari, 2010). Pengolahan Minyak Goreng Kelapa Sawit Bekas menjadi Biodiesel Studi Kasus: Minyak Goreng Bekas dari KFC Dago Bandung. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia.
- K.A. Abed, M.S. Gad, A.K. EL Morsi, M.M. Sayed, & S. Abu Elyazeed. (2019). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Egyptian Journal of Petroleum*.
- Muwaffaq, A. H. (2016). Prediksi Performa Marine Diesel 4 Langkah 93 KW dengan Metode Simulasi.
- Ozturk, E., Ozer, C., & Usta, N. (2019). Effects of retarded fuel injection timing on combustion and emissions of a diesel engine fueled with canola biodiesel.
- Rosha, P., Mohapatra, S. K., Mahla, S. K., & Cho, H. M. (2019). Effect of compression ratio on combustion, performance, and emission characteristics of compression ignition engine fueled with palm (B20) biodiesel blend.

- Sawitra, N. (1997). Pengaruh Ignition Delay dan Premixed Combustion Terhadap Terbentuknya NO_x .
- Suwarso, W. (2008). Sintesis Biodiesel dari Minyak Biji Ketapang Yang Tumbuh di Kapus UI Depok. *Valensi*, vol.1,no.2, 44-52.
- Wei, L., Cheng, R., & Mao, H. (2017). Combustion process and NO_x emissions of a marine auxiliary diesel engine fuelled with waste cooking oil biodiesel blends. www.wartaekonomi.com/indicator, 2006.
- Yudisaputra, A. (2017). Analisis Pengaruh Angka Iodin Terhadap Proses Pembakaran Pada Motor Diesel.
- Zhang, C., Zhou, A., & Shen, Y. (2017). Effects of combustion duration characteristic on the brake thermal efficiency and NO_x emission of a turbocharged diesel engine fueled with diesel-LNG dual-fuel.

LAMPIRAN

LAMPIRAN A

1 Hasil Simulasi Kalibrasi

Data Hasil Kalibrasi HSD

HSD			
RPM	Daya (Kw)	SFOC (gr/kw-h)	TORSI (N-m)
500 RPM	1.5844271	282.64145	30.260328
600 RPM	1.9778173	268.28235	31.477942
700 RPM	2.3680298	258.16147	32.304314
800 RPM	2.751818	250.71738	32.847404
900 RPM	3.1261702	245.12404	33.1697
1000 RPM	3.4907706	240.76488	33.334404
1100 RPM	3.8426309	237.43828	33.358566
1200 RPM	4.181567	234.83461	33.275852
1300 RPM	4.50431	232.8921	33.086918
1400 RPM	4.8130145	231.34583	32.829216
1500 RPM	5.103609	230.2726	32.490585
1600 RPM	5.377105	229.52277	32.09223
1700 RPM	5.6312118	229.11383	31.63183
1800 RPM	5.867771	228.91557	31.129492
1900 RPM	6.08444	228.94571	30.580069
2000 RPM	6.282582	229.1506	29.997118
2100 RPM	6.4565473	229.66156	29.359753
2200 RPM	6.6133823	230.25352	28.70598

Data Hasil Kalibrasi B50

B50			
RPM	Daya (Kw)	SFOC (gr/kw-h)	TORSI (N-m)
500 RPM	1.492386	299.82803	28.502472
600 RPM	1.8606801	284.96167	29.613644
700 RPM	2.2266772	274.35873	30.376001
800 RPM	2.5859025	266.63083	30.866938
900 RPM	2.936949	260.76483	31.161997
1000 RPM	3.2773256	256.31894	31.296154
1100 RPM	3.6064534	252.88414	31.308266
1200 RPM	3.923364	250.21458	31.221138
1300 RPM	4.224991	248.23302	31.035149
1400 RPM	4.513412	246.66846	30.78565
1500 RPM	4.7845225	245.6176	30.459217
1600 RPM	5.0400944	244.87408	30.080847
1700 RPM	5.2774477	244.50163	29.644655
1800 RPM	5.4971504	244.38637	29.163288
1900 RPM	5.698664	244.49211	28.641174
2000 RPM	5.881078	244.85294	28.080078
2100 RPM	6.0433893	245.43544	27.481007
2200 RPM	6.187744	246.15361	26.858456

Data Hasil Kalibrasi B60

B60			
RPM	Daya (Kw)	SFOC (gr/kw-h)	TORSI (N-m)
500 RPM	1.474505	303.40607	28.16097
600 RPM	1.8385472	288.34024	29.261387
700 RPM	2.1990612	277.75806	29.99927
800 RPM	2.5534048	269.98358	30.479027
900 RPM	2.8989604	264.14523	30.758924
1000 RPM	3.2350595	259.63593	30.892542
1100 RPM	3.559888	256.16718	30.904024
1200 RPM	3.872262	253.4899	30.814482
1300 RPM	4.1690817	251.54494	30.624458
1400 RPM	4.453878	249.94948	30.379572
1500 RPM	4.7209306	248.91333	30.054379
1600 RPM	4.972928	248.17723	29.679977
1700 RPM	5.2064705	247.82858	29.245958
1800 RPM	5.4227276	247.73021	28.768463
1900 RPM	5.6206546	247.88803	28.249104
2000 RPM	5.8005047	248.25223	27.69537
2100 RPM	5.959482	248.88988	27.099459
2200 RPM	6.102167	249.61029	26.487001

Data Hasil Kalibrasi B70

B70			
RPM	Daya (Kw)	SFOC (gr/kw-h)	TORSI (N-m)
500 RPM	1.4571579	306.93738	27.829664
600 RPM	1.8154124	291.95908	28.893185
700 RPM	2.1716337	281.21564	29.625109
800 RPM	2.5210993	273.39465	30.093407
900 RPM	2.8619056	267.5226	30.365763
1000 RPM	3.1933532	262.9894	30.494276
1100 RPM	3.513521	259.51254	30.501503
1200 RPM	3.8206372	256.8897	30.403666
1300 RPM	4.114952	254.83583	30.226843
1400 RPM	4.394863	253.2929	29.977036
1500 RPM	4.6577096	252.27623	29.6519
1600 RPM	4.9054556	251.57867	29.27728
1700 RPM	5.135937	251.22293	28.849756
1800 RPM	5.3498235	251.10117	28.381697
1900 RPM	5.544697	251.28242	27.867346
2000 RPM	5.7219887	251.65605	27.320484
2100 RPM	5.8775454	252.34717	26.726868
2200 RPM	6.0169263	253.1442	26.117006

Data Hasil Kalibrasi B80

B80			
RPM	Daya (Kw)	SFOC (gr/kw-h)	TORSI (N-m)
500 RPM	1.4394974	310.6339	27.492373
600 RPM	1.7935584	295.45764	28.545368
700 RPM	2.1443756	284.73343	29.253256
800 RPM	2.4890432	276.86447	29.710764
900 RPM	2.8251073	270.9612	29.97532
1000 RPM	3.1521645	266.38443	30.100952
1100 RPM	3.467287	262.94177	30.10014
1200 RPM	3.7701285	260.29974	30.00173
1300 RPM	4.060522	258.21918	29.827023
1400 RPM	4.336037	256.70294	29.575788
1500 RPM	4.5945454	255.72725	29.249786
1600 RPM	4.839813	254.97786	28.885508
1700 RPM	5.066293	254.6619	28.458548
1800 RPM	5.275886	254.61171	27.989445
1900 RPM	5.4678655	254.7969	27.481194
2000 RPM	5.6421995	255.1907	26.939518
2100 RPM	5.7948914	255.93028	26.351017
2200 RPM	5.932027	256.75516	25.748493

Data Hasil Kalibrasi B90

B90			
RPM	Daya (Kw)	SFOC (gr/kw-h)	TORSI (N-m)
500 RPM	1.4215224	314.48926	27.149078
600 RPM	1.7707816	299.19263	28.182865
700 RPM	2.1173248	288.3124	28.884232
800 RPM	2.4572198	280.39435	29.3309
900 RPM	2.7885783	274.4622	29.587734
1000 RPM	3.1107948	269.88724	29.7059
1100 RPM	3.4218795	266.38644	29.705948
1200 RPM	3.7209866	263.69815	29.610672
1300 RPM	4.006325	261.68488	29.428911
1400 RPM	4.2777305	260.1768	29.178083
1500 RPM	4.533597	259.1473	28.861776
1600 RPM	4.773848	258.48074	28.491806
1700 RPM	4.9967494	258.18796	28.067907
1800 RPM	5.2028303	258.1703	27.601873
1900 RPM	5.3909	258.4068	27.09437
2000 RPM	5.5630884	258.806	26.56179
2100 RPM	5.713616	259.5648	25.981434
2200 RPM	5.8477745	260.44385	25.382788

Data Hasil Kalibrasi B100

B100			
RPM	Daya (Kw)	SFOC (gr/kw-h)	TORSI (N-m)
500 RPM	1.4045174	318.2203	26.824306
600 RPM	1.7485559	302.90652	27.82913
700 RPM	2.0904486	291.95535	28.517593
800 RPM	2.4253051	284.02478	28.949947
900 RPM	2.7523267	278.02368	29.203093
1000 RPM	3.0701869	273.40524	29.318127
1100 RPM	3.3761613	269.9514	29.30906
1200 RPM	3.6714041	267.2264	29.216105
1300 RPM	3.951896	265.25317	29.029097
1400 RPM	4.2198505	263.717	28.783289
1500 RPM	4.4711723	262.73898	28.464369
1600 RPM	4.70761	262.0966	28.09648
1700 RPM	4.927919	261.77606	27.68127
1800 RPM	5.13088	261.75214	27.220163
1900 RPM	5.31607	262.02103	26.718279
2000 RPM	5.4846344	262.49124	26.1872
2100 RPM	5.632067	263.30072	25.61061
2200 RPM	5.764017	264.21286	25.019232

2 Beban Torsi Sebagai Pembebanan Mesin di Simulasi

Data Beban Torsi HSD

Pembebanan HSD													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	3.026	6.052	7.565	9.078	12.104	15.130	18.156	21.182	22.695	24.208	27.234	30.260	N-m
600 RPM	3.148	6.296	7.869	9.443	12.591	15.739	18.887	22.035	23.608	25.182	28.330	31.478	N-m
700 RPM	3.230	6.461	8.076	9.691	12.922	16.152	19.383	22.613	24.228	25.843	29.074	32.304	N-m
800 RPM	3.285	6.569	8.212	9.854	13.139	16.424	19.708	22.993	24.636	26.278	29.563	32.847	N-m
900 RPM	3.317	6.634	8.292	9.951	13.268	16.585	19.902	23.219	24.877	26.536	29.853	33.170	N-m
1000 RPM	3.333	6.667	8.334	10.000	13.334	16.667	20.001	23.334	25.001	26.668	30.001	33.334	N-m
1100 RPM	3.336	6.672	8.340	10.008	13.343	16.679	20.015	23.351	25.019	26.687	30.023	33.359	N-m
1200 RPM	3.328	6.655	8.319	9.983	13.310	16.638	19.966	23.293	24.957	26.621	29.948	33.276	N-m
1300 RPM	3.309	6.617	8.272	9.926	13.235	16.543	19.852	23.161	24.815	26.470	29.778	33.087	N-m
1400 RPM	3.283	6.566	8.207	9.849	13.132	16.415	19.698	22.980	24.622	26.263	29.546	32.829	N-m
1500 RPM	3.249	6.498	8.123	9.747	12.996	16.245	19.494	22.743	24.368	25.992	29.242	32.491	N-m
1600 RPM	3.209	6.418	8.023	9.628	12.837	16.046	19.255	22.465	24.069	25.674	28.883	32.092	N-m
1700 RPM	3.163	6.326	7.908	9.490	12.653	15.816	18.979	22.142	23.724	25.305	28.469	31.632	N-m
1800 RPM	3.113	6.226	7.782	9.339	12.452	15.565	18.678	21.791	23.347	24.904	28.017	31.129	N-m
1900 RPM	3.058	6.116	7.645	9.174	12.232	15.290	18.348	21.406	22.935	24.464	27.522	30.580	N-m
2000 RPM	3.000	5.999	7.499	8.999	11.999	14.999	17.998	20.998	22.498	23.998	26.997	29.997	N-m
2100 RPM	2.936	5.872	7.340	8.808	11.744	14.680	17.616	20.552	22.020	23.488	26.424	29.360	N-m
2200 RPM	2.871	5.741	7.176	8.612	11.482	14.353	17.224	20.094	21.529	22.965	25.835	28.706	N-m

Data Beban Torsi B50

Pembebanan B50													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	2.850	5.700	7.126	8.551	11.401	14.251	17.101	19.952	21.377	22.802	25.652	28.502	N-m
600 RPM	2.961	5.923	7.403	8.884	11.845	14.807	17.768	20.730	22.210	23.691	26.652	29.614	N-m
700 RPM	3.038	6.075	7.594	9.113	12.150	15.188	18.226	21.263	22.782	24.301	27.338	30.376	N-m
800 RPM	3.087	6.173	7.717	9.260	12.347	15.433	18.520	21.607	23.150	24.694	27.780	30.867	N-m
900 RPM	3.116	6.232	7.790	9.349	12.465	15.581	18.697	21.813	23.371	24.930	28.046	31.162	N-m
1000 RPM	3.130	6.259	7.824	9.389	12.518	15.648	18.778	21.907	23.472	25.037	28.167	31.296	N-m
1100 RPM	3.131	6.262	7.827	9.392	12.523	15.654	18.785	21.916	23.481	25.047	28.177	31.308	N-m
1200 RPM	3.122	6.244	7.805	9.366	12.488	15.611	18.733	21.855	23.416	24.977	28.099	31.221	N-m
1300 RPM	3.104	6.207	7.759	9.311	12.414	15.518	18.621	21.725	23.276	24.828	27.932	31.035	N-m
1400 RPM	3.079	6.157	7.696	9.236	12.314	15.393	18.471	21.550	23.089	24.629	27.707	30.786	N-m
1500 RPM	3.046	6.092	7.615	9.138	12.184	15.230	18.276	21.321	22.844	24.367	27.413	30.459	N-m
1600 RPM	3.008	6.016	7.520	9.024	12.032	15.040	18.049	21.057	22.561	24.065	27.073	30.081	N-m
1700 RPM	2.964	5.929	7.411	8.893	11.858	14.822	17.787	20.751	22.233	23.716	26.680	29.645	N-m
1800 RPM	2.916	5.833	7.291	8.749	11.665	14.582	17.498	20.414	21.872	23.331	26.247	29.163	N-m
1900 RPM	2.864	5.728	7.160	8.592	11.456	14.321	17.185	20.049	21.481	22.913	25.777	28.641	N-m
2000 RPM	2.808	5.616	7.020	8.424	11.232	14.040	16.848	19.656	21.060	22.464	25.272	28.080	N-m
2100 RPM	2.748	5.496	6.870	8.244	10.992	13.741	16.489	19.237	20.611	21.985	24.733	27.481	N-m
2200 RPM	2.686	5.372	6.715	8.058	10.743	13.429	16.115	18.801	20.144	21.487	24.173	26.858	N-m

Data Beban Torsi B60

Pembebanan B60													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	2.82	5.63	7.04	8.45	11.26	14.08	16.90	19.71	21.12	22.53	25.34	28.1610	N-m
600 RPM	2.93	5.85	7.32	8.78	11.70	14.63	17.56	20.48	21.95	23.41	26.34	29.2614	N-m
700 RPM	3.00	6.00	7.50	9.00	12.00	15.00	18.00	21.00	22.50	24.00	27.00	29.9993	N-m
800 RPM	3.05	6.10	7.62	9.14	12.19	15.24	18.29	21.34	22.86	24.38	27.43	30.4790	N-m
900 RPM	3.08	6.15	7.69	9.23	12.30	15.38	18.46	21.53	23.07	24.61	27.68	30.7589	N-m
1000 RPM	3.09	6.18	7.72	9.27	12.36	15.45	18.54	21.62	23.17	24.71	27.80	30.8925	N-m
1100 RPM	3.09	6.18	7.73	9.27	12.36	15.45	18.54	21.63	23.18	24.72	27.81	30.9040	N-m
1200 RPM	3.08	6.16	7.70	9.24	12.33	15.41	18.49	21.57	23.11	24.65	27.73	30.8145	N-m
1300 RPM	3.06	6.12	7.66	9.19	12.25	15.31	18.37	21.44	22.97	24.50	27.56	30.6245	N-m
1400 RPM	3.04	6.08	7.59	9.11	12.15	15.19	18.23	21.27	22.78	24.30	27.34	30.3796	N-m
1500 RPM	3.01	6.01	7.51	9.02	12.02	15.03	18.03	21.04	22.54	24.04	27.05	30.0544	N-m
1600 RPM	2.97	5.94	7.42	8.90	11.87	14.84	17.81	20.78	22.26	23.74	26.71	29.6800	N-m
1700 RPM	2.92	5.85	7.31	8.77	11.70	14.62	17.55	20.47	21.93	23.40	26.32	29.2460	N-m
1800 RPM	2.88	5.75	7.19	8.63	11.51	14.38	17.26	20.14	21.58	23.01	25.89	28.7685	N-m
1900 RPM	2.82	5.65	7.06	8.47	11.30	14.12	16.95	19.77	21.19	22.60	25.42	28.2491	N-m
2000 RPM	2.77	5.54	6.92	8.31	11.08	13.85	16.62	19.39	20.77	22.16	24.93	27.6954	N-m
2100 RPM	2.71	5.42	6.77	8.13	10.84	13.55	16.26	18.97	20.32	21.68	24.39	27.0995	N-m
2200 RPM	2.65	5.30	6.62	7.95	10.59	13.24	15.89	18.54	19.87	21.19	23.84	26.4870	N-m

Data Beban Torsi B70

Pembebanan B70													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	2.78	5.57	6.96	8.35	11.13	13.91	16.70	19.48	20.87	22.26	25.05	27.83	N-m
600 RPM	2.89	5.78	7.22	8.67	11.56	14.45	17.34	20.23	21.67	23.11	26.00	28.89	N-m
700 RPM	2.96	5.93	7.41	8.89	11.85	14.81	17.78	20.74	22.22	23.70	26.66	29.63	N-m
800 RPM	3.01	6.02	7.52	9.03	12.04	15.05	18.06	21.07	22.57	24.07	27.08	30.09	N-m
900 RPM	3.04	6.07	7.59	9.11	12.15	15.18	18.22	21.26	22.77	24.29	27.33	30.37	N-m
1000 RPM	3.05	6.10	7.62	9.15	12.20	15.25	18.30	21.35	22.87	24.40	27.44	30.49	N-m
1100 RPM	3.05	6.10	7.63	9.15	12.20	15.25	18.30	21.35	22.88	24.40	27.45	30.50	N-m
1200 RPM	3.04	6.08	7.60	9.12	12.16	15.20	18.24	21.28	22.80	24.32	27.36	30.40	N-m
1300 RPM	3.02	6.05	7.56	9.07	12.09	15.11	18.14	21.16	22.67	24.18	27.20	30.23	N-m
1400 RPM	3.00	6.00	7.49	8.99	11.99	14.99	17.99	20.98	22.48	23.98	26.98	29.98	N-m
1500 RPM	2.97	5.93	7.41	8.90	11.86	14.83	17.79	20.76	22.24	23.72	26.69	29.65	N-m
1600 RPM	2.93	5.86	7.32	8.78	11.71	14.64	17.57	20.49	21.96	23.42	26.35	29.28	N-m
1700 RPM	2.88	5.77	7.21	8.65	11.54	14.42	17.31	20.19	21.64	23.08	25.96	28.85	N-m
1800 RPM	2.84	5.68	7.10	8.51	11.35	14.19	17.03	19.87	21.29	22.71	25.54	28.38	N-m
1900 RPM	2.79	5.57	6.97	8.36	11.15	13.93	16.72	19.51	20.90	22.29	25.08	27.87	N-m
2000 RPM	2.73	5.46	6.83	8.20	10.93	13.66	16.39	19.12	20.49	21.86	24.59	27.32	N-m
2100 RPM	2.67	5.35	6.68	8.02	10.69	13.36	16.04	18.71	20.05	21.38	24.05	26.73	N-m
2200 RPM	2.61	5.22	6.53	7.84	10.45	13.06	15.67	18.28	19.59	20.89	23.51	26.12	N-m

Data Beban Torsi B80

Pembebanan B80													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	2.749	5.498	6.873	8.248	10.997	13.746	16.495	19.245	20.619	21.994	24.743	27.492	N-m
600 RPM	2.855	5.709	7.136	8.564	11.418	14.273	17.127	19.982	21.409	22.836	25.691	28.545	N-m
700 RPM	2.925	5.851	7.313	8.776	11.701	14.627	17.552	20.477	21.940	23.403	26.328	29.253	N-m
800 RPM	2.971	5.942	7.428	8.913	11.884	14.855	17.826	20.798	22.283	23.769	26.740	29.711	N-m
900 RPM	2.998	5.995	7.494	8.993	11.990	14.988	17.985	20.983	22.481	23.980	26.978	29.975	N-m
1000 RPM	3.010	6.020	7.525	9.030	12.040	15.050	18.061	21.071	22.576	24.081	27.091	30.101	N-m
1100 RPM	3.010	6.020	7.525	9.030	12.040	15.050	18.060	21.070	22.575	24.080	27.090	30.100	N-m
1200 RPM	3.000	6.000	7.500	9.001	12.001	15.001	18.001	21.001	22.501	24.001	27.002	30.002	N-m
1300 RPM	2.983	5.965	7.457	8.948	11.931	14.914	17.896	20.879	22.370	23.862	26.844	29.827	N-m
1400 RPM	2.958	5.915	7.394	8.873	11.830	14.788	17.745	20.703	22.182	23.661	26.618	29.576	N-m
1500 RPM	2.925	5.850	7.312	8.775	11.700	14.625	17.550	20.475	21.937	23.400	26.325	29.250	N-m
1600 RPM	2.889	5.777	7.221	8.666	11.554	14.443	17.331	20.220	21.664	23.108	25.997	28.886	N-m
1700 RPM	2.846	5.692	7.115	8.538	11.383	14.229	17.075	19.921	21.344	22.767	25.613	28.459	N-m
1800 RPM	2.799	5.598	6.997	8.397	11.196	13.995	16.794	19.593	20.992	22.392	25.191	27.989	N-m
1900 RPM	2.748	5.496	6.870	8.244	10.992	13.741	16.489	19.237	20.611	21.985	24.733	27.481	N-m
2000 RPM	2.694	5.388	6.735	8.082	10.776	13.470	16.164	18.858	20.205	21.552	24.246	26.940	N-m
2100 RPM	2.635	5.270	6.588	7.905	10.540	13.176	15.811	18.446	19.763	21.081	23.716	26.351	N-m
2200 RPM	2.575	5.150	6.437	7.725	10.299	12.874	15.449	18.024	19.311	20.599	23.174	25.748	N-m

Data Beban Torsi B90

Pembebanan B90													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	2.715	5.430	6.787	8.145	10.860	13.575	16.289	19.004	20.362	21.719	24.434	27.149	N-m
600 RPM	2.818	5.637	7.046	8.455	11.273	14.091	16.910	19.728	21.137	22.546	25.365	28.183	N-m
700 RPM	2.888	5.777	7.221	8.665	11.554	14.442	17.331	20.219	21.663	23.107	25.996	28.884	N-m
800 RPM	2.933	5.866	7.333	8.799	11.732	14.665	17.599	20.532	21.998	23.465	26.398	29.331	N-m
900 RPM	2.959	5.918	7.397	8.876	11.835	14.794	17.753	20.711	22.191	23.670	26.629	29.588	N-m
1000 RPM	2.971	5.941	7.426	8.912	11.882	14.853	17.824	20.794	22.279	23.765	26.735	29.706	N-m
1100 RPM	2.971	5.941	7.426	8.912	11.882	14.853	17.824	20.794	22.279	23.765	26.735	29.706	N-m
1200 RPM	2.961	5.922	7.403	8.883	11.844	14.805	17.766	20.727	22.208	23.689	26.650	29.611	N-m
1300 RPM	2.943	5.886	7.357	8.829	11.772	14.714	17.657	20.600	22.072	23.543	26.486	29.429	N-m
1400 RPM	2.918	5.836	7.295	8.753	11.671	14.589	17.507	20.425	21.884	23.342	26.260	29.178	N-m
1500 RPM	2.886	5.772	7.215	8.659	11.545	14.431	17.317	20.203	21.646	23.089	25.976	28.862	N-m
1600 RPM	2.849	5.698	7.123	8.548	11.397	14.246	17.095	19.944	21.369	22.793	25.643	28.492	N-m
1700 RPM	2.807	5.614	7.017	8.420	11.227	14.034	16.841	19.648	21.051	22.454	25.261	28.068	N-m
1800 RPM	2.760	5.520	6.900	8.281	11.041	13.801	16.561	19.321	20.701	22.081	24.842	27.602	N-m
1900 RPM	2.709	5.419	6.774	8.128	10.838	13.547	16.257	18.966	20.321	21.675	24.385	27.094	N-m
2000 RPM	2.656	5.312	6.640	7.969	10.625	13.281	15.937	18.593	19.921	21.249	23.906	26.562	N-m
2100 RPM	2.598	5.196	6.495	7.794	10.393	12.991	15.589	18.187	19.486	20.785	23.383	25.981	N-m
2200 RPM	2.538	5.077	6.346	7.615	10.153	12.691	15.230	17.768	19.037	20.306	22.845	25.383	N-m

Data Beban Torsi B100

Pembebanan B100													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	2.682	5.365	6.706	8.047	10.730	13.412	16.095	18.777	20.118	21.459	24.142	26.824	N-m
600 RPM	2.783	5.566	6.957	8.349	11.132	13.915	16.697	19.480	20.872	22.263	25.046	27.829	N-m
700 RPM	2.852	5.704	7.129	8.555	11.407	14.259	17.111	19.962	21.388	22.814	25.666	28.518	N-m
800 RPM	2.895	5.790	7.237	8.685	11.580	14.475	17.370	20.265	21.712	23.160	26.055	28.950	N-m
900 RPM	2.920	5.841	7.301	8.761	11.681	14.602	17.522	20.442	21.902	23.362	26.283	29.203	N-m
1000 RPM	2.932	5.864	7.330	8.795	11.727	14.659	17.591	20.523	21.989	23.455	26.386	29.318	N-m
1100 RPM	2.931	5.862	7.327	8.793	11.724	14.655	17.585	20.516	21.982	23.447	26.378	29.309	N-m
1200 RPM	2.922	5.843	7.304	8.765	11.686	14.608	17.530	20.451	21.912	23.373	26.294	29.216	N-m
1300 RPM	2.903	5.806	7.257	8.709	11.612	14.515	17.417	20.320	21.772	23.223	26.126	29.029	N-m
1400 RPM	2.878	5.757	7.196	8.635	11.513	14.392	17.270	20.148	21.587	23.027	25.905	28.783	N-m
1500 RPM	2.846	5.693	7.116	8.539	11.386	14.232	17.079	19.925	21.348	22.771	25.618	28.464	N-m
1600 RPM	2.810	5.619	7.024	8.429	11.239	14.048	16.858	19.668	21.072	22.477	25.287	28.096	N-m
1700 RPM	2.768	5.536	6.920	8.304	11.073	13.841	16.609	19.377	20.761	22.145	24.913	27.681	N-m
1800 RPM	2.722	5.444	6.805	8.166	10.888	13.610	16.332	19.054	20.415	21.776	24.498	27.220	N-m
1900 RPM	2.672	5.344	6.680	8.015	10.687	13.359	16.031	18.703	20.039	21.375	24.046	26.718	N-m
2000 RPM	2.619	5.237	6.547	7.856	10.475	13.094	15.712	18.331	19.640	20.950	23.568	26.187	N-m
2100 RPM	2.561	5.122	6.403	7.683	10.244	12.805	15.366	17.927	19.208	20.488	23.050	25.611	N-m
2200 RPM	2.502	5.004	6.255	7.506	10.008	12.510	15.012	17.513	18.764	20.015	22.517	25.019	N-m

Data Beban Daya HSD

Pembebanan HSD													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	0.158	0.317	0.396	0.475	0.634	0.792	0.951	1.109	1.188	1.268	1.426	1.584427	Kw
600 RPM	0.198	0.396	0.494	0.593	0.791	0.989	1.187	1.384	1.483	1.582	1.780	1.977817	Kw
700 RPM	0.237	0.474	0.592	0.710	0.947	1.184	1.421	1.658	1.776	1.894	2.131	2.36803	Kw
800 RPM	0.275	0.550	0.688	0.826	1.101	1.376	1.651	1.926	2.064	2.201	2.477	2.751818	Kw
900 RPM	0.313	0.625	0.782	0.938	1.250	1.563	1.876	2.188	2.345	2.501	2.814	3.12617	Kw
1000 RPM	0.349	0.698	0.873	1.047	1.396	1.745	2.094	2.444	2.618	2.793	3.142	3.490771	Kw
1100 RPM	0.384	0.769	0.961	1.153	1.537	1.921	2.306	2.690	2.882	3.074	3.458	3.842631	Kw
1200 RPM	0.418	0.836	1.045	1.254	1.673	2.091	2.509	2.927	3.136	3.345	3.763	4.181567	Kw
1300 RPM	0.450	0.901	1.126	1.351	1.802	2.252	2.703	3.153	3.378	3.603	4.054	4.50431	Kw
1400 RPM	0.481	0.963	1.203	1.444	1.925	2.407	2.888	3.369	3.610	3.850	4.332	4.813015	Kw
1500 RPM	0.510	1.021	1.276	1.531	2.041	2.552	3.062	3.573	3.828	4.083	4.593	5.103609	Kw
1600 RPM	0.538	1.075	1.344	1.613	2.151	2.689	3.226	3.764	4.033	4.302	4.839	5.377105	Kw
1700 RPM	0.563	1.126	1.408	1.689	2.252	2.816	3.379	3.942	4.223	4.505	5.068	5.631212	Kw
1800 RPM	0.587	1.174	1.467	1.760	2.347	2.934	3.521	4.107	4.401	4.694	5.281	5.867771	Kw
1900 RPM	0.608	1.217	1.521	1.825	2.434	3.042	3.651	4.259	4.563	4.868	5.476	6.08444	Kw
2000 RPM	0.628	1.257	1.571	1.885	2.513	3.141	3.770	4.398	4.712	5.026	5.654	6.282582	Kw
2100 RPM	0.646	1.291	1.614	1.937	2.583	3.228	3.874	4.520	4.842	5.165	5.811	6.456547	Kw
2200 RPM	0.661	1.323	1.653	1.984	2.645	3.307	3.968	4.629	4.960	5.291	5.952	6.613382	Kw

Data Beban Daya B50

Pembebanan B50													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	0.149	0.298	0.373	0.448	0.597	0.746	0.895	1.045	1.119	1.194	1.343	1.492386	Kw
600 RPM	0.186	0.372	0.465	0.558	0.744	0.930	1.116	1.302	1.396	1.489	1.675	1.86068	Kw
700 RPM	0.223	0.445	0.557	0.668	0.891	1.113	1.336	1.559	1.670	1.781	2.004	2.226677	Kw
800 RPM	0.259	0.517	0.646	0.776	1.034	1.293	1.552	1.810	1.939	2.069	2.327	2.585903	Kw
900 RPM	0.294	0.587	0.734	0.881	1.175	1.468	1.762	2.056	2.203	2.350	2.643	2.936949	Kw
1000 RPM	0.328	0.655	0.819	0.983	1.311	1.639	1.966	2.294	2.458	2.622	2.950	3.277326	Kw
1100 RPM	0.361	0.721	0.902	1.082	1.443	1.803	2.164	2.525	2.705	2.885	3.246	3.606453	Kw
1200 RPM	0.392	0.785	0.981	1.177	1.569	1.962	2.354	2.746	2.943	3.139	3.531	3.923364	Kw
1300 RPM	0.422	0.845	1.056	1.267	1.690	2.112	2.535	2.957	3.169	3.380	3.802	4.224991	Kw
1400 RPM	0.451	0.903	1.128	1.354	1.805	2.257	2.708	3.159	3.385	3.611	4.062	4.513412	Kw
1500 RPM	0.478	0.957	1.196	1.435	1.914	2.392	2.871	3.349	3.588	3.828	4.306	4.784523	Kw
1600 RPM	0.504	1.008	1.260	1.512	2.016	2.520	3.024	3.528	3.780	4.032	4.536	5.040094	Kw
1700 RPM	0.528	1.055	1.319	1.583	2.111	2.639	3.166	3.694	3.958	4.222	4.750	5.277448	Kw
1800 RPM	0.550	1.099	1.374	1.649	2.199	2.749	3.298	3.848	4.123	4.398	4.947	5.49715	Kw
1900 RPM	0.570	1.140	1.425	1.710	2.279	2.849	3.419	3.989	4.274	4.559	5.129	5.698664	Kw
2000 RPM	0.588	1.176	1.470	1.764	2.352	2.941	3.529	4.117	4.411	4.705	5.293	5.881078	Kw
2100 RPM	0.604	1.209	1.511	1.813	2.417	3.022	3.626	4.230	4.533	4.835	5.439	6.043389	Kw
2200 RPM	0.619	1.238	1.547	1.856	2.475	3.094	3.713	4.331	4.641	4.950	5.569	6.187744	Kw

Data Beban Daya B60

Pembebanan B60													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	0.15	0.29	0.37	0.44	0.59	0.74	0.88	1.03	1.11	1.18	1.33	1.474505	Kw
600 RPM	0.18	0.37	0.46	0.55	0.74	0.92	1.10	1.29	1.38	1.47	1.65	1.838547	Kw
700 RPM	0.22	0.44	0.55	0.66	0.88	1.10	1.32	1.54	1.65	1.76	1.98	2.199061	Kw
800 RPM	0.26	0.51	0.64	0.77	1.02	1.28	1.53	1.79	1.92	2.04	2.30	2.553405	Kw
900 RPM	0.29	0.58	0.72	0.87	1.16	1.45	1.74	2.03	2.17	2.32	2.61	2.89896	Kw
1000 RPM	0.32	0.65	0.81	0.97	1.29	1.62	1.94	2.26	2.43	2.59	2.91	3.23506	Kw
1100 RPM	0.36	0.71	0.89	1.07	1.42	1.78	2.14	2.49	2.67	2.85	3.20	3.559888	Kw
1200 RPM	0.39	0.77	0.97	1.16	1.55	1.94	2.32	2.71	2.90	3.10	3.49	3.872262	Kw
1300 RPM	0.42	0.83	1.04	1.25	1.67	2.08	2.50	2.92	3.13	3.34	3.75	4.169082	Kw
1400 RPM	0.45	0.89	1.11	1.34	1.78	2.23	2.67	3.12	3.34	3.56	4.01	4.453878	Kw
1500 RPM	0.47	0.94	1.18	1.42	1.89	2.36	2.83	3.30	3.54	3.78	4.25	4.720931	Kw
1600 RPM	0.50	0.99	1.24	1.49	1.99	2.49	2.98	3.48	3.73	3.98	4.48	4.972928	Kw
1700 RPM	0.52	1.04	1.30	1.56	2.08	2.60	3.12	3.64	3.90	4.17	4.69	5.206471	Kw
1800 RPM	0.54	1.08	1.36	1.63	2.17	2.71	3.25	3.80	4.07	4.34	4.88	5.422728	Kw
1900 RPM	0.56	1.12	1.41	1.69	2.25	2.81	3.37	3.93	4.22	4.50	5.06	5.620655	Kw
2000 RPM	0.58	1.16	1.45	1.74	2.32	2.90	3.48	4.06	4.35	4.64	5.22	5.800505	Kw
2100 RPM	0.60	1.19	1.49	1.79	2.38	2.98	3.58	4.17	4.47	4.77	5.36	5.959482	Kw
2200 RPM	0.61	1.22	1.53	1.83	2.44	3.05	3.66	4.27	4.58	4.88	5.49	6.102167	Kw

Data Beban Daya B70

Pembebanan B70													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	0.15	0.29	0.36	0.44	0.58	0.73	0.87	1.02	1.09	1.17	1.31	1.457158	Kw
600 RPM	0.18	0.36	0.45	0.54	0.73	0.91	1.09	1.27	1.36	1.45	1.63	1.815412	Kw
700 RPM	0.22	0.43	0.54	0.65	0.87	1.09	1.30	1.52	1.63	1.74	1.95	2.171634	Kw
800 RPM	0.25	0.50	0.63	0.76	1.01	1.26	1.51	1.76	1.89	2.02	2.27	2.521099	Kw
900 RPM	0.29	0.57	0.72	0.86	1.14	1.43	1.72	2.00	2.15	2.29	2.58	2.861906	Kw
1000 RPM	0.32	0.64	0.80	0.96	1.28	1.60	1.92	2.24	2.40	2.55	2.87	3.193353	Kw
1100 RPM	0.35	0.70	0.88	1.05	1.41	1.76	2.11	2.46	2.64	2.81	3.16	3.513521	Kw
1200 RPM	0.38	0.76	0.96	1.15	1.53	1.91	2.29	2.67	2.87	3.06	3.44	3.820637	Kw
1300 RPM	0.41	0.82	1.03	1.23	1.65	2.06	2.47	2.88	3.09	3.29	3.70	4.114952	Kw
1400 RPM	0.44	0.88	1.10	1.32	1.76	2.20	2.64	3.08	3.30	3.52	3.96	4.394863	Kw
1500 RPM	0.47	0.93	1.16	1.40	1.86	2.33	2.79	3.26	3.49	3.73	4.19	4.65771	Kw
1600 RPM	0.49	0.98	1.23	1.47	1.96	2.45	2.94	3.43	3.68	3.92	4.41	4.905456	Kw
1700 RPM	0.51	1.03	1.28	1.54	2.05	2.57	3.08	3.60	3.85	4.11	4.62	5.135937	Kw
1800 RPM	0.53	1.07	1.34	1.60	2.14	2.67	3.21	3.74	4.01	4.28	4.81	5.349824	Kw
1900 RPM	0.55	1.11	1.39	1.66	2.22	2.77	3.33	3.88	4.16	4.44	4.99	5.544697	Kw
2000 RPM	0.57	1.14	1.43	1.72	2.29	2.86	3.43	4.01	4.29	4.58	5.15	5.721989	Kw
2100 RPM	0.59	1.18	1.47	1.76	2.35	2.94	3.53	4.11	4.41	4.70	5.29	5.877545	Kw
2200 RPM	0.60	1.20	1.50	1.81	2.41	3.01	3.61	4.21	4.51	4.81	5.42	6.016926	Kw

Data Beban Daya B80

Pembebanan B80													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	0.144	0.288	0.360	0.432	0.576	0.720	0.864	1.008	1.080	1.152	1.296	1.439497	Kw
600 RPM	0.179	0.359	0.448	0.538	0.717	0.897	1.076	1.255	1.345	1.435	1.614	1.793558	Kw
700 RPM	0.214	0.429	0.536	0.643	0.858	1.072	1.287	1.501	1.608	1.716	1.930	2.144376	Kw
800 RPM	0.249	0.498	0.622	0.747	0.996	1.245	1.493	1.742	1.867	1.991	2.240	2.489043	Kw
900 RPM	0.283	0.565	0.706	0.848	1.130	1.413	1.695	1.978	2.119	2.260	2.543	2.825107	Kw
1000 RPM	0.315	0.630	0.788	0.946	1.261	1.576	1.891	2.207	2.364	2.522	2.837	3.152165	Kw
1100 RPM	0.347	0.693	0.867	1.040	1.387	1.734	2.080	2.427	2.600	2.774	3.121	3.467287	Kw
1200 RPM	0.377	0.754	0.943	1.131	1.508	1.885	2.262	2.639	2.828	3.016	3.393	3.770129	Kw
1300 RPM	0.406	0.812	1.015	1.218	1.624	2.030	2.436	2.842	3.045	3.248	3.654	4.060522	Kw
1400 RPM	0.434	0.867	1.084	1.301	1.734	2.168	2.602	3.035	3.252	3.469	3.902	4.336037	Kw
1500 RPM	0.459	0.919	1.149	1.378	1.838	2.297	2.757	3.216	3.446	3.676	4.135	4.594545	Kw
1600 RPM	0.484	0.968	1.210	1.452	1.936	2.420	2.904	3.388	3.630	3.872	4.356	4.839813	Kw
1700 RPM	0.507	1.013	1.267	1.520	2.027	2.533	3.040	3.546	3.800	4.053	4.560	5.066293	Kw
1800 RPM	0.528	1.055	1.319	1.583	2.110	2.638	3.166	3.693	3.957	4.221	4.748	5.275886	Kw
1900 RPM	0.547	1.094	1.367	1.640	2.187	2.734	3.281	3.828	4.101	4.374	4.921	5.467866	Kw
2000 RPM	0.564	1.128	1.411	1.693	2.257	2.821	3.385	3.950	4.232	4.514	5.078	5.6422	Kw
2100 RPM	0.579	1.159	1.449	1.738	2.318	2.897	3.477	4.056	4.346	4.636	5.215	5.794891	Kw
2200 RPM	0.593	1.186	1.483	1.780	2.373	2.966	3.559	4.152	4.449	4.746	5.339	5.932027	Kw

Data Beban Daya B90

Pembebanan B90													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	0.142	0.284	0.355	0.426	0.569	0.711	0.853	0.995	1.066	1.137	1.279	1.421522	Kw
600 RPM	0.177	0.354	0.443	0.531	0.708	0.885	1.062	1.240	1.328	1.417	1.594	1.770782	Kw
700 RPM	0.212	0.423	0.529	0.635	0.847	1.059	1.270	1.482	1.588	1.694	1.906	2.117325	Kw
800 RPM	0.246	0.491	0.614	0.737	0.983	1.229	1.474	1.720	1.843	1.966	2.211	2.45722	Kw
900 RPM	0.279	0.558	0.697	0.837	1.115	1.394	1.673	1.952	2.091	2.231	2.510	2.788578	Kw
1000 RPM	0.311	0.622	0.778	0.933	1.244	1.555	1.866	2.178	2.333	2.489	2.800	3.110795	Kw
1100 RPM	0.342	0.684	0.855	1.027	1.369	1.711	2.053	2.395	2.566	2.738	3.080	3.42188	Kw
1200 RPM	0.372	0.744	0.930	1.116	1.488	1.860	2.233	2.605	2.791	2.977	3.349	3.720987	Kw
1300 RPM	0.401	0.801	1.002	1.202	1.603	2.003	2.404	2.804	3.005	3.205	3.606	4.006325	Kw
1400 RPM	0.428	0.856	1.069	1.283	1.711	2.139	2.567	2.994	3.208	3.422	3.850	4.277731	Kw
1500 RPM	0.453	0.907	1.133	1.360	1.813	2.267	2.720	3.174	3.400	3.627	4.080	4.533597	Kw
1600 RPM	0.477	0.955	1.193	1.432	1.910	2.387	2.864	3.342	3.580	3.819	4.296	4.773848	Kw
1700 RPM	0.500	0.999	1.249	1.499	1.999	2.498	2.998	3.498	3.748	3.997	4.497	4.996749	Kw
1800 RPM	0.520	1.041	1.301	1.561	2.081	2.601	3.122	3.642	3.902	4.162	4.683	5.20283	Kw
1900 RPM	0.539	1.078	1.348	1.617	2.156	2.695	3.235	3.774	4.043	4.313	4.852	5.3909	Kw
2000 RPM	0.556	1.113	1.391	1.669	2.225	2.782	3.338	3.894	4.172	4.450	5.007	5.563088	Kw
2100 RPM	0.571	1.143	1.428	1.714	2.285	2.857	3.428	4.000	4.285	4.571	5.142	5.713616	Kw
2200 RPM	0.585	1.170	1.462	1.754	2.339	2.924	3.509	4.093	4.386	4.678	5.263	5.847775	Kw

Data Beban Daya B100

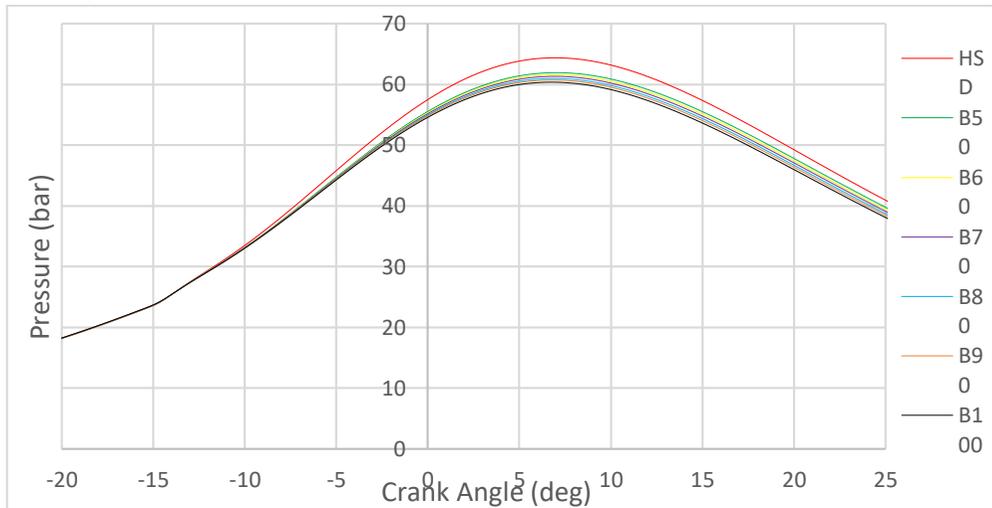
Pembebanan B100													
Beban %	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100	
500 RPM	0.140	0.281	0.351	0.421	0.562	0.702	0.843	0.983	1.053	1.124	1.264	1.404517	Kw
600 RPM	0.175	0.350	0.437	0.525	0.699	0.874	1.049	1.224	1.311	1.399	1.574	1.748556	Kw
700 RPM	0.209	0.418	0.523	0.627	0.836	1.045	1.254	1.463	1.568	1.672	1.881	2.090449	Kw
800 RPM	0.243	0.485	0.606	0.728	0.970	1.213	1.455	1.698	1.819	1.940	2.183	2.425305	Kw
900 RPM	0.275	0.550	0.688	0.826	1.101	1.376	1.651	1.927	2.064	2.202	2.477	2.752327	Kw
1000 RPM	0.307	0.614	0.768	0.921	1.228	1.535	1.842	2.149	2.303	2.456	2.763	3.070187	Kw
1100 RPM	0.338	0.675	0.844	1.013	1.350	1.688	2.026	2.363	2.532	2.701	3.039	3.376161	Kw
1200 RPM	0.367	0.734	0.918	1.101	1.469	1.836	2.203	2.570	2.754	2.937	3.304	3.671404	Kw
1300 RPM	0.395	0.790	0.988	1.186	1.581	1.976	2.371	2.766	2.964	3.162	3.557	3.951896	Kw
1400 RPM	0.422	0.844	1.055	1.266	1.688	2.110	2.532	2.954	3.165	3.376	3.798	4.219851	Kw
1500 RPM	0.447	0.894	1.118	1.341	1.788	2.236	2.683	3.130	3.353	3.577	4.024	4.471172	Kw
1600 RPM	0.471	0.942	1.177	1.412	1.883	2.354	2.825	3.295	3.531	3.766	4.237	4.70761	Kw
1700 RPM	0.493	0.986	1.232	1.478	1.971	2.464	2.957	3.450	3.696	3.942	4.435	4.927919	Kw
1800 RPM	0.513	1.026	1.283	1.539	2.052	2.565	3.079	3.592	3.848	4.105	4.618	5.13088	Kw
1900 RPM	0.532	1.063	1.329	1.595	2.126	2.658	3.190	3.721	3.987	4.253	4.784	5.31607	Kw
2000 RPM	0.548	1.097	1.371	1.645	2.194	2.742	3.291	3.839	4.113	4.388	4.936	5.484634	Kw
2100 RPM	0.563	1.126	1.408	1.690	2.253	2.816	3.379	3.942	4.224	4.506	5.069	5.632067	Kw
2200 RPM	0.576	1.153	1.441	1.729	2.306	2.882	3.458	4.035	4.323	4.611	5.188	5.764017	Kw

“Halaman Ini Sengaja Di Kosongkan”

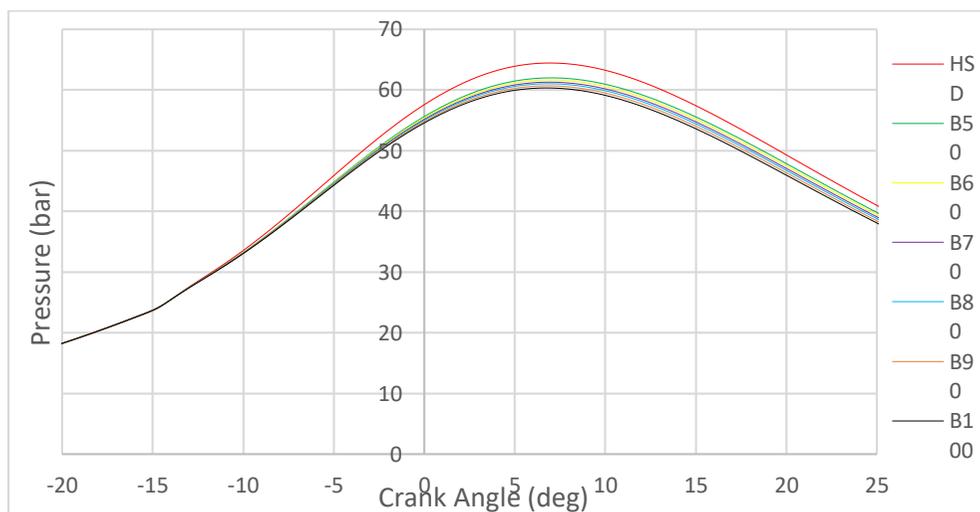
LAMPIRAN B

berikut ini adalah hasil dari cylinder pressure, rate of heat release, heat release, dan temperature pada 2100 RPM dan pembebanan 10%, 25%, 50%, 75%, 100%.

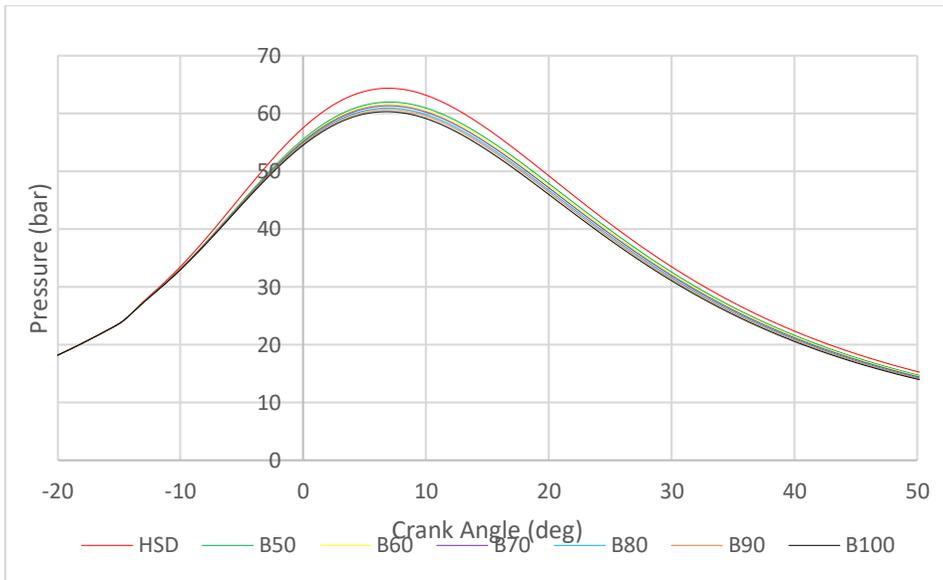
1. Cylinder Pressure



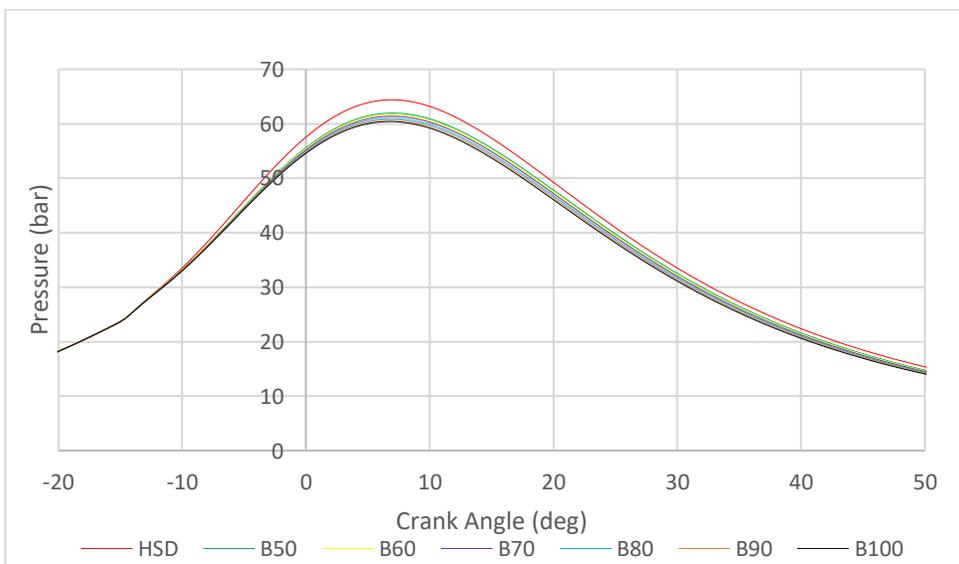
Cylinder Pressure Pada 2100 RPM dan Beban 10%



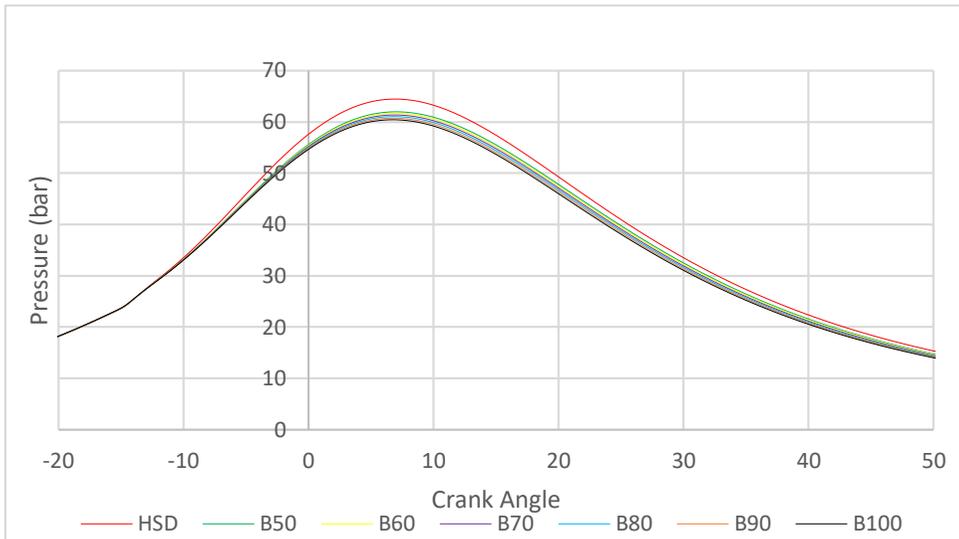
Cylinder Pressure Pada 2100 RPM dan Beban 25%



Cylinder Pressure Pada 2100 RPM dan Beban 50%

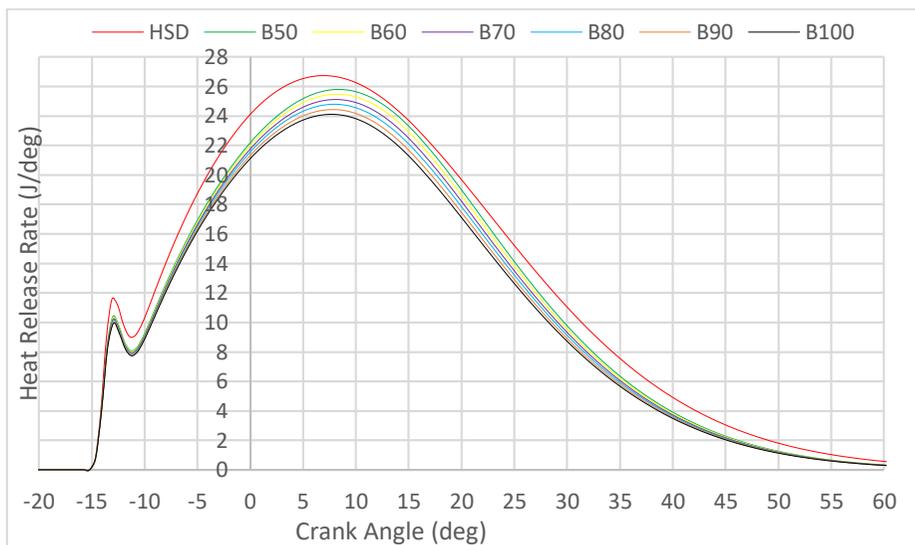


Cylinder Pressure Pada 2100 RPM dan Beban 75%

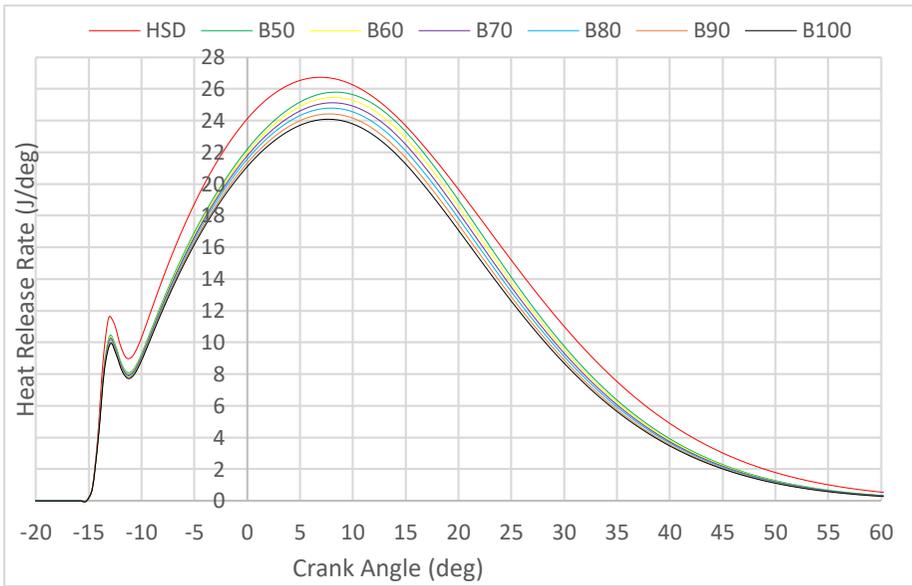


Cylinder Pressure Pada 2100 RPM dan Beban 100%

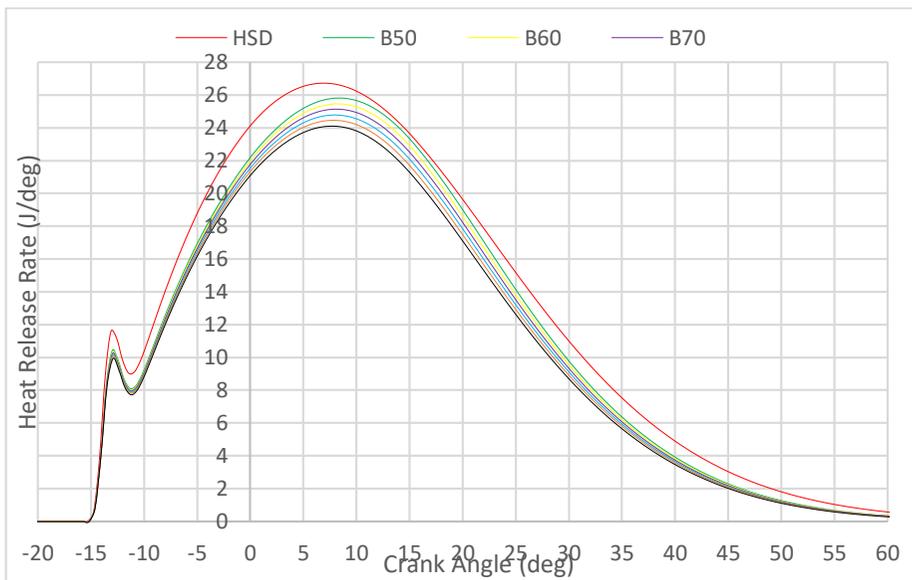
2. Rate of Heat Release



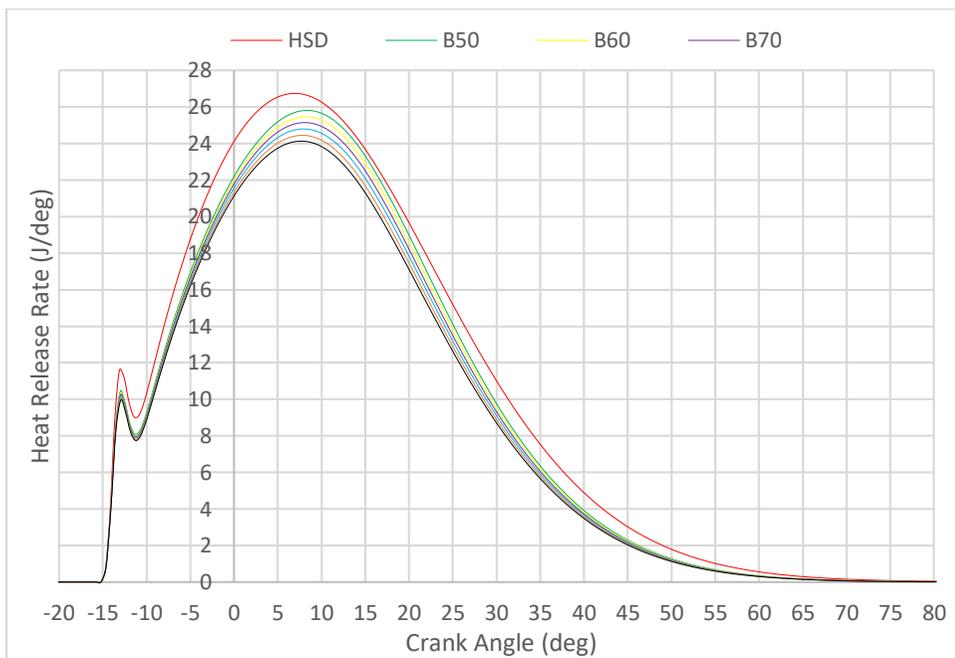
Rate of Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 10%



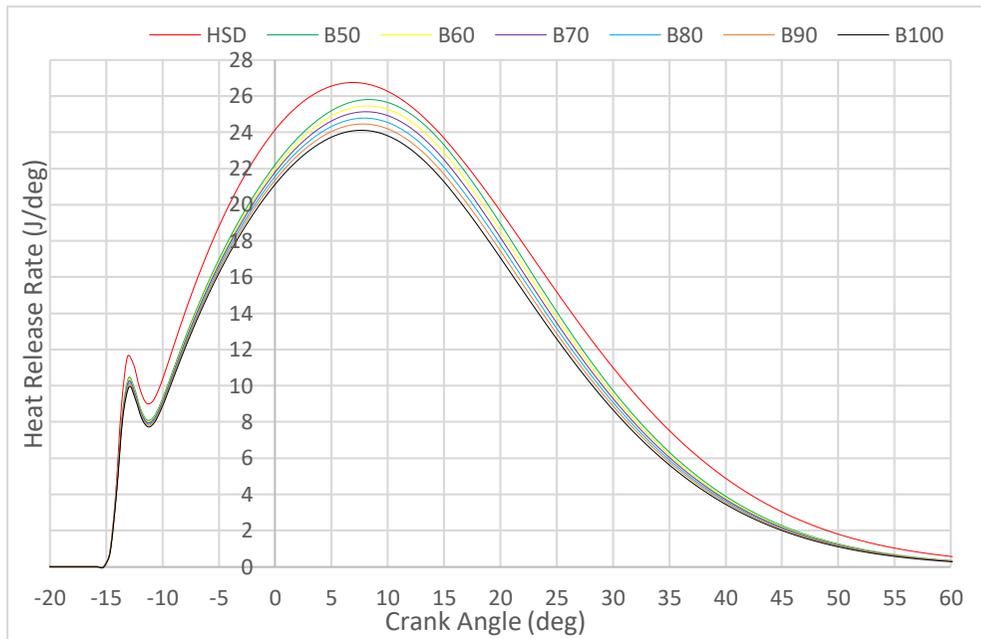
Rate of Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 25%



Rate of Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 50%

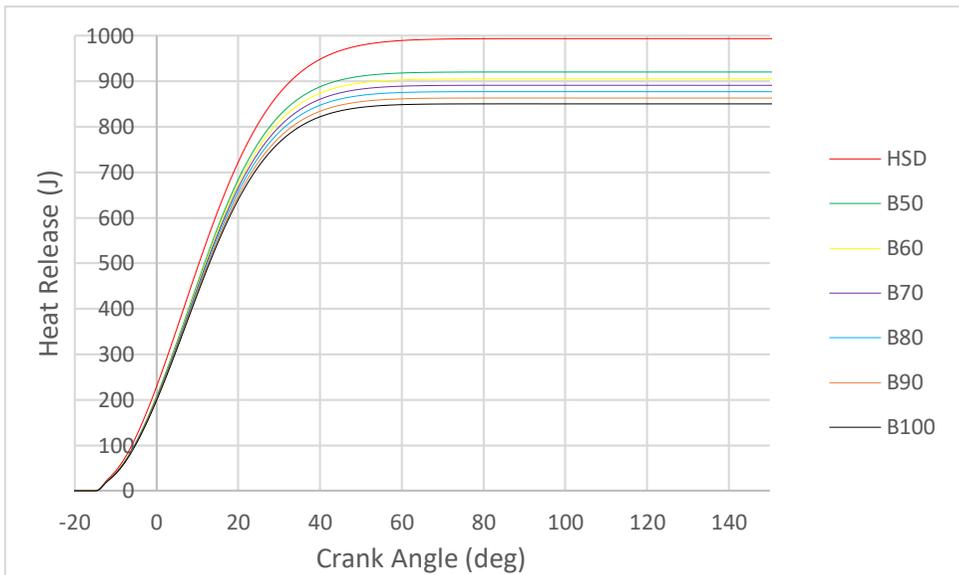


Rate of Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 75%

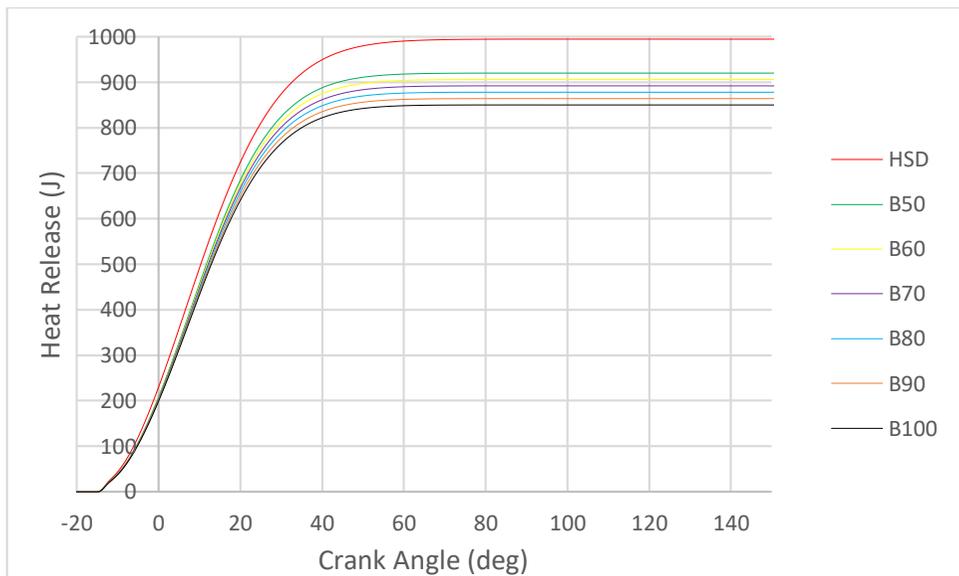


Rate of Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 100%

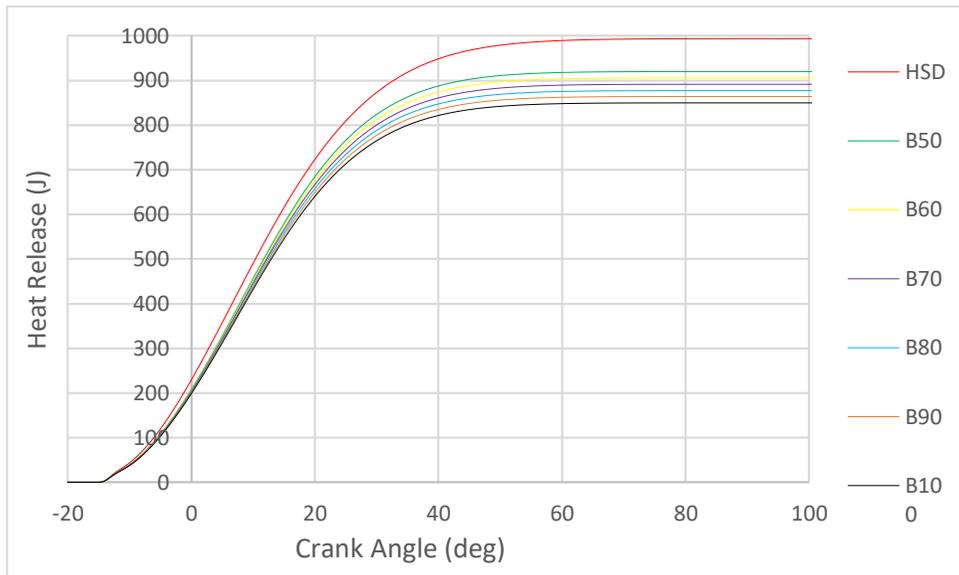
3. Heat Release



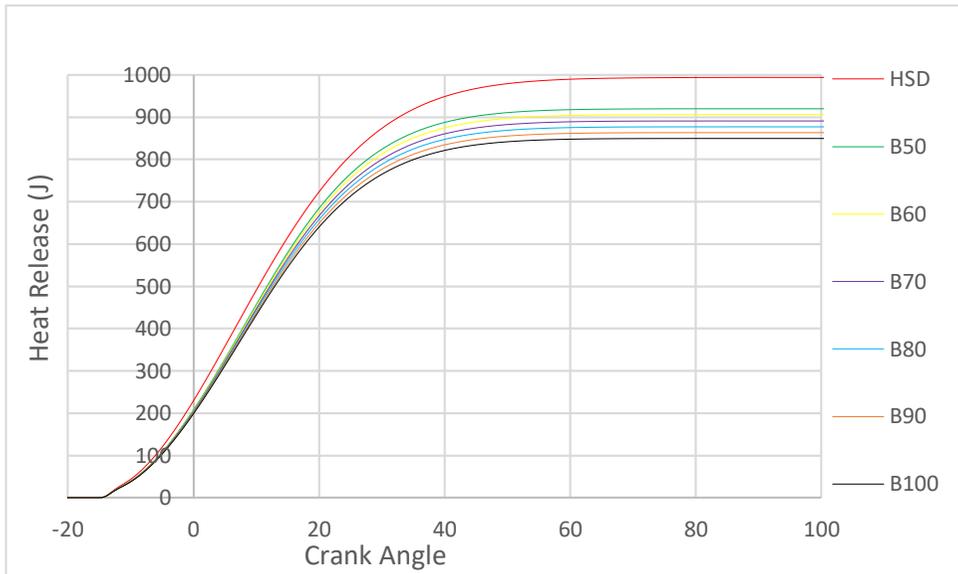
Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 10%



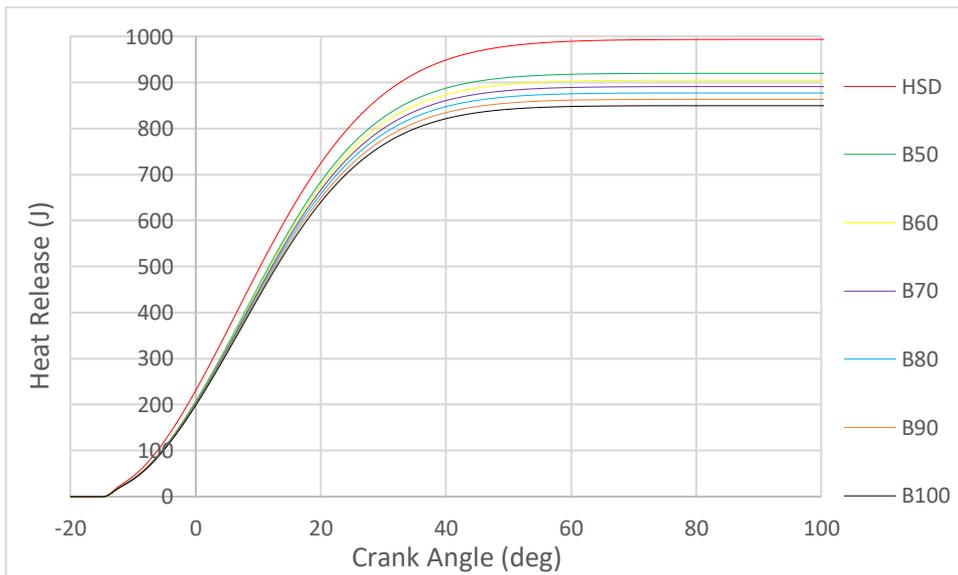
Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 25%



Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 50%

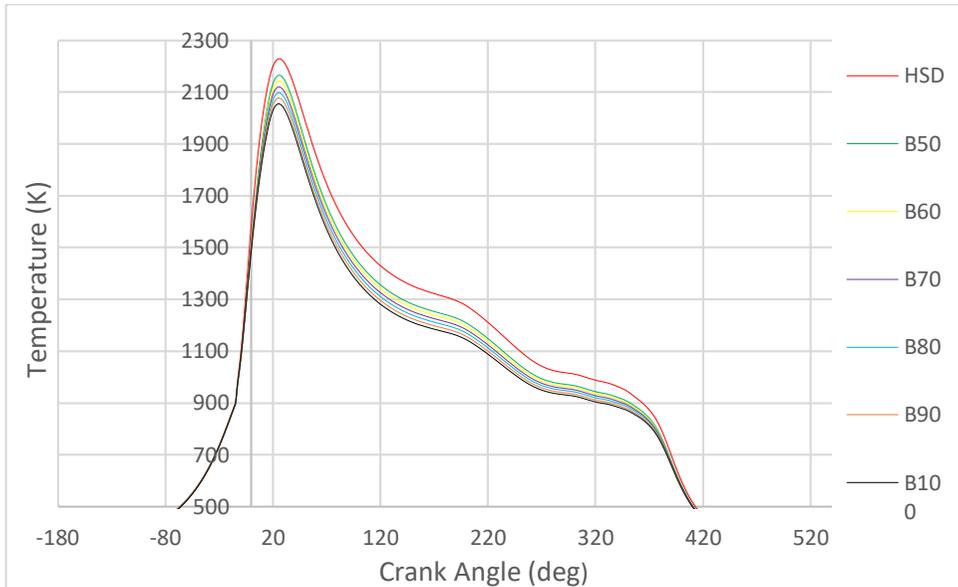


Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 75%

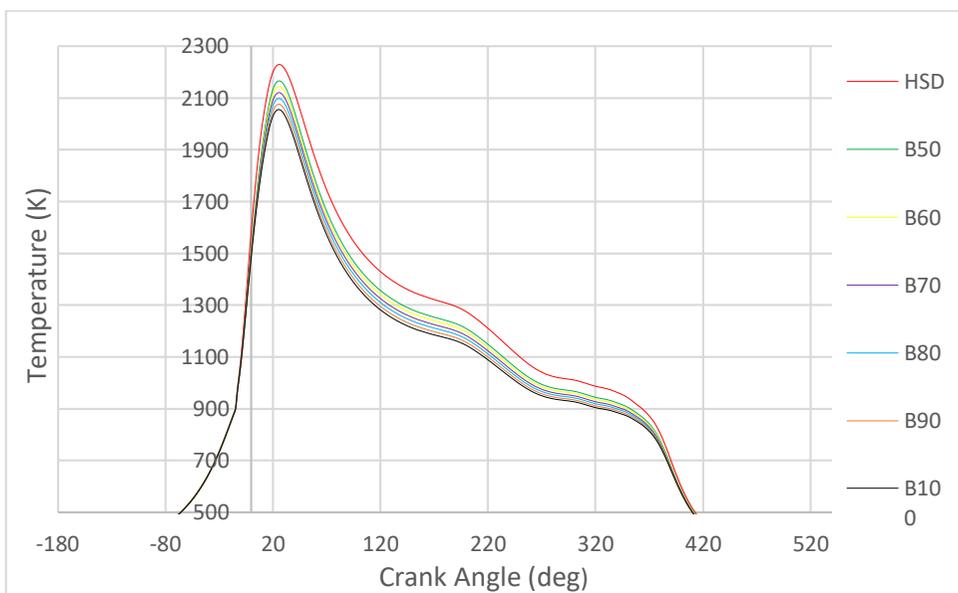


Heat Release Pada 2100 RPM dan Beban 100%

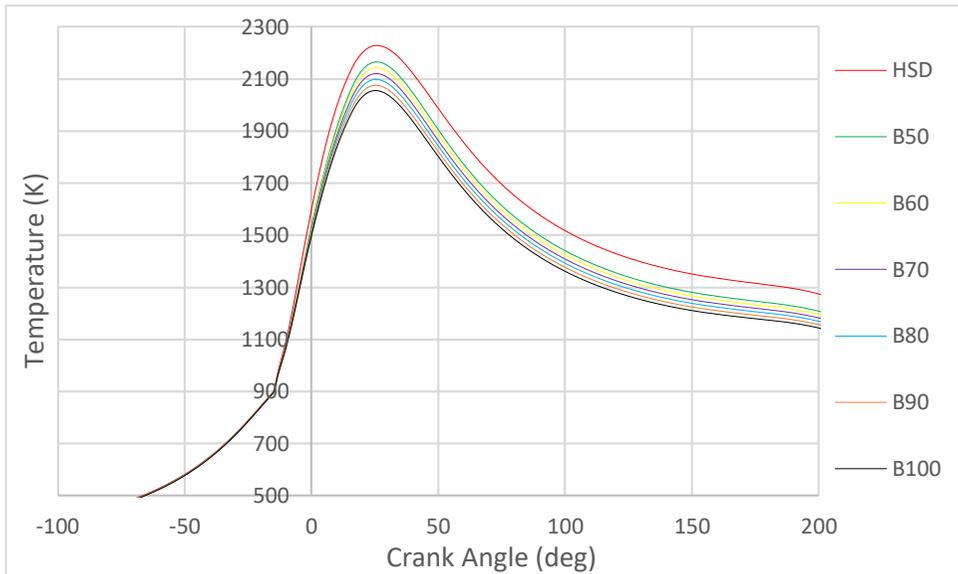
4. Temperature



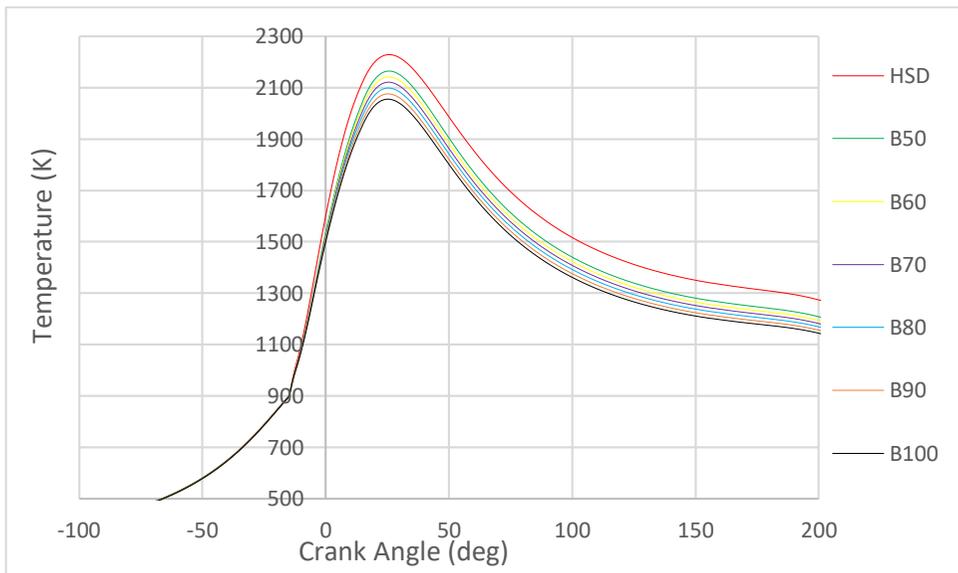
Temperature Pada 2100 RPM dan Beban 10%



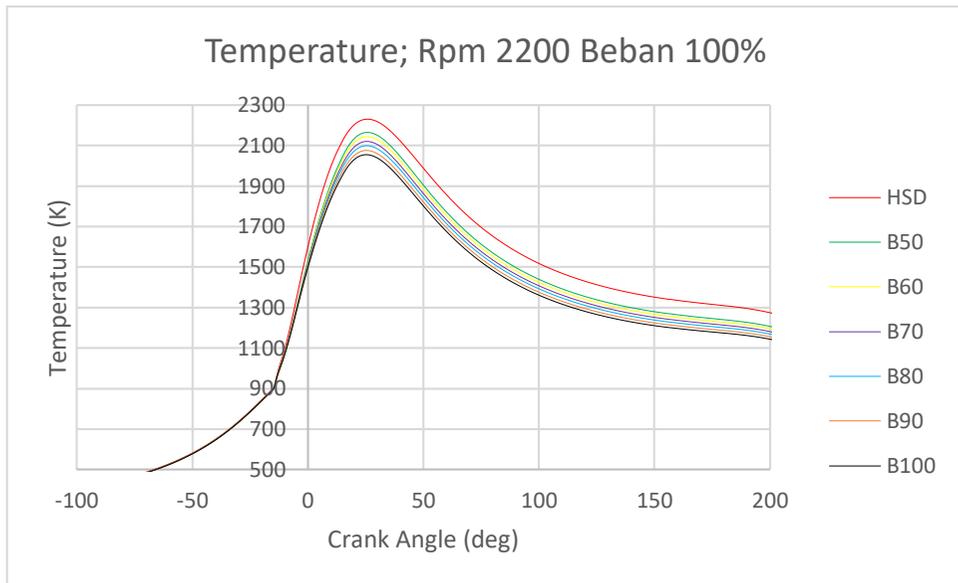
Temperature Pada 2100 RPM dan Beban 25%



Temperature Pada 2100 RPM dan Beban 50%



Temperature Pada 2100 RPM dan Beban 75%



Temperature Pada 2100 RPM dan Beban 100

5. Emisi NO_x

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	2100	25.42	13.11	10.56	8.84	6.66	5.35	4.47	3.84	3.58	3.36	2.99	2.69
B50	2100	18.53	9.584	7.721	6.46	4.88	3.92	3.27	2.81	2.62	2.46	2.19	1.97
B60	2100	17.15	8.876	7.157	5.99	4.52	3.63	3.03	2.6	2.43	2.28	2.03	1.83
B70	2100	15.76	8.148	6.573	5.5	4.15	3.34	2.78	2.39	2.23	2.1	1.87	1.68
B80	2100	14.37	7.446	6	5.03	3.79	3.05	2.54	2.19	2.04	1.91	1.7	1.53
B90	2100	13	6.743	5.435	4.55	3.44	2.76	2.31	1.98	1.85	1.73	1.54	1.39
B100	2100	11.64	6.04	4.869	4.08	3.08	2.47	2.07	1.77	1.66	1.55	1.38	1.25

Emisi NO_x pada 2100 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	2000	25.56	13.13	10.56	8.83	6.66	5.34	4.46	3.83	3.57	3.35	2.98	2.69
B50	2000	18.72	9.636	7.755	6.49	4.89	3.92	3.28	2.81	2.63	2.46	2.19	1.98
B60	2000	17.32	8.921	7.185	6.01	4.53	3.63	3.04	2.61	2.43	2.28	2.03	1.83
B70	2000	15.95	8.218	6.61	5.53	4.17	3.35	2.8	2.4	2.24	2.1	1.87	1.68
B80	2000	14.57	7.51	6.046	5.06	3.81	3.06	2.56	2.2	2.05	1.92	1.71	1.54
B90	2000	13.2	6.807	5.481	4.59	3.46	2.78	2.32	1.99	1.86	1.74	1.55	1.4
B100	2000	11.83	6.109	4.918	4.12	3.1	2.49	2.08	1.79	1.67	1.57	1.39	1.26

Emisi NOx pada 2000 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1900	25.67	13.13	10.56	8.82	6.64	5.33	4.45	3.82	3.56	3.34	2.97	2.68
B50	1900	18.86	9.668	7.774	6.5	4.9	3.93	3.28	2.81	2.63	2.46	2.19	1.97
B60	1900	17.52	8.968	7.214	6.03	4.54	3.65	3.04	2.61	2.44	2.29	2.03	1.83
B70	1900	16.1	8.271	6.644	5.56	4.19	3.36	2.8	2.41	2.25	2.11	1.88	1.69
B80	1900	14.74	7.566	6.085	5.09	3.83	3.08	2.57	2.2	2.06	1.93	1.72	1.55
B90	1900	5.771	2.962	2.383	1.99	1.5	1.21	1.01	0.86	0.81	0.76	0.67	0.61
B100	1900	12.02	6.173	4.965	4.15	3.13	2.51	2.1	1.8	1.68	1.58	1.4	1.26

Emisi NOx pada 1900 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1800	25.82	13.16	10.57	8.83	6.65	5.33	4.45	3.81	3.56	3.34	2.97	2.68
B50	1800	19.01	9.702	7.795	6.51	4.9	3.93	3.28	2.82	2.63	2.47	2.19	1.98
B60	1800	17.63	9.018	7.243	6.05	4.55	3.65	3.05	2.62	2.44	2.29	2.04	1.84
B70	1800	16.26	8.306	6.674	5.58	4.2	3.37	2.81	2.41	2.25	2.11	1.88	1.69
B80	1800	14.91	7.618	6.122	5.12	3.85	3.09	2.58	2.21	2.07	1.94	1.72	1.55
B90	1800	13.53	6.919	5.56	4.65	3.5	2.81	2.34	2.01	1.88	1.76	1.57	1.41
B100	1800	12.18	6.227	5.005	4.18	3.15	2.53	2.11	1.81	1.69	1.59	1.41	1.27

Emisi NOx pada 1800 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1700	25.94	13.18	10.58	8.83	6.64	5.32	4.44	3.81	3.56	3.34	2.97	2.67
B50	1700	19.17	9.75	7.828	6.54	4.92	3.94	3.29	2.82	2.64	2.47	2.2	1.98
B60	1700	17.8	9.044	7.264	6.07	4.56	3.66	3.05	2.62	2.45	2.29	2.04	1.84
B70	1700	16.43	8.353	6.709	5.61	4.22	3.38	2.82	2.42	2.26	2.12	1.88	1.7
B80	1700	15.03	7.656	6.148	5.14	3.86	3.1	2.59	2.22	2.07	1.94	1.73	1.56
B90	1700	13.68	6.966	5.594	4.67	3.52	2.82	2.35	2.02	1.89	1.77	1.57	1.42
B100	1700	12.33	6.283	5.046	4.22	3.17	2.54	2.12	1.82	1.7	1.59	1.42	1.28

Emisi NOx pada 1700 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1600	25.99	13.17	10.56	8.82	6.63	5.31	4.43	3.8	3.55	3.33	2.96	2.66
B50	1600	19.25	9.764	7.835	6.54	4.92	3.94	3.29	2.82	2.63	2.47	2.2	1.98
B60	1600	17.87	9.068	7.281	6.08	4.57	3.66	3.06	2.62	2.45	2.3	2.04	1.84
B70	1600	16.53	8.387	6.735	5.63	4.23	3.39	2.83	2.43	2.26	2.12	1.89	1.7
B80	1600	15.16	7.695	6.175	5.16	3.88	3.11	2.59	2.22	2.08	1.95	1.73	1.56
B90	1600	13.8	7.008	5.624	4.7	3.53	2.83	2.36	2.03	1.89	1.77	1.58	1.42
B100	1600	12.46	6.328	5.078	4.24	3.19	2.56	2.13	1.83	1.71	1.6	1.43	1.28

Emisi NOx pada 1600 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1500	26.06	13.17	10.56	8.81	6.62	5.3	4.42	3.79	3.54	3.32	2.95	2.66
B50	1500	19.35	9.792	7.852	6.55	4.93	3.95	3.29	2.82	2.64	2.47	2.2	1.98
B60	1500	17.95	9.1	7.3	6.09	4.58	3.67	3.06	2.62	2.45	2.3	2.04	1.84
B70	1500	16.62	8.425	6.759	5.64	4.24	3.4	2.83	2.43	2.27	2.13	1.89	1.7
B80	1500	15.28	7.738	6.207	5.18	3.89	3.12	2.6	2.23	2.08	1.95	1.74	1.57
B90	1500	13.92	7.05	5.654	4.72	3.55	2.84	2.37	2.03	1.9	1.78	1.58	1.43
B100	1500	12.58	6.373	5.112	4.27	3.21	2.57	2.14	1.84	1.72	1.61	1.43	1.29

Emisi NOx pada 1500 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1400	26.12	13.17	10.56	8.81	6.62	5.3	4.42	3.79	3.54	3.32	2.95	2.66
B50	1400	19.42	9.806	7.861	6.56	4.93	3.95	3.29	2.82	2.64	2.47	2.2	1.98
B60	1400	18.07	9.122	7.322	6.11	4.59	3.67	3.06	2.63	2.45	2.3	2.05	1.84
B70	1400	16.73	8.449	6.782	5.66	4.25	3.4	2.84	2.44	2.27	2.13	1.9	1.71
B80	1400	15.38	7.768	6.227	5.2	3.9	3.13	2.61	2.24	2.09	1.96	1.74	1.57
B90	1400	14.03	7.087	5.682	4.74	3.56	2.85	2.38	2.04	1.91	1.79	1.59	1.43
B100	1400	12.7	6.414	5.142	4.29	3.23	2.58	2.15	1.85	1.73	1.62	1.44	1.3

Emisi NOx pada 1400 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1300	26.14	13.16	10.55	8.8	6.61	5.29	4.41	3.78	3.53	3.31	2.94	2.65
B50	1300	19.52	9.838	7.883	6.58	4.94	3.96	3.3	2.83	2.64	2.48	2.2	1.98
B60	1300	18.19	9.166	7.335	6.12	4.6	3.68	3.07	2.63	2.46	2.31	2.05	1.85
B70	1300	16.84	8.473	6.792	5.67	4.26	3.41	2.84	2.44	2.28	2.14	1.9	1.71
B80	1300	15.47	7.799	6.249	5.21	3.92	3.14	2.62	2.24	2.09	1.96	1.75	1.57
B90	1300	14.14	7.128	5.713	4.77	3.58	2.87	2.39	2.05	1.91	1.8	1.6	1.44
B100	1300	12.8	6.455	5.173	4.32	3.24	2.6	2.17	1.86	1.73	1.63	1.45	1.3

Emisi NOx pada 1300 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1200	26.17	13.16	10.54	8.79	6.6	5.28	4.41	3.78	3.53	3.31	2.94	2.65
B50	1200	19.6	9.859	7.898	6.59	4.95	3.96	3.3	2.83	2.64	2.48	2.2	1.98
B60	1200	18.26	9.185	7.358	6.14	4.6	3.69	3.08	2.64	2.46	2.31	2.05	1.85
B70	1200	16.91	8.511	6.818	5.69	4.27	3.42	2.85	2.45	2.28	2.14	1.9	1.71
B80	1200	15.56	7.831	6.273	5.23	3.93	3.15	2.62	2.25	2.1	1.97	1.75	1.58
B90	1200	14.23	7.164	5.739	4.79	3.6	2.88	2.4	2.06	1.92	1.8	1.6	1.44
B100	1200	12.9	6.492	5.201	4.34	3.26	2.61	2.18	1.87	1.74	1.63	1.45	1.31

Emisi NOx pada 1200 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1100	26.23	13.17	10.55	8.8	6.6	5.29	4.41	3.78	3.53	3.31	2.94	2.65
B50	1100	19.66	9.876	7.91	6.6	4.95	3.96	3.31	2.83	2.65	2.48	2.21	1.99
B60	1100	18.33	9.211	7.372	6.15	4.62	3.7	3.08	2.64	2.47	2.31	2.06	1.85
B70	1100	16.98	8.535	6.831	5.7	4.28	3.43	2.86	2.45	2.29	2.14	1.91	1.72
B80	1100	15.65	7.863	6.298	5.25	3.94	3.16	2.63	2.26	2.11	1.98	1.76	1.58
B90	1100	14.32	7.198	5.765	4.81	3.61	2.89	2.41	2.07	1.93	1.81	1.61	1.45
B100	1100	12.99	6.53	5.23	4.36	3.28	2.62	2.19	1.88	1.75	1.64	1.46	1.31

Emisi NOx pada 1100 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1100	26.29	13.19	10.56	8.8	6.61	5.29	4.41	3.78	3.53	3.31	2.94	2.65
B50	1100	19.72	9.9	7.926	6.61	4.96	3.97	3.31	2.84	2.65	2.49	2.21	1.99
B60	1100	18.39	9.232	7.397	6.16	4.63	3.7	3.09	2.65	2.47	2.32	2.06	1.86
B70	1100	17.07	8.565	6.862	5.72	4.29	3.44	2.87	2.46	2.29	2.15	1.91	1.72
B80	1100	15.74	7.899	6.325	5.27	3.96	3.17	2.64	2.27	2.12	1.98	1.76	1.59
B90	1100	14.4	7.232	5.791	4.83	3.63	2.9	2.42	2.08	1.94	1.82	1.62	1.45
B100	1100	13.08	6.565	5.257	4.38	3.29	2.63	2.2	1.88	1.76	1.65	1.47	1.32

Emisi NOx pada 1000 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1100	26.37	13.22	10.58	8.82	6.62	5.3	4.42	3.79	3.54	3.31	2.95	2.65
B50	1100	19.81	9.935	7.953	6.64	4.98	3.99	3.32	2.85	2.66	2.49	2.22	2
B60	1100	18.47	9.276	7.424	6.19	4.65	3.72	3.1	2.66	2.48	2.33	2.07	1.86
B70	1100	17.14	8.608	6.889	5.74	4.31	3.45	2.88	2.47	2.3	2.16	1.92	1.73
B80	1100	15.83	7.941	6.357	5.3	3.98	3.18	2.66	2.28	2.13	1.99	1.77	1.6
B90	1100	14.5	7.272	5.822	4.85	3.64	2.92	2.43	2.09	1.95	1.83	1.62	1.46
B100	1100	13.18	6.61	5.293	4.41	3.31	2.65	2.21	1.9	1.77	1.66	1.48	1.33

Emisi NOx pada 900 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1100	26.45	13.25	10.6	8.84	6.63	5.31	4.43	3.79	3.54	3.32	2.95	2.66
B50	1100	19.91	9.976	7.984	6.66	5	4	3.34	2.86	2.67	2.5	2.23	2.01
B60	1100	18.58	9.308	7.455	6.22	4.67	3.73	3.11	2.67	2.49	2.34	2.08	1.87
B70	1100	17.25	8.644	6.924	5.77	4.33	3.47	2.89	2.48	2.31	2.17	1.93	1.74
B80	1100	15.93	7.981	6.388	5.33	4	3.2	2.67	2.29	2.14	2	1.78	1.6
B90	1100	14.6	7.318	5.857	4.88	3.67	2.93	2.45	2.1	1.96	1.84	1.63	1.47
B100	1100	13.28	6.657	5.33	4.44	3.34	2.67	2.23	1.91	1.78	1.67	1.49	1.34

Emisi NOx pada 800 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1100	26.59	13.31	10.65	8.88	6.66	5.33	4.45	3.81	3.56	3.34	2.97	2.67
B50	1100	20.04	10.04	8.033	6.7	5.03	4.02	3.35	2.88	2.68	2.52	2.24	2.02
B60	1100	18.71	9.371	7.501	6.25	4.69	3.76	3.13	2.69	2.51	2.35	2.09	1.88
B70	1100	17.39	8.697	6.963	5.81	4.36	3.49	2.91	2.49	2.33	2.18	1.94	1.75
B80	1100	16.05	8.038	6.434	5.36	4.03	3.22	2.69	2.3	2.15	2.02	1.79	1.62
B90	1100	14.72	7.371	5.9	4.92	3.69	2.96	2.46	2.11	1.97	1.85	1.65	1.48
B100	1100	13.4	6.711	5.373	4.48	3.36	2.69	2.24	1.92	1.8	1.69	1.5	1.35

Emisi NOx pada 700 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1100	26.79	13.41	10.73	8.95	6.71	5.37	4.48	3.84	3.59	3.36	2.99	2.69
B50	1100	20.23	10.13	8.105	6.76	5.07	4.06	3.38	2.9	2.71	2.54	2.26	2.03
B60	1100	18.86	9.459	7.562	6.31	4.74	3.79	3.16	2.71	2.53	2.37	2.11	1.9
B70	1100	17.55	8.784	7.035	5.86	4.4	3.52	2.94	2.52	2.35	2.21	1.96	1.77
B80	1100	16.2	8.114	6.494	5.41	4.06	3.25	2.71	2.33	2.17	2.04	1.81	1.63
B90	1100	14.88	7.447	5.961	4.97	3.73	2.99	2.49	2.14	1.99	1.87	1.66	1.5
B100	1100	13.54	6.781	5.428	4.52	3.4	2.72	2.27	1.95	1.82	1.7	1.52	1.36

Emisi NOx pada 600 RPM dan pembebanan 10%-100%

BBM	RPM	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	100
HSD	1100	27.16	13.59	10.88	9.07	6.8	5.44	4.54	3.89	3.63	3.41	3.03	2.73
B50	1100	20.51	10.26	8.212	6.85	5.14	4.11	3.43	2.94	2.75	2.58	2.29	2.06
B60	1100	19.12	9.588	7.671	6.39	4.8	3.84	3.2	2.75	2.57	2.41	2.14	1.93
B70	1100	17.81	8.899	7.125	5.94	4.46	3.57	2.98	2.55	2.38	2.24	1.99	1.79
B80	1100	16.44	8.23	6.586	5.49	4.12	3.3	2.75	2.36	2.2	2.07	1.84	1.66
B90	1100	15.09	7.553	6.045	5.04	3.78	3.03	2.53	2.17	2.02	1.9	1.69	1.52
B100	1100	13.74	6.877	5.505	4.59	3.45	2.76	2.3	1.97	1.84	1.73	1.54	1.39

Emisi NOx pada 500 RPM dan pembebanan 10%-100%

BIODATA PENULIS



Brilian Alfarisy adalah nama penulis Tugas Akhir ini. penulis lahir dari orang tua Supriyadi dan Sunarmi sebagai anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis dilahirkan di Cluring, Banyuwangi, Provinsi Jawa Timur pada tanggal 17 Mei 1998. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SDN 1 Tamanagung (*lulus tahun 20010*), melanjutkan ke SMP Negeri 1 Cluring (*lulus tahun 2013*), melanjutkan ke jenjang selanjutnya di SMA Negeri 1 Genteng (*lulus tahun 2016*), dan melanjutkan jenjang Strata 1 kuliah di departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Surabaya. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam mengikuti unit kegiatan mahasiswa yang bergerak dibidang beladiri pencak silat (UKM) Persaudaraan Setia Hati Terate. Pada tahun ketiga perkuliahan penulis menjabat sebagai wakil ketua UKM PSHT. Pada semester akhir, penulis banyak menghabiskan waktu untuk mengerjakan tugas akhir yang berjudul. **“Analisis Proses Pembakaran dan Emisi NO_x Pada Mesin Diesel Berbahan Bakar B50-B100 Berbasis Simulasi”**.