TUGAS AKHIR - ME184834

Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Campuran dari Limbah Plastik Jenis Polipropilen dengan Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Performa, Emisi dan Proses Pembakaran pada Mesin Diesel Berbasis Simulasi

A KAROMUR ROZIQ F
NRP. 04211640000071

Dosen Pembimbing
Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah, M.Eng, Ph.D
Adhi Iswantoro, ST., MT.

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

TUGAS AKHIR

Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Campuran dari Limbah Plastik Jenis Polipropilen dengan Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Performa, Emisi dan Proses Pembakaran pada Mesin Diesel Berbasis Simulasi

A Karomur Roziq F
NRP 04211640000071

Dosen Pembimbing

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

Adhi Iswantoro, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

2020

THESIS ME 184834

The Effect of Blend Fuel from Polypropylene Plastic Waste with Biodiesel Waste Cooking Oil on the Performance, Emissions and Combustion Process of Diesel Engine based on Simulation

A Karomur Roziq F
NRP 04211640000071

SUPERVISOR

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

Adhi Iswantoro, ST., MT.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING

FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR CAMPURAN DARI LIMBAH PLASTIK JENIS POLIPROPILEN DENGAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH TERHADAP PERFORMA, EMISI DAN PROSES PEMBAKARAN PADA MESIN DIESEL BERBASIS SIMULASI

TUGAS AKHIR

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

Oleh :

A Karomur Roziq F
NRP 04211640000071

Surabaya, Juli 2020

Disetujui Oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Pembimbing 1 :

Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D. ( )
NIP. 1956 0519 1986 10 1001

Pembimbing 2 :

Adhi Iswantoro, ST., MT ( )
NIP. 1991201711050

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR CAMPURAN DARI LIMBAH PLASTIK JENIS POLIPROPILEN DENGAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH TERHADAP PERFORMA, EMISI DAN PROSES PEMBAKARAN PADA MESIN DIESEL 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 :

A. Karomur Roziq F.
NRP. 04211640000071

Disetujui Oleh,
Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :

KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

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

SURABAYA
AGUSTUS 2020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK JENIS POLIPROPILEN DENGAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH TERHADAP PERFORMA, EMISI DAN PROSES PEMBAKARAN PADA MESIN DIESEL BERBASIS SIMULASI

Nama Mahasiswa : A Karomur Roziq F
NRP : 04211640000071
Pembimbing : 1. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D.
2. Adhi Iswantoro, ST., MT.

ABSTRAK

Dewasa ini Plastik jenis polipropilen sangat sering ditemukan dan menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan. Padahal diketahui bersama polipropilen sendiri berasal dari monomer propilena yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi Disamping penggunaan bahan bahan bakar biodiesel jelantah memiliki banyak kekurangan salah satunya daya dan konsumsi bahan bakar. Mencampurkan sampah plastik poliprolilen untuk pengunaan kembali dengan biodiesel minyak jelantah menjadi salah satu cara. Penelitian ini mengunakan lima variasi bahan bakar yakni HSD, B30 lalu C20, C30, C40 dimana kombinasi antara HSD, jelantah dan Polipropilen. Penelitian ini berbasis pada simulasi untuk menganalisa dampak penggunaan 5 variasi bahan bakar tersebut terhadap performa, emisi dan proses pembakaran pada mesin diesel. Performa mesin diesel ini ditinjau dari *SFOC*, daya, dan torsi yang dihasilkan masing - masing bahan bakar. Berdasarkan hasil dari analisa terhadap performa mesin diesel perfoma bahan bakar C20 bisa menjadi altenatif optimum penganti B30 menghasilkan daya 6.0 kW, SFOC 238gr/kWh, dan torsi 31.7Nm. Untuk hasil proses pembakaran secara beruurtan dari yang optimum HSD, C20, B30, C30, C40. Kemudian HSD masih menghasilkan emisi NO_x yang lebih tinggi dibanding 4 bahan bakar altenatif

Kata kunci : performa, proses pembakaram, emisi, Jelantah, Poliprolilen

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

THE EFFECT OF BLEND FUEL FROM POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE WITH BIODIESEL WASTE COOKING OIL ON THE PERFORMANCE, EMISSIO, AND COMBUSTION PROCESS OF DIESEL ENGINE BASED ON SIMULATION

Student Name : A Karomur Roziq F
NRP : 04211640000071
Supervisor : 1. Ir. Aguk Zuhdi Muhammad Fathallah., M.Eng., Ph.D.
2. Adhi Iswantoro, ST., MT.

ABSTRACT

Nowadays, polypropylene plastics are very often found and cause various environmental problems. Though it is known that along with Polypropylene itself comes from propylene monomers obtained from refining petroleum. Besides the use of waste cooking biodiesel fuel has many drawbacks, one of which is power and fuel consumption. Mixing polypropylene plastic waste for reuse with waste cooking oil biodiesel is an option. This study uses five variations of fuel, namely HSD, B30, C20, C30, and C40 a combination of HSD, waste cooking and Polypropylene. This research is based on experiments to analyze the impact of using these five variations of fuel on the performance, emissions, and combustion processes of diesel engines based on simulation. The performance of the diesel engine would be measured to SFOC, power, and torque produced by each fuel. Based on the results of the analysis of the performance of the diesel engine performance of C20 fuel can be the most optimum alternative fuel to the substitute B30 producing 6.0 kW of power, 238gr / kWh of SFOC, and 31.7Nm of torque. For the combustion process results from the optimum HSD, C20, B30, C30, C40. Then HSD still produces higher NOx emissions compared to 4 alternative fuels.

Key word : Performance, Combustion Process, emissions, waste cooking oil, Polypropilen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya, sehingga atas ijin-Nya tugas akhir dengan judul **"Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Campuran Dari Limbah Plastik Jenis Polipropilen Dengan Biodiesel Minyak Jelantah Terhadap Performa, Emisi Dan Proses Pembakaran Pada Mesin Diesel Berbasis Simulasi"** dapat diselesaikan dengan baik. Dalam penyusunan penulis mendapat banyak sekali dukungan penuh dari berbagai pihak. Oleh Karenanya penulis ingin mengucapkan terimakasih seluas-luasnya kepada :

1. Bapak Ir. Aguk Zuhdi M.F., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang rela membagi watunya untuk bimbingan online bapak tetap sabar walapun terdapat banyak revisi-revisi terus memberikan bimbingan, arahan, serta masukan selama pengerjaan dan penyusunan tugas akhir ini.
2. Bapak Adhi Iswantoro, ST., MT., selaku dosen pembimbing yang juga telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Beny Cahyono., S.T., M.T., Ph.D., selaku ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak A.A.B. Dinariyana Dwi P., S.T., MES., Ph.D., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan serta motivasi kepada penulis dalam masa perkuliahaan.
5. Bapak saya Sunarto, Ibu Siti asiyah, Kakak serta Keluarga Besar penulis yang tercinta, yang selalu memberikan kasih sayang, doa-doa tulus, serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis.
6. Teman-teman "*Marine Power Plant Laboratory*" yang saling membantu dan memberi motivasi dalam pengerjaan tugas akhir.
7. Teman-teman seperjuangan dan seangkatan "Voyage 16" yang saling mengingatkan dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
8. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-per satu dalam membantu penulis menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari sungguh bahwa dalam penulisan dan penyusunan tugas akhir ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan sehingga kritik dan saran yang bersifat membangun dari para pembaca sangat diharapkan. Akhir kata, besar harapan penulis bahwa tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat sebanyak-banyaknya bagi pembaca sekalian.

Surabaya, Juli 2020

Penulis

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN i
ABSTRAK v
ABSTRACT vii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR GAMBAR xiv
DAFTAR TABEL xv
BAB I 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 2

1.3 Batasan Masalah 3

1.4 Tujuan Penelitian 3

1.5 Manfaat 3

BAB II 5

2.1. Biodiesel Minyak Jelantah 5

2.2 Plastik Pirolisis Limbah Plastik Polipropilena (PP) 6

2.3 Performa Motor Diesel 7

2.4 Metode Simulasi perangkat 7

2.5 Analisa Pembakaran 8
2.5.1 Tekanan pada silinder 9
2.5.2 Heat release 10
2.5.3 Maksimum *temperature* 11

2.6. Emisi 11

BAB III 14

3.1 Perumusan Masalah 14

3.2 Studi Literatur 14

3.3 Permodelan Simulasi Mesin Yanmar TF 85 17

3.4 Validasi Data Kalibrasi 19

3.5 Proses pengujian dan pengambilan data 21

3.6 Pengolahan dan analisa data 21

3.7 Kesimpulan dan Penyusunan laporan 21

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 23

4.1 Hasil Data Performa 23
4.1.1. perbandingan *SFOC* terhadap Daya Pada bahan Bakar HSD, B30, C20, C30, dan C40 24
4.1.2 Hasil berbandingan data performansi *SFOC* dengan *Power* dari RPM 600 hingga 2200 29
4.1.3. Perbandingan *Power, Torque* dan *SFOC* pada Kondisi *Full Load* .. 38

4.2 Proses Pembakaran 40
4.2.1 Hasil *Maximum Pressure* RPM 2200, *Load* 25%, 50%, 75% dan 100% 40
4.2.2 Hasil *Maximum Pressure* beban penuh dari 600 RPM hingga 2200 RPM 44
4.2.3 Hasil *Heat Relaease* RPM 2200 pada Beban 25%, 50%, 75%, dan 100% 45
4.2.4 Hasil *Heat Release Rate* RPM 2200, Beban 25%, 50%, 75%, dan 100% 49
4.2.5 Hasil *Temperature* RPM 2200, Beban 25%, 50%, 75%, dan 100% 53
4.2.6 Hasil *Temperature* pada beban penuh dari 600 RPM hingga 2200 RPM 53
4.2.7 Hasil *Log P – Log V diagram* 54

4.3. Grafik Perbandingan *NOx* 55
4.3.1 Hasil Simulasi Emisi NOx (ppm) 55
4.3.2 Hasil Simulasi Emisi NOx (gr/kWh) 56

4.4 Diskusi Hasil Dan Pembahasan 58
4.4.1 Analisa hasil performa *power, sfoc, torque* 58
4.4.2 Analisa hasil proses pembakaran 59
4.4.3 Analisa hasil perbandingan NOx 60

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 61

5.1 Kesimpulan 61

5.2 Saran 61
DAFTAR PUSTAKA 63
LAMPIRAN 65
BIODATA PENULIS 88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tahapan pembakaran pada mesin diesel 8
Gambar 2. 2 Max Preasure dengan Crank Angle Degree 10
Gambar 2. 3 Heat release dengan Crank angle degree 10
Gambar 2. 4 Grafik temperatur pada 1500 beban 4 kW 11
Gambar 3. 1 Flow Chart Metodologi Penelitian 14
Gambar 3. 2 Skema permodelan mesin simulasi 17
Gambar 4. 1 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar HSD 24
Gambar 4. 2 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar B30 25
Gambar 4. 3 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar C40 26
Gambar 4. 4 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar C30 27
Gambar 4. 5 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar C40 28
Gambar 4. 6 Hasil Perbandingan *SFOC* dengan daya RPM 600 29
Gambar 4. 7 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 800 30
Gambar 4. 8 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1000 31
Gambar 4. 9 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1200 32
Gambar 4. 10 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1400 33
Gambar 4. 11 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1600 34
Gambar 4. 12 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1800 35
Gambar 4. 13 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 2000 36
Gambar 4. 14 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 2200 37
Gambar 4. 15 Perbandingan *Power, Torque,* dan *SFOC* pada kondisi *full load* terhadap variasi *Speed* (*RPM*) 38
Gambar 4. 16 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 25% 40
Gambar 4. 17 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 50% 41
Gambar 4. 18 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 75% 42
Gambar 4. 19 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 100% 43
Gambar 4. 20 Perbandingan *Heat Release* RPM 2200 terhadap Beban 25% 45
Gambar 4. 21 Perbandingan Heat Release RPM 2200 terhadap Beban 50% 46
Gambar 4. 22 Perbandingan Heat Release RPM 2200 terhadap Beban 75% 47
Gambar 4. 23 Perbandingan Heat Release RPM 2200 terhadap Beban 100% 48
Gambar 4. 24 Hasil *Heat Release Rate* pada RPM 2200 terhadap Beban 25% 49
Gambar 4. 25 Hasil *Heat Release Rate* dengan RPM 2200 terhadap Beban 25% ... 50
Gambar 4. 26 Hasil *Heat Release Rate* RPM pada 2200 terhadap Beban 75% 51
Gambar 4. 27 Hasil *Heat Release Rate* pada RPM 2200 terhadap Beban 100% 52
Gambar 4. 28 *Maximum Temperature* Silinder pada 600 RPM hingga 2200 RPM. 53
Gambar 4. 29 Diagram Log P - Log V 100 RPM, 600RPM, dan 2200 RPM 54
Gambar 4. 30 Hasil Perbandingan Emisi NOx terhadap RPM 55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1MARPOL Annex VI, batas kandungan NOx (MARPOL, 1998) 12
Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin YANMAR TF 85 MH 15
Tabel 3. 2 Referensi Properties bahan bakar simulasi 16
Tabel 3. 3 Komposisi bahan bakar simulasi 16
Tabel 3. 4 Hasil Properties Bahan Bakar Simulasi 16
Tabel 3. 5 Hasil perbadingan kalibrasi Power Pada bahan bakar HSD 19
Tabel 3. 6 Hasil perbadingan kalibrasi *SFOC* pada bahan bakar HSD 20
Tabel 3. 7 Hasil perbadingan kalibrasi Torsi Pada bahan bakar HSD 20
Tabel 3. 8 *Margin of error* dari perbandingan 20

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keterbatasan sumber daya energi fosil memdorong manusia untuk mengantikannya dari fosil hidrokarbon menjadi bahan bakar terbarukan untuk memenuhi kebutuhan sumber daya energi (Atsonios, 2015) . Pemenuhan kebutuhan energi dengan menipisnya sumber daya alam telah mengakibatkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang signifikan dan perubahan iklim antropogenik (Sadef, 2016). Menurut (Dudley, 2015), cadangan minyak bumi dunia pada akhir tahun 2014 adalah sebesar 1700,1 miliar barel, sedangkan Indonesia hanya memiliki cadangan minyak terbukti sebesar 3,7 miliar barel dan jumlah tersebut hanya 0,2% dari jumlah cadangan minyak di dunia. Jumlah produksi minyak sebesar 852 ribu barel/hari dengan konsumsi 1,641 juta barel/hari. Dari data di atas, dapat dilihat bahwa terdapat ketimpangan antara produksi dan konsumsi. Hal ini mendorong munculnya kebijakan terhadap energi berkelanjutan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menghasilkan energi terbarukan dari sumber seperti angin, matahari, panas bumi dan limbah.

Di sisi lain, permasalahan limbah plastik di Indonesia semakin memprihatinkan. Berdasarkan data (Jambeck, 2015), Indonesia berada di peringkat kedua dunia penghasil sampah plastik ke laut yang mencapai sebesar 187,2 juta ton setelah Tiongkok yang mencapai 262,9 juta ton. Kurangnya sistem pengolahan dan pemanfaatan limbah plastik menjadi penyebab melimpahnya sampah plastik di Indonesia dan menimbulkan permasalahan bagi lingkungan.

Pada tahun 2016 Indonesia menjadi negara penghasil sampah plastik terbesar ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik sebanyak 187,2 juta ton, setelah Cina dengan jumlah sampah plastik sebanyak 262,9 juta ton. (Nurdianto, 2016) Produk plastik memiliki umur yang sangat pendek dan sebagian besar berakhir di tempat pembuangan sampah Limbah plastik memiliki masalah pada lingkungan dan masalah operasional di tempat pembuangan sampah karena laju degradasi yang lambat dan adanya pewarna beracun dan aditif (Demirbas, 2015). Dewasa ini plastik jenis polipropilen (PP) di Indonesia sangat sering digunakan. Permasalahan yang timbul selanjutnya dari plastik jenis ini adalah sampah yang dihasilkan, penggunaan kembali sampah jenis ini juga masih sangat jarang. Diketahui bersama polipropilen sendiri berasal dari monomer propilena yang diperoleh dari pemurnian minyak bumi.

Berbagai penelitian dilakukan untuk menghasilkan energi dari sumber terbarukan dengan memanfaatkan bahan yang selama ini tidak berdaya guna dan menimbulkan permasalahan bagi lingkungan. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Supramono, 2016) yang menunjukkan kemungkinan untuk menghasilkan bio-oil yang berkualitas dari biomassa berupa bonggol jagung dan plastik PP.

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternative sedang hangat dibicarakan saat ini disamping biodiesel dapat diperbaharui, biodiesel dapat digunakan seperti halnya bahan bakar konvensional yang dapat digunakan pada mesin diesel dan memiliki emisi yang cukup ramah lingkungan dibandingankan

dengan bahan bakar konvensional seperti halnya carbon. Namun pada penelitian oleh (Raheman, et al., 2013) menunjukan bahwa jika dibandingkan dengan HSD, B10 memiliki beberapa hasil dimana *thermal efficiency* yang lebih rendah, BSFC yang lebih tinggi, NOx yang lebih tinggi disamping juga memiliki emisi CO dan HC yang lebih rendah.

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terkait dengan bahan bakar PP oleh (Bintarasari, 2017), pirolisis limbah plastik polipropilena dengan katalis MCM-41 termodifikasi Al dan keramik didapatkan produk bahan bakar cair pada fraksi gasoline dengan yield 71,89%. Bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki karakteristik mendekati karakteristik bahan bakar minyak berjenis bensin sesuai baku mutu SNI 06-3506-1994. Bahan bakar cair dari hasil pirolisis plastik yang memiliki kalor tinggi menjadi persoalan sehingga diperlukan adanya tambahan sumber kaya hidrogen dan karbon lain agar didapatkan yield aromatik yang tinggi dan berada pada fraksi kerosin agar meningkatkan nilai kalor dari bahan bakar cair yang dihasilkan.

Dengan penambahan polipropilen pada bahan bakar minyak jelantah diharapkan dapat meningkatkan nilai kalor, namun viskositas pada bahan bakar campuran tersebut akan meningkat Maka pada penelitian kali ini akan dibuat bahan bakar alternatif dengan mencampurkan minyak jelantah dengan polipropilen dan air sebagai bahan tambahan. Disini polipropilen dipilih karena belakangan ini sangat banyak sampah plastik di Indonesia dan juga polipropilen dapat dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar high speed diesel. Pada penelitian yang lalu telah dilakukan penelitian dengan mencampur minyak diesel dengan polipropilen untuk mengetahui surfaktan yang dapat mengemulsi polipropilen dan minyak jelantah dengan baik dan stabil, namun belum ada hasil mengenai performa mesin diesel yang mengunakan campuran tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Penelitian ini membahas tentang analisis Performa, Emisi, dan proses pembakaran. Metode dilakukan dengan cara membandingkan antara bahan bakar emulsi dengan bahan bakar minyak jelantah. Eksperimen tentang Performa, Emisi, dan proses pembakaran dilakukan untuk mengetahui bagaimana karakteristik dari masing-masing ketika digunakan dalam motor diesel. Oleh karena itu pada penelitian penggunaan bahan bakar emulsi pada pembakaran motor diesel memiliki rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana performa mesin yang dihasilkan menggunakan bahan bakar hasil minyak jelantah dan polipropilen?
2. Bagaimana proses pembakaran yang terjadi pada bahan bakar hasil minyak jelantah dan polipropilen?
3. Bagaimana emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar hasil minyak jelantah dan polipropilen ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Ruang lingkup analisis Perfoma terdiri dari *SFOC* (Spesific Fuel Oil Consumtion), torsi, dan daya.
2. Ruang lingkup analisis Emisi terdiri dari NO_x.
3. Variabel bahan bakar yang digunakan adalah HSD pertamina, bahan bakar 3 variasi HSD-PP-B100,
4. Variabel putaran pada mesin menggunakan 600 RPM, 800 RPM, 1000 RPM, 1200 RPM, 1400 RPM, 1600 RPM, 1800 RPM, 2000 RPM, dan 2200 RPM
5. Analisis proses pembakaran menggunakan software GT-ISE sebagai data akuisisi, proses dan analisis.
6. Analisis proses pembakaran, Performa, dan Emisi dilakukan pada motor diesel Yanmar TF85-MH Kalibrasi.

1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mengetahui performa mesin yang dihasilkan menggunakan bahan bakar hasil minyak bahan bakar *minyak jelantah*, polipropilen,
2. Untuk mengetahui proses pembakaran yang terjadi pada bahan bakar hasil minyak bahan bakar *minyak jelantah* dan polipropilen.
3. Untuk mengetahui yang dihasilkan oleh bahan bakar hasil minyak bahan bakar *minyak jelantah* dan polipropilen.

1.5 Manfaat

Penulisan skripsi ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai bahan bakar alternatif dengan melakuakan antara minyak jelantah dengan limbah plastik jenis polipropilen.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam kurun waktu dekat ini Indonesia telah mendekati krisis bahan bakar minyak. Persediaan cadangan minyak mentah yang berasal dari fosil dimana notabennya tidak dapat diperbaharui, semakin hari semakin menipis. Hal ini diperkuat dengan besarnya bahan bakar minyak yang dikonsumsi oleh negeri ini sudah mencapai angka 1,6 juta barrel per hari, sementara produksi yang diolah oleh negeri ini hanya mencapai angka 812.000 barrel per hari dan terus menurun. Tidak seperti tahun 70-an yang produksinya mampu mencapai angka 1,5 juta barrel per hari. Dengan laju peningkatan konsumsi bahan bakar minyak sebesar 6-9% tiap tahunnya, maka diperkirakan negara Indonesia dalam kurun 11 tahun cadangan bahan bakar di negeri ini akan habis. Oleh karena itu untuk mengatasi hal ini agar tidak terjadi dalam waktu dekat perlu adanya pengembangan energi baru untuk mengurangi penyerapan cadangan minyak mentah yang telah menipis ini (Alhaq, 2016).

Dalam hal ini (Prahara, 2017) menyatakan Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. Bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) di mana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi eksotermal dan reaksi nuklir (seperti Fisi nuklir atau Fusi nuklir). Hidrokarbon sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia. Bahan bakar lainnya yang bisa dipakai adalah logam radioaktif.

Motor diesel adalah motor yang menggunakan bahan bakar high speed diesel, pada sistem pembakarannya motor diesel tidak menggunakan listrik. Cara kerja sistem pembakaran pada motor diesel yaitu udara yang ada di ruang bakar dimampatkan, sehingga timbul suhu yang sangat panas dan apabila pada saat tersebut disemprotkan bahan bakar high speed diesel akan terjadi pembakaran dan timbul ledakan yang akan mendorong torak

2.1. Biodiesel Minyak Jelantah

Minyak jelantah sisa penggorengan yang tidak bisa dipergunakan harus dibuang. Sisa penggorengan ini akan berdampak kepada lingkungan apabila tidak diolah secara benar. Sisa penggorengan yang tidak berguna ini bisa dimanfaatkan sebagai bio-diesel.Biodiesel tsb dapat dipakai sebagai kompelemen minyak solar (gas oil) sebagai penggerak motor diesel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berbagai campuran methyl esther dari jelantah dengan minyak solar tidak menurunkan kinerja mesin secara signifikan (Fathallah, 2003) .

Biodiesel dapat diperoleh melalui beberapa metode, antara lain yaitu :

1. **Direct use and blending**

Metode ini didasarkan penggunaan langsung minyak nabati ataupun lemak hewan menjadi bahan bakar atau mencampurkannya dengan bahan bakar diesel. Keuntungan dari metode ini adalah mudah didapat, sederhana. Akan tetapi, kekurangan metode ini adalah viskositas yang tinggi, tingkat volatil yang rendah (Kaya, 2009).

2. **Micro-emulsions**

Metode ini merupakan metode yang didasarkan disperse koloid dari fluida mikrostruktur yang mempunyai ukuran pada kisaran 1-150 nm yang terbentuk secara spontan dari 2 cairan yang tidak bercampur dan dari 1 atau lebih ionik atau non ionik. Kelebihannya adalah viskositas bahan bakar yang rendah sedangkan kekurangannya adalah angka setana yang rendah (Sahoo, 2009)

3. **Pirolisis**

Pirolisis disebut juga dengan thermal cracking. Metode ini memanfaatkan panas untuk memutuskan ikatan panjang dan jenuh dari minyak membentuk biodiesel. Produk dari metode ini secara kimia sama dengan bahan bakar diesel akan tetapi diperlukan biaya yang tinggi dan energy yang intensif. Pemakaian Campuran Jelantah Methyl Esther (JME) dan solar dengan perbandingan 10:90 menaikkan daya efektif motor diesel jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar murni pada rpm dan pembebanan tertentu. Kenaikan terjadi pula pada campuran 20:80 dan 30:70. Bahkan dengan komposisi bahan bakar JME 100% pada putaran 2000 rpm terjadi peningkatan daya efektif sebesar 30.34% jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar**.** JME akan dipromosikan sebagai bahan bakar pengganti solar dan kemudian akan luas digunakan sebagai bahan bakar dimasa mendatang

2.2 Plastik Pirolisis Limbah Plastik Polipropilena (PP)

Sebagian besar penduduk di dunia memanfaatkan plastik dalam menjalankan aktifitasnya karena plastik memiliki banyak kelebihan dibanding bahan lainya seperti densitas yang rendah, bersifat isolasi terhadap listrik mempunyai kekuatan mekanik bervariasi, ketahanan suhu terbatas dan ketahanan bahan kimia yang bervariasi. Selain itu, plastik juga ringan, mudah dalam perancangan, dan biaya pembuatan murah. Tetapi, di sisi lain pola konsumsi plastik menyebabkan peningkatan jumlah sampah plastik karena plastik umumnya merupakan material yang sulit dibiodegradasi. Beberapa metode pemanfaatan plastik sudah dikembangkan seperti melakukan daur ulang dan memanfaatkan menjadi produk lain (Wibawa, 2006).

Pada pirolisis dengan dihasilkan fraksi C1-C6 sebesar 17,43%, fraksi C7-C12 sebesar 71,89%, dan fraksi >C12 sebesar 0,62%. Pirolisis yang dilakukan menghasilkan fraksi C7- C12 paling besar yang merupakan fraksi gasoline. (Bintarasari, 2017)

Data yang diambil dari (Zahrina, 2008) Polipropilen (Polypropylene, atau sering disingkat PP) merupakan salah satu jenis plastik yang paling banyak digunakan sebagai plastik komoditi. Konsumsi jenis plastik ini pada tahun 2003 tercatat sebanyak 8 juta ton, dan cenderung meningkat pada tahun-tahun mendatang. Plastik komoditi merupakan plastik yang banyak digunakan sebagai bahan kemasan dan

sifatnya pakai- buang, sehingga hampir seluruh sampah plastik terdiri dari jenis plastik ini. Plastik yang banyak terdapat dalam sampah adalah plastik bekas kemasan dengan komposisi rata- rata mencapai 10% dari berat total sampah, dan didominasi oleh jenis plastik polietilena (PE) dan polipropilen (PP), yang mencapai 44%. Sampai dengan tahun 2003, sekitar 80% sampah plastik masih dibuang ke landfill, 13% diinsenerasi, dan hanya 7% yang didaur ulang.

2.3 Performa Motor Diesel

Menurut (Nariati, 2016)Performa pada motor diesel antara lain daya dan torsi dipengaruhi oleh besarnya jumlah kalor hasil pembakaran, yaitu nilai kalor dari hasil pembakaran campuran bahan bakar dan udara kompresi. Bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang rendah memerlukan jumlah bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan tenaga sebesar satu daya kuda dibandingkan bahan bakar yang memilikinilai kalor yang tinggi. Artinya, semakin rendah nilai kalor bahan bakar semakin tinggi tingkat konsumsi bahan bakarnya dibandingkan dengan bahan bakar yang nilai kalornya lebih tinggi.

Performa motor diesel menggunakan bahan bakar bahan bakar high speed diesel tentunya akan mempunyai perbedaan saat di test dengan menggunakan bahan bakar alternatif seperti biodiesel minyak jelantah. Walaupun bahan bakar biodiesel yang digunakan bukanlah murni biodiesel, namun akan terjadi perbedaan performa nantinya (Nariati, 2016)

Untuk pengoperasian dalam jangka panjang yang lama, motor diesel yang menggunakan bahan bakar alternatif menyebabkan penurunan performa, pembentukan deposit karbon dan kerusakan yang dapat dilihat secara visual terhadap komponen motor diesel. Kemngkinan yang dapat menyebabkan masalah tersebut terjadi adalah adanya perubahan beban dan putaran saat motor diuji (Nariati, 2016)

2.4 Metode Simulasi perangkat

Berdasarkan dari (Gamma Technologies, 2016) Didalam metode perangkat yang digunakan untuk simulasi salah satunya adalah pembakaran, Burn rate, heat release rate, apparent heat rate. Dimana pada proses pembakaran ini merujuk kepada jumlah dari bahan bakar yang terbakar maupun bahan bakar yang tidak terbakar didlam silinder. Yang mana melepaskan energy kimiawi dari campuran udara dan bahan bakar dengan mengkalkulasi dari karakteritik bahan bakar tersebut.

Didalam *software* simulasi ada 4 tahapan dalam proses guna tercapainya simulasi

1. Ketika proses *Start Combustion* silinder mesin dibagi menjadi 2 zona yakni zona yang terbakar dan zona yang tidak terbakar. Semua isi dari silinder pada mulainya dari zona tidak terbakar termasuk jika simulasi mengunakan EGR yang menciptakan residu.
2. Pada setiap bagiannya pencampuran bahan bakar dan udara di pindahkan dari zona tidak terbakar ke zona terbakar. Selanjutnya jumlah dari campuran teresebut di namakan dengan *burn rate*. *Burn rate* sendiri sudah di formulasikan otomatis oleh permodelan pembakaran
3. Setelah bahan bakar yang tidak terbakar dan udara yang terkait telah dipindahkan dari zona yang tidak terbakar ke zona yang terbakar dalam

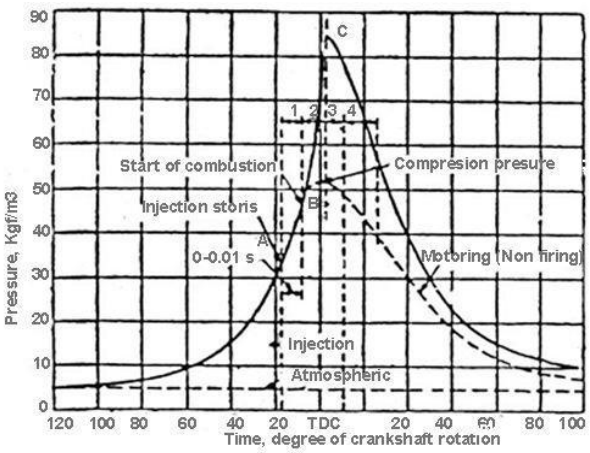
langkah waktu tertentu, perhitungan keseimbangan kimia untuk seluruh zona yang terbakar disatukan. Perhitungan kimia termasuk semua molekul atom dari (C, H, O, N, S, Ar) yang berada dalam zona terbakar saat tersebut. Dan memperoleh kesetimbangan dengan mendapatkan 13 produk kimia seperti N2, O2, H2O, CO2, CO, H2, N, O, H, NO, OH, SO2, Ar. Semua kesetimbangan tersbut sangat tergantung pada temperature dari zona terbakar dan tekanan

4. Ketika komposisi baru dari zona terbakar sudah diketahui. Maka energi internal dari setiap specimen dapat di kalkulasikan. Lalu energi dari seluruh zona terbakar tersebut adalah penjumlahan atas semua produk specimen tersebut. Maka dengan tersebut proses konversi energy telah dicapai. Zona terbakar, zona tidak terbakar, dan tekanan silinder telah diketahui

2.5 Analisa Pembakaran

Semua mesin diesel harus diketahui karakteristik dan unjuk kerjanya. Karakteristik yang umum ditunjukkan adalah daya yang dihasilkan, torsi dan kebutuhan bahan bakar spesifik. Perbedaan antara pembakaran motor diesel berbahan bakar minyak dan emulsi adalah induksi Bahan bakar diesel dalam air bakar secara signifikan bersih. (Prahara, 2017)

Proses pembakaran pada mesin diesel memiliki beberapa tahapan yang digambarkan dalam diagram P-θ seperti pada Gambar 2.2. yaitu



Gambar 2. 1 Tahapan pembakaran pada mesin diesel
Sumber : (Hanifa, 2017)

a. **Tahap Pertama**

Tahap ini disebut juga Ignition Delay Period yaitu area dalam rentang A-B pada Gambar 2.2. Tahapan ini merupakan periode atau rentang waktu yang dibutuhkan bahan bakar ketika saat pertama kali bahan bakar diinjeksikan (titik A) hingga saat pertamakali muncul nyala pembakaran (titik B). Artinya, selama periode tersebut tidak terjadi proses pembakaran. Panjangnya periode ini biasanya dipengaruhi oleh propertis yang dimiliki bahan bakar yaitu temperatur terbakar

sendiri bahan bakar, tekanan injeksi atau ukuran droplet, sudut awal injeksi, rasio kompresi, temperature udara masuk, temperatur cairan pendingin, temperature bahan bakar, tekanan udara masuk (supercharge), kecepatan atau putaran mesin diesel, rasio udara-bahan bakar, ukuran mesin, jenis ruang bakar. (Hanifa, 2017)

b. **Tahap Kedua**

Pada tahap ini terjadi apa yang disebut Rapid or Uncontrolled Combustion yang maksudnya adalah periode awal pembakaran hingga flame mulai berkembang yang diindikasikanoleh area B-C pada Gambar 2.2. Bahan bakar berupa droplet-droplet di selubungi oleh udara bertemperatur tinggi, sehingga panas yang diterima akan menguapkan droplet-droplet bahan bakar tersebut. Bagian terluar droplet-droplet tersebut yang lebih dulu menerima panas dan menguap kemudian terbakar. Panas yang ditimbulkan oleh pembakaran tersebut naik sangat drastis dan memicu proses yang sama pada bagian lain yang belum terbakar dengan cepat dan tidak beraturan. Proses ini menyebabkan kenaikan tekanan yang sangat besar. (Hanifa, 2017)

c. **Tahap ketiga**

Pada tahap ini terjadi apa yang disebut Controlled Combustion seperti diindikasikan oleh area C-D pada Gambar 2.2, dimana bahan bakar segera terbakar setelah diinjeksikan. Hal ini disebabkan nyala pembakaran yang terjadi pada periode sebelumnya bergerak bersama menuju droplet-droplet yang baru diinjeksikan. Pembakaran dapat dikontrol dengan sejumlah bahan bakar yang diinjeksikan pada periode ini. Periode ini berakhir setelah injector berhenti menginjeksikan bahan bakar ke ruang bakar. (Hanifa, 2017)

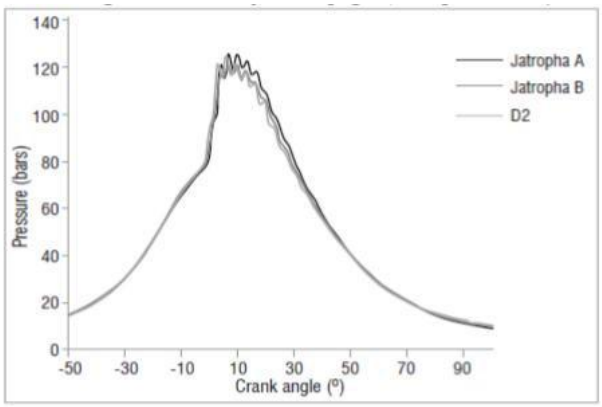
d. Tahap keempat

Meskipun pada tahap ketiga telah selesai proses injeksi bahan bakar, kenyataannya masih ada bahan bakar yang belum terbakar seluruhnya. Dalam hal ini nyala pembakaran terus berkembang membakar bahan bakar yang tersisa pada ruang bakar. Periode ini disebut juga afterburning yang diindikasikan oleh area setelah titik D pada Gambar 2.2. Apabila kenyataannya masih ada bahan bakar yang belum terbakar sementara piston telah bergerak dari Titik Mati Bawah (TMB) ke Titik Mati Atas (TMA) untuk melakukan langkah buang, maka sisa-sisa bahan bakar tersebut akan ikut keluar bersama gas buang sebagai unburnt fuel. (Hanifa, 2017)

Combustion analisys process merupakan penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan karakteristik proses pembakaran meliputi, maximum pressure, heat release dan heat release rate. (Budi, 2016). Perubahan tekanan silinder, heat release, dan juga heat release rate pada crank angle [^{o}CA] yang menurun dikarenakan oleh lebih sedikitnya nilai kalor dari bahan bakar tersebut dan juga dikarenakan tingginya viskositas dari bahan bakar sehingga sukar untuk bervaporasi. (Gad, 2020)

2.5.1 Tekanan pada silinder

Tekanan tertinggi yang dialami oleh piston terjadi pada busur derajad engkol dengan beban maximum. Proses penelitian ini menggunakan perbandingan jenis komposisi kandungan biodiesel biji Jarak pagar (Jatropha curcas).

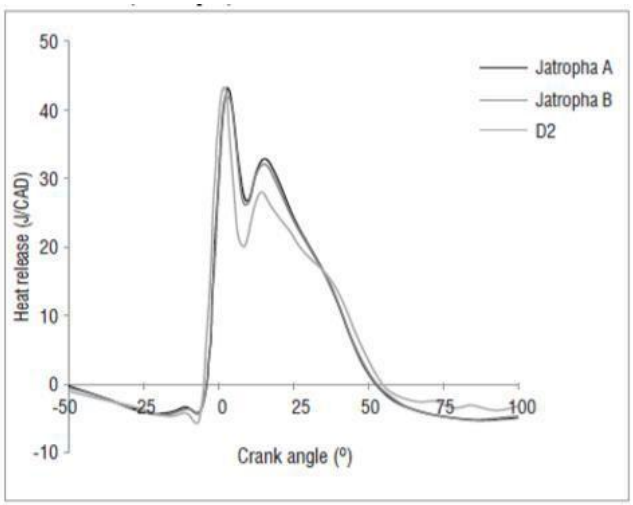


Gambar 2. 2 Max Preasure dengan Crank Angle Degree

Sumber: (Budi, 2016)

2.5.2 Heat release

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

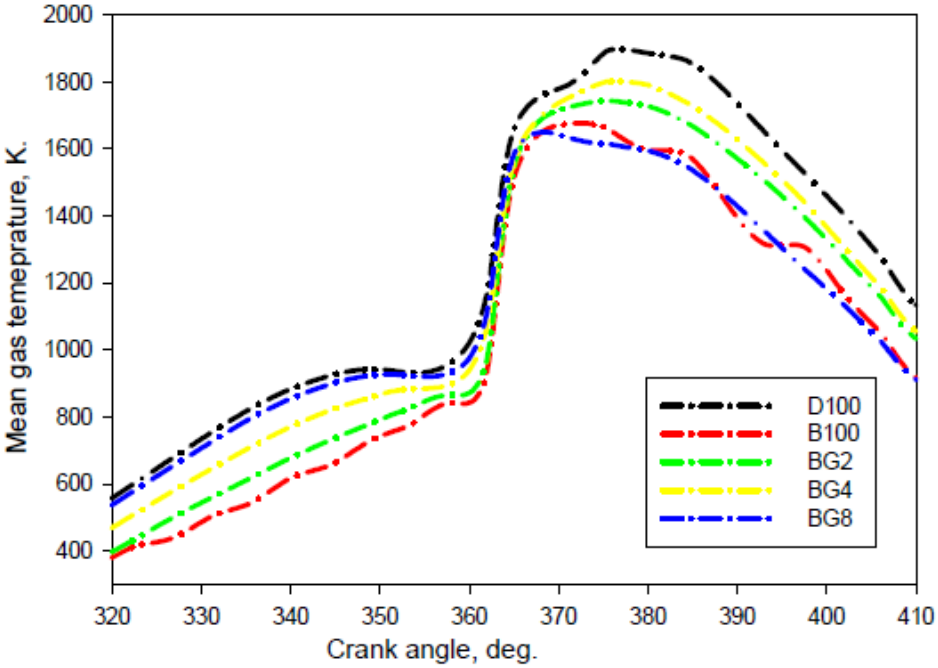


Gambar 2. 3 Heat release dengan Crank angle degree

Sumber: (Budi, 2016)

2.5.3 Maksimum *temperature*

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Gad dkk (2020), suhu maksimum di dalam silinder (temperature) dengan crank angle pada beban 4 kw untuk bahan bakar B100 mengalami menurunan dibandingkan dengan D100 (pure diesel oil) ,hal ini disebabkan oleh penurunan nilai kalor dan peningkatan viskositas.



Gambar 2. 4 Grafik temperatur pada 1500 beban 4 kW
Sumber : (Gad, 2020)

2.6. Emisi

NOx terbentuk pada proses pembakaran motor diesel ketika oksigen bertemu dengan nitrogen pada temperatur pembakaran lebih dari 2000K (Jothithirumal B, 2012) .NOx pada gas buang motor diesel terdiri dari 95% NO, 3-4% NO2, sisanya N2O dan N2O3. Substansi NOx tidak beraroma, namun terasa pedih di mata. Faktor utama yang mempengaruhi konsentrasi NOx selama pembakaran diantaranya yaitu temperatur maksimum (Pmax) yang dicapai dalam ruang bakar dan air fuel ratio (AFR) (Darsono, 2010). Pada metode penghitungan NOx pada Softwere simulasi didapati mengunakan persamaan mekanisme Zeldovich lanjutan. (McCrady, 2008)
Sebagai tolak ukur dalam proses penelitian, diperlukan nilai ambang batas terhadap emisi gas buang motor diesel. Pada peraturan Pelayaran Internasional, kandungan emisi gas buang pada motor penggerak utama harus berada dibawah ambang batas yang telah ditetapkan. Ambang batas gas buang mengacu pada regulasi yang dikeluarkan oleh IMO MARPOL Annex VI yaitu:

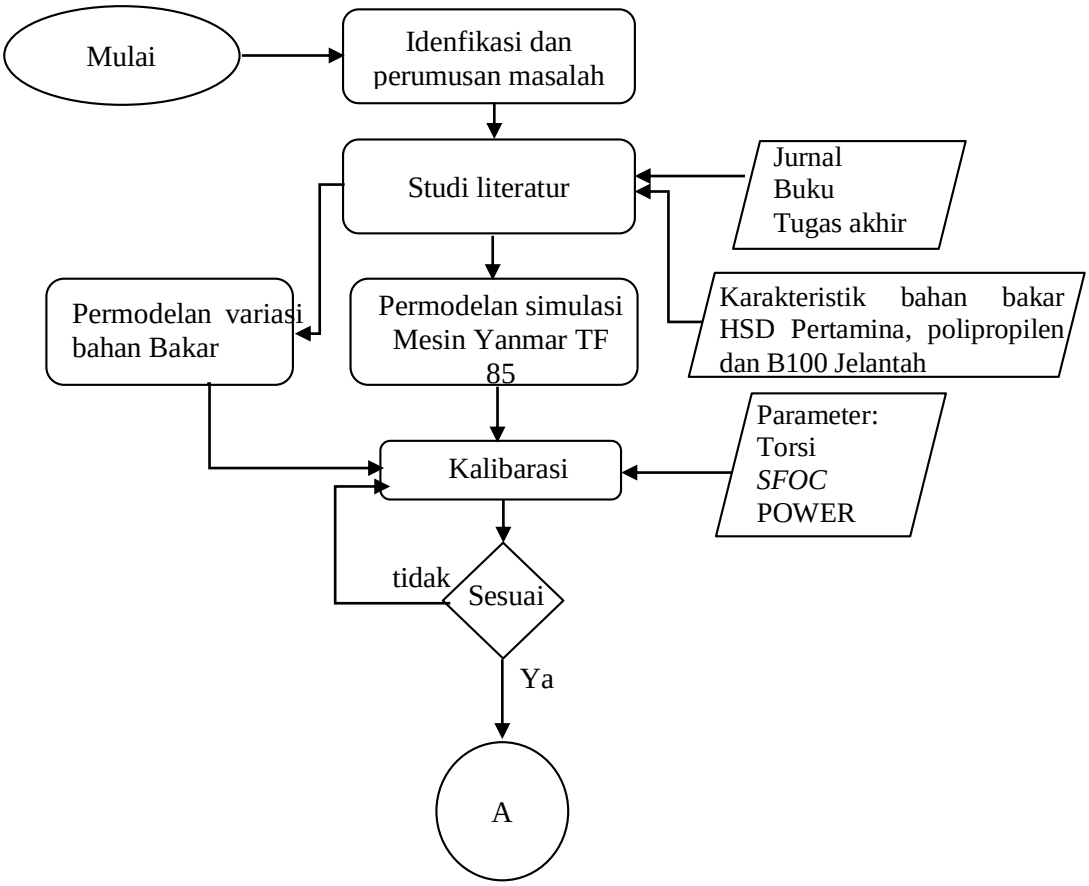
Tabel 2. 1MARPOL Annex VI, batas kandungan NOx (MARPOL, 1998)

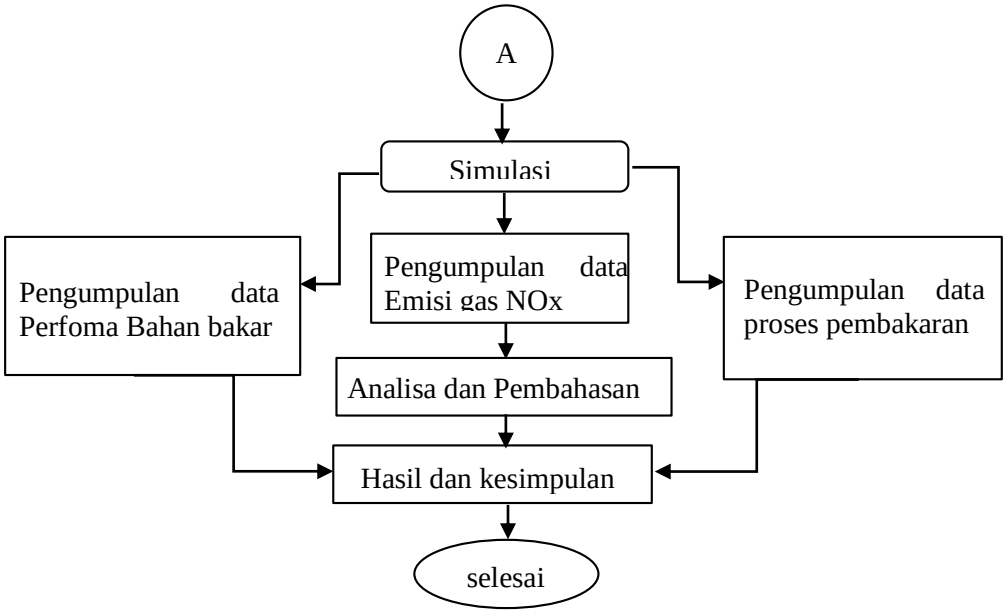
Tier	Date	NOx Limit, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17.0	$45 \cdot n^{-0.2}$	9.8
Tier II	2011	14.4	$44 \cdot n^{-0.23}$	7.7
Tier III	2016†	3.4	$9 \cdot n^{-0.2}$	1.96
† In NOx Emission Control Areas (Tier II standards apply outside ECAs).				

Sedangkan pada Pelayaran Nasional, kandungan emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor penggerak utama kapal telah diatur pada Peraturan Menteri Perhubungan no 29 tahun 2014 pasal 30, dimana setiap kapal dengan tonase kotor GT 100 sampai dengan GT 399 yang memiliki motor diesel dibawah 130 kW yang berlayar di perairan Indonesia wajib memenuhi ketentuan dalam Peraturan Menteri ini. (PM No 29 pasal 30, 2014)

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini perlu digunakan metode penelitian yang berguna untuk merencanakan penelitian untuk mendapatakan data yang sesuai. Dimana terdapat rumusan masalah yang sebelumnya maka perlu adanya sebuah simulasi Pemodelan yang mampu menjawab dari rumusan masalah tersbut. Dengan awal tahapan pertama adalah mengidentifikasikan rumusan masalah lalu dilanjutakan dengan studi literatur untuk menambah landasan dari penelitian yang berupa jurnal buku maupun tugas akhir dan untuk mengetahui karakteristik masing masing bahan bakar yang akan diuji. Setelah studi literatur dirasacukup dilakukan setelahnya adalah permodelan simulasi dan permodelan variasi bahan bakar. Pada hasil simulasi tersebut nantiknya akan dikalibrasikan apakah sudah sesuai. Dan setelahnya adalah pengambil data beserta analisa untuk bisa diambil kesimpulan terkait perfoma, proses pembakaran, dan Emisi NOx yang dihasilkan. Pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada diagram *flow chart* gambar 3.1





Gambar 3. 1 Flow Chart Metodologi Penelitian

3.1 Perumusan Masalah

Pada tahap ini, perumusan masalah menjadi tahap awal dalam pengerjaan tugas akhir ini. Perumusan masalah dilakukan dengan menggali informasi dengan melakukan mempelajari kajian yang telah dilaksanakan sebelumnya. Perumusan masalah yang didapatkan penulis merupakan pengembangan dari beberapa kajian yang telah dilaksanakan sebelumnya yaitu campuran sampah plastik polipropilen dan jelantah untuk menghasilkan bahan bakar cair (RIFALDI, 2018) dalam penelitian tersebut sudah terbukti campuran sampah plastik polipropilen dan jelantah dapat menghasilkan bahan bakar cair. Sehingga pada tugas akhir ini penulis mengembangkan gagasan tersebut untuk menganalisa dampak bahan bakar tersebut langsung pada mesin disesel yang meliputi performa, proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan. Dengan mencoba variasi – variasi dan baik pencampuran PP-jelantah maupun variasi

3.2 Studi Literatur

Studi pustaka adalah suatu metode yang dipergunakan dalam penelitian ilmiah yang dilakukan dengan membaca dan mengolah data yang diperoleh dari literatur. Data yang dibaca dan diolah adalah data yang berhubungan dengan hasil – hasil penelitian yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

a) *Internal Combustion Engines 1st Edition* (Arcoumanis, 1988)
b) Artikel dan jurnal tentang performa, proses pembakaran dan emisi pada mesin diesel
c) Artikel dan jurnal tentang pemanfaatan polipropilen sebagai tambahan bahan bakar cair
d) Artikel dan Jurnal tentang indentifikasi Karakterisitik bahan bakar HSD pertamina, Polipropilen dan B100 Jelantah.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Mesin YANMAR TF 85 MH

1	Jenis Mesin	Motor diesel horizontal 4 langkah berpendingin air
2	Sistem Pembakaran	Pengabutan langsung (*Direct Injection*)
3	Jumlah Silinder	Satu Silinder
4	Saat Pengabutan	18 sebelum TMA
5	Diameter x Panjang Langkah	85 mm x 87 mm
6	Volume Silinder	493 cc
7	Daya Kontinyu	7,5 dk / 2200 rpm
8	Daya Maksimum Sesaat	8,5 dk / 2200 rpm
9	Torsi Maksimum	3,44 kg,m / 1600 rpm
10	Perbandingan Kompresi	18
11	Arah Putaran Poros	Berlawanan dengan arah putaran jarum jam (dilihat dari sisi roda gaya)
12	Pemakaian Bahan Bakar	171 gr / dk,jam
13	Pompa Bahan Bakar	Tipe Bosch
14	Tekanan Injektor	$200\ kg/cm^2$
15	Sistem Pelumasan	Pelumasan paksa menggunakan pompa dan katup regulator hidrolik (jenis Trochoidal)
16	Kapasitas Tanki Bahan Bakar	10,5 liter
17	Kapasitas Minyak Pelumas	2,2 liter
18	Jenis Minyak Pelumas	SAE 40 kelas CC atau CD
19	Sistem Pendinginan	Hopper
20	Kapasitas Tanki Pendingin	8,9 liter
21	Cara Menghidupkan	Manual (Engkol)
22	Dimensi Mesin (P x L x T)	672 mm x 330,5 mm x 496 mm
24	Berat Kosong	93 kg
25	Ukuran Kemasan (P x L xT)	780 mm x 480 mm x 700 mm
26	Berat Kotor	123,5 kg

Sumber : katalog diesel Yanmar TF 85

Dari Studi literasi yang telah dilakukan didapatkan karakteristik masing masing bahan bakar sebagai berikut yang dibutuhkan untuk memasukan tipe bahan bakar didalam Simulasi (Jonathon, 2007)

Tabel 3. 2 Referensi Properties bahan bakar simulasi

Fuel Properties	**HSD**	**B100 Jelantah**	**PP**
Heat of Vaporization pada *298 K*	250000	357000	437738
Density at 25 ^{o}C	836	890.7	504.8
Jumlah molekul karbon	13.6	18.8	3
Jumlah molekul hidrogen	23.6	34.3	6
Jumlah molekul Oksigen	0	2	0
*Lower Heating Value (*MJ/kg)	43.25	41.405	46.4
Critical Temperature(K)	569.4	634.341	364.8
Critical Pressure (bar)	24.6	20.841	46.01

Sumber : - (National Institute of Standard and technology, 2020)
- (Jonathon, 2007)
- (pertamina, 2006)

Dengan Formulasi yang telah ada di software simulasi maka kombinasi tersebut bisa tercapai dengan peninputan karakteristik dari bahan bakar diatas dan menghasilkan bahan bakar yang memiliki karakteristik seperti pada tabel 3.2 :

Tabel 3. 3 Komposisi bahan bakar simulasi

	Komposisi (%)		
Bahan bakar	**HSD**	**B100 Jelantah**	**PP**
C20	50	20	30
C30	50	30	20
C40	50	40	10

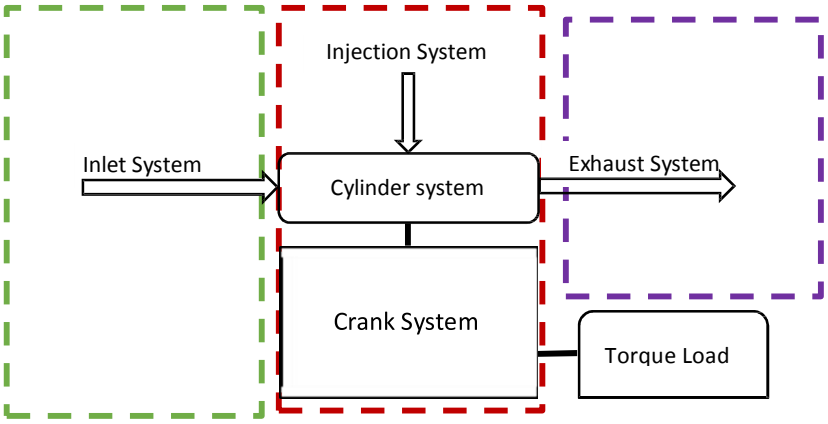
Tabel 3. 4 Hasil Properties Bahan Bakar Simulasi

Fuel Properties	**C20**	**C30**	**C40**
*Lower Heating Value (*MJ/kg)	42.965	42.035	41.105
Critical Temperature(K)	551.314	593.421	635.528
Critical Pressure (bar)	28.517	25.123	21.729

3.3 Permodelan Simulasi Mesin Yanmar TF 85

Menurut (Muwaffaq, 2016) Pemodelan diesel engine YANMAR TF 85 dilakukan dengan menggunakan software. Pemodelan dilakukan dengan semirip mungkin dengan perancangan yang sudah dilakukan sehingga hasil yang nantinya diperoleh dapat semaksimal mungkin untuk dianalisa. Pemodelan dan simulasi dilakukan berdasarkan spesifikasi motor yang telah dirancang sebelumnya. Dalam pemodelan dan simulasi, terdapat tahapan-tahapan yang harus dilakukan sehingga menghasilkan data yang valid untuk dianalisa. Tahapan-tahapan untuk pemodelan adalah sebagai berikut:

3.3.1 Pembuatan model per bagian



Gambar 3. 2 Skema permodelan mesin simulasi

Pada dasarnya model dibagi atas 3 sistem utama, antara lain: system intake, silinder dan sistem injeksi bahan bakar, dan sistem exhaust

a. Sistem intake terdapat beberapa komponen yang harus didefinisakan, diantaranya:
   1. Inlet Environment
      Langkah pertama adalah membuat batasan kondisi lingkungan, dengan menentukan nilai tekanan, temperatur, dan komposisi udara lingkungan sesuai dengan kondisi normal.
   2. Sistem Perpipaan
      Dalam pemodelan, aliran udara maupun bahan bakar dalam mesin diesel dialirkan melalui sistem perpipaan. Oleh karena itu setiap sambungan komponen/pipa harus didefinisikan dimensinya sesuai dengan hasil desain telah dilakukan.
   3. Intake runner
      Langkah selanjutnya adalah membuat intake runner berupa pipa silinder) yang berfungsi untuk menyambung antara “Environment” dengan intake

port. Intake runner dibuat dengan dimensi dan material yang sesuai.

4. Intake port
   Langkah selanjutnya adalah membuat intake port, yang juga berupa pipa (silinder) yang berfungsi untuk menyambungantara intake runner dengan intake valve. Intake port dibuat dengan dimensi dan material yang sesuai.
5. Intake valve
   Pembuatan model katup 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.

b. Silinder, crank, dan sistem injeksi bahan bakar, terdapat beberapa komponen yang harus didefinisakan, diantaranya:
   1. Silinder
      Untuk membuat model silinder membutuhkan input data seperti, objek referensi, seperti temperatur dinding silinder, aliran fluida, transfer panas, model pembakaran.
   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.
   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.
   4. Dinamometer
      Dinamometer dibuat dan dikopel pada sisi engine cranktrain. Dinamometer berfungsi untuk mengatur pembebanan pada mesin dengan cara mengganti nilai load yang diinginkan untuk pembebanan.

c. Sistem exhasut terdapat beberapa komponen yang harus didefinisakan, 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.
   2. Exhaust Port
      Selanjutnya adalah membuat exhaust port dari motor. Yang berupa pipa (silinder) yang berfungsi untuk menyambung antara exhaust port dengan exhaust valve. Atribut utama yang harus diisi antara lain: diameter, panjang, material, nilai kekasaran, temperatur.
   3. Exhaust runner

Langkah selanjutnya adalah membuat exhaust runner yang berfungsi untuk menyambung antara â€œEnvironmentâ€• dengan exhaust port. Kemudian masukkan data dimensi dan jenis material sesuai dengan pengukuran.

4. Turbin
   Untuk pemodelan turbin, atribut yang digunakan serupa dengan kompresor yakni, diameter wheel turbin, putaran turbin, turbine map yang dibuat berdasarkan data dari spesifikasi turbin.
5. EndEnvironment
   Langkah terakhir adalah membuat batasan kondisi lingkungan gas buang pembakaran. Pembuatan dilakukan seperti â€œenvironmentâ€• pada sisi inlet, yakni dengan menentukan nilai tekanan, temperatur, dan komposisi udara hasil sisa pembakaran.

3.3.2 Perangkaian objek

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

3.4 Validasi Data Kalibrasi

Berdasarkan Data yang di peroleh dari *Project guide/Manual guide* dari Mesin Yanmar TF 85 seperti telah dicantumkan dalam table 3.1 dengan parameter yang telah ditentukan sebelumnya seperti *SFOC*, Torsi, Daya, berikut adalah hasil simulasi kalibrasi Diesel Yanmar TF 85.

Tabel 3. 5 Hasil perbadingan kalibrasi Power Pada bahan bakar HSD

RPM	Simulasi	Manual guide	**Margin error(%)**
1200	5.46	6.48	15.72
1300	5.87	6.15	4.61
1400	6.27	6.77	7.38
1500	6.63	7.26	8.71
1600	6.99	7.65	8.59
1700	7.32	7.97	8.14
1800	7.62	8.27	7.80
1900	7.90	8.48	6.80
2000	8.16	8.58	4.91
2100	8.39	8.57	2.15
2200	8.59	8.5	1.07
		Rata-rata	**6.89**

Tabel 3. 6 Hasil perbadingan kalibrasi *SFOC* pada bahan bakar HSD

RPM	Simulasi	Manual guide	Margin error(%)
1200	173.83	181.1	4.02
1300	172.43	177.1	2.64
1400	171.34	173.3	1.13
1500	170.61	169.9	0.42
1600	170.11	167.3	1.68
1700	169.82	165.7	2.49
1800	169.74	165.1	2.81
1900	169.84	165.5	2.62
2000	170.06	166.7	2.02
2100	170.50	168.8	1.01
2200	171.01	171	0.01
		Rata-rata	**1.89**

Tabel 3. 7 Hasil perbadingan kalibrasi Torsi Pada bahan bakar HSD

RPM	Simulasi	Manual guide	Margin error(%)
1200	3.30	3	10.09
1300	3.28	3.15	4.09
1400	3.26	3.25	0.18
1500	3.21	3.29	2.29
1600	3.18	3.3	3.60
1700	3.14	3.27	4.11
1800	3.09	3.23	4.47
1900	3.03	3.15	3.78
2000	2.97	3.03	1.87
2100	2.91	2.86	1.79
2200	2.85	2.68	6.25
		Rata-rata	**3.87**

Tabel 3. 8 *Margin of error* dari perbandingan

	HSD		
	POWER	**TORQUE**	**BSFC**
MARGIN ERROR	**6.89%**	**3.87%**	**1.89%**

3.5 Proses pengujian dan pengambilan data

Pada proses ini akan dilaksanakan uji pada mesin diesel untuk mengetahui ujuk kerja mesin diesel, proses pembakaran yang terjadi, dan emisi gas buang dengan menggunakan 5 macam variasi bahan bakar. dengan variabel kontrol dari bahan bakar dan variable bebas dari RPM dan juga pembenan

1. Variabel Bahan Bakar
   a. HSD Pertamina 100%
   b. B30 (70% HSD+30%Jelantah)
   c. C20 (50%HSD+20%B100Jelantah+30%PP)
   d. C30 (50%HSD+30%B100Jelantah+20%PP)
   e. C40 (50%HSD+40%B100Jelantah+10%PP)
2. Variabel RPM
   a. Pada RPM 600
   b. Pada RPM 800
   c. Pada RPM 1000
   d. Pada RPM 1200
   e. Pada RPM 1400
   f. Pada RPM 1600
   g. Pada RPM 1800
   h. Pada RPM 2000
   i. Pada RPM 2200
3. Variabel Beban
   a. Pada beban 10%
   b. Pada beban 25%
   c. Pada beban 50%
   d. Pada beban 75%
   e. Pada beban 100%

3.6 Pengolahan dan analisa data

Data yang diperoleh dikumpulkan, diolah dan melakukan verifikasi data yang diperoleh dari hasil pengujian dengan data pustaka untuk selanjutnya dihitung berapa torsi, power, *SFOC*, dan emisi yang dihasikan oleh masing masing percobaan

3.7 Kesimpulan dan Penyusunan laporan

Dengan selesainya pengolahan data maka selanjutanya adalah menarik kesimpulan dari dasar teori dan tinjauan pustaka sehingga mampu menjawab dari rumusan masalah yang telah di muat di BAB selanjutnya adalah Penyusunan laporan mulai dilakukan, asistensi dilakukan dengan dosen pembimbing Tugas Akhir yang bertujuan untuk mendapatkan tambahan pengetahuan dan masukan dari dosen pembimbing, serta koreksi tehadap kesalahan – kesalahan yang terjadi dalam penyusunan laporan Tugas Akhir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

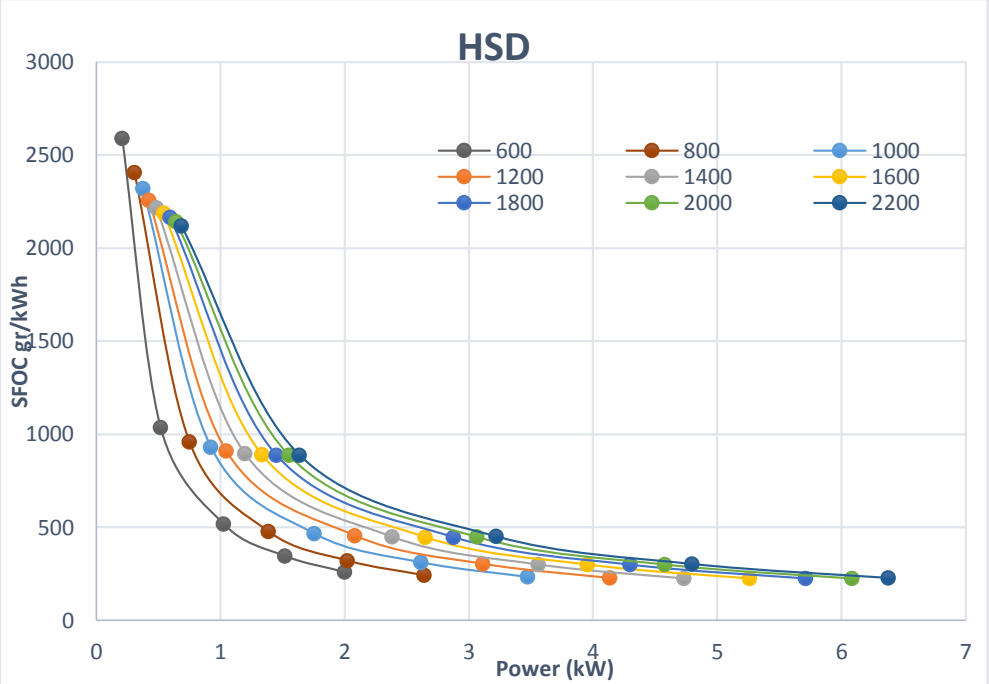
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan menjelaskan tentang hasil data kinerja Mesin, proses pembakaran dan NOx yang terbentuk pada variasi bahan bakar HSD, B30, C20, C40. Untuk kinerja mesin parameter yang digunakan seperti pada batasan masalah di bab 1 adalah terkait daya, *SFOC*, dan torsi yang dihasilkan pada masing masing bahan bakar. Pada performasi ini diperlihatkan nilai nilai optimum yang akan dicapai setiap bahan bakar. lalu akan di analisa lebih komprehensif untuk mengetahui secara komprehensif kinerja bahan bakar yang paling optimum. Selanjutanya adalah hasil dari nilai proses pembakaran menganalisa titik puncak dari *maximum pressure, heat release,* dan *heat release rate* hal ini untuk menunjukkan hubungan dari kinerja bahan bakar diatas dengan proses pembakaran yang terjadi dan proses pembentukan NOx yang terjadi. Pada emisi akan ditunjukan terkait tentang emisi NOx yang dihasilkan pada variasi beban lalu akan dianalisa hal tersebut bisa terjadi.

4.1 Hasil Data Performa

Pada penelitian kali ini akan dilakukan uji performansi untuk mengetahui pengaruh biodiesel kombinasi polipropilen dengan jelantah pada mesin diesel. Penelitian ini menggunakan software simulasi dengan karakteristik motor diesel Yanmar TF85-MH. Hasil dari percobaan ini nantinya akan menentukan performa motor diesel menggunakan bahan bakar biodiesel kombinasi dan akan dibandingkan dengan bahan bakar nabati yang sudah diperjual belikan dipasaran yaitu HSD dan C30. Putaran yang digunakan pada percobaan ini dimulai pada putaran 600 rpm, sampai dengan 2200 rpm dengan variasi beban 10%, 25%, 50%, 75%, dan 100%
Pada percobaan ini terdapat 5 jenis bahan bakar yang akan digunakan. Jenis bahan bakar yang pertama menggunakan bahan bakar HSD. Jenis bahan bakar yang kedua menggunakan bahan bakar nabati yang sudah dijual dipasaran yaitu C30. Jenis bahan bakar selanjutnya yaitu menggunakan antara biodiesel jelantah sebesar 40% dengan polipropilen 10% dengan HSD sebesar 50% (C40), biodiesel jelantah sebesar 30% dengan polipropilen 20% dengan HSD sebesar 50% (C30), dan biodiesel jelantah sebesar 20% dengan polipropilen 30% dengan HSD sebesar 50% (C20). Untuk mengetahui performa dari motor diesel, diperlukan rumus perhitungan yang terdapat pada lampiran untuk analisa dan pembahasan mengenai daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (*SFOC*)

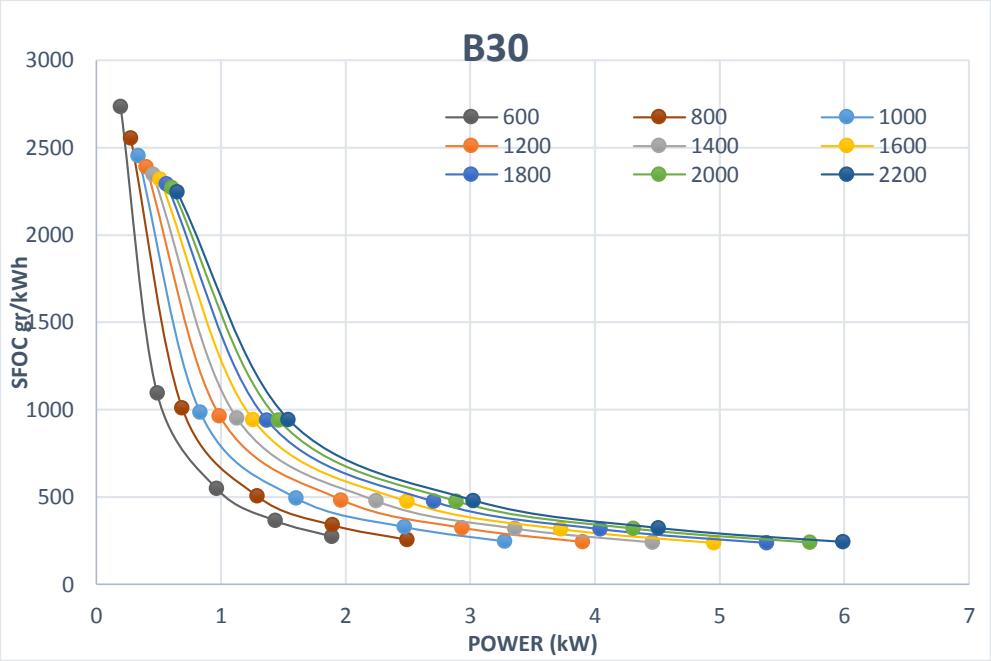
4.1.1. perbandingan *SFOC* terhadap Daya Pada bahan Bakar HSD, B30, C20, C30, dan C40



Gambar 4. 1 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar HSD

Berdasarkan dari Grafik diatas perbandingan daya terhadap *SFOC* dapat disimpulkan bahwa daya terbesar dihasilkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Pada putaran 600 rpm didapatkan daya terbesar sebesar 1,99 kW lebih kecil 0,5 kW daripada 800 rpm didapatkan nilai sebesar 2.5 kW, selanjutanya berurut-urut dari 1000 RPM sampai 2200 RPM didapatkan nilai daya 3.47 kW, 4.1 kW, 4.7 kW,5,26 kW, 5.7 kW, 6.0 kW lalu pada saat putaran 2200 rpm didapatkan daya maksimal 6,370 kW sehingga didapatkan kenaikan daya sebesar 4,38 kW Pada putaran 600 hingga, 2200 rpm. Terdapat kenaikan sekitar 0,3-0.6 kW atau 5-9% dari setiap peningkatan 200 rpm. Pada putaran 600 rpm didapatkan nilai *SFOC* pada beban maksimum sebesar 259,3 gr/kWh lebih besar sekitar 16.9 gr/kWh dari 800 RPM 242.4 gr/kWh, selanjutnaya beturut-urut 1000 RPM hingga 2200 adalah 233.2 gr/kWh , 228 gr/kWh, 225 gr/kWh, 224.2 gr/kWh, 224.1 gr/kWh, 225.2 gr/kWh, 227.1 gr/kWh seperti halnya grafik tersebut *SFOC* terendah berada di RPM 1800

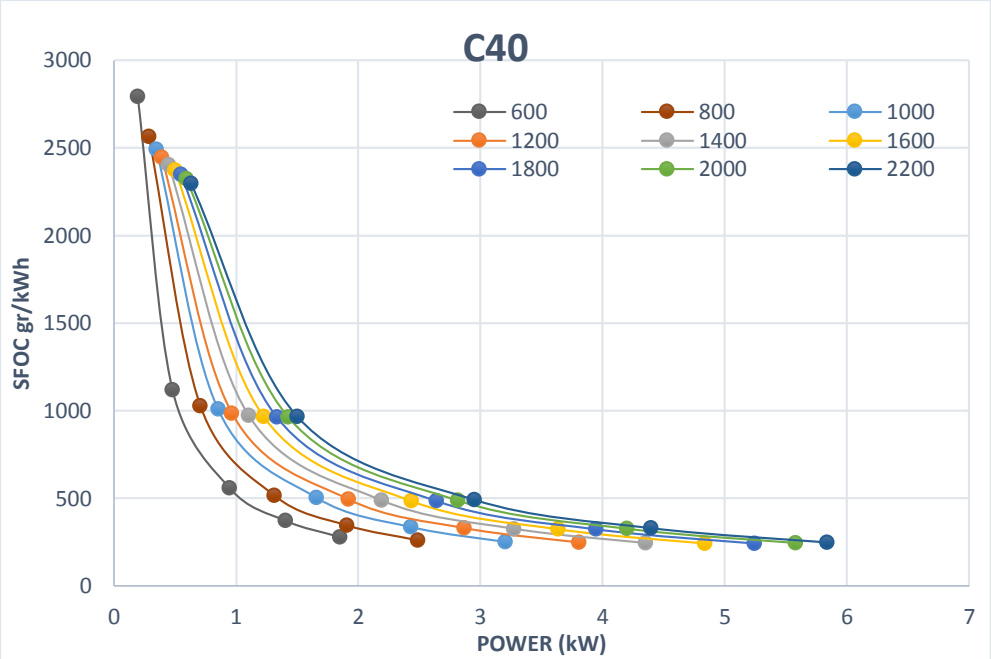
Dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran engine maka semakin menurun nilai *SFOC* yang didapatkan. Namun, pada putaran 2000 rpm dan 2200 rpm mengalami peningkatan nilai *SFOC* dibandingkan dengan 1800 RPM. Pengingkatan sebesar 1-2 gr/kWh Hal ini disebabkan engine mengalami overload. Dimana pada kejadian yang terjadi setelah adalah peningkatan konsumsi bahan bakar yang meningkat.



Gambar 4. 2 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar B30

Berdasarkan dari Grafik diatas perbandingan daya terhadap *SFOC* dapat disimpulkan bahwa daya terbesar dihasilkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Pada putaran 600 rpm didapatkan daya terbesar sebesar 1,89 kW lebih kecil 0,5 kW daripada 800 rpm didapatkan nilai sebesar 2.5 kW, selanjutanya berurut-urut dari 1000 RPM sampai 2200 RPM didapatkan nilai daya 3.27 kW, 3.89 kW, 4.46 kW, 4.95 kW, 5.37 kW, 5.72 kW lalu pada saat putaran 2200 rpm didapatkan daya maksimal 5,98 kW sehingga didapatkan kenaikan daya sebesar 4,090 kW Pada putaran 600 hingga 2200 rpm. Terdapat kenaikan sekitar 0,3-0.6 kW atau 5-9% dari setiap peningkatan 200 rpm. Pada putaran 600 rpm didapatkan nilai *SFOC* pada beban maksimum sebesar 273,7 gr/kWh lebih besar sekitar 17.5 gr/kWh dari 800 RPM 256.2 gr/kWh, selanjutnaya beturut-urut 1000 RPM hingga 2200 adalah 246.8 gr/kWh , 246.8 gr/kWh, 241.6 gr/kWh, 238.8 gr/kWh, 237.8 gr/kWh, 238.1 gr/kWh, 239.4 gr/kWh, dan 241,8 gr/kWh seperti halnya grafik tersebut *SFOC* terendah berada di RPM 1600

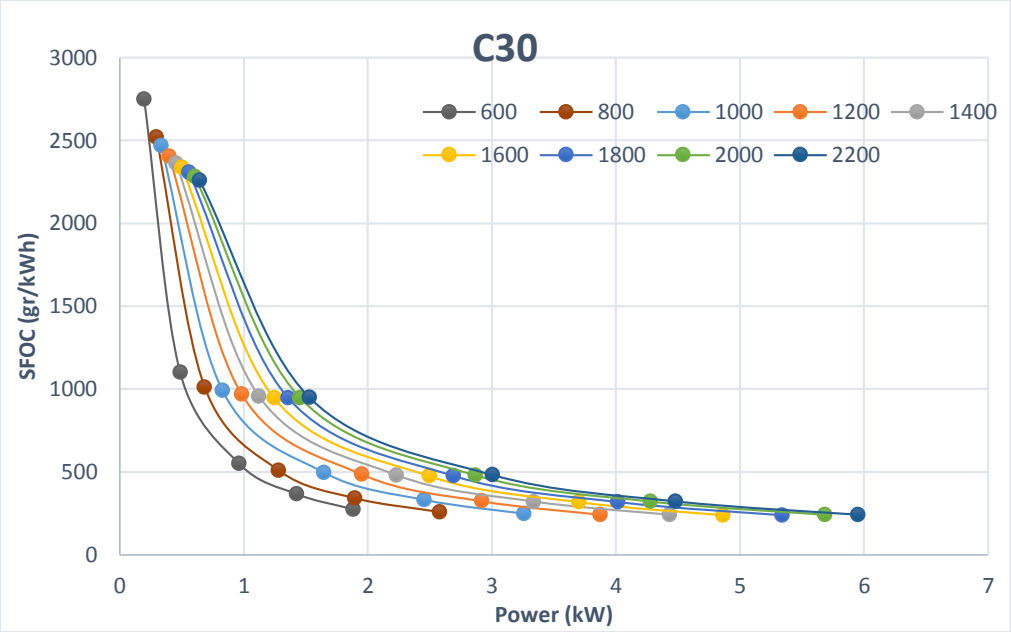
Dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran engine maka semakin menurun nilai *SFOC* yang didapatkan. Namun, pada putaran 2000 rpm dan 2200 rpm mengalami peningkatan nilai *SFOC* dibandingkan dengan 1600 RPM. Pengingkatan sebesar 1-2 gr/kWh Hal ini disebabkan engine mengalami overload. Dimana pada kejadian yang terjadi setelah adalah peningkatan konsumsi bahan bakar yang meningkat.



Gambar 4. 3 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar C40

Berdasarkan dari Grafik diatas perbandingan daya terhadap *SFOC* dapat disimpulkan bahwa daya terbesar dihasilkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Pada putaran 600 rpm didapatkan daya terbesar sebesar 1,84 kW lebih kecil 0,64 kW daripada 800 rpm didapatkan nilai sebesar 2.48 kW, selanjutanya berurut-urut dari 1000 RPM sampai 2200 RPM didapatkan nilai daya 3.2 kW, 3.80 kW, 4.3 kW, 4.8 kW, 5.2 kW, 5.5 kW lalu pada saat putaran 2200 rpm didapatkan daya maksimal 5,8 kW sehingga didapatkan kenaikan daya sebesar 3,96 kW pada putaran 600 hingga 2200 rpm. Terdapat kenaikan sekitar 0,3-0.6 kW atau 5-9% dari setiap peningkatan 200 rpm. Pada putaran 600 rpm didapatkan nilai *SFOC* pada beban maksimum sebesar 279 gr/kWh lebih besar sekitar 17 gr/kWh dari 800 RPM 262 gr/kWh, selanjutnaya beturut-urut 1000 RPM hingga 2200 adalah 252 gr/kWh , 247 gr/kWh, 244 gr/kWh, 243 gr/kWh, 243 gr/kWh, 245.4 gr/kWh, dan 247 gr/kWh seperti halnya grafik tersebut *SFOC* terendah berada di RPM 1800

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran engine maka semakin menurun nilai *SFOC* yang didapatkan. Namun, pada putaran 2000 rpm dan 2200 rpm mengalami peningkatan nilai *SFOC* dibandingkan dengan 1800 RPM. Pengingkatan sebesar 1-2 gr/kWh Hal ini disebabkan engine mengalami overload. Dimana pada kejadian yang terjadi setelah adalah peningkatan konsumsi bahan bakar yang meningkat.

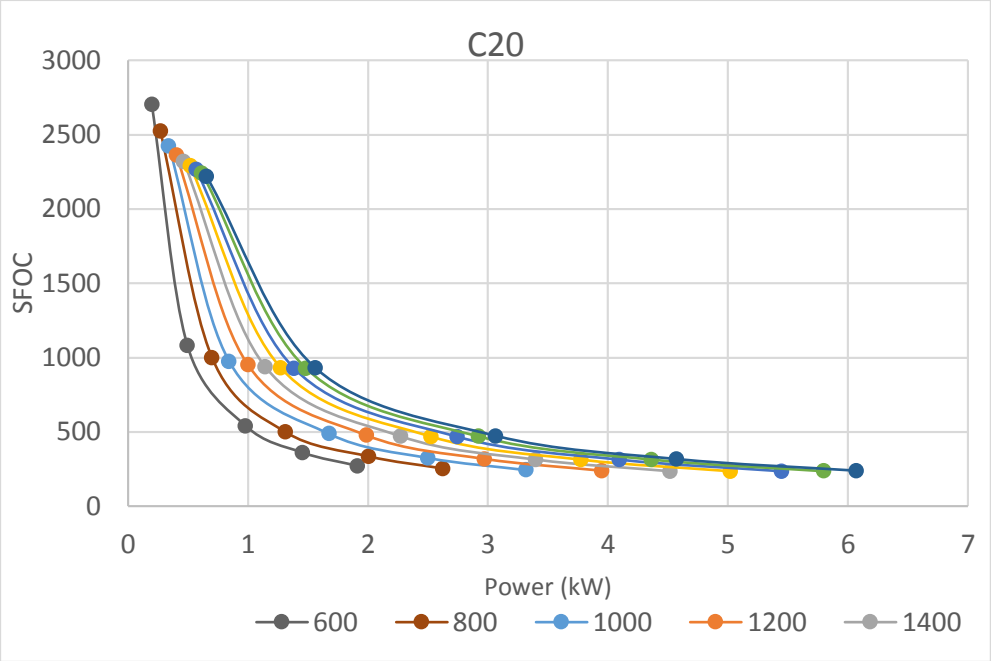


Gambar 4. 4 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar C30

Berdasarkan dari Grafik diatas perbandingan daya terhadap *SFOC* dapat disimpulkan bahwa daya terbesar dihasilkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Pada putaran 600 rpm didapatkan daya terbesar sebesar 1,87 kW lebih kecil 0,7 kW daripada 800 rpm didapatkan nilai sebesar 2.57 kW, selanjutanya berurut-urut dari 1000 RPM sampai 2200 RPM didapatkan nilai daya 3.2 kW, 3.80 kW, 4.4 kW, 4.8 kW, 5.3 kW, 5.6 kW lalu pada saat putaran 2200 rpm didapatkan daya maksimal 5,9 kW sehingga didapatkan kenaikan daya sebesar 4,03 kW pada putaran 600 hingga 2200 rpm. Terdapat kenaikan sekitar 0,3-0.7 kW atau 5-9% dari setiap peningkatan 200 rpm. Pada putaran 600 rpm didapatkan nilai *SFOC* pada beban maksimum sebesar 275 gr/kWh lebih besar sekitar 18 gr/kWh dari 800 RPM 257 gr/kWh, selanjutnya beturut-urut 1000 RPM hingga 2200 adalah 248 gr/kWh , 243 gr/kWh, 240 gr/kWh, 239.8 gr/kWh, 239 gr/kWh, 241 gr/kWh, dan 243 gr/kWh seperti halnya grafik tersebut *SFOC* terendah berada di RPM 1800

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran engine maka semakin menurun nilai *SFOC* yang didapatkan. Namun, pada putaran 2000 rpm dan 2200 rpm mengalami peningkatan nilai *SFOC* dibandingkan dengan 1800 RPM. Pengingkatan sebesar 1-2 gr/kWh Hal ini disebabkan engine mengalami overload. Dimana pada kejadian yang terjadi setelah adalah peningkatan konsumsi bahan bakar yang meningkat.

Ss

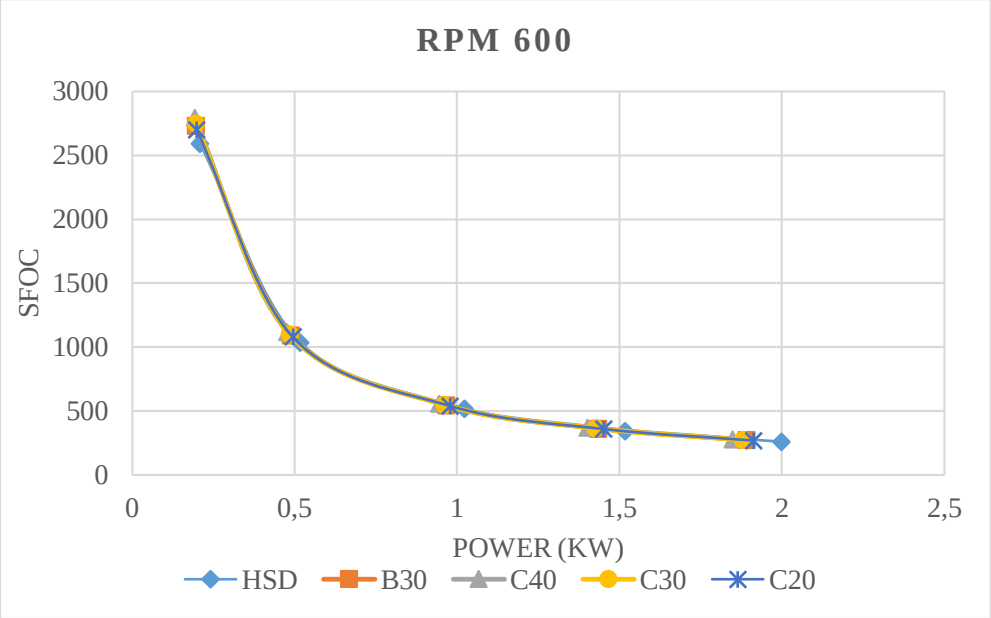


Gambar 4. 5 hasil perbandingan *SFOC* dengan Daya pada bahan bakar C40

Berdasarkan dari Grafik diatas perbandingan daya terhadap *SFOC* dapat disimpulkan bahwa daya terbesar dihasilkan pada beban maksimal untuk setiap putaran engine. Pada putaran 600 rpm didapatkan daya terbesar sebesar 1,91 kW lebih kecil 0,7 kW daripada 800 rpm didapatkan nilai sebesar 2.62 kW, selanjutanya berurut-urut dari 1000 RPM sampai 2200 RPM didapatkan nilai daya 3.3 kW, 3.9 kW, 4.5 kW, 5.0 kW, 5.4 kW, 5.68kW lalu pada saat putaran 2200 rpm didapatkan daya maksimal 6,0 kW sehingga didapatkan kenaikan daya sebesar 4,03 kW pada putaran 600 hingga 2200 rpm. Terdapat kenaikan sekitar 0,3-0.6 kW atau 5-9% dari setiap peningkatan 200 rpm. Pada putaran 600 rpm didapatkan nilai *SFOC* pada beban maksimum sebesar 270 gr/kWh lebih besar sekitar 18 gr/kWh dari 800 RPM 253 gr/kWh, selanjutnya beturut-urut 1000 RPM hingga 2200 adalah 243 gr/kWh , 238 gr/kWh, 235 gr/kWh, 234 gr/kWh, 235 gr/kWh, 236 gr/kWh, dan 238 gr/kWh seperti halnya grafik tersebut *SFOC* terendah berada di RPM 1600

Dapat disimpulkan bahwa semakin besar putaran engine maka semakin menurun nilai *SFOC* yang didapatkan. Namun, pada putaran 2000 rpm dan 2200 rpm mengalami peningkatan nilai *SFOC* dibandingkan dengan 1800 RPM. Pengingkatan sebesar 1-2 gr/kWh Hal ini disebabkan engine mengalami overload. Dimana pada kejadian yang terjadi setelah adalah peningkatan konsumsi bahan bakar yang meningkat.

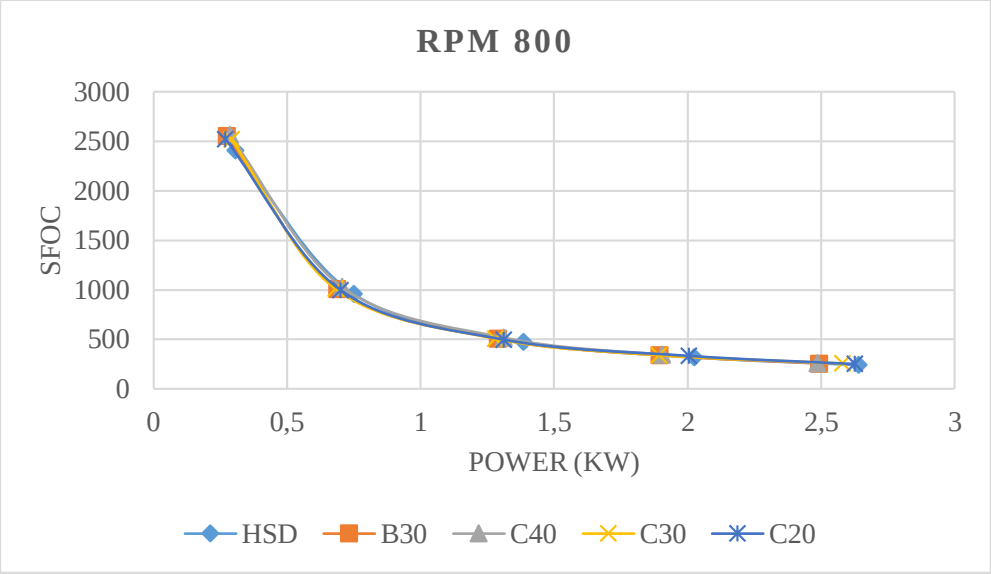
4.1.2 Hasil berbandingan data performansi *SFOC* dengan *Power* dari RPM 600 hingga 2200



Gambar 4. 6 Hasil Perbandingan *SFOC* dengan daya RPM 600

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 600 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 259,3 gr/kWh lebih besar 11,2 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 270,5 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 275.3 kW dan 279,7, hampir menyamai nilainya dengan C30 di 273.7 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2793.9 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 600 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 1.99 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 1.84 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 1.89 kW, 1.85 kW, dan 1.88 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

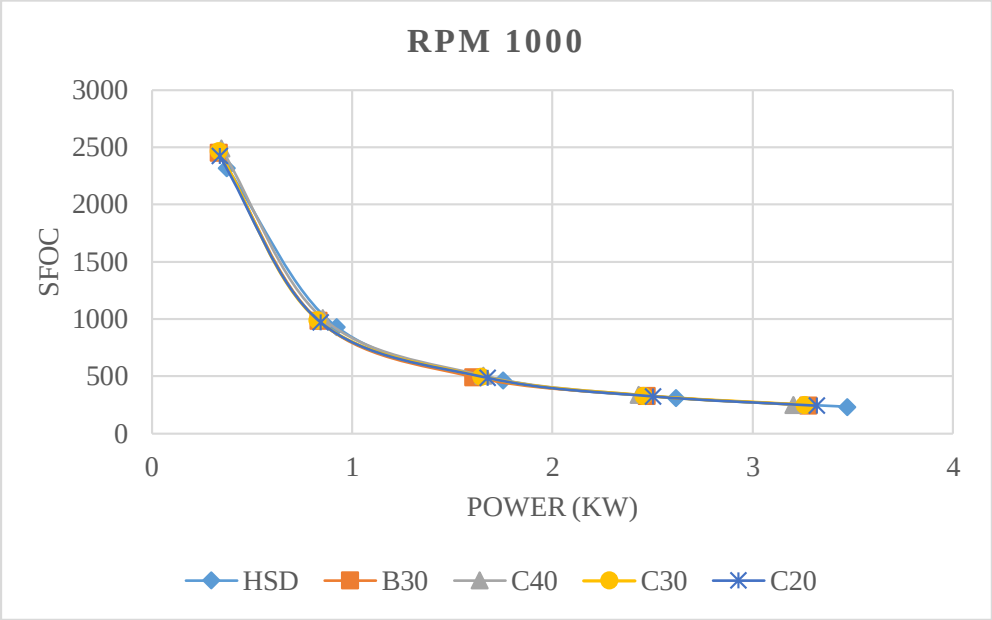
Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 600 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu samalain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain.



Gambar 4. 7 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 800

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 800 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 242.4 gr/kWh lebih besar 10.7 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 253,1 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 257.7 gr/kWh dan 261 gr/kWh, hampir menyamai nilainya dengan B30 di 256.2 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2793.9 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 800 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 2.63 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 2.48 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 2.49 kW, 2.57 kW, dan 2.62 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

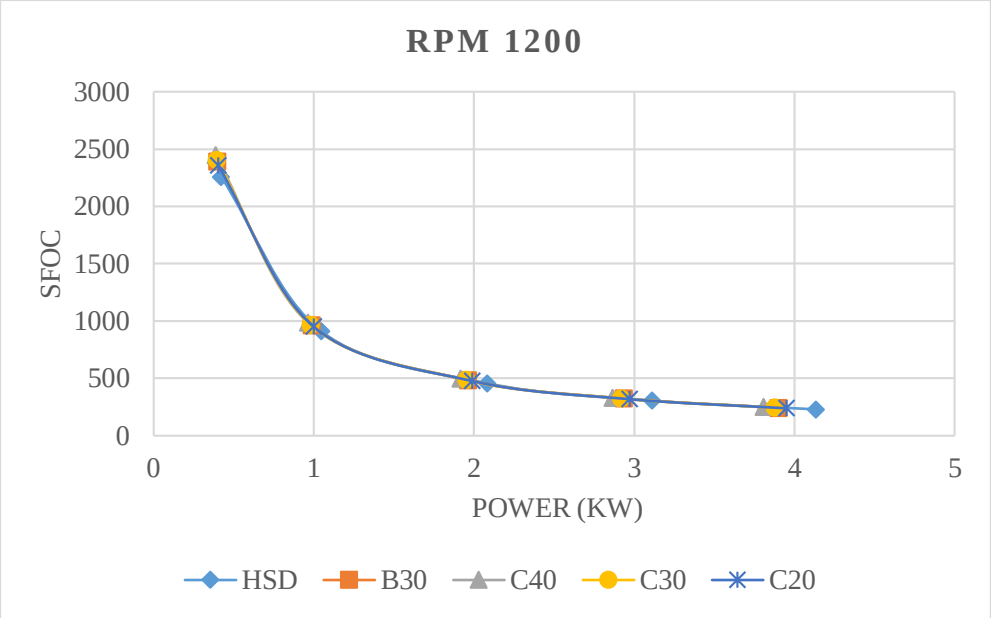
Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 600 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu samalain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain.



Gambar 4. 8 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1000

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 1000 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 233,3 gr/kWh lebih besar 10,5 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 243,8 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 248.3 kW dan 252,7, hampir menyamai nilainya dengan C30 di 246.7 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2491.9 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 1000 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 3.47 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 3.184 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 3.27 kW, 3.25 kW, dan 3.31 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

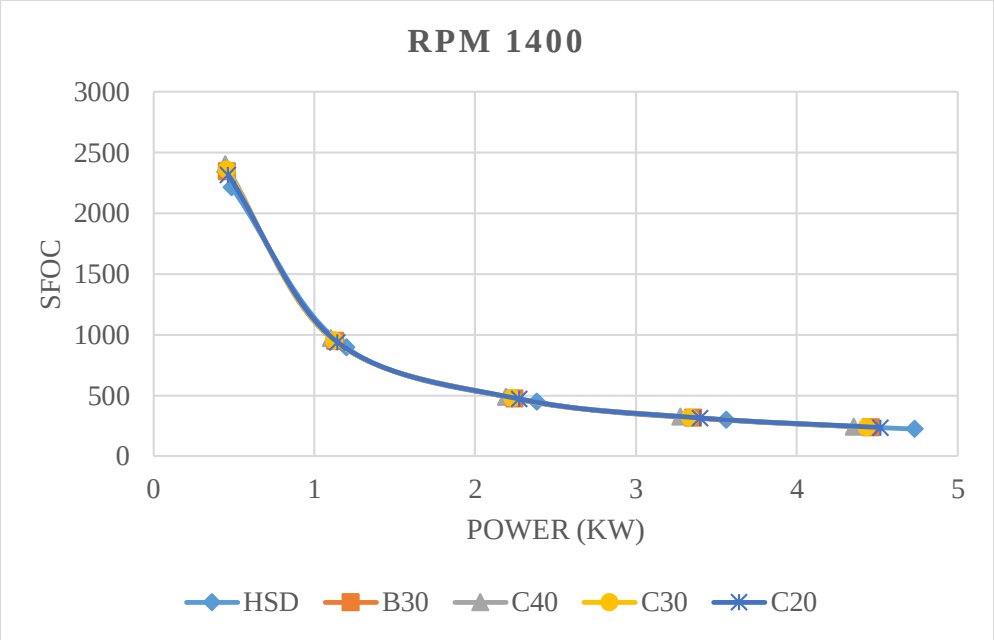
Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 1000 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu sama lain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain.



Gambar 4. 9 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1200

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 1200 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 228 gr/kWh lebih besar 10 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 238 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 247 kW dan 243, lebih banyak dibandingkan dengan nilainya dengan C30 di 241 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2446.9 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 1200 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 4.13 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 4.47 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 4.41 kW, 4.43 kW, dan 4.38 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

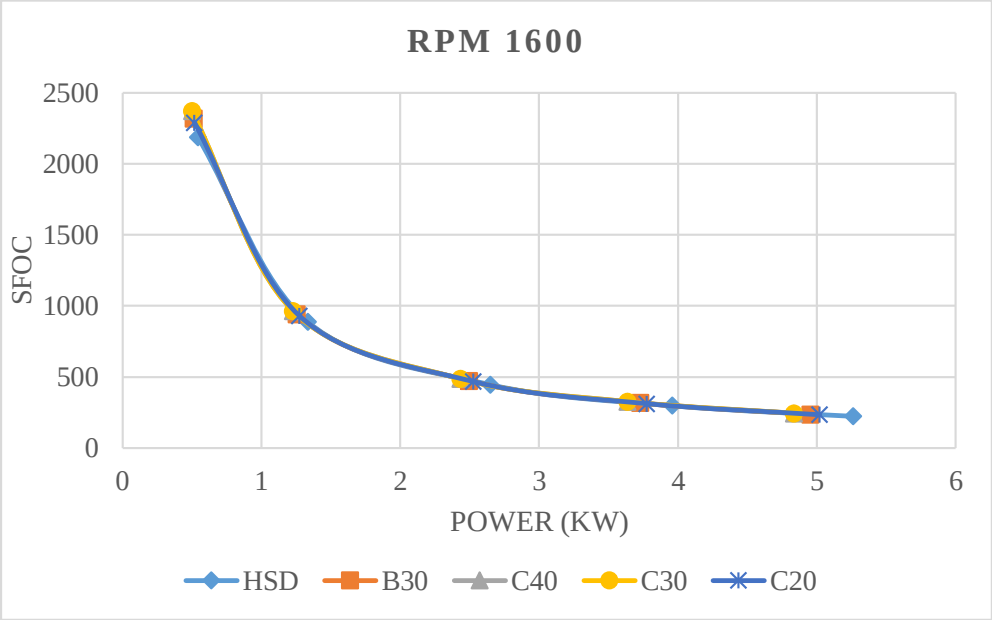
Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 1200 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu sama lain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain.



Gambar 4. 10 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1400

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 1400 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 225 gr/kWh lebih besar 10 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 235 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 240 gr/kWh dan 244gr/kWh, lebih banyak dibandingkan dengan nilainya dengan C30 di 238 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2403 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 1400 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 4.73 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 4.44 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 4.38 kW, 4.40 kW, dan 4.5 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

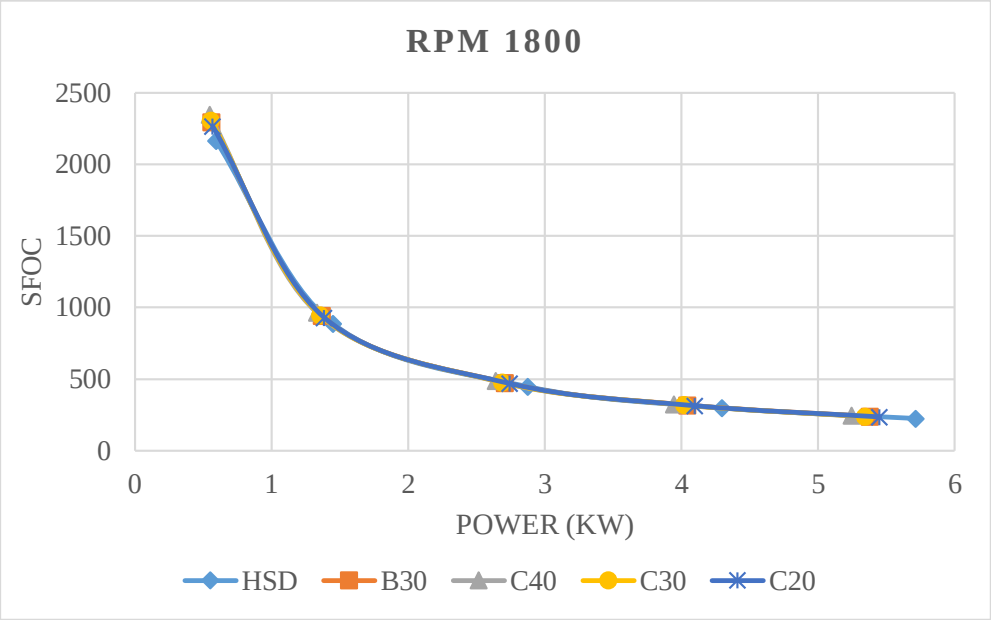
Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 1400 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu sama lain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain.



Gambar 4. 11 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1600

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 1600 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 224 gr/kWh lebih besar 10 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 234 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 239 gr/kWh dan 243 gr/kWh, lebih banyak dibandingkan dengan nilainya dengan C30 di 237 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2372 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 1600 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 5.26 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 4.83 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 4.95 kW, 4.86 kW, dan 5 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

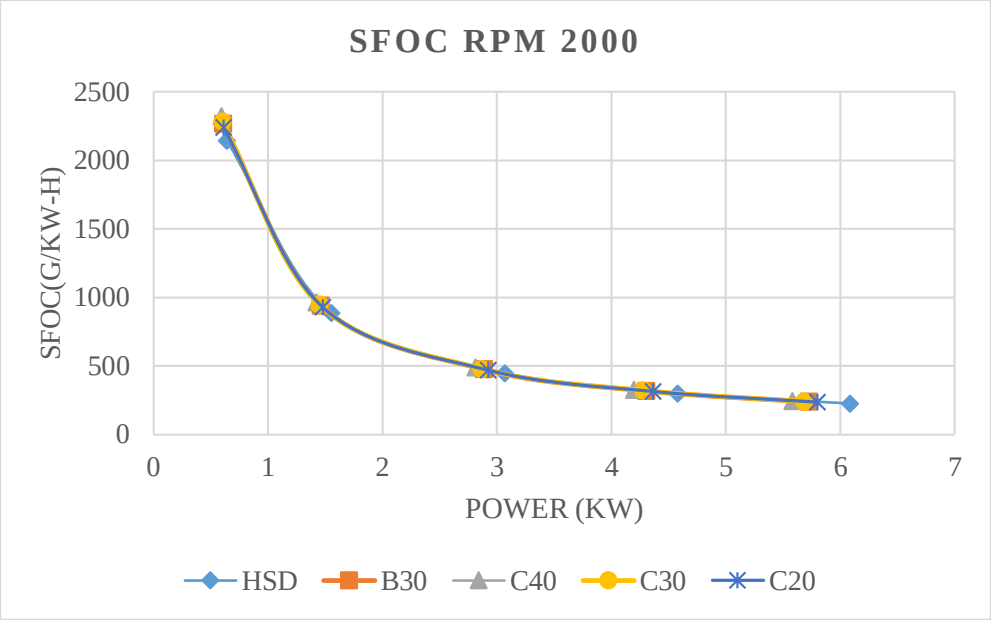
Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 1600 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu sama lain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain.



Gambar 4. 12 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 1800

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 1800 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 224 gr/kWh lebih besar 11 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 235 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 239 gr/kWh dan 244 gr/kWh, lebih banyak dibandingkan dengan nilainya dengan C30 di 238 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2347 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 1800 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 5.71 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 5.2 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 5.37 kW, 5.34 kW, 5.44 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

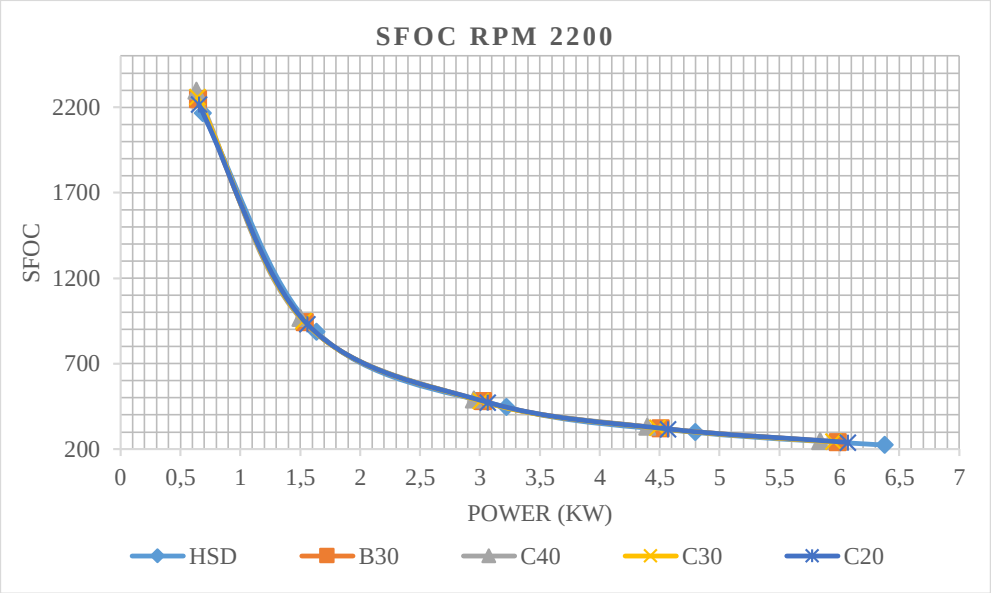
Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 1800 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu sama lain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain



Gambar 4. 13 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 2000

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 2000 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 225 gr/kWh lebih besar 11 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 236 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 241 gr/kWh dan 245 gr/kWh, lebih banyak dibandingkan dengan nilainya dengan C30 di 239 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2323 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 1800 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 6.0 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 5.58 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 5.72 kW, 5,68 kW, 5.8 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 2000 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu sama lain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagia salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain

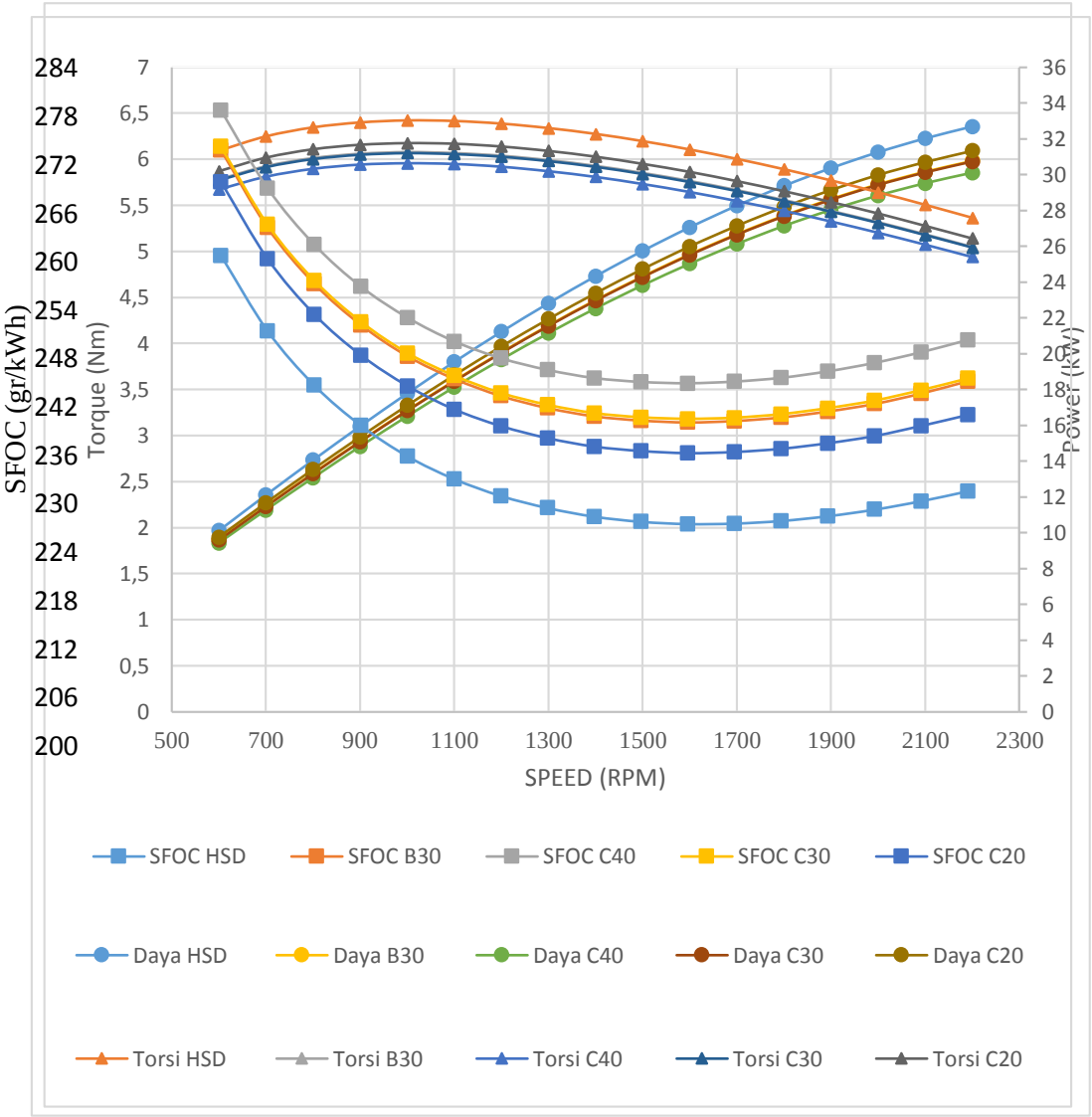


Gambar 4. 14 Hasil Perbandingan SFOC dengan daya RPM 2200

Dari Grafik Perbandingan *Power* terhadap *SFOC* pada jenis bahan bakar HSD, Biodiesel, Biodiesel C20, C30, dan biodiesel C40 pada 2200 rpm, nilai *SFOC* terendah didapat pada bahan bakar HSD dengan nilai sebesar 227 gr/kWh lebih besar 11 gr/kWh dibandingkan bahan bakar C20 sebesar 238 gr/kWh. Sedangkan untuk bahan bakar C30 dan C40 didapatkan nilai *SFOC* terendah sebesar 243 gr/kWh dan 247 gr/kWh, lebih banyak dibandingkan dengan nilainya dengan C30 di 241 gr/kWh. *SFOC* tertinggi juga didapat pada bahan bakar C40 dengan beban 10% di nilai *SFOC* sebesar 2245 gr/kWh. Lalu untuk daya yang dihasilkan pada 2200 RPM terlihat bahwa daya tertinggi adalah HSD sebesar 6.3 kW lalu terendah oleh bahan bakar C40 sebesar 5.8 kW. Selanjutnya untuk B30, C30 combinasi dan C20 berutut-urut bernilai 5.98 kW, 5,95 kW, 6.0 kW dari 3 bahan bakar alternative, C20 memiliki *SFOC* yang rendah dan daya yang lebih besar.

Seperti terlihat pada grafik diatas bahwasannya pola trend hampir menyerupai satu sama lain dikarenakan daya yang dihasilkan pada 2200 RPM dengan variasi beban cenderung menyerupai satu sama lain namun terlihat jelas ada perbedaan *SFOC* yang tergambarkan. Perbedaan *SFOC* antara bahan bakar terjadi dikarenakan setiap bahan bakar memiliki nilai kalor yang berbeda sebagai salah satu contoh alternatif bahan bakar C20 terlihat lebih optimal dibandingkan bakan bakar alternative lain

4.1.3. Perbandingan *Power, Torque* dan *SFOC* pada Kondisi *Full Load*



Gambar 4. 15 Perbandingan *Power, Torque,* dan *SFOC* pada kondisi *full load* terhadap variasi *Speed (RPM)*

Berdasarkan dari Grafik 4.15 perbandingan antara Putaran *Engine* terhadap *power* pada kondisi *full load* untuk semua jenis bahan bakar, merupakan grafik perbandingan performansi putaran mesin terhadap power pada semua jenis bahan bakar. Nilai ini didapat dari titik *SFOC* paling rendah yang telah dijelaskan pada grafik-grafik sebelumnya. Didapatkan daya tertinggi atau maksimum pada putaran 2200 rpm pada setiap bahan bakar. Dengan menggunakan bahan bakar HSD didapatkan daya maksimum sebesar 6.35 kW, Biosolar Kombinasi menghasilkan daya maksimum berturut-urut dari C20, C30, C40 adalah 6.0 kW, 5.9 kW, 5,8 kW

dan untuk B30 mendapatkan daya sebesar 5.9 kW. Dari percobaan menggunakan lima jenis bahan bakar tersebut, didapatkan daya dengan kenaikan kurang lebih konstan sekitrar 0,2-0,4 kW dalam setiap kenaikan 100 RPM.

Torsi dari bahan bakar HSD, B30, C20, C30 dan C40 pada grafik 4.15 dapat disimpulkan bahwa torsi maksimal dihasilkan pada kecepatan putaran mesin 1000 RPM. Torsi yang dihasilkan pada kecepatan putaran 1000 RPM oleh bahan bakar HSD sebesar 33.0 Nm, lebih tinggi 1.3 Nm dari bahan bakar C20 yang torsinya sebesar 31.7 Nm dan lebih tinggi 2.9 Nm dari bahan bakar B30 dengan torsinya sebesar 31.1 Nm. Lalu berurutan C30 dan C40 sebesar 31.0 Nm dan 30.4 Nm. Yang berarti torsi yang dihasilkan bahan bakar HSD merupakan torsi terbesar dibandingkan dengan bahan bakar lain. Namun jika dibandingkan dengan bahan bakar 4 alternatif C20 menunjukan nilai tertinggi dengan maksimum torsi yang dihasilkan pada 1000 RPM 31.7 lebih besar 0.6 Nm. Dari grafik diatas terlihat bahwa kecenderungan grafik naik pada RPM 600 sampai dengan 1000, lalu setelahnya dari 1000 RPM sampai 2200 RPM torsi mengalami penurunan RPM yang cenderung konstan mulai 0.2-0.7 Nm

Pada grafik diatas adalah grafik yang menunjukan perbandingan masing masing variable yang digunakan untuk Analisa kinerja mesin, dimana dengan variable *SFOC*, Torsi, dan Daya dengan pembebanan penuh terhadap variasi RPM. Dapat terlihat bahwa pada grafik *SFOC trend* grafik cenderung menurun seiring dengan penambahan RPM namun tren penurunan tersebut. Hal ini menunjukan pada penambahan RPM semakin sedikit konsumsi bahan bakar yang digunakan namun terlihat pada *trend* grafik tersebut mengalami penurunan terendah pada RPM 1700 dimana konsumsi bahan bakar pada RPM tersebut diseluruh bahan bakar mengalami titik terendah, dengan nilai sebesar HSD 224 gr/kWh, C20 233 gr/kWh, B30 237 gr/kWh, C30 238 gr/kWh dan yang paling tinggi konsumsi bahan bakar yakni C40 dengan nilai 243 gr/kWh.

Torsi pada grafik tersebut seperti sebelumnya bahwa *trend* grafik pada penambahan setiap RPM bertambah beriringan dengan penambahan Torsi tersebut dan mencapai puncaknya pada RPM 1000 seperti bahan bakar HSD dengan nilai 33Nm lalu setelah mencapai titik puncaknya di RPM 1000 torsi disetiap penambahan RPM terus mengalami penurunan nilai Torsi.

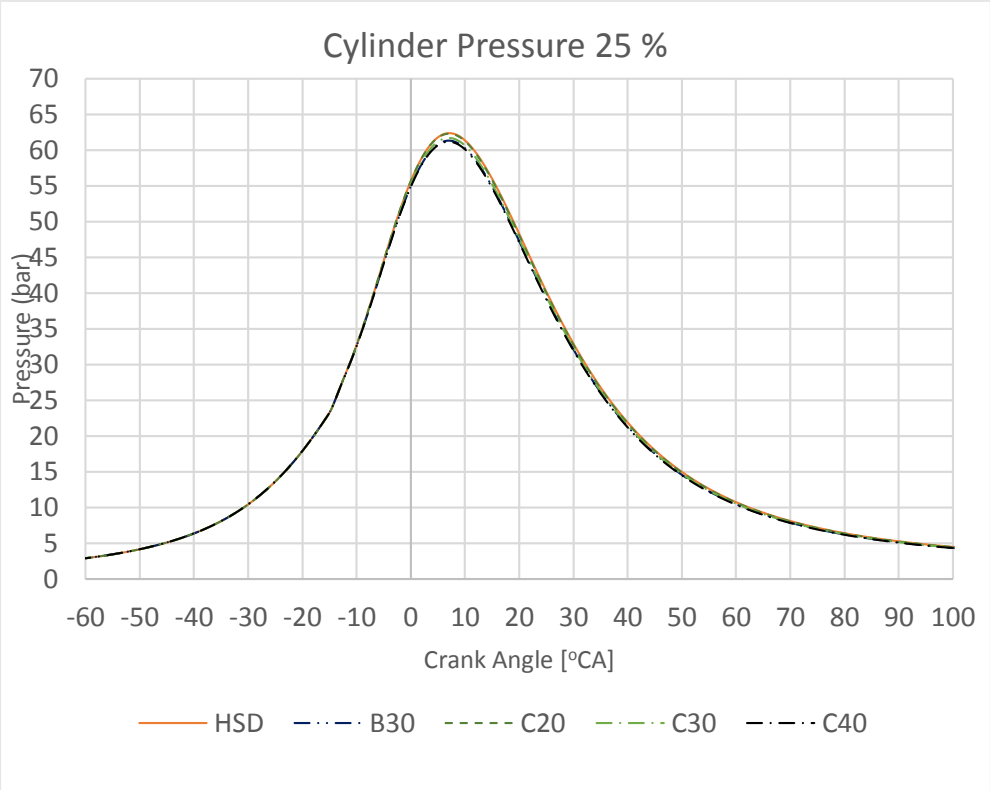
Daya yang dihasilkan pada grafik diatas menunjukakan bahwa setiap penambahan RPM beriringan dengan penambahan daya yang dihasilkan sehingga terjadi daya yang paling optimum terdapat pada 2200 RPM dengan HSD memperoleh daya yang paling tinggi dengan 6.37 kW lalu selanjutnya C20 dengan 6.01 kW, B30 5.98 kW, C30 5.97kW, dan yang paling rendah C40 sebesar 5.8 kW

Dari grafik dan penjelasan yang telah disebutkan diatas bahwa Daya optimum di peroleh pada RPM maksimum di 2200 RPM, lalu untuk Torsi maksimum terdapat pada 1000 RPM, dan *SFOC* optimum terdapat pada 1700 RPM. Dari ketiga hal tersebut dapat diambil sebuat titip optimum RPM yang mana bisa mengoptimalkan Daya, *SFOC*, dan Torsi yakni pada 1800 RPM dimana untuk HSD Torsi yang diperoleh adalah 30.2 Nm, daya yang didapatkan adalah 5.71 kW, dan *SFOC* yang dikonsumsi adalah 225 gr/kWh. Lalu dari 4 bahan bakar alternative dimana C20 yang paling optimum mendapatkan daya pada 1800 RPM sebesar 5.48 kW, Torsi yang diperoleh sebesar 29.0 Nm dan Konsumsi bahan Bakar (*SFOC*) sebesar 234 gr/kWh.

4.2 Proses Pembakaran

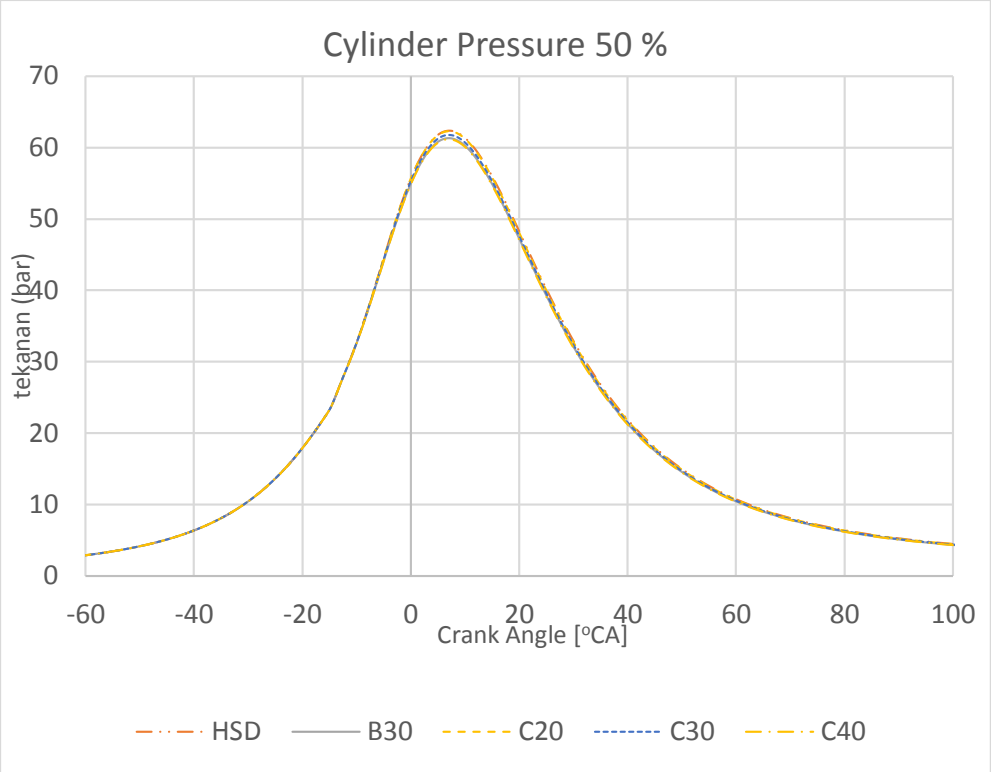
Pada Sub Bab ini memberikan hasil proses pembakaran pada 2200 RPM dengan variasi beban mulai dengan 25%,50%,75%, dan 100% dengan parameter Tekanan Maksimum, *heat release*, dan *heat release rate* terhadap sudut *crank angle* untuk nantinya bisa dianalisa terkait perbandingan masing-masing beban dan menarik kesimpulannya

4.2.1 Hasil *Maximum Pressure* RPM 2200, *Load* 25%, 50%, 75% dan 100%



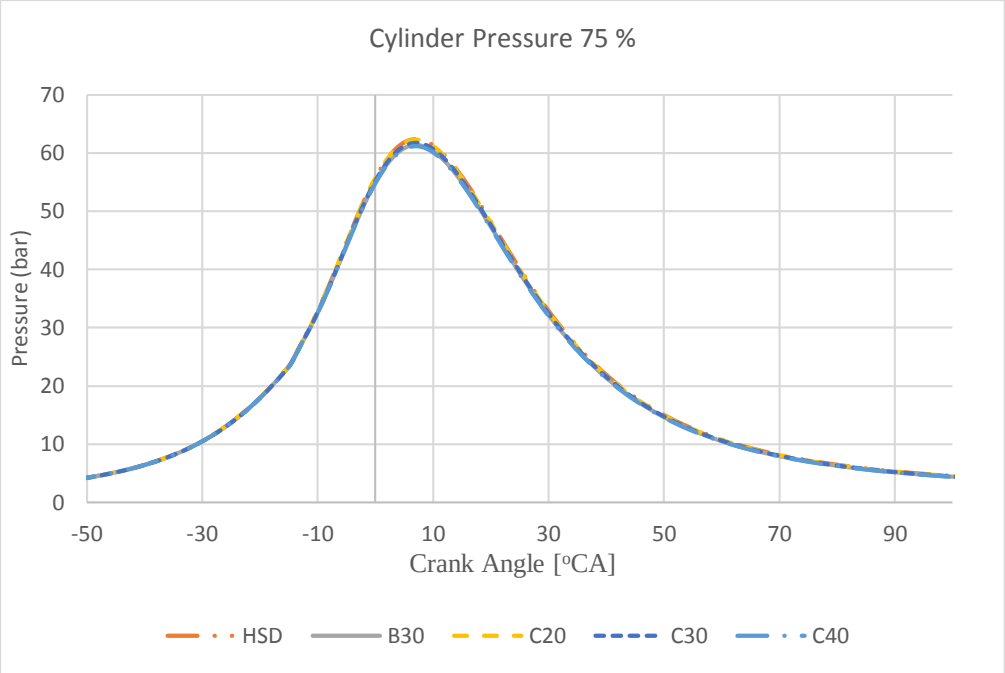
Gambar 4. 16 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 25%

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik Max. Pressure dari bakar HSD, B30, C40, C30 Dan C20. Mengamati grafik terebut didapatkan nilai pressure masing masing bahan bakar, untuk HSD didapatkan sebesar 62.812 bar pada posisi 7.053 derajat setelah TMA, kemudian untuk B30 sebesar 62.124 bar pada posisi 7.177 setelah TMA, C20 memiliki nilai tekanan terbesar 62.818 pada posisi 7.04 setelah TMA, lalu C30 memiliki tekanan 62.05 bar pada posisi 7.25 derajat setelah TMA dan untuk B49 sebesar 61.5 bar pada posisi 7.312 derajat setelah TMA. Nilai tekanan maksimal dan posisi puncak tekanan tersebut dipengaruhi juga oleh lamanya bahan bakar terbakar (ignition delay) semakin besar nilai dari ignition delay maka pembakaran yang terjadi akan semakin menjauhi dati TMA.



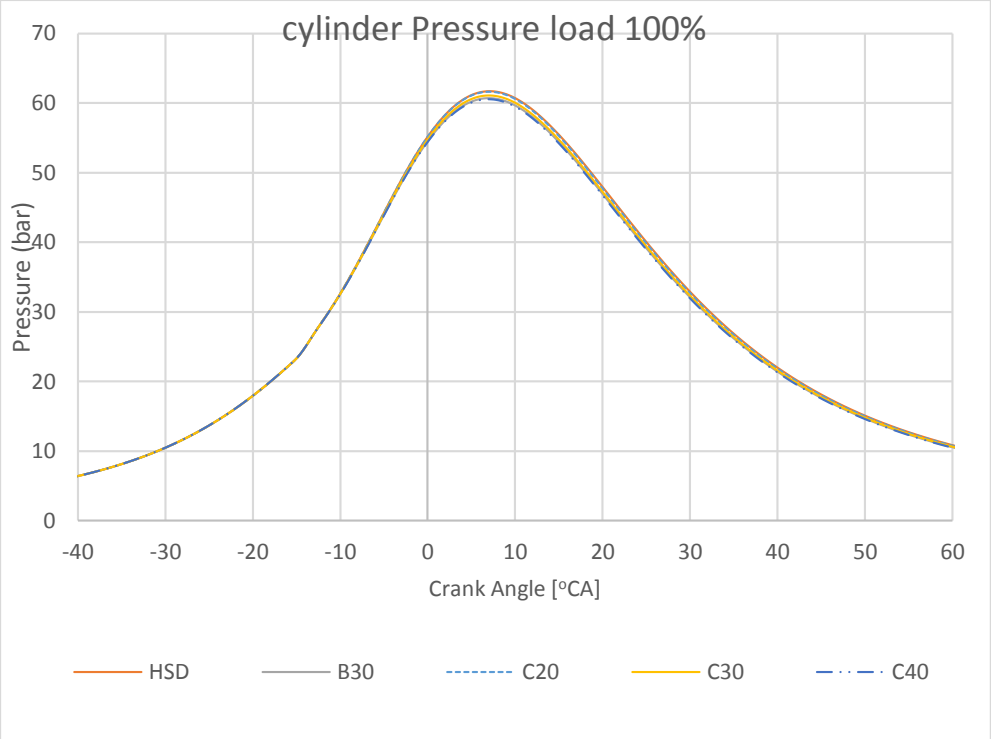
Gambar 4. 17 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 50%

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik Max. Pressure dari bakar HSD, B30, C40, C30 Dan C20. Mengamati grafik terebut didapatkan nilai pressure masing masing bahan bakar, untuk HSD didapatkan sebesar 62.83 bar pada posisi 7.047 derajat setelah TMA, kemudian untuk B30 sebesar 62.133 bar pada posisi 7.17 setelah TMA, C20 memiliki nilai tekanan terbesar 62.828 pada posisi 7.48 setelah TMA, lalu C30 memiliki tekanan 62.06 bar pada posisi 7.24 derajat setelah TMA dan untuk B49 sebesar 61.57 bar pada posisi 7.30 derajat setelah TMA. Nilai tekanan maksimal dan posisi puncak tekanan tersebut dipengaruhi juga oleh lamanya bahan bakar terbakar (ignition delay) semakin besar nilai dari ignition delay maka pembakaran yang terjadi akan semakin menjauhi dati TMA.



Gambar 4. 18 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 75%

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik Max. Pressure dari bakar HSD, B30, C40, C30 Dan C20. Mengamati grafik terebut didapatkan nilai pressure masing masing bahan bakar, untuk HSD didapatkan sebesar 62.83 bar pada posisi 7.047 derajat setelah TMA, kemudian untuk B30 sebesar 62.133 bar pada posisi 7.17 setelah TMA, C20 memiliki nilai tekanan terbesar 62.828 pada posisi 7.48 setelah TMA, lalu C30 memiliki tekanan 62.06 bar pada posisi 7.24 derajat setelah TMA dan untuk B49 sebesar 61.57 bar pada posisi 7.30 derajat setelah TMA. Nilai tekanan maksimal dan posisi puncak tekanan tersebut dipengaruhi juga oleh lamanya bahan bakar terbakar (ignition delay) semakin besar nilai dari ignition delay maka pembakaran yang terjadi akan semakin menjauhi dati TMA.



Gambar 4. 19 Maximum Pressure RPM 2200, Beban 100%

Grafik diatas menunjukkan bahwa grafik Max. Pressure dari bakar HSD, B30, C40, C30 Dan C20. Mengamati grafik terebut didapatkan nilai pressure masing masing bahan bakar, untuk HSD didapatkan sebesar 62.84 bar pada posisi 7.035 derajat setelah TMA, kemudian untuk B30 sebesar 62.152 bar pada posisi 7.16 setelah TMA, C20 memiliki nilai tekanan terbesar 62.84 pada posisi 7.03 setelah TMA, lalu C30 memiliki tekanan 62.08 bar pada posisi 7.23 derajat setelah TMA dan untuk B49 sebesar 61.59 bar pada posisi 7.29 derajat setelah TMA. Nilai tekanan maksimal dan posisi puncak tekanan tersebut dipengaruhi juga oleh lamanya bahan bakar terbakar (ignition delay) semakin besar nilai dari ignition delay maka pembakaran yang terjadi akan semakin menjauhi dati TMA.

Tabel 4. 1 maksimum *Pressure* pada variasi bahan bakar setiap pembebanan

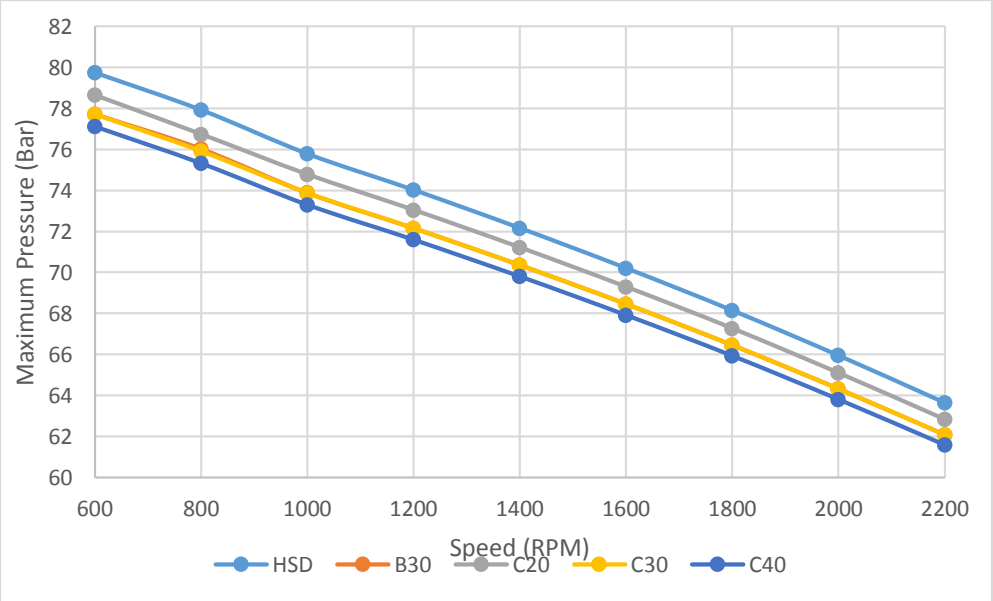
Max Pressure (bar)					
Beban	HSD	B30	B20	B30	C40
100	63.65387	62.152176	62.847008	62.082565	61.595943
75	63.64323	62.14284	62.83756	62.073105	61.586666
50	63.63256	62.133392	62.828033	62.063644	61.577347
25	63.62193	62.124023	62.818573	62.054203	61.567978

Pada tabel 4.1 menjelaskan bahwa ada variasi maksimum pressure pada setiap bahan bakar. Dan dapat disimpulkan bahwa setiap kenaikan beban dari beban 25% hingga 100% mengalami kenaikan maksimum pressure pula cenderung kecil dengan nilai antara 0.01 bar per kenaikan 25 persen, dengan maksimum pressure pada beban 100 persen dan bahan bakar HSD menghasilkan tekanan sebesar 63.65 bar, lalu B30, C20, C30, dan C40 secara beruturan adalah 62.15 bar, 62.84 bar, 62.08 bar, dan 61.59 bar. Dan dari antara 4 bahan bakar alternative lainnya C20 memiliki tekanan maksimum paling tinggi di angka 62.84 bar.

4.2.2 Hasil *Maximum Pressure* beban penuh dari 600 RPM hingga 2200 RPM

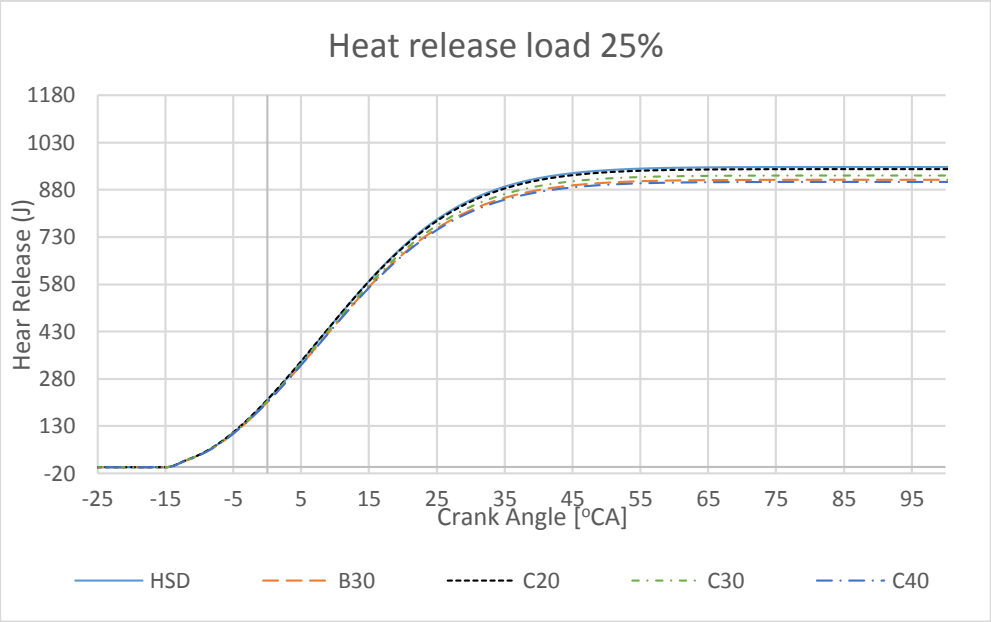
Pada tabel di bawah akan menguraikan hasil dari tekanan maksimum pada silinder saat beban maksimum dengan variabel RPM dari 600 hingga 2200. Sehingga mampu menganalisa pengaruh dari perbedaan bahan bakar pada variasi RPM.

Tabel 4. 2 Hasil *Maximum Pressure* pada 600 RPM hingga 2200 RPM



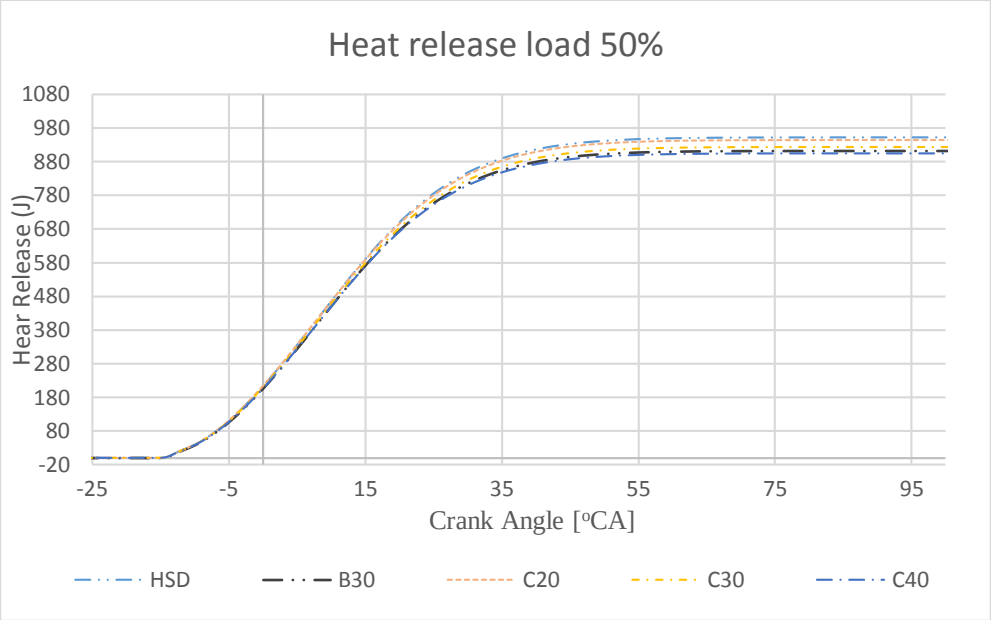
Seperti pada grafik diatas menjelaskan bahwa kenaikan tekanan berbanding terbalik dengan kenaikan *speed*. Setiap kenaikan RPM pada semua variasi bahan bakar mengalami penurunan tekanan maksimum silinder. Dari yang paling tinggi tekanan maksimum pada bahan bakar HSD pada 600 RPM dengan nilai sebesar 79.7 bar. Lalu dari B30, C20, C30, dan C40 secara berurutan bernila 77.71 bar, 78.6 bar, 77.7 bar, dan 77.1 Bar. Disetiap kenaikan *speed* terjadi penurunan rata-rata sebesar 1.6 bar hingga 1.8 bar. Dan mencapai titik terendah nya berada pada RPM 2200 dimana untuk masing-masing bahan bakar dari HSD, B30, C20, C30, dan C40 sebagai berikut 63.6 bar, 62.0 bar, 62.8 bar,62.06 bar, 61.5 bar. Disetiap kenaikan *speed* terjadi penurunan rata-rata sebesar 1.6 bar hingga 1.8 bar.

4.2.3 Hasil *Heat Relaease* RPM 2200 pada Beban 25%, 50%, 75%, dan 100%



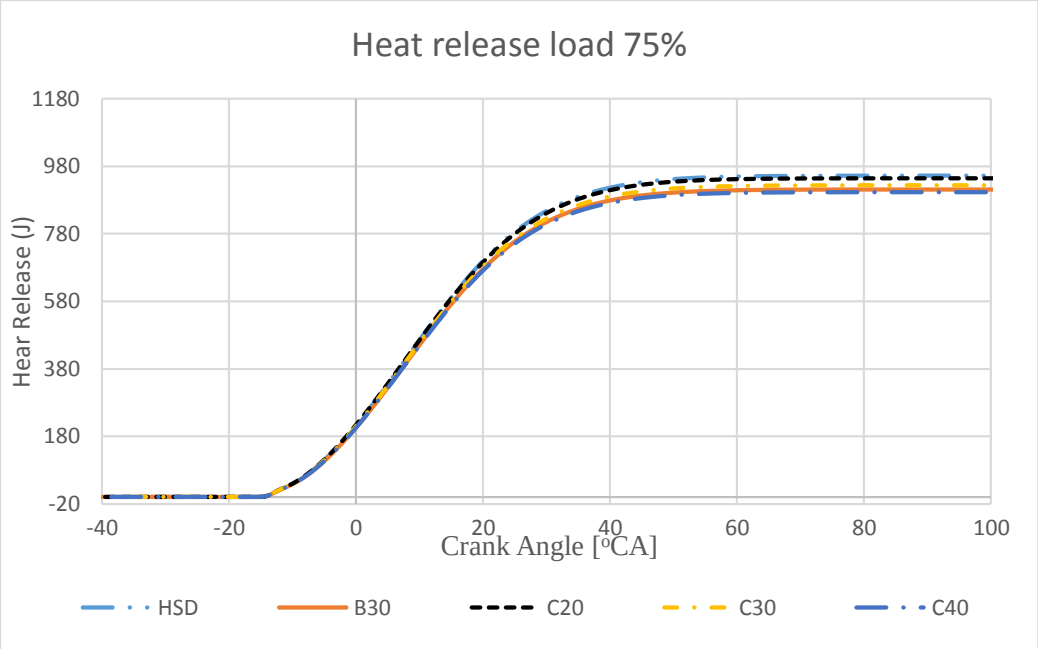
Gambar 4. 20 Perbandingan *Heat Release* RPM 2200 terhadap Beban 25%

Grafik diatas adalah grafik yang menunjukan pelepasan panas atau *heat* release energy yang terlepaskan perbandingan perbahan bakar HSD, B30, C20 Kombinas, C30 dan C40. Terlihat pada grafik diatas menunjukan HSD memiliki *heat release energy* tertinggi dibandingakan dengan yang lain yakni 968.82 J lalu setelahnya adalah C20 sebesar 968.80 J, B30 sebesar 946.77 J, C30 dengan nilai sebesar 941.2 J, dan yang paling rendah adalah C40 dengan nilai sebesar 923 J. Jumlah maksimum *heat release* juga erat kaitannya dengan maksimum pressure yang telah di jelaskan diatas dimana hal ini di karenakan setiap bahan bakar memiliki karakteristik masing masing utamanya adalah *lower heating value* dan struktur pembentuk hidrokarbon bahan bakar. Semakin tinggi lower heating value maka energy yang dilepaskan juga lebih besar.



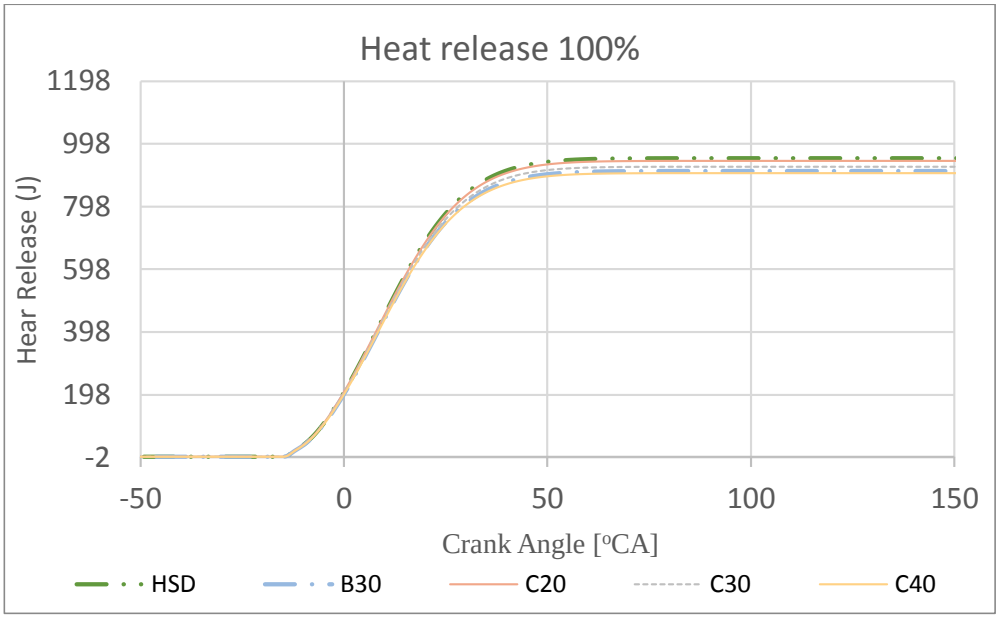
Gambar 4. 21 Perbandingan Heat Release RPM 2200 terhadap Beban 50%

Grafik diatas adalah grafik yang menunjukan pelepasan panas atau *heat* release energy yang terlepaskan perbandingan perbahan bakar HSD, B30, C20, C30 dan C40. Terlihat pada grafik diatas menunjukan HSD memiliki *heat release energy* tertinggi di ukur para Crank angle 95 derajat yakni 968.81 J lalu setelahnya adalah C20 sebesar 968.80 J, B30 sebesar 946.77 J, C30 dengan nilai sebesar 941.23 J, dan yang paling rendah adalah C40 dengan nilai sebesar 923 J. Jumlah maksimum *heat release* juga erat kaitannya dengan maksimum pressure yang telah di jelaskan diatas dimana hal ini di karenakan setiap bahan bakar memiliki karakteristik masing masing utamanya adalah *lower heating value* dan struktur pembentuk hidrokarbon bahan bakar. Semakin tinggi lower heating value maka energy yang dilepaskan juga lebih besar.



Gambar 4. 22 Perbandingan Heat Release RPM 2200 terhadap Beban 75%

Grafik diatas adalah grafik yang menunjukan pelepasan panas atau *heat* release energy yang terlepaskan perbandingan perbahan bakar HSD, B30, C20, C30 dan C40. Terlihat pada grafik diatas menunjukan HSD memiliki *heat release energy* tertinggi di ukur para Crank angle 95 derajat yakni 968.79 J lalu setelahnya adalah C20 sebesar 968.68 J, B30 sebesar 946.74 J, C30 dengan nilai sebesar 941.23 J, dan yang paling rendah adalah C40 dengan nilai sebesar 923 J. Jumlah maksimum *heat release* juga erat kaitannya dengan maksimum pressure yang telah di jelaskan diatas dimana hal ini di karenakan setiap bahan bakar memiliki karakteristik masing masing utamanya adalah *lower heating value* dan struktur pembentuk hidrokarbon bahan bakar. Semakin tinggi lower heating value maka energy yang dilepaskan juga lebih besar.

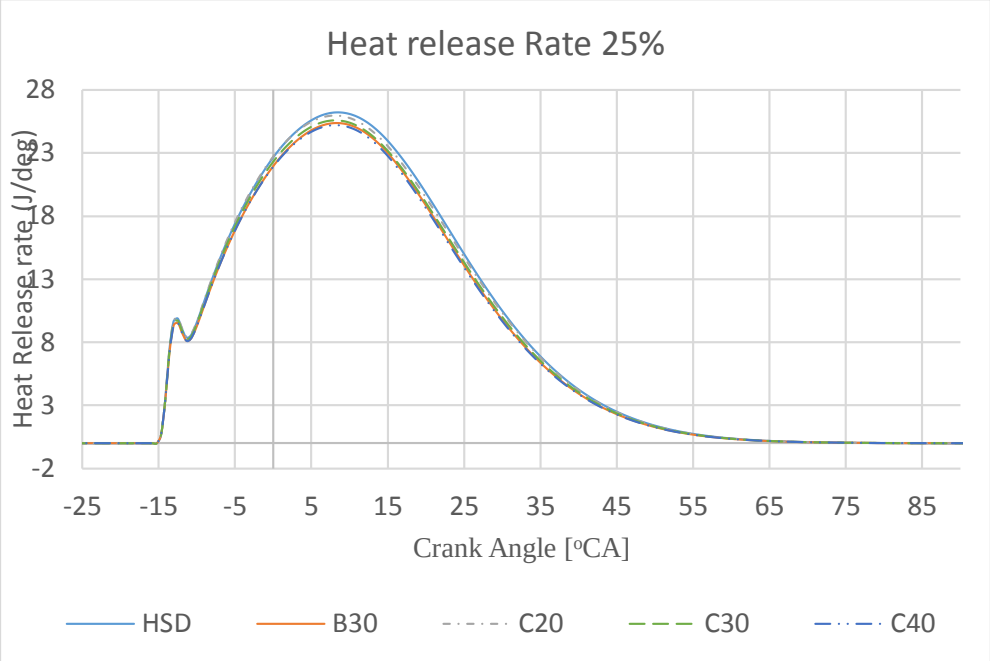


Gambar 4. 23 Perbandingan Heat Release RPM 2200 terhadap Beban 100%

Grafik diatas adalah grafik yang menunjukan pelepasan panas atau *heat* release energy yang terlepaskan perbandingan perbahan bakar HSD, B30, C20, C30 dan C40. Terlihat pada grafik diatas menunjukan HSD memiliki *heat release energy* tertinggi di ukur para Crank angle 95 derajat yakni 968.79 J lalu setelahnya adalah C20 sebesar 968.79 J, B30 sebesar 946.76 J, C30 dengan nilai sebesar 941.23 J, dan yang paling rendah adalah C40 dengan nilai sebesar 922.99 J. Jumlah maksimum *heat release* juga erat kaitannya dengan maksimum pressure yang telah di jelaskan diatas dimana hal ini di karenakan setiap bahan bakar memiliki karakteristik masing masing utamanya adalah *lower heating value* dan struktur pembentuk hidrokarbon bahan bakar. Semakin tinggi lower heating value maka energy yang dilepaskan juga lebih besar.

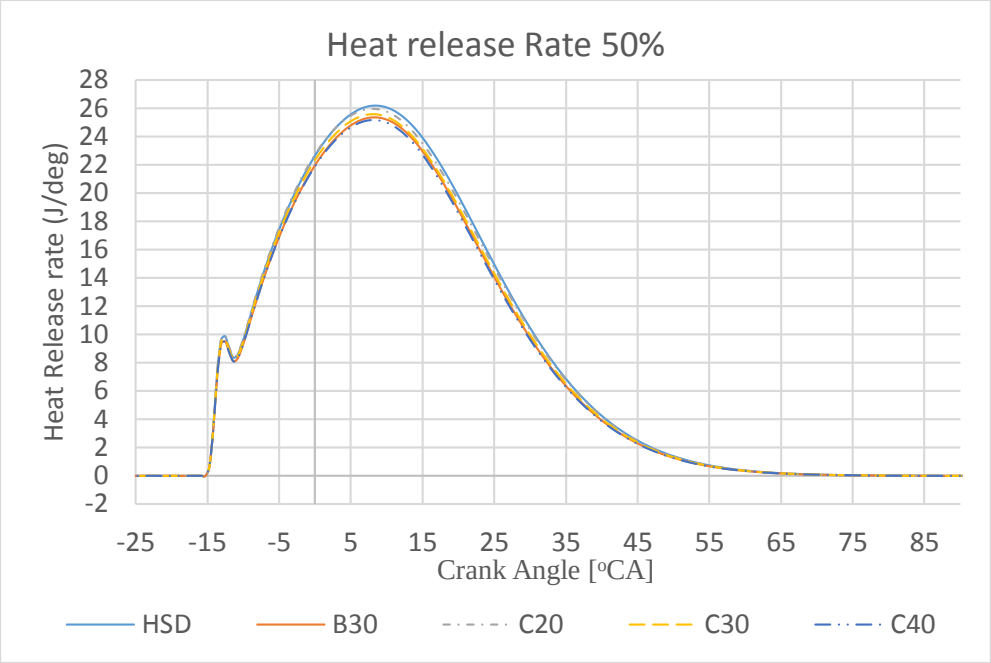
4.2.4 Hasil *Heat Release Rate* RPM 2200, Beban 25%, 50%, 75%, dan 100%

Untuk mengetahui hasil proses pembakaran, selanjutnya juga dianalisan rate of heat release (ROHR). ROHR merupakan rata-rata pelepasan panas dari bahan bakar dan udara selama proses pembakaran. Dalam rate of heat release (ROHR), dapat diketahui dianalisa dampak penggunaan Bahan Bakar HSD, B30, C20, C30, Dan 40 Kombinasi terhadap ROHR pada putaran 2200 RPM dengan variasi beban.



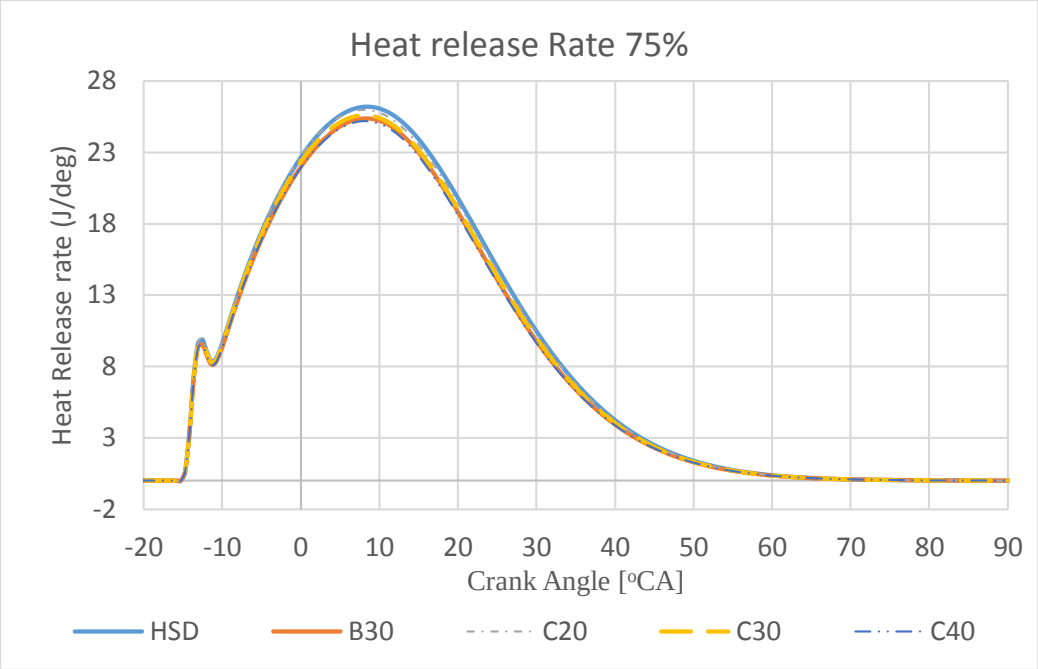
Gambar 4. 24 Hasil *Heat Release Rate* pada RPM 2200 terhadap Beban 25%

Grafik 4.24 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 2200 RPM dengan pembebanan 25% *load*. Pada grafik rate of heat release dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat penggunaan Bahan Bakar HSD, B30, C40**,** C30 Dan C20. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Dapat diamati dari grafik bahwa bahan bakar HSD Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai 26.5 J/deg pada posisi 8.14 ^{0}CA setelah TMA, kemudian bahan bakar C20 dengan nilai 26.47 J/deg pada posisi 8.14 ^{0}CA setelah TMA. Untuk bahan bakar B30 nilai tertingginya mencapai 26,14 J/deg pada posisi 8.27 ^{0}CA setelah TMA, lalu bahan bakar C30 dengan nilai 25.99 J/deg pada posisi 8.35 ^{0}CA setelah TMA dan C40 mencapai 25.6 J/deg pada posisi 8.41 ^{0}CA setelah TMA



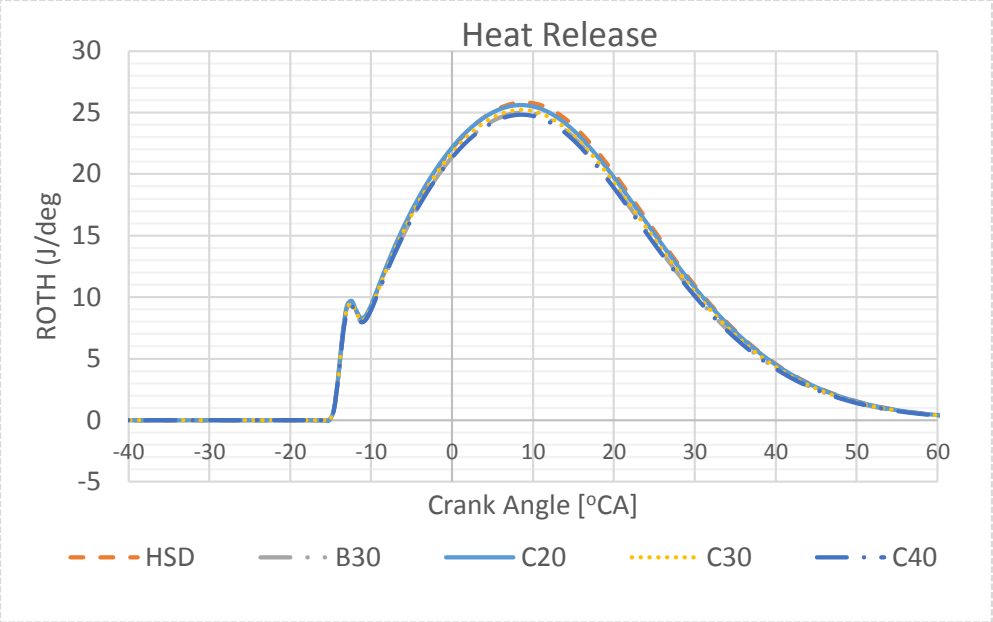
Gambar 4. 25 Hasil *Heat Release Rate* dengan RPM 2200 terhadap Beban 25%

Grafik 4.25 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 2200 RPM dengan pembebanan 50% *load*. Pada grafik rate of heat release dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat penggunaan Bahan Bakar HSD, B30, C40**,** C30 Dan C20. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Dapat diamati dari grafik bahwa bahan bakar HSD Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai 26.51 J/deg pada posisi 8.13 ^{0}CA setelah TMA, kemudian bahan bakar C20 dengan nilai 26.42 J/deg pada posisi 8.14 ^{0}CA setelah TMA. Untuk bahan bakar B30 nilai tertingginya mencapai 26,16 J/deg pada posisi 8.814 ^{0}CA setelah TMA, lalu bahan bakar C30 dengan nilai 26.1 J/deg pada posisi 8.34 ^{0}CA setelah TMA dan C40 mencapai 25.6 J/deg pada posisi 8.4 ^{0}CA setelah TMA



Gambar 4. 26 Hasil *Heat Release Rate* RPM pada 2200 terhadap Beban 75%

Grafik 4.26 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 2200 RPM dengan pembebanan 50% *load*. Pada grafik rate of heat release dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat penggunaan Bahan Bakar HSD, B30, C40**,** C30 Dan C20. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Dapat diamati dari grafik bahwa bahan bakar HSD Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai 26.5 J/deg pada posisi 8.14 ^{0}CA setelah TMA, kemudian bahan bakar C20 dengan nilai 26.43 J/deg pada posisi 8.13 ^{0}CA setelah TMA. Untuk bahan bakar B30 nilai tertingginya mencapai 26,16 J/deg pada posisi 8.81 ^{0}CA setelah TMA, lalu bahan bakar C30 dengan nilai 26.1 J/deg pada posisi 8.34 ^{0}CA setelah TMA dan C40 mencapai 25.6 J/deg pada posisi 8.4 ^{0}CA setelah TMA



Gambar 4. 27 Hasil *Heat Release Rate* pada RPM 2200 terhadap Beban 100%

Grafik 4.18 adalah grafik perbandingan *rate of heat release* (ROHR) pada 2200 RPM dengan pembebanan 100% *load*. Pada grafik rate of heat release dapat diperoleh informasi tentang perbandingan perubahan proses pelepasan panas atau heat release serta lama waktu tunda pembakaran atau ignition delay saat penggunaan Bahan Bakar HSD, B30, C40**,** C30 Dan C20. Dari karakteristik Mesin Yanmar bertipe TF-85 MH bahwa waktu pengijeksian yaitu pada posisi 18^0 sebelum TMA. Dapat diamati dari grafik bahwa bahan bakar HSD Untuk nilai tertinggi dari *heat release* dengan nilai 26.5 J/deg pada posisi 8.12 ^{0}CA setelah TMA, kemudian bahan bakar C20 dengan nilai 26.49 J/deg pada posisi 8.12 ^{0}CA setelah TMA. Untuk bahan bakar B30 nilai tertingginya mencapai 26,16 J/deg pada posisi 8.25 ^{0}CA setelah TMA, lalu bahan bakar C30 dengan nilai 26.5 J/deg pada posisi 8.12 ^{0}CA setelah TMA dan C40 mencapai 25.6 J/deg pada posisi 8.41 ^{0}CA setelah TMA

4.2.5 Hasil *Temperature* RPM 2200, Beban 25%, 50%, 75%, dan 100%

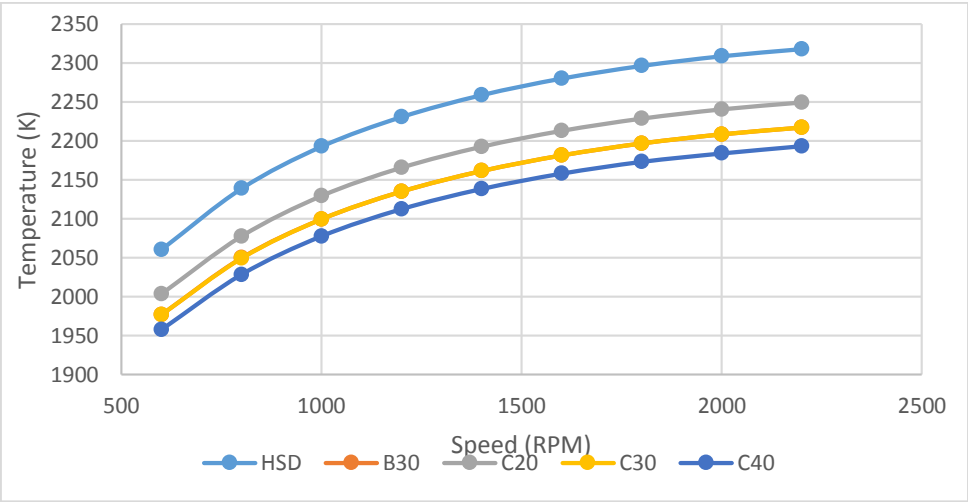
Pada tabel dibawah ini menjelaskan hasil dari temperatur didalam silinder berbasis simulasi dengan variasi beban 25% hingga 100 persen dengan bahan bakar yang berbeda.

Tabel 4. 3 Hasil Temperatur RPM 2200 variasi beban

Max Temperature 2200 RPM (bar)					
Beban	HSD	B30	C20	C30	C40
25	2317.556	2229.5957	2249.0583	2216.8674	2182.1306
50	2317.675	2229.7102	2249.1724	2216.9812	2185.6318
75	2317.795	2229.8254	2249.2866	2217.0974	2189.1787
100	2317.916	2229.942	2249.401	2217.21	2192.7424

Pada tabel 4.2 menunjukan bahwa ada perubahan disetiap maksimum temperature pada beban yang berbeda dimana menunjukan bahwa setiap kenaikan beban yang dihasilkan maka akan hasilkan kenaikan temperature juga sehingga akan mempengaruhi dari jumlah NOx nanti yang akan dihasilkan. Dimana pada maksimum temperatur yang tertinggi dimiliki oleh bahan bakar HSD pada beban penuh dengan temperature 2317.9 K dan untuk bahan bakar B30, C20, C30, dan C40 berurutan memiliki nilai 2229.942 K, 2249.401 K, 2217.21 K, dan 2192.7424 K. dimana dari 4 bahan bakar alternative yang ada C20 mengahasilkan temperature tertinggi dengan nilai 2249.40 K.

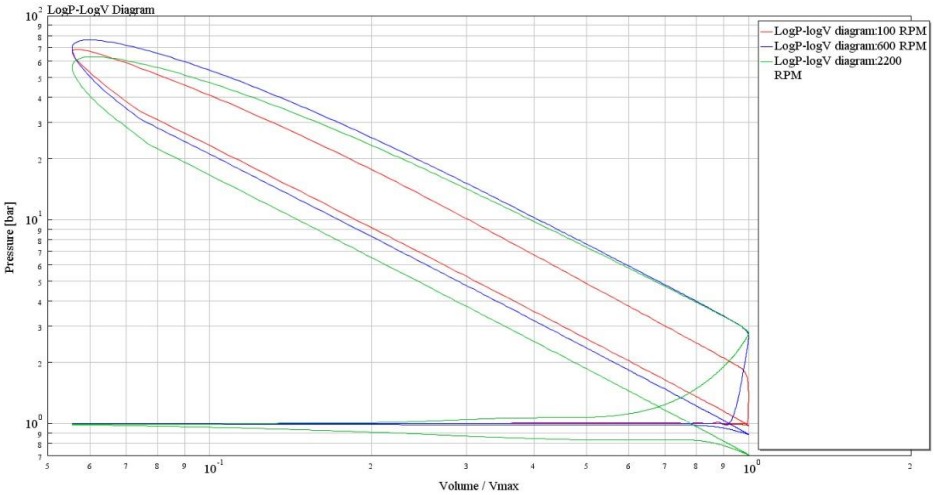
4.2.6 Hasil *Temperature* pada beban penuh dari 600 RPM hingga 2200 RPM



Gambar 4. 28 *Maximum Temperature* Silinder pada 600 RPM hingga 2200 RPM

Pada gambar 4.28 ditunjukan bahwa hubungan temperature dengan variasi *speed* berbanding lurus. Kenaikan temperature pada setiap bahan bakar berbanding lurus dengan kenaikan RPM. Dimana kenaikan tertinggi terdapat pada 2200 RPM dengan bahan bakar HSD menghasilkan temperature tertinggi bernilai 2317 K. lalu untuk 4 bahan bakar lainya mulai dari B30, C20, C30, dan C40 secara berurutan adalah 2317.8 K, 2217.2 K, 2249.4 K, 2217.2 K, dan 2193.3 K. dan temperature terendah berada pada RPM 600 secara berurutan dari HSD, B30, C20, C30, dan C40 adalah 2060.4 K, 1976.6 K, 2003.0 K, 1976.6 K, dan 1957.2 K. dari grafik tersebut kenaikan temperature cenderung naik pada 600 RPM hingga 1400 RPM, dan melandai hingga 2200.

4.2.7 Hasil *Log P – Log V diagram*



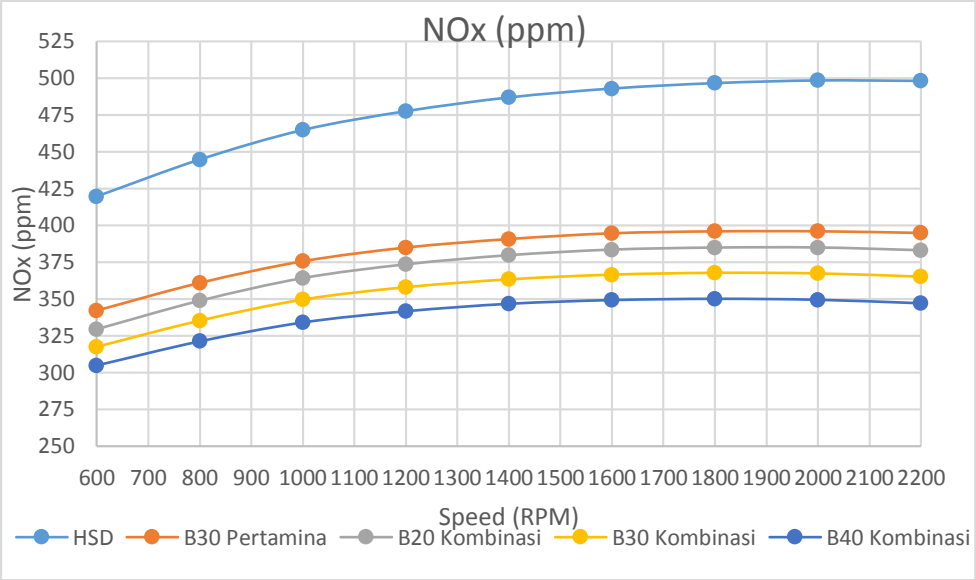
Gambar 4. 29 Diagram Log P - Log V 100 RPM, 600RPM, dan 2200 RPM

Pada diagram diatas adalam menunjukan perubahan tekanan pada variasi RPM pada diagram diatas dilakukan pada bahan bakar HSD sebagai referensi dan jika dibandingkan dengan bahan bakar lainnya maka hampir serupai dengan referensi HSD. Pada diagram diatas bisa terlihat bahwa terdapat perubanan tekanan terhadap 600 RPM dimana mengasilkan nilai tekanan yang tertinggi hal ini berbanding lurus dengan nilai torsi yang dihasilkan seperti pada gambar 4.15 bernilai 31.3 Nm. Sama halnya dengan nilai tekanan yang dihasilkan oleh 2200 yang mana lebih rendah dari pada 600 RPM maka torsi yang dihasilkan oleh 2200 RPM mengasilkan hasil yang lebih rendah sesuai dengan gambar 4.15 bernilai 27.5 Nm lalu pada 100 RPM mengalami penurunan tekanan. Dapat disimpulkan bahwa nilai dari *pressure cylinder* berbanding lurus dengan nilai torsi yang dihasilkan.

4.3. Grafik Perbandingan *NOx*

Pengujian Emisi NOx dan CO dilakukan dengan menggunakan *gas analyzer* untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. Pada penelitian ini menggunakan dua jenis bahan bakar yaitu dengan bahan bakar HSD, B30, C20**,** C30, Dan C40. Dimana perlakuan pada penelitian ini dengan *Full Load* dengan 600 sampai 2200 RPM

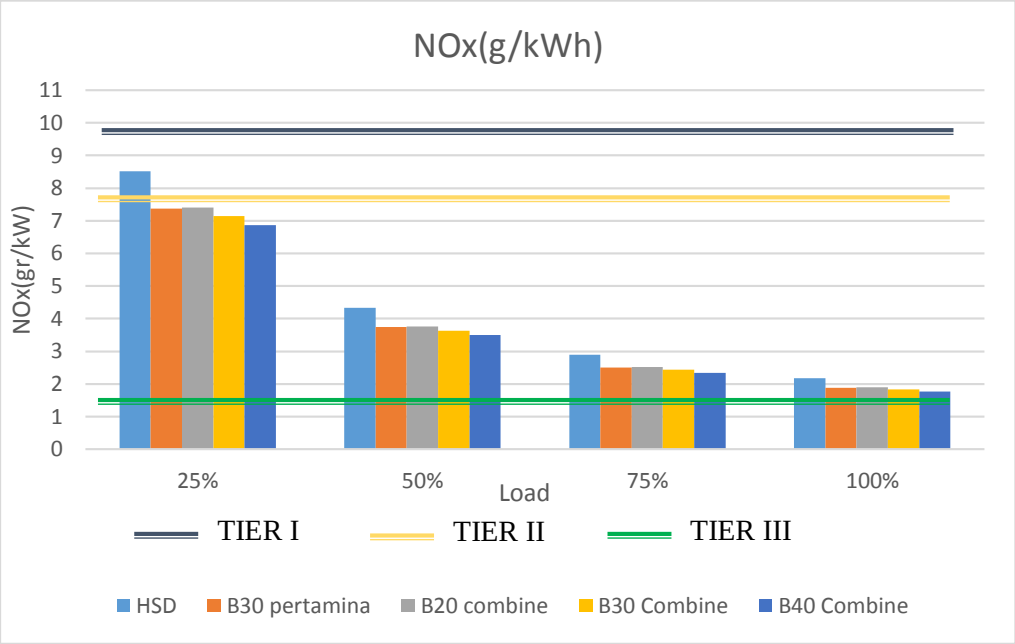
4.3.1 Hasil Simulasi Emisi NOx (ppm)



Gambar 4. 30 Hasil Perbandingan Emisi NOx terhadap RPM

Berdasarkan grafik simulasi NOx diatas menunjukan dari emisi yang paling maksimum terjadi pada 2000 RPM dimana terdapat pada HSD dengan nilai Maksimum diantara yang lain, dimana menghasilkan 498.3 ppm lalu selanjutnya adalah B30 dengan nilai sebesar 395.8 ppm. Dan untuk bahan bakar kombinasi, C20 memiliki emisi tertinggi diantara bahan bakar kombinasi yang lain. C20 menghasilkan nilai emisi sebesar 384.8 ppm lalu C30 bernilai sebesar 367 ppm dan terakhir terdapat pada emisi bahan bakar C40 dengan nilai sebesar 349.2 ppm. Terlihat pada grafik diatas *trend* grafik pada setiap penurunan RPM sebelum titik maksumumnya di 2000 RPM menghasilkan NOx yang hasilkan yang semakin rendah. Hal tersebut terjadi disetiap *trend* masing-masing bahan bakar. Hal ini disebabkan pada rantai molekul dari biodiesel jelantah memiliki rantai O terjadi pada proses pembakaran menjadikan proses pembentukan NOx berkurang.

4.3.2 Hasil Simulasi Emisi NOx (gr/kWh)



Berdasarkan grafik diatas menunjukkan perbandingan hasil nilai kadar emisi NOx antara HSD, B30, C20**,** C30, Dan C40 bedasarkan metode pengujian pada regulasi IMO marpol Annex VI. pada putaran 2200 RPM dan 4 variasi daya dari data tersebut jika dirata – rata nilai emisi NO_x tertingi adalah bahan bakar HSD dengan rata – rata 4,48 gr/kWh kemudian disusul dengannilai emisi NO_x dari C20 sebesar rata-rata 3.89 gr/kWh, untuk nilai emisi NO_x bahan bakar B30, C30, dan bahan bakar C40 secara berturut – turut 3.87 gr/kWh, 3.75 gr/kWh dan 3,61 gr/kWh. Dari data rata – rata tersebut menunjukan nilai emisi NO_x rata – rata yang meningkat dengan penambahan limbah plastik polipropilen terlihat dari nilai rata – rata emisi NO_x antara C20 hingga C40. Sedangkan C40 Menghasilkan NOx paling rendah dengan rata-rata 3.61 gr/kWh.

Nilai emisi NO_x pada daya 25% yang tertinggi adalah bahan bakar HSD dengan 8.5 gr/kWh kemudian disusul dengan nilai emisi NO_x dari bahan bakar C20 7.4 gr/kWh, untuk nilai emisi NO_x bahan bakar B30, C30, dan bahan bakar C40 secara berturut – turut 7.3 gr/kWh, 7.14 gr/kWh dan 6,8 gr/kWh. Dari data tersebut menunjukan nilai emisi NO_x yang meningkat dengan penambahan limbah plastik polipropilen, terlihat nilai emisi NO_x antara C30 dan C40 yang memiliki emisi NOx lebih rendah dari pada C20. Fenomena ini dikarenakan pembakaran yang terjadi pada HSD di ruang bakar lebih sempurna dan menghasilakan energi dan temperature lebih dari ke 4 bahan bakar lain sehingga menciptakan reaksi terbentuknya NO_x saat pembakaran dimana terjadi ketika proses oksidasi N_2 dengan O_2 yang berada pada udara bebas dengan temperature tinggi seperti yang telah di perlihatkan pada analisa pembakaran dimana HSD memiliki *heat release rate dan heat release* tertinggi lalu di susul oleh C20 dengan nilai 7.4 gr/kWh seterusnya sesuai dengan nilai *heat release rate* dan *heat release.*

Nilai emisi NO_x pada daya 50% yang tertinggi adalah bahan bakar HSD dengan 4.3 gr/kWh kemudian disusul dengan nilai emisi NO_x dari bahan bakar C20 3.76 gr/kWh, untuk nilai emisi NO_x bahan bakar B30, C30, dan bahan bakar C40 secara berturut – turut 3.74 gr/kWh, 3.6 gr/kWh dan 3,5 gr/kWh. Dari data tersebut menunjukan nilai emisi NO_x yang meningkat dengan penambahan limbah plastik polipropilen, terlihat nilai emisi NO_x antara C30 dan C40 yang memiliki emisi NOx lebih rendah dari pada C20. Fenomena dikarenakan pembakaran yang terjadi pada HSD di ruang bakar lebih sempurna dan menghasilakan energi dan temperature lebih dari ke 4 bahan bakar lain sehingga menciptakan reaksi terbentuknya NO_x saat pembakaran dimana terjadi ketika proses oksidasi N_2 dengan O_2 yang berada pada udara bebas dengan temperature tinggi seperti yang telah di perlihatkan pada Analisa pembakaran dimana HSD memiliki *heat release rate dan heat release* tertinggi lalu di susul oleh C20 dengan nilai 3.76 gr/kWh seterusnya sesuai dengan nilai *heat release rate* dan *heat release.*

Nilai emisi NO_x pada daya 75% yang tertinggi adalah bahan bakar HSD dengan 2.9 gr/kWh kemudian disusul dengan nilai emisi NO_x dari bahan bakar C20 2.5 gr/kWh, untuk nilai emisi NO_x bahan bakar B30, C30, dan bahan bakar C40 secara berturut – turut 2.5 gr/kWh, 2.4 gr/kWh dan 2,3 gr/kWh. Dari data tersebut menunjukan nilai emisi NO_x yang meningkat dengan penambahan limbah plastik polipropilen, terlihat nilai emisi NO_x antara C30 dan C40 yang memiliki emisi NOx lebih rendah dari pada C20. Fenomena ini dikarenakan pembakaran yang terjadi pada HSD di ruang bakar lebih sempurna dan menghasilakan energi dan temperature lebih dari ke 4 bahan bakar lain sehingga menciptakan reaksi terbentuknya NO_x saat pembakaran dimana terjadi ketika proses oksidasi N_2 dengan O_2 yang berada pada udara bebas dengan temperature tinggi seperti yang telah di perlihatkan pada Analisa pembakaran dimana HSD memiliki *heat release rate dan heat release* tertinggi lalu di susul oleh C20 dengan nilai 2.5 gr/kWh seterusnya sesuai dengan nilai *heat release rate* dan *heat release.*

Nilai emisi NO_x pada daya 100% yang tertinggi adalah bahan bakar HSD dengan 2.18 gr/kWh kemudian disusul dengan nilai emisi NO_x dari bahan bakar C20 1.89 gr/kWh, untuk nilai emisi NO_x bahan bakar B30, C30, dan bahan bakar C40 secara berturut – turut 1.88 gr/kWh, 1.83 gr/kWh dan 1,76 gr/kWh. Dari data tersebut menunjukan nilai emisi NO_x yang meningkat dengan penambahan limbah plastik polipropilen, terlihat nilai emisi NO_x antara C30 dan C40 yang memiliki emisi NOx lebih rendah dari pada C20. Fenomena ini dikarenakan pembakaran yang terjadi pada HSD di ruang bakar lebih sempurna dan menghasilakan energi dan temperature lebih dari ke 4 bahan bakar lain sehingga menciptakan reaksi terbentuknya NO_x saat pembakaran dimana terjadi ketika proses oksidasi N_2 dengan O_2 yang berada pada udara bebas dengan temperature tinggi seperti yang telah di perlihatkan pada Analisa pembakaran dimana HSD memiliki *heat release rate dan heat release* tertinggi lalu di susul oleh C20 dengan nilai 1.89 gr/kWh seterusnya sesuai dengan nilai *heat release rate* dan *heat release.*

4.4 Diskusi Hasil Dan Pembahasan

Dalam Sub bab ini akan membahas tentang hasil dan juga analisa terhadap hasil yang diperoleh pada simulasi. Dengan analisa terkait sub bab 4.1 Hasil Data Performa dimana terdiri dari 4.1.1 Hasil perbandingan SFOC terhadap Daya Pada bahan Bakar HSD, B30, C20, C30, dan C40. Lalu menganalisa terkait sub bab 4.2 yang berkaitan dengan proses pembakaran yang teridri dari hasil *max pressure, heat release, heat release rate.* Dan selanjutnya diskusi dan analisa terkait sub bab 4.3 Grafik Perbandingan NOx yang mana di hasilkan dari perbandingan secara satuan ppm dan gr/kWh.

4.4.1 Analisa hasil performa *power, sfoc, torque*

Seperti yang telah dijelaskan pada gambar 4.1 hingga gambar 4.5 terlihat bahwa setiap kenaikan dari putaran mesin berdampak besar dalam hal perubahan nilai SFOC dan juga *power* yang dihasilkan. Disetiap grafik mulai dari HSD, B30, C20, C30, C40 mengalami trenline yang hampir menyerupai yang memebedakan ialah pada nilai SFOC dan daya yang dihasilkan. Dapat di Analisa bahwa disetiap bahan bakar simulasi menggunakan kalibrasi yang presisi dibandingkan jika terlihat dari hasil ekperimen. Lalu dengan melihat *trendline* grafik masing-masing bahan bakar Dapat ditarik Analisa dimana setiap kenaikan RPM, daya yang dihasilkan juga ikut bertambah begitu pula sedangkan untuk SFOC yang dihasilkan cenderung berbalik dimana disetiap Kenaikan RPM maka SFOC akan mengalami penurunan, lalu di setiap kenaikan Pembenanan maka daya yang dihasilkan juga mengalami kenaikan begitu pula dengan SFOC akan mengalami penurunan. Dengan begitu bisa ditarik kesimpulan bahwa pada Analisa hasil performa power SFOC dan torsi mencapai optimum di RPM 2200 dan juga pada pembebanan 100%. Dengan hasil dimana menunjukan bahwa HSD menghasilkan Power tertinggi dan SFOC terendah dimana HSD ini dimasukan sebagai referensi dalam perbandingan. Namun jika dibandingkan dengan bahan bakar alternatif selain HSD, C20 menghasilkan nilai optimum dengan nilai SFOC rendah dan Power yang tinggi.

Lalu selanjutanya adalah hasil perbandingan SFOC dengan daya dengan variasi RPM dari 600 RPM hingga 2200 RPM. Dapat diketahui bahwa setiap grafik pada gambar 4.6 hingga 4.12 bahwa terlihat disetiap bahan bakar pada putaran mesin yang sama memiliki grafik yang menyerupai satu sama lain dan tumpang tindih. Hal ini dikarenakan pada grafik tersebut SFOC yang dihasilkan menyerupai satu sama lain pada setiap beban yang diberikan. Namun dihasilkan pada RPM terhilat bahwa daya yang dihasilkan pada sumbu X mengalai perubahan dimana HSD sebagia referensi menghasilkan daya paling maksimum. Dan jika dibandingkan dengan 4 bahan bakar alternatif selain HSD, C20 menghasilkan daya yang lebih tinggi daripada bahan bakar alternatif lainnya.

Pada grafik 4.15 Torsi pada grafik dimana menjelaskan perbandingan bahan bakar dengan variasi RPM dengan SFOC, daya, dan torsi pada beban maksimum. Hal ini guna menunjukan pada masing masing bahan bakar dimana letak RPM optimumnya. tersebut bahwa *trend* grafik pada penambahan setiap RPM bertambah beriringan dengan penambahan Torsi tersebut dan mencapai puncaknya pada RPM 1000 seperti bahan bakar HSD dengan nilai 33Nm lalu setelah mencapai titik

puncaknya di RPM 1000 torsi disetiap penambahan RPM terus mengalami penurunan nilai Torsi. Daya yang dihasilkan pada grafik diatas menunjukakan bahwa setiap penambahan RPM beriringan dengan penambahan daya yang dihasilkan sehingga terjadi daya yang paling optimum terdapat pada 2200 RPM dengan HSD memperoleh daya yang paling tinggi dengan 6.37 kW lalu selanjutnya C20 dengan 6.01 kW lebih tinggi daripada 4 bahan bakar alternatif lainnya. pada grafik *SFOC trend* grafik cenderung menurun seiring dengan penambahan RPM namun tren penurunan tersebut. Hal ini menunjukan pada penambahan RPM semakin sedikit konsumsi bahan bakar yang digunakan namun terlihat pada *trend* grafik tersebut mengalami penurunan terendah pada RPM 1700 dimana konsumsi bahan bakar pada RPM tersebut diseluruh bahan bakar mengalami titik terendah

Dari seluruh penjelasan yang pada Sub bab ini dapat ditarik kesimpulan bahwa Daya optimum di peroleh pada RPM maksimum di 2200 RPM, lalu untuk Torsi optimum terdapat pada 1000 RPM, dan *SFOC* optimum terdapat pada 1700 RPM. Dan dimana pada bahan bakar C20 menghasilkan hasil yang paling optimal dari pada 4 jenis bahan bakar alternatif yang lain dari segi daya yang dihasilkan, konsumsi bahan bakar, dan juga torsi yang dihasilkan

4.4.2 Analisa hasil proses pembakaran

Pada analisa proses pembakaran pada penelitian ini meliputi dari tekanan maksimum silinder pada variasi beban, lalu heat release energy yang dilepaskan dalam molekul di bahan bakar, dan heat release rate untuk menunjukan tahapan dari proses pembakaran. Diketahui dengan tidak adanya perubahan dalam konfigurasi simulasi mulai dari konfigurasi proses pembakaran dimana telah di atur dalam software maka akan dihasilkan kondisi yang nyaris serupa antara tekanan maksimal, *heat release, maximum temperature* dan *heat release rate.* Dengan begitu yang bisa dianalisa adalah perbedaan tekanan yang ada di masing-masing bahan bakar. Dimana pada maksimum *pressure,* energi *heat release, maximum temperature,* dan *heat release rate* tertinggi berada pada HSD pertamina lalu jika dibandingkan dengan 4 bahan bakar yang lain C20 memiliki maksimum *pressure,* energi *heat release, maximum temperature,* dan *heat release rate* tertinggi daripada bahan bakar alternatif yang lain. Perbedaan ini dikarenakan adanya perbedaan nilai kalor yang ada di masing-masing bahan bakar. Dimana HSD memiliki nilai kalor yang tertinggi, lantas pada bahan bakar kombinasi dengan adanya penambahan polipropilen yang memiliki nilai kalor cukup tinggi maka akan mengalami kenaikan maksimum *pressure,* energi *heat release, maximum temperature,* dan *heat release rate* seraya dengan jumlah proporsi penambahan dari polipropilen. C20 memiliki maksimum *pressure,* energi *heat release, maximum temperature,* dan *heat release rate* yang tinggi dibandingka dengan 4 bahan bakar alternatif yang lain selain HSD. Hal ini berakitan erat dengan emisi yang dihasilkan utamanya pada temperature yang dihasilkan oleh simulasi sesuai dengan hasil dari NOx yang disimulasikan dimana setiap kenaikan temperature maka akan sejalan dengan kenaikan NOx yang dihasilkan.

4.4.3 Analisa hasil perbandingan NOx

Dari data tersebut menunjukan nilai emisi NO_x yang meningkat dengan penambahan limbah plastik polipropilen, terlihat nilai emisi NO_x antara C30 dan C40 yang memiliki emisi NOx lebih rendah dari pada C20. Fenomena ini dikarenakan pembakaran yang terjadi pada HSD di ruang bakar lebih sempurna dan lebih banyak menghasilakan energi dan temperature lebih dari ke 4 bahan bakar lain sehingga menciptakan reaksi terbentuknya NO_x saat pembakaran dimana terjadi ketika proses oksidasi N_2 dengan O_2 yang berada pada udara bebas dengan temperature tinggi. Hal ini disebabkan pada rantai molekul dari biodiesel jelantah memiliki rantai O terjadi pada proses pembakaran menjadikan proses pembentukan NOx berkurang. seperti yang telah di perlihatkan pada Analisa pembakaran dimana HSD memiliki *heat release rate dan heat release* tertinggi lalu di susul oleh C20.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi performa, proses pembakaran dan emisi NOx pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar HSD, B30, C20, C30 dan C40, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

a. Dalam hal performansi berupa daya, torsi dan *SFOC* HSD memiliki daya, torsi dan SFOC yang paling optimal dari pada yang lain. Jika dibandingkan dengan bakan bakar alternatif yang lain C20 menghasilkan daya, torsi dan SFOC yang paling optimal
b. Melihat hasil penggunaan bahan bakar HSD, B30, C20, C30 dan C40 terhadap proses pembakaran (Combustion) dapat ditarik beberapa kesimpulan.
   - Pada grafik Maksimum Pressure yang dihasilkan antara kelima bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini tekanan maksimal dihasilkan oleh Bahan bakar HSD dengan beban maksimum. Sedangkan untuk 4 bahan bakar alternative C20 menghasilkan tekanan maksimum
   - Pada grafik *Heat release (energy)* dari kelima bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan bahwa HSD menghasilkan *Heat release* tertinggi. Lalu dari 4 bahan bakar alternative C20 medapatakan lebih tinggi dari yang lain.
   - Pada grafik *Heat release rate* dari kelima bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini dihasilkan bahwa HSD menghasilkan *Heat release* tertinggi, lalu dari 4 bahan bakar alternative C20 medapatakan nilai lebih tinggi dari 4 bahan bakar altenatif lain.
c. Pada Emisi NOx, bahan bakar HSD menghasilkan NOx tertinggi pada setiap pembenanan, pada bahan bakar kombinasi penambahan kandungan Poliproplilen meningkatkan kandungan NOx, C40 memiliki NOx terendah karena memiliki proporsi bahan bakar jelantah yang tinggi akan kandungan O.

5.2 Saran

Agar penelitian ini dapat dikembangkan dengan lebih baik lagi, penulis memiliki beberapa saran, diantaranya :

a. Peneliti selanjutnya dapat melakukan penelitian terkait pengoptimalan pada pengkalibrasian Mesin YANMAR TF 85 terutama perhintungan *Engine friction* atau FMEP untuk menghasilkan optimalisasi pengkalibrasian
b. Peneliti selanjutnya dapat melakukan penelitian karakteristik bahan bakar yang diteliti sebelumnya dengan uji lab yang lebih komprehensif untuk hasil yang lebih akurat.
c. Peneliti selanjutnya dapat melakukan penelitian bisa mengoptimalkan emisi simulasi dengan menambahkan EGR pada rancangan simulasi

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

Alhaq, S., 2016. *Analisa emisi berbasis eksperimen dan kelayakan ekonomis bahan bakar biodiesel umbi porang (amarphallus onchophillus)*.. Surabaya.: ITS Surabaya.

Arcoumanis, C., 1988. *Internal Combustion Engines.* London: Academic Press.

Atsonios, K. K., 2015. Alternative thermochemical routes for aviation biofuels via alcohols synthesis: Process modeling, techno-economic assessment and comparison. *Applied Energy,* pp. 346-366.

Bintarasari, S., 2017. *Efisisensi Kinerja Perengkahan Katalitik Limbah Plastik Polipropilena (Pp) Dengan Katalis Al-MCM-41*.. surabaya: ITS.

Budi, F. S., 2016. *Analisa engine perform dan combustion process dari mesin diesel berbahan bakar biodiesel – minyak kemiri sunan.* Surabaya: ITS Surabaya.

Darsono, D., 2010. *Simulasi CFD Penggunaan EGR terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Motor Diesel.* Depok: FT-UI.

Demirbas, A., 2015. Pyrolytic Distillation of No. 4 Fuel Oil. *Petroleum Science and Technology* , 33(17-18), pp. 1611-1618.

Dudley, B., 2015. *BP's Dudley: Gas to be No.1 fuel during this century.* [Online] Available at: https://www.offshore-energy.biz/bps-dudley-gas-to-be-no-1-fuel-during-this-century/

Fathallah, A. Z. M. T. B., 2003. Biodiesel sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Fosil pada Motor Diesel. *Laporan Riset– Riset Unggulan Terpadu VIII Bidang Teknologi Energi.*

Gad, S., 2020. Enhancing the combustion and emission parameters of a diesel engine fueled. *Fuel,* Volume 269, p. 13.

Gamma Technologies, 2016. *Engine Performance Application Manual.* Westmont: Gamma Technologies LLC.

Hanifa, R., 2017. *Studi Eksperimental Pengaruh Pengaturan Start Of Injection Dan Durasi Injeksi Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel Diamond Tipe Di 800 Sistem Injeksi Bertingkat Berbahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah.* Surabaya: ITS Surabaya.

Jambeck, J., 2015. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science,* pp. 768-771.

Jonathon, M., 2007. Modeling Biodiesel Combustion Using GT-Power. *ASABE Annual International Meeting,* p. 18.

Jothithirumal B, J., 2012. Combined impact of biodiesel and exhaust gas recirculation on NOx emissions in DI diesel engines. *Procedia Eng.,* p. 1457–1466.

Kaya, C., 2009. Methyl ester of peanut (Arachis hypogea L.) seed oil as a potential

feedstock for biodiesel production.. *Renewable Energy.*, p. 34.

McCrady, J., 2008. Combustion and Emissions Modeling of Biodiesel. *ASABE Annual International Meeting,* p. 18.

Muwaffaq, A. H., 2016. *Prediksi Performa Marine Diesel 4.* Surabaya: ITS Surabaya.

Nariati, S., 2016. *Analisis pengaruh angka iodin terhadap performa motor diesel dengan bahan bakar biodiesel b20 dan b30 dari waste cooking oil..* Surabaya: ITS Surabaya.

National Institute of Standard and technology, 2020. *Isothermal Properties for Propylene.* [Online]
Available at:
https://webbook.nist.gov/cgi/fluid.cgi?TUnit=K&PUnit=MPa&DUnit=mol%2Fl&HUnit=kJ%2Fmol&WUnit=m%2Fs&VisUnit=uPa*s&STUnit=N%2Fm&Type=IsoTherm&RefState=DEF&Action=Page&ID=C115071

Nurdianto, P., 2016. Pengujian Bahan Bakar Biofull Hasil Pirolisis Botol Plastik Pada Sepeda Motor. *Jurnal Elemen,* pp. 1-6.

pertamina, 2006. *Pertamina Industrial Fuel Pertamina dex,* jakarta: Pertamina industrial Fuel marketing.

Prahara, A. J., 2017. *Pengaruh penggunaan bahan bakar emulsi dari metanol dengan diesel oil terhadap performa, NOx dan combustion process pada diesel engine.* Surabaya: TS Surabaya..

Raheman, H., Jena, P. & Jadav, 2013. Performance of a diesel engine with blends of biodiesel (from a mixture of oils) and high-speed diesel. *International Journal of Energy and Environmental Engineering volume 4,* p. 6.

RIFALDI, 2018. *PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH PLASTIK PP DAN KO-REAKTAN MINYAK JELANTAH MENGGUNAKAN METODE KONVERSI KATALITIK.* SURABAYA: ITS Surabaya.

Sadef, Y., 2016. Waste-to-energy and recycling value for developing integrated solid waste management plan in Lahore. *Economics Planning and Policy,* pp. 569-579.

Sahoo, P., 2009. Process Optimization for Biodiesel Production from Jatropha, Karanja and Polanga Oils. *fuel,* p. 88.

Supramono, D., 2016. Improving bio-oil quality through co-pyrolysis of corn cobs and polypropylene in a stirred tank reactor. *International Journal of Technology,* pp. 1381-1391.

Wibawa, G. S., 2006. Emulsifikasi campuran sampah plastik polipropilen dan high speed diesel dengan air untuk menghasilkan bahan bakar cair. *Simposiun Nasional Polimer VI. ISSN 1410-8720.*

Zahrina, I. B. S., 2008. Bahan bakar alternatif dari campuran sampah plastik polipropilen dan minyak solar. *Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia,* pp. SSN 1907-0500.

LAMPIRAN

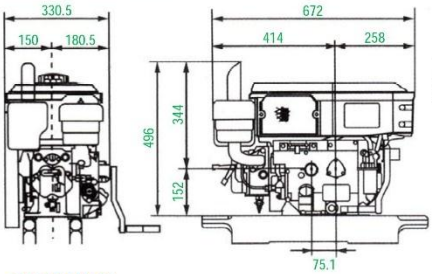
Lampiran 1 : Spesifikasi Mesin Yanmar TF 85 MH-di

YANMAR Motor Diesel

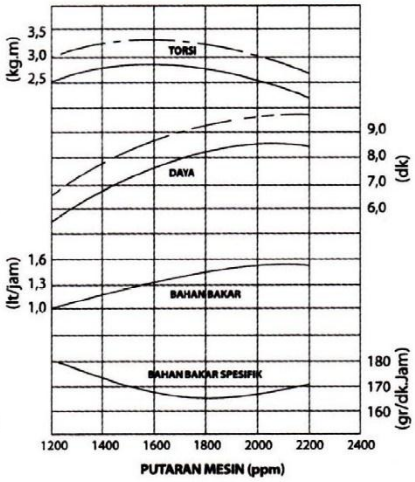
TF 85 MH-di

www.lukesindonesia.com

DIMENSI *dalam milimeter



GRAFIK KARAKTERISTIK



SPESIFIKASI

1	Jenis Mesin	Motor diesel horizontal 4 (empat) langkah berpendingin air
2	Sistem Pembakaran	Pengabutan langsung (direct injection)
3	Jumlah Silinder	1 (satu) silinder
4	Saat Pengabutan	18^0 sebelum TMA
5	Diameter x Panjang Langkah	85 mm x 87 mm
6	Volume Silinder	493 cc
7	Daya Kontinyu	7.5 dk / 2200 ppm
8	Daya Maksimum Sesaat	8.5 dk / 2200 ppm
9	Torsi Maksimum	3.44 kg,m / 1600 ppm
10	Perbandingan Kompresi	18
11	Arah Putaran Poros	Berlawanan dengan arah putaran jarum jam (dilihat dari sisi roda gaya)
12	Pemakaian Bahan Bakar	171 gr / dk,jam
13	Pompa Bahan Bakar	Tipe Bosch
14	Tekanan Injektor	200 kg/cm^2
15	Sistem Pelumasan	Pelumasan paksa menggunakan pompa & katup regulator hidrolik (pompa jenis trochoidal)
16	Kapasitas Tanki Bahan Bakar	10.5 liter
17	Kapasitas Minyak Pelumas	2.2 liter
18	Jenis Minyak Pelumas	SAE 40 kelas CC atau CD
19	Sistem Pendinginan	Hopper
20	Kapasitas Tanki Pendingin	8.9 liter
21	Cara Menghidupkan	Manual (engkol)
22	Dimensi Mesin (P x L X T)	672 mm x 330.5 mm x 496 mm
23	Lampu	
24	Berat Kosong	93 kg
25	Ukuran Kemasan (P X L X T)	780 mm x 480 mm x 700 mm
26	Berat Kotor	123.5 kg

www.lukesindonesia.com

Lampiran 1. 1 Spesifikasi MesinYanmar TF 85 MH-di

Lampiran 2 :

Data Hasil Performa Simulasi Mesin Diesel dengan bahan bakar HSD, B30, C20, C30, C40.

Tabel Perfoma HSD

HSD full load			
RPM	**Torsi(Nm)**	**Power(kW)**	**SFOC (g/kW-h)**
600	31.322994	1.9680817	259.3828
700	32.124866	2.3548758	249.62411
800	32.626232	2.7332888	242.59444
900	32.902378	3.100976	237.3806
1000	33.016506	3.4574807	233.39514
1100	32.98369	3.799448	230.46034
1200	32.838024	4.126548	228.27345
1300	32.58867	4.4364805	226.7198
1400	32.26322	4.7300353	225.60197
1500	31.860826	5.004687	224.94159
1600	31.394941	5.260273	224.64995
1700	30.869135	5.4954343	224.71004
1800	30.293537	5.710197	225.04825
1900	29.669315	5.9032307	225.66508
2000	29.009365	6.075707	226.51344
2100	28.309484	6.2255807	227.60675
2200	27.583725	6.354834	228.89148

B30 full beban			
RPM	**Torsi(Nm)**	**Power(kW)**	**SFOC (g/kW-h)**
600	29.732498	1.868148	273.0339
700	30.471237	2.2336583	262.97607
800	30.927061	2.5909395	255.73683
900	31.169907	2.9376945	250.4017
1000	31.261173	3.2736623	246.34447
1100	31.207832	3.5948842	243.42744
1200	31.059782	3.9030874	241.20848
1300	30.81457	4.1949625	239.65274
1400	30.494724	4.4707603	238.5825
1500	30.096842	4.7276006	238.03632
1600	29.650452	4.967981	237.79195
1700	29.13893	5.1874166	237.9782
1800	28.585938	5.3883224	238.43713
1900	27.982512	5.567611	239.21239
2000	27.350454	5.728266	240.18721
2100	26.670204	5.865084	241.53433
2200	25.963947	5.9816637	243.12636

C40 Full load			
RPM	**Torsi(Nm)**	**Power(kW)**	**SFOC (g/kW-h)**
600	29.172606	1.832969	278.1988
700	29.88069	2.190369	268.10138
800	30.319595	2.5400486	260.7926
900	30.55766	2.8799915	255.35316
1000	30.633411	3.2079234	251.32838
1100	30.59254	3.5240076	248.26743
1200	30.438295	3.8249888	246.08282
1300	30.188103	4.1096783	244.56999
1400	29.870605	4.3792596	243.51971
1500	29.475191	4.629952	243.01624
1600	29.027996	4.8636875	242.84804
1700	28.525627	5.078234	243.064
1800	27.980558	5.274211	243.55031
1900	27.384644	5.448655	244.38889
2000	26.756973	5.603967	245.48462
2100	26.091969	5.737923	246.86435
2200	25.403429	5.85253	248.45958

C30 FULL LOAD			
RPM	**Torsi(Nm)**	**Power(kW)**	**SFOC (g/kW-h)**
600	29.684166	1.8651112	273.4904
700	30.421463	2.2300098	263.39847
800	30.87406	2.5864992	256.16635
900	31.11803	2.9328053	250.80736
1000	31.208445	3.2681406	246.74419
1100	31.155441	3.588849	243.8215
1200	31.009663	3.896789	241.58
1300	30.76135	4.1877174	240.04945
1400	30.441813	4.4630027	238.97664
1500	30.044033	4.719306	238.43321
1600	29.59247	4.958266	238.23953
1700	29.087257	5.178218	238.38025
1800	28.532988	5.378341	238.84389
1900	27.93285	5.55773	239.6189
2000	27.300829	5.717872	240.60312
2100	26.620882	5.8542376	241.95534
2200	25.923515	5.972349	243.47255
C20 FULL LOAD			
RPM	**Torsi(Nm)**	**Power(kW)**	**SFOC (g/kW-h)**
600	30.19375	1.8971293	268.93747
700	30.949444	2.2687128	258.96008
800	31.419899	2.6322274	251.76971
900	31.671038	2.984925	246.47368
1000	31.762928	3.3262062	242.4811
1100	31.728329	3.6548412	239.45804
1200	31.573864	3.9676888	237.2951
1300	31.327631	4.264808	235.73256
1400	31.006992	4.5458627	234.6391
1500	30.606087	4.807593	234.07056
1600	30.156977	5.05285	233.79317
1700	29.641247	5.276841	233.94081
1800	29.080112	5.481472	234.35919
1900	28.472698	5.6651425	235.07854
2000	27.83323	5.8293777	236.01196
2100	27.141157	5.9686522	237.32327
2200	26.437584	6.090782	238.73663

RPM	Power Smulas	Manual guide	Margin error(%)	Simulasi	Manual guide2	Margin error(%)3	Simulasi4	Manual guide5	Margin error(%)6
1200	5.46	6.48	15.72	173.83	181.1	4.02	3.3	3	10.09
1300	5.87	6.15	4.61	172.43	177.1	2.64	3.28	3.15	4.09
1400	6.27	6.77	7.38	171.34	173.3	1.13	3.26	3.25	0.18
1500	6.63	7.26	8.71	170.61	169.9	0.42	3.21	3.29	2.29
1600	6.99	7.65	8.59	170.11	167.3	1.68	3.18	3.3	3.6
1700	7.32	7.97	8.14	169.82	165.7	2.49	3.14	3.27	4.11
1800	7.62	8.27	7.8	169.74	165.1	2.81	3.09	3.23	4.47
1900	7.9	8.48	6.8	169.84	165.5	2.62	3.03	3.15	3.78
2000	8.16	8.58	4.91	170.06	166.7	2.02	2.97	3.03	1.87
2100	8.39	8.57	2.15	170.5	168.8	1.01	2.91	2.86	1.79
2200	8.59	8.5	1.07	171.01	171	0.01	2.85	2.68	6.25
rata-rata	POWER	SFOC	TORQUE						
margin of	6.89	1.89	3.87						
error									

	Tabel Performa pada RPM 2200 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	2197.5798	2.9767396	0.6850372	2120.9617
	25%	2196.487	7.113174	1.636141	887.5855
	50%	2194.663	14.006565	3.219053	450.7565
	75%	2192.8364	20.899956	4.7993255	302.08438
	100%	2191.0063	27.793072	6.3768883	227.16273
B30	Beban	RPM engine	torsi(Nm)	power (kW)	sfoc(g/HP-h)
	10%	2196.9617	2.8109834	0.6467097	2245.6687
	25%	2195.9358	6.6934924	1.5392213	943.08575
	50%	2194.2236	13.164008	3.0248067	479.53006
	75%	2192.5142	19.633524	4.5078483	321.5183
	100%	2190.7969	26.10404	5.9887815	241.82225
C40	Beban	RPM engine	torsi(Nm)	power (kW)	sfoc(g/HP-h)
	10%	2196.737	2.7469335	0.6319094	2297.685
	25%	2195.7358	6.5304747	1.5015972	966.4823
	50%	2194.0657	12.837043	2.949465	491.66992
	75%	2192.3945	19.144611	4.395354	329.67963
	100%	2190.7185	25.45118	5.8387933	247.98804
C30	Beban	RPM engine	torsi(Nm)	power (kW)	sfoc(g/HP-h)
	10%	2196.9414	2.7936614	0.6427186	2259.2766
	25%	2195.921	6.6511827	1.5294813	948.9522
	50%	2194.2205	13.079718	3.0054345	482.55276
	75%	2192.5142	19.509253	4.4793153	323.52106
	100%	2190.809	25.937788	5.950673	243.33818
C20	Beban	RPM engine	torsi(Nm)	power (kW)	sfoc(g/HP-h)
	10%	2197.1448	2.846918	0.6550316	2217.0088
	25%	2196.1042	6.783414	1.5600189	930.4522
	50%	2194.371	13.345906	3.0668092	472.92725
	75%	2192.6333	19.907398	4.570978	317.05008
	100%	2190.8909	26.46989	6.072975	238.44612

RPM 2000 variasi beban					
HSD	**Beban**	**RPM e**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	2000.3811	3.065975	0.642259	2143.1904
	25%	1999.1208	7.415467	1.552409	886.11664
	50%	1997.016	14.66595	3.067047	448.04242
	75%	1994.9075	21.91544	4.578271	299.83286
	100%	1992.7946	29.16529	6.086357	225.301
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1999.6755	2.894359	0.606095	2269.6633
	25%	1998.4877	6.983921	1.461603	940.62067
	50%	1996.5048	13.79952	2.885115	476.04688
	75%	1994.5181	20.61513	4.305788	318.6602
	100%	1992.5271	27.43173	5.723821	239.47523
C40	**Beban**	**RPM**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1999.4285	2.827174	0.591953	2323.3784
	25%	1998.27	6.814766	1.426047	963.877
	50%	1996.3365	13.45942	2.813771	488.02972
	75%	1994.3997	20.10507	4.199005	326.7134
	100%	1992.4569	26.74972	5.581319	245.55754
C30	**Beban**	**RPM**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1999.6592	2.876355	0.60232	2283.6765
	25%	1998.4803	6.937927	1.451972	946.77637
	50%	1996.5126	13.70655	2.865687	479.23563
	75%	1994.5399	20.47617	4.27681	320.7957
	100%	1992.5641	27.24579	5.685128	241.08923
C20	**Beban**	**RPM**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1999.8859	2.931528	0.613943	2240.8264
	25%	1998.684	7.077077	1.481244	928.2145
	50%	1996.6779	13.98566	2.924284	469.69867
	75%	1994.6669	20.89524	4.364619	314.37997
	100%	1992.652	27.80382	5.801825	236.26411

	RPM 1800 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1803.4565	3.149356	0.59477955	2164.7407
	25%	1801.9958	7.691929	1.4515021	886.3237
	50%	1799.5559	15.26355	2.8764017	446.65485
	75%	1797.1089	22.83417	4.297227	298.56738
	100%	1794.6564	30.40533	5.714256	224.22183
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1998.424	2.9729	0.561214	2292.6514
	25%	1997.698	7.2476	1.367109	940.4414
	50%	1997.335	14.371	2.707401	474.27313
	75%	1996.971	21.496	4.044441	317.07825
	100%	1996.244	28.62	5.377843	238.1545
C40	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1802.3729	2.9025	0.547838	2347.8289
	25%	1801.0317	7.0722	1.333844	963.58466
	50%	1798.7921	14.021	2.641121	486.0337
	75%	1796.547	20.97	3.945126	324.97607
	100%	1794.2965	27.918	5.24566	244.09999
C30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1802.6322	2.954	0.557624	2307.0427
	25%	1801.2678	7.1996	1.358051	946.568
	50%	1798.989	14.276	2.68952	477.35724
	75%	1796.7043	21.353	4.017598	319.15372
	100%	1794.4141	28.43	5.342272	239.71013
C20	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1802.8936	3.0094	0.568172	2264.6404
	25%	1801.4996	7.341	1.384905	928.3736
	50%	1799.1727	14.559	2.742998	468.11868
	75%	1796.8394	21.777	4.097747	312.94843
	100%	1794.5001	28.996	5.44895	235.03865

	RPM 1600 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1607.8345	3.2238	0.5424688	2187.7822
	25%	1606.0094	7.9324	1.3333956	889.1222
	50%	1602.9584	15.778	2.647546	447.00275
	75%	1599.8964	23.625	3.9571846	298.53577
	100%	1596.8219	31.472	5.2621083	224.103
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1968.576	3.0419	0.511569	2317.8757
	25%	1960.297	7.4756	1.2559662	943.15765
	50%	1956.147	14.864	2.493209	474.32974
	75%	1951.988	22.253	3.7262993	316.8359
	100%	1943.637	29.642	4.9552164	237.85864
C40	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1605.652	2.9712	0.4995835	2372.6184
	25%	1604.0898	7.2989	1.226074	965.8208
	50%	1601.4795	14.51	2.4333994	485.83917
	75%	1598.86	21.722	3.636929	324.53397
	100%	1596.2327	28.933	4.8363113	243.65004
C30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1699.0475	2.938	0.5027395	2338.0857
	25%	1682.4825	7.346	1.2442849	947.4634
	50%	1654.507	14.691	2.4953558	475.7079
	75%	1626.0327	22.037	3.7024104	318.44113
	100%	1596.6378	29.382	4.8626563	239.83743
C20	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1606.2343	3.0805	0.5181545	2288.7466
	25%	1604.6161	7.5722	1.272399	931.0991
	50%	1601.912	15.058	2.5260231	468.21942
	75%	1599.199	22.544	3.7753866	312.74414
	100%	1596.477	30.029	5.0203013	234.79076

	RPM 1400 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1411.8307	3.2827	0.484972	2217.2175
	25%	1409.7075	8.1215	1.198146	896.2
	50%	1406.1555	16.185	2.382192	449.69247
	75%	1402.5851	24.248	3.560455	300.16293
	100%	1398.9963	32.313	4.733221	225.25192
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1801.195	3.0984	0.457405	2348.079
	25%	1800.355	7.6593	1.129202	949.8741
	50%	1799.935	15.261	2.244976	476.71686
	75%	1799.515	22.862	3.355593	318.22266
	100%	1798.674	30.465	4.461311	238.81374
C40	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1409.3712	3.0267	0.446706	2403.2922
	25%	1407.5414	7.4786	1.10232	972.6491
	50%	1404.4822	14.899	2.191253	488.23212
	75%	1401.4087	22.319	3.275399	325.9142
	100%	1398.3218	29.739	4.354726	244.59576
C30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1409.6974	3.0794	0.454595	2362.4397
	25%	1407.8387	7.6123	1.122268	955.68787
	50%	1404.731	15.165	2.230874	479.70905
	75%	1401.6086	22.719	3.334676	320.20856
	100%	1398.4728	30.273	4.433348	240.3156
C20	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1410.0374	3.1382	0.46338	2318.3625
	25%	1408.143	7.758	1.144001	937.7969
	50%	1404.9747	15.457	2.27418	470.68698
	75%	1401.7914	23.157	3.39936	314.17722
	100%	1398.5935	30.857	4.519359	235.77791

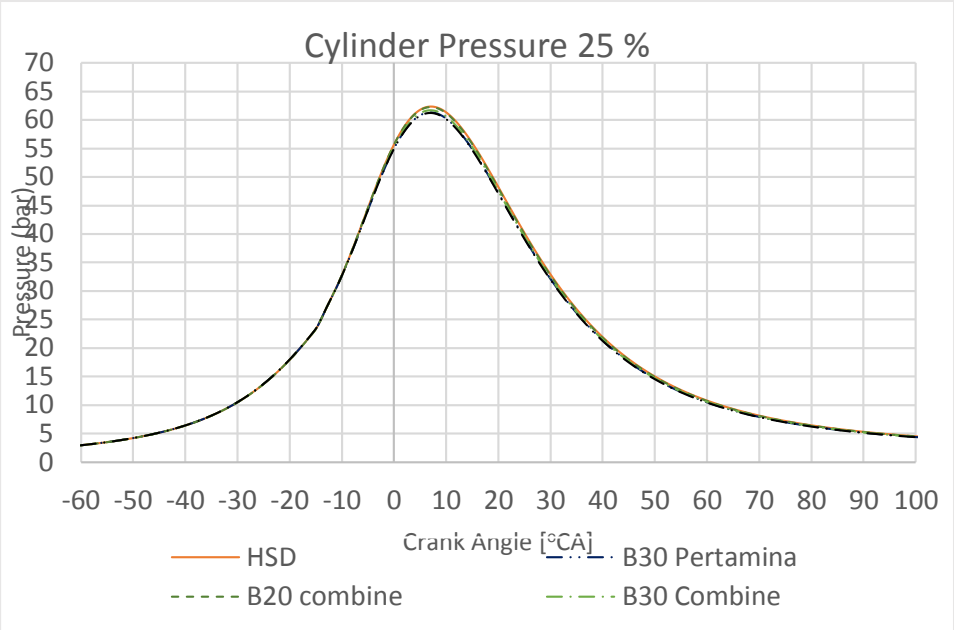
	RPM 1200 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1216.4854	3.3197	0.4225	2258.031
	25%	1213.9943	8.2446	1.0472	909.19293
	50%	1209.8192	16.452	2.083	455.6297
	75%	1205.6144	24.66	3.1121	303.97113
	100%	1201.3802	32.867	4.1342	228.06696
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1702.689	3.1341	0.3985	2390.4202
	25%	1701.785	7.7801	0.9874	962.9533
	50%	1701.333	15.523	1.964	482.61826
	75%	1700.88	23.266	2.9345	322.01382
	100%	1699.973	31.009	3.8991	241.60333
C40	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1213.6532	3.0613	0.3891	2446.8162
	25%	1211.4988	7.5983	0.964	985.7974
	50%	1207.8904	15.16	1.9175	494.09946
	75%	1204.2604	22.721	2.8653	329.66733
	100%	1200.6085	30.281	3.8072	247.35918
C30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1214.0568	3.1151	0.396	2404.86
	25%	1211.8636	7.7331	0.9814	968.7494
	50%	1208.1906	15.428	1.952	485.56155
	75%	1204.4946	23.125	2.9168	323.9583
	100%	1200.7754	30.821	3.8756	243.06282
C20	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1214.4355	3.173	0.4035	2361.2988
	25%	1212.2013	7.8779	1	951.0521
	50%	1208.4633	15.72	1.9894	476.6047
	75%	1204.7018	23.561	2.9724	317.9904
	100%	1200.9164	31.404	3.9493	238.58052

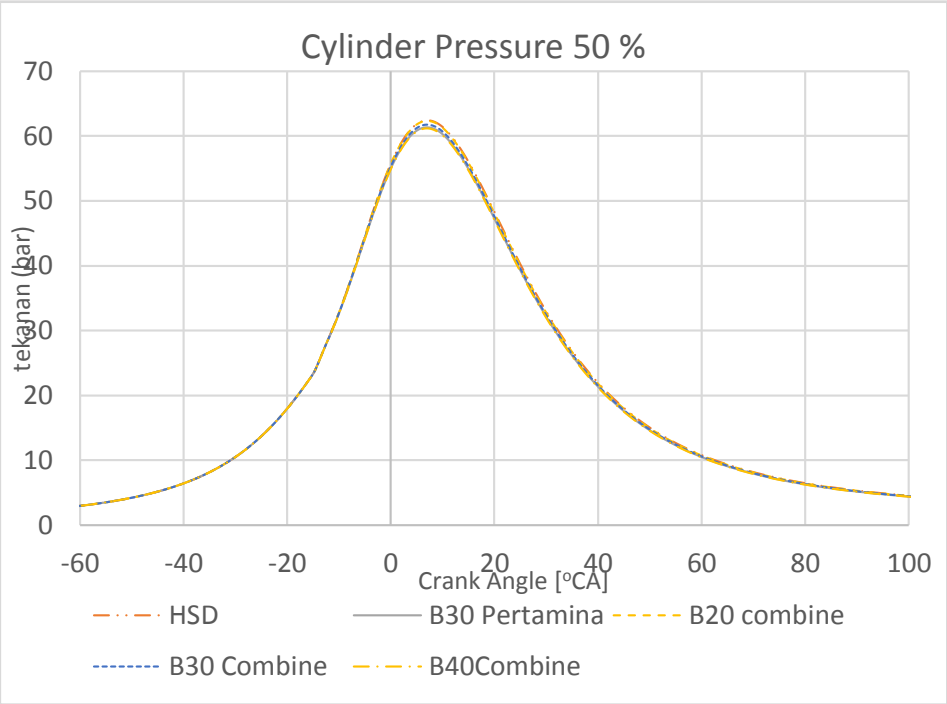
	RPM 1000 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1022.0512	3.3223	0.3751141	2319.4412
	25%	1019.0899	8.2734	0.9219106	931.40845
	50%	1014.11743	16.526	1.7534994	466.2939
	75%	1009.09467	24.778	2.6168919	310.99387
	100%	1004.02	33.031	3.4720228	233.29109
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1604.262	3.1386	0.3350004	2453.645
	25%	1603.289	7.8147	0.8319595	985.4443
	50%	1602.802	15.608	1.6044489	493.3901
	75%	1602.314	23.403	2.4697375	329.06137
	100%	1601.339	31.196	3.2775166	246.85446
C40	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1018.8075	3.0667	0.3471805	2492.569
	25%	1016.2268	7.6358	0.8525956	1008.2856
	50%	1011.90216	15.249	1.6559188	504.87796
	75%	1007.53674	22.864	2.4312354	336.73425
	100%	1003.1332	30.478	3.2016	252.61488
C30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1019.2343	3.1196	0.3329647	2468.4343
	25%	1016.61743	7.7677	0.8269498	991.3435
	50%	1012.2257	15.513	1.6444066	496.3796
	75%	1007.7943	23.26	2.454748	331.0631
	100%	1003.3235	31.006	3.2577715	248.35112
C20	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1019.66364	3.1775	0.3392886	2423.8936
	25%	1017.0026	7.9126	0.8426948	973.3693
	50%	1012.53613	15.804	1.6757531	487.3336
	75%	1008.0299	23.695	2.5012252	325.04724
	100%	1003.48193	31.586	3.3192174	243.83707

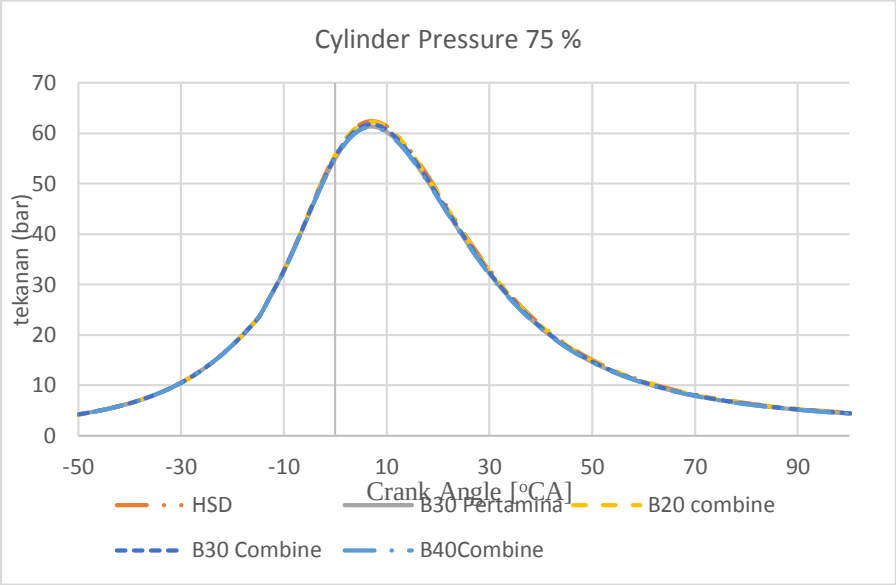
	RPM 800 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	828.8877	3.2630017	0.30702584	2407.1433
	25%	825.30927	8.157002	0.7504123	958.3949
	50%	819.27496	16.313002	1.385456	478.26318
	75%	813.1481	24.470001	2.023925	320.97287
	100%	806.9253	32.626232	2.5396574	242.4449
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	637.15845	3.085001	0.27469058	2555.0942
	25%	632.73956	7.712002	0.6872246	1009.6146
	50%	625.231	15.425002	1.288745	505.8084
	75%	617.5346	23.137001	1.8947044	339.34018
	100%	609.6324	30.85	2.591905	256.20114
C40	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	1001.3755	3.0150008	0.28616443	2563.6614
	25%	971.6807	7.5380015	0.7070231	1028.912
	50%	919.64355	15.076001	1.311892	517.49445
	75%	863.7862	22.614	1.9055604	347.1274
	100%	803.0598	30.151	2.5155854	262.0521
C30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	637.15845	3.0660012	0.29262236	2520.4785
	25%	632.73956	7.6640015	0.6823004	1011.84985
	50%	625.231	15.329001	1.2799696	508.93024
	75%	617.5346	22.993002	1.893353	341.42847
	100%	609.6324	30.657	2.579493	257.7754
C20	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	637.15845	3.1220012	0.2696336	2524.7815
	25%	632.73956	7.8050017	0.7001004	999.42065
	50%	625.231	15.609002	1.3104473	499.77994
	75%	617.5346	23.414001	2.0042173	335.31787
	100%	609.6324	31.218	2.6264114	253.19984

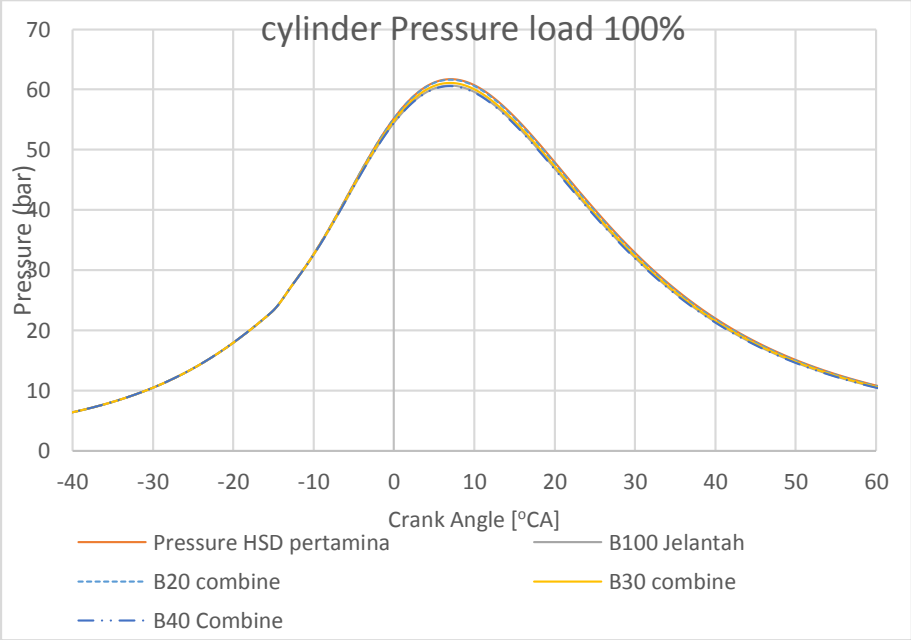
	RPM 600 variasi beban				
HSD	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	637.16	3.1357148	0.20861669	2591.0005
	25%	632.74	7.834167	0.5177691	1037.0775
	50%	625.23	15.663254	1.0235595	518.7069
	75%	617.53	23.493341	1.5173541	345.8273
	100%	609.63	31.323421	1.9986275	259.37903
B30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	637.16	2.9697697	0.19698343	2733.5405
	25%	632.74	7.417247	0.48889276	1094.4742
	50%	625.23	14.831375	0.967101	547.35223
	75%	617.53	22.244503	1.4344134	364.94345
	100%	609.63	29.658632	1.8905656	273.7141
C40	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	632.7	2.9047892	0.19246124	2793.9219
	25%	628.81	7.255276	0.4777512	1118.6003
	50%	622.21	14.507422	0.9452671	559.4209
	75%	615.46	21.758566	1.4023592	372.9912
	100%	608.56	29.010712	1.8487886	279.75027
C30	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	633.34	2.9527707	0.19583786	2749.389
	25%	629.39	7.375251	0.4860979	1100.751
	50%	622.68	14.745384	0.9615063	550.5665
	75%	615.83	22.116518	1.4262781	367.0702
	100%	608.81	29.486652	1.8799034	275.3217
C20	**Beban**	**RPM engine**	**torsi(Nm)**	**power (kW)**	**sfoc(g/HP-h)**
	10%	637.16	3.0047524	0.1994749	2702.4585
	25%	632.74	7.5072246	0.4952186	1081.6539
	50%	625.23	15.009345	0.9793891	541.01086
	75%	617.53	22.512466	1.4525467	360.69876
	100%	609.63	30.014585	1.9141594	270.54242

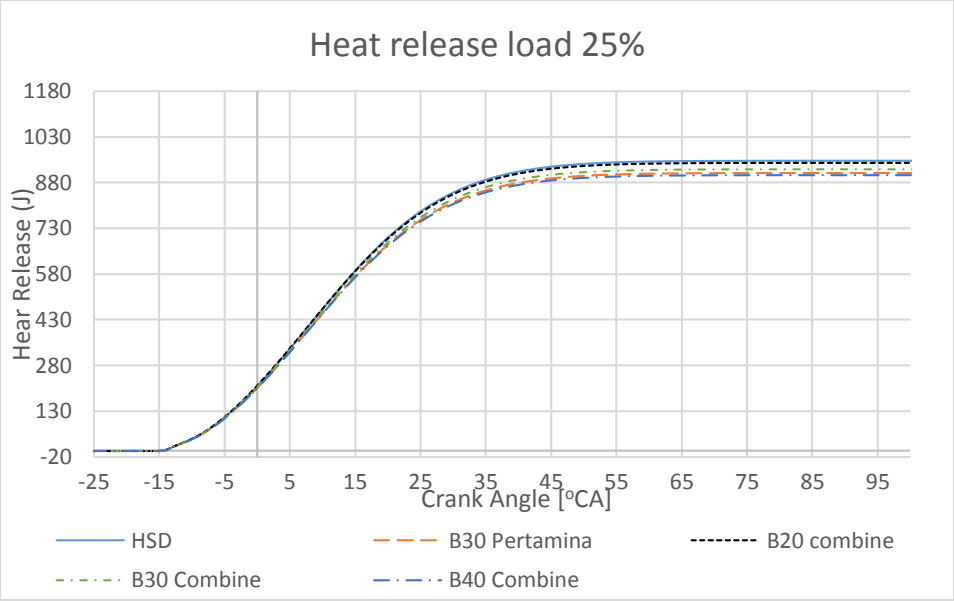
Lampiran 3 : data hasil simulasi pada proses pembakaran yakni maksimum pressure, heat release,dan heat release rate.

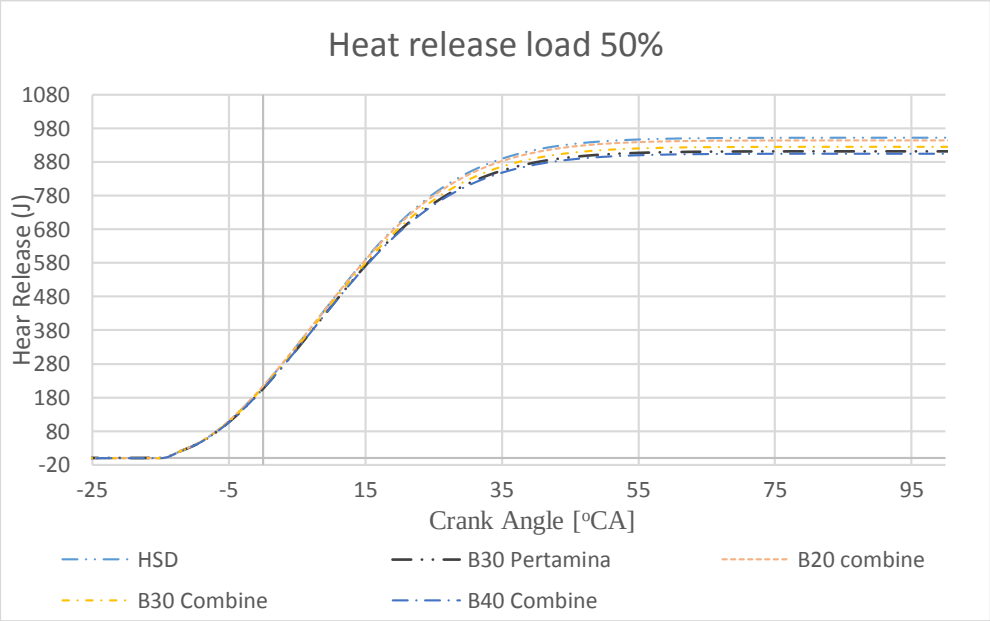


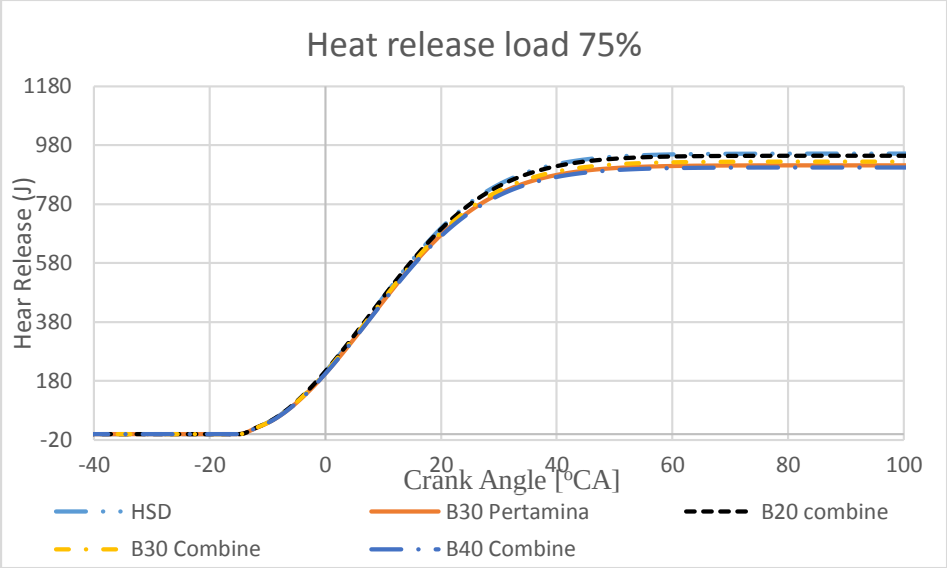


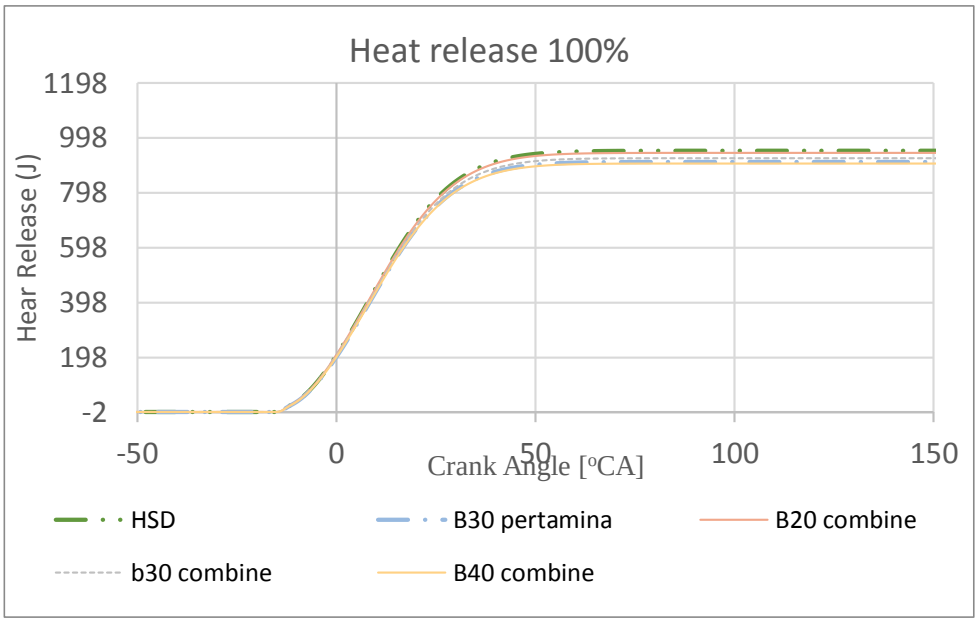

Cylinder Pressure 75 %
tekanan (bar)
70
60
50
40
30
20
10
0
-50
-30
-10
10
30
50
70
90
Crank Angle [°CA]
HSD
B30 Pertamina
B20 combine
B30 Combine
B40Combine

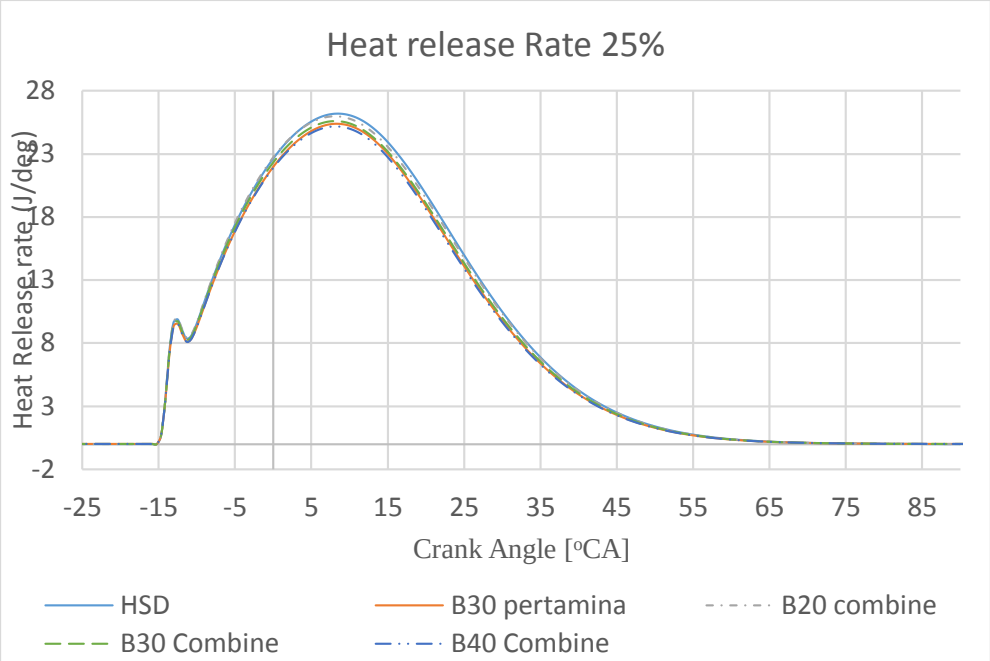

cylinder Pressure load 100%
Pressure (bar)
70
60
50
40
30
20
10
0
-40
-30
-20
-10
0
10
20
30
40
50
60
Crank Angle [°CA]
Pressure HSD pertamina
B100 Jelantah
B20 combine
B30 combine
B40 Combine

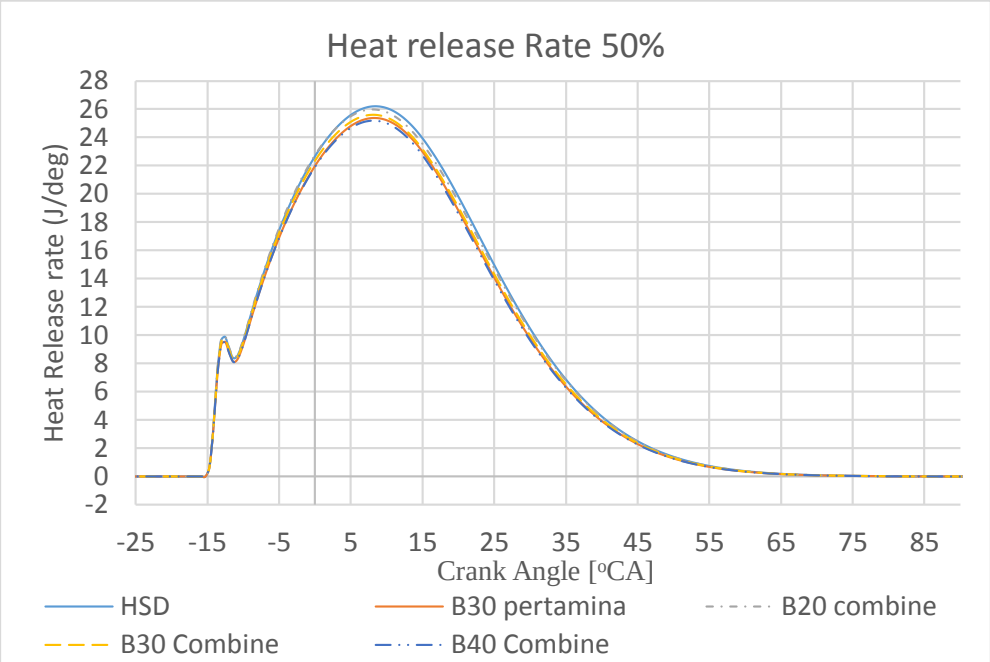

Heat release load 25%
Hear Release (J)
1180
1030
880
730
580
430
280
130
-20
-25
-15
-5
5
15
25
35
45
55
65
75
85
95
Crank Angle [ºCA]
HSD
B30 Pertamina
B20 combine
B30 Combine
B40 Combine

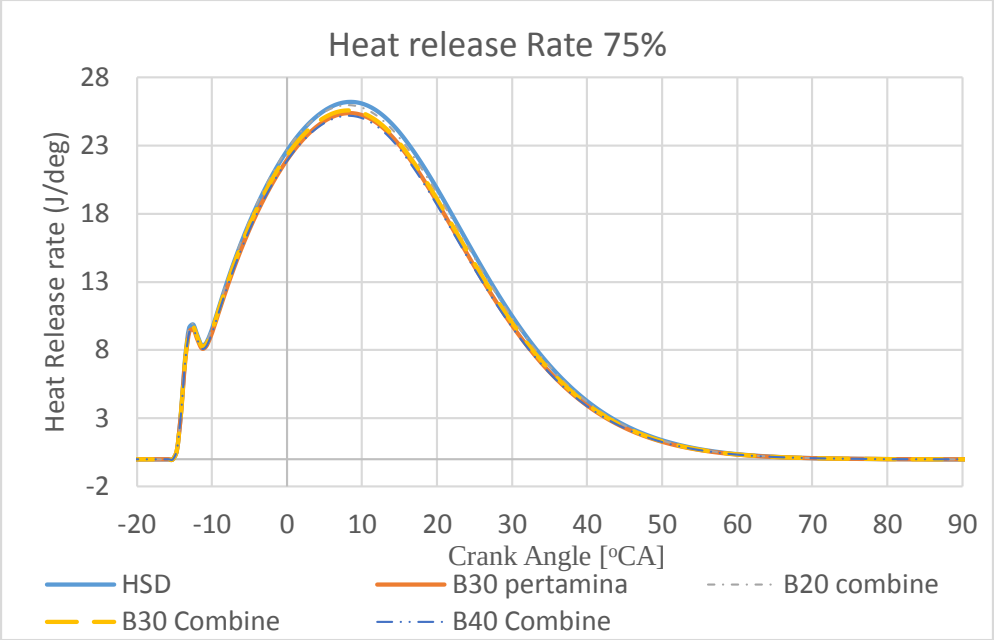

Heat release load 50%
Hear Release (J)
1080
980
880
780
680
580
480
380
280
180
80
-20
-25
-5
15
35
55
75
95
Crank Angle [ºCA]
HSD
B30 Pertamina
B20 combine
B30 Combine
B40 Combine

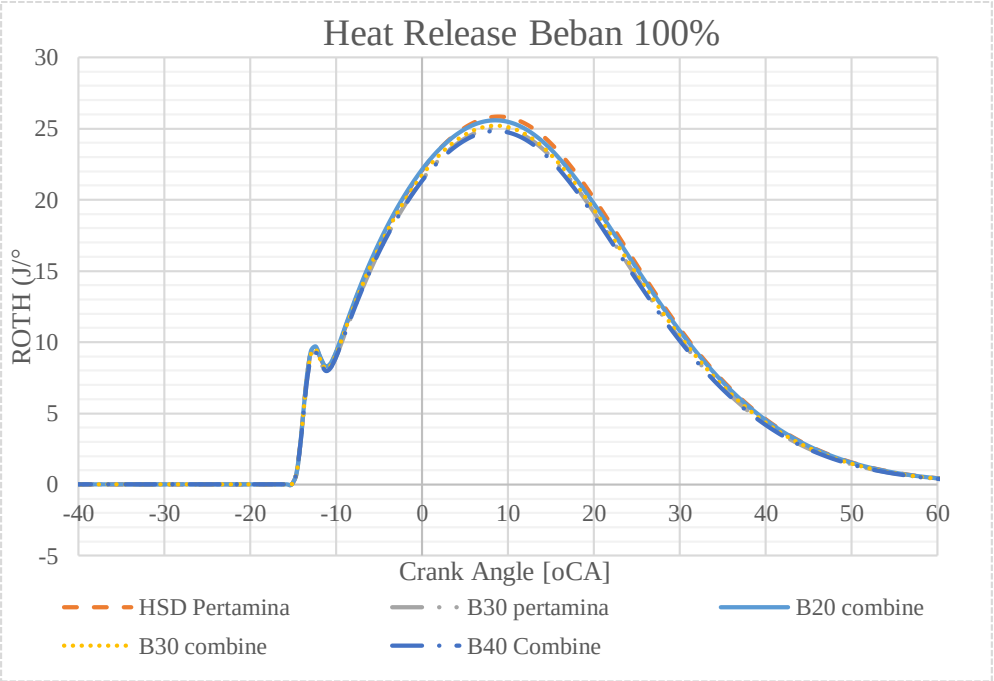

Heat release load 75%
1180
980
780
580
380
180
-20
Hear Release (J)
-40
-20
0
20
40
60
80
100
Crank Angle [°CA]
HSD
B30 Pertamina
B20 combine
B30 Combine
B40 Combine


Heat release 100%
1198
998
798
598
398
198
-2
Hear Release (J)
-50
0
50
100
150
Crank Angle [°CA]
HSD
B30 pertamina
B20 combine
b30 combine
B40 combine

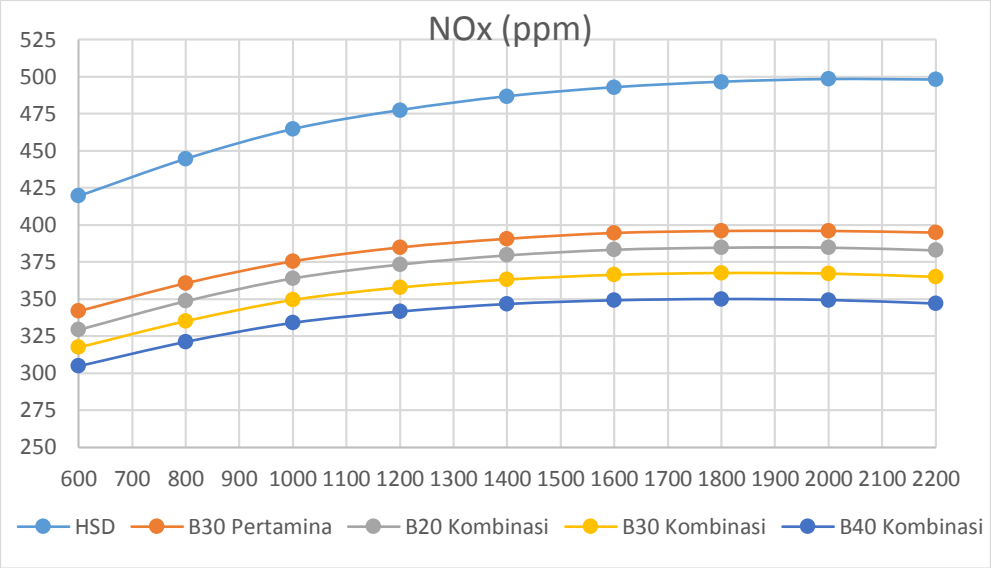

Heat release Rate 25%
Heat Release rate (J/deg)
28
23
18
13
8
3
-2
-25
-15
-5
5
15
25
35
45
55
65
75
85
Crank Angle [°CA]
HSD
B30 pertamina
B20 combine
B30 Combine
B40 Combine

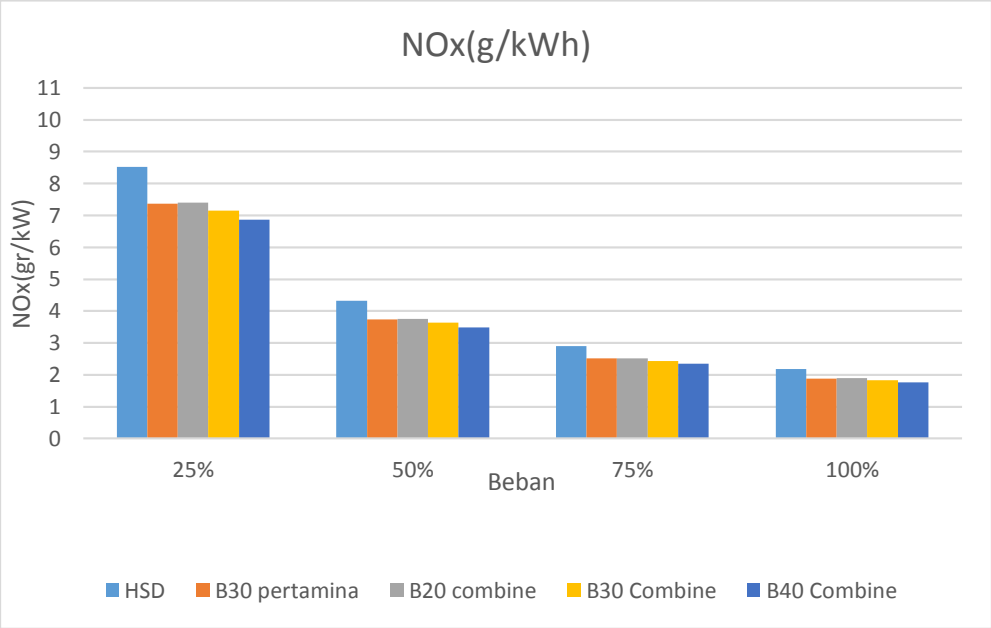

Heat release Rate 50%
Heat Release rate (J/deg)
28
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
-25
-15
-5
5
15
25
35
45
55
65
75
85
Crank Angle [°CA]
HSD
B30 pertamina
B20 combine
B30 Combine
B40 Combine





Lampiran 4 : data hasil emisi NOx pada bahan bakar HSD, B30, C20. C30. C40.


NOx (ppm)
525
500
475
450
425
400
375
350
325
300
275
250
600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000 2100 2200
HSD
B30 Pertamina
B20 Kombinasi
B30 Kombinasi
B40 Kombinasi

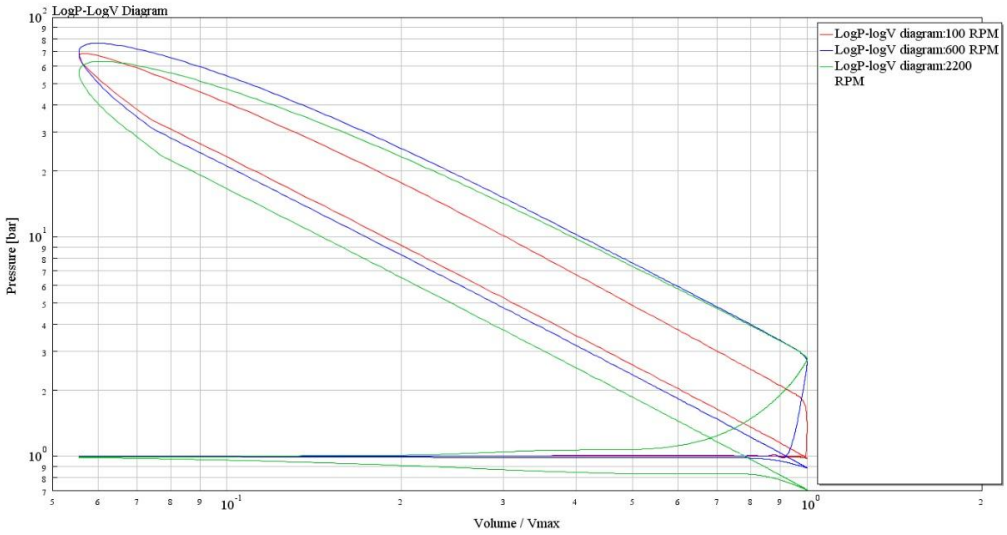

NOx(g/kWh)
NOx(gr/kW)
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
25%
50%
75%
100%
Beban
HSD
B30 pertamina
B20 combine
B30 Combine
B40 Combine

NOx(gr/kWh)

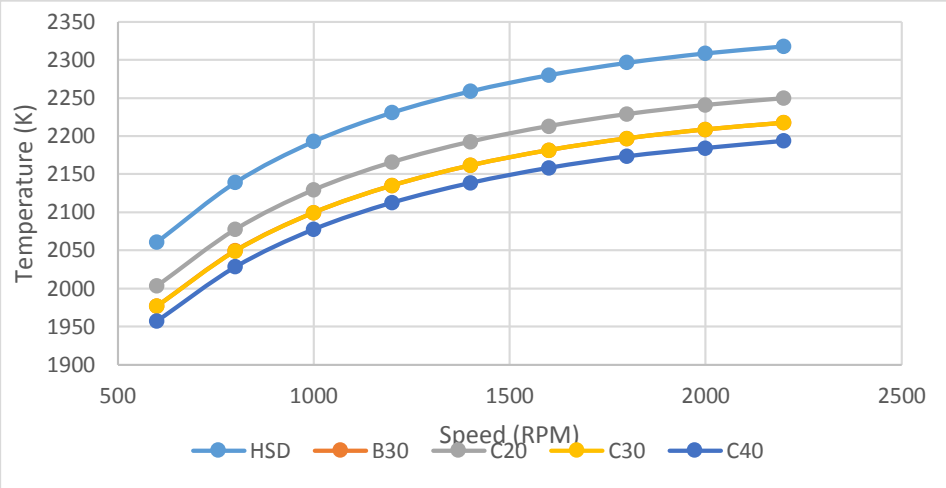
BEBAN	HSD	B30	C20	C30	C40
25%	8.519702	7.3651752	7.402627	7.142746	6.870931
50%	4.328075	3.7446997	3.7613437	3.630643	3.4940217
75%	2.901242	2.510899	2.522717	2.434273	2.3429763
100%	2.182116	1.8888452	1.8975295	1.83113	1.7625604

NOx(ppm)

RPM	HSD	B30	C20	C30	C40
600	419.548	341.95413	329.3509	317.41144	304.789
800	444.6115	360.74368	348.693	335.14432	321.1097
1000	464.6828	375.4642	364.05676	349.4344	333.91238
1200	477.4634	384.7581	373.4262	357.8229	341.49744
1400	486.7999	390.57907	379.60956	363.14404	346.56686
1600	492.8617	394.49048	383.4116	366.35107	349.0724
1800	496.5499	395.80365	384.80603	367.57498	349.94528
2000	498.3619	395.8565	384.85852	367.18808	349.284
2200	498.0474	394.72348	382.99374	364.95358	346.9012



Maximum Temperature



Maximum Temperature 2200 RPM

Max Temperature 2200 RPM (bar)					
Beban	HSD	B30	C20	C30	C40
25	2317.556	2229.5957	2249.0583	2216.8674	2182.1306
50	2317.675	2229.7102	2249.1724	2216.9812	2185.6318
75	2317.795	2229.8254	2249.2866	2217.0974	2189.1787
100	2317.916	2229.942	2249.401	2217.21	2192.7424

BIODATA PENULIS

Penulis bernama A Karomur Roziq F, merupakan putra nomor 2 dari 2 bersaudara. Ayah dari penulis bernama Sunarto dan Ibu dari penulis bernama Siti Asiyah. Lahir pada tanggal 4 Mei 1997, di Kabupaten Tuban, Jawa TImur. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar di SD Negeri Sokosari 1 Kabupaten Tuban, jenjang menengah pertama di SMP Negeri 1 Bojonegoro, jenjang menengah atas di SMA 1 Bojonegoro, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang *Mariine Power Plant* (MPP). Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. Dok Perkapalan Surabaya. PT. Tambangan Raya permai, Surabaya dan PT PAL, surabaya, Jawa Timur. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi mahasiswa. Penulis pernah bergabung dalam Pengurus BEM ITS 2017/2018 sebagai staff, BEM ITS 2018/2019 sebagai Staff Ahli, BEM ITS 2019/2020 sebagai Asisten DirJend, Marine Icon 2017 HIMASISKAL ITS, Paguyuban KSE ITS sebagai ketua. Selain itu, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan pengembangan *softskills* seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar, Tingkat Dasar dan beberapa kegiatan lainnya. Penulis juga merupakan penerima beasiswa Karya Salemba Empat periode 2017 hingga 2020. Penulis dapat dihubungi melalui karomur.roziq@gmail.com