



---

**SKRIPSI - 141501**

**Analisa Pembakaran Motor Diesel dengan Sistem EGR  
Menggunakan Bahan Bakar Minyak Serai Wangi**

**Rizqiyah Aryeni Mardiyah  
4213100110**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. I Made Ariana, ST., MT.**

**JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



---

**THESIS - 141501**

**Combustion Process Analysis on Diesel Engine with EGR  
System Using Lemon Grass Oil**

**Rizqiyah Aryeni Mardiyah  
4213100110**

**Academic Supervisor:  
Dr. I Made Ariana, ST., MT.**

**MARINE ENGINEERING DEPARTEMENT  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2017**

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA PEMBAKARAN MOTOR DIESEL DENGAN SISTEM EGR  
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR MINYAK SERAI WANGI**

**Skripsi**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

**Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)**

**Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Rizqiyah Aryeni Mardiyah**

**NRP. 4213 100 110**

Disetujui oleh Dosen Pemimbing 1 :

Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.  
NIP: 1971 0610 1995 12 1001



Surabaya  
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

**LEMBAR PENGESAHAN**

**ANALISA PEMBAKARAN MOTOR DIESEL DENGAN SISTEM EGR  
MENGUNAKAN BAHAN BAKAR MINYAK SERAI WANGI**

**Skripsi**

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan  
memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

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

**Rizqiyah Aryeni Mardiyah**  
**NRP. 4213 100 110**

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Surabaya  
Juli, 2017

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## **Analisa Pembakaran Motor Diesel dengan Sistem EGR Menggunakan Bahan Bakar Minyak Serai Wangi**

Nama Mahasiswa : Rizqiyah Aryeni Mardiyah  
NRP : 4213 100 110  
Jurusan : Teknik Sistem Perkapalan  
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana. S.T., M.T.

### **ABSTRAK**

Cadangan bahan bakar fosil di dunia yang semakin menipis mengakibatkan pencanangan program pembuatan biodiesel menggunakan berbagai macam bahan baku yang tersedia di Indonesia seperti kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif oleh pemerintah. Salah satu bahan baku yang dapat digunakan adalah serai wangi dengan total luas area perkebunan di Indonesia sebesar 3.492 hektar dan akan terus bertambah.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas pembakaran pada Pertamina Dex, Marine Diesel Oil dan Biodiesel minyak serai wangi dengan menggunakan alat mesin analisis proses pembakaran, yaitu *TMR-Instrument Amplifier*. Pada penelitian ini juga digunakan *Exhaust Gas Recirculation system* untuk mereduksi kadar NOx pada gas buang.

Terdapat beberapa hasil dari penelitian ini, yaitu penambahan minyak serai wangi pada MDO (MDO B20) dapat meningkatkan nilai *maximum combustion pressure* hingga 7.42% dan nilai *heat release* hingga 21.31% pada pembebanan rendah. Penggunaan MDO B20 juga dapat mempercepat waktu *ignition delay* hingga 9.02% namun meningkatkan nilai *knocking* hingga 86.2%. Penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan sistem EGR dapat menurunkan nilai *maximum combustion pressure* hingga 5.26%, nilai *heat release* hingga 10.99%, dan nilai *knocking* hingga 21.91%. Penambahan minyak serai wangi pada pertadex dapat menurunkan nilai *maximum combustion pressure* hingga 10.11%, menurunkan nilai *heat release* hingga 45.24%, menaikkan nilai *knocking* hingga 205% serta memperlambat waktu *ignition delay* hingga 28.58%.

**Keywords :** Biodiesel, Minyak Serai Wangi, Marine Diesel Oil, Analisa Proses Pembakaran

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## **Combustion Process Analysis on Diesel Engine with EGR System Using Lemon Grass Oil**

Student Name : Rizqiyah Aryeni Mardiyah  
NRP : 4213 100 110  
Departement : Marine Engineering  
Academic Supervisor : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

### **ABSTRACT**

The reserved fossil fuel in the world has been lowering causing the biodiesel production programme using various kind of source that is available in Indonesia for example palm oil as an alternative fuel by government. One of the source that can be used is lemongrass with the total area of plantation in Indonesia equal to 3.492 hectare and keep increasing.

This experiment was meant to compare the combustion quality of Pertamina Dex, Marine Diesel Oil and Lemon Grass Oil Biodiesel by using combustion process analyzer that is TMR-Instrument Amplifier. In this experiment there will be Exhaust Gas Recirculation system to reduce the NO<sub>x</sub> level in exhaust gas.

There are several results from this experiment which are, the addition of lemongrass oil to MDO (MDO B20) can increase the maximum combustion pressure value up to 7.42% and heat release value up to 21.31% on a lower load. The usage of MDO B20 can also fasten the ignition delay timing up to 9.02% but increase the knocking value up to 86.2%. The usage of MDO B20 with EGR system can decrease maximum combustion pressure value up to 5.26%, heat release value up to 10.99%, and knocking value up to 21.91%. The addition of lemongrass oil to pertadex can decrease maximum combustion pressure value up to 10.11%, decrease heat release value up to 45.24%, increase knocking value up to 205%, and shorten ignition delay timing up to 28.58%.

**Keywords :** Biodiesel, Lemon Grass Oil, Marine Diesel Oil, Combustion Process Analysis

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah dan karunia yang berlimpah kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Analisa Pembakaran Motor Diesel dengan Sistem EGR Menggunakan Bahan Bakar Minyak Serai Wangi”.

Selama proses pengerjaan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai belah pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Segenap keluarga besar yang tidak kenal lelah untuk selalu mendoakan dan mendukung penulis.
2. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis selama proses pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. A.A. Masroeri, M.Eng., selaku dosen wali yang selalu memberikan masukan mengenai dunia perkuliahan selama 8 semester.
4. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.; Bapak Ir. Indrajaya Gerianto, M.Sc.; Bapak Beni Cahyono. ST., MT.; selaku dosen penguji di Laboratorium Diesel yang telah memberikan koreksi serta masukan untuk Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen yang telah memberikan ilmu yang sangat bermanfaat kepada penulis dari semester 1 hingga semester 8.
6. Bapak Noer selaku teknisi Lab Mesin Kapal yang telah meluangkan waktu untuk mendampingi penulis selama proses pengambilan data.
7. Mas Gusma Handana Putra selaku senior yang telah mengajarkan cara penggunaan alat TMR.
8. Balqis, Ririn, Mitha, Fathia, Mayang, Ryan, Edo, Made, Kafin, Adi, Nabil, dan Rizky yang merupakan *inner circle* penulis selama masa perkuliahan.
9. Diga Galani yang selalu membantu dan menemani apabila penulis mengalami kesulitan.
10. BARAKUDA selaku teman satu angkatan yang telah menemani perjalanan penulis dari awal masa perkuliahan hingga akhir.
11. JSS selaku sahabat sejak SMP yang selalu memberikan dorongan dikala penulis merasa putus asa.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saran dan masukan sangat diperlukan sehingga dapat menjadi lebih baik.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR ISI

|  |      |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                 | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN.....                             | v    |
| ABSTRAK.....                                       | ix   |
| KATA PENGANTAR.....                                | xiii |
| DAFTAR ISI.....                                    | xv   |
| DAFTAR GAMBAR.....                                 | xvii |
| DAFTAR TABEL.....                                  | xix  |
| BAB I PENDAHULUAN.....                             | 1    |
| 1.1. Latar Belakang.....                           | 1    |
| 1.2. Tempat Pelaksanaan.....                       | 1    |
| 1.3. Perumusan Masalah.....                        | 2    |
| 1.4. Batasan Masalah.....                          | 2    |
| 1.5. Tujuan Penelitian.....                        | 2    |
| 1.6. Manfaat.....                                  | 2    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....                       | 3    |
| 2.1. Mesin Diesel.....                             | 3    |
| 2.2. Teori Pembakaran.....                         | 3    |
| 2.3. Heat Release.....                             | 4    |
| 2.4. Exhaust Gas Recirculation.....                | 4    |
| 2.5. Knocking.....                                 | 5    |
| 2.6. Biodiesel.....                                | 5    |
| 2.7. Biodiesel Minyak Serai Wangi.....             | 6    |
| BAB III METODOLOGI.....                            | 9    |
| 3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah.....       | 10   |
| 3.2. Studi Literatur.....                          | 10   |
| 3.3. Persiapan Alat dan Bahan.....                 | 10   |
| 3.4. Analisis dan Pembahasan.....                  | 11   |
| 3.5. Kesimpulan dan Saran.....                     | 11   |
| BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....                | 13   |
| 4.1. Perencanaan Penelitian Proses Pembakaran..... | 13   |
| 4.2. Analisis Hasil Proses Pembakaran.....         | 13   |
| 4.2.1. Analisis Combustion Pressure.....           | 14   |
| 4.2.2. Analisis Heat Release.....                  | 19   |
| 4.2.3. Analisis Knocking.....                      | 24   |
| 4.2.4. Analisis Ignition Delay.....                | 27   |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                    | 33   |
| 5.1. Kesimpulan.....                               | 33   |
| 5.2. Saran.....                                    | 35   |
| DAFTAR PUSTAKA.....                                | 37   |
| LAMPIRAN.....                                      | 39   |
| BIODATA PENULIS.....                               | 87   |

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1. Tahap Pembakaran.....   | 3  |
| Gambar 2.2. Heat Release pada Mesin Diesel.....                                     | 4  |
| Gambar 2.3. Skema Produksi Minyak Serai Wangi.....                                  | 7  |
| Gambar 2.4. Tanaman Serai Wangi.....  | 7  |
| Gambar 3.1. Engine Set Up pada Analisis Proses Pembakaran.....                      | 11 |
| Gambar 4.1. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 1800 dan Beban 1000 Watt.... | 14 |
| Gambar 4.2. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 2200 dan Beban 1000 Watt.... | 14 |
| Gambar 4.3. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 2200 dan Beban 2000 Watt.... | 15 |
| Gambar 4.4. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 1900 dan Beban 3000 Watt.... | 16 |
| Gambar 4.5. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 2200 dan Beban 4000 Watt.... | 17 |
| Gambar 4.6. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 1800 dan Beban 5000 Watt.... | 17 |
| Gambar 4.7. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 2200 dan Beban 1000 Watt.... | 18 |
| Gambar 4.8. Grafik <i>Combustion Pressure</i> pada RPM 2200 dan Beban 4000 Watt.... | 18 |
| Gambar 4.9. Grafik <i>Heat Release</i> pada RPM 1800 dan Beban 1000 Watt.....       | 20 |
| Gambar 4.10. Grafik <i>Heat Release</i> pada RPM 2200 dan Beban 2000 Watt.....      | 20 |
| Gambar 4.11. Grafik <i>Heat Release</i> pada RPM 2000 dan Beban 3000 Watt.....      | 21 |
| Gambar 4.12. Grafik <i>Heat Release</i> pada RPM 2100 dan Beban 4000 Watt.....      | 22 |
| Gambar 4.13. Grafik <i>Heat Release</i> pada RPM 2200 dan Beban 5000 Watt.....      | 22 |
| Gambar 4.14. Grafik <i>Heat Release</i> pada RPM 2200 dan Beban 3000 Watt.....      | 23 |
| Gambar 4.15. Grafik <i>Knocking</i> pada RPM 2200 dan Beban 1000 Watt.....          | 24 |
| Gambar 4.16. Grafik <i>Knocking</i> pada RPM 1800 dan Beban 2000 Watt.....          | 24 |
| Gambar 4.17. Grafik <i>Knocking</i> pada RPM 2100 dan Beban 3000 Watt.....          | 25 |
| Gambar 4.18. Grafik <i>Knocking</i> pada RPM 2200 dan Beban 4000 Watt.....          | 26 |
| Gambar 4.19. Grafik <i>Knocking</i> pada RPM 1900 dan Beban 5000 Watt.....          | 26 |
| Gambar 4.20. Grafik <i>Knocking</i> pada RPM 2200 dan Beban 3000 Watt.....          | 27 |
| Gambar 4.21. Grafik <i>Ignition Delay</i> pada Pembebanan 1000 Watt.....            | 28 |
| Gambar 4.22. Grafik <i>Ignition Delay</i> pada Pembebanan 2000 Watt.....            | 28 |
| Gambar 4.23. Grafik <i>Ignition Delay</i> pada Pembebanan 3000 Watt.....            | 29 |
| Gambar 4.24. Grafik <i>Ignition Delay</i> pada Pembebanan 4000 Watt.....            | 29 |
| Gambar 4.25. Grafik <i>Ignition Delay</i> pada Pembebanan 5000 Watt.....            | 30 |
| Gambar 4.26. Grafik <i>Ignition Delay</i> pada RPM 2200.....                        | 30 |

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## DAFTAR TABEL

|  |    |
|--|----|
| Tabel 2.1. Standar Biodiesel Indonesia.....      | 6  |
| Tabel 4.1. Karakteristik Minyak Serai Wangi..... | 13 |
| Tabel 4.2. Karakteristik Pertadex.....           | 13 |
| Tabel 4.3. Karakteristik Marine Diesel Oil.....  | 13 |

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Cadangan bahan bakar fosil di dunia semakin menipis dikarenakan konsumsi masyarakat yang terus meningkat. Oleh karena hal tersebut, pemerintah sedang gencar mencanangkan program pembuatan biodiesel di Indonesia sebagai bahan bakar alternatif, yang dapat dibuat dari berbagai macam bahan baku yang tersedia di Indonesia. Di dalam Peraturan Presiden No.5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional tertera bahwa pada tahun 2025 direncanakan konsumsi *biofuel* di Indonesia adalah sebesar 5% dari konsumsi energi nasional. Hal tersebut semakin mendorong pemerintah untuk terus meningkatkan produksi biodiesel.

Kelebihan utama dari biodiesel dibandingkan bahan bakar fosil adalah melimpahnya bahan baku untuk pembuatan biodiesel di Indonesia. Terdapat banyak jenis bahan baku biodiesel yang dapat diperbaharui di Indonesia baik dari sektor darat dan laut seperti kelapa sawit, jarak pagar, kelapa, alga dan lain sebagainya. Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk pembuatan biodiesel adalah minyak serai wangi. Minyak serai wangi dihasilkan dari penyulingan tanaman serai wangi. Berdasarkan Direktorat Jendral Perkebunan, penghasil serai wangi di Indonesia adalah Nanggroe Aceh Darussalam, Jawa Barat, Jawa Timur dan Lampung dengan total luas area 3.492 hektar dan akan terus bertambah. Oleh karenanya minyak serai wangi merupakan salah satu bahan yang berpotensi besar untuk digunakan dan dikembangkan sebagai bahan baku dari pembuatan biodiesel.

Selain mudah ditemukan, terdapat pula beberapa kelebihan dari biodiesel. Pertama, biodiesel memiliki efek pelumasan yang baik sehingga dapat memperpanjang jangka waktu pemakaian motor diesel. Karakteristik tersebut disebabkan oleh viskositas biodiesel yang baik. Kedua, biodiesel menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah dibandingkan dengan solar. Kandungan CO, HC, NOx serta *smoke* pada gas buang yang dihasilkan oleh mesin yang menggunakan biodiesel relatif lebih rendah dibandingkan dengan mesin yang menggunakan solar. Hal tersebut dikarenakan perbedaan nilai *cetane number* pada kedua bahan bakar tersebut.

Bahan bakar merupakan komponen utama dalam suatu proses pembakaran selain udara dan energi panas. Oleh karena itu, bahan bakar harus memiliki kualitas pembakaran yang baik. Proses pembakaran yang baik dapat dilihat dari *maximum pressure, ignition delay, heat release* dan *knocking*.

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa proses pembakaran dari bahan bakar berbahan baku minyak serai wangi yang dibandingkan dengan pertadex dan MDO.

#### **1.2. Tempat Pelaksanaan**

Tempat yang direncanakan dalam melakukan percobaan serta pengambilan data untuk mendukung pengerjaan tugas akhir ini adalah :

1. Laboratorium *Marine Power Plant* (MPP) Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK ITS.

### 1.3. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan bahan bakar minyak serai wangi terhadap *combustion pressure*, *heat release*, *knocking* dan *ignition delay* pada saat proses pembakaran.

### 1.4. Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah yang diambil agar penelitian ini dapat berjalan dengan lancar adalah :

1. Biodiesel yang digunakan terbuat dari bahan baku minyak serai wangi dengan prosentasi 15%, 20% dan 25%.
2. Penelitian hanya menganalisa proses pembakaran yang terdiri dari *combustion pressure*, *heat release*, *knocking* dan *ignition delay*
3. Penelitian tidak menganalisa kandungan NO<sub>x</sub> dan PM.

### 1.5. Tujuan Penelitian

Sesuai perumusan masalah, tujuan dari Tugas Akhir ini adalah mengetahui pengaruh penggunaan bahan bakar minyak serai wangi terhadap *combustion pressure*, *heat release*, *knocking* dan *ignition delay* pada saat proses pembakaran.

### 1.6. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan informasi mengenai bahan bakar alternatif yang dapat digunakan untuk menggantikan bahan bakar solar.
2. Memberikan informasi mengenai kelebihan serta kekurangan dari biodiesel yang berbahan baku minyak serai wangi.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

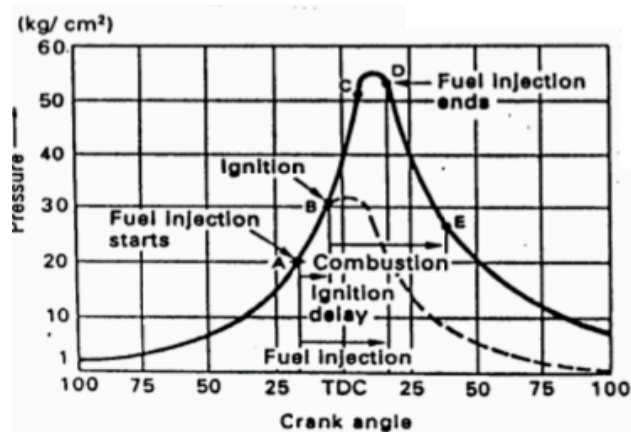
### 2.1. Mesin Diesel

Mesin diesel yang ditemukan oleh Rudolf Diesel pada tahun 1892 merupakan motor dengan pembakaran didalam silinder (*internal combustion engine*). Pada motor diesel, energi kimia pada bahan bakar dikonversikan menjadi energi mekanis. Pada motor diesel terdapat silinder yang didalamnya terdapat torak. Pada silinder terjadi proses pembakaran antara bahan bakar dan udara. Proses pembakaran terjadi ketika torak hampir sampai di titik mati atas yang menyebabkan udara di dalam ruang bakar mencapai suhu dan tekanan yang tinggi dan kemudian bahan bakar disemprotkan ke ruang bakar melalui nosel. Proses pembakaran akan terjadi apabila rasio kompresi yang digunakan cukup tinggi sekitar 15 sampai dengan 22 dan juga suhu udara kompresi sekitar  $600^0$  C. Proses pembakaran yang terjadi akan menggerakkan torak yang terhubung dengan poros engkol oleh batang penggerak. Pada dasarnya, proses pembakaran pada mesin diesel terdiri dari proses hisap, proses kompresi, proses ekspansi dan proses buang.

### 2.2. Teori Pembakaran

Proses pembakaran terjadi karena adanya proses kimia antara bahan bakar dan oksigen yang menimbulkan panas sehingga menghasilkan tekanan dan temperatur gas yang tinggi. Terdapat 2 macam campuran bahan bakar dan oksigen yaitu *lean* dan *rich*. Campuran *lean* merupakan campuran dengan oksigen yang terlalu banyak sehingga akan menghasilkan api oksidasi dan campuran *rich* merupakan campuran dengan bahan bakar yang terlalu banyak sehingga menghasilkan api reduksi. Proses pembakaran yang baik terjadi apabila perbandingan jumlah antara oksigen dan bahan bakar yang digunakan tepat. Kualitas dari bahan bakar juga mempunyai andil yang besar dalam proses pembakaran.

Proses pembakaran pada mesin diesel dapat dibagi menjadi 4 fase, yaitu *ignition delay period*, *rapid combustion period*, *steady combustion period* dan *the after burning period*.



Gambar 2.1. Tahap Pembakaran

*Ignition delay period* merupakan selang waktu antara dimulainya penginjeksian bahan bakar ke dalam ruang bakar sampai dengan dimulainya proses pengapian. Terdapat 2 proses yang terjadi pada saat *ignition delay* yaitu *physical delay* dan *chemical delay*. Pada *physical delay*, bahan bakar berubah dari cair menjadi gas dan pada *chemical delay*, bahan bakar berubah dari gas menjadi energi.

Proses pembakaran yang baik terjadi apabila pembakaran terjadi sebelum titik mati atas dengan kata lain waktu *ignition delay* yang pendek. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi waktu *ignition delay*, yaitu waktu penginjeksian, tipe *injector*, tipe *combustion chamber*, temperatur, tekanan, *swirl rate*, *air-fuel ratio*, turbulensi dan *cetane number*.

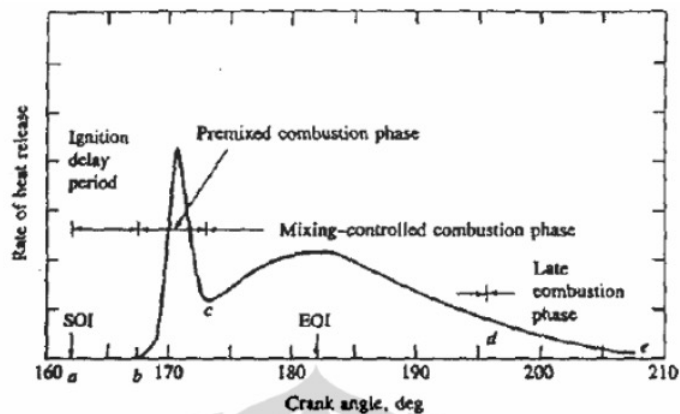
*Rapid combustion period* merupakan jangka waktu dimana bahan bakar yang telah tercampur udara terbakar dengan cepat. Pada fase ini, tekanan dan temperatur naik drastis karena piston yang bergerak ke titik mati atas.

*Steady burning period* merupakan jangka waktu dimana terjadi atomisasi bahan bakar, penguapan, pencampuran dengan udara dan reaksi kimia.

*After burning period* merupakan jangka waktu dimana terjadi proses penyempurnaan pembakaran yang belum sempat terbakar.

### 2.3. Heat Release

*Heat release* merupakan panas yang dilepaskan akibat dari proses pembakaran. Nilai *heat release* yang tinggi memiliki arti bahwa performa motor juga tinggi. Akan tetapi *heat release* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan detonasi atau *knocking*. Perhitungan *heat release* didasarkan oleh hukum teori termodinamika yang pertama.



Gambar 2.2. *Heat Realease* pada Mesin Diesel

### 2.4. Exhaust Gas Recirculation

*Exhaust Gas Recirculation* (EGR) merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mereduksi kandungan NO<sub>x</sub> pada gas buang. Sistem EGR bekerja dengan mensirkulasikan kembali sebagian gas buang ke dalam silinder. Gas buang yang bercampur dengan udara berperan sebagai *inert gas* yang berfungsi untuk menurunkan temperatur pembakaran adiabatik dan mengurangi reaksi oksigen sehingga NO<sub>x</sub> yang terbentukpun dapat menurun.



## 2.5. Knocking

*Knocking* merupakan keadaan dimana mesin mengeluarkan bunyi derikan bahan metal. *Knocking* pada mesin diesel biasanya disebabkan apabila bahan bakar membutuhkan waktu lama untuk terbakar atau dapat dikatakan karena waktu *ignition delay* yang terlalu lama. Beberapa faktor yang mempengaruhi *knocking* adalah rasio kompresi yang tidak sesuai, bahan bakar yang berkualitas buruk dan sistem bahan bakar yang kurang baik. *Knocking* pada mesin dapat mengakibatkan kerusakan pada mesin, keluaran daya yang berkurang, getaran pada mesin yang tinggi dan suara yang mengganggu.

## 2.6. Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang paling menjanjikan untuk dapat digunakan pada motor diesel karena beberapa faktor, yaitu ramah lingkungan, pembuatannya cukup mudah serta bahan bakunya yang berlimpah. Selain itu biodiesel dapat digunakan pada mesin diesel tanpa harus melakukan modifikasi terlebih dahulu pada mesin.

Terdapat beberapa kelebihan dari biodiesel, yaitu yang pertama adalah biodiesel terbuat dari tanaman sehingga tidak mengandung sulfur, *aromatic hydrocarbons*, metal dan *crude oil residue* sehingga menghasilkan emisi *carbon monoxide* lebih kecil dibandingkan dengan emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar diesel konvensional. Kedua, emisi yang dihasilkan biodiesel memiliki kandungan *polycyclic aromatic hydrocarbons* (PAH) dan *nitrated polycyclic aromatic hydrocarbons* (nPAH) yang lebih sedikit. Ketiga, kemampuan pelumasan dari biodiesel tinggi. Keempat, biodiesel dihasilkan dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui.

Bahan baku untuk pembuatan biodiesel adalah minyak nabati, alkohol dan katalis. Ketiga bahan tersebut merupakan bahan yang dapat diperbaharui dan mudah diproduksi.

Minyak nabati adalah cairan *viscous* dengan sifat asam yang diekstrak dari tanaman seperti sawit, kelapa, alpokat, kacang brazil, kacang macadam, jeruk pagar, jojoba, kacang pecan, jarak kaliki, zaitun, kanola dan opium. Komponen utama dari minyak nabati adalah trigliserida asam lemak, asam lemak bebas atau *Free Fatty Acid* (FFA), monogliserida, digliserida, fosfolipid, vitamin dan mineral.

Alkohol adalah senyawa organik dengan kandungan gugus hidroksil yang terikat pada atom karbon dari suatu alkil. Pembuatan biodiesel biasanya menggunakan methanol atau etanol. Karakteristik dari methanol adalah memiliki satu rantai ikatan karbon, berwarna bening, mudah menguap, mudah terbakar, mudah bercampur dengan air, beracun, harga jual rendah. Karakteristik dari etanol adalah memiliki 2 atom karbon, titik didih tinggi, mudah terbakar dan menguap.

Katalis adalah zat yang berfungsi untuk mempercepat reaksi antara zat-zat lain. Katalis pada pembuatan biodiesel berfungsi untuk memecahkan minyak nabati dan melepaskan ester. Natrium hidroksida dan kalium hidroksida merupakan katalis yang biasa digunakan dalam pembuatan biodiesel. Pada pembuatan biodiesel, jumlah katalis yang terlalu sedikit menyebabkan reaksi antara minyak nabati dan alkohol gagal sedangkan jumlah katalis yang terlalu banyak menyebabkan teremulsinya campuran.

Biodiesel yang akan digunakan sebagai bahan bakar pada motor diesel haruslah memiliki mutu yang baik. Standart mutu dari biodiesel yang dapat digunakan di Indonesia dapat dilihat pada SNI No. 04-7182-2006 yang merupakan keputusan Kepala Badan Standarisasi Nasional Nomor 73/KEP/BSN/2/2006 tanggal 15 Maret 2006. Berikut ini adalah tabel Standar Biodiesel Indonesia :

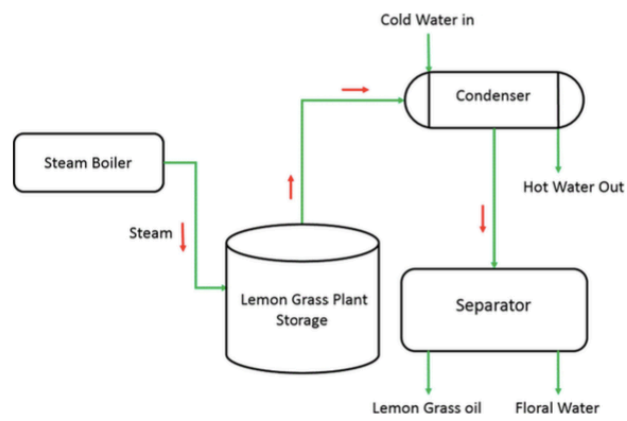
Tabel 2.1. Standar Biodiesel Indonesia

| Parameter                      | Unit              | Value     | Method        |
|--------------------------------|-------------------|-----------|---------------|
| Viscosity at 40 <sup>0</sup> C | cSt               | 2.3 – 6   | ASTM D - 445  |
| Cetane Number                  |                   | > 51      | ASTM D - 613  |
| Density at 40 <sup>0</sup> C   | kg/m <sup>3</sup> | 850 – 890 | ASTM D - 1298 |
| Flash Point                    | <sup>0</sup> C    | > 100     | IP -404       |
| Cloud Point                    | <sup>0</sup> C    | < 18      | ASTM D - 2500 |
| Pour Point                     | <sup>0</sup> C    | < 18      | ASTM D - 97   |
| Water Content                  | % wt              | < 0.05    | ASTM D - 2709 |
| Free Glycerol                  | % wt              | < 0.02    | ASTM D - 6584 |
| Total Glycerol                 | % wt              | < 0.24    | ASTM D - 6584 |
| Total Acid Number              | mgKOH/gr          | < 0.8     | ASTM D - 664  |
| Ester Content                  | % wt              | > 96.5    | Pehitungan    |

## 2.7. Biodiesel Minyak Serai Wangi

Minyak serai wangi dihasilkan dari penyulingan tanaman serai wangi (*Cymbopogon nardus L*). Berdasarkan Direktorat Jendral Perkebunan, penghasil serai wangi di Indonesia adalah Nangroe Aceh Darussalam, Jawa Barat, Jawa Timur dan Lampung dengan total luas area 3.492 hektar dan akan terus bertambah. Oleh karenanya minyak serai wangi merupakan salah satu bahan yang berpotensi besar untuk digunakan dan dikembangkan sebagai bahan baku dari pembuatan biodiesel.

Minyak serai wangi memiliki *heating value* 36.000 kJ/kg, densitas 0.85 gr/m<sup>3</sup>, *flash point* 108<sup>0</sup> C, kadar sulfur 0.28% dan *kinematic viscosity* pada 40<sup>0</sup> C sebesar 4.1 Cst. Nilai-nilai tersebut telah memenuhi persyaratan yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional Indonesia.



Gambar 2.3. Skema Produksi Minyak Serai Wangi

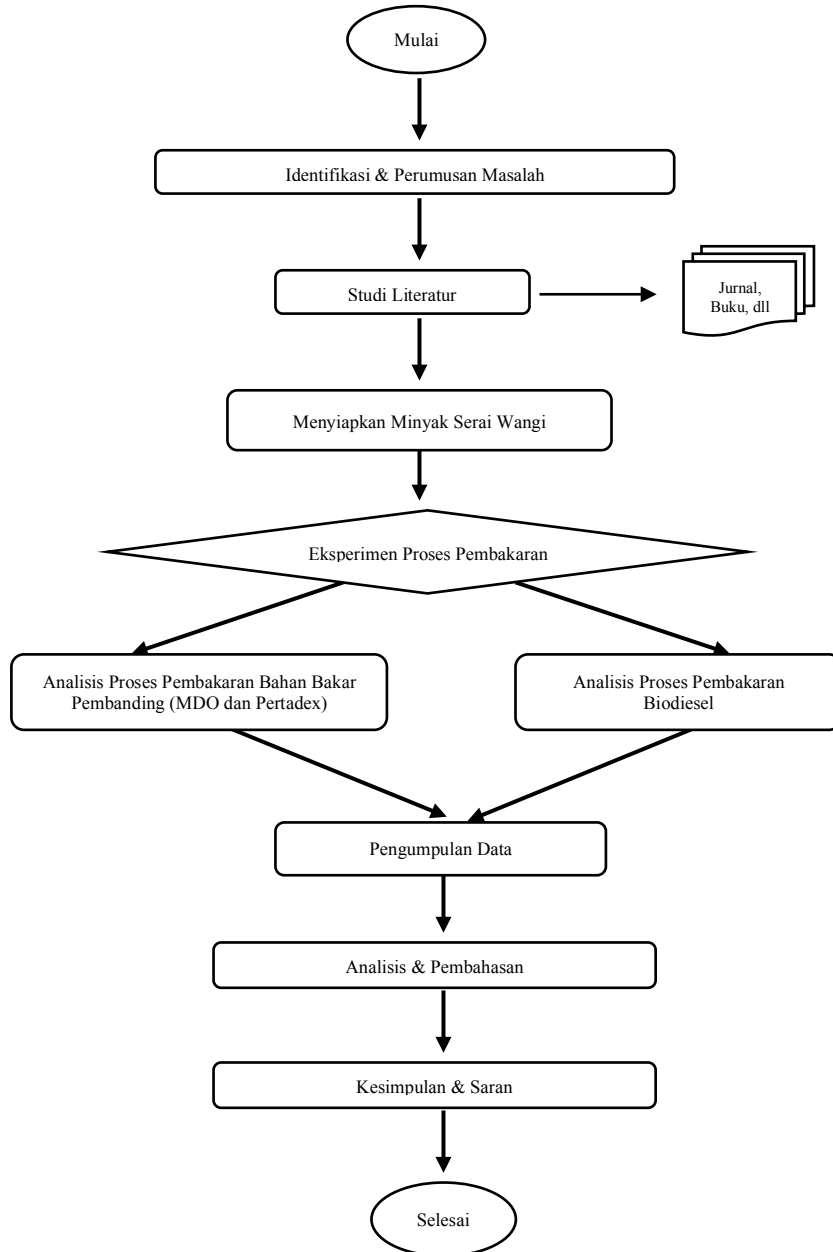


Gambar 2.4. Tanaman Serai Wangi

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

### BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian merupakan acuan dalam menyelesaikan penelitian ini guna mempermudah pengerjaannya. Metodologi penelitian pada tugas akhir ini digambarkan pada bagan berikut ini :



### 3.1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Proses identifikasi dan perumusan masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah biodiesel yang digunakan sebagai bahan bakar mempengaruhi proses pembakaran dari mesin diesel.

### 3.2. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori yang telah ada baik dari buku, jurnal, Tugas Akhir dan website resmi yang dapat menunjang penelitian ini. Studi literatur pada penelitian ini mengacu pada cara pembuatan biodiesel, kandungan biodiesel dan proses pembakaran motor diesel.

### 3.3. Persiapan Alat dan Bahan

Peralatan dan bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Mesin diesel Yanmar TF85-MH
- b. Sistem EGR
- c. Hardware *Vibrasindo TMR-Card Board & TMR-Crackangle-CPU*
- d. Software *SYMONS* v2.0.3
- e. Pertamina Dex
- f. Minyak serai wangi
- g. Marine Diesel Oil

Variabel bahan bakar dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Bahan bakar solar 85% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 15% (B15)
- b. Bahan bakar solar 80% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 20% (B20)
- c. Bahan bakar solar 75% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 25% (B25)
- d. Bahan bakar solar 85% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 15% (B15) + EGR
- e. Bahan bakar solar 80% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 20% (B20) + EGR
- f. Bahan bakar solar 75% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 25% (B25) + EGR
- g. Bahan bakar MDO 80% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 20% (B20)
- h. Bahan bakar MDO 80% dengan biodiesel dari minyak serai wangi 20% (B20) + EGR

Variabel RPM dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

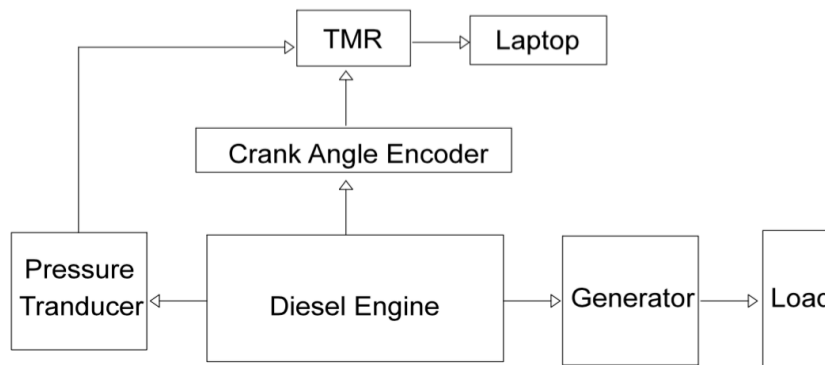
- a. RPM 1800
- b. RPM 1900
- c. RPM 2000
- d. RPM 2100
- e. RPM 2200

Variabel beban dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. 1000 watt
- b. 2000 watt

- c. 3000 watt
- d. 4000 watt
- e. 5000 watt

*Set up engine* dilakukan seperti gambar dibawah ini :



Gambar 3.1. *Engine Set Up* pada Analisis Proses Pembakaran

#### 3.4. Analisis dan Pembahasan

Analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh pemakaian bahan bakar biodiesel terhadap proses pembakaran pada mesin diesel.

#### 3.5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan didapat setelah semua tahapan dilakukan dan mendapatkan hasil yang telah dianalisa dengan harapan tujuan dari Tugas Akhir ini terpenuhi. Saran dibuat berdasarkan hasil penelitian yang masih belum sempurna.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi mengenai hasil analisa proses pembakaran pada mesin Yanmar TF85-MH dengan sistem *exhaust gas recirculation* menggunakan bahan bakar MDO, pertadex dan biodiesel dari minyak serai wangi.

### 4.1. Perencanaan Penelitian Proses Pembakaran

Pada penelitian proses pembakaran ini digunakan 3 jenis bahan bakar, yaitu minyak serai wangi, Marine Diesel Oil dan pertadex.

Berikut ini adalah karakteristik minyak serai wangi yang telah di uji oleh Lab Energi ITS :

Tabel 4.1. Karakteristik Minyak Serai Wangi

| Bahan Bakar    | Jenis Uji                         | Hasil                   |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Biodiesel B100 | Viskositas pada 40 <sup>0</sup> C | 3.32 cSt                |
|                | Densitas                          | 0.87 gr/cm <sup>3</sup> |
|                | <i>Flash Point</i>                | 81 <sup>0</sup> C       |

Berikut ini adalah karakteristik pertadex berdasarkan data Pertamina :

Tabel 4.2. Karakteristik Pertadex

| Bahan Bakar | Jenis Uji                         | Hasil                   |
|-------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Pertadex    | Viskositas pada 40 <sup>0</sup> C | 4.5 cSt                 |
|             | Densitas                          | 0.82 gr/cm <sup>3</sup> |
|             | <i>Flash Point</i>                | 55 <sup>0</sup> C       |

Berikut ini adalah karakteristik Marine Diesel Oil berdasarkan data Steaua Romana Refinery Campina :

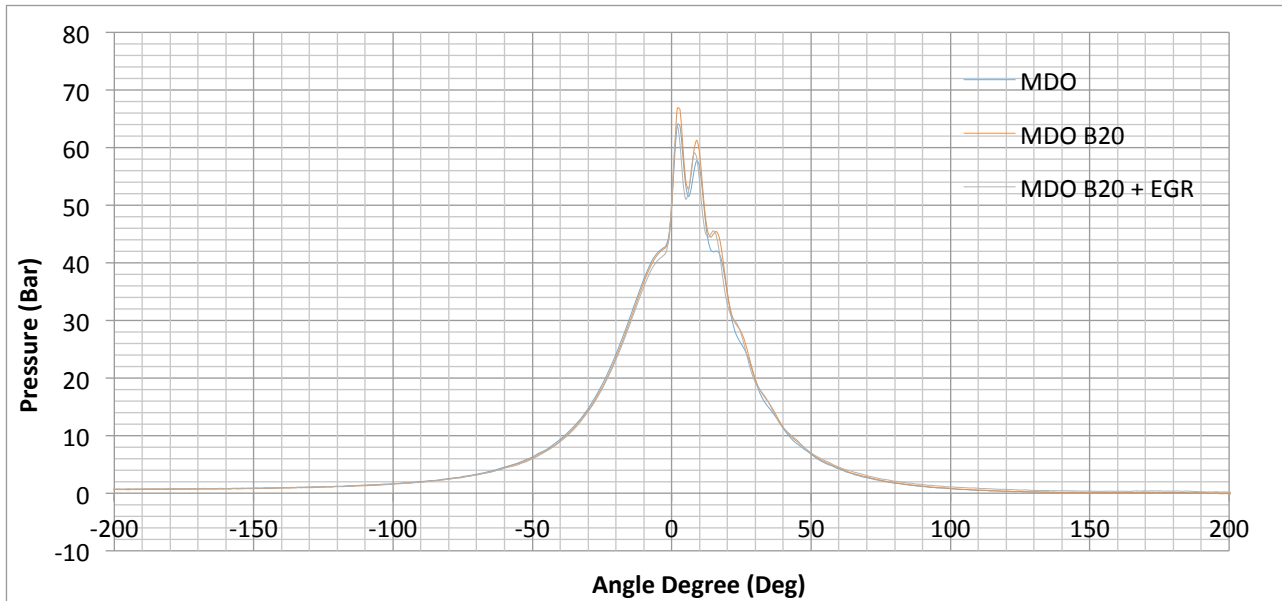
Tabel 4.3. Karakteristik Marine Diesel Oil

| Bahan Bakar       | Jenis Uji                         | Hasil                   |
|-------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Marine Diesel Oil | Viskositas pada 40 <sup>0</sup> C | 6 cSt                   |
|                   | Densitas                          | 0.88 gr/cm <sup>3</sup> |
|                   | <i>Flash Point</i>                | > 60 <sup>0</sup> C     |

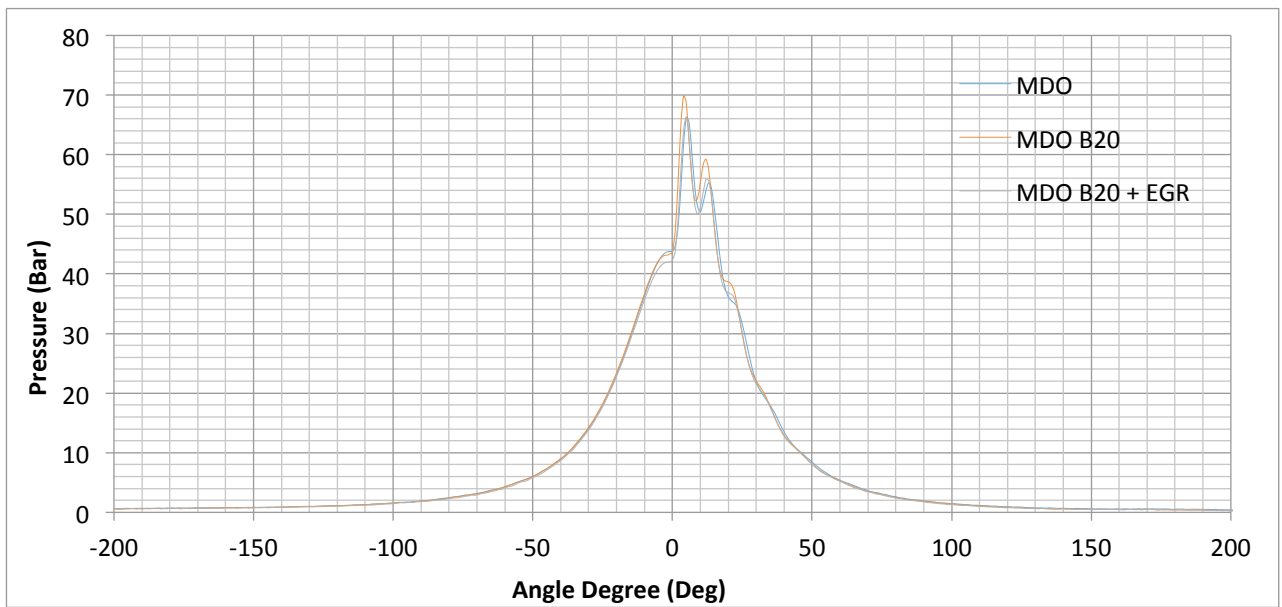
### 4.2. Analisis Hasil Proses Pembakaran

Analisis proses pembakaran pada percobaan ini terbagi menjadi 4 bagian, yaitu *combustion pressure*, *heat release*, *knocking* dan *ignition delay*.

#### 4.2.1. Analisis Combustion Pressure



Gambar 4.1. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 1800 dan Beban 1000 Watt

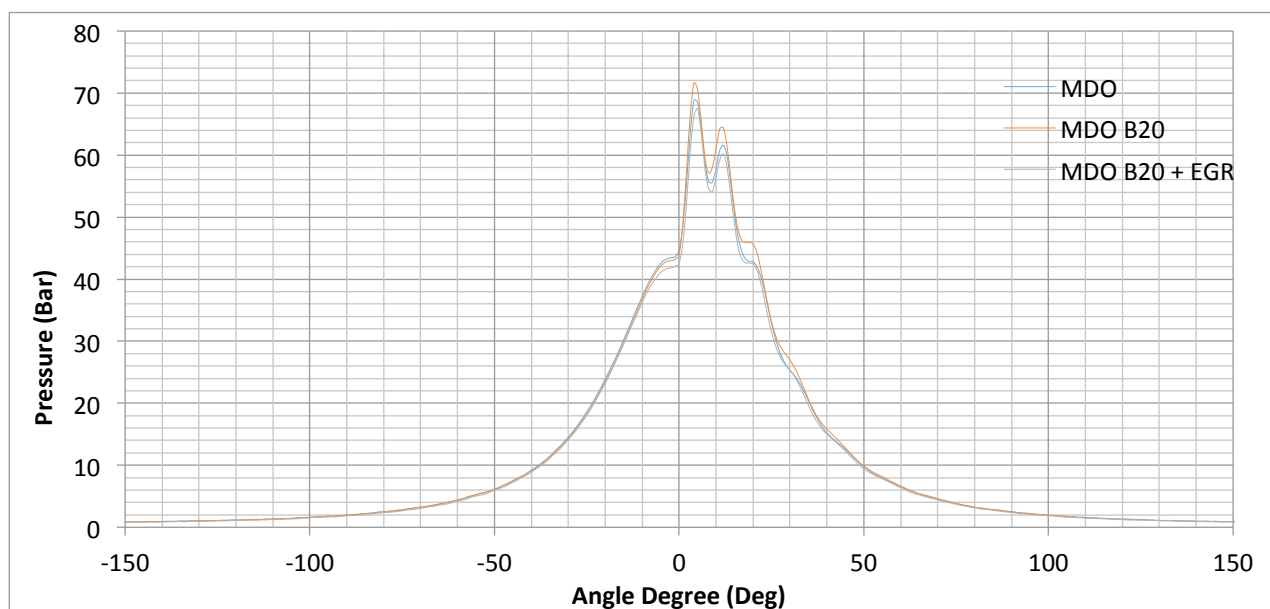


Gambar 4.2. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 2200 dan Beban 1000 Watt

Berdasarkan gambar 4.1. nilai *maximum combustion pressure* menggunakan bahan bakar MDO adalah 64 bar, MDO B20 adalah 66.8 bar, dan MDO yang menggunakan sistem EGR adalah 63.7 bar. Ketiga nilai tersebut berada pada posisi  $2^{\circ}$  setelah TMA.

Pada gambar 4.2. nilai *maximum combustion pressure* dengan menggunakan bahan bakar MDO adalah 66.2 bar dan MDO yang menggunakan sistem EGR adalah 66.3 bar dimana kedua nilai tersebut berada pada posisi  $5^{\circ}$  setelah TMA. Sedangkan nilai *maximum combustion pressure* MDO B20 adalah 69.8 bar pada posisi  $4^{\circ}$  setelah TMA.

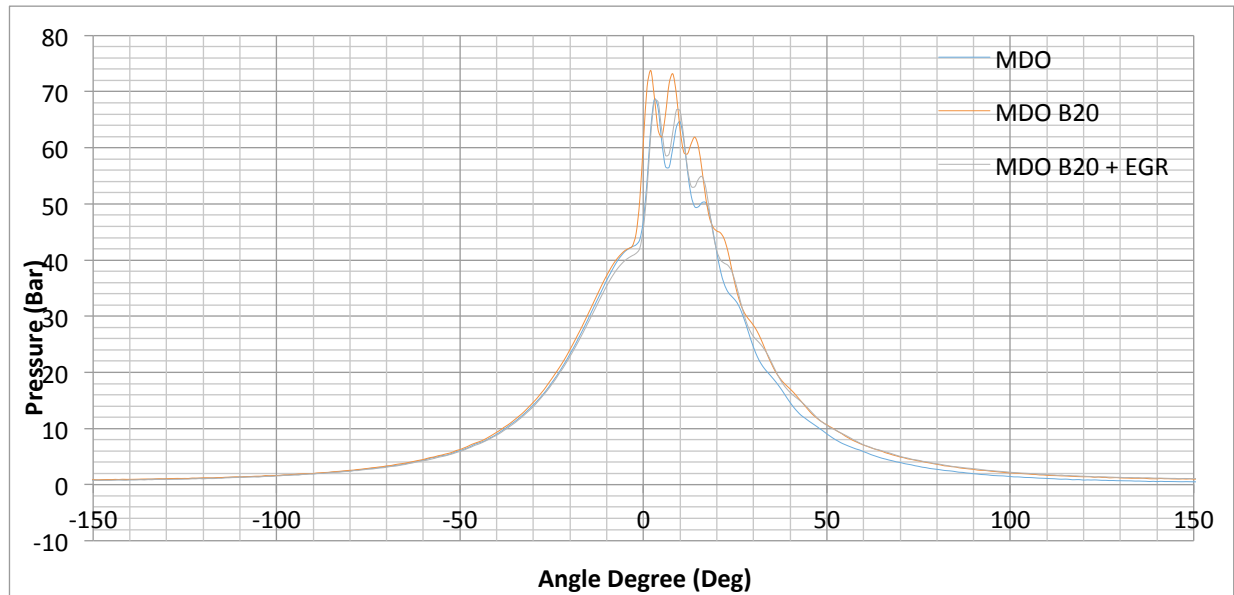
Nilai *maximum combustion pressure* pada beban 1000 watt naik secara konstan apabila RPM dinaikkan dari 1800 hingga 2200 baik dengan penggunaan MDO, MDO B20 dan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR. Proses pembakaran dengan menggunakan MDO B20 memiliki nilai *maximum combustion pressure* yang paling tinggi dibandingkan dengan MDO dan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR.



Gambar 4.3. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 2200 dan Beban 2000 Watt

Berdasarkan gambar 4.3. nilai *maximum combustion pressure* menggunakan bahan bakar MDO adalah 68.8 bar dan MDO B20 adalah 71.6 bar. Kedua nilai tersebut berada pada posisi  $4^{\circ}$  setelah TMA. Sedangkan nilai *maximum combustion pressure* MDO yang menggunakan sistem EGR adalah 67.5 bar pada posisi  $5^{\circ}$  setelah TMA.

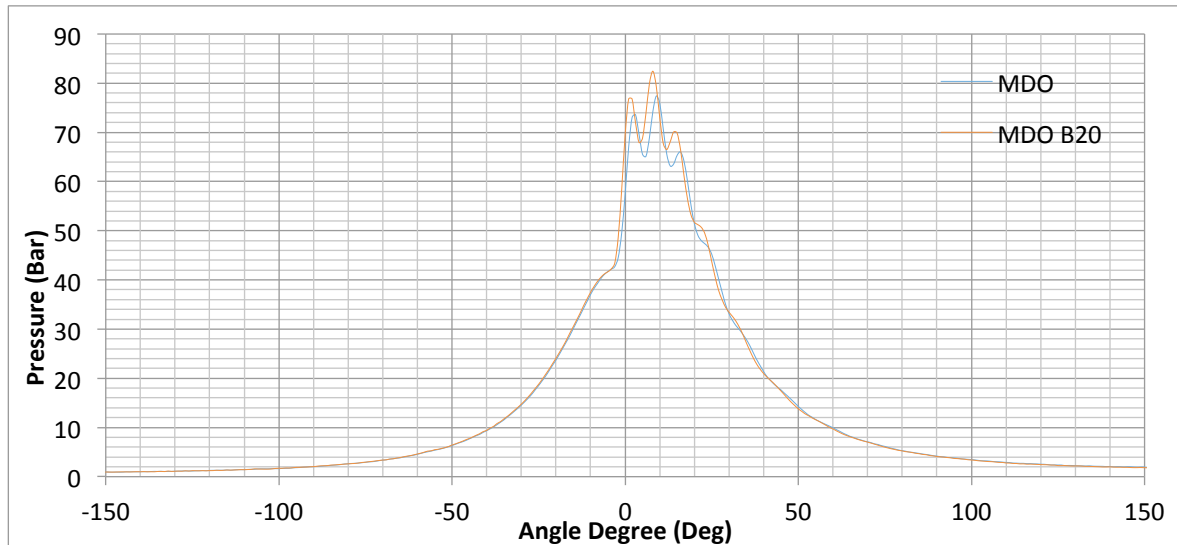
Proses pembakaran pada pembebanan 2000 watt disetiap variasi RPM dengan menggunakan MDO B20 memiliki nilai *maximum combustion pressure* tertinggi, sedangkan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR memiliki nilai terendah.



Gambar 4.4. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 1900 dan Beban 3000 Watt

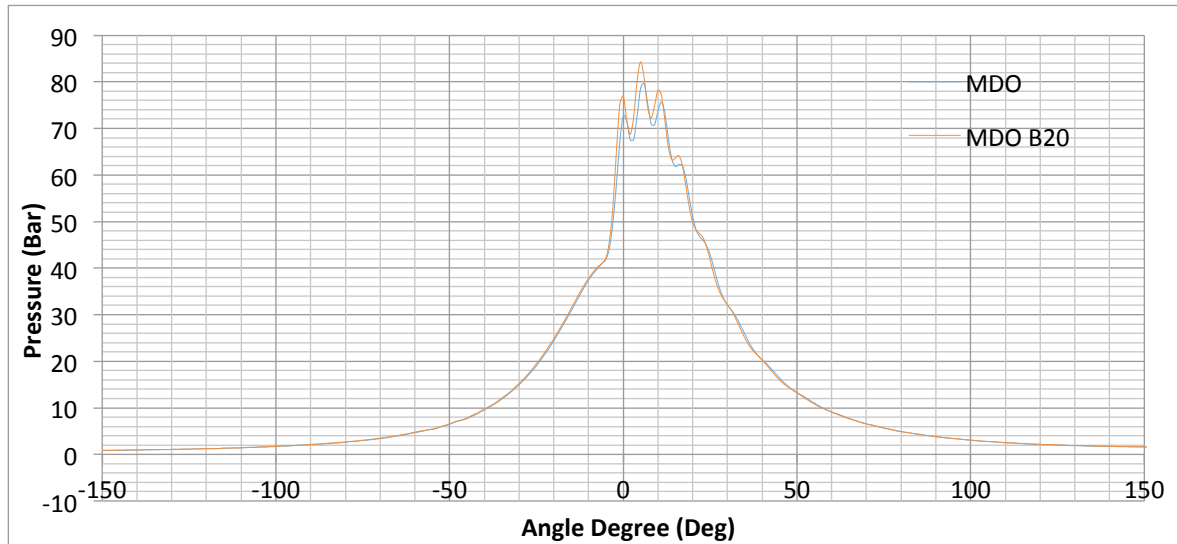
Pada gambar 4.4. dapat dilihat bahwa nilai *maximum combustion pressure* dengan menggunakan bahan bakar MDO adalah 68.7 bar dan MDO yang menggunakan sistem EGR adalah 68.4 bar dimana kedua nilai tersebut berada pada posisi 3<sup>0</sup> setelah TMA. Sedangkan nilai *maximum combustion pressure* MDO B20 adalah 73.8 bar pada posisi 2<sup>0</sup> setelah TMA.

Nilai *maximum combustion pressure* pada pembebanan 3000 watt disetiap variasi RPM naik secara konstan. Nilai *maximum combustion pressure* tertinggi adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 dan terendah adalah MDO B20 yang menggunakan sistem EGR.



Gambar 4.5. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 2200 dan Beban 4000 Watt

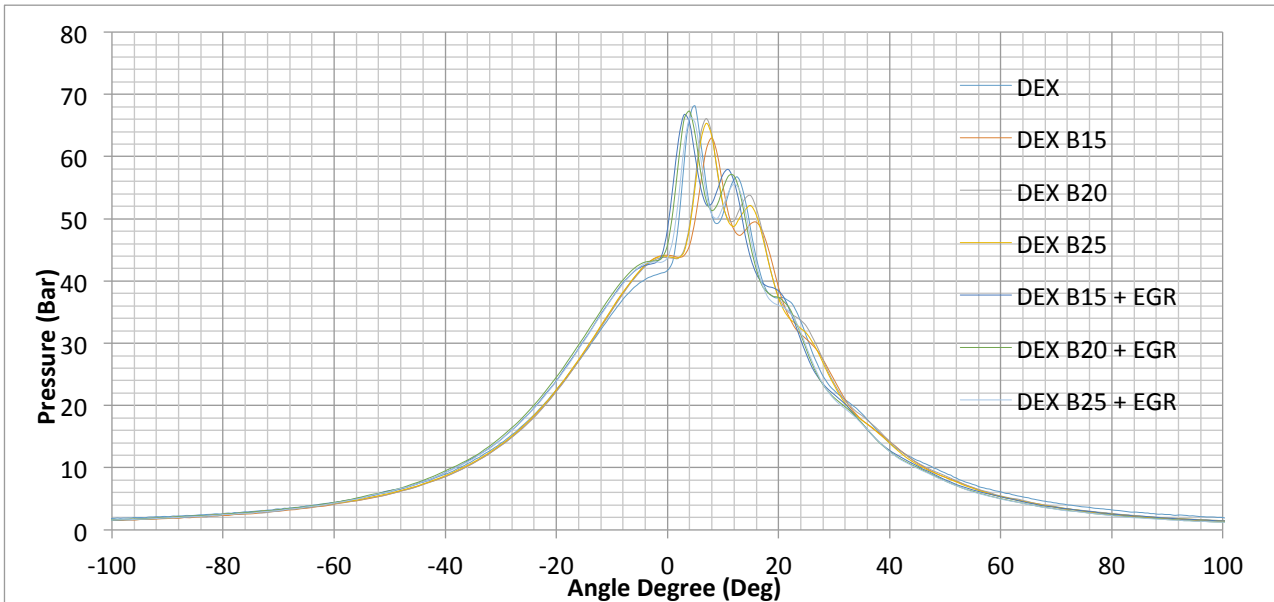
Nilai *maximum combustion pressure* pada pembebanan 4000 watt disetiap RPM naik secara konstan. Nilai *maximum combustion pressure* dengan penggunaan MDO B20 lebih tinggi dibandingkan dengan MDO disemua RPM sesuai dengan gambar 4.5. dimana nilai *maximum combustion pressure* dengan penggunaan MDO B20 adalah 82.4 bar pada posisi 8<sup>o</sup> setelah TMA dan MDO adalah 77.4 bar pada posisi 9<sup>o</sup> setelah TMA.



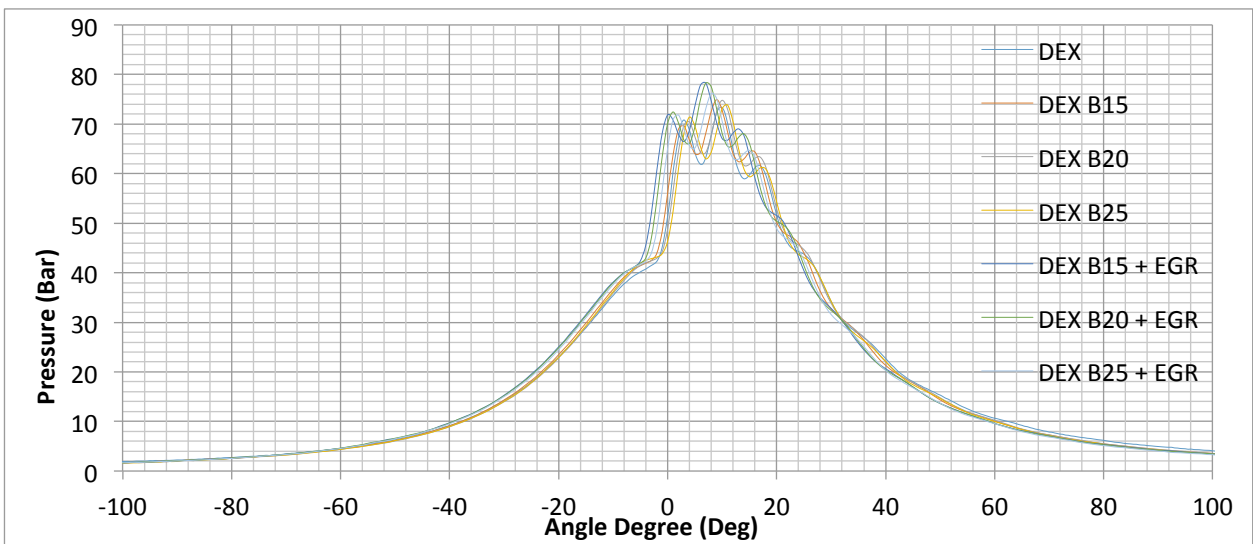
Gambar 4.6. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 1800 dan Beban 5000 Watt

Berdasarkan gambar 4.6. nilai *maximum combustion pressure* menggunakan bahan bakar MDO adalah 79.6 bar pada posisi  $6^{\circ}$  setelah TMA dan MDO B20 adalah 84.3 bar pada posisi  $5^{\circ}$  setelah TMA.

Nilai *maximum combustion pressure* bahan bakar MDO B20 lebih tinggi dibandingkan dengan MDO pada pembebanan 5000 watt disetiap variasi RPM.



Gambar 4.7. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 2200 dan Beban 1000 Watt



Gambar 4.8. Grafik *Combustion Pressure* pada RPM 2200 dan Beban 4000 Watt

Berdasarkan gambar 4.7. nilai *maximum combustion pressure* menggunakan bahan bakar pertadex adalah 68.1 bar pada posisi 5<sup>0</sup> setelah TMA, B15 adalah 63 bar pada posisi 8<sup>0</sup> setelah TMA, B20 adalah 66.1 bar pada posisi 7<sup>0</sup> setelah TMA, B25 adalah 65.3 bar pada posisi 7<sup>0</sup> setelah TMA, B15 yang menggunakan sistem EGR adalah 66.7 bar pada posisi 3<sup>0</sup> setelah TMA, B20 yang menggunakan sistem EGR adalah 67.3 bar pada posisi 4<sup>0</sup> setelah TMA, dan B25 yang menggunakan sistem EGR adalah 66.2 bar pada posisi 4<sup>0</sup> setelah TMA.

Berdasarkan gambar 4.8. nilai *maximum combustion pressure* menggunakan bahan bakar pertadex adalah 73.3 bar pada posisi 9<sup>0</sup> setelah TMA, B15 adalah 75 bar pada posisi 9<sup>0</sup> setelah TMA, B20 adalah 74.8 bar pada posisi 10<sup>0</sup> setelah TMA, B25 adalah 74 bar pada posisi 11<sup>0</sup> setelah TMA, B15 yang menggunakan sistem EGR adalah 78.3 bar pada posisi 7<sup>0</sup> setelah TMA, B20 yang menggunakan sistem EGR adalah 78.3 bar pada posisi 7<sup>0</sup> setelah TMA, dan B25 yang menggunakan sistem EGR adalah 76.2 bar pada posisi 8<sup>0</sup> setelah TMA.

Nilai *maximum combustion pressure* tertinggi pada RPM 2200 dengan pembebanan 1000, 2000 dan 5000 watt adalah dengan penggunaan bahan bakar pertadex, sedangkan nilai *maximum combustion pressure* tertinggi pada pembebanan 3000 dan 4000 watt adalah dengan penggunaan bahan bakar B15 yang menggunakan sistem EGR.

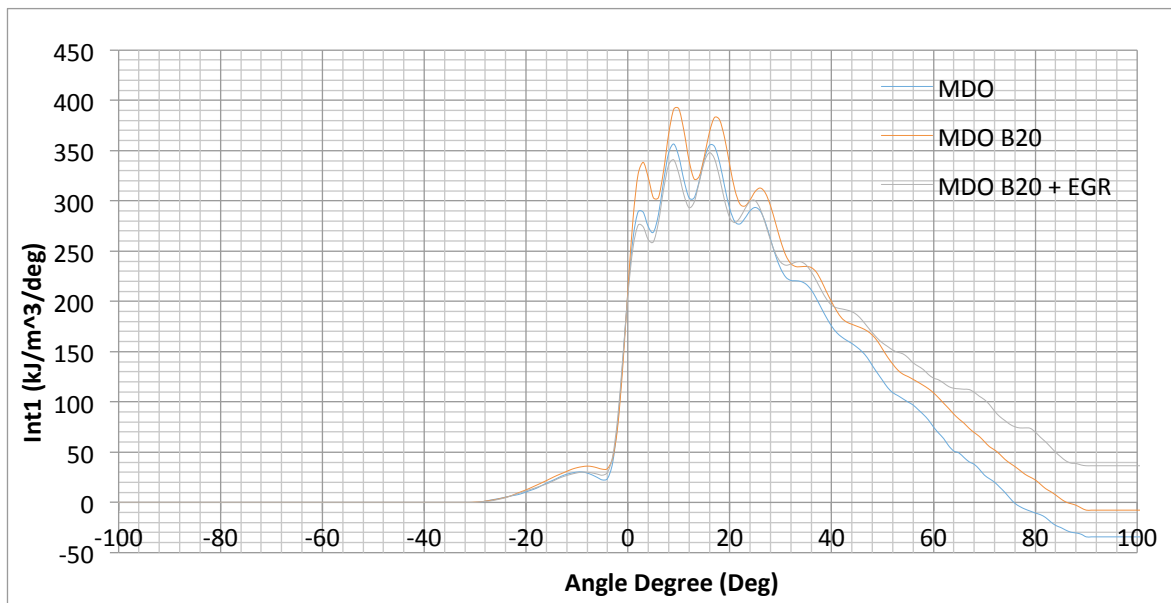
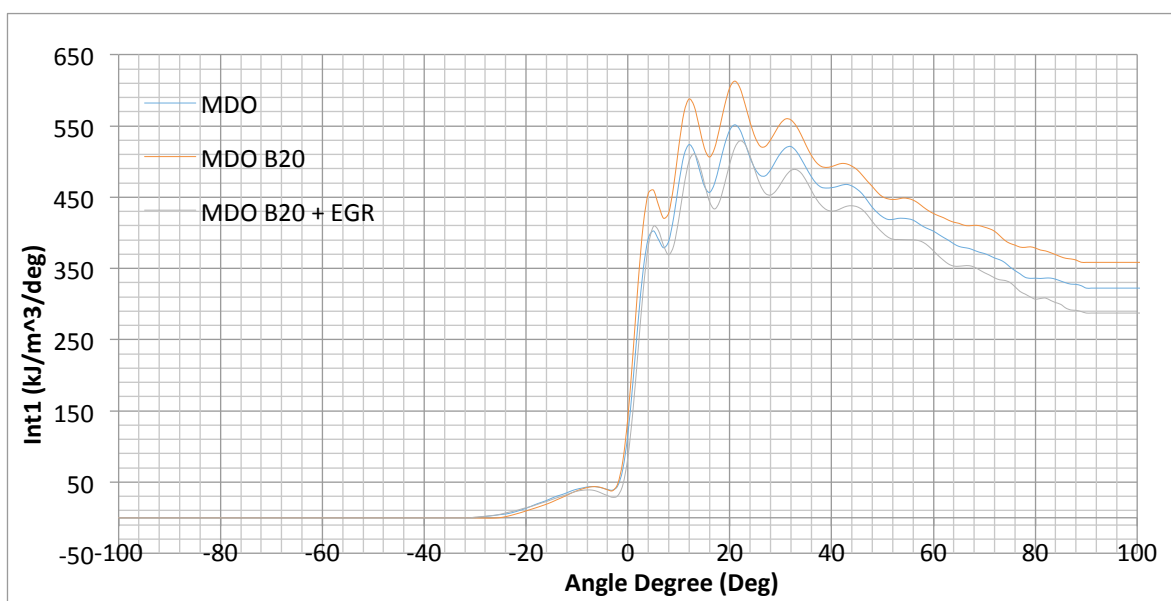
Nilai *maximum combustion pressure* terendah pada RPM 2200 dengan pembebanan 1000, 2000 dan 3000 watt adalah dengan penggunaan bahan bakar B15, sedangkan nilai *maximum combustion pressure* terendah pada pembebanan 4000 watt adalah dengan penggunaan bahan bakar pertadex dan pada pembebanan 5000 watt adalah dengan penggunaan bahan bakar B25.

#### 4.2.2. Analisis Heat Release

Pada gambar 4.9. dapat dilihat bahwa nilai *heat release* tertinggi dengan penggunaan MDO adalah sebesar 356.6 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada posisi 9<sup>0</sup> setelah TMA, MDO B20 adalah 391.6 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada posisi 10<sup>0</sup> setelah TMA dan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR adalah 347.8 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada posisi 16<sup>0</sup> setelah TMA.

Nilai *heat release* tertinggi dengan pembebanan 1000 watt pada RPM 1900 dan 2000 adalah dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR, RPM 2100 dan 2200 adalah dengan penggunaan MDO dan RPM 1800 adalah dengan penggunaan MDO B20.

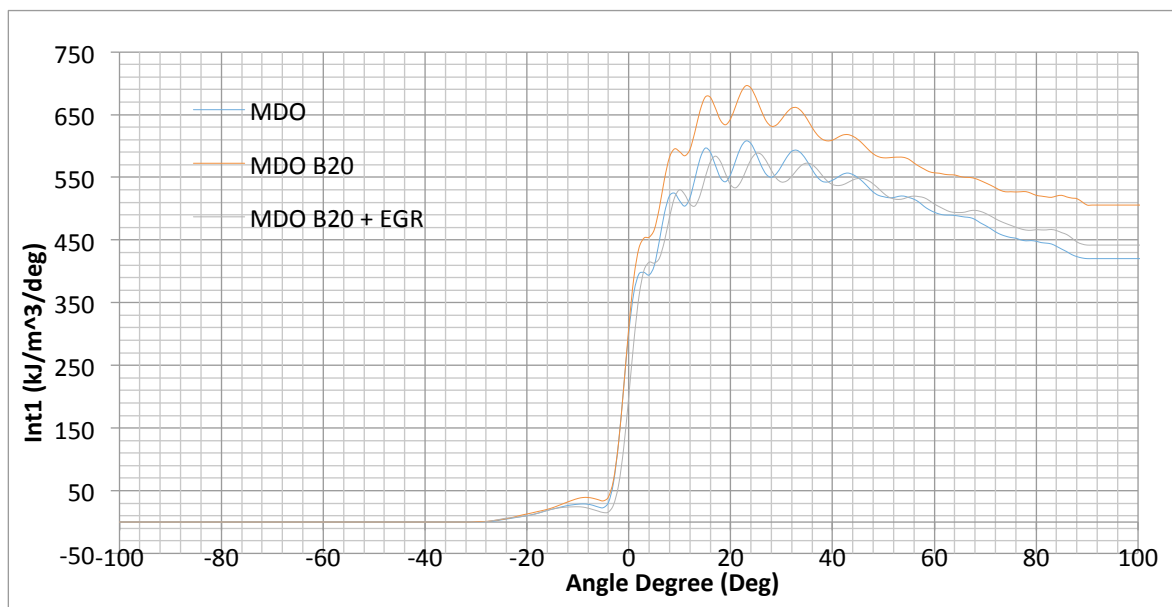
Nilai puncak *heat release* terendah dengan pembebanan 1000 watt pada RPM 1800, 2100 dan 2200 adalah dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR dan pada RPM 1900 dan 2000 adalah dengan penggunaan MDO.

Gambar 4.9. Grafik *Heat Release* pada RPM 1800 dan Beban 1000 WattGambar 4.10. Grafik *Heat Release* pada RPM 2200 dan Beban 2000 Watt



Berdasarkan gambar 4.10. nilai *heat release* tertinggi dengan penggunaan MDO adalah sebesar  $551.5 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $21^\circ$  setelah TMA, MDO B20 adalah  $612.9 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $21^\circ$  setelah TMA dan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR adalah  $529.1 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $22^\circ$  setelah TMA.

Nilai *heat release* tertinggi dengan pembebanan 2000 watt pada RPM 1800, 2000 dan 2200 adalah dengan penggunaan MDO B20, pada RPM 1900 adalah dengan penggunaan MDO dan pada RPM 2100 adalah dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR.

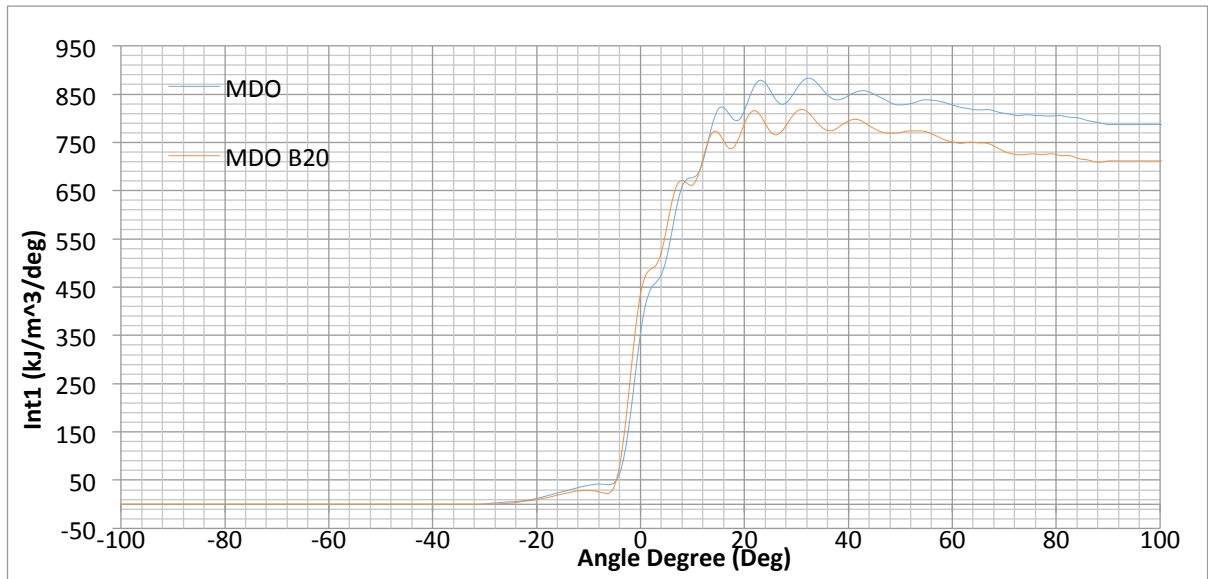


Gambar 4.11. Grafik *Heat Release* pada RPM 2000 dan Beban 3000 Watt

Pada gambar 4.11. nilai *heat release* tertinggi dengan penggunaan MDO adalah sebesar  $608 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $23^\circ$  setelah TMA, MDO B20 adalah  $696 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $23^\circ$  setelah TMA dan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR adalah  $588.1 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $25^\circ$  setelah TMA.

Pada pembebanan 3000 watt di RPM 2000, 2100 dan 2200 nilai *heat release* tertinggi adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 sedangkan di RPM 1800 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO dan di RPM 1900 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan sistem EGR.

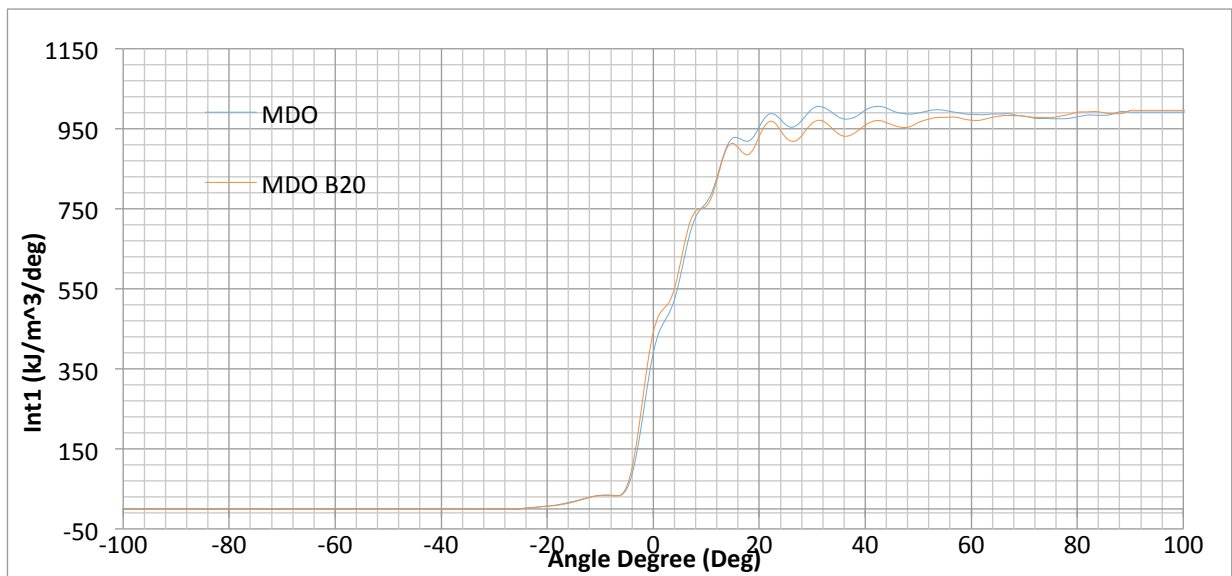
Nilai puncak *heat release* terendah pada pembebanan 3000 watt di RPM 1800, 2000 dan 2100 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan sistem EGR dan di RPM 1900 dan 2200 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO.



Gambar 4.12. Grafik *Heat Release* pada RPM 2100 dan Beban 4000 Watt

Berdasarkan gambar 4.12. nilai *heat release* tertinggi dengan penggunaan MDO adalah sebesar 882.7 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada posisi 32<sup>o</sup> setelah TMA dan MDO B20 adalah 818.6 kJ/m<sup>3</sup>/deg pada posisi 31<sup>o</sup> setelah TMA.

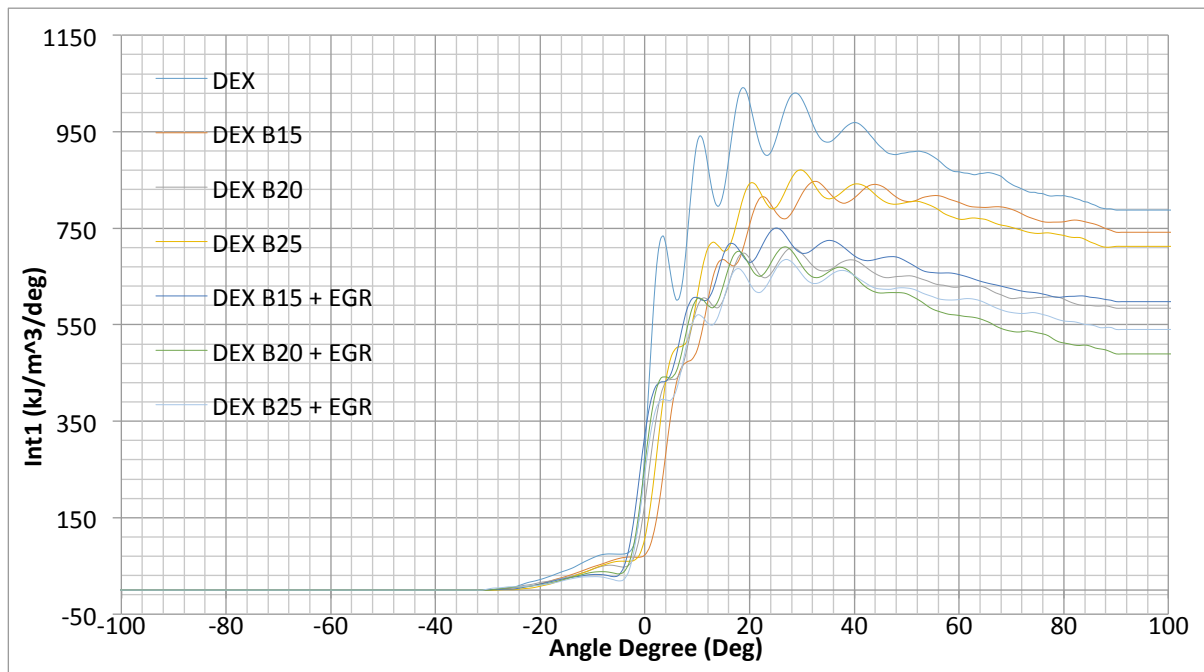
Nilai *heat release* tertinggi dengan beban 4000 watt pada RPM 1800 dan 1900 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 dan pada RPM 2000 dan 2100 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO.



Gambar 4.13. Grafik *Heat Release* pada RPM 2200 dan Beban 5000 Watt

Pada gambar 4.13. dapat dilihat bahwa nilai *heat release* tertinggi dengan penggunaan MDO adalah sebesar  $1005.8 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  dan MDO B20 adalah  $970.7 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  dimana keduanya berada pada posisi  $31^\circ$  setelah TMA.

Pada beban 5000 watt di semua variasi RPM kecuali 1900, nilai *heat release* tertinggi adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO.

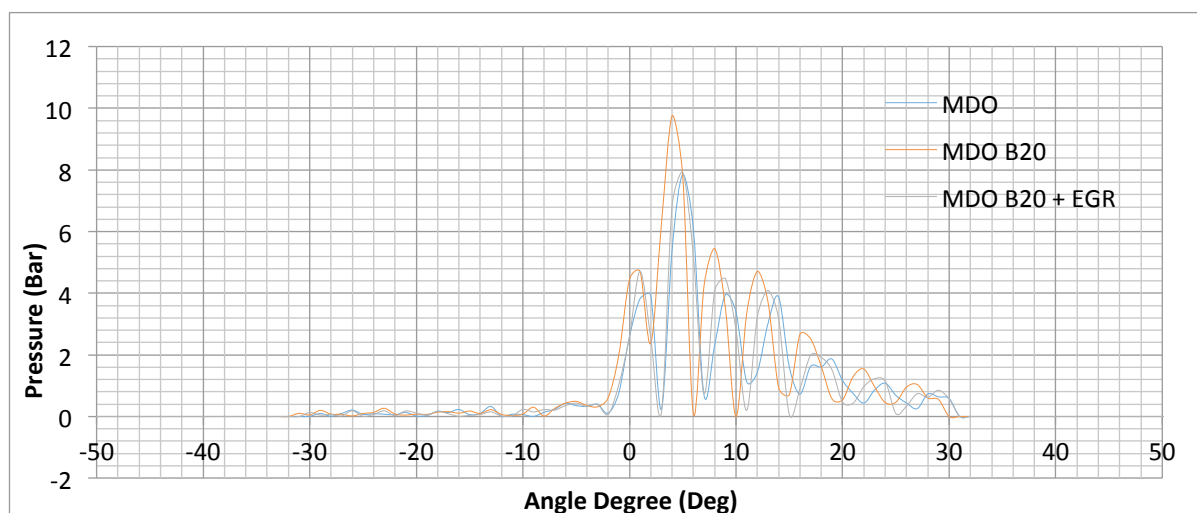


Gambar 4.14. Grafik *Heat Release* pada RPM 2200 dan Beban 3000 Watt

Berdasarkan gambar 4.14. nilai *heat release* tertinggi dengan penggunaan pertadex adalah sebesar  $1040.2 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $18^\circ$  setelah TMA dan pertadex B25 yang menggunakan EGR adalah  $685.3 \text{ kJ/m}^3/\text{deg}$  pada posisi  $27^\circ$  setelah TMA.

Pada RPM 2200 di semua variasi pembebanan, nilai *heat release* tertinggi adalah dengan penggunaan bahan bakar pertadex. Nilai puncak *heat release* terendah pada pembebanan 2000, 3000, dan 4000 adalah dengan penggunaan bahan bakar pertadex B25 yang menggunakan EGR sedangkan pada pembebanan 1000 adalah dengan penggunaan pertadex B20 yang menggunakan EGR dan pada pembebanan 5000 adalah dengan penggunaan pertadex B25.

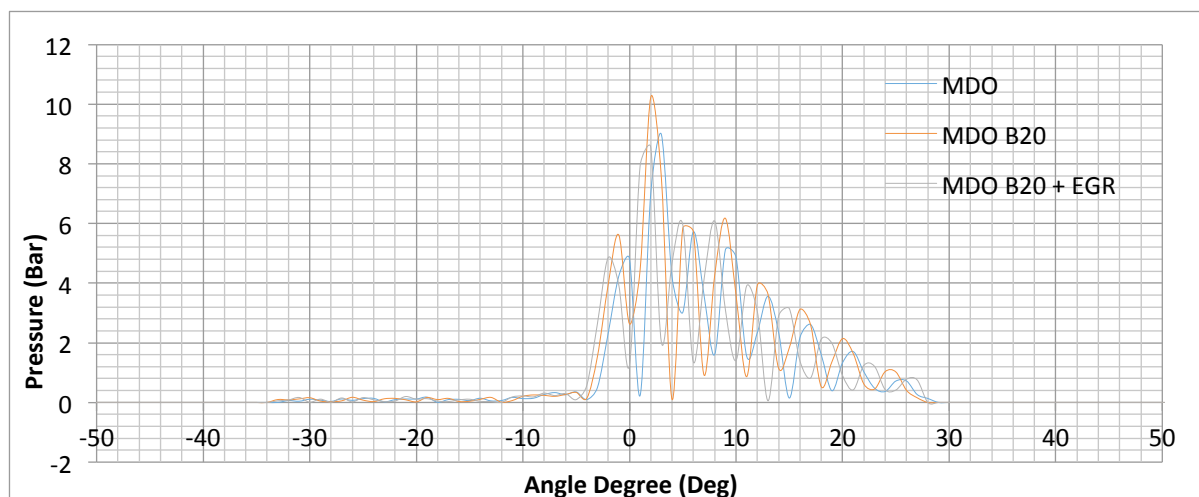
### 4.2.3. Analisis Knocking



Gambar 4.15. Grafik *Knocking* pada RPM 2200 dan Beban 1000 Watt

Dapat dilihat pada gambar 4.15. bahwa nilai *knocking* tertinggi dengan penggunaan MDO berada pada  $\Delta P$  sebesar 7.7 bar sedangkan dengan penggunaan MDO B20 berada pada  $\Delta P$  sebesar 7.4 bar dan dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan EGR berada pada  $\Delta P$  sebesar 7.8 bar.

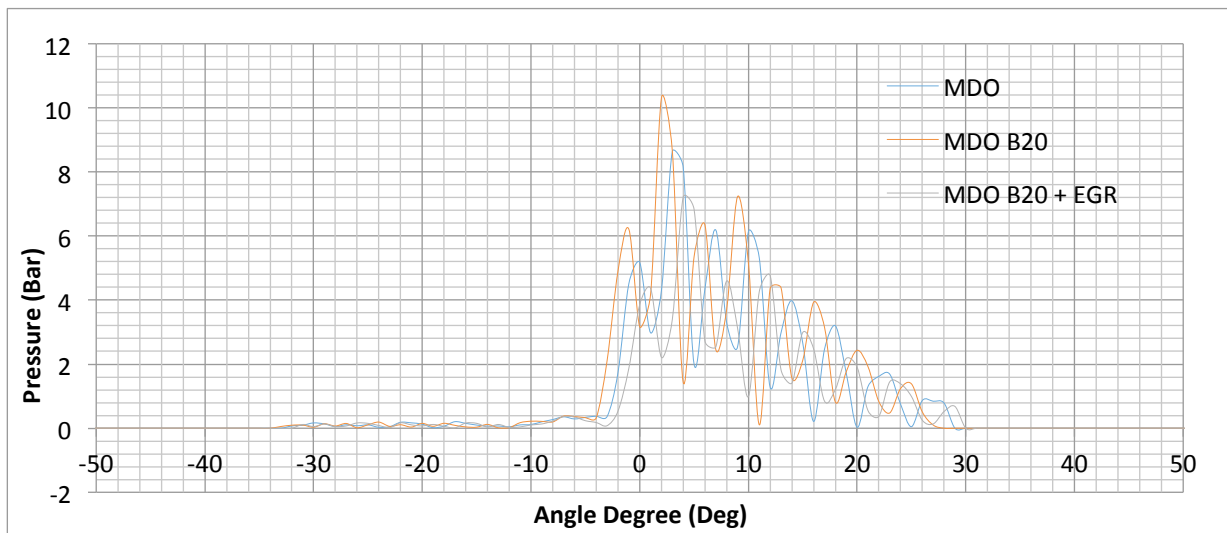
Nilai *knocking* tertinggi pada pembebanan 1000 watt di RPM 2000, 2100 dan 2200 adalah dengan penggunaan MDO B20, di RPM 1800 adalah MDO dan di RPM 1900 adalah MDO B20 yang menggunakan EGR.



Gambar 4.16. Grafik *Knocking* pada RPM 1800 dan Beban 2000 Watt

Berdasarkan gambar 4.16. penggunaan MDO memiliki nilai *knocking* tertinggi yang berada pada  $\Delta P$  sebesar 8.8 bar sedangkan dengan penggunaan MDO B20 berada pada  $\Delta P$  sebesar 7.6 bar dan dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan EGR berada pada  $\Delta P$  sebesar 7.3 bar.

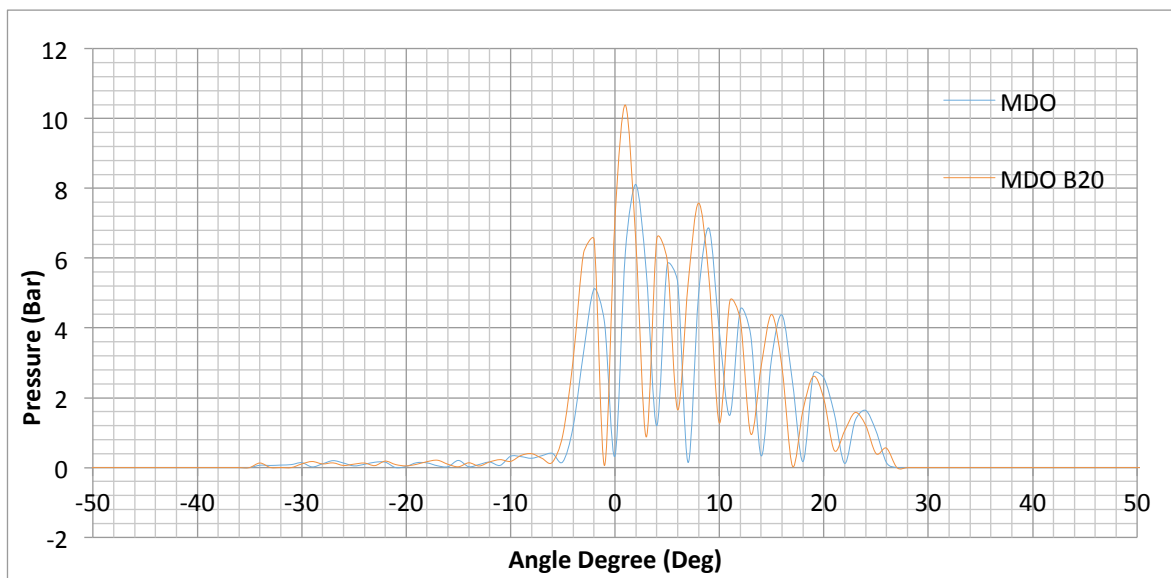
Pada pembebanan 2000 watt disemua variasi RPM, nilai *knocking* tertinggi adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20. Sedangkan nilai puncak *knocking* terendah pada semua variasi RPM kecuali 2100 adalah dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan sistem EGR.



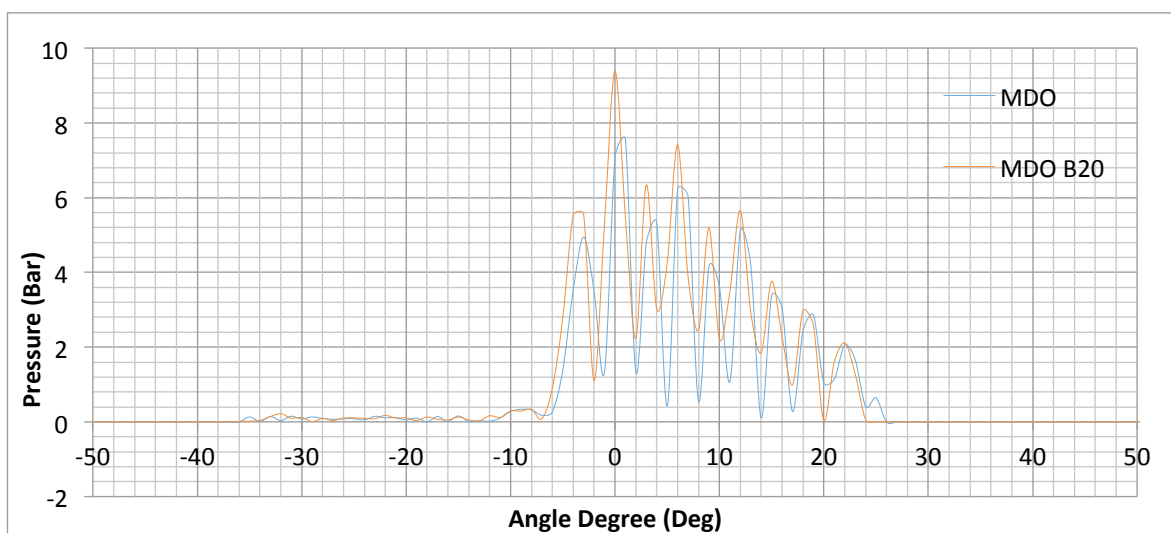
Gambar 4.17. Grafik *Knocking* pada RPM 2100 dan Beban 3000 Watt

Dapat dilihat pada gambar 4.17. bahwa nilai *knocking* tertinggi dengan penggunaan MDO berada pada  $\Delta P$  sebesar 5.7 bar sedangkan dengan penggunaan MDO B20 berada pada  $\Delta P$  sebesar 7.1 bar dan dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan EGR berada pada  $\Delta P$  sebesar 5 bar.

Di setiap variasi RPM kecuali 2000 dengan pembebanan 3000 watt, nilai tertinggi *knocking* adalah dengan penggunaan MDO B20. Nilai puncak *knocking* terendah pada RPM 1800 dan 1900 adalah dengan penggunaan MDO dan pada RPM 2000, 2100 dan 2200 adalah dengan penggunaan MDO yang menggunakan sistem EGR.



Gambar 4.18. Grafik *Knocking* pada RPM 2200 dan Beban 4000 Watt

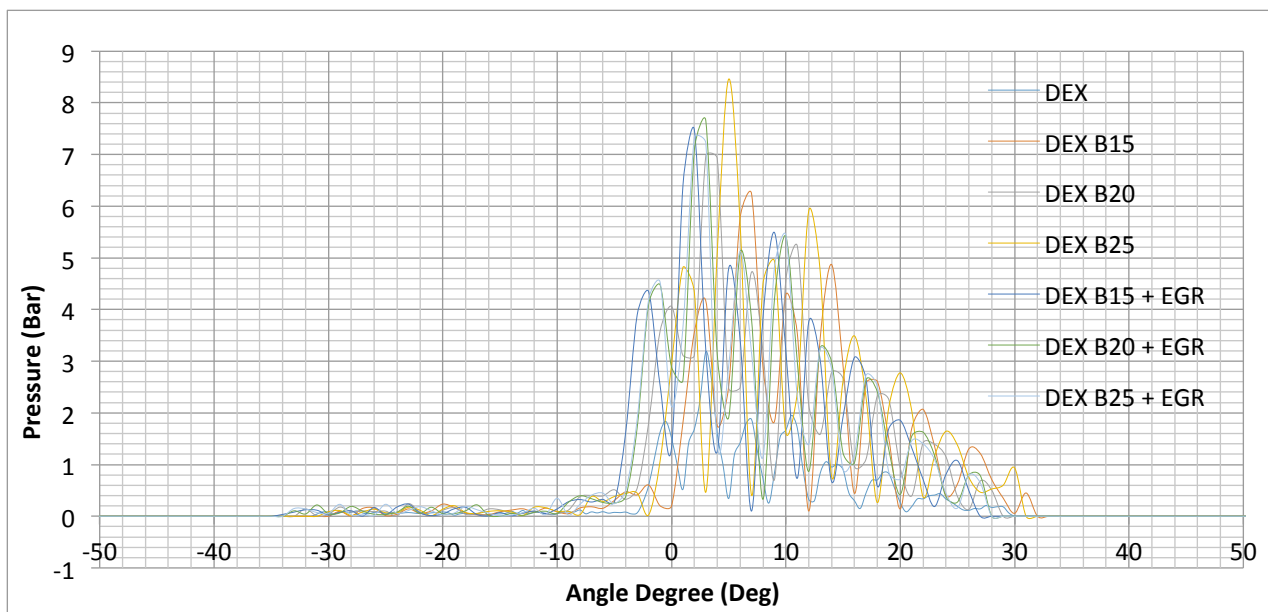


Gambar 4.19. Grafik *Knocking* pada RPM 1900 dan Beban 5000 Watt

Pada gambar 4.18. dapat dilihat bahwa penggunaan MDO memiliki nilai *knocking* tertinggi yang berada pada  $\Delta P$  sebesar 7.8 bar dan dengan penggunaan MDO B20 berada pada  $\Delta P$  sebesar 10.3 bar.

Berdasarkan gambar 4.19. penggunaan MDO memiliki nilai *knocking* tertinggi yang berada pada  $\Delta P$  sebesar 6.3 bar dan dengan penggunaan MDO B20 berada pada  $\Delta P$  sebesar 8.3 bar.

Pada pembebanan 4000 dan 5000 watt disemua variasi RPM, nilai *knocking* tertinggi adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20.



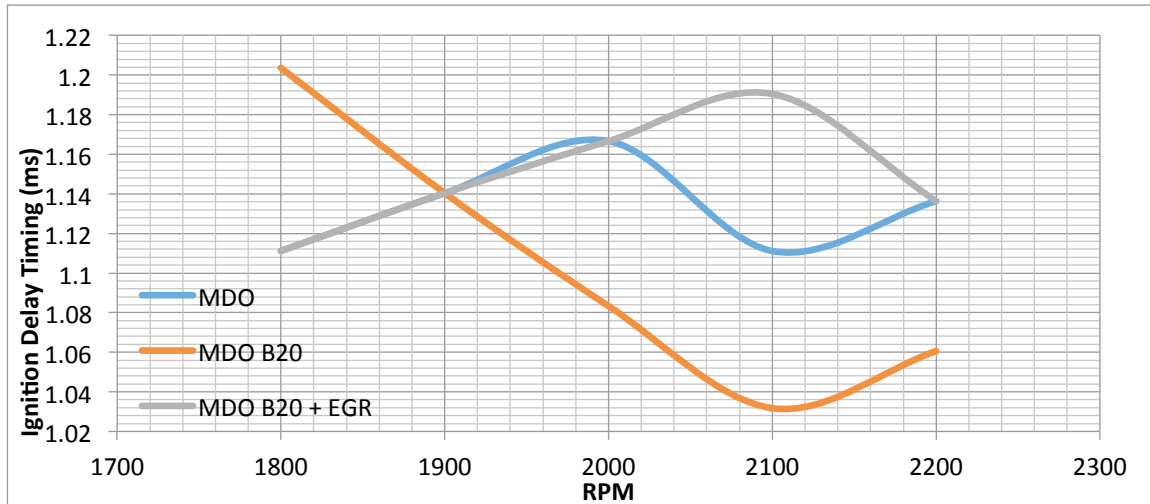
Gambar 4.20. Grafik *Knocking* pada RPM 2200 dan Beban 3000 Watt

Dapat dilihat pada gambar 4.20. bahwa penggunaan pertadex memiliki nilai *knocking* tertinggi yang berada pada  $\Delta P$  sebesar 2.7 bar dan dengan penggunaan pertadex B25 berada pada  $\Delta P$  sebesar 8 bar.

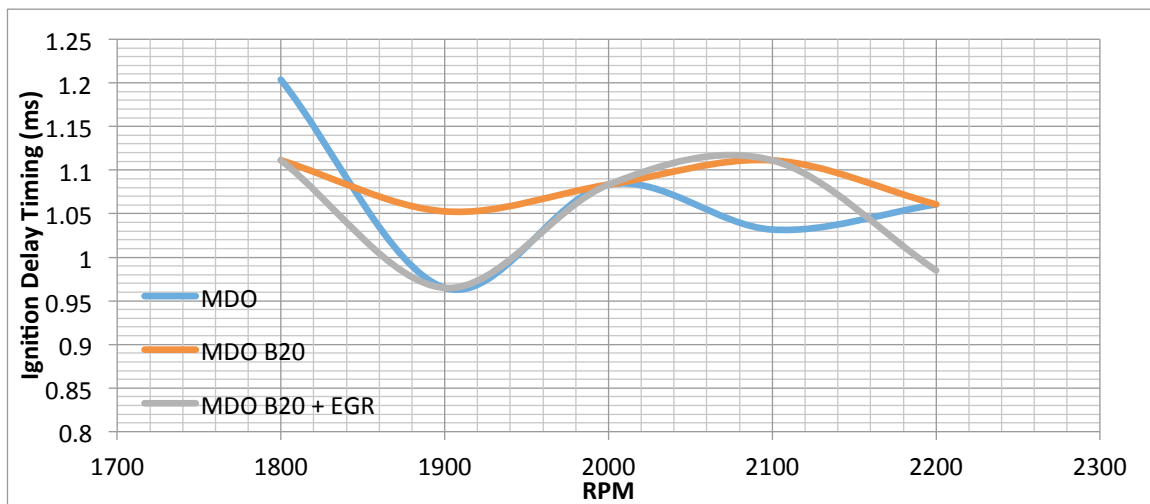
Nilai puncak *knocking* terendah dengan semua variasi beban pada RPM 2200 adalah dengan penggunaan pertadex. Nilai *knocking* tertinggi pada pembebanan 1000, 3000, dan 5000 adalah dengan penggunaan pertadex B25 sedangkan pada pembebanan 2000 adalah dengan penggunaan pertadex B20 yang menggunakan sistem EGR dan pada pembebanan 4000 adalah dengan penggunaan pertadex B25 yang menggunakan sistem EGR.

#### 4.2.4. Analisis Ignition Delay

Dapat dilihat pada gambar 4.21. bahwa waktu *ignition delay* tersingkat pada pembebanan 1000 watt di RPM 2000, 2100 dan 2200 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 dengan nilai 1.083 ms, 1.031 ms dan 1.06 ms. Sedangkan waktu *ignition delay* tersingkat pada RPM 1800 dan 1900 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO dan MDO B20 yang menggunakan EGR dengan nilai 1.111 ms dan 1.14 ms.



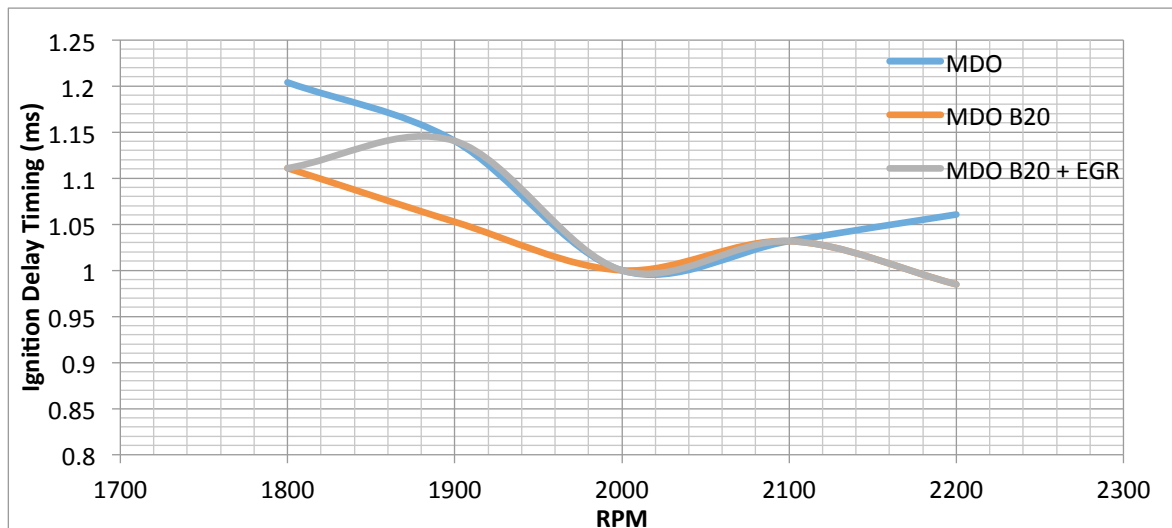
Gambar 4.21. Grafik *Ignition Delay* pada Pembebanan 1000 Watt



Gambar 4.22. Grafik *Ignition Delay* pada Pembebanan 2000 Watt

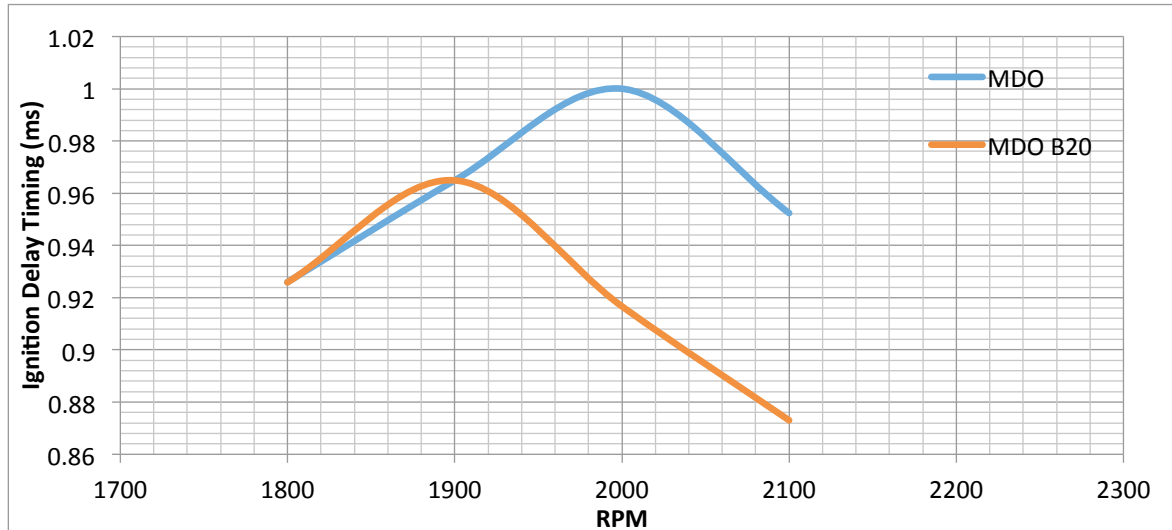
Berdasarkan gambar 4.22. waktu *ignition delay* tersingkat pada pembebanan 2000 watt di RPM 1800 adalah dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan EGR dan MDO B20 dengan nilai 1.111 ms, di RPM 1900 adalah dengan penggunaan MDO dan MDO B20 yang menggunakan EGR dengan nilai 0.964 ms, di RPM 2000 adalah dengan penggunaan ketiga bahan bakar dengan nilai 1.083 ms, di RPM 2100 adalah dengan penggunaan MDO dengan nilai 1.031 ms dan di RPM 2200 adalah dengan penggunaan MDO B20 yang menggunakan EGR dengan nilai 0.984 ms.





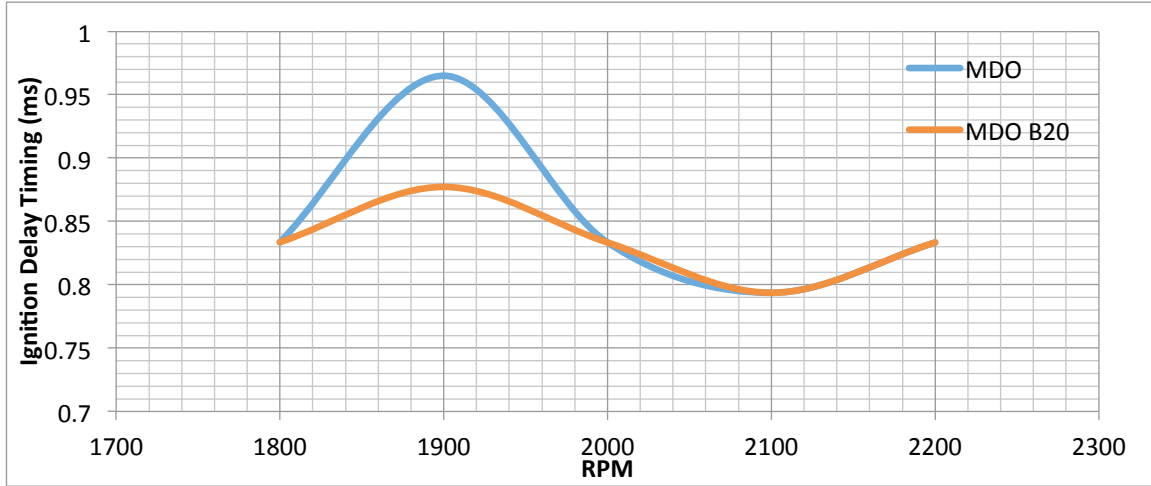
Gambar 4.23. Grafik *Ignition Delay* pada Pembebanan 3000 Watt

Pada gambar 4.23. dapat dilihat bahwa waktu *ignition delay* tersingkat pada pembebanan 3000 watt di RPM 1800 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan EGR dan MDO B20 dengan nilai 1.14 ms, di RPM 1900 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 dengan nilai 1.052 ms, di RPM 2000 dan 2100 adalah dengan penggunaan ketiga bahan bakar dengan nilai 1 dan 1.03 ms dan pada RPM 2200 adalah dengan penggunaan bahan bar MDO B20 yang menggunakan EGR dan MDO B20 dengan nilai 0.984 ms.



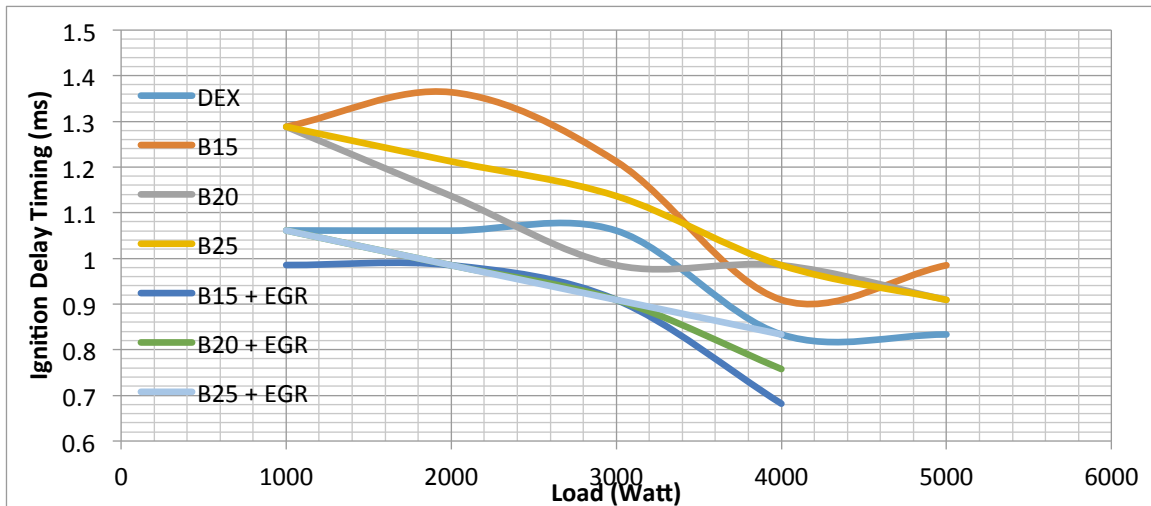
Gambar 4.24. Grafik *Ignition Delay* pada Pembebanan 4000 Watt

Berdasarkan gambar 4.24. waktu *ignition delay* pada pembebanan 4000 watt di RPM 1800 dan 1900 adalah sebesar 0.925 ms dan 0.964 ms dengan pemakaian MDO dan MDO B20 sedangkan pada RPM 2000 dan 2100 waktu *ignition delay* tersingkat adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 dengan nilai 0.916 dan 0.873 ms.



Gambar 4.25. Grafik *Ignition Delay* pada Pembebanan 5000 Watt

Gambar 4.25. menunjukkan bahwa waktu *ignition delay* tersingkat pada pembebanan 5000 watt di RPM 1900 adalah dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 dengan nilai 0.877 ms sedangkan di RPM 1800, 2000, 2100 dan 2200 waktu *ignition delay* antara MDO dan MDO B20 sama besar dengan nilai 0.833 ms, 0.833 ms, 0.793 ms dan 0.833 ms.



Gambar 4.26. Grafik *Ignition Delay* pada RPM 2200

Berdasarkan gambar 4.26. waktu *ignition delay* tersingkat pada RPM 2200 dengan pembebanan 1000 dan 4000 watt adalah dengan penggunaan bahan bakar pertadex B15 dengan penggunaan EGR dengan nilai 0.984 dan 0.681 ms, 2000 dan 3000 watt adalah dengan penggunaan bahan bakar pertadex B15 dengan penggunaan EGR, pertadex B20 dengan penggunaan EGR dan pertadex B25 dengan penggunaan EGR dengan nilai 0.984 dan 0.909 ms, dan 5000 watt adalah dengan penggunaan pertadex dengan nilai 0.833 ms.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## BAB V KESIMPULAN & SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis perbandingan proses pembakaran dengan bahan bakar MDO dan biodiesel minyak serai wangi pada mesin Yanmar TF85-MH adalah sebagai berikut :

- a. *Maximum combustion pressure* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 lebih tinggi disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar MDO. Penambahan minyak serai wangi pada MDO dapat menaikkan nilai *combustion pressure* 0.42% hingga 7.42%.  
*Maximum combustion pressure* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan sistem EGR lebih rendah hampir disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar MDO dan MDO B20. Penggunaan sistem EGR dapat menurunkan nilai *combustion pressure* 0.15% hingga 5.26%.
- b. Nilai *heat release* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 lebih tinggi hampir disemua RPM pada pembebanan rendah dibandingkan dengan bahan bakar MDO. Penambahan minyak serai wangi pada MDO dapat menaikkan nilai *heat release* 1.36% hingga 21.31% apabila digunakan pada pembebanan rendah.  
Nilai *heat release* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 lebih rendah hampir disemua RPM pada pembebanan tinggi dibandingkan dengan bahan bakar MDO. Penambahan minyak serai wangi pada MDO dapat menurunkan nilai *heat release* 1.76% hingga 9.06% apabila digunakan pada pembebanan tinggi.  
Nilai *heat release* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan sistem EGR lebih rendah hampir disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar MDO dan MDO B20. Penggunaan sistem EGR dapat menurunkan nilai *heat release* 2.46% hingga 10.99%.
- c. Nilai *knocking* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 lebih rendah hampir disemua RPM pada pembebanan 1000 watt dibandingkan dengan bahan bakar MDO. Penambahan minyak serai wangi pada MDO dapat menurunkan nilai *knocking* 3.79% hingga 22.78% apabila digunakan pada pembebanan 1000 watt.  
Nilai *knocking* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 lebih tinggi hampir disemua RPM pada pembebanan 2000, 3000, 4000 dan 5000 watt dibandingkan dengan bahan bakar MDO. Penambahan minyak serai wangi pada MDO dapat menaikkan nilai *knocking* 2.17% hingga 86.2% apabila digunakan pada pembebanan 2000, 3000, 4000 dan 5000 watt.  
Nilai *knocking* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan sistem EGR lebih rendah hampir disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar MDO dan MDO B20. Penggunaan sistem EGR dapat menurunkan nilai *knocking* 3.44% hingga 21.91%.

- d. Waktu *ignition delay* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 lebih pendek hampir disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar MDO. Penambahan minyak serai wangi pada MDO dapat memperpendek waktu *ignition delay* 5.23% hingga 9.02%.

Waktu *ignition delay* dengan penggunaan bahan bakar MDO B20 yang menggunakan sistem EGR sama dengan bahan bakar MDO hampir disemua RPM dan beban.

Kesimpulan yang dapat diambil dari analisis perbandingan proses pembakaran dengan bahan bakar Pertadex dan biodiesel minyak serai wangi pada mesin Yanmar TF85-MH adalah sebagai berikut :

- a. *Maximum combustion pressure* dengan penggunaan bahan bakar pertadex dengan campuran minyak serai wangi dan dengan penggunaan sistem EGR lebih rendah hampir disemua RPM pada pembebanan 1000, 2000, 3000 dan 5000 watt dibandingkan dengan bahan bakar pertadex. Penambahan minyak serai wangi pada pertadex dapat menurunkan nilai *combustion pressure* 0.7% hingga 10.11%.

*Maximum combustion pressure* dengan penggunaan bahan bakar pertadex dengan campuran minyak serai wangi dan dengan penggunaan sistem EGR lebih tinggi hampir disemua RPM pada pembebanan 4000 watt dibandingkan dengan bahan bakar pertadex. Penambahan minyak serai wangi pada pertadex dapat menaikkan nilai *combustion pressure* 0.42% hingga 6.82%.

- b. Nilai *heat release* dengan penggunaan bahan bakar pertadex lebih tinggi disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar pertadex dengan campuran minyak serai wangi dan dengan penggunaan sistem EGR. Penambahan minyak serai wangi pada pertadex dan penggunaan sistem EGR dapat menurunkan nilai *heat release* hingga 45.24%.

- c. Nilai *knocking* dengan penggunaan bahan bakar pertadex lebih rendah disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar pertadex dengan campuran minyak serai wangi dan dengan penggunaan sistem EGR. Penambahan minyak serai wangi pada pertadex dan penggunaan sistem EGR dapat menaikkan nilai *knocking* hingga 205%.

- d. Waktu *ignition delay* dengan penggunaan bahan bakar pertadex dengan campuran minyak serai wangi lebih panjang hampir disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar pertadex. Penambahan minyak serai wangi pada pertadex dapat memperpanjang waktu *ignition delay* 7.16% hingga 28.58%.

Waktu *ignition delay* dengan penggunaan bahan bakar pertadex dengan campuran minyak serai wangi dan penggunaan sistem EGR lebih pendek hampir disemua RPM dan beban dibandingkan dengan bahan bakar pertadex. Penggunaan bahan bakar pertadex dengan campuran minyak serai wangi dan penggunaan sistem EGR dapat memperpendek waktu *ignition delay* 7.16% hingga 18.24%.

**5.2. Saran**

- a. Perlu dilakukan pembahasan dari segi ekonomi akan pemakaian minyak serai wangi sebagai bahan bakar alternatif.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”



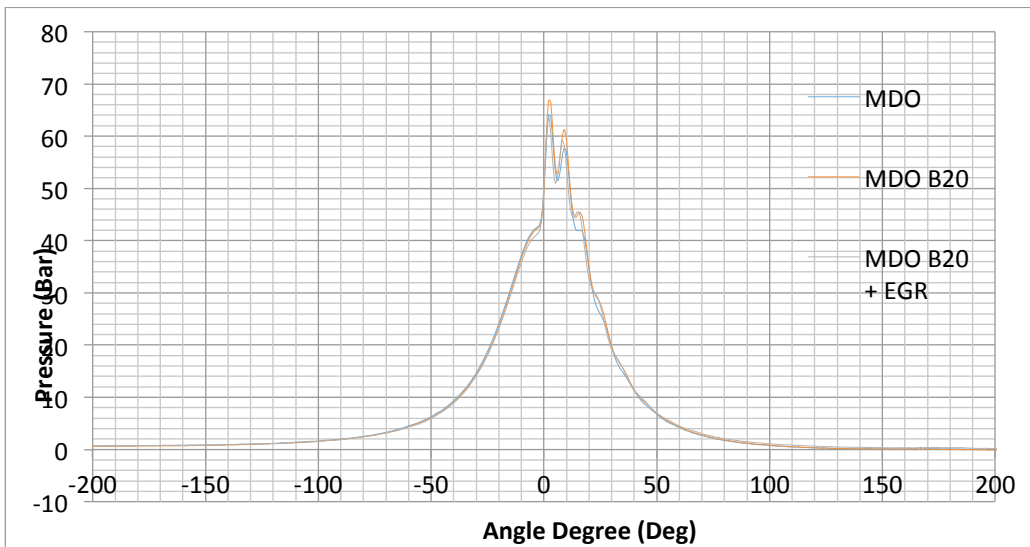
## DAFTAR PUSTAKA

- Aabbaszadehmosayebi, G. 2014. *Diesel Engine Heat Release Analysis by Using Newly Defined Dimensionless Parameters*. United Kingdom.
- Asep Kadarohman. Eksplorasi Minyak Atsiri Sebagai Bio Aditif Bahan Bakar Solar. Bandung.
- D, Kustiwa. D, Suyanto. H, Mulyana. Ma'mun. S, Suhirman. Sriyadi. 2010. Minyak Atsiri Sebagai Bio Aditif untuk Penghematan Bahan Bakar Minyak (BBM).
- John J Moskwa. Shiao Yaojung. *Cylinder Pressure and Combustion Heat Release Estimation for SI Engine Diagnostics Using Nonlinear Sliding Observers*. Wisconsin.
- N. D. Whitehouse. R. Way. *Rate of Heat Release in Diesel Engines and Its Correlation with Fuel Injection Data*. Manchester.
- Olsen Andreas Raimon. 2013. *Analysis and Simulation of Rate of Heat Release in Diesel Engine*. The Norwegian University of Science and Technology
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Tahun 2015
- Rajkumar, M. 2002. *Heat Release Analysis and Modelling for a Common-Rail Diesel Engine*. Knoxville.
- Salazar Fernando. 1998. *Internal Combustion Engine*. Notre Dame.
- Standar Nasional Indonesia Biodiesel. Badan Standarisasi Nasional.

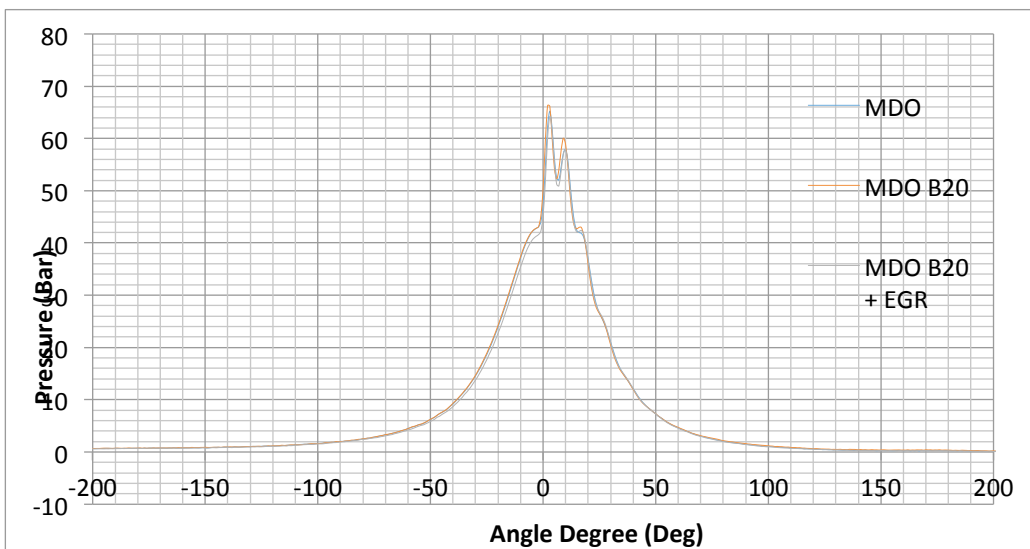
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

## LAMPIRAN

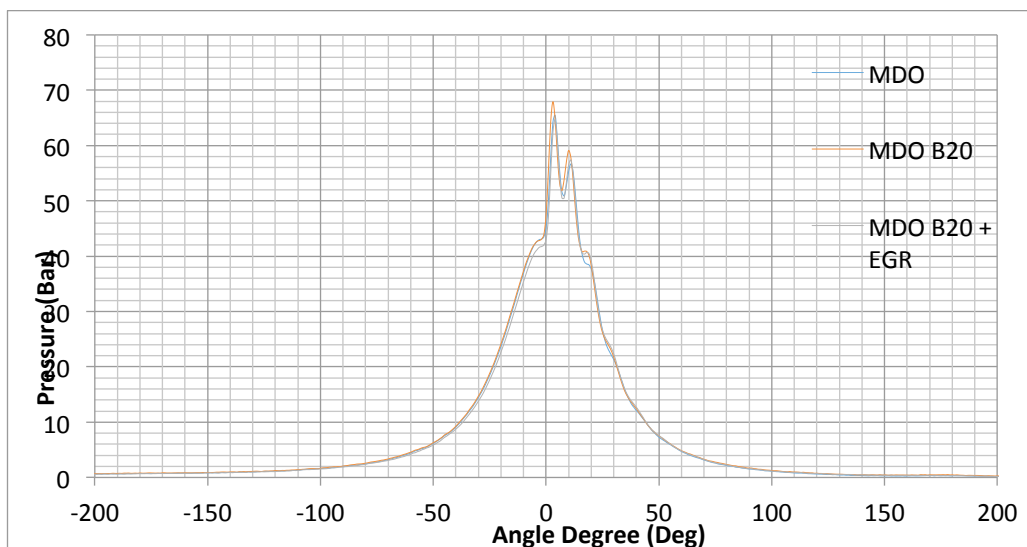
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 1000 watt di RPM 1800 :



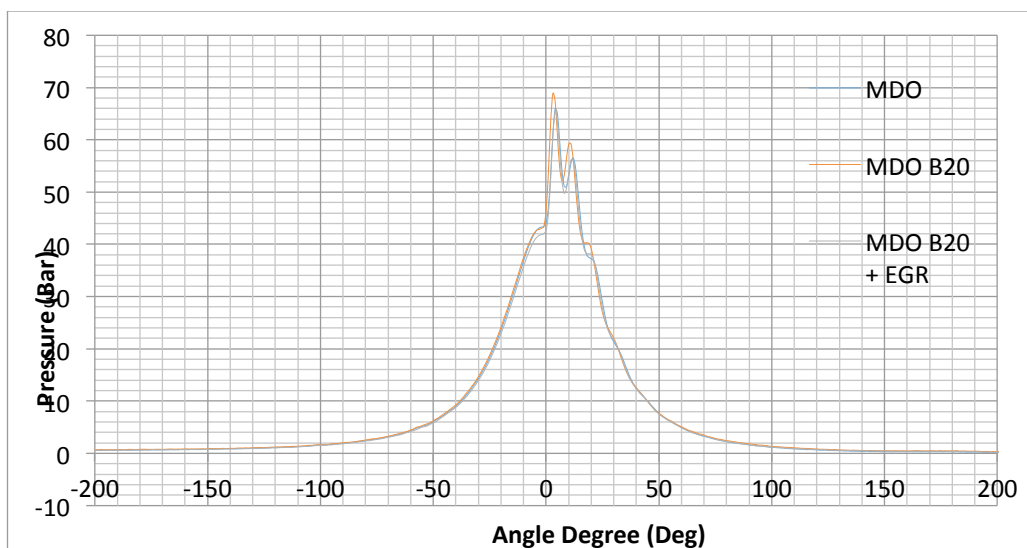
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 1000 watt di RPM 1900 :



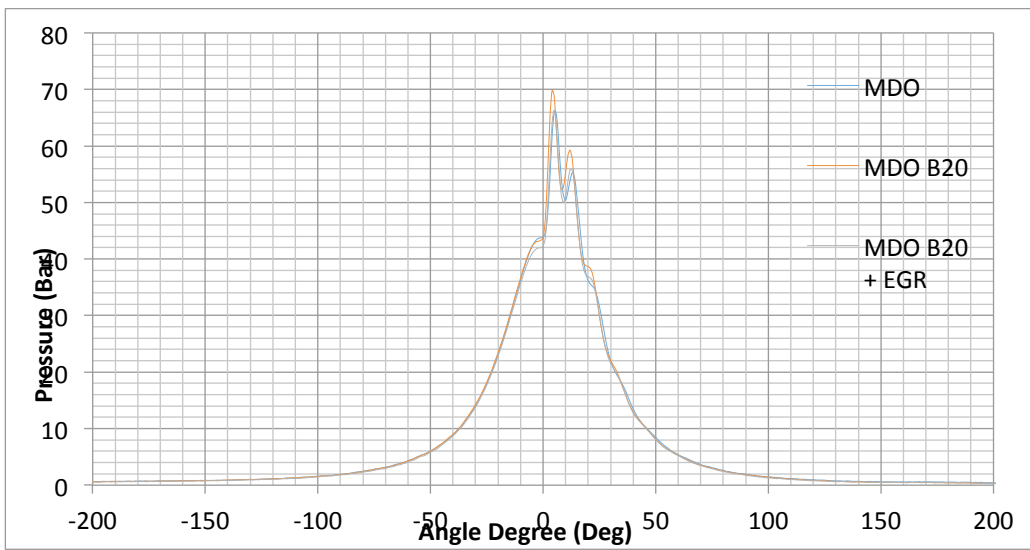
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2000 :



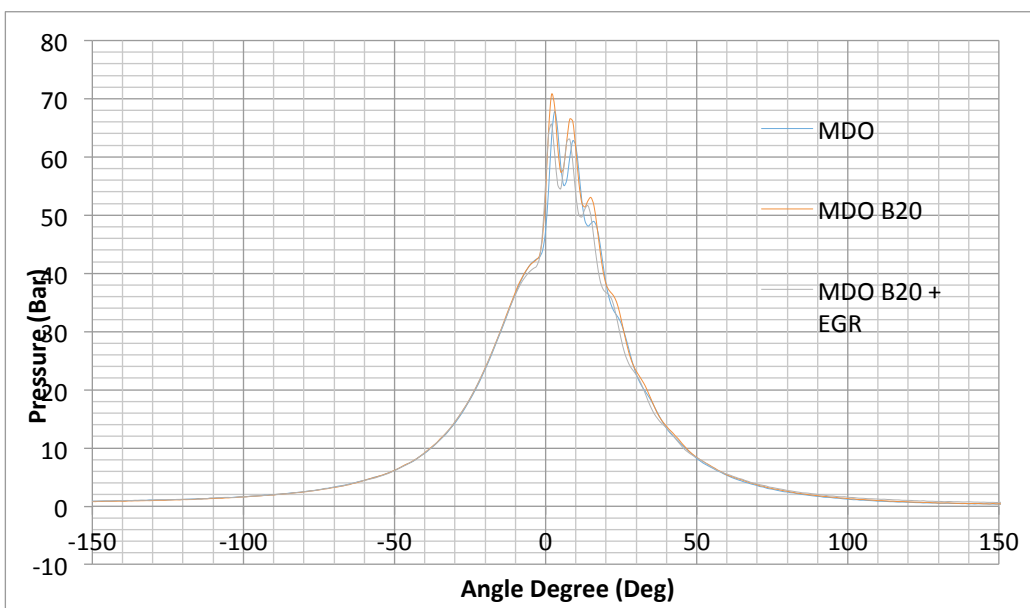
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2100 :



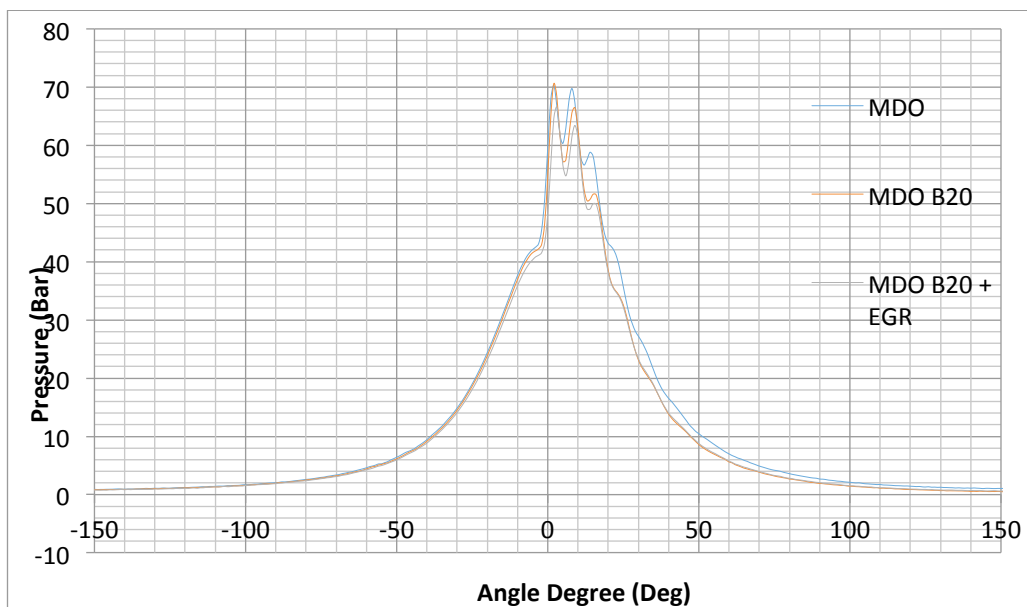
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2200 :



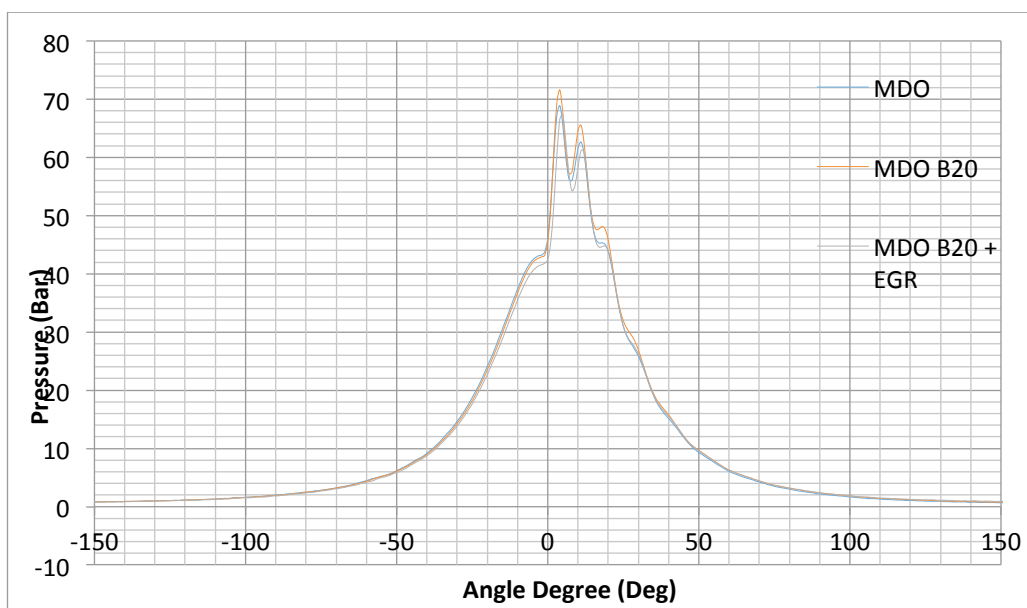
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 2000 watt di RPM 1800 :



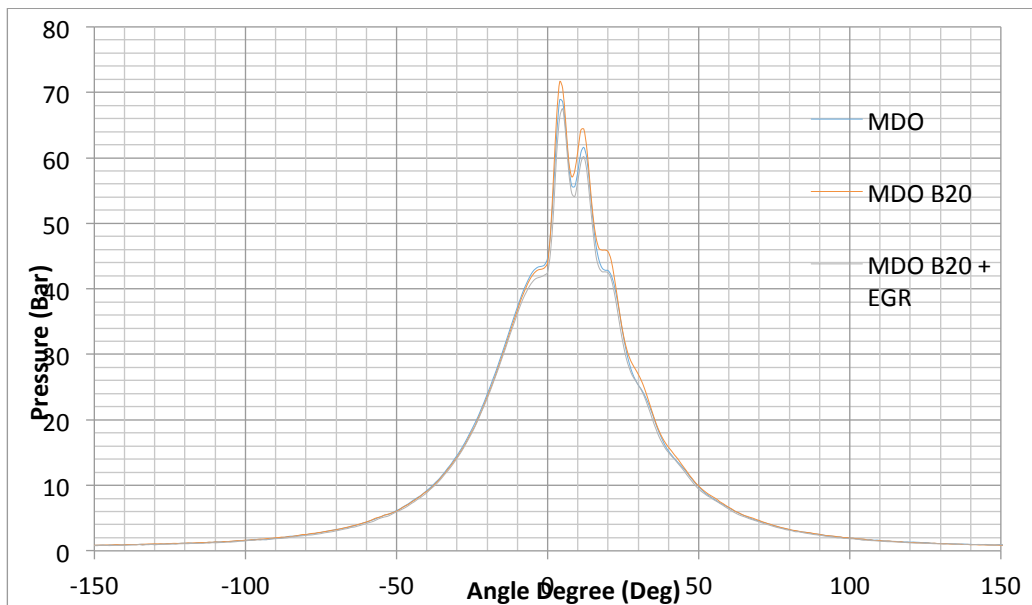
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 2000 watt di RPM 1900 :



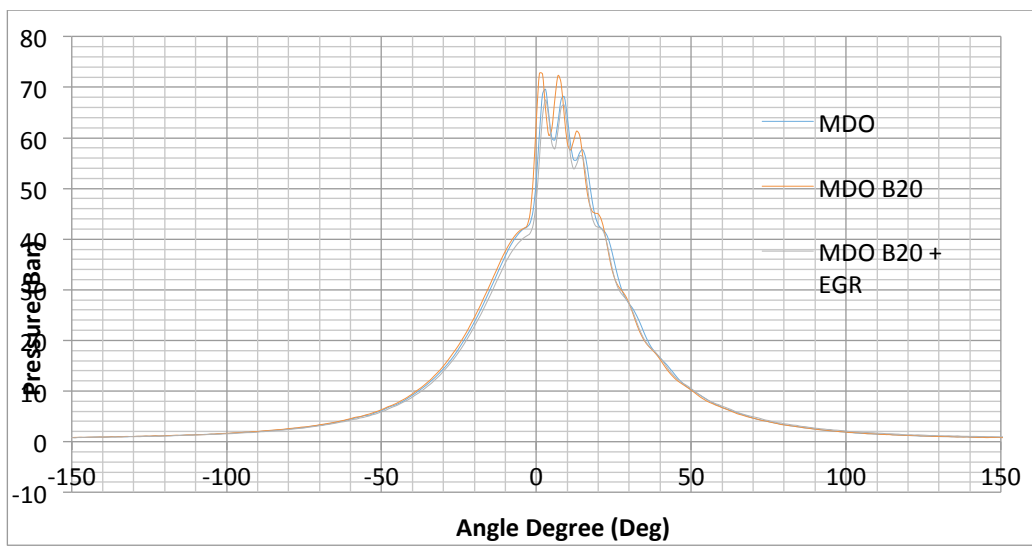
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2100 :



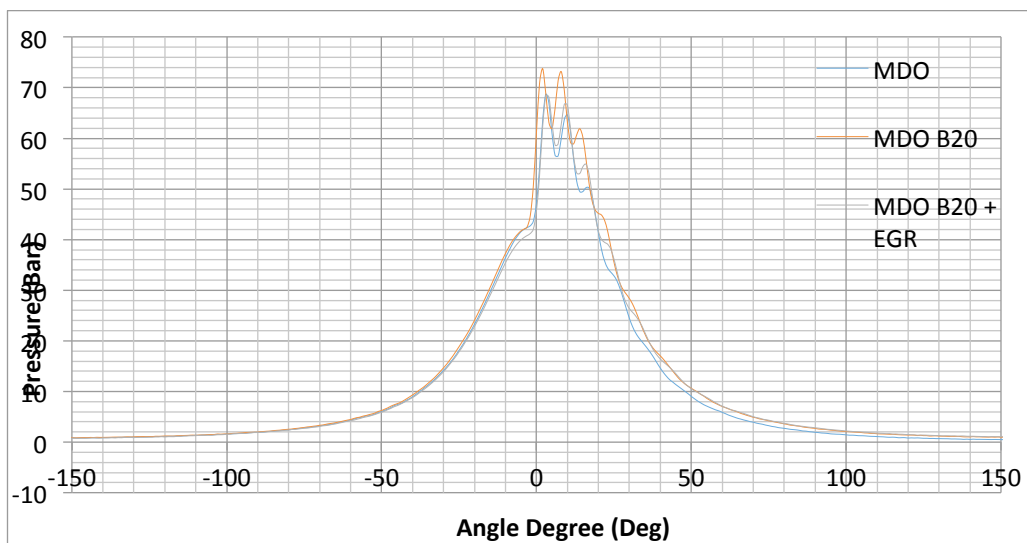
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2200 :



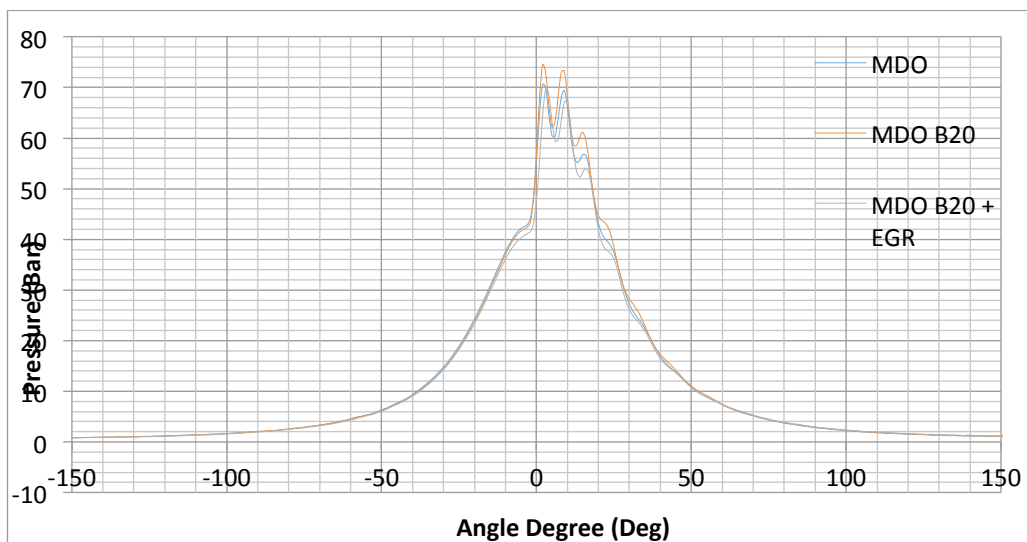
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 3000 watt di RPM 1800 :



Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 3000 watt di RPM 1900 :

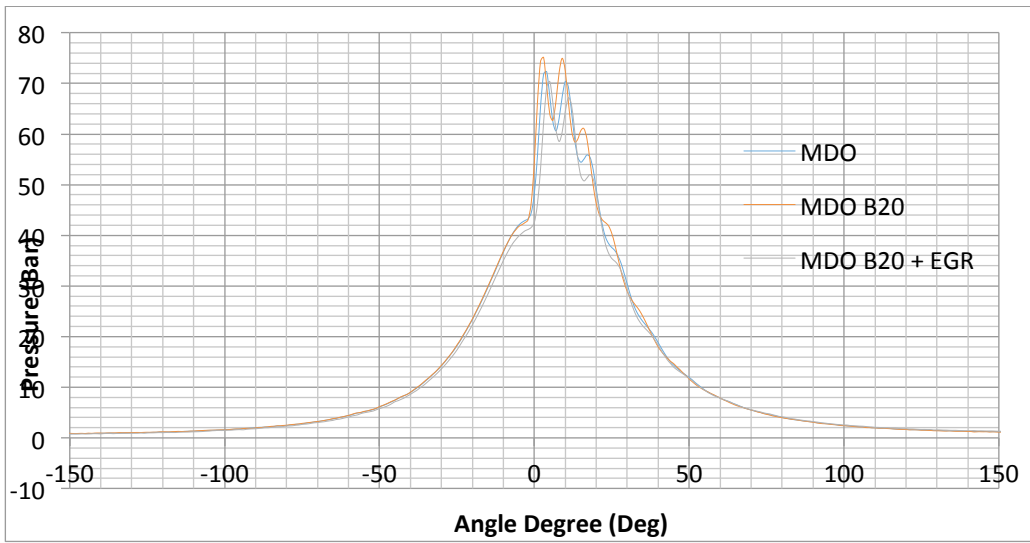


Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2000 :

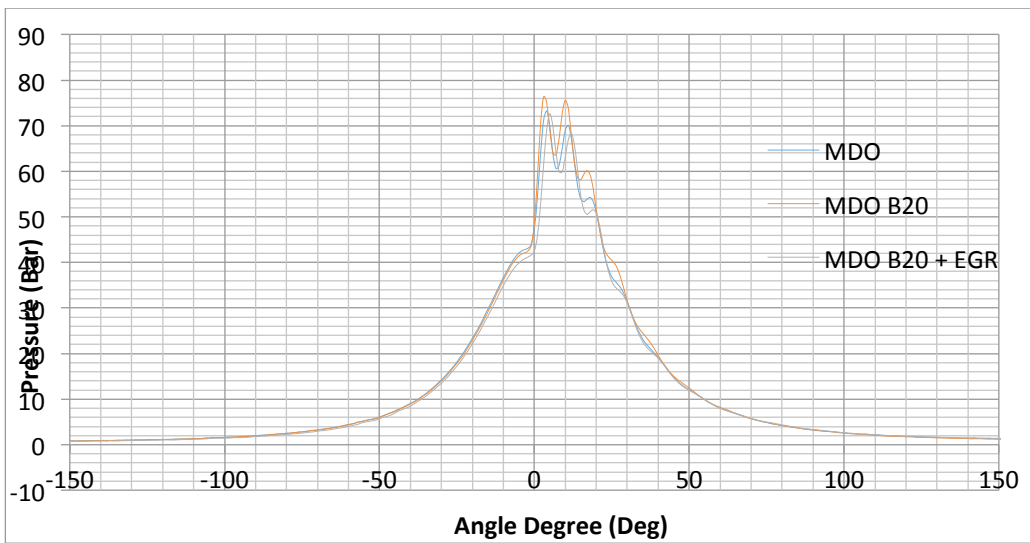




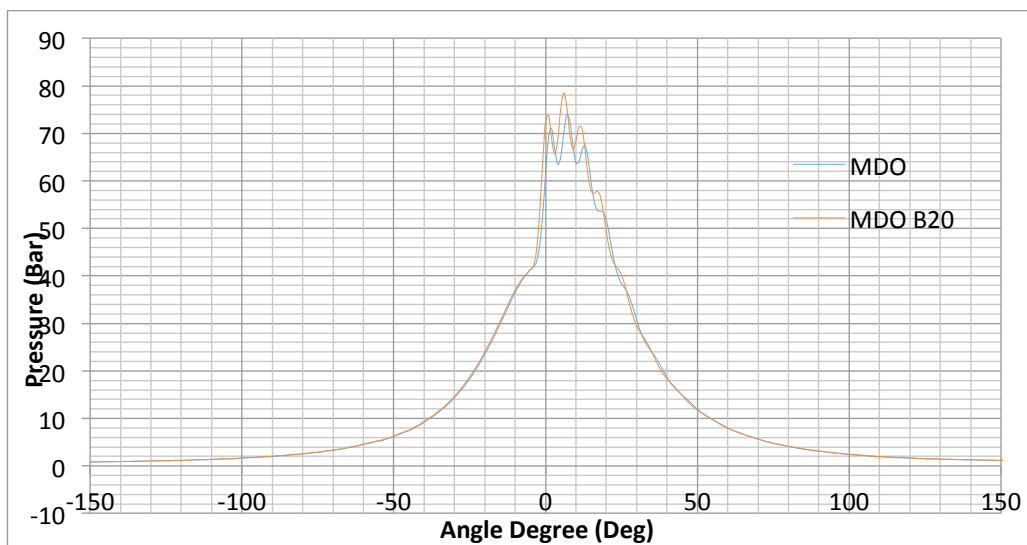
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2100 :



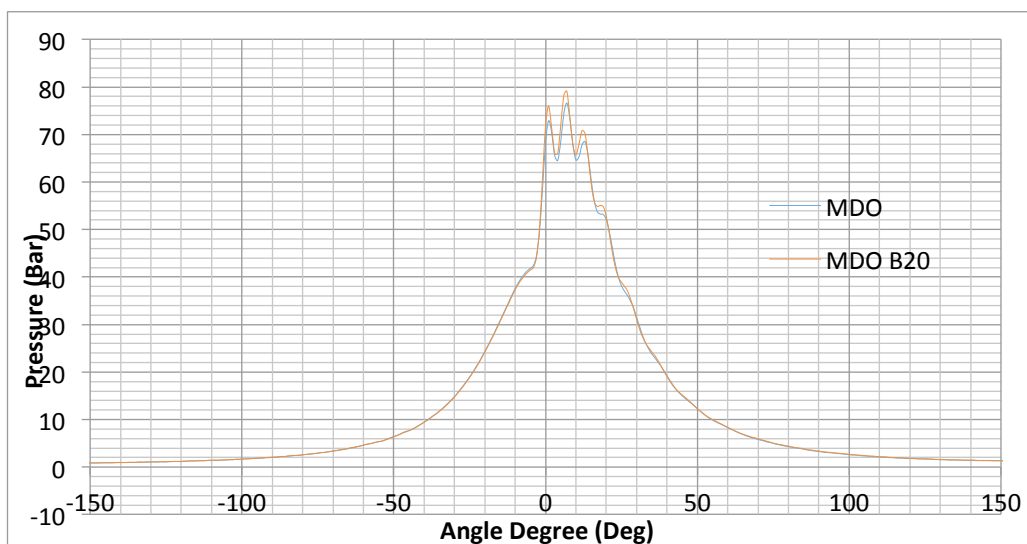
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2200 :



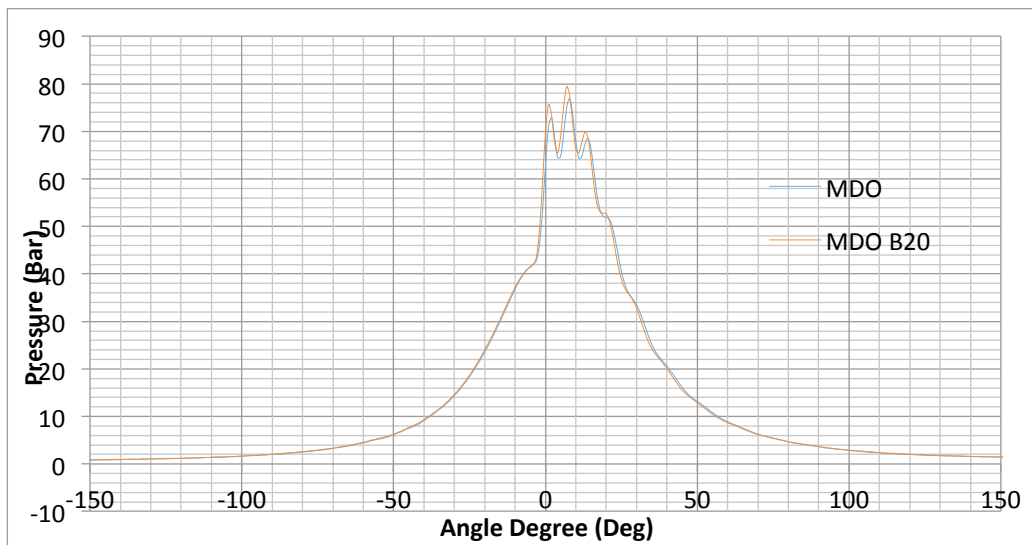
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 4000 watt di RPM 1800 :



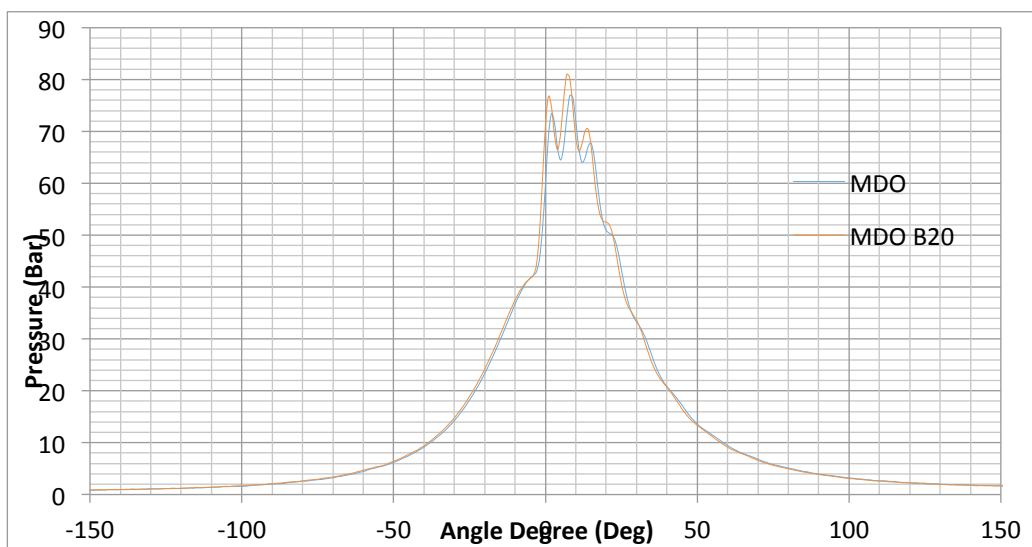
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 4000 watt di RPM 1900 :



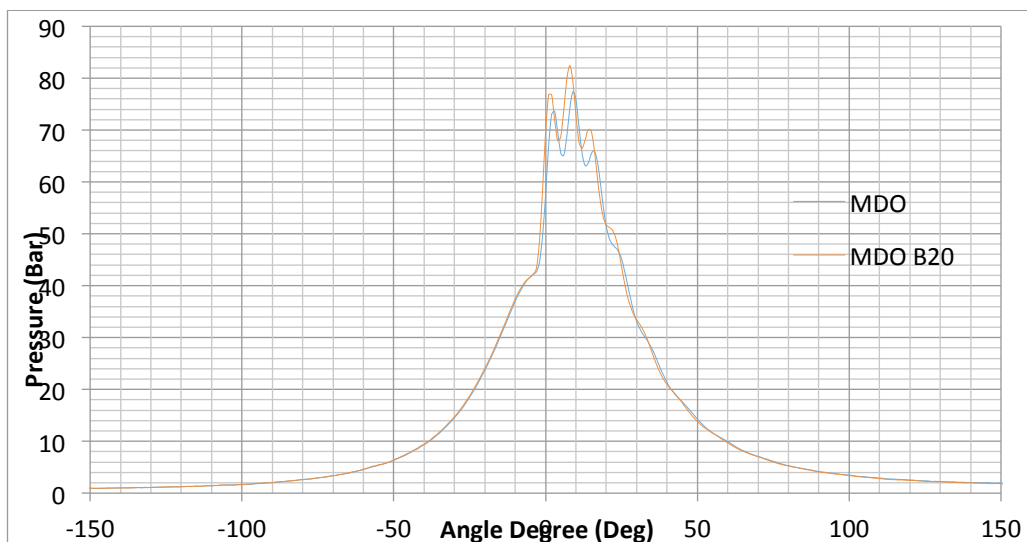
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2000 :



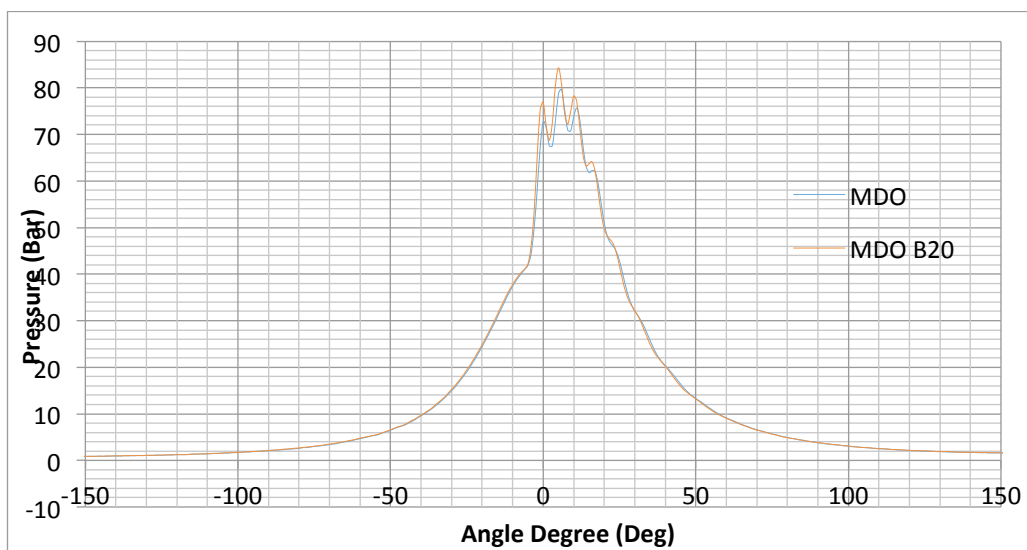
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2100 :



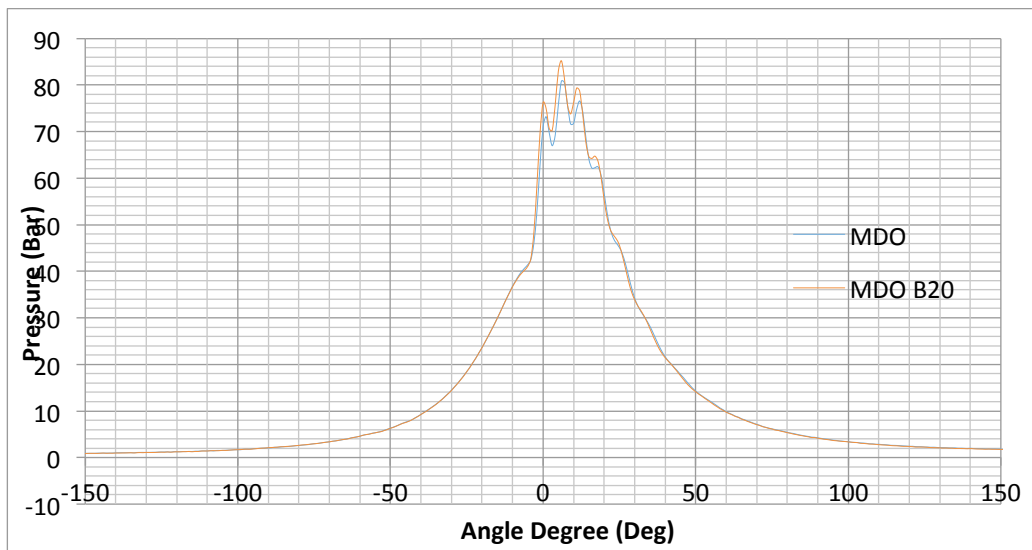
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2200 :



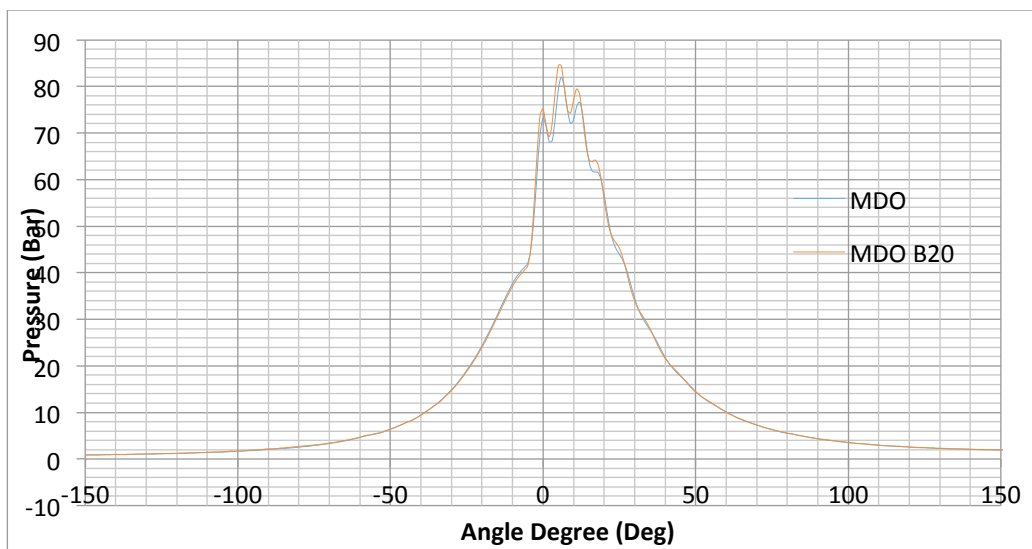
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 5000 watt di RPM 1800 :



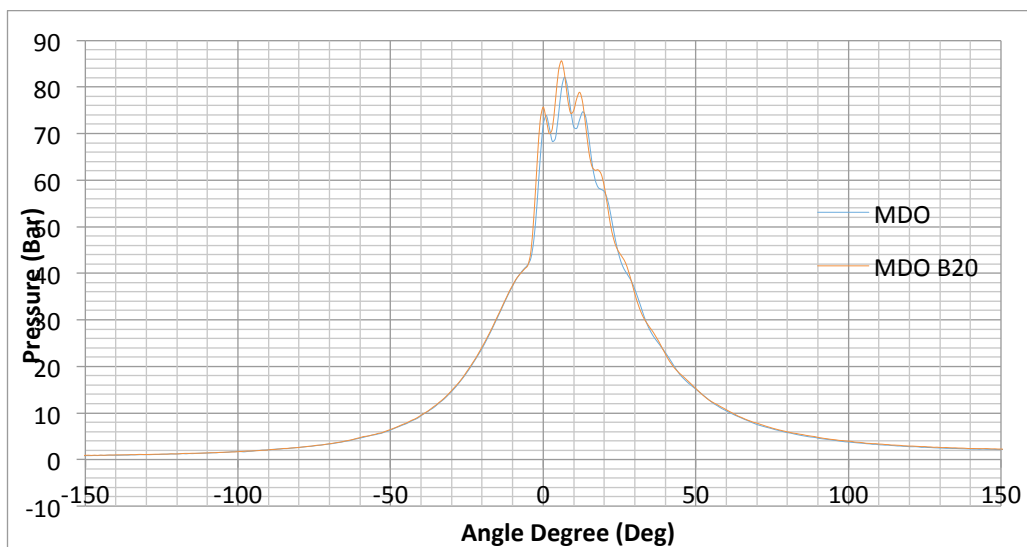
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 5000 watt di RPM 1900 :



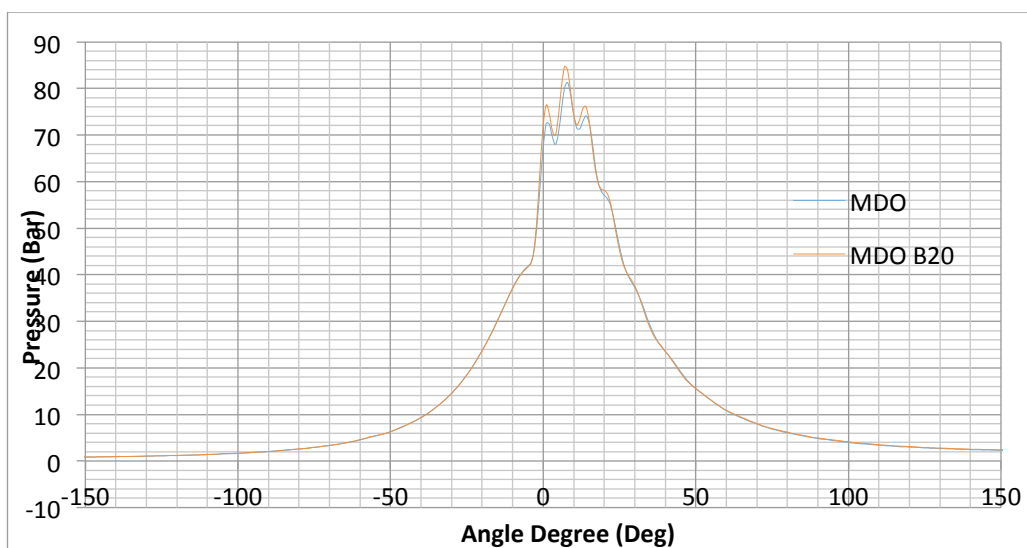
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2000 :



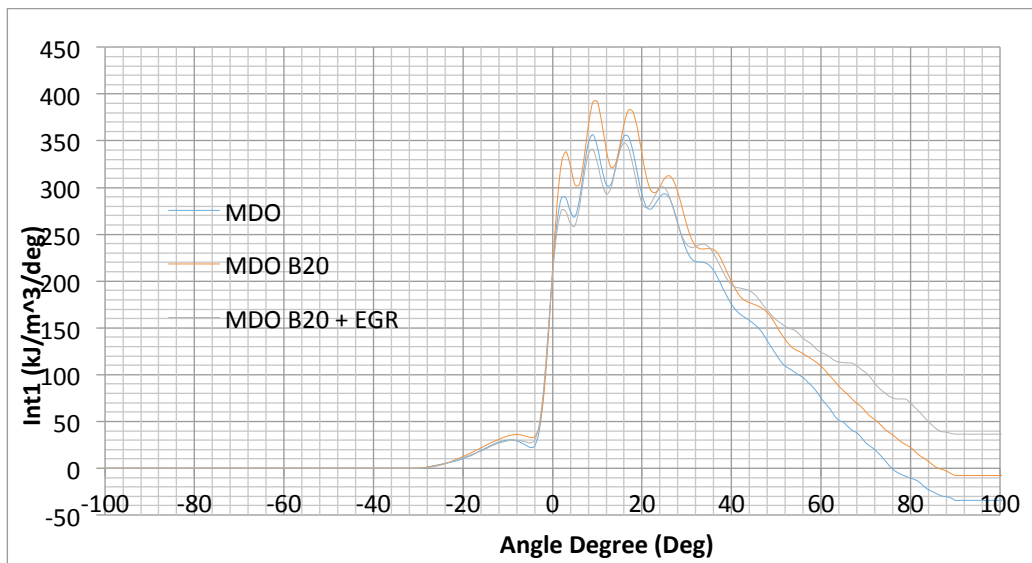
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2100 :



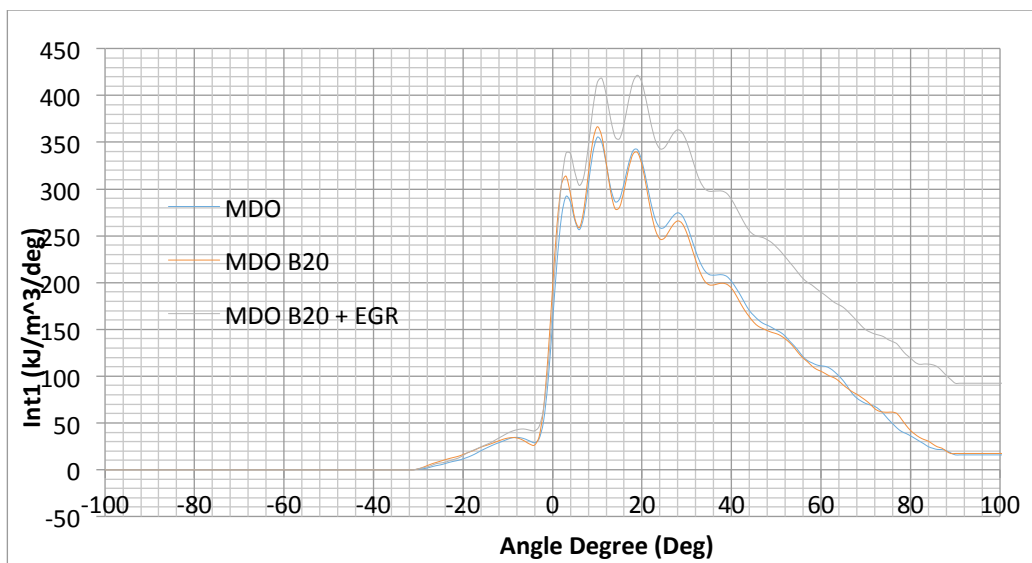
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2200 :



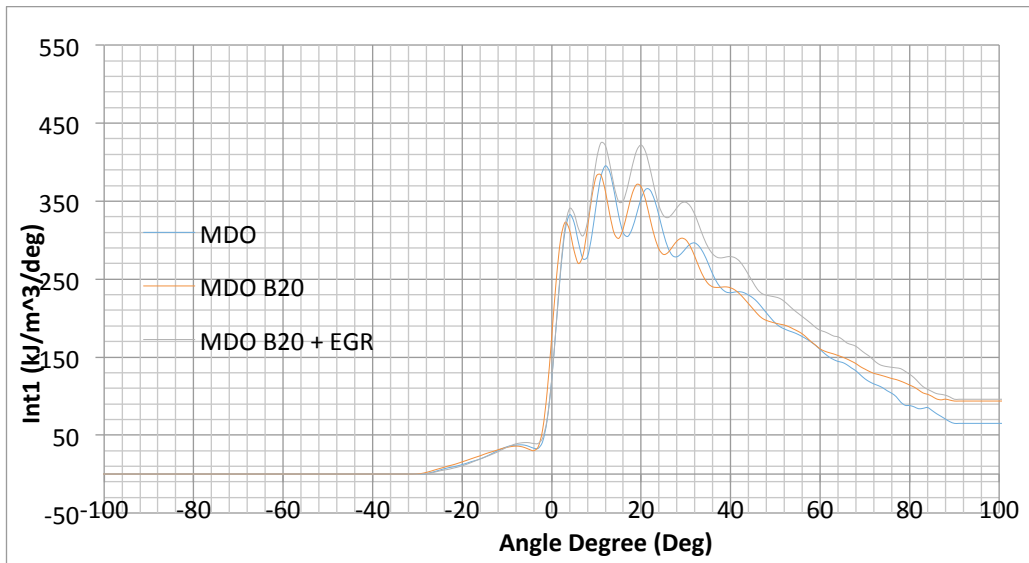
Grafik *heat release* pada pembebanan 1000 watt di RPM 1800 :



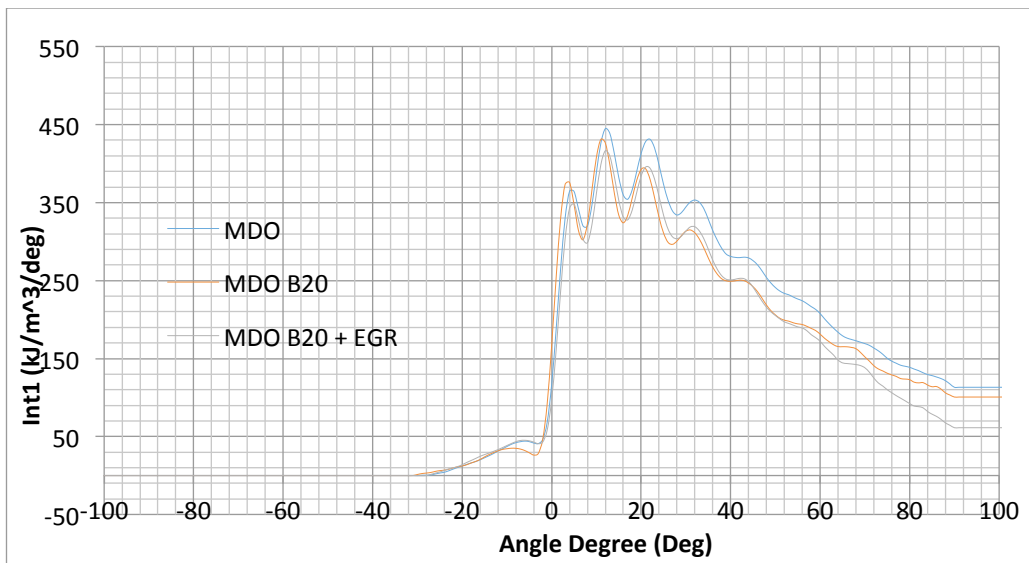
Grafik *heat release* pada pembebanan 1000 watt di RPM 1900 :



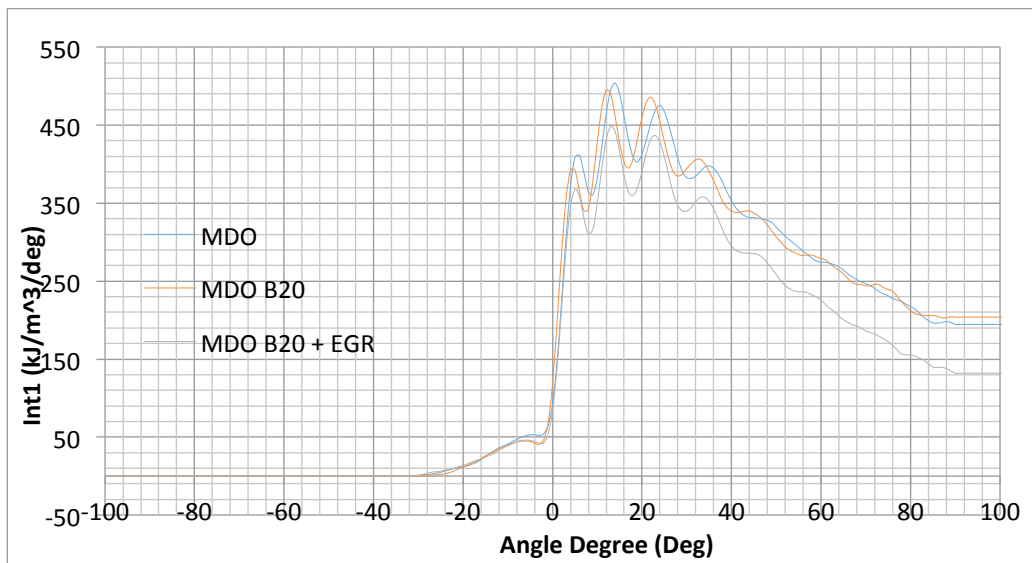
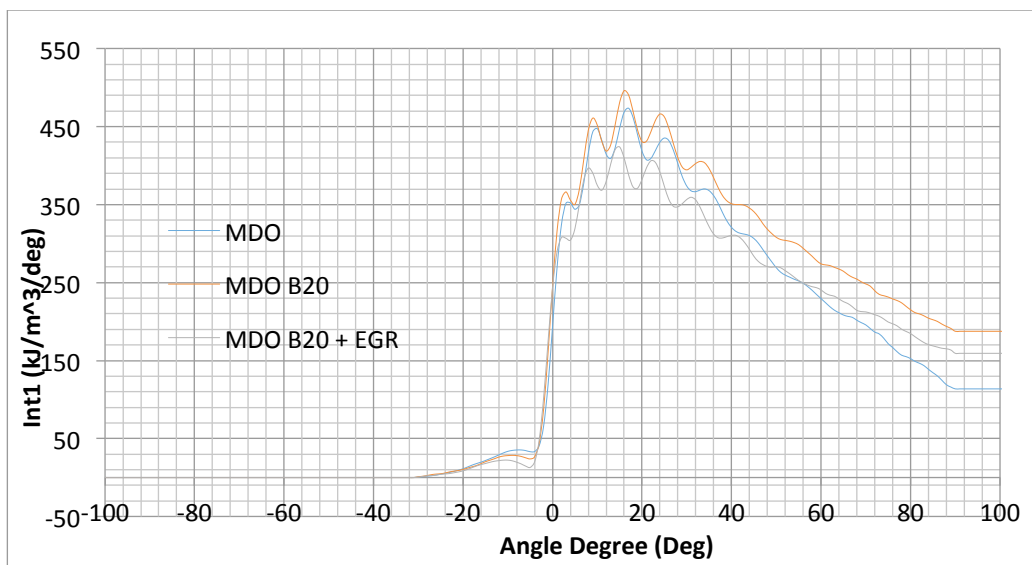
Grafik *heat release* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2000 :



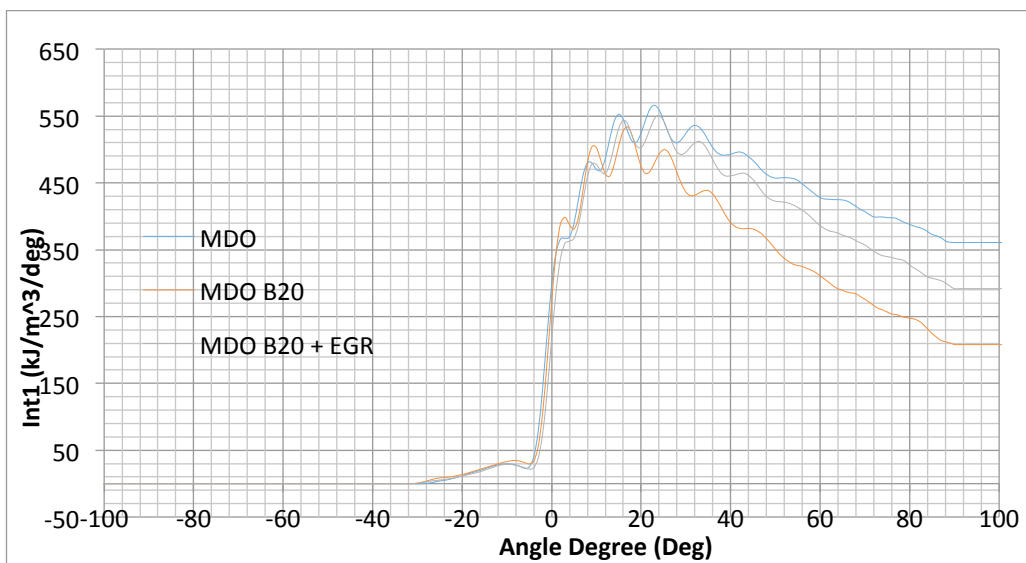
Grafik *heat release* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2100 :



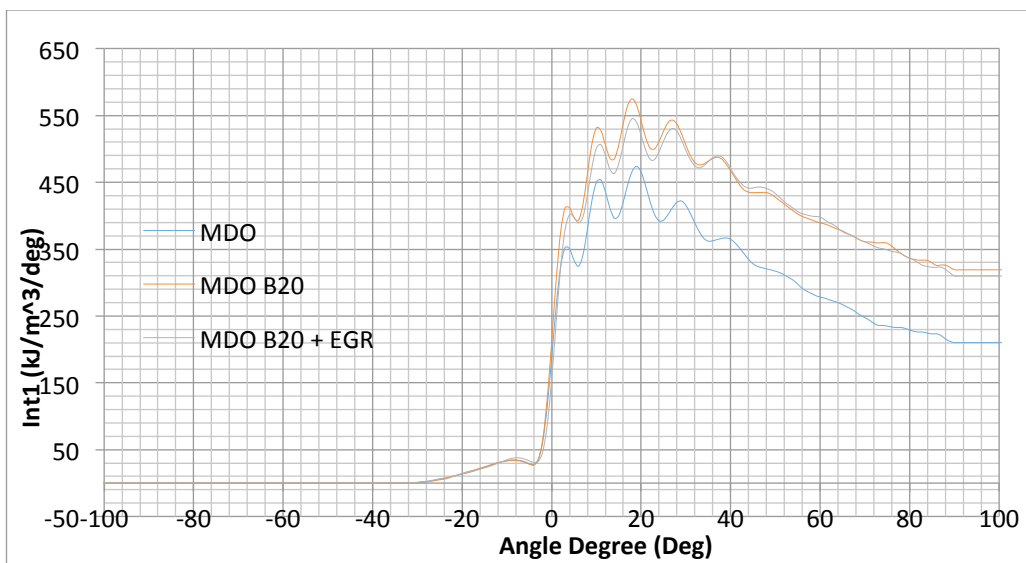


Grafik *heat release* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2200 :Grafik *heat release* pada pembebanan 2000 watt di RPM 1800 :

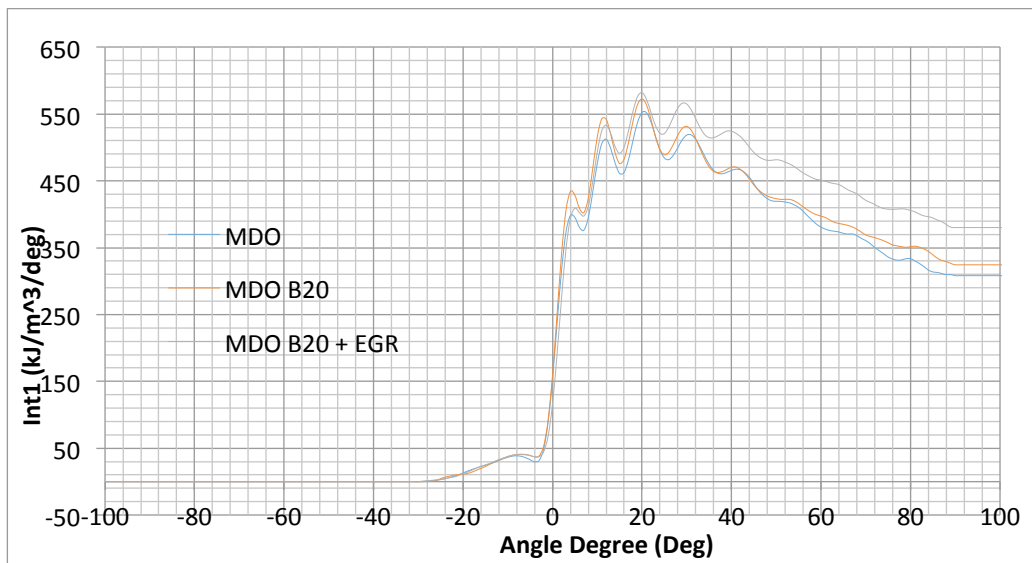
Grafik *heat release* pada pembebanan 2000 watt di RPM 1900 :



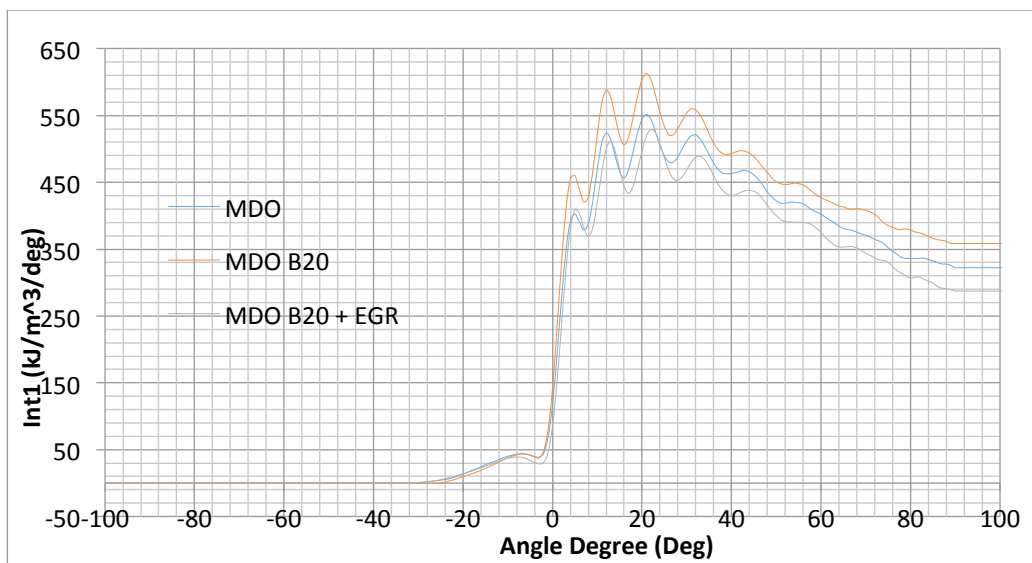
Grafik *heat release* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2000 :



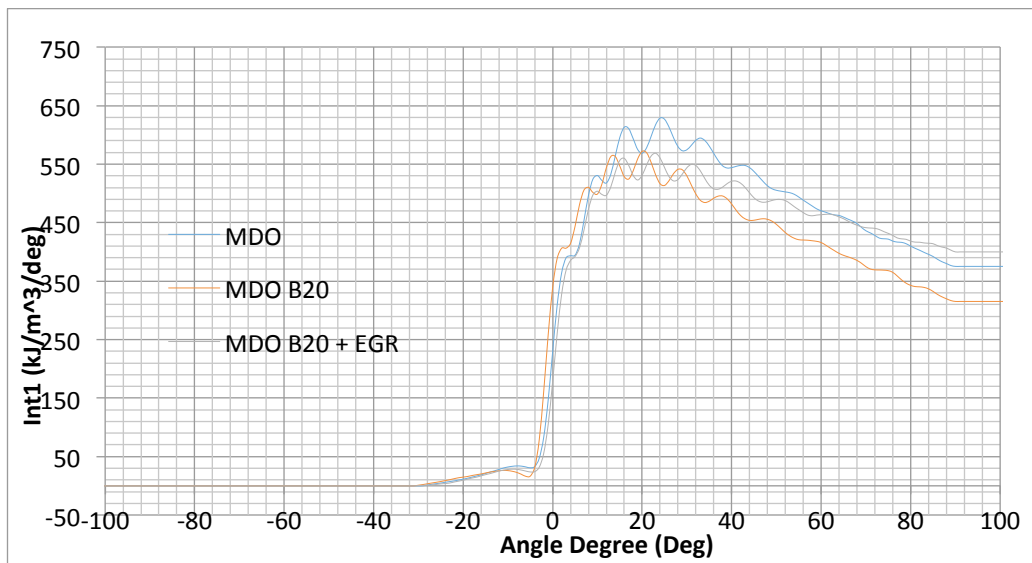
Grafik *heat release* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2100 :



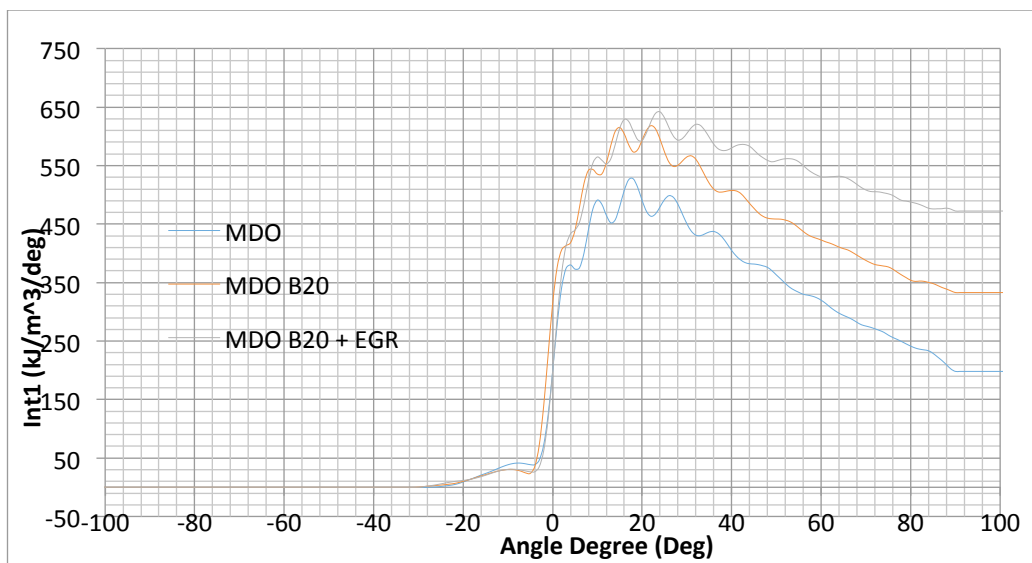
Grafik *heat release* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2200 :

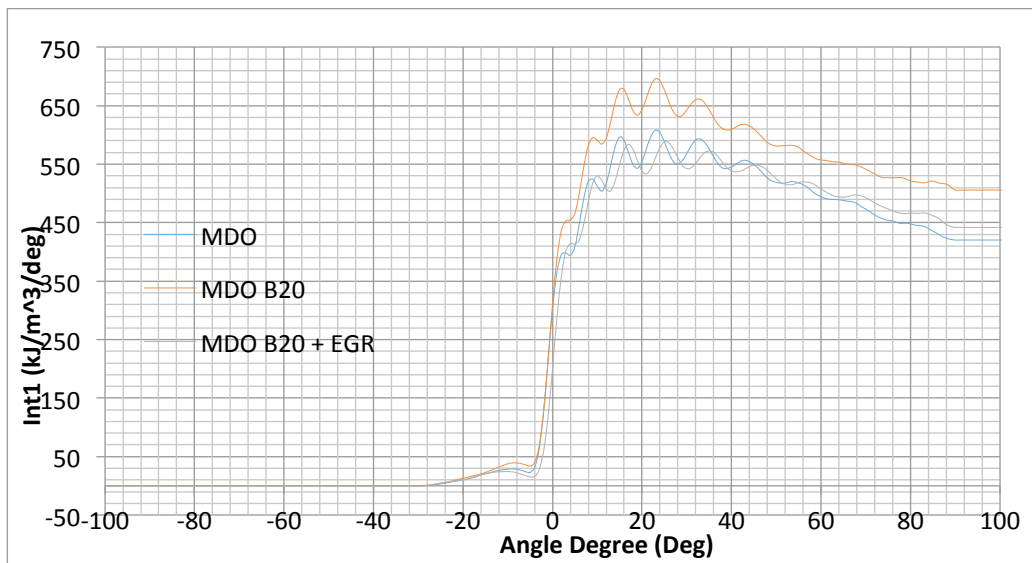
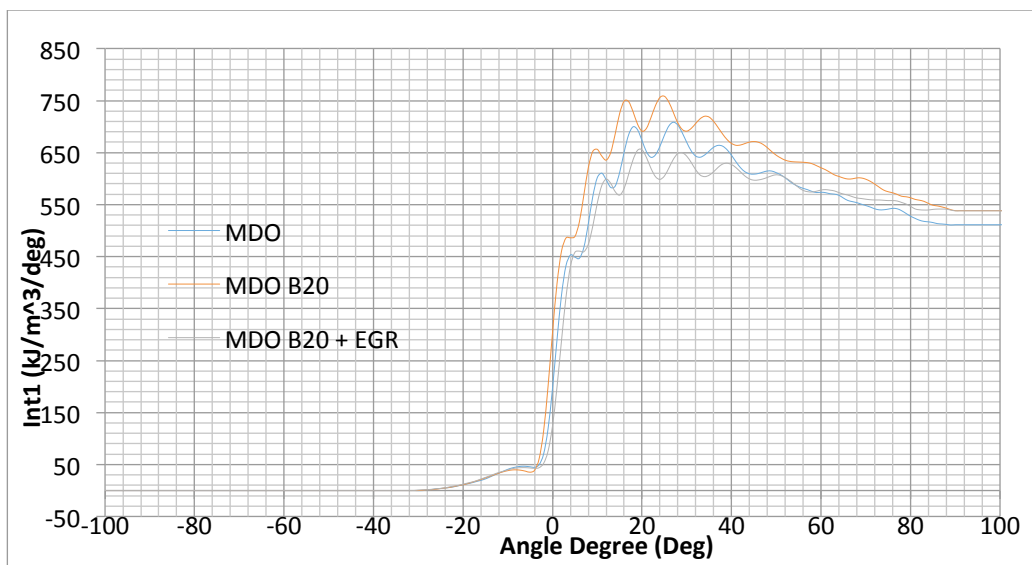


Grafik *heat release* pada pembebanan 3000 watt di RPM 1800 :

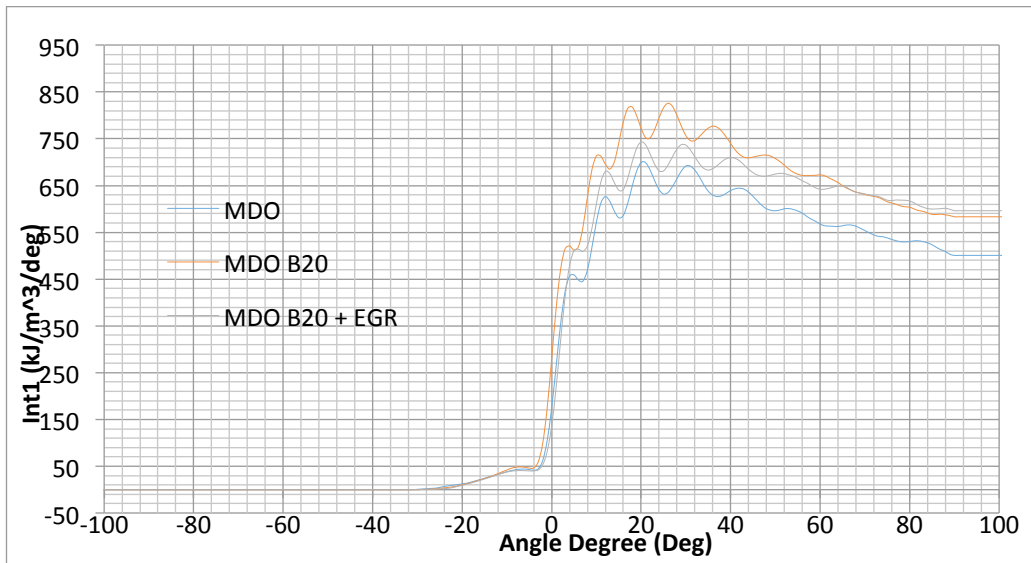


Grafik *heat release* pada pembebanan 3000 watt di RPM 1900 :

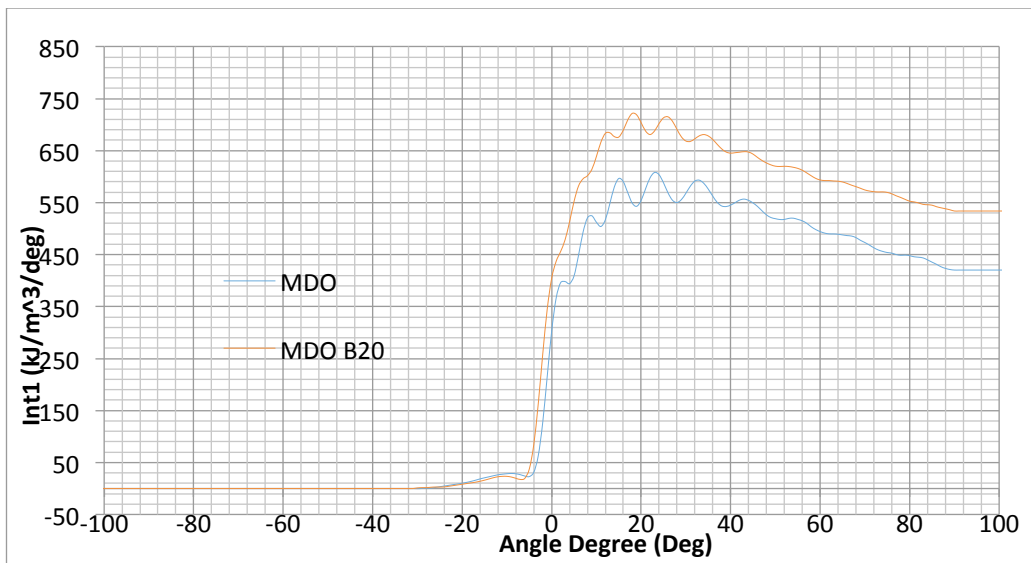


Grafik *heat release* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2000 :Grafik *heat release* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2100 :

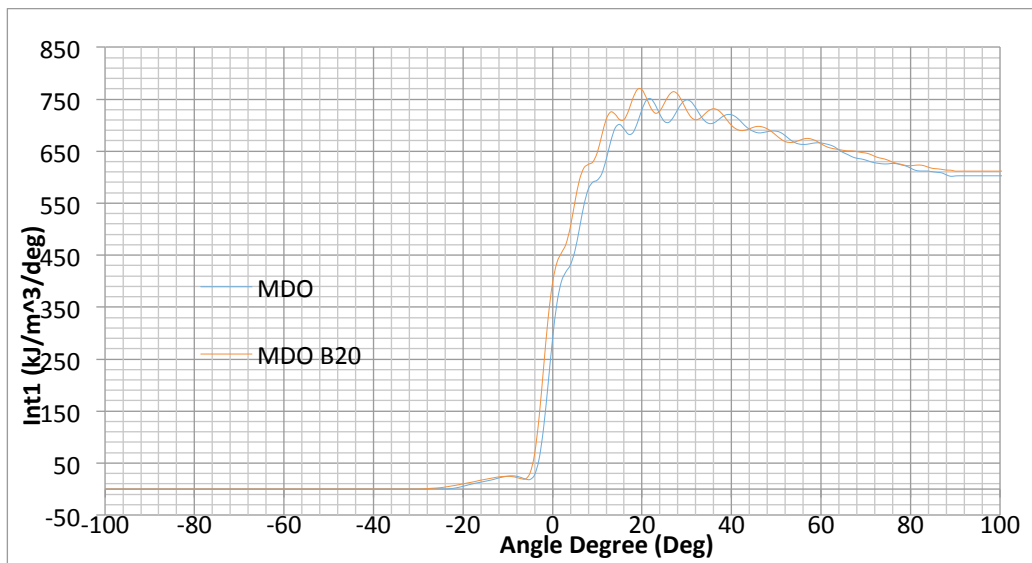
Grafik *heat release* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2200 :



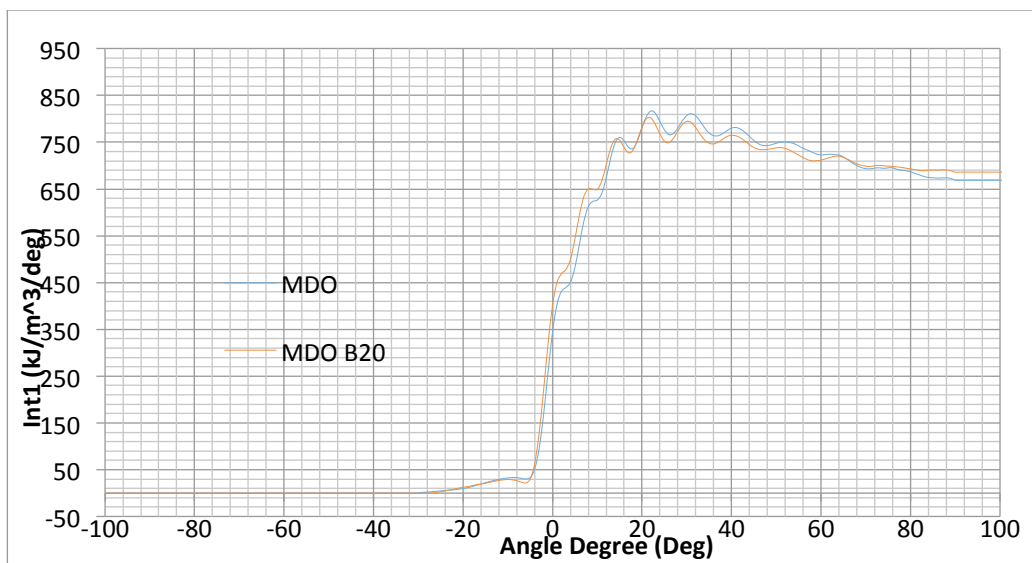
Grafik *heat release* pada pembebanan 4000 watt di RPM 1800 :



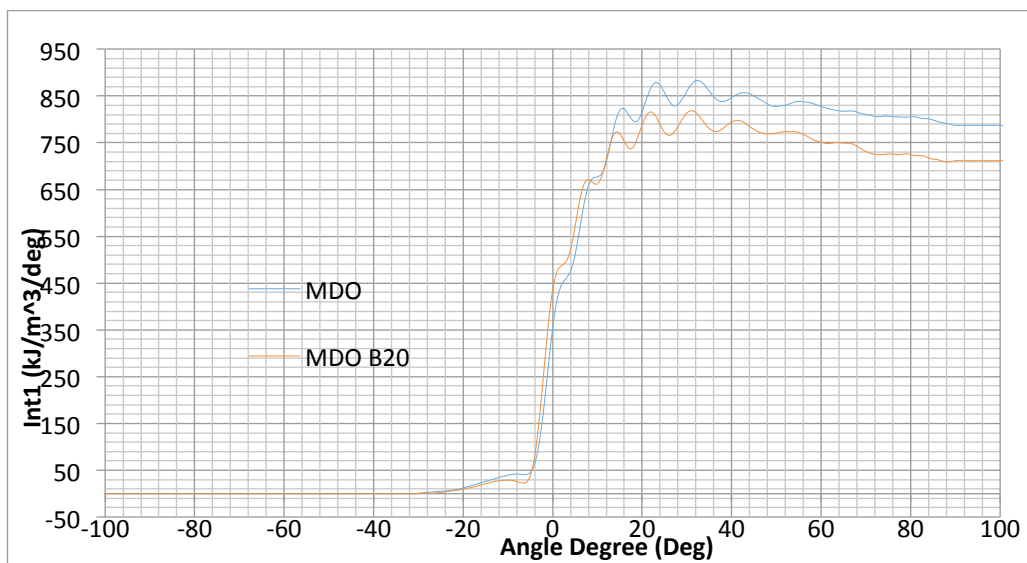
Grafik *heat release* pada pembebanan 4000 watt di RPM 1900 :



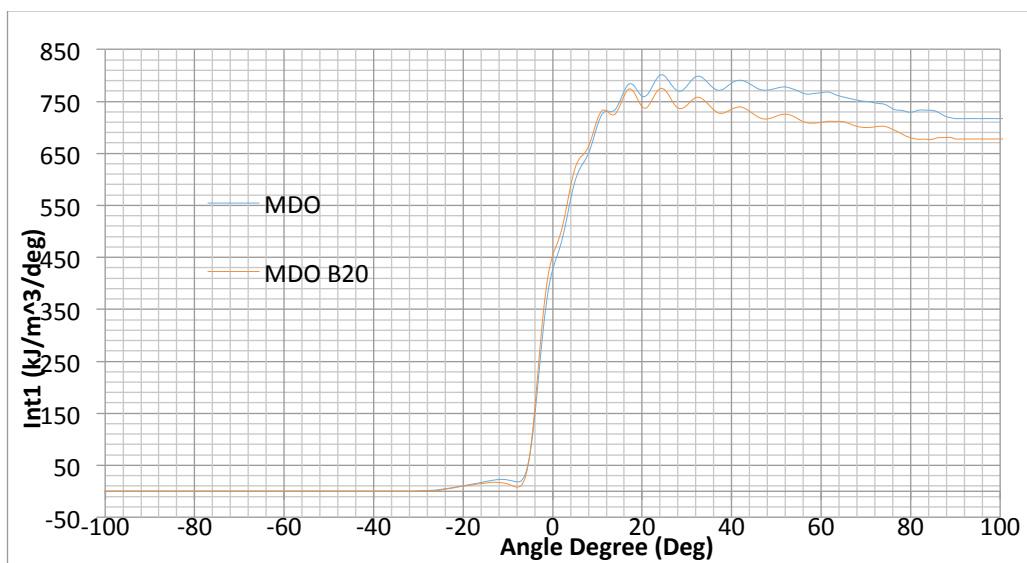
Grafik *heat release* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2000 :



Grafik *heat release* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2100 :

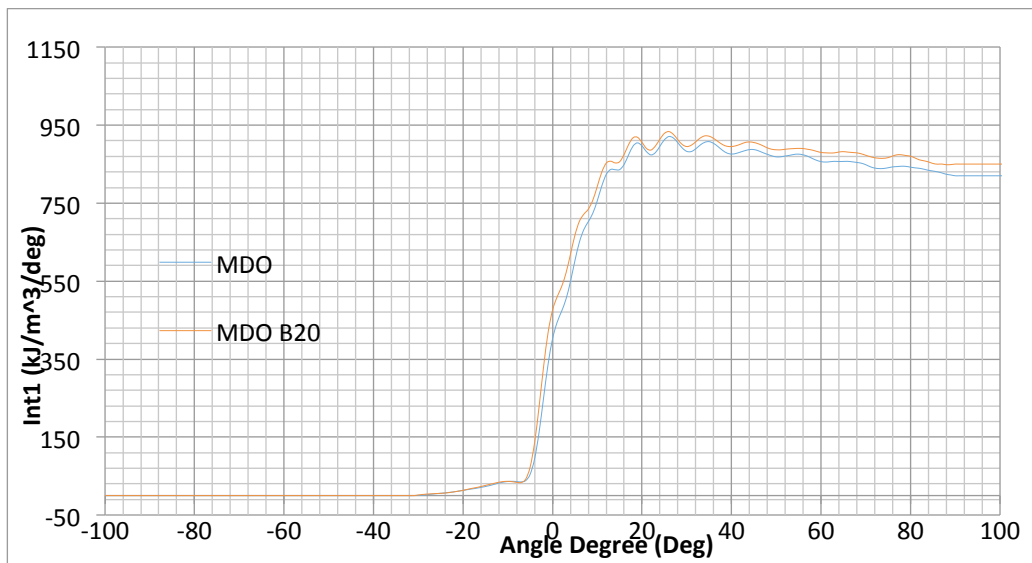


Grafik *heat release* pada pembebanan 5000 watt di RPM 1800 :

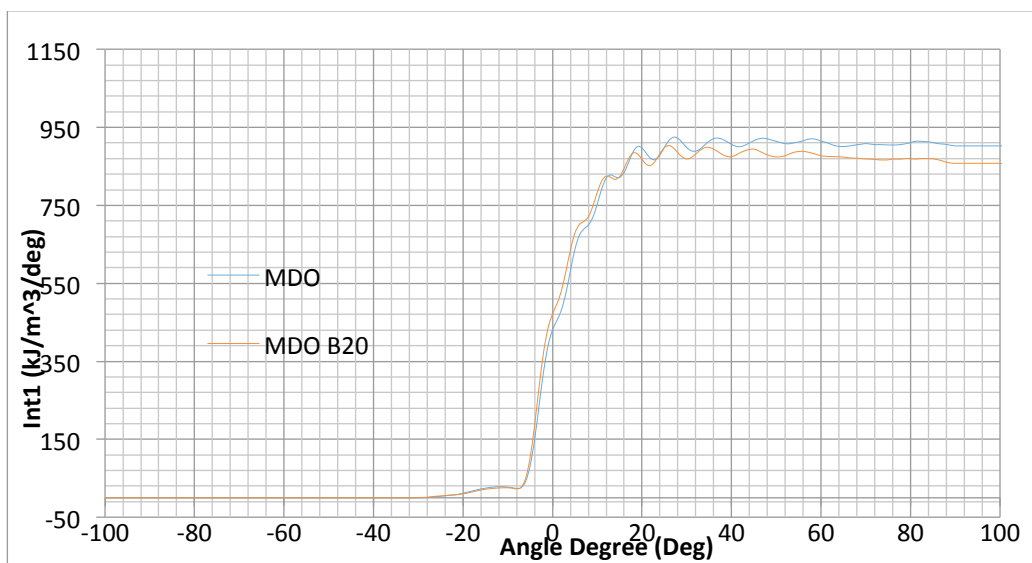




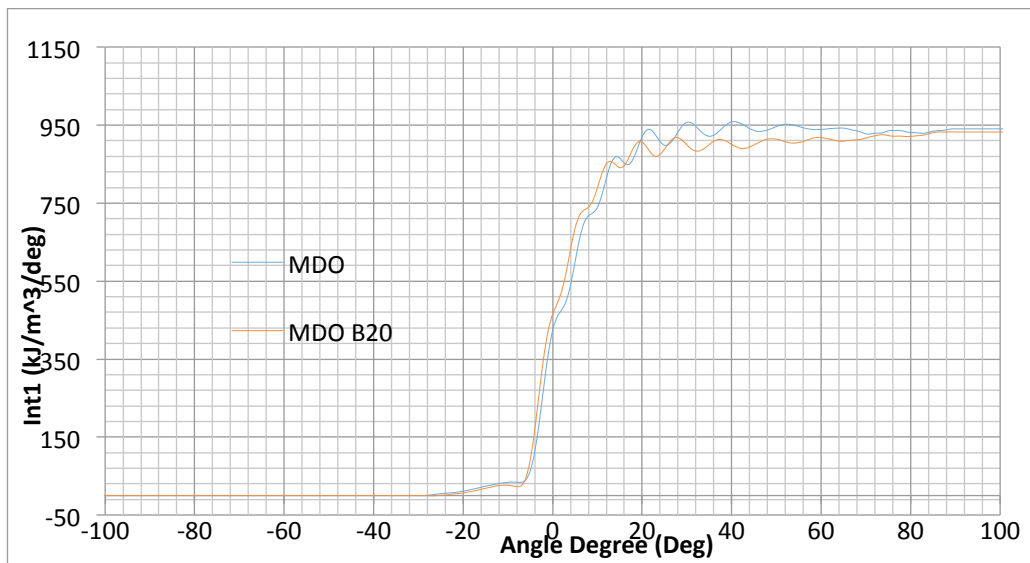
Grafik *heat release* pada pembebanan 5000 watt di RPM 1900 :



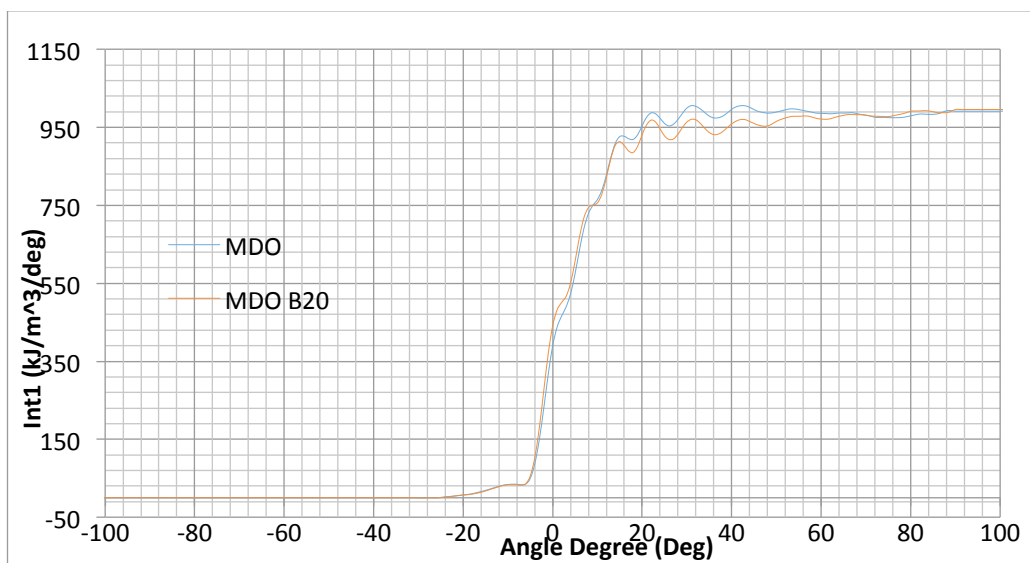
Grafik *heat release* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2000 :



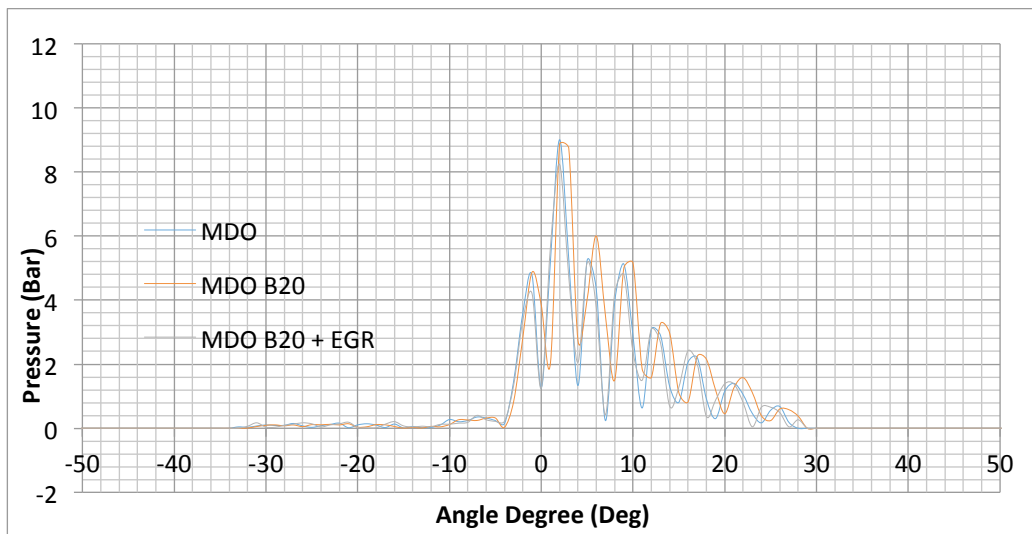
Grafik *heat release* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2100 :



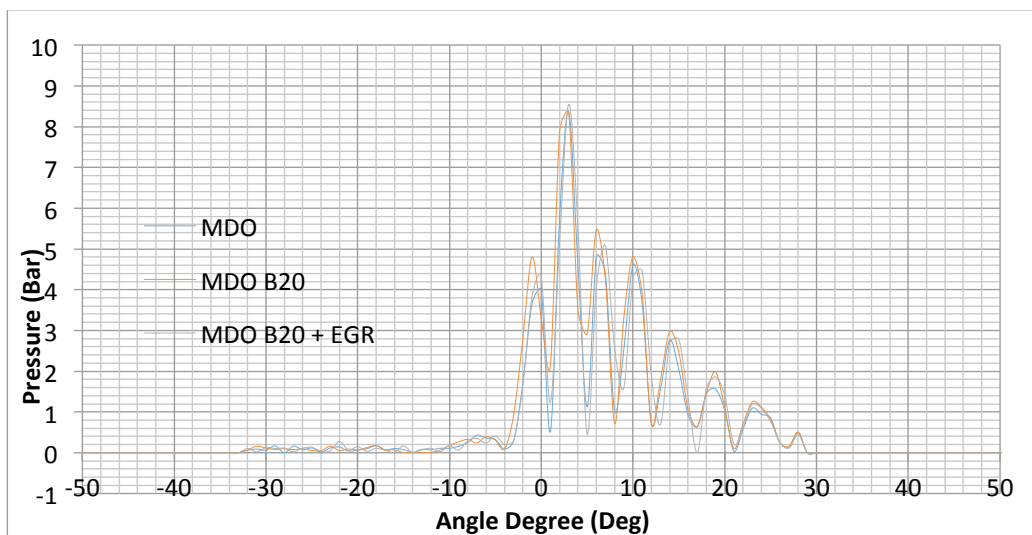
Grafik *heat release* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2200 :



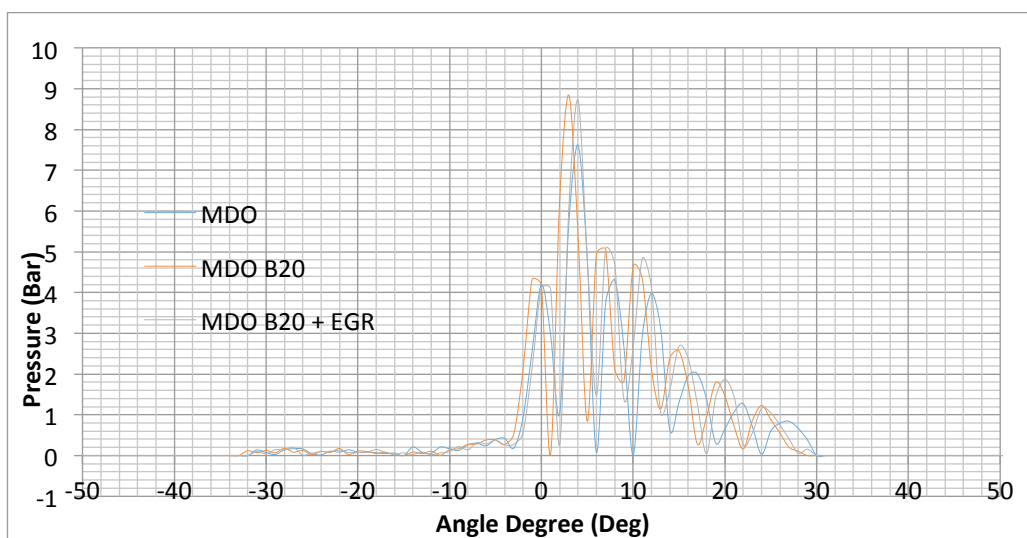
Grafik *knocking* pada pembebanan 1000 watt di RPM 1800 :



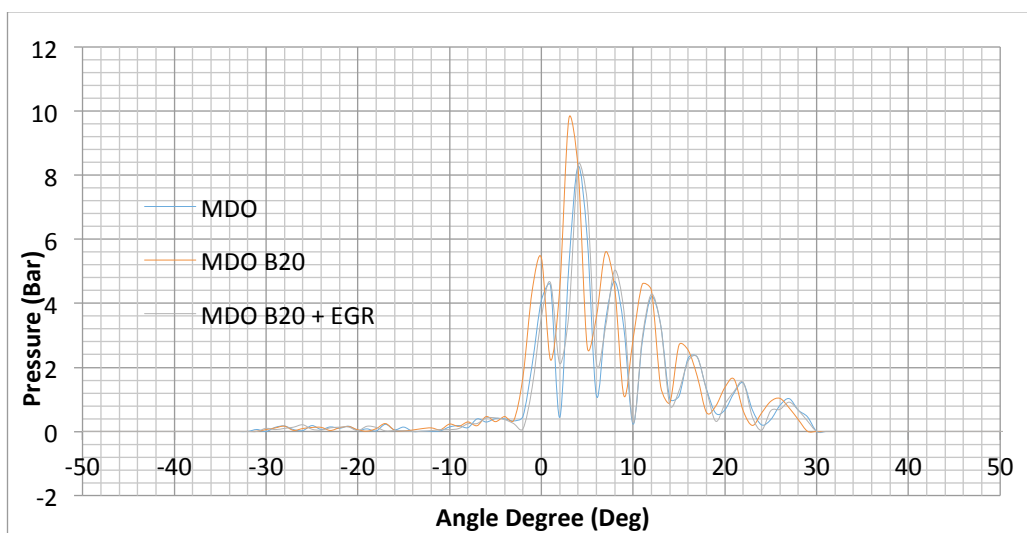
Grafik *knocking* pada pembebanan 1000 watt di RPM 1900 :



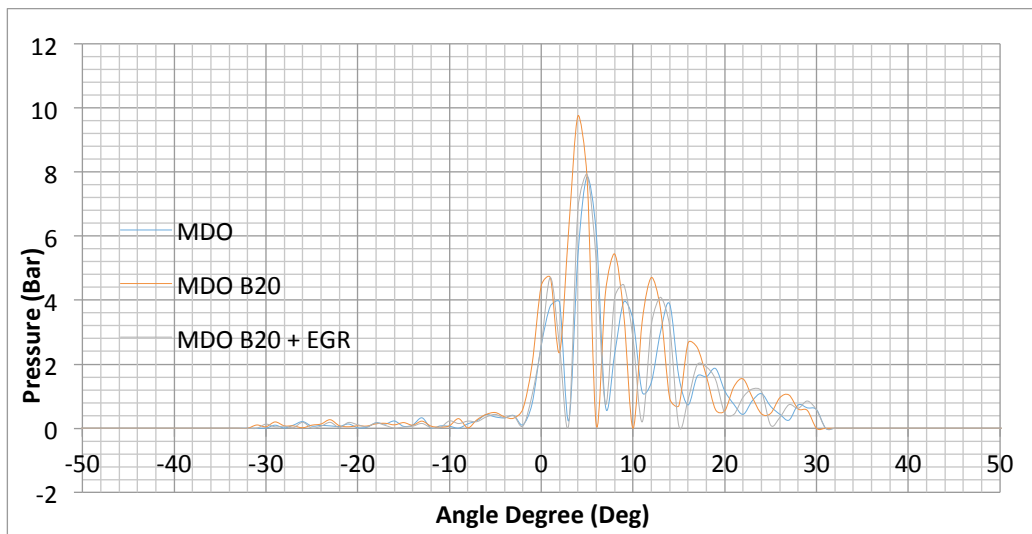
Grafik *knocking* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2000 :



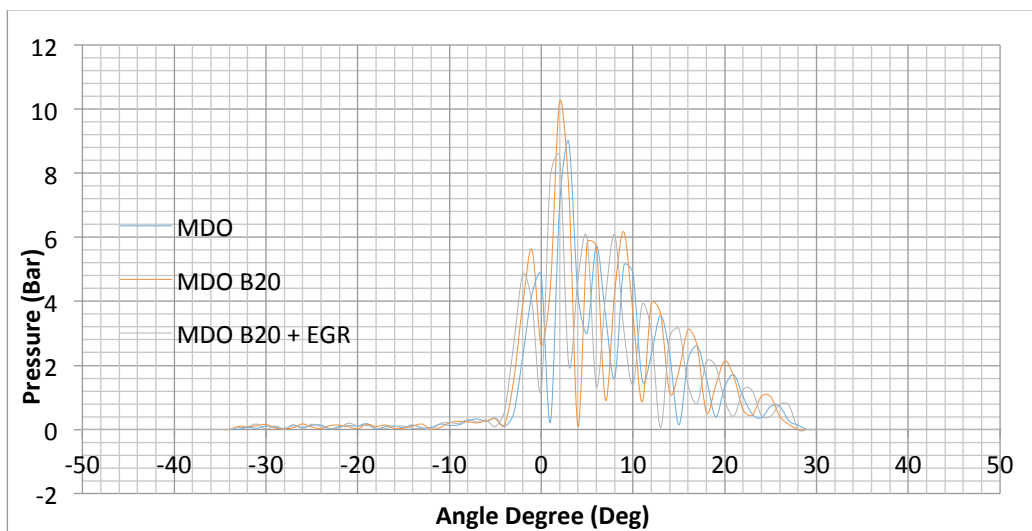
Grafik *knocking* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2100 :



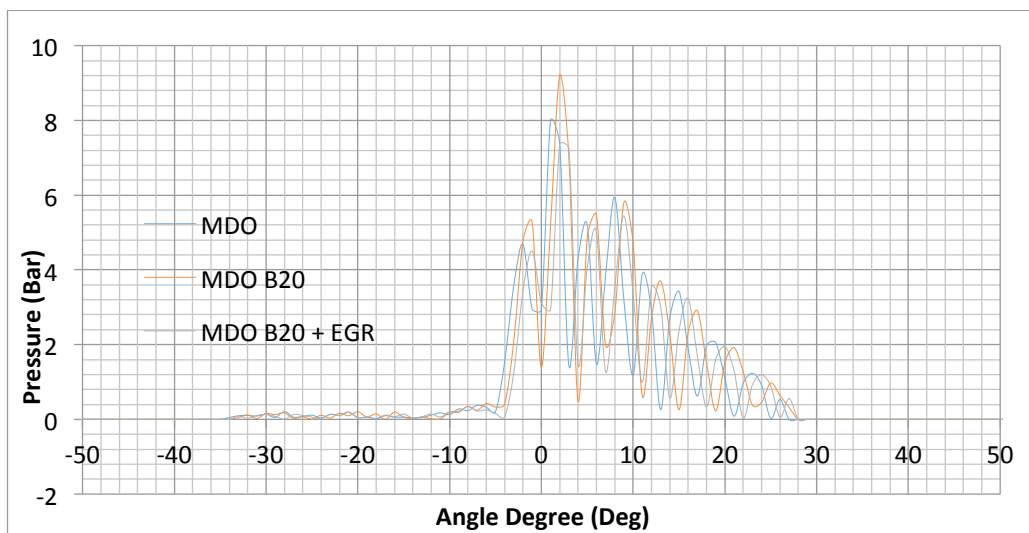
Grafik *knocking* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2200 :



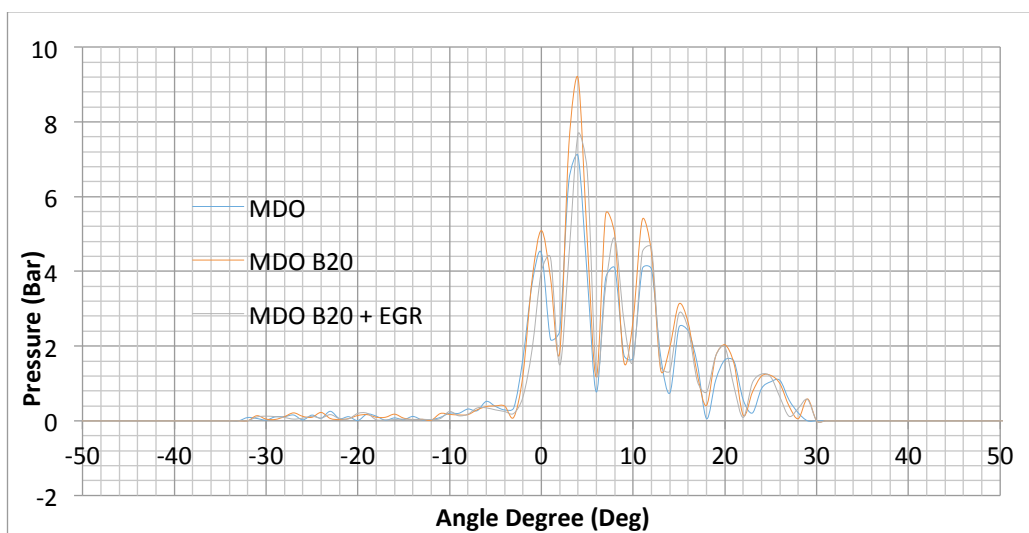
Grafik *knocking* pada pembebanan 2000 watt di RPM 1800 :



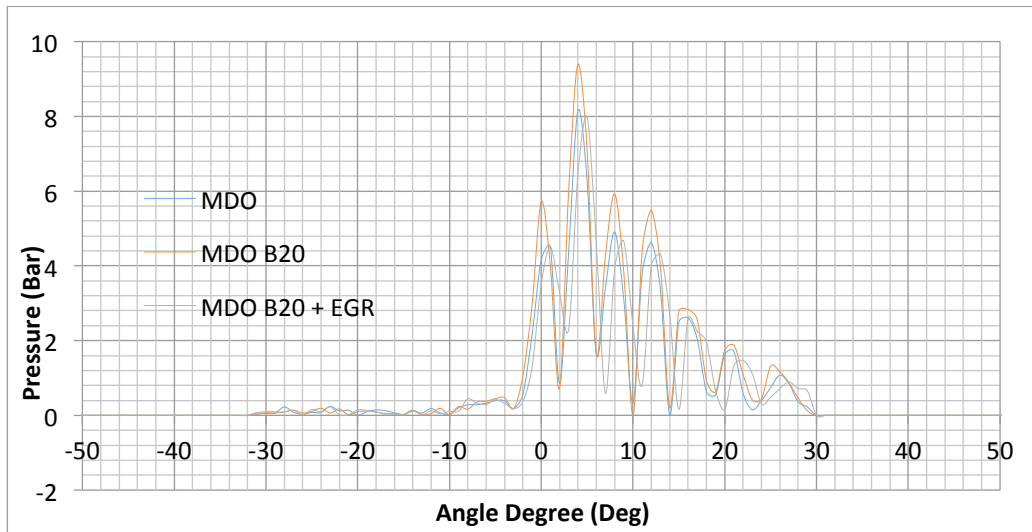
Grafik *knocking* pada pembebanan 2000 watt di RPM 1900 :



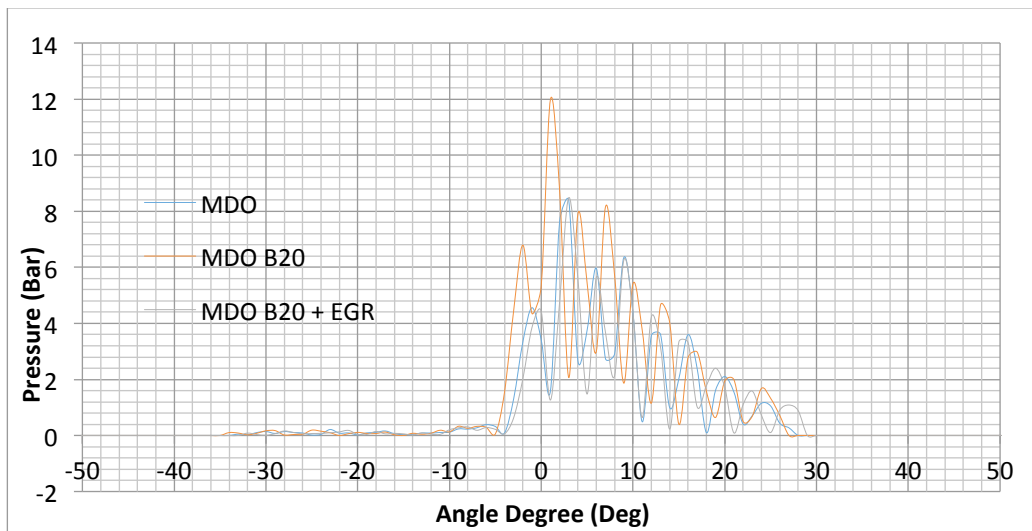
Grafik *knocking* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2100 :



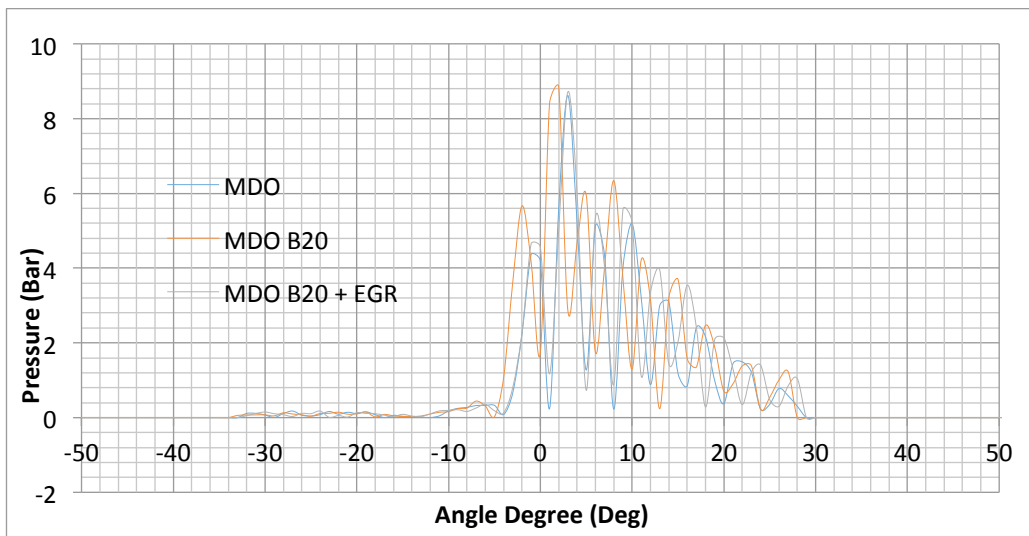
Grafik *knocking* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2200 :



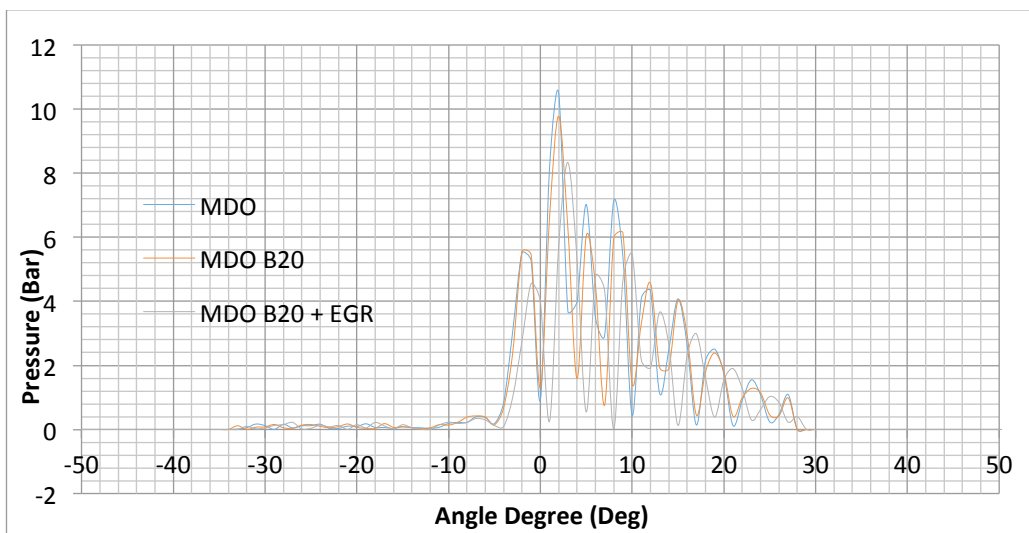
Grafik *knocking* pada pembebanan 3000 watt di RPM 1800 :



Grafik *knocking* pada pembebanan 3000 watt di RPM 1900 :

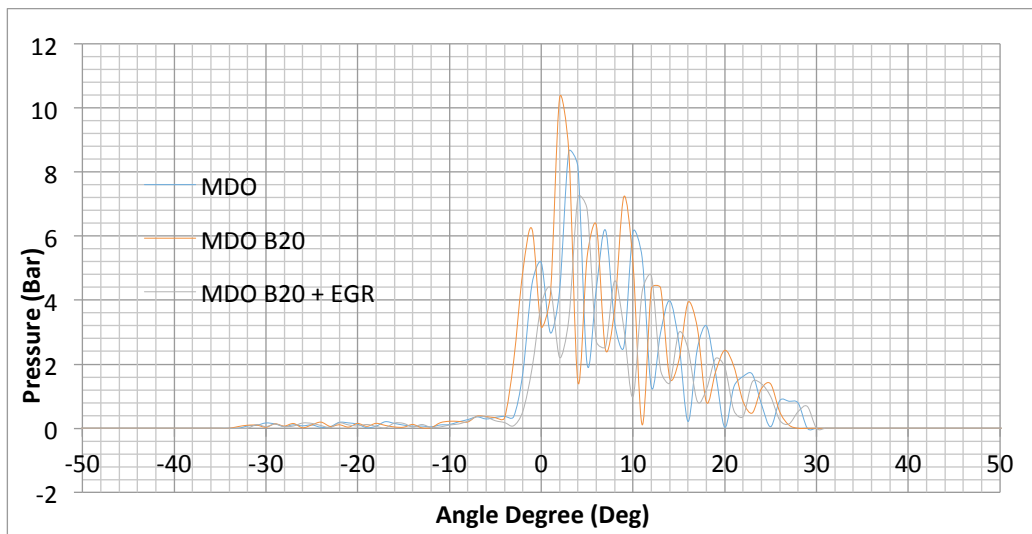


Grafik *knocking* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2000 :

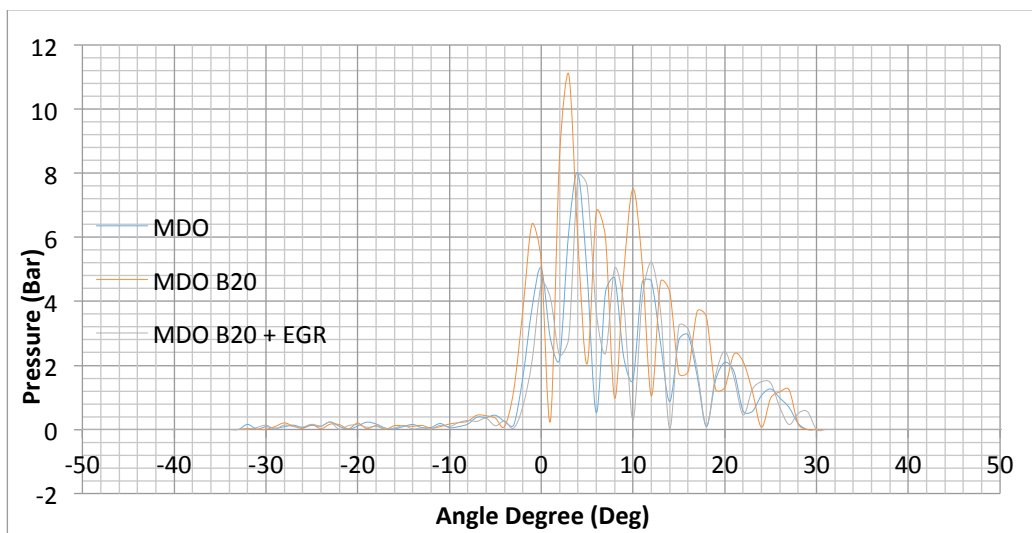




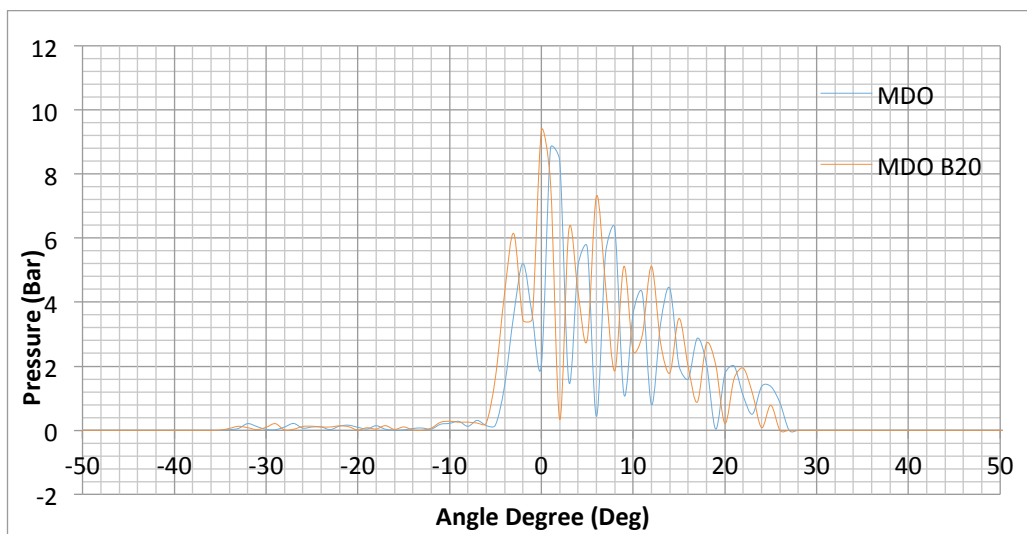
Grafik *knocking* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2100 :



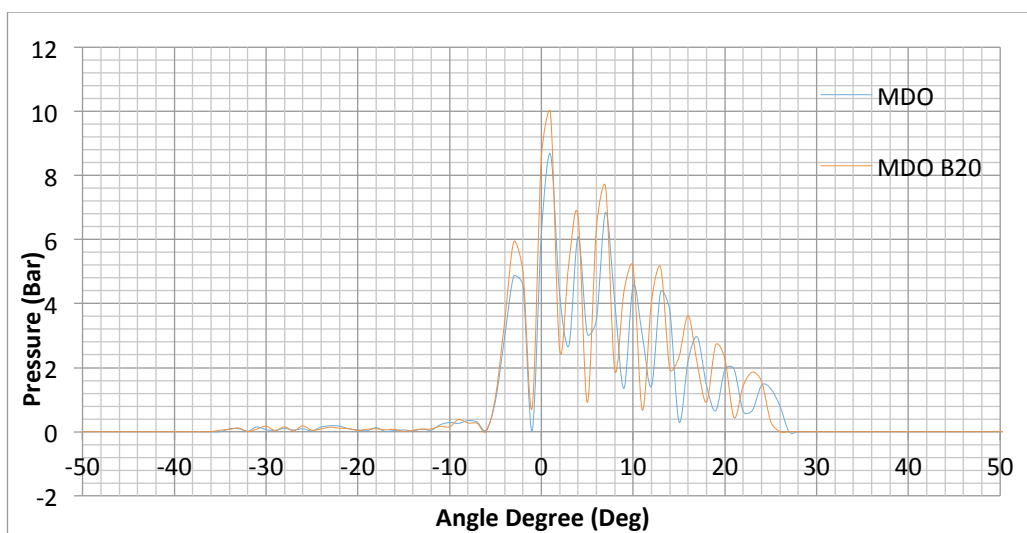
Grafik *knocking* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2200 :



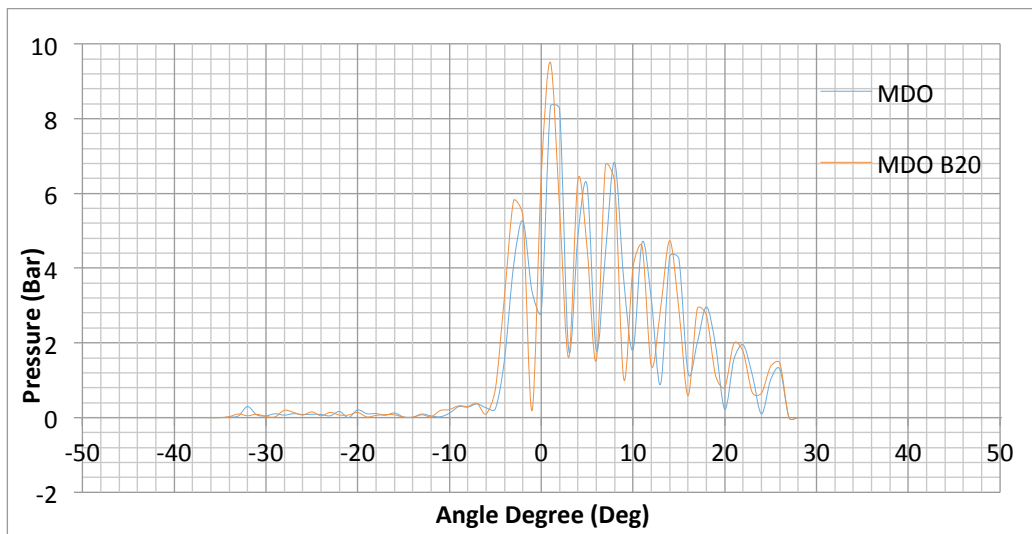
Grafik *knocking* pada pembebanan 4000 watt di RPM 1800 :



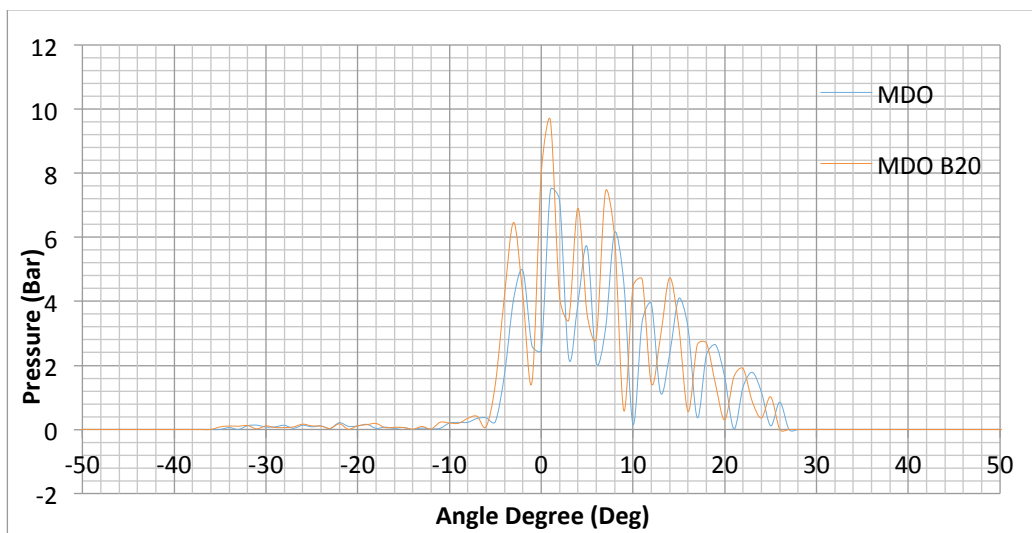
Grafik *knocking* pada pembebanan 4000 watt di RPM 1900 :



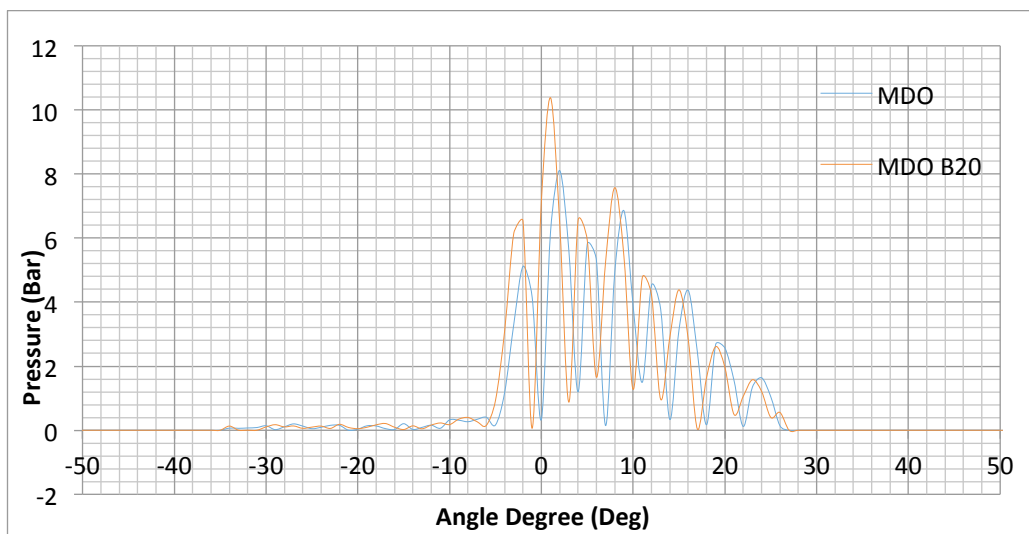
Grafik *knocking* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2000 :



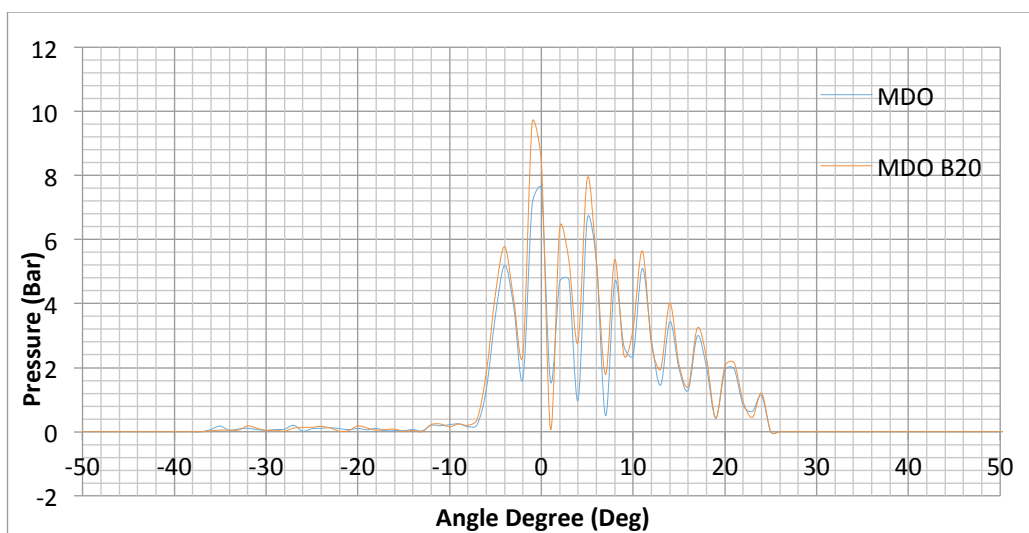
Grafik *knocking* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2100 :



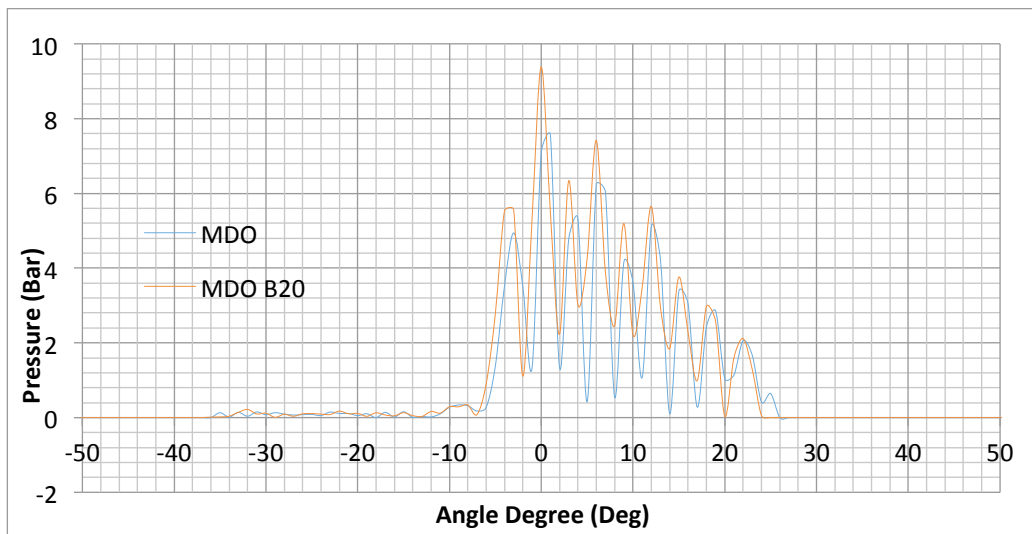
Grafik *knocking* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2200 :



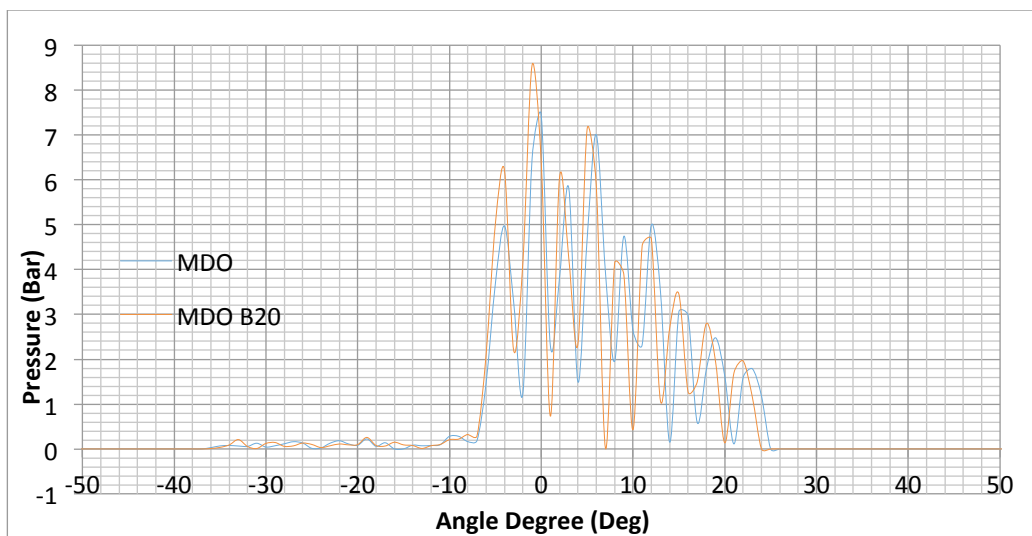
Grafik *knocking* pada pembebanan 5000 watt di RPM 1800 :



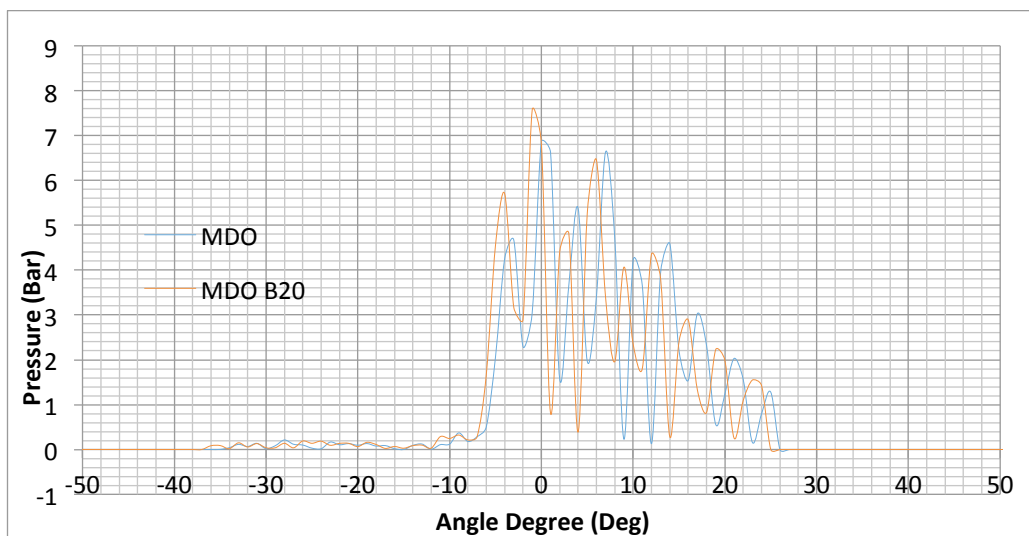
Grafik *knocking* pada pembebanan 5000 watt di RPM 1900 :



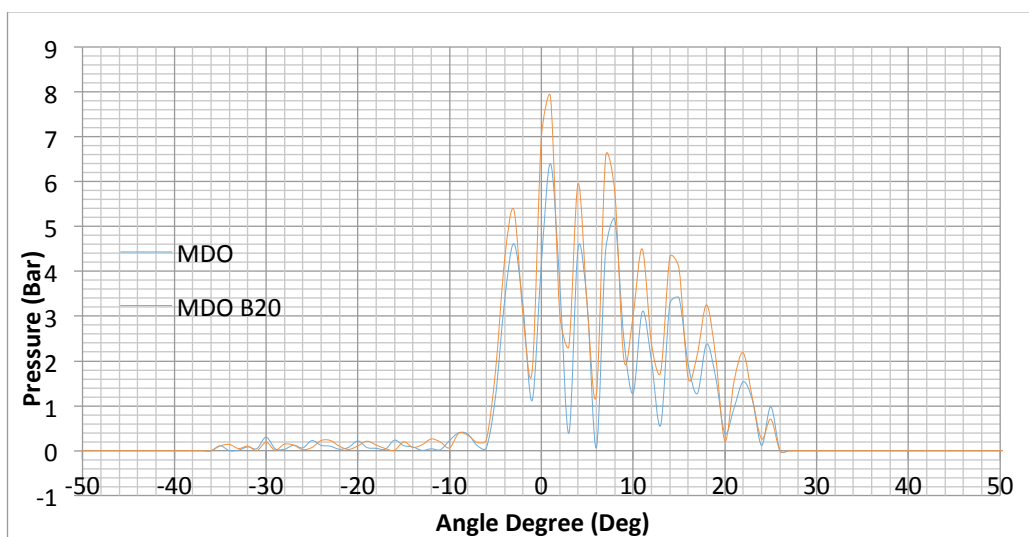
Grafik *knocking* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2000 :



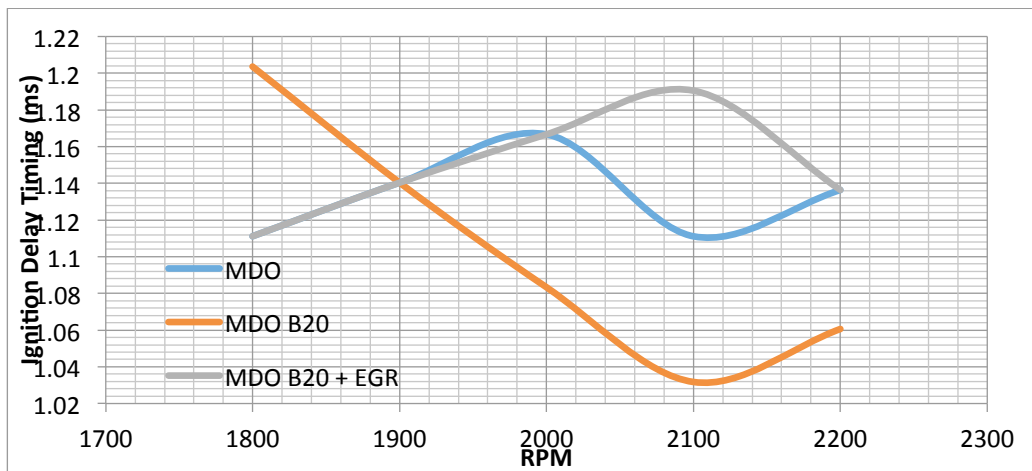
Grafik *knocking* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2100 :



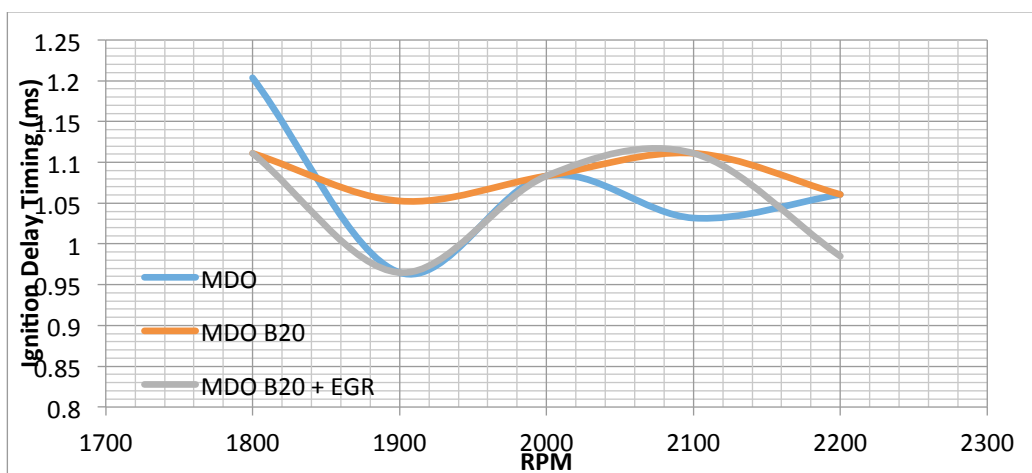
Grafik *knocking* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2200 :



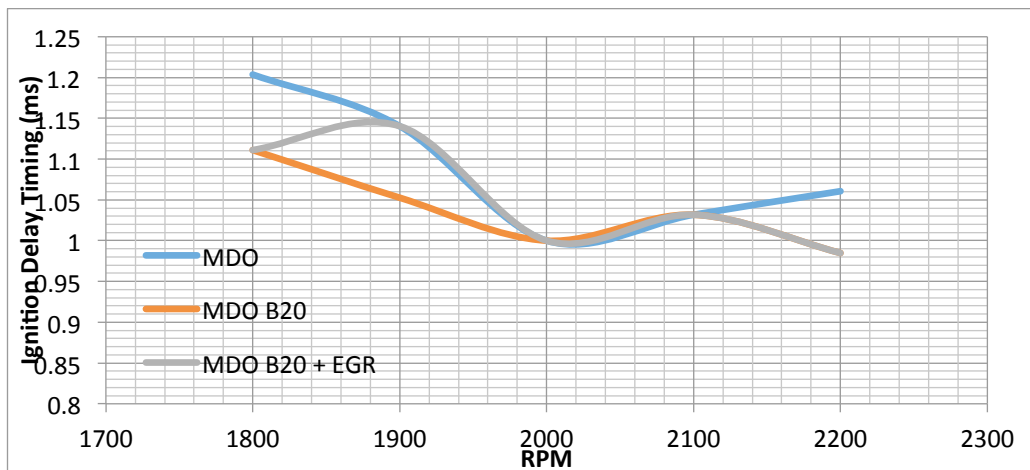
Grafik *ignition delay* pada pembebanan 1000 watt :



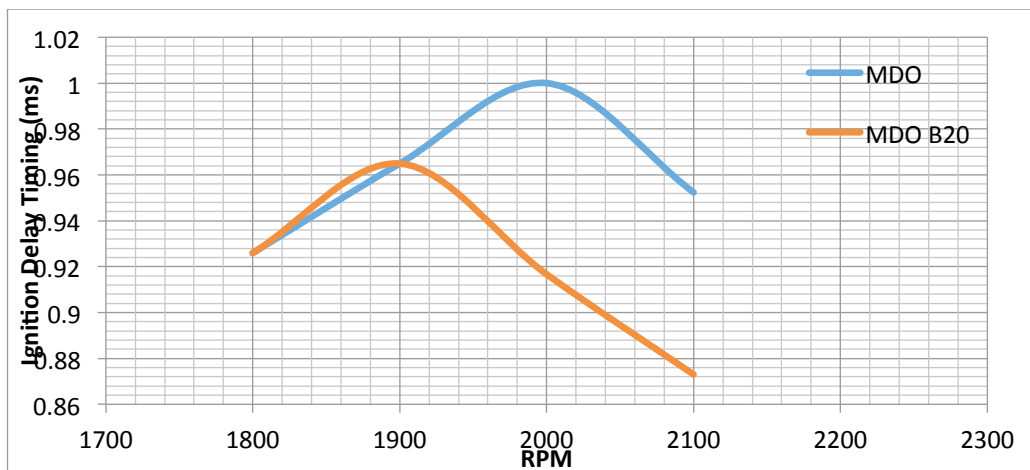
Grafik *ignition delay* pada pembebanan 2000 watt :



Grafik *ignition delay* pada pembebanan 3000 watt :

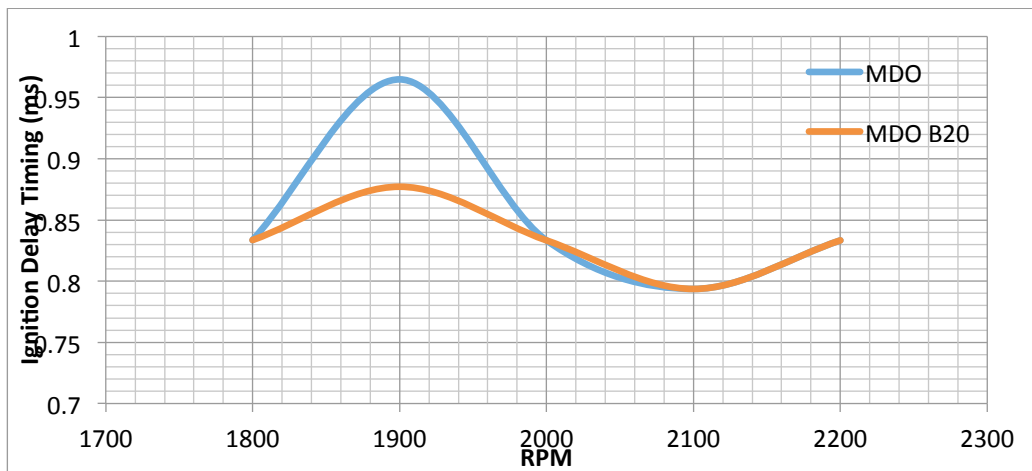


Grafik *ignition delay* pada pembebanan 4000 watt :

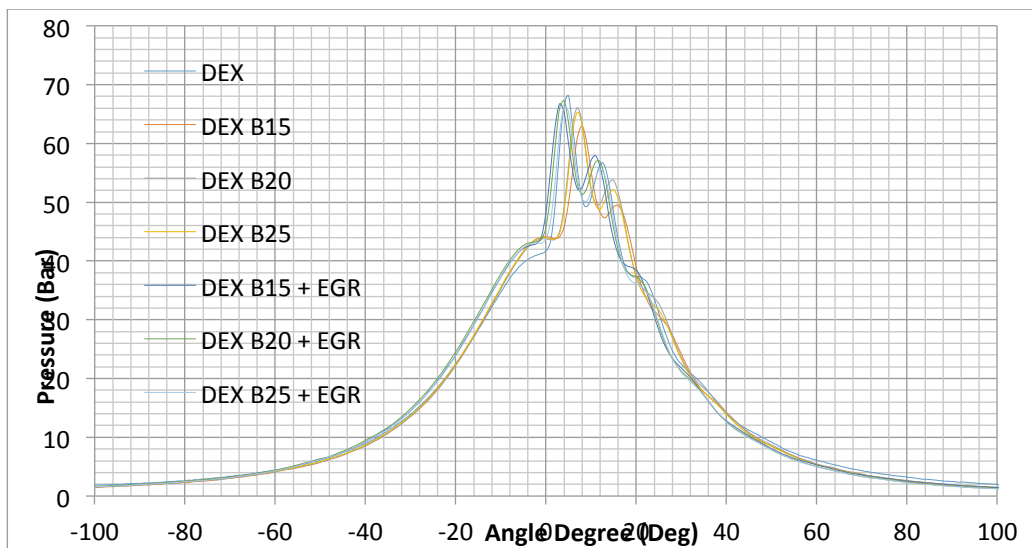




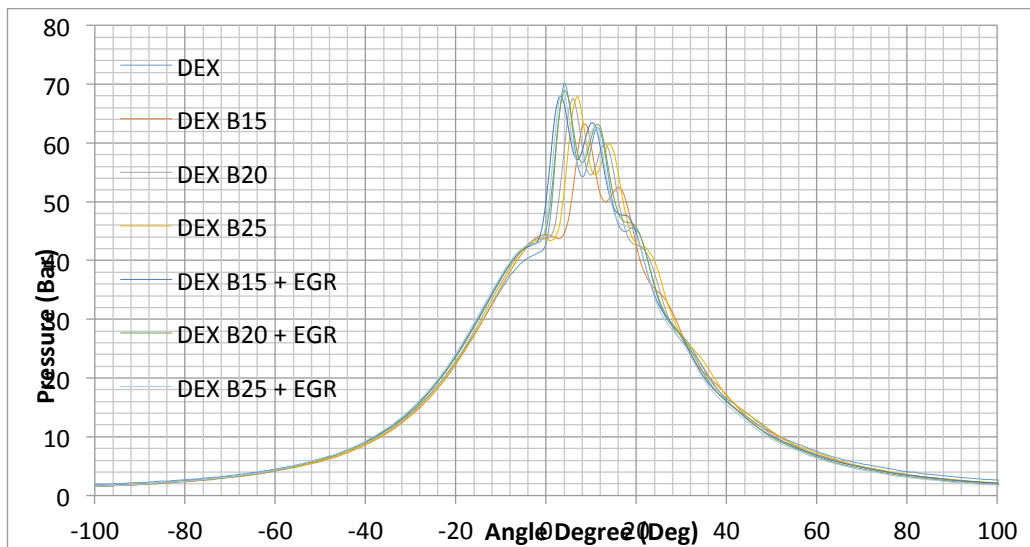
Grafik *ignition delay* pada pembebanan 5000 watt :



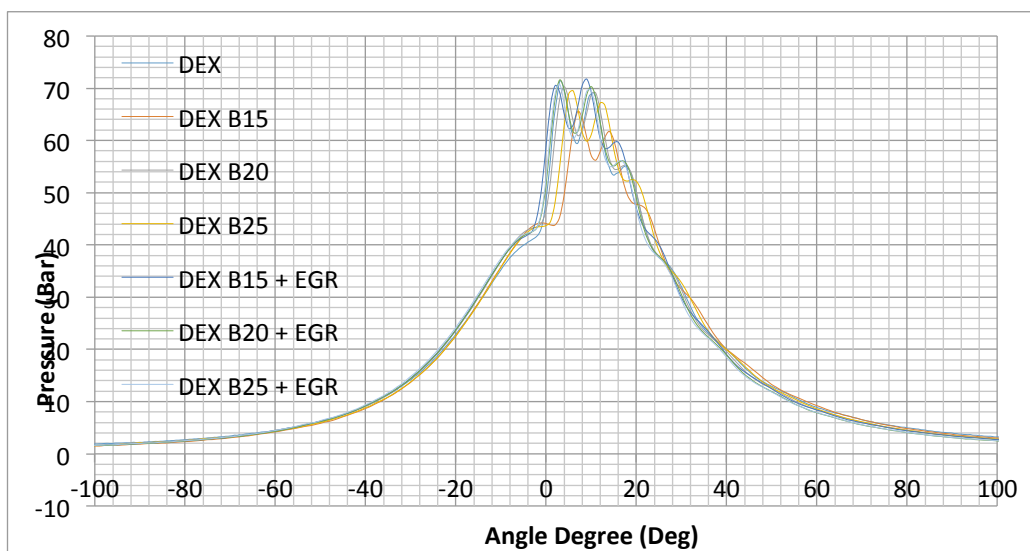
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2200 :



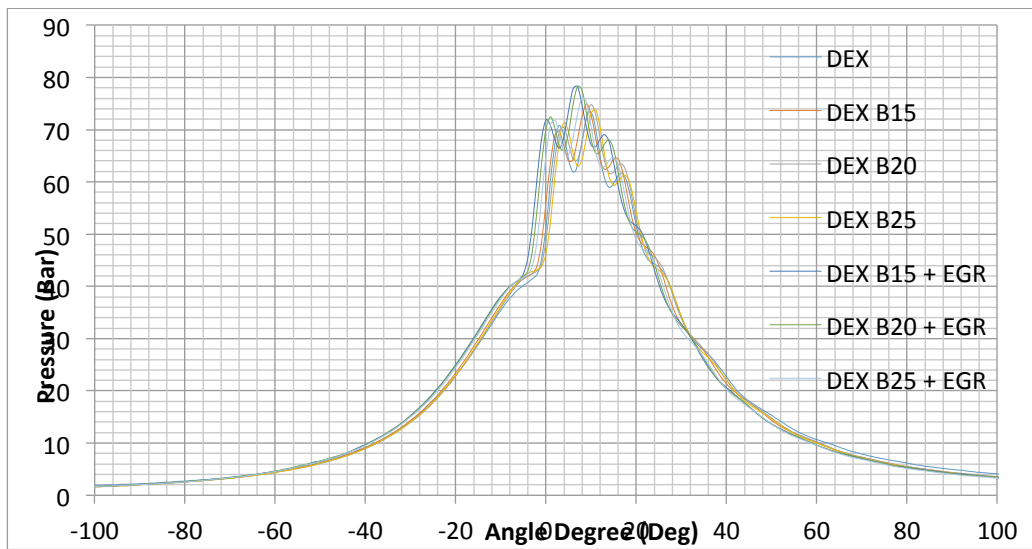
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2200 :



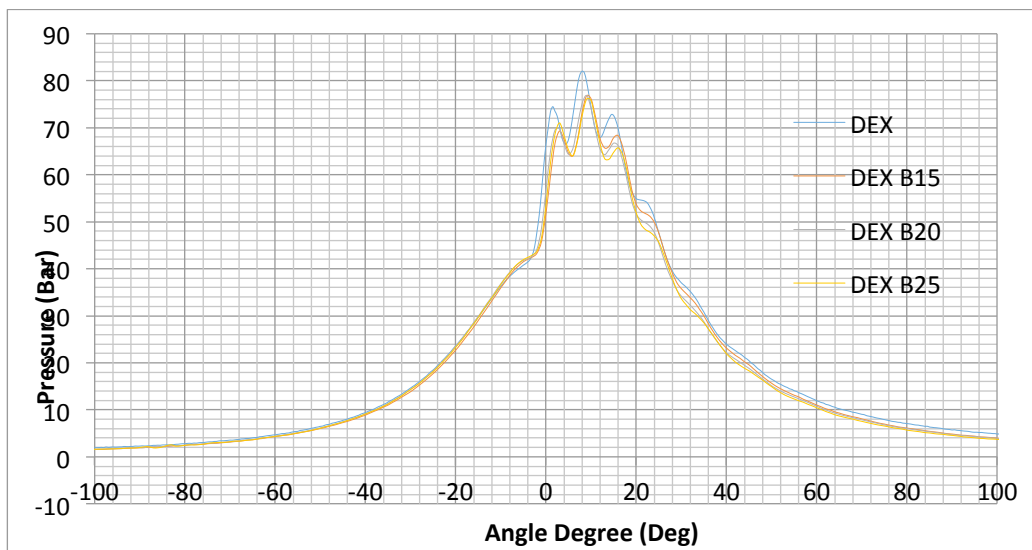
Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2200 :

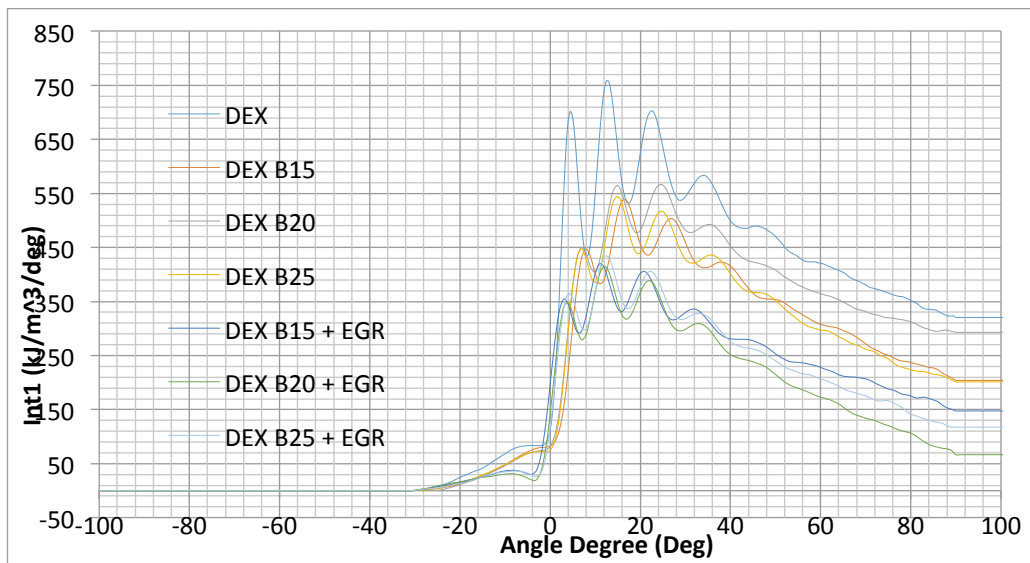
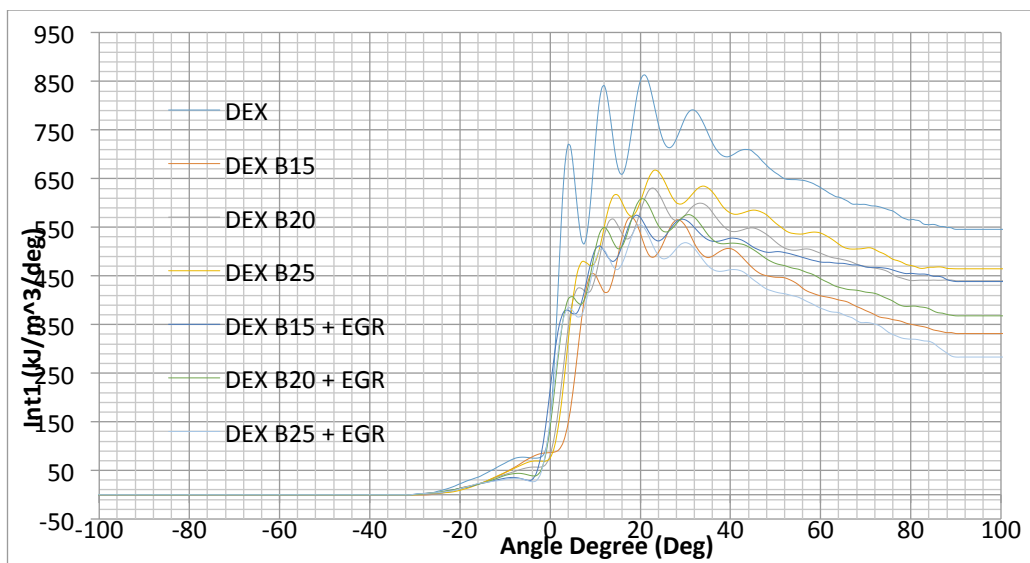


Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2200 :

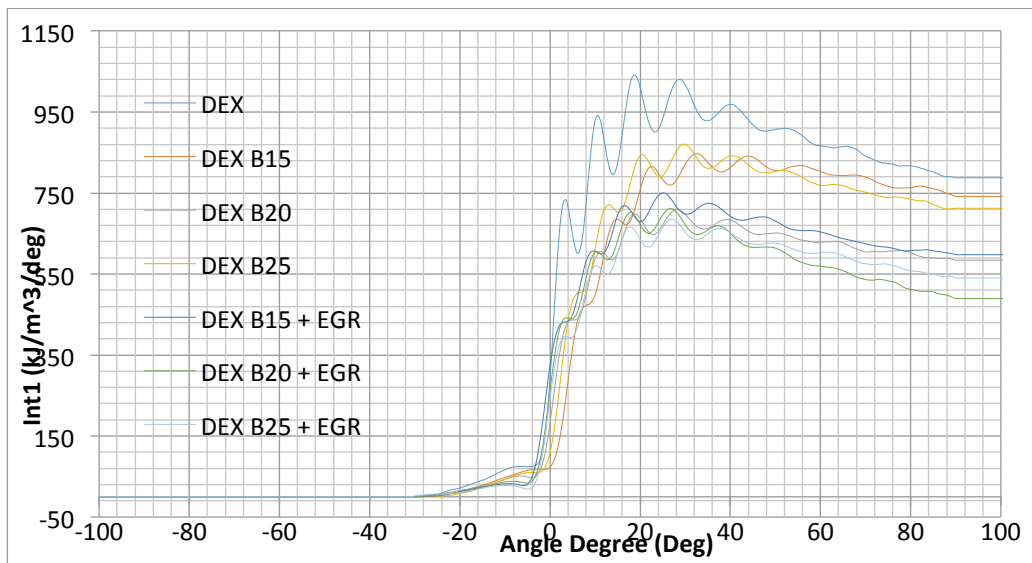


Grafik *combustion pressure* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2200 :

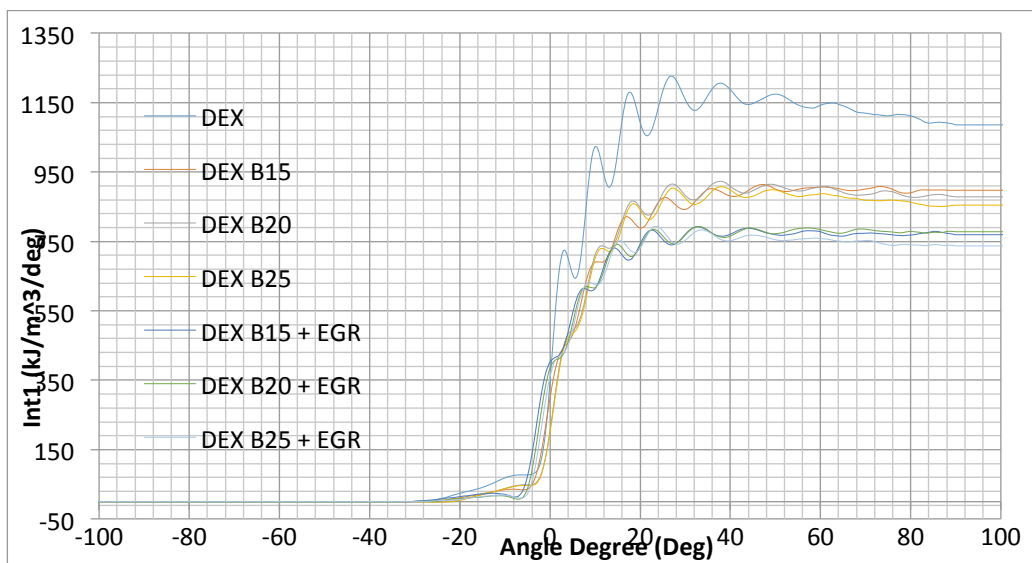


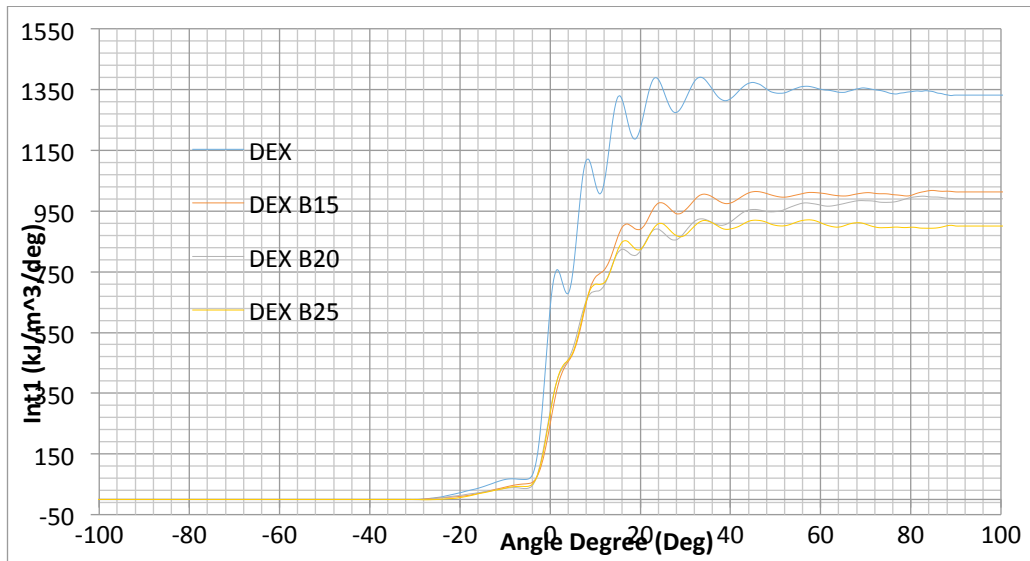
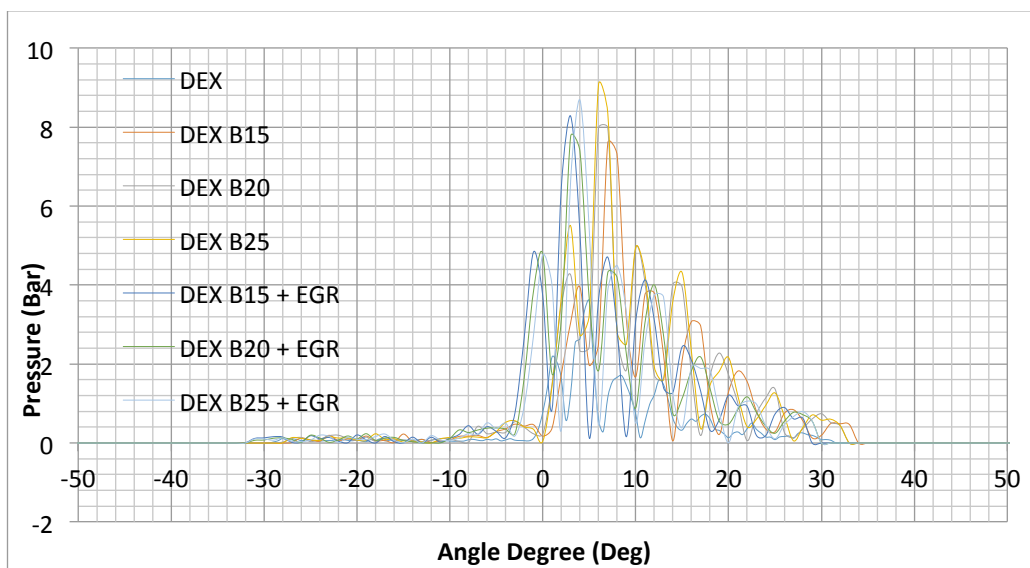
Grafik *heat release* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2200 :Grafik *heat release* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2200 :

Grafik *heat release* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2200 :

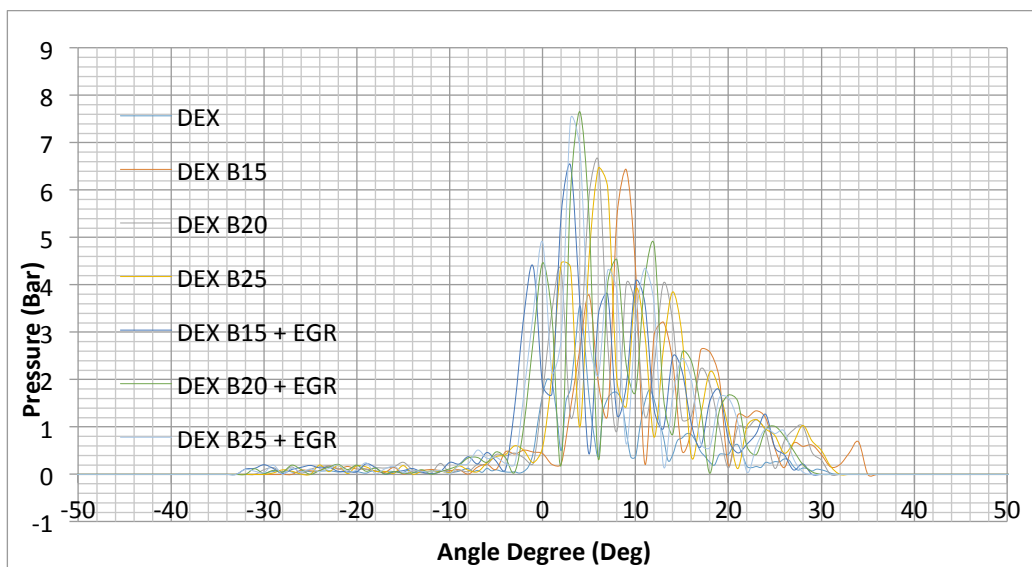


Grafik *heat release* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2200 :

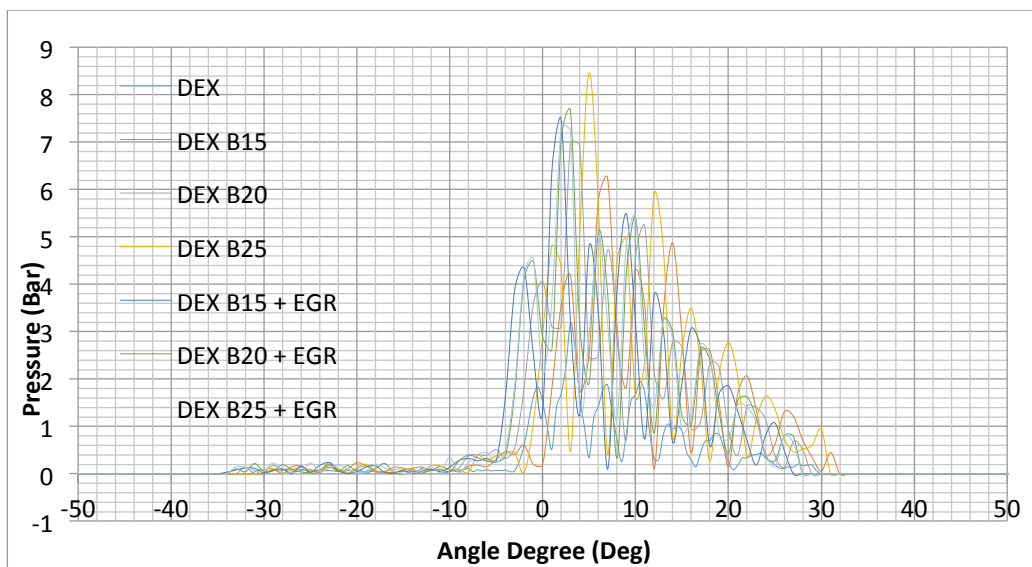


Grafik *heat release* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2200 :Grafik *knocking* pada pembebanan 1000 watt di RPM 2200 :

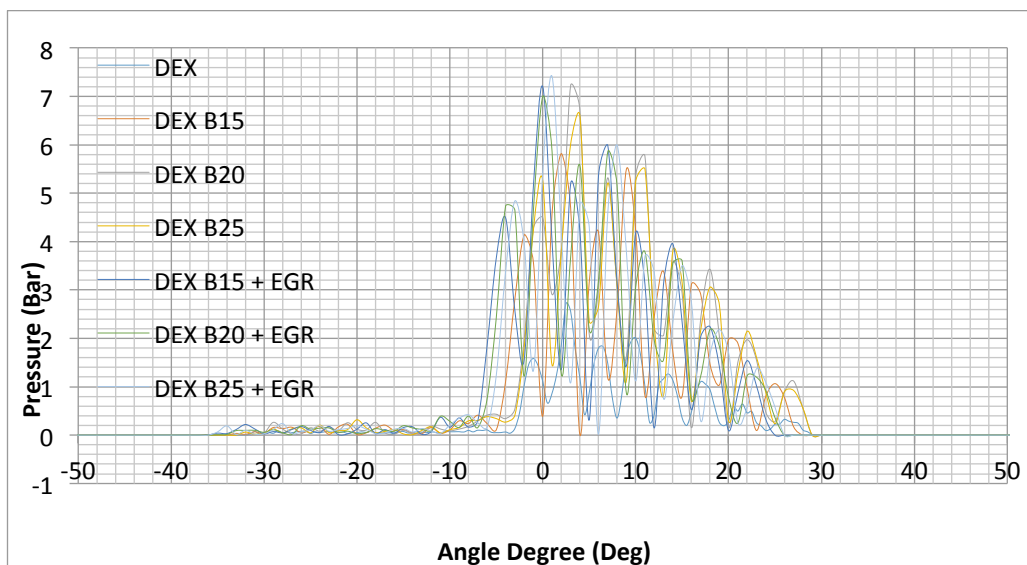
Grafik *knocking* pada pembebanan 2000 watt di RPM 2200 :



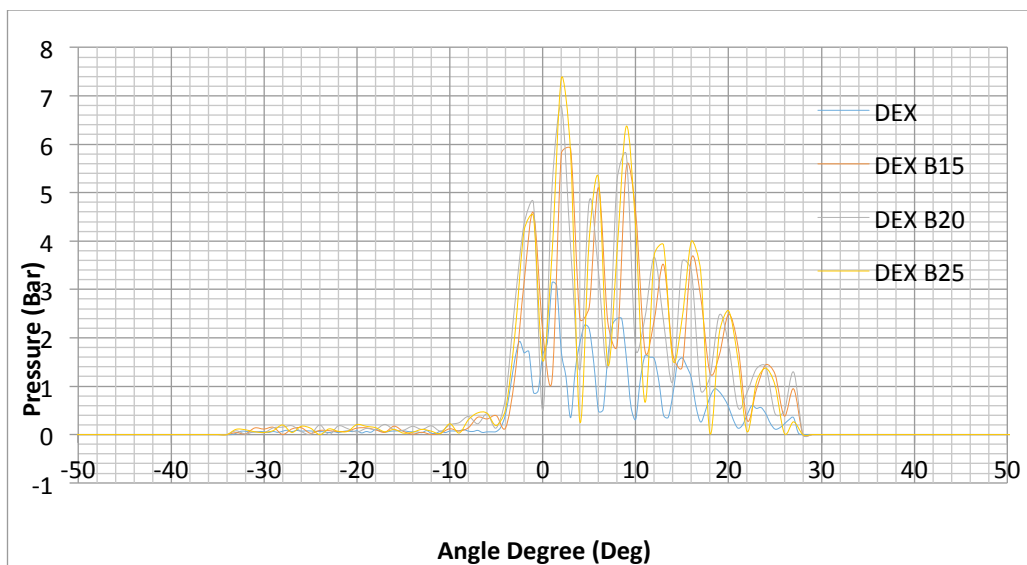
Grafik *knocking* pada pembebanan 3000 watt di RPM 2200 :



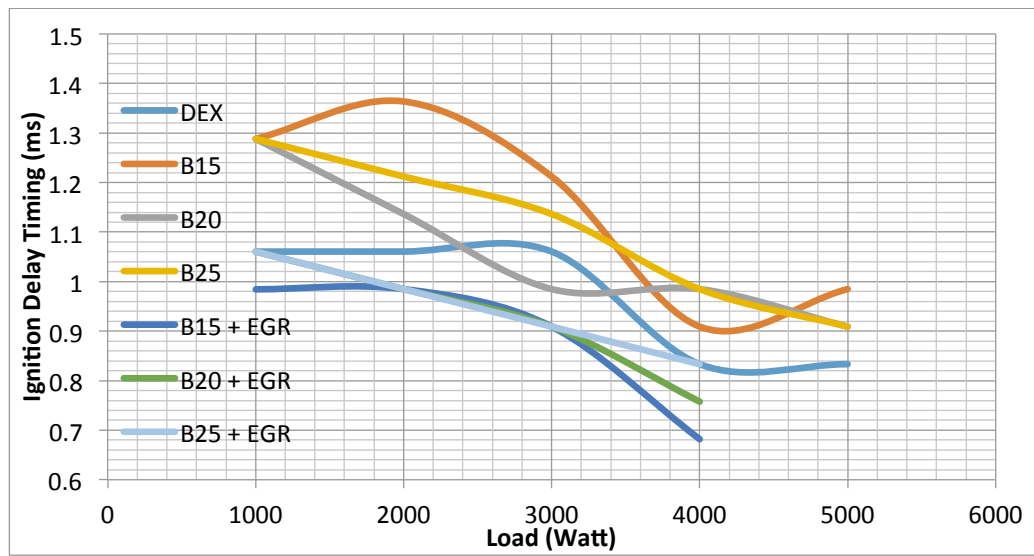
Grafik *knocking* pada pembebanan 4000 watt di RPM 2200 :



Grafik *knocking* pada pembebanan 5000 watt di RPM 2200 :

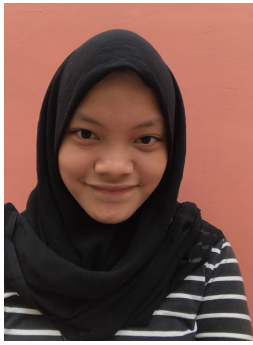




Grafik *ignition delay* pada RPM 2200 :

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

### BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak tunggal dari pasangan Jeany Fatmah Mony dan Ari Jumagi yang dilahirkan di Jakarta pada tanggal 28 April 1995. Penulis telah menyelesaikan pendidikan formal, yaitu TK Al Muhajirin, SD Barunawati, SMPN 30 Jakarta, SMAN 13 Jakarta. Penulis diterima di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2013 dengan Nomor Registrasi Pokok 4213100110. Selama masa perkuliahan penulis mengikuti beberapa kegiatan seperti menjadi peserta seminar, pengurus Himpunan Jurusan Sistem Perkapalan, dan penitia beberapa event seperti Marine Icon dan Marine Engineering Home

Coming Day. Penulis telah menempuh kerja praktik di PT. Palindo Marine Batam dan PT. PJB Muara Tawar. Penulis mengambil bidang Marine Power Plant dalam pengerjaan Tugas Akhir. Pesan dari penulis adalah, jangan menunda-nunda sesuatu karena pada akhirnya banyak hal akan terbengkalai.