



**TUGAS AKHIR – (ME184834)**

**OPTIMALISASI COLD EGR (EXHAUST GAS  
RECIRCULATION) PADA MOTOR DIESEL BERBAHAN  
BAKAR BIODIESEL TERHADAP PERFORMA DAN NO<sub>x</sub>**

Adhitya Rhengga Saputra  
NRP 04211746000023

Dosen Pembimbing  
Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.  
Adhi Iswanto, ST., MT.

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



**TUGAS AKHIR – (ME184834)**

**OPTIMALISASI COLD EGR (EXHAUST GAS  
RECIRCULATION) PADA MOTOR DIESEL BERBAHAN  
BAKAR BIODIESEL TERHADAP PERFORMA DAN NO<sub>x</sub>**

Adhitya Rhengga Saputra  
NRP 0421174600023

Dosen Pembimbing  
Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.  
Adhi Iswantoro, ST., MT.

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



**BACHELOR THESIS – (ME184834)**

**OPTIMIZATION OF COLD EGR (EXHAUST GAS  
RECIRCULATION) ON BIODIESEL FUELED DIESEL  
ENGINES ON PERFORMANCE AND NO<sub>x</sub>**

Adhittya Rhengga Saputra  
NRP 04211746000023

Supervisor  
Beny Cahyono ST., MT., Ph.D.  
Adhi Iswantoro, ST., MT.

DEPARTEMEN OF MARINE ENGINEERING  
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**OPTIMALISASI COLD EGR (EXHAUST GAS RECIRCULATION)**  
**PADA MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL**  
**TERHADAP PERFORMA DAN NO<sub>x</sub>**  
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjan Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ADHITTYA RHENGGGA SAPUTRA**

**NRP. 04211746000023**

Disetujui Oleh Pembimbing Tugas Akhir :

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

NIP. 197903192008011008

(  )

2. Adhi Iswanto, ST., MT.

NIP. 19912017111050

(  )

**SURABAYA, JANUARI 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**OPTIMALISASI COLD EGR (EXHAUST GAS RECIRCULATION)**  
**PADA MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL**  
**TERHADAP PERFORMA DAN NO<sub>x</sub>**  
**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjan Teknik

Pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)

Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ADHITTYA RHENGGGA SAPUTRA**

**NRP. 0421174600023**



**SURABAYA, JANUARI 2020**

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRAK

Menipisnya cadangan minyak bumi menjadi salah satu masalah utama yang dihadapi diberbagai negara. Oleh sebab itu perlu adanya solusi salah satunya untuk beralih menuju bahan bakar alternative yang terbarukan seperti penggunaan biodiesel pada diesel *engine*. *Biodiesel* merupakan bahan bakar yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti kelapa sawit yang bersifat renewable namu perlu dilakukan kajian yang lebih mendalam terhadap performa dan emisi yang dihasilkan dari biodiesel.

Pada penelitian akan dilakukan eksperimen dengan bahan bakar B20 dan B30 dengan membandingkan performa pada kondisi STD (0% EGR), EGR, dan selanjutnya EGR akan dilakukan optimalisasi dengan menambahkan pendingin pada EGR atau bias disebut dengan *cold* EGR dengan melakukan variasi suhu pada *intake* dibawah suhu *intake* saat belum terpasang *cold* EGR. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan diketahui bahwa pemasangan *cold* EGR dapat meningkatkan daya namun cenderung berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar. Untuk B30 titik daya tertinggi didapat pada suhu *intake* sebesar 40°C pada bukaan katup EGR 20%, sedangkan Untuk B20 titik daya tertinggi didapat pada suhu *intake* sebesar 40°C pada bukaan katup EGR 10%. Untuk emisi NOx B30, titik kadar NOx terendah didapat pada suhu *intake* 36°C untuk bukaan katup EGR 10% dan 20% dan untuk bukaan 30% terdapat pada suhu *intake* sebesar 39°C. Sedangkan Untuk emisi NOx B20, titik kadar NOx terendah didapat pada suhu *intake* 38°C untuk bukaan katup EGR 10% dan 40°C untuk bukaan katup 20% dan untuk bukaan 30% terdapat pada suhu *intake* sebesar 43°C

***Kata kunci : Biodiesel, Performa, Emisi, Nox, EGR***



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## ABSTRACT

The depletion of petroleum reserves is one of the main problems faced in various countries. Therefore one solution is needed to switch to alternative renewable fuels such as the use of biodiesel in diesel engines. Biodiesel is a fuel derived from plants such as palm oil that is renewable but needs to be carried out a deeper study of the performance and emissions produced from biodiesel.

In this study, experiments will be conducted with B20 and B30 fuels by comparing the performance under STD conditions (0% EGR), EGR, and then EGR will be optimized by adding coolant to the EGR or can be called cold EGR by varying the temperature at the intake below the temperature intake when cold EGR is not installed. From the results of research that has been done, it is known that the installation of cold EGR can increase power but tends to be directly proportional to fuel consumption. For B30 the highest PowerPoint is obtained at an intake temperature of 40 ° C at 20% EGR valve openings, while for B20 the highest PowerPoint is obtained at an intake temperature of 40 ° C at 10% EGR valve openings. For NO<sub>x</sub> B30 emissions, the lowest NO<sub>x</sub> level is obtained at the intake temperature of 36 ° C for 10% and 20% EGR valve openings and for the 30% aperture is at the intake temperature of 39 ° C. Whereas for NO<sub>x</sub> B20 emissions, the lowest NO<sub>x</sub> level is obtained at an intake temperature of 38 ° C for 10% EGR valve openings and 40 ° C for 20% valve openings and for 30% openings at an intake temperature of 43 ° C

**Keywords:** *Biodiesel, Performance, Emissions, Nox, EGR*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur alhamdulillah penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan seluruh rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyusun dan menyelesaikan Skripsi dengan judul “Optimalisasi *Cold EGR (Exhaust Gas Recirculation)* Pada Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Terhadap Performa Dan NOx” dengan baik.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana (S1) di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyusunan dan pengerjaan Skripsi ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan moral yang sangat berarti dari berbagai pihak. Sebagai bentuk rasa syukur, penulis mengucapkan terima kasih khususnya kepada:

1. Bapak Supriyadi dan Ibu Muayanah, serta semua anggota keluarga yang telah memberikan doa, motivasi serta semangat untuk menyelesaikan Skripsi ini.
2. Bapak Beny Cahyono S.T.,M.T.,Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan dan juga dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis. Penulis mengucapkan terimakasih yang teramat banyak.
3. Bapak Ir. Tony Bambang Musriyadi, PGD., M.MT selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis.
4. Bapak Adhi Iswantoro, ST., MT. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan banyak masukan dan ilmu bagi penulis. Penulis mengucapkan terimakasih yang teramat banyak.
5. Bapak Nurhadi Siswantoro, S.T., M.T. Selaku dosen wali, yang selama ini mendukung dan memberikan ilmu yang bermanfaat.
6. Teman-teman seperjuangan ITS di lab MPP yang selalu memberikan dukungan serta semangat kepada penulis untuk menyelesaikan Skripsi ini.
7. Teman-teman Lintas Jalur 2017 yang selalu memberikan semangat serta doa dan dukungan.
8. Semua pengurus dan anggota Laboratorium “Marine Power Plant (MPP)” yang telah memberikan semangat dan membantu penulis selama pengerjaan Skripsi ini.
9. Teman-teman kontrakan Dimas, Deni, Rocky, Niko, Ardi, Agum, Hanung, Linggar, Rahim, Angga, Hanafi, Alvyn, Fabri, Andika, dan masih banyak lagi penulis mengucapkan terimakasih banyak

Dalam pembuatan laporan Skripsi ini penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan analisa masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang sifatnya membangun bagi penulis. Akhir kata, semoga dengan semua ini mendapat berkah sekaligus rahmat Allah SWT sehingga analisa pembuatan desain dapat berkembang dan dapat diterapkan untuk industri perkapalan.

Surabaya, Januari 2020

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I</b>	
<b>PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Skripsi .....	2
1.5 Manfaat .....	2
<b>BAB II</b>	
<b>DASAR TEORI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Motor Diesel .....	5
2.2. EGR ( <i>Exhaust Gas Recirculatio</i> ) .....	5
2.3. Perencanaan Jalur <i>Cold EGR (Exhaust Gas Recirculatio)</i> .....	9
2.4. Biodiesel .....	9
2.5. Komponen Pencemaran Udara / Emisi.....	14
2.6 <i>Cold EGR</i> berdasarkan Penelitian .....	15
<b>BAB III</b>	
<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Desain Penelitian .....	17
3.2 Bahan (motor diesel yang diuji) .....	17
3.3 Metode Pelaksanaan .....	17
3.4 Persiapan Alat Dan Bahan .....	18
3.5 <i>Engine Set up</i> .....	21
3.6 Metode Prosentase EGR .....	22
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	23
3.8 Penjelasan <i>Flow Chart</i> .....	24

## **BAB IV**

ANALISA DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1 Hasil Uji Bahan Bakar Biodiesel B20 dan B30 .....	27
4.2 Perbandingan daya dari hasil eksperimen pada setiap RMP dan bukaan katup EGR pada kondisi dan <i>cold</i> EGR .....	27
4.2.1 STD 0% EGR.....	28
4.2.2 10% EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 51 C</i> ).....	29
4.2.3 10% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 38 C</i> ).....	30
4.2.4 10% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 40 C</i> ).....	31
4.2.5 10% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 39 C</i> ).....	32
4.2.6 20% EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 60 C</i> ).....	33
4.2.7 20% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 41 C</i> ).....	34
4.2.8 20% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 42 C</i> ).....	35
4.2.9 20% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 43 C</i> ).....	36
4.2.10 30% EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 76 C</i> ).....	37
4.2.11 30% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 44 C</i> ).....	38
4.2.12 30% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 45 C</i> ).....	39
4.2.13 30% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 43 C</i> ).....	40
4.2.14 STD 0% EGR.....	41
4.2.15 10% EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 50 C</i> ).....	42
4.2.16 10% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 39 C</i> ).....	43
4.2.17 10% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 36 C</i> ).....	44
4.2.18 10% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 40 C</i> ).....	45
4.2.19 20% EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 53 C</i> ).....	46
4.2.20 20% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 53 C</i> ).....	47
4.2.21 20% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 40 C</i> ).....	48
4.2.22 20% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 41 C</i> ).....	49
4.2.23 30% EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 53 C</i> ).....	50
4.2.24 30% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 36 C</i> ).....	51
4.2.25 30% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 45 C</i> ).....	52
4.2.26 30% <i>COLD</i> EGR ( <i>TEMPERATURE INTAKE 48 C</i> ).....	53
4.3 Perbandingan daya dari hasil eksperimen pada setiap RMP, disemua kondisi EGR.....	54
4.3.1 10% EGR .....	54
4.3.2 20% EGR.....	55
4.3.3 30% EGR.....	56
4.3.4 B20 EGR 10%.....	57
4.3.5 B20 EGR 20%.....	58
4.3.6 B20 EGR 30%.....	59

4.4 Perbandingan daya dari hasil eksperimen pada setiap RMP dan bukaan EGR katup EGR pada kondisi EGR. ....	60
4.4.1 B30 Semua kondisi EGR .....	60
4.4.2 B20 Semua kondisi EGR.....	61
4.5 Perbandingan hasil NO <sub>x</sub> dari hasil eksperimen pada setiap RMP dan bukaan katup EGR pada kondisi <i>standard</i> , EGR dan <i>cold</i> EGR baik 10%, 20%, dan 30%. ....	62
4.5.1 Perbandingan hasil NO <sub>x</sub> dari B20 disemua kondisi EGR pada RPM 2100	62
4.5.2 Perbandingan hasil NO <sub>x</sub> dari B20 disemua kondisi EGR pada RPM 2100	63

## **BAB V**

### **PENUTUP**

5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran . ....	65

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**



## DAFTAR GAMBAR

2.1 Motor Diesel 2 Langkah .....	3
2.2 Motor Diesel 4 langkah .....	4
2.3 Siste, EGR ( <i>Exhaust Gas Recirculation</i> ) .....	5
2.4 EGR ( <i>Exhaust Gas Recirculation</i> ).....	6
2.5 <i>Cold</i> EGR ( <i>Exhaust Gas Recirculation</i> ).....	7
2.6 Perencanaan <i>cold</i> EGR ( <i>Exhaust Gas Recirculation</i> ).....	11
2.7 Perbandingan CO pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20 .....	11
2.8 Perbandingan CO <sub>2</sub> pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20 .....	12
2.9 Perbandingan CO <sub>2</sub> pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20 .....	12
2.10 Perbandingan HC pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20 .....	13
2.11 Perbandingan asap pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20 .....	14
3.1 Minyak kelapa sawit dan metoksid.....	18
3.2 Proses pengadukan minyak sawit dan metoksid .....	19
3.3 Proses Pengendapan .....	19
3.4 Proses <i>buble</i> . .....	20
3.5 Proses pengendapan setelah <i>buble</i> .....	20
3.6 Proses Pengeringan .....	21
3.7 <i>Engine Set up</i> .....	22
3.8 Skema pengoperasian .....	22

## DAFTAR TABEL DAN GRAFIK

### TABEL

2.1 Standard Biodiesel Indonesia .....	10
2.2 Perbandingan spesifikasi bahan bakar .....	14
2.3 Perbandingan dan <i>cold</i> EGR terhadap SFOC.....	15
2.4 Perbandingan dan <i>cold</i> EGR terhadap daya dan <i>peak power</i> . ....	15
2.5 Perbandingan dan <i>cold</i> EGR terhadap NOx pada beban 100%.....	15
2.6 Perbandingan dan <i>cold</i> EGR terhadap <i>Combustion Pressure</i> pada beban 100%. ....	15
2.7 Penurunan suhu gas buang pada <i>cold</i> EGR.....	16
4.1 Hasil uji bahan bakar Biodiesel B20 dan B30.....	27
4.2 SFOC pada 0% EGR. ....	28
4.3 SFOC pada 10% EGR ( <i>temperature intake 51 C</i> ).....	29
4.4 SFOC pada 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 38 C</i> ).....	30
4.5 SFOC pada 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 40 C</i> ).....	31
4.6 SFOC pada 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 39 C</i> ).....	32
4.7 SFOC pada 20% EGR ( <i>temperature intake 60 C</i> ).....	33
4.8 SFOC pada 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 41 C</i> ).....	34
4.9 SFOC pada 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 42 C</i> ).....	35
4.10 SFOC pada 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 43 C</i> ).....	36
4.11 SFOC pada 30% EGR ( <i>temperature intake 76 C</i> ).....	37
4.12 SFOC pada 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 44 C</i> ).....	38
4.13 SFOC pada 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 45 C</i> ).....	39
4.14 SFOC pada 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 43 C</i> ).....	40
4.15 SFOC pada kondisi 0% EGR .....	41
4.16 SFOC pada kondisi 10% EGR ( <i>temperature intake 50 C</i> ).....	42
4.17 SFOC pada kondisi 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 39 C</i> ) .....	43
4.18 SFOC pada kondisi 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 36 C</i> ) .....	44
4.19 SFOC pada kondisi 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 40 C</i> ) .....	45
4.20 SFOC pada kondisi 20% EGR ( <i>temperature intake 53 C</i> ).....	46
4.21 SFOC pada kondisi 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 55 C</i> ) .....	47
4.22 SFOC pada kondisi 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 40 C</i> ) .....	48
4.23 SFOC pada kondisi 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 41 C</i> ) .....	49
4.24 SFOC pada kondisi 30% EGR ( <i>temperature intake 53 C</i> ).....	50
4.25 SFOC pada kondisi 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 36 C</i> ).....	51
4.26 SFOC pada kondisi 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 45 C</i> ).....	52
4.25 SFOC 30% <i>cold</i> EGR .....	53
4.26 Daya pada kondisi 10% EGR.....	54
4.27 Daya pada kondisi 20% EGR.....	55
4.28 Daya pada kondisi 30% EGR.....	56
4.29 Daya pada kondisi B20 EGR 10% .....	57
4.30 Daya pada kondisi B20 EGR 20% .....	58
4.31 Daya pada kondisi B20 EGR 30% .....	59

## GRAFIK

4.1 Grafik SFOC pada kondisi 0% EGR.....	28
4.2 Grafik SFOC pada 10% EGR ( <i>temperature intake 51 C</i> )..	29
4.3 Grafik SFOC pada 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 38 C</i> ).....	30
4.4 Grafik SFOC pada 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 40 C</i> ).....	31
4.5 Grafik SFOC pada 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 39 C</i> ).....	32
4.6 Grafik SFOC 20% EGR ( <i>temperature intake 60 C</i> ).....	33
4.7 Grafik SFOC pada 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 41 C</i> ).....	34
4.8 Grafik SFOC pada 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 42 C</i> ).....	35
4.9 Grafik SFOC 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 43 C</i> ).....	36
4.10 Grafik SFOC pada 30% EGR ( <i>temperature intake 76 C</i> ) .....	37
4.11 Grafik SFOC pada 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 44 C</i> ).....	38
4.12 Grafik SFOC pada 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 45 C</i> ).....	39
4.13 Grafik SFOC pada 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 43 C</i> ).....	40
4.14 Grafik SFOC pada kondisi 0% EGR .....	41
4.15 Grafik SFOC pada kondisi 10% EGR ( <i>temperature intake 50 C</i> ).....	42
4.16 Grafik SFOC pada kondisi 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 39 C</i> ) ...	43
4.17 Grafik SFOC pada kondisi 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 36 C</i> ) ....	44
4.18 Grafik SFOC pada kondisi 10% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 40 C</i> ) ....	45
4.19 Grafik SFOC pada kondisi 20% EGR ( <i>temperature intake 53 C</i> ).....	46
4.20 Grafik SFOC pada kondisi 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 36 C</i> ) ....	47
4.21 Grafik SFOC pada kondisi 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 40 C</i> ) ....	48
4.22 Grafik SFOC pada kondisi 20% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 41 C</i> ) ....	49
4.23 Grafik SFOC pada kondisi 30% EGR ( <i>temperature intake 53 C</i> ).....	50
4.24 Grafik SFOC pada kondisi 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 36 C</i> )....	51
4.25 Grafik SFOC pada kondisi 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 45 C</i> )....	52
4.26 Grafik SFOC pada kondisi 30% <i>cold</i> EGR ( <i>temperature intake 48 C</i> )....	53
4.27 Grafik Daya pada kondisi 10% EGR. ....	54
4.28 Grafik Daya pada kondisi 20% EGR. ....	55
4.29 Grafik Daya pada kondisi 30% EGR. ....	56
4.30 Grafik Daya pada kondisi B20 EGR 10%.....	57
4.31 Grafik Daya pada kondisi B20 EGR 20%.....	58
4.32 Grafik Daya pada kondisi B20 EGR 30%.....	59
4.33 Grafik Daya pada kondisi semua EGR B30 .....	60
4.34 Grafik Daya pada kondisi semua EGR B20.....	61
4.35 Grafik kadar NO <sub>x</sub> pada RPM 2100 di semua kondisi EGR .	62
4.36 Grafik kadar NO <sub>x</sub> pada RPM 2100 di di semua kondisi EGR. ....	63

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Menipisnya bahan bakar fosil dan tingginya emisi gas buang kendaraan merupakan masalah besar yang harus dihadapi untuk menghindari krisis energi, pencemaran udara dan pemanasan global yang akan terjadi di masa depan. Untuk menghindari hal tersebut sudah saat nya beralih menuju bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui. Yaitu penggunaan biodiesel, biodiesel merupakan campuran antara bahan bakar fosil dengan minyak nabati seperti kelapa sawit, biodiesel dibuat semirip mungkin dengan bahan bakar diesel konvensional dan tentunya memiliki kualitas bahan bakar yang lebih baik. Sehingga penggunaan biodiesel dapat menekan penggunaan bahan bakar fosil, disamping itu sumber bahan dari biodiesel sangat melimpah di Indonesia. Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh K. A. Abed (2019) biodiesel menghasilkan emisi yang lebih ramah lingkungan dibanding dengan bahan bakar diesel konvensional.

Namun pada penelitian tersebut menjelaskan penggunaan biodiesel dapat meningkatkan produksi emisi yaitu NO<sub>x</sub>. NO<sub>x</sub> adalah gas yang dihasilkan dari proses pembakaran yang bersifat mencemari udara. NO<sub>x</sub> terbentuk karena adanya reaksi oksigen dan nitrogen yang bertemu pada suhu tinggi, oksigen dan nitrogen didapat dari udara lingkungan yang memiliki komposisi 80% terdiri dari nitrogen 20% yang terdiri dari oksigen. Dampak dari NO<sub>x</sub> dapat membahayakan kesehatan manusia, lingkungan, dan tumbuh-tumbuhan, apabila terpapar melebihi batas yang ditentukan. Untuk mengatasi hal tersebut maka digunakanlah EGR (*Exhaust Gas Recirculation*), EGR adalah sebuah teknologi untuk mengurangi emisi dengan metode mensirkulasikan kembali gas buang ke dalam ruang bakar. Yang bertujuan untuk mengurangi intensitas oksigen yang masuk ke ruang bakar, sehingga dapat menurunkan kadar emisi NO<sub>x</sub>.

Akan tetapi saat ini masih banyak penggunaan EGR tanpa adanya pendinginan terlebih dahulu sebelum memasuki ruang bakar. Menurut hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Anugrah Des Putra (2017), Fatekhun Faris (2017) EGR memiliki kekurangan, yaitu apabila gas buang yang disirkulasikan kembali ke ruang bakar terlalu banyak maka akan mengalami penurunan daya dan akan menyebabkan naiknya konsumsi bahan bakar. Maka perlu dilakukan optimalisasi pada EGR dengan penambahan *cooler*. Jadi, gas buang yang akan disirkulasikan kembali ke ruang bakar terlebih dahulu didinginkan oleh *cooler*. Hal tersebut diharapkan untuk mengurangi suhu yang tinggi dari gas buang, sehingga gas buang tersebut akan mendinginkan udara yang masuk ke ruang bakar yang akan berdampak meningkatnya massa udara yang masuk ke ruang bakar. Dan menurut hasil penelitian tersebut *cold EGR* dapat mereduksi NO<sub>x</sub> lebih baik daripada EGR.

Pada penelitian ini akan dilakukan optimalisasi EGR *cooler* yang menggunakan *spiral tube* sebagai *cooler* berpendingin udara yang dibuat oleh Fatekhun Faris (2017). Optimalisasi ini dilakukan dengan mengubah media pendinginan menggunakan air yang dapat diatur kecepatan air nya, sehingga suhu

pendinginan dapat diatur untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal. Dimana sistem *cooler* pada EGR tersebut menyerupai sistem kerja *heatexchanger*.

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang akan dibahas pada usulan skripsi ini adalah

1. Berapakah suhu *intake* optimal pada *cold* EGR terhadap performa diesel *engine* berbahan bakar B20 dan B30 ?
2. Berapakah suhu *intake* optimal pada *cold* EGR terhadap kadar NOx yang dihasilkan dihasilkan oleh diesel *engine* ?

### 1.3 Batasan Masalah

Untuk dapat melaksanakan penelitian ini diperlukan Batasan masalah sebagai berikut :

1. Tidak meneliti proses pembakaran diruang bakar.
2. Bahan bakar yang dipakai untuk penelitian adalah B20 dan B30.
3. Bahan bakar dianggap homogen.
4. Temperatur yang digunakan pada *cold* EGR yaitu dibawah temperature EGR
5. Motor diesel yang digunakan adalah YANMAR TF 85 MH-di yang ada di Lab Marine Power Plant FTK ITS
6. Variasi bukaan katup EGR sebesar 10%, 20%, dan 30%
7. Simulasi eksperimen performa dan NOx menggunakan GT-Power

### 1.4 Tujuan Skripsi

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

1. Untuk menganalisa suhu *intake* optimal pada *cold* EGR terhadap performa diesel *engine* berbahan bakar B20 dan B30
2. Untuk mengetahui suhu *intake* optimal pada *cold* EGR terhadap kadar NOx yang dihasilkan dihasilkan oleh diesel *engine*

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebaga berikut :

1. Menambah pengetahuan dan aplikasi secara langsung penggunaan EGR serta manfaat dari EGR.
2. Menambah pengetahuan tentang penggunaan biodiesel.
3. Mengetahui pada suhu berapakah *cold* EGR pada diesel *engine* bekerja pada titik optimalnya.
4. Mengetahui kadar NOx yang dihasilkan setelah EGR dilakukan optimalisasi.

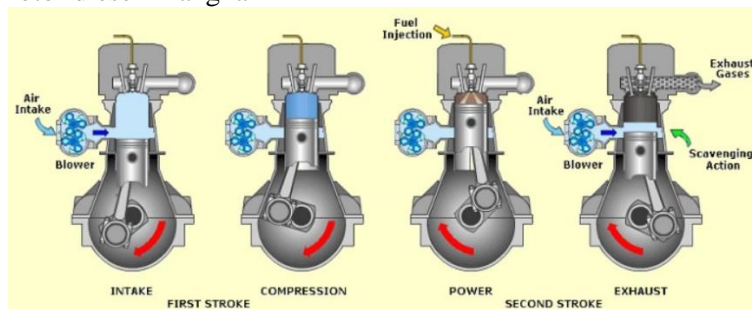
## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Motor Diesel

Motor diesel merupakan motor bakar dalam yang mana cara kerjanya berbeda dengan motor bensin. Perbedaan tersebut terletak pada proses siklus nya, yang mana bahan bakar dari motor bensin dinyalakan oleh busi sedangkan motor diesel bahan bakar dinyalakan oleh oleh kompresi.

Prinsip kerja dari motor diesel tersebut, mula-mula udara yang masuk ke ruang bakar akibat langkah hisap dan kemudian dikompresi pada saat langkah kompresi hingga mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Saat piston berada beberapa derajat sebelum Titik Mati Atas (TMA) bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar, dikarenakan udara yang dikompresi sudah memiliki suhu dan tekanan yang tinggi maka bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya. Maka dari itu motor diesel memiliki rasio kompresi yang lebih tinggi dibanding dengan motor bensin. Sama hal nya dengan motor bensin, motor diesel ada 2 jenis yaitu motor diesel 2 langkah dan motor diesel 4 langkah.

#### 2.1.1 Motor diesel 2 langkah



Gambar 2.1 Motor diesel 2 langkah

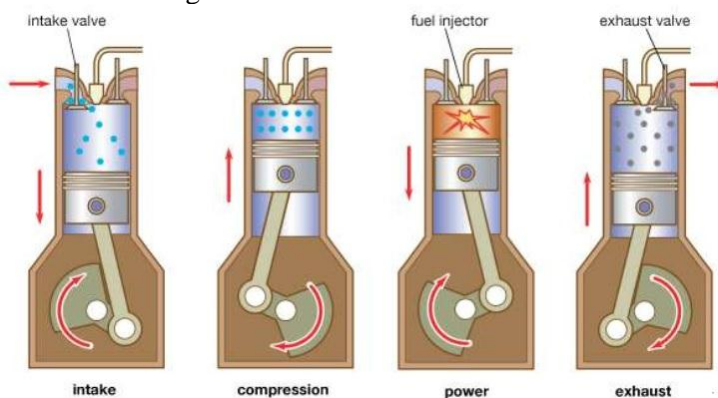
(sumber : [http://www.railmotorsociety.org.au/rm\\_engine\\_diesel\\_page.htm](http://www.railmotorsociety.org.au/rm_engine_diesel_page.htm))

Mula-mula pada langkah hisap (*intake*) udara masuk ke ruang bakar dengan bantuan blower dan saat ini piston berada di Titik Mati Bawah (TMB) dan katup buang dalam keadaan tertutup. Akibat piston berada di TMB maka lubang bilas terbuka, dikarenakan ada blower memiliki tekanan maka udara akan masuk dengan sendirinya. Langkah kompresi (*compression*), pada langkah ini piston sedang bergerak dari TMB menuju Titik Mati Atas (TMA). Saat posisi piston berada beberapa derajat setelah TMB maka katup buang menutup dan saat piston sudah melewati lubang bilas maka otomatis lubang bilas tertutup pula sehingga udara murni yang berada didalam ruang bakar akan dikompresikan.

Pada langkah usaha (*power*), saat ini piston berada pada beberapa derajat sebelum TMA dan iektor mulai menyemprotkan bahan bakar, karena akibat langkah kompresi sebelumnya maka saat bahan bakar disemprotkan akan terbakar dengan sendirinya. Hal ini sebabkan karena terjadi tekanan dan temperatur yang tinggi pada ruang bakar pada saat langkah kompresi. Akibat terbakarnya bahan bakar maka piston akan

terdorong kuat dan bergerak dari TMA menuju TMB dengan cepat Langkah buang (*exhaust*), saat ini piston sedang bergerak dari TMA menuju TMB yang disebabkan oleh langkah usaha, saat piston berada beberapa derajat sebelum TMB katup buang terbuka dan otomatis lubang bilaspun terbuka. Karena adanya blower maka udara yang akan masuk menuju ruang bakar memiliki tekanan dan secara langsung mendorong sisa-sisa pembakaran dari langkah usaha menuju katup buang dan sekaligus terjadi langkah hisap. Pada motor diesel 2 langkah piston berperan juga sebagai katup lubang bilas sehingga pada umumnya bentuk piston pada motor diesel 2 langkah cenderung lebih Panjang dari pada motor diesel 4 langkah. Motor diesel 2 langkah memerlukan 1 kali putaran penuh poros engkol atau naik dan turun untuk menghasilkan 1 usaha.

### 2.1.2 Motor diesel 4 langkah



Gambar 2.2 Motor diesel 4 langkah

(sumber : <https://www.britannica.com/technology/diesel-engine>)

Mula-mula pada langkah hisap (*intake*) piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah). Saat piston berada beberapa derajat setelah TMA katup hisap membuka dikarenakan gerakan piston dari TMA menuju TMB tekanan yang ada didalam ruang bakar menjadi lebih rendah dibanding tekanan pada lingkungan karena tekanan bergerak dari tinggi ke rendah maka udara murni yang berasal dari lingkungan terhisap.

Pada langkah kompresi (*compression*) piston bergerak dari TMB menuju TMA. Saat ini piston berada di TMB, saat piston berada pada posisi beberapa derajat setelah TMB semua katup menutup baik katup hisap maupun katup buang. Piston bergerak menuju TMA untuk mengkompresi udara murni, saat piston berada pada posisi beberapa derajat sebelum TMA injektor menyemprotkan bahan bakar. Dikarenakan akibat udara murni yang dikompresi memiliki temperatur dan tekanan tinggi maka bahan bakar akan terbakar dengan sendirinya.

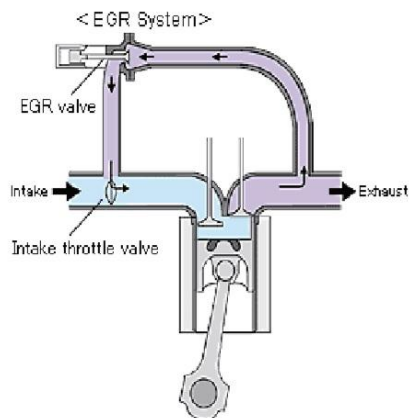
Langkah usaha (*power*), piston terdorong kuat dan bergerak dari TMA menuju TMB akibat dari terbakarnya bahan bakar pada langkah kompresi. Langkah buang (*exhaust*), dimana piston bergerak dari TMB menuju TMA. Saat ini piston berada di TMB, saat piston pada posisi beberapa derajat

setelah TMB katup buang terbuka. Seiring Bergeraknya piston dari TMB menuju TMA maka piston akan mendorong sisa gas pembakaran keluar melalui katup buang saat terbuka, dan kemudian akan tertutup saat piston berada pada posisi beberapa derajat setelah TMA bersamaan dengan membukanya katup hisap. Pada motor diesel 4 langkah memerlukan 2 kali putaran penuh poros engkol untuk menghasilkan usaha.

## 2.2 EGR (*Exhaust Gas Recirculation*)

EGR adalah suatu teknologi yang ada pada motor diesel yang berfungsi untuk mengurangi emisi terutama pada NO<sub>x</sub>. Dikarenakan pada motor diesel hasil pembakaran terdapat kandungan emisi NO<sub>x</sub> yang susah terurai di udara bebas. Sehingga dari hasil pembakaran motor diesel dapat menyebabkan dampak yang buruk terhadap makhluk hidup dan sekitarnya (Anugrah Des Putra, 2017)

Untuk sistem dari EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) tersebut bekerja dengan mensirkulasikan kembali gas buang kedalam ruang bakar. Gas buang yang berasal dari *exhaust* akan dimanfaatkan kembali dan hanya digunakan sekitar 10%-30% yang akan disalurkan ke *inlet manifold*, yang mana penggunaan 10%-30% diatur oleh EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) valve seperti pada gambar dibawah

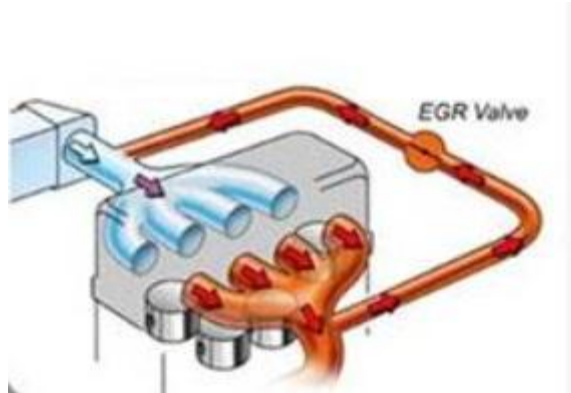


Gambar 2.3 Sistem EGR (*Exhaust Gas Recirculation*)  
(Sumber : Fatekhun Faris (2017))



Berikut ini adalah jenis dari EGR (*Exhaust Gas Recirculation*):

a) *EGR (Exhaust Gas Recirculation)*



Gambar 2.4 EGR (*Exhaust Gas Recirculation*)

(Sumber : <http://forums.tdiclub.com/showthread.php?t=409710>)

*EGR* adalah sistem EGR yang umum digunakan saat ini. Dimana gas buang yang akan digunakan kembali menuju *inlet manifold* tidak dilakukan pendinginan. Jadi, gas buang yang keluar dari *exhaust* akan disirkulasikan langsung menuju *inlet manifold* dan tidak dilakukan pendinginan terlebih dahulu. Dimana ada keuntungan dan kerugian dari sistem *EGR* antara lain.

Keuntungan :

- Memiliki panas spesifik, dimana panas tersebut didapat dari *exhaust*. Panas tersebut berguna untuk melakukan siklus pada motor diesel, secara tidak langsung panas tersebut akan mengurangi kertelambatan pembakaran (*ignition delay*) (Jaffar Hussain dkk, 2012).
- Apabila penggunaan gas buang yang disirkulasikan ke *inlet manifold* tepat (tidak lebih maupun tidak sedikit) maka akan berdampak pada naiknya performa dan konsumsi bahan bakar yang turun meskipun hanya beberapa persen.
- Dapat mereduksi emisi terutama pada NO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> terbentuk karena adanya oksigen dan nitrogen yang bertemu pada temperature tinggi. Hal ini dapat terjadi karena pada sistem EGR secara tidak langsung mengurangi intensitas oksigen yang terhisap ke ruang bakar, karena intensitas oksigen berkurang maka termperatur nyala didalam ruang bakar akan berkurang sehingga NO<sub>x</sub> dapat direduksi (Jaffar Hussain dkk, 2012).
- Sistem dari EGR lebih sederhana.

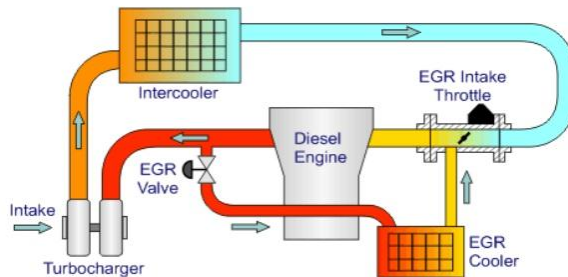
Kerugian :

- Gas buang yang masuk ke *inlet manifold* akan bercampur dengan oksigen yang terhisap ke *inlet manifold*. karena tidak adanya pendinginan terlebih dahulu, maka gas buang yang sudah memasuki *inlet manifold* akan

menyebabkan oksigen menjadi mengembang yang akan berdampak sedikitnya oksigen yang masuk ke ruang bakar dan berimbas pada penurunan performa.

- Menurut hasil penelitian Anugrah Des Putra (2017), apabila gas buang yang disirkulasikan kembali ke *inlet manifold* terlalu banyak, akan berdampak pada penurunan performa dan naiknya konsumsi bahan bakar secara drastis.

b) *Cold EGR (Exhaust Gas Recirculation)*



Gambar 2.5 *Cold EGR (Exhaust Gas Recirculation)*

(Sumber : [https://www.dieselnets.com/tech/engine\\_egr\\_sys.php](https://www.dieselnets.com/tech/engine_egr_sys.php))

*Cold EGR* adalah hasil penyempurnaan dari *EGR*, dimana gas buang yang akan disirkulasikan kembali menuju *inlet manifold* terlebih dahulu dilakukan pendinginan. Jadi, gas buang yang keluar dari *exhaust* yang akan disirkulasikan kembali menuju *inlet manifold* dilakukan pendinginan terlebih dahulu dengan *cooler*. Dimana ada keuntungan dan kerugian dari sistem *cold EGR* antara lain.

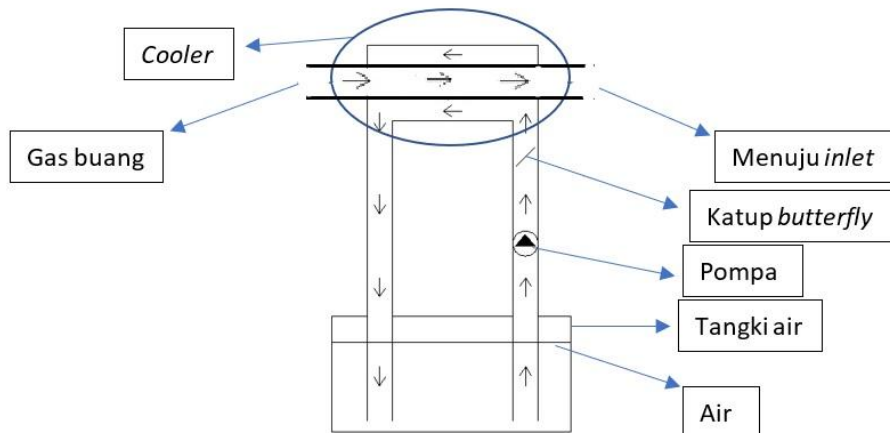
Keuntungan :

- Menurut hasil penelitian Anugrah Des Putra (2017) pada penggunaan *cold EGR* dengan bukaan katup *EGR* 10% dari 30% akan berdampak pada penurunan konsumsi bahan bakar dan menghasilkan daya yang sama meskipun pada penggunaan *EGR* dengan bukaan katup *EGR* yang sama. *Cold EGR* lebih efisien, hal ini dikarenakan terjadi pendinginan terlebih dahulu pada gas buang yang akan disirkulasikan menuju *inlet manifold* sehingga pada saat gas buang memasuki *inlet manifold* akan menurunkan suhu oksigen yang masuk ke ruang bakar yang akan berdampak terdajinya kerapatan oksigen dan oksigen yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak.
- *Cold EGR* mereduksi lebih banyak  $\text{NO}_x$  jika dibandingkan dengan *EGR* pada bukaan katup yang sama. Hal ini dikarenakan adanya pendinginan terlebih dahulu yang akan berimbas pada penurunan temperatur nyala dalam ruang bakar meskipun oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar lebih banyak.

Kerugian :

- Sistem yang tidak sederhana jika dibandingkan dengan *EGR*. Karena *cold EGR* memerlukan *cooler* apabila *cooler* tersebut berpendingin udara maka memerlukan kipas tambahan dan apabila *cooler* berpendingin air maka diperlukan pompa tambahan untuk memompa air menuju *cooler*.

### 2.3 Perencanaan Jalur *Cold EGR (Exhaust Gas Recirculation)*



Gambar 2.6 Perencanaan *cold EGR (Exhaust Gas Recirculation)*

Pada perencanaan optimalisasi *cold EGR* mengikuti cara kerja dari *heatexchanger*. Mula-mula air yang berada pada tangki air akan dipompa menuju *cooler* yang berisikan *spiral tube* dimana pada *spiral tube* tersebut berisikan gas buang dari motor diesel yang memiliki temperatur tinggi dan kemudian air akan kembali ke tangki air dan akan dipompa kembali. Fungsi dari katup *butterfly* akan mengatur jumlah air yang masuk kedalam *cooler* yang bertujuan untuk mengatur penurunan temperatur gas buang dimana semakin banyak air yang masuk kedalam *cooler* maka diharapkan penurunan temperatur gas buang semakin tinggi dan begitupun juga sebaliknya sehingga didapat hasil yang maksimal bagi performa motor diesel.

### 2.4 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang digunakan pada motor diesel. Berbeda dengan bahan bakar diesel konvensional, biodiesel merupakan bahan bakar yang dapat diperbarui dikarenakan biodiesel terbuat dari minyak nabati seperti sawit, atsiri, jarak kaliki, zaitun, dan lain-lain. Menurut Rizqiyah Aryeni Mardiyah (2017) terdapat beberapa kelebihan dari biodiesel yaitu, biodiesel tidak mengandung sulfur dikarenakan biodiesel terbuat dari tanaman, emisi yang dihasilkan dari biodiesel lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional, dan bahan pembuatan biodiesel yang begitu melimpah dan juga dapat diperbarui.

Biodiesel dihasilkan melalui proses transesterifikasi minyak atau lemak dengan alkohol dan dibantu dengan katalis, pada umumnya katalis yang digunakan adalah NaOH dan KOH (Sri Kembaryanti dkk, 2012). Proses transesterifikasi adalah tahap mengubah minyak atau lemak menjadi metil atau etil ester asam lemak yang merupakan biodiesel, Biodiesel (metil ester) diperoleh melalui reaksi

trigliserida minyak nabati dengan perantara aktif yang dibentuk oleh reaksi alkohol dengan katalis. (Reggi Irdian K, 2018)

Tabel 2.1 Standard Biodiesel Indonesia  
Sumber : SNI 7182:2015

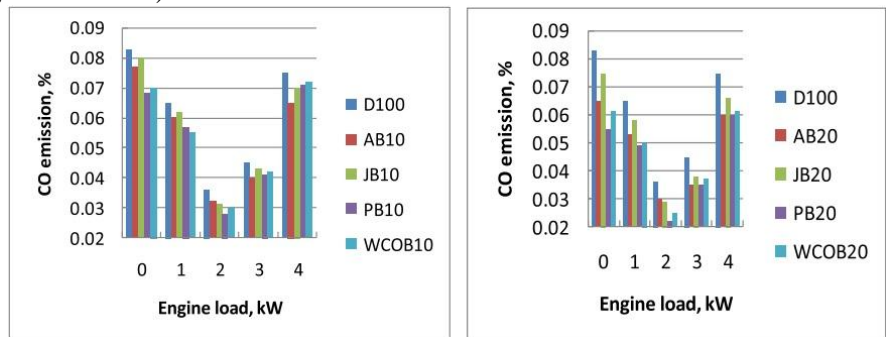
No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan	Metode uji
1	Massa jenis pada 40°C	Kg/m <sup>3</sup>	850-890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
2	Viskositas kinematik pada 40°C	Mm <sup>2</sup> /s (cST)	2,3 – 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	Min	51	ASTM D 613 atau ASTM D 6890
4	Titik nyala	°C, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	°C, maks	18	ASTM D 2500
6	Residu karbon	%-massa, maks	0,05	ASTM D 4530 atau ASTM D 189
7	Air dan sedimen	%-vol, maks	0,05	ASTM D 2709
8	Temperatur destilasi	°C, maks	360	ASTM D 1160
9	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02	ASTM D 874
10	Belerang	Mg/kg, maks	100	ASTM D 5453 atau ASTM D 1266 atau ASTM D 4294 atau ASTM D 2622
11	Fosfor	Mg/kg, maks	10	AOCS Ca 12-55
12	Angka asam	Mg-KOH/g, maks	0,5	AOCS Cd 3d-63 atau ASTM D 664
13	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
14	Gliserol total	%-massa, maks	0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D 6584
15	Kadar ester metil	%-massa, min	96,5	
16	Angka iodium	%-massa,(g-12/100g), maks	115	AOCS Cd 1-25
17	Kadar monogliserida	%-massa, maks	0,8	ASTM D 6584
18	Metode rancimat	Menit	360	EN 15751

## 2.5 Komponen Pencemaran Udara/Emisi

Emisi merupakan sisa hasil pembakaran dari motor bakar dalam yang bersifat mencemari udara. Penyumbang emisi terbesar saat ini yakni terdapat pada sektor transportasi baik laut maupun darat khusus nya pada motor disel. Terdapat beberapa komponen emisi yang dihasilkan dari motor diesel antara lain:

### 2.5.1 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Maka dari itu suatu lingkungan yang sudah tercemar oleh karbon monoksida tidak dapat terlihat dan dirasakan. Apabila seseorang yang terpapar dalam waktu yang melebihi toleransi maka akan merusak kesehatan bahkan kematian. Karbon monoksida dihasilkan karena pembakaran yang tidak sempurna. Menurut hasil penelitian dari K.A. Abed dkk (2019) penggunaan dari biodiesel dapat mengurangi emisi karbon monoksida, hal ini dikarenakan biodiesel mengandung lebih banyak oksigen sehingga berdampak pada pembakaran yang lebih sempurna (K.A. Abed dkk, 2012) dibanding bahan bakar diesel konvensional. Dapat dijelaskan pada gambar berikut, dimana perbandingan antara bahan bakar diesel konvensional dengan B10 dan B20 (*Algae biodiesel, jatropha biodiesel, palm biodiesel, waste cooking oil biodiesel*), B20 (*Algae biodiesel, jatropha biodiesel, palm biodiesel, waste cooking oil biodiesel*)

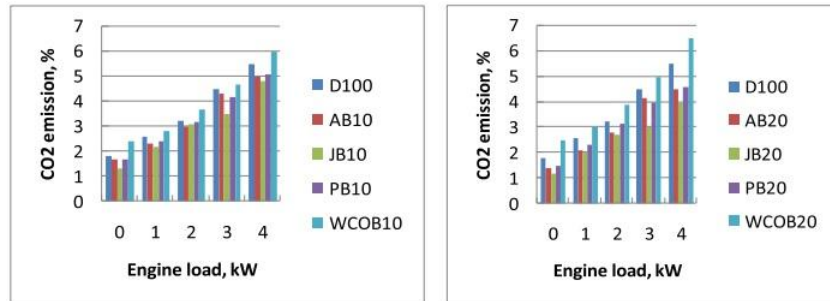


Gambar 2.7 Perbandingan CO pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20

Sumber : (K.A. Abed dkk, 2012)

### 2.5.2 Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

Karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Pada umumnya karbon dioksida banyak dihasilkan oleh motor pembakaran dalam khususnya motor diesel. Apabila pencemaran karbon dioksida di udara semakin banyak maka akan berdampak terbentuknya gas rumah kaca yang berefek terjadinya pemanasan global. Menurut hasil penelitian K.A. Abed dkk (2019) penggunaan biodiesel terbukti dapat mengurangi emisi karbon dioksida

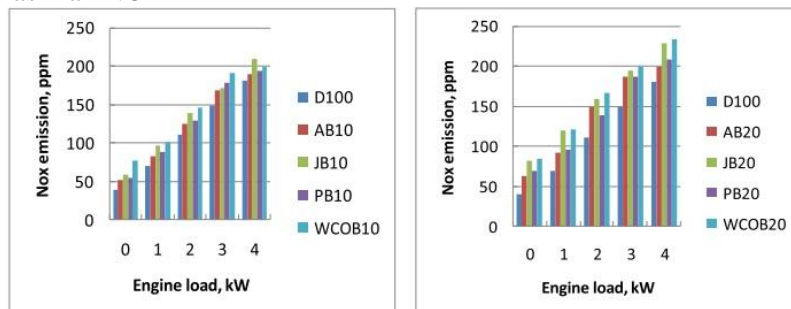


Gambar 2.8 Perbandingan CO<sub>2</sub> pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20

Sumber : (K.A. Abed dkk, 2012)

### 2.5.3 Nitrogen Monoksida (NO<sub>x</sub>)

Nitrogen Monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak terbakar. NO<sub>x</sub> pada umumnya dihasilkan dari motor pembakaran dalam khususnya pada motor diesel. Dimana NO<sub>x</sub> terbentuk akibat reaksi dari oksigen dan nitrogen yang bereaksi pada temperatur tinggi khususnya pada ruang bakar. Menurut hasil penelitian K.A. Abed dkk (2019) NO<sub>x</sub> terbanyak dihasilkan oleh pembakaran motor diesel berbahan bakar biodiesel, ini merupakan kelemahan dari bahan bakar biodiesel. Hal ini dapat terjadi karena pada bahan bakar biodiesel mengandung lebih banyak oksigen dibanding dengan bahan bakar diesel konvensional. Kandungan oksigen bahan bakar biodiesel ditambah oksigen dari udara sekitar yang memiliki konsentrasi 25% terdiri oksigen dan 75% terdiri dari nitrogen akan berdampak lebih besar dalam menghasilkan NO<sub>x</sub>

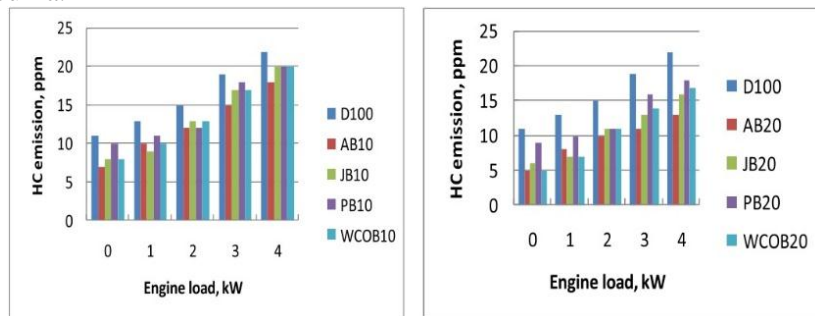


Gambar 2.9 Perbandingan NO<sub>x</sub> pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20

Sumber : (K.A. Abed dkk, 2012)

#### 2.5.4 Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon adalah suatu gas yang dihasilkan pada motor bakar dalam khususnya pada motor diesel yang bersifat mencemari udara. Hidrokarbon terbentuk dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna pada motor bakar dalam khususnya motor diesel yang sudah berumur. Ketidak sempurnaan dalam pembakaran disebabkan kurangnya kandungan oksigen. Menurut hasil penelitian K.A. Abed dkk (2019) membuktikan penggunaan motor diesel berbahan bakar biodiesel B10, B20 dapat mengurangi pembentukan hidrokarbon dibanding dengan motor diesel berbahan bakar diesel konvensional. Hal ini dapat terjadi karena adanya kandungan oksigen pada bahan bakar biodiesel sehingga akan berdampak pada pembakaran yang sempurna.

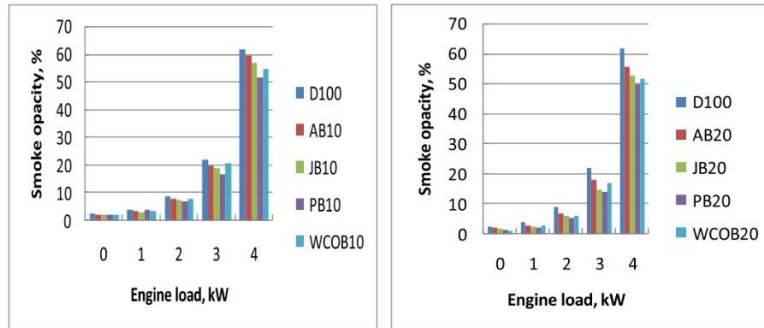


Gambar 2.10 Perbandingan HC pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20

Sumber : (K.A. Abed dkk, 2012)

#### 2.5.5 Asap

Asap adalah hasil dari pembakaran khususnya pada motor pembakaran dalam seperti motor diesel. Selain industri, asap lebih banyak dihasilkan oleh sektor transportasi khususnya alat transportasi berpengerak motor diesel. Dapat dilihat pada pengoperasian pada motor diesel terdapat asap berwarna hitam kelam saat motor diesel dioperasikan pada rpm tinggi dan beban tinggi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan banyaknya bahan bakar diesel yang terbakar dengan sedikit kandungan udara. Menurut (K.A. Abed dkk, 2012) ketika molekul oksigen lebih banyak dan kandungan karbon pada bahan bakar yang rendah maka berdampak pembakaran yang lebih baik. Hal ini membuktikan penelitiannya bahwa penggunaan motor diesel berbahan bakar biodiesel B10, B20 dapat mengurangi pembentukan asap dibanding dengan penggunaan motor diesel berbahan bakar diesel konvensional.



Gambar 2.11 Perbandingan asap pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20

Sumber : (K.A. Abed dkk, 2012)

Berikut merupakan spesifikasi dari bahan bakar diesel konvensional dengan B10 (*Algae biodiesel, jatropha biodiesel, palm biodiesel, waste cooking oil biodiesel*), B20 (*Algae biodiesel, jatropha biodiesel, palm biodiesel, waste cooking oil biodiesel*) yang digunakan pada penelitian (K.A. Abed dkk, 2012)

Tabel 2.2 Perbandingan spesifikasi Bahan bakar

	Diesel oil	JB (B10)	JB (B20)	PB (B10)	PB (B20)	WCO (B10)	WCO (B20)	AB (B10)	AB (B20)	Satuan
<i>Density at 15,56 °C</i>	829	845	835	835	833	855,8	856,4	843,8	840,5	Kg/m <sup>3</sup>
<i>Kinematic visco at 40 °C</i>	2,8	5,2	3,5	2,82	2,49	2,98	2,85	4,8	3,31	Mm2/s (cst)
<i>Flash Point</i>	75	88	83	71,5	69	60	69	90	83	°C
<i>Heating Value</i>	42000	40000	41500	41206	41780	43953	47,021	37866	40017	Kj/kg
<i>Cetane number</i>	45	53	48	60	51	60,71	59,23	70	56	-

## 2.6 Cold EGR berdasarkan hasil penelitian

Berdasarkan hasil penelitian Anugrah Des Putra (2017). *Cold EGR* memiliki performa yang lebih baik dibanding EGR khusus nya pada bukaan katup EGR 30%. Dimana penelitian tersebut menganalisa pengaruh variasi bukaan katup EGR sebesar 10% - 30% pada dan *cold EGR* terhadap proses pembakaran dan NOx yang berbasis eksperimen. Hasil dari penelitian tersebut dipaparkan pada table dibawah ini :





Tabel 2.7 Penurunan suhu gas buang pada *cold* EGR  
 Sumber : (Anugrah Des Putra, 2017)

No	10% <i>COLD</i> EGR	20% <i>COLD</i> EGR	30% <i>COLD</i> EGR	SATUAN
1.	12,8	21,5	34	°C
2.	2200	2200	2200	RPM

Dari hasil rangkuman yang sudah dipaparkan dapat disimpulkan, penggunaan *cold* EGR terhadap NOx yang dihasilkan mampu mereduksi NOx lebih banyak dari pada EGR meskipun pada rpm yang sama. Dari segi performa meliputi SFOC dan daya, *cold* EGR memberikan performa yang signifikan terutama pada bukaan katup EGR sebesar 30%

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Desain penelitian

Metode yang digunakan penulis yakni terlebih dahulu melakukan simulasi dengan menggunakan *software* berupa GT-POWER untuk menentukan *range* suhu yang optimal pada *cold* EGR terhadap performa motor diesel berbahan bakar biodiesel B20 dan B30. Setelah ditemukah suhu *cold* EGR yang sekiranya sudah optimal maka dilakukan penelitian lanjut yang berbasis eksperimen. Eksperimen ini terbagi menjadi 2 sub bagian seperti performa dan emisi. Sebelum dilakukan pengujian maka terlebih dahulu melakukan *engine set up* terhadap motor diesel yang akan dilakukan pengujian. Untuk lebih detailnya, akan dipaparkan pada diagram alir sub bab 3.4.

### 3.2 Bahan (motor diesel yang diuji)

Motor diesel yang akan diuji

Berikut merupakan motor diesel yang akan diuji :

Merk	: Yanmar
Type	: TF 85 MH-di
Output	: 8.5 PS pada 2200 rpm
Jumlah silinder	: Tunggal
Diameter piston	: 85 mm
Panjang langkah	: 87 mm
Langkah motor	: 4 langkah

### 3.3 Metode pelaksanaan

Untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, maka diperlukan metodologi yang memuat tahapan-tahapan dalam menyelesaikan penelitian. Dalam Analisa ini, metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut :

#### 1. Studi Literatur

Studi literatur merupakan suatu metode pra-analisa untuk dapat memahami metode penyelesaian masalah yang diangkat.

#### 2. Observasi

Untuk menunjang proses studi kasus dengan cara seperti pengamatan melalui media masa

#### 3. Pendataan

Sebagai bahan perbandingan dan Analisa suatu permasalahan. Adapun data yang diperlukan :

- a. Spesifikasi motor diesel
- b. Hasil penelitian yang sudah diteliti sebelumnya

#### 4. Analisa permasalahan

Hasil dari pendataan dianalisa untuk mengetahui sebab dan akibat

#### 5. Kesimpulan

Pada kesimpulan menjelaskan tentang hasil dari Analisa permasalahan,

### 3.4 Persiapan alat dan bahan

Minyak kelapa sawit adalah bahan utama dalam pembuatan biodiesel pada penelitian ini. Dikarenakan pada tumbuhan kelapa sawit merupakan penghasil minyak nabati. Pada umumnya minyak kelapa sawit digunakan sebagai bahan utama seperti minyak goreng, sampo, sabun, margarin. Tumbuhan kelapa sawit hanya diambil minyaknya untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Dari itu, pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi dibantu dengan KOH dan metanol untuk melakukan proses tersebut.

Adapun alat dan bahan yang diperlukan dalam proses pembuatan biodiesel dengan proses transesterifikasi antaralain :

1. Minyak Kelapa Sawit
2. Metanol
3. KOH
4. Aquades
5. Kompor gas
6. Thermometer
7. Wadah stainless steel
8. Timbang ukur
9. Gelas ukur
10. Cuka
11. Alat buble yang digunakan pada aquarium

a. Pembuatan larutan metoksid

Metoksid merupakan campuran antara KOH dan methanol. Untuk setiap 1 liter minyak sawit diperlukan KOH sebesar 4 gram dan methanol sebesar 500 ml. pada penelitian ini hanya menggunakan 50% dari seluruhnya



Gambar 3.1 Minyak kelapa sawit dan metoksid

b. Proses transesterifikasi

Langkah awal sebelum pencampuran metoksid dengan minyak sawit. Terlebih dahulu minyak sawit dipanaskan sampai suhu  $50-55^{\circ}\text{C}$  didalam wadah stainless stell. Setelah minyak kelapa sawit mencapai suhu tersebut maka selanjutnya menuangkan larutan metoksid kedalam minyak kelapa sawit. Diperlukan pengadukan yang konstan selama kurang lebih 1 jam dan suhu dijaga  $50-55^{\circ}\text{C}$



Gambar 3.2 proses pengadukan minyak sawit dan metoksid

c. Proses pengadukan

Setelah proses pengadukan selesai maka langkah selanjutnya menuangkan kedalam gelas kaca untuk dilakukan proses pengendapan. Pengendapan dilakukan untuk memisahkan antara FAME (*Fatty Methyl Ester*) yang bisa disebut biodiesel dan gliserol. Dimana biodiesel berada dilapisan atas dan gliserol berada dilapisan bawah. Proses pengendapan dilakukan kurang lebih 24 jam



Gambar 3.3 proses pengendapan

d. Proses bubble

Setelah proses pengendapan, maka yang digunakan adalah lapisan atas (biodiesel). Proses buble bertujuan untuk memisahkan gliserin yang masih terkandung pada biodiesel dengan bantuan buble dari aquades. Dalam komposisi 1 liter minyak sawit pada langkah awal, diperlukan 1 liter aquades (1:1) antara minyak sawit dan aquades dan ditambahkan cuka sebesar 3% dan 100 ml cuka. Proses buble memakan waktu 8 jam



Gambar 3.4 proses buble

e. Proses pengendapan

Setelah proses buble maka dilakukan pengendapan kembali. Guna untuk memisahkan gliserin dengan biodiesel. Proses pengendapan memakan waktu 24 jam. Maka akan membentuk 2 lapisan, lapisan atas biodiesel lapisan bawah aquades. Maka yang digunakan proses selanjutnya adalah lapisan atas



Gambar 3.5 proses pengendapan setelah buble

f. Proses pengeringan

Dimana setelah dilakukan proses pengendapan dilakukan pengeringan dengan cara memanaskan biodiesel hingga  $100^{\circ}\text{C}$ . hal ini guna untuk menghilangkan kandungan air yang berada didalam biodiesel saat proses buble. Pemanasan dilakukan selama kurang lebih 1 jam dengan menjaga suhu  $100^{\circ}\text{C}$ . sehingga dihasilkan biodiesel yang murni. Biodiesel yang murni tersebut dapat disebut B100



Gambar 3.6 proses pengeringan

g. Pembuatan B20 dan B30

- a. Perbandingan B20 dalam 1 liter menggunakan 800 ml dexlite dan 200 ml fame.
- b. Perbandingan B30 dalam 1 liter menggunakan 700 ml dexlite dan 300 ml fame.

### 3.5 Engine Set up

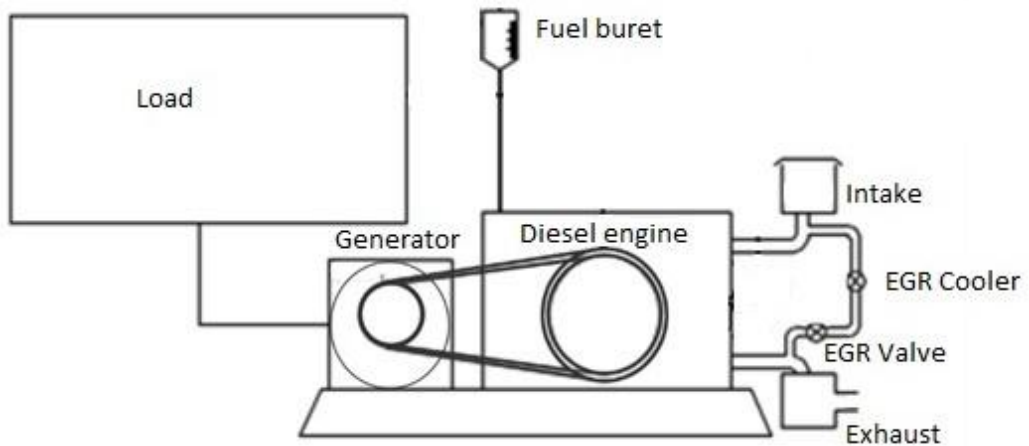
Dimana pada tahap ini dilakukan penyusunan dan pengaturan alat-alat untuk proses eksperimen, diantaranya :

1. Penggantian minyak pelumas motor diesel.
2. Penggantian paking.
3. Pemasangan dan pengaturan EGR.
4. Pengaturan generator sebagai beban.
5. Pemasangan *Belt* untuk mrnghubungkan antara motor diesel dan generator.



Gambar 3.7 Engine set up.





Gambar 3.8 Skema pengoperasian.

### 3.6 Metode Prosentase EGR

Prosentase EGR merupakan variable yang akan dirubah. Maka terlebih dahulu harus mengetahui perbandingan prosentase antara gas buang yang melalui jalur *exhaust* dengan EGR pada kondisi *full open*. Metode yang digunakan untuk mengetahui prosentase *exhaust* dan EGR dengan menggunakan pipa pitot, kemudian dari pipa pitot akan disambungkan dengan manometer U. Dari manometer tersebut dapat diketahui perbedaan ketinggian fluida yang ada didalam manometer tersebut. Dari perbedaan ketinggian tersebut maka dapat diketahui laju kecepatan alir udara dengan rumus sebagai berikut

$$v = \sqrt{\frac{2x\rho'x\Delta h}{\rho}} \quad (3.1)$$

Dimana :

- $v$  = Kecepatan alir ( $m/s$ )
- $\rho'$  = Massa jenis fluida (manometer) ( $Kg/m^3$ )
- $\Delta h$  = Beda ketinggian fluida (manometer) ( $m$ )
- $\rho$  = Massa jenis fluida (EGR) ( $Kg/m^3$ )

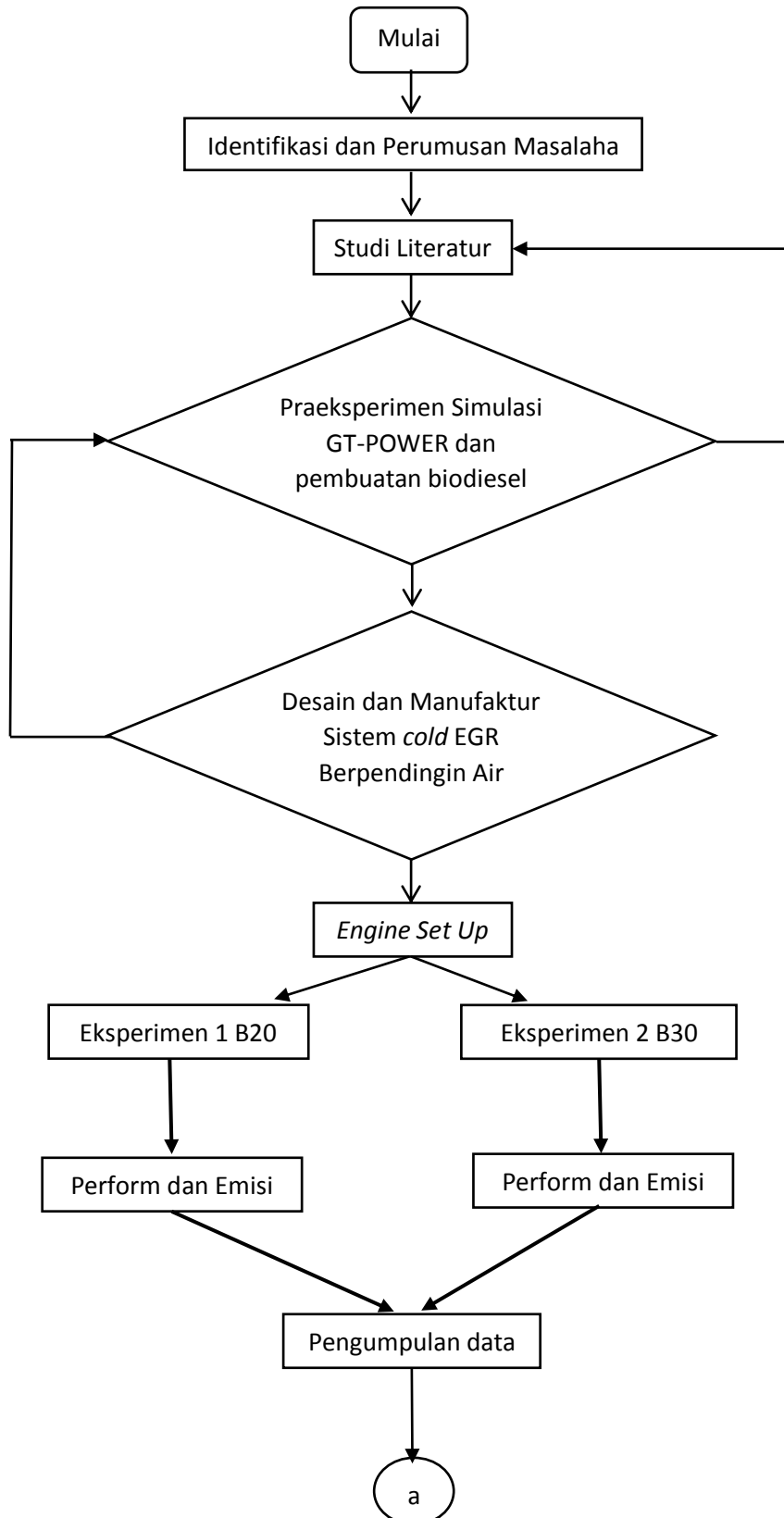
Setelah kecepatan alir udara ketahui maka dapat diketahui jumlah massa kecepatan alir udara ( $\dot{m}$ ) dengan rumus

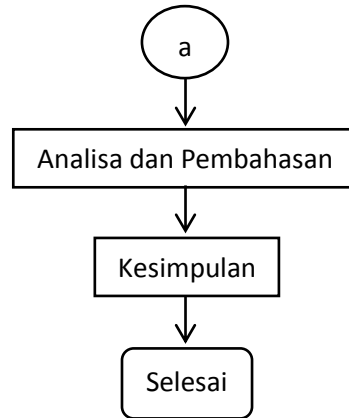
$$\dot{m} = \rho v v x A \quad (3.2)$$

Dimana :

- $\dot{m}$  = Massa kecepatan alir ( $Kg/s$ )
- $\rho$  = Massa jenis fluida (EGR) ( $Kg/m^3$ )
- $v$  = Kecepatan alir ( $m/s$ )
- $A$  = Luas penampang pipa jalur EGR ( $m^2$ )

### 3.7 Diagram Alir Penelitian





### 3.8 Penjelasan *Flow Chart*

Penjelasan dari *Flow Chart* yang telah dipaparkan adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi dan perumusan masalah

Identifikasi masalah pada pengoptimalan *cold* EGR yang sebelumnya berpendingin udara akan dioptimalkan dengan mengganti media pendinginan dari *cold* EGR yang sebelumnya berpendingin udara menjadi *cold* EGR yang berpendingin air sehingga bisa melakukan variasi terhadap suhu pendinginan pada *cold* EGR. Dengan tujuan untuk mengetahui performa tertinggi dari motor diesel yang berbahan bakar biodiesel terhadap suhu *cold* EGR. Serta untuk mengetahui karakteristik penurunan NOx terhadap suhu pada *cold* EGR

2. Studi literatur

Merupakan acuan dan referensi yang dimanfaatkan untuk mempelajari teori-teori yang digunakan guna menyelesaikan masalah yang terkait pada penelitian ini. Yang diantaranya adalah buku, jurnal, tugas akhir, dan internet. Pada penelitian ini, dimana studi literatur tersebut mengacu pada penggunaan *cold* EGR yang sebelumnya berpendingin udara akan dioptimalkan dengan mengganti media pendinginan dari *cold* EGR yang sebelumnya berpendingin udara menjadi *cold* EGR yang berpendingin air. Untuk mengetahui performa dan karakteristik penurunan NOx maka harus dilakukan uji coba pada motor diesel yang sudah dilengkapi sistem EGR

3. Simulasi dengan GT-POWER dan pembuatan biodiesel

Sebelum dilakukan eksperimen maka dilakukan modeling yang menyerupai motor diesel yang akan diuji (Yanmar TF 85 MH-di). Hal ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari motor diesel tersebut dengan pendekatan oleh bantuan GT-POWER dengan perubahan variable seperti bahan bakar dan suhu pada *cold* EGR terhadap performa dan kadar NOx yang dihasilkan. Pembuatan biodiesel dengan

menggunakan dexlite dan fame. Untuk 1 liter B20 dengan komposisi 800 ml dexlite dengan 200 ml fame. Untuk B30 dengan komposisi 700 ml dexlite dengan 300 ml fame.

4. Desain dan manufaktur *cold* EGR

Kegiatan ini meliputi pembuatan rencana desain *cold* EGR yang telah di paparkan pada bab sebelumnya.

5. *Engine set up*

Pada kegiatan ini akan dilakukan seperti pengecekan yang meliputi minyak pelumas, *spare part*, serta *part-part* pendukung motor diesel agar hasil dari penelitian mendapatkan hasil yang maksimal.

6. Uji eksperimen

Setelah melakukan *engine set up* dan diperoleh motor diesel yang optimal maka selanjutnya melakukan pengujian secara aktual berdasarkan pendekatan sebelumnya dengan menggunakan GT-POWER, untuk mendapatkan performa dan kadar NOx secara aktual melalui uji eksperimen.

7. Analisa dan pembahasan

Untuk kegiatan ini akan melakukan Analisa dan pembahasan meliputi sebab dan akibat mengenai hasil dari penelitian ini berdasarkan hasil dari uji eksperimen

8. Kesimpulan dan saran

Setelah dilakukan Analisa dan pembahasan dari data yang telah dikumpulkan, maka akan ditarik sebuah kesimpulan dari permasalahan yang terdapat pada penelitian ini. Dari kesimpulan maka dapat ditarik beberapa saran yang berguna bagi peneliti selanjutnya dan subjek yang diteliti.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil uji bahan bakar biodiesel B20 dan B30

Berikut merupakan hasil dari pengujian bahan bakar B20 dan B30

Tabel 4.1 hasil uji bahan bakar biodiesel B20 dan B30

No	Parameter	Satuan	Hasil analisa		Metode analisa
			B20	B30	
1	Densitas 15°C	kg/L	857.3	844.4	Piknometri
2	Viskositas 40°C	mm <sup>2</sup> /s	2	2.2	Viskometri
3	LHV	kal/g	10530.6	10533.9	Bomb calorimetri
4	<i>Flash point</i>	°C	97	91	ASTM D-93
5	<i>Cetana number</i>	-	71.1	73.2	Octane-cetane Analyzer

### 4.2 Perbandingan SFOC dari hasil eksperimen pada setiap RMP dan bukaan katup EGR pada kondisi dan *cold* EGR

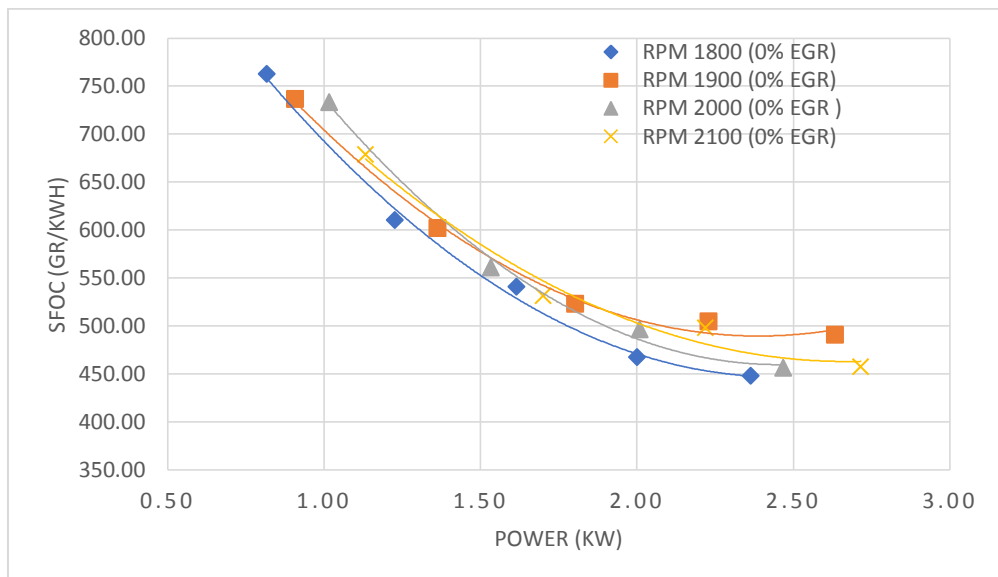
Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan akan dilakukan perbandingan di setiap RPM, penggunaan jenis bahan bakar, dan juga kondisi disetiap bukaan katup EGR. Pemaparan hasil eksperimen akan dipaparkan secara grafik dan tabel.

#### 4.2.1 STD 0% EGR

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi STD 0% EGR

Tabel 4.2 SFOC pada kondisi STD 0% EGR

No	B20 (0% EGR)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	762.19	0.82	736.30	0.91	733.23	1.02	678.55	1.13
2	609.81	1.23	601.60	1.36	560.39	1.53	531.28	1.70
3	540.42	1.62	522.66	1.80	495.94	2.01	497.57	2.22
4	467.10	2.00	504.17	2.23	455.90	2.47	457.18	2.72
5	447.42	2.36	490.65	2.63				



Gambar 4.1 Grafik SFOC pada kondisi 0% EGR

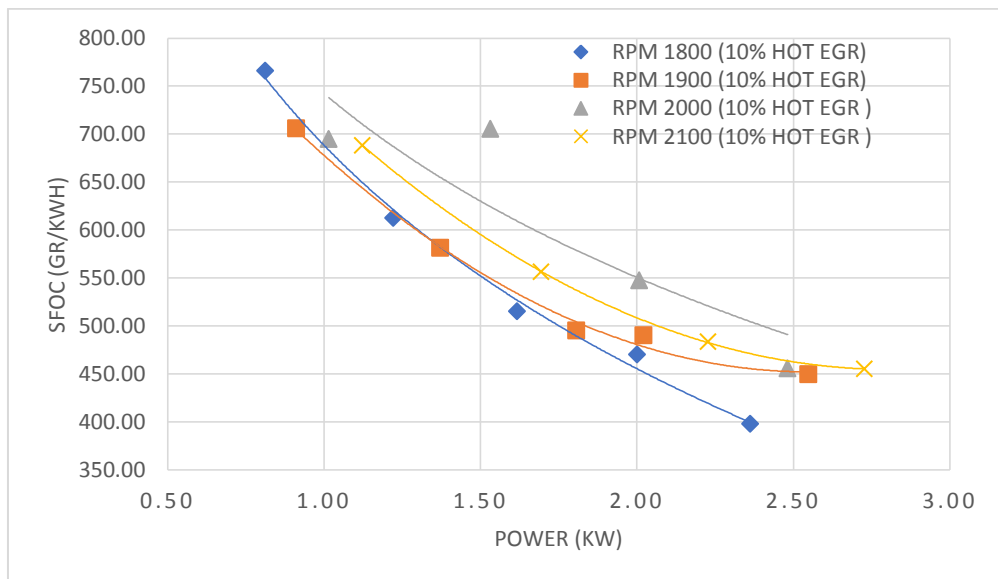
Pada kondisi 0% merupakan sebagai acuan awal pengambilan data tanpa menggunakan EGR. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 447,42 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 490,65 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 455,90 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 457,18 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.2 10% EGR (TEMPERATURE INTAKE 51 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 10% EGR (TEMPERATURE INTAKE 51 C)

Tabel 4.3 SFOC 10% EGR (TEMPERATURE INTAKE 51 C)

No	B20 (10% EGR 51 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	765.70	0.81	705.67	0.91	707.65	1.02	741.86	1.12
2	612.07	1.22	580.92	1.37	556.50	1.53	569.64	1.69
3	515.03	1.62	494.72	1.81	521.65	2.01	548.44	2.23
4	469.72	2.00	490.09	2.02	476.38	2.48	433.38	2.73
5	397.81	2.36	449.47	2.55				



Gambar 4.2 Grafik SFOC pada 10% EGR (TEMPERATURE INTAKE 51 C)

Pada kondisi 10% EGR 51 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 397.81 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 449.47 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 476.38 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 433,38 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

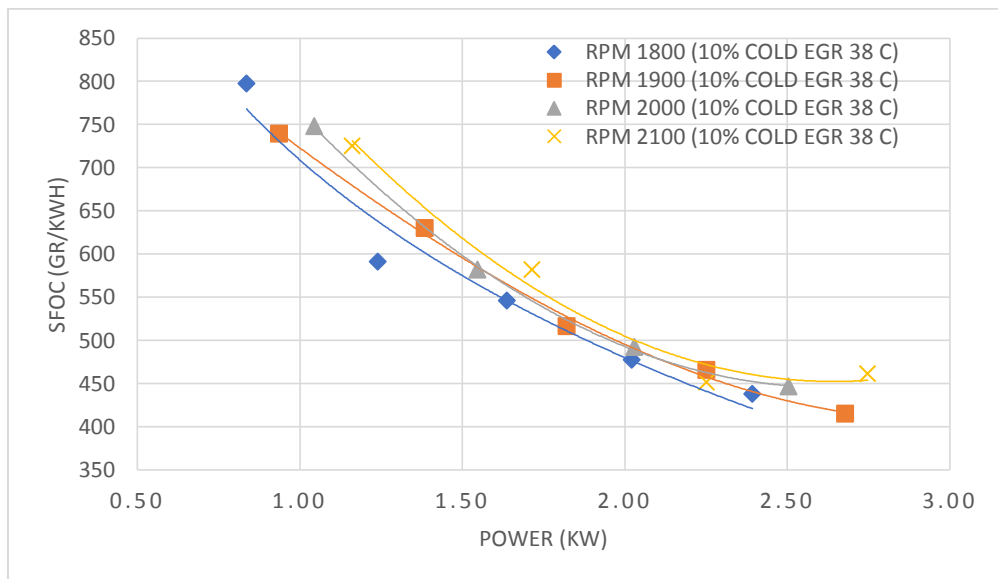


### 4.2.3 10% Cold EGR (Temperature intake 38 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 38 C)

Tabel 4.4 SFOC pada 10% Cold EGR (Temperature intake 38 C)

No	B20 (10% Cold EGR 38 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	796.98	0.84	738.80	0.94	731.05	1.04	701.06	1.16
2	590.70	1.24	629.91	1.39	591.99	1.55	593.94	1.71
3	545.72	1.64	515.95	1.82	515.77	2.03	493.40	2.25
4	477.08	2.02	465.16	2.25	457.21	2.51	459.91	2.75
5	437.67	2.39	414.54	2.68				



Gambar 4.3 SFOC pada 10% Cold EGR (Temperature intake 38 C)

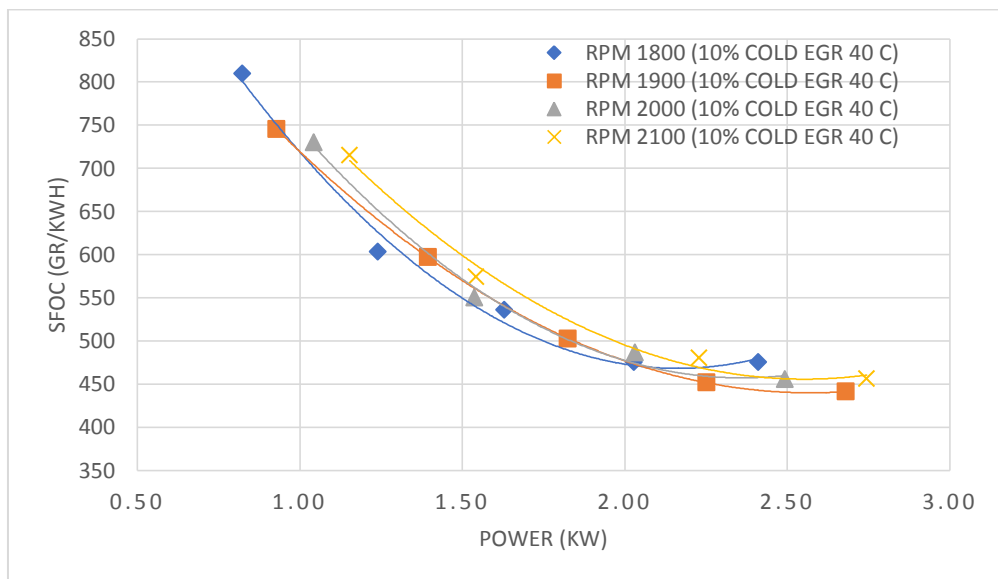
Pada kondisi 10% Cold EGR 38 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 437.67 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 414,54 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 457.21 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 459.91 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.4 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

Tabel 4.5 SFOC pada 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

No	B20 (10% Cold EGR 40 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	809.50	0.82	745.45	0.93	675.66	1.04	705.77	1.15
2	603.25	1.24	597.14	1.40	595.87	1.54	642.11	1.54
3	535.45	1.63	502.19	1.82	500.94	2.03	483.52	2.23
4	475.45	2.03	452.01	2.25	459.28	2.49	460.44	2.74
5	475.12	2.41	441.06	2.68				



Gambar 4.4 Grafik SFOC pada 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

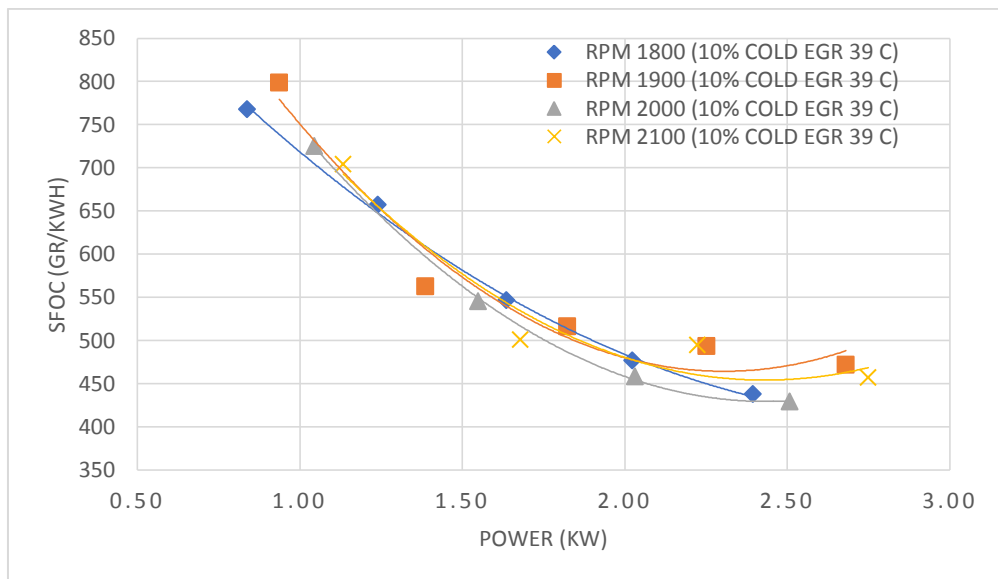
Pada kondisi 10% Cold EGR 38 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 475.12 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 441.06 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 459.28 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 460.44 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.5 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

Tabel 4.6 SFOC pada 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

No	B20 (10% Cold EGR 39 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	767.74	0.84	798.69	0.94	674.14	1.05	688.12	1.13
2	656.70	1.24	562.61	1.39	550.14	1.55	545.63	1.68
3	546.33	1.64	515.68	1.82	487.40	2.03	470.89	2.22
4	476.55	2.02	493.10	2.25	429.89	2.51	493.90	2.75
5	437.42	2.39	471.47	2.68				



Gambar 4.5 Grafik SFOC pada 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

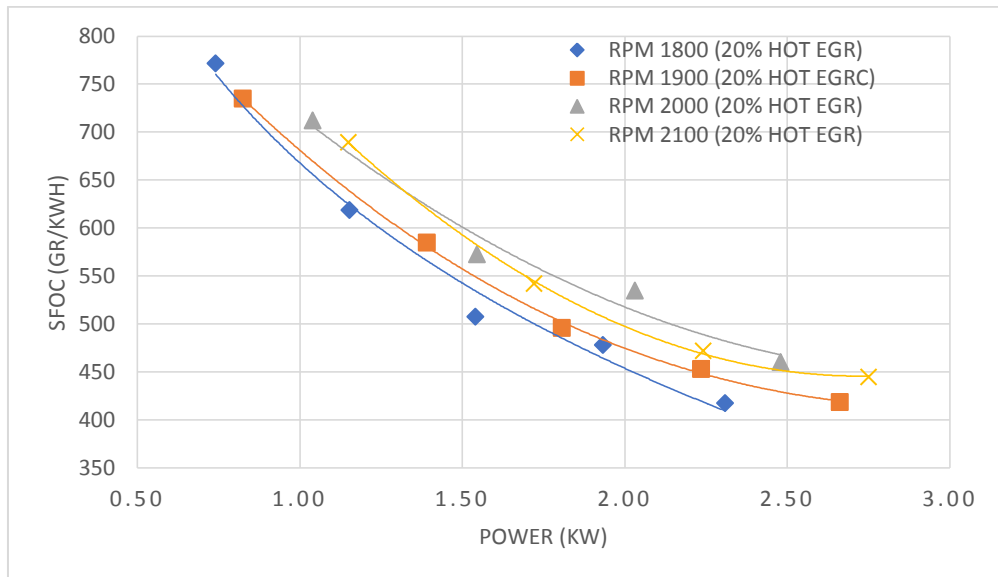
Pada kondisi 10% Cold EGR 39 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 437.42 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 471.47 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 429.89 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 470.89 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.6 20% EGR (*Temperature intake 60 C*)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 20% EGR (*Temperature intake 60 C*)

Tabel 4.7 SFOC pada 20% EGR (*Temperature intake 60 C*)

No	B20 (20% EGR 60 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	771.19	0.74	734.45	0.82	711.99	1.04	689.27	1.15
2	618.38	1.15	584.30	1.39	572.09	1.55	541.85	1.72
3	507.12	1.54	495.39	1.81	534.43	2.03	471.33	2.24
4	477.77	1.93	452.80	2.24	460.09	2.48	444.58	2.75
5	417.24	2.31	418.39	2.66				



Gambar 4.6 Grafik SFOC 20% EGR (*Temperature intake 60 C*)

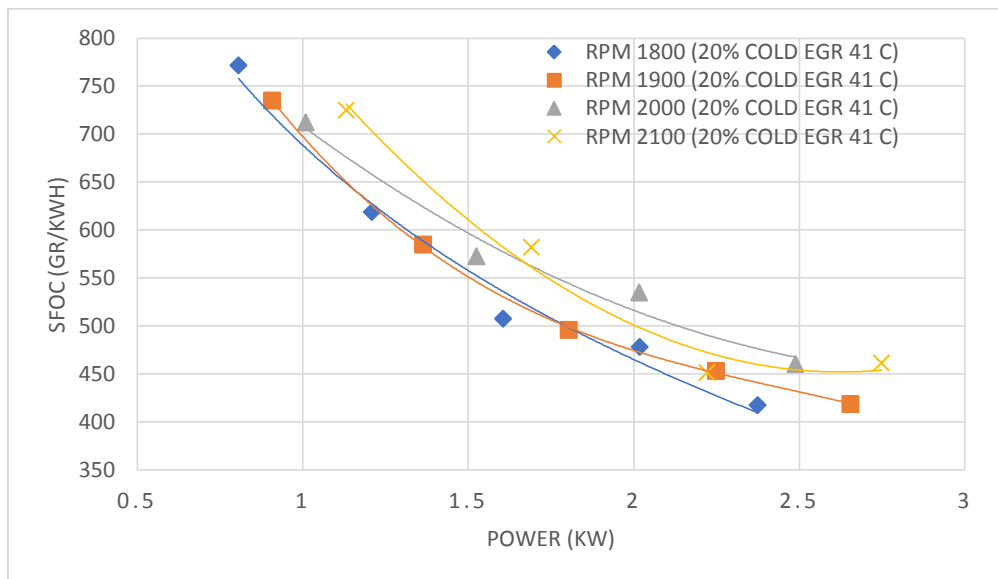
Pada kondisi 20% EGR 60 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 417.24 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 418.39 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 460.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 444.58 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.7 20% Cold EGR (Temperature intake 41 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada RPM 2000

Tabel 4.8 SFOC pada 20% Cold EGR (Temperature intake 41 C)

No	B20 (20% Cold EGR 41 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	771.19	0.81	734.45	0.91	711.99	1.01	689.27	1.13
2	618.38	1.21	584.30	1.36	572.09	1.53	541.85	1.69
3	507.12	1.61	495.39	1.80	534.43	2.02	471.33	2.22
4	477.77	2.02	452.80	2.25	460.09	2.49	444.58	2.75
5	417.24	2.37	418.39	2.65				



Gambar 4.7 Grafik SFOC pada 20% Cold EGR (Temperature intake 41 C)

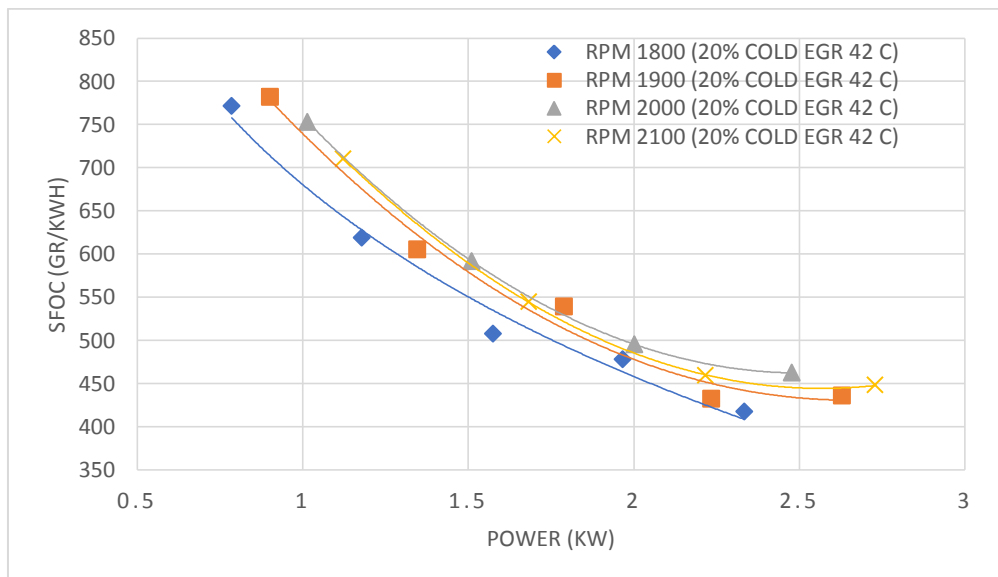
Pada kondisi 20% EGR 60 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 417.24 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 418.39 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 460.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 444.58 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.8 20% Cold EGR (Temperature intake 42 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 20% Cold EGR (Temperature intake 42 C)

Tabel 4.9 SFOC pada 20% Cold EGR (Temperature intake 42 C)

No	B20 (20% Cold EGR 42 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	833.72	0.79	781.96	0.90	752.76	1.01	710.17	1.12
2	662.02	1.18	605.11	1.35	591.58	1.51	544.39	1.68
3	541.31	1.57	538.85	1.79	494.83	2.00	459.22	2.22
4	564.99	1.97	431.74	2.23	462.26	2.48	447.70	2.73
5	448.76	2.33	435.73	2.63				



Gambar 4.8 Grafik SFOC pada 20% Cold EGR (Temperature intake 42 C)

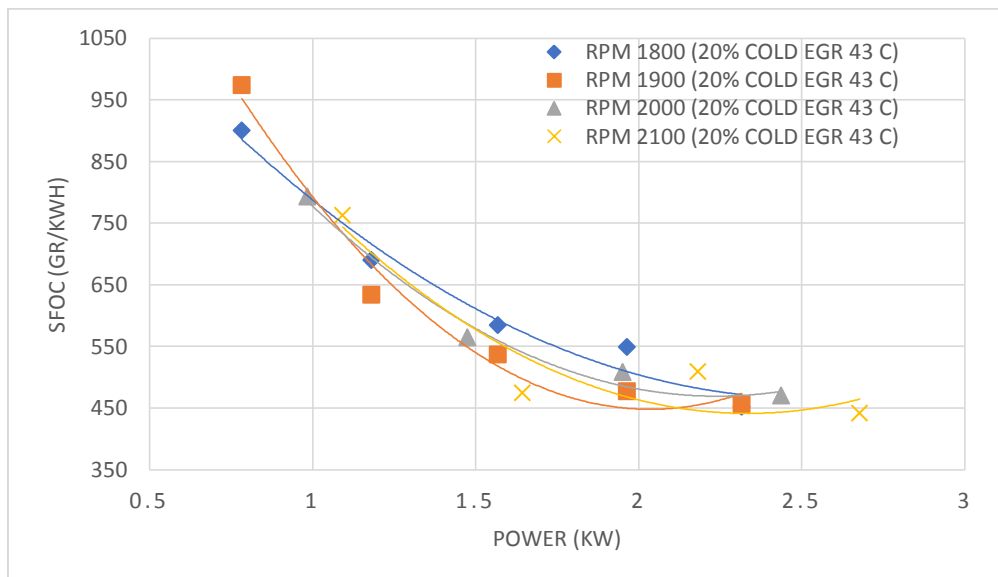
Pada kondisi 20% Cold EGR 42 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 448.76 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 431.74 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 462.26 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 447.70 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.9 20% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 20% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

Tabel 4.10 SFOC pada 20% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

No	B20 (20% Cold EGR 43 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	899.81	0.78	973.21	0.78	792.21	0.98	762.42	1.09
2	689.64	1.18	633.72	1.18	564.60	1.48	474.56	1.64
3	584.44	1.57	536.44	1.57	507.58	1.95	509.22	2.18
4	548.82	1.96	476.71	1.96	469.93	2.44	441.70	2.68
5	452.08	2.32	456.16	2.32				



Gambar 4.9 Grafik SFOC 20% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

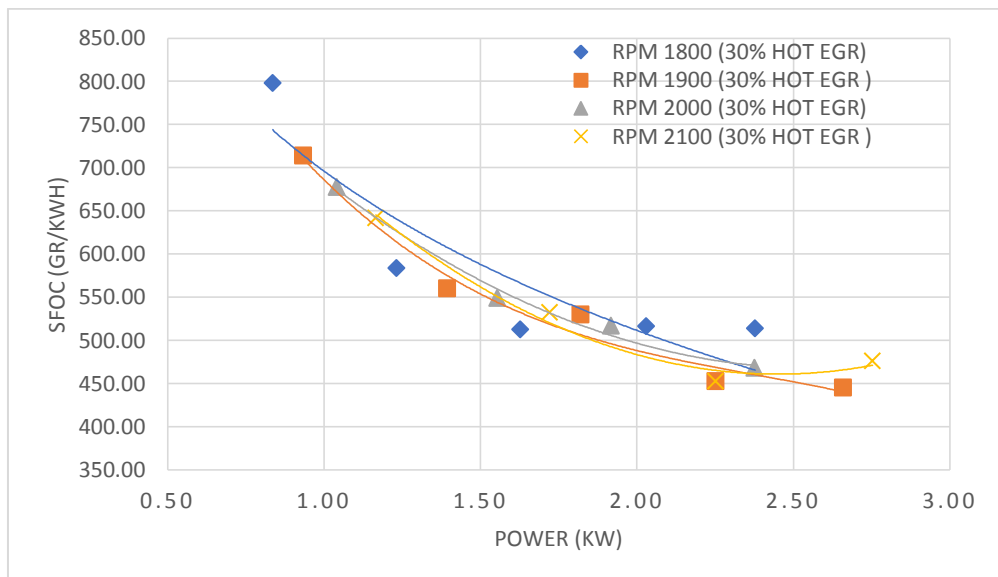
Pada kondisi 20% Cold EGR 43 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 452.08 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 456.16 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 496.93 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 441.70 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.10 30% EGR (*Temperature intake 76 C*)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 30% EGR (*Temperature intake 76 C*)

Tabel 4.11 SFOC pada 30% EGR (*Temperature intake 76 C*)

No	B20 (30% EGR 76 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	797.87	0.84	713.70	0.93	677.35	1.04	641.50	1.17
2	583.50	1.23	559.80	1.39	548.50	1.55	532.20	1.72
3	512.07	1.63	529.80	1.82	516.76	1.92	452.29	2.25
4	515.89	2.03	452.22	2.25	467.55	2.38	475.51	2.75
5	513.64	2.38	444.64	2.66				



Gambar 4.10 Grafik SFOC pada 30% EGR (*Temperature intake 76 C*)

Pada kondisi 30% EGR 76 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 512.07 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 444.64 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 467.55 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 452.29 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

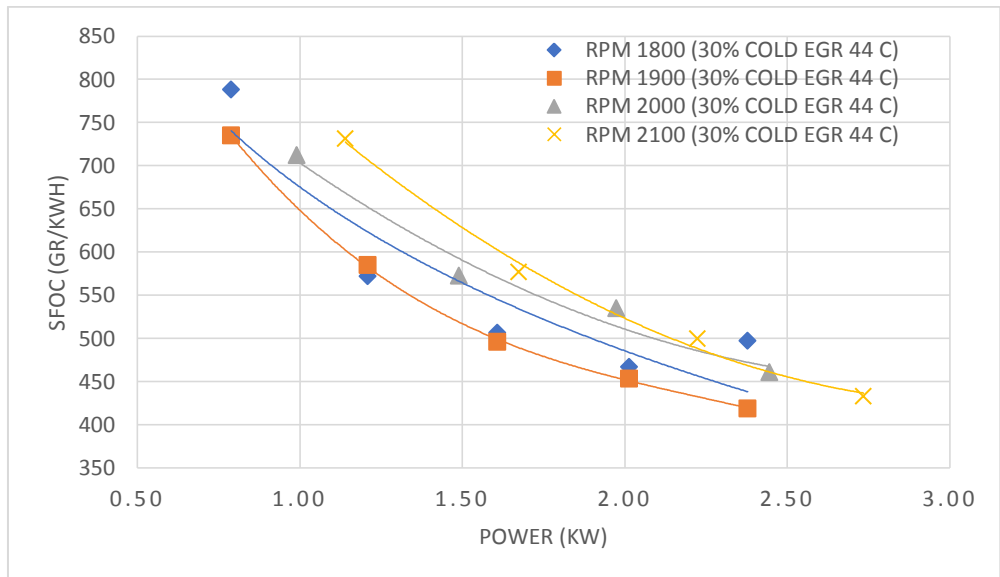


#### 4.2.11 30% Cold EGR (Temperature intake 44 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 30% Cold EGR (Temperature intake 44 C)

Tabel 4.12 SFOC pada 30% Cold EGR (Temperature intake 44 C)

No	B20 (30% Cold EGR 44 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	787.90	0.79	782.38	0.88	711.22	0.99	731.05	1.14
2	571.80	1.21	563.25	1.36	546.53	1.49	576.43	1.67
3	506.31	1.61	478.20	1.78	545.82	1.98	499.53	2.22
4	466.69	2.01	420.99	2.23	454.09	2.45	432.37	2.73
5	497.04	2.38	397.70	2.63				



Gambar 4.11 Grafik SFOC pada 30% Cold EGR (Temperature intake 44 C)

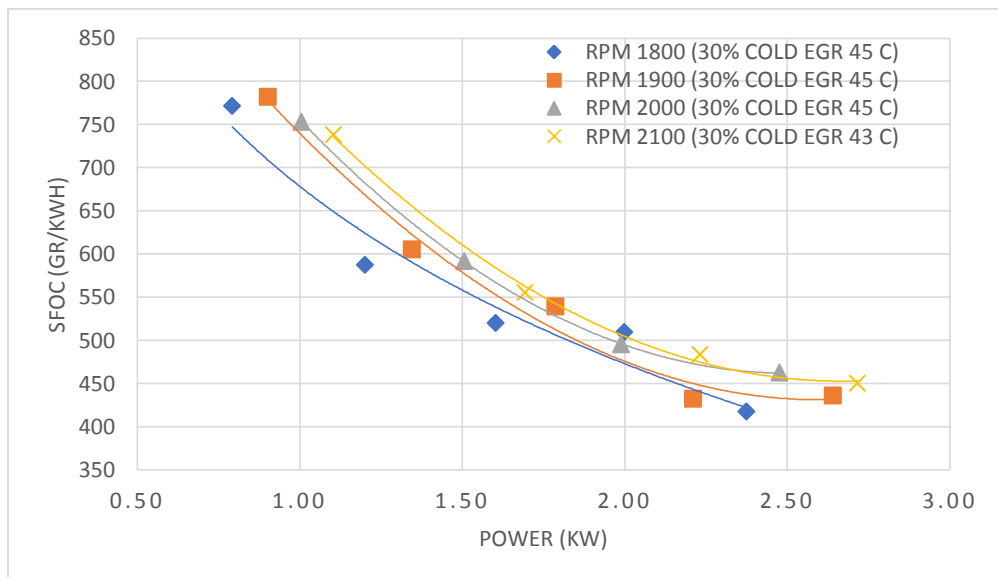
Pada kondisi 30% Cold EGR 44 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 466.69 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 397.70 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 454.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 432.27 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.12 30% Cold EGR (Temperature intake 45 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 30% Cold EGR (Temperature intake 45 C)

Tabel 4.13 SFOC pada 30% Cold EGR (Temperature intake 45 C)

No	B20 (30% Cold EGR 45 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	771.21	0.79	846.46	0.90	792.04	1.01	737.96	1.10
2	586.83	1.20	591.89	1.35	579.04	1.51	554.87	1.69
3	519.74	1.60	512.89	1.79	511.91	1.99	482.97	2.23
4	509.40	2.00	448.15	2.21	448.50	2.48	449.70	2.72
5	417.17	2.37	408.16	2.64				



Gambar 4.12 Grafik SFOC pada 30% Cold EGR (Temperature intake 45 C)

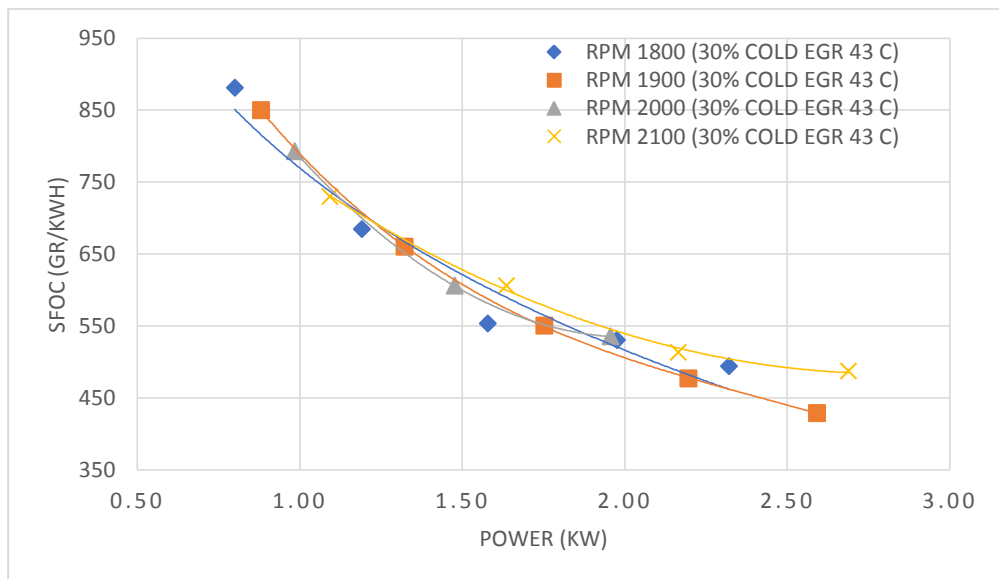
Pada kondisi 30% Cold EGR 45 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 417.17 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 408.16 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 448.50 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 482.97 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

### 4.2.13 30% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada 30% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

Tabel 4.14 SFOC pada 30% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

No	B20 (30% Cold EGR 43 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	880.80	0.80	849.25	0.88	792.61	0.98	729.15	1.09
2	684.08	1.19	659.56	1.32	605.27	1.48	605.70	1.64
3	552.97	1.58	550.28	1.75	535.11	1.96	513.13	2.16
4	530.05	1.98	476.83	2.20	458.39	2.42	486.89	2.69
5	493.59	2.32	428.47	2.59				



Gambar 4.13 Grafik SFOC pada 30% Cold EGR (Temperature intake 43 C)

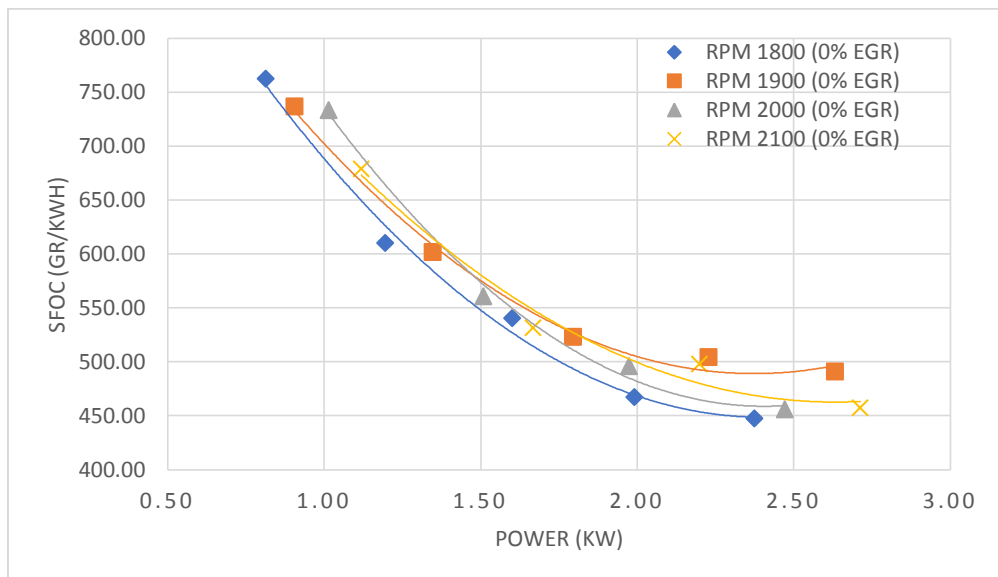
Pada kondisi 30% Cold EGR 43 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 493.59 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 428.47 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 458.39 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 486.89 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.14 STD 0% EGR

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi STD 0% EGR

Tabel 4.15 SFOC pada Kondisi STD 0% EGR

No	B30 (0% EGR)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	762.19	0.81	736.30	0.91	733.23	1.01	678.55	1.12
2	609.81	1.20	601.60	1.35	560.39	1.51	531.28	1.67
3	540.42	1.60	522.66	1.80	495.94	1.97	497.57	2.20
4	467.10	1.99	504.17	2.23	455.90	2.47	457.18	2.71
5	447.42	2.38	490.65	2.63				



Gambar 4.14 Grafik SFOC pada kondisi 0% EGR

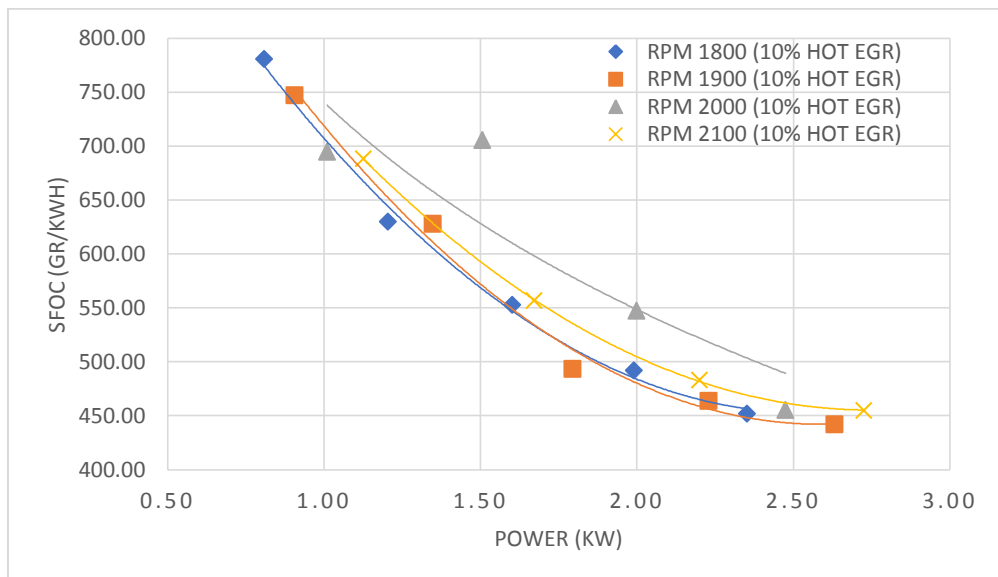
Pada kondisi 0% merupakan sebagai acuan awal pengambilan data tanpa menggunakan EGR. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 447,42 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 490,65 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 455,90 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 457,18 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

#### 4.2.15 10% EGR (*Temperature intake 50 C*)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 10% EGR (*Temperature intake 50 C*)

Tabel 4.16 SFOC pada Kondisi 10% EGR (*Temperature intake 50 C*)

No	B30 (10% EGR 50 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	780.32	0.81	747.01	0.91	694.56	1.01	687.99	1.13
2	629.85	1.21	627.60	1.35	705.44	1.51	556.30	1.67
3	552.75	1.60	493.32	1.80	547.04	2.00	483.00	2.20
4	491.81	1.99	463.59	2.23	455.28	2.48	454.87	2.73
5	451.87	2.35	441.66	2.63				



Gambar 4.15 Grafik SFOC pada kondisi 10% EGR (*Temperature intake 50 C*)

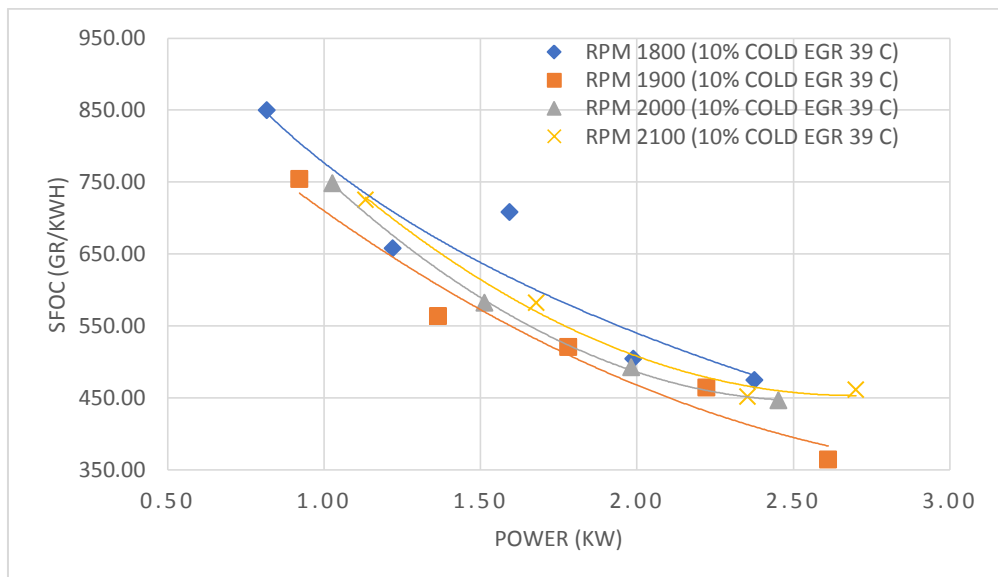
Pada kondisi 10% EGR (*Temperature intake 50 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 415,87 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 441,66 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 455,28 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 454,87 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.16 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

Tabel 4.17 SFOC pada Kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

No	B30 (10% Cold EGR 39 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	875.45	0.92	776.72	0.82	770.61	1.03	746.54	1.13
2	677.23	1.36	580.23	1.22	599.35	1.51	599.17	1.68
3	729.48	1.78	535.66	1.59	507.07	1.98	464.68	2.35
4	519.43	2.22	478.19	1.99	459.48	2.45	474.95	2.70
5	489.00	2.61	374.83	2.38				



Gambar 4.16 Grafik SFOC pada kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 39 C)

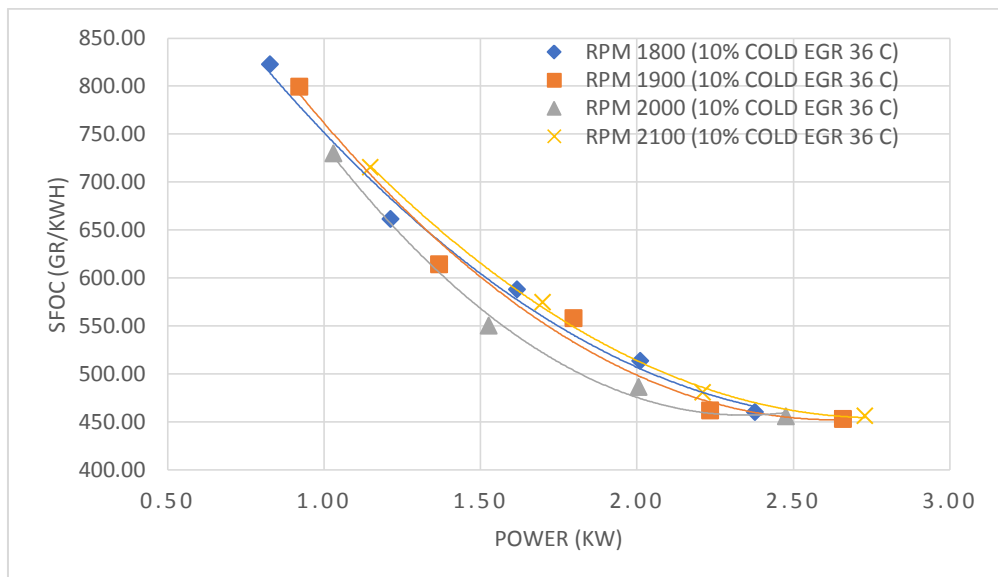
Pada kondisi 10% cold EGR. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 489,00 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 374.83 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 459,48 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 474,95 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.17 10% Cold EGR (Temperature intake 36 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 36 C)

Tabel 4.18 SFOC pada Kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 36 C)

No	B30 (10% Cold EGR 36 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	847.32	0.83	823.41	0.92	751.70	1.03	736.81	1.15
2	681.27	1.21	632.55	1.37	566.58	1.53	591.70	1.70
3	605.48	1.62	574.45	1.80	500.96	2.01	494.96	2.21
4	528.52	2.01	475.63	2.23	469.39	2.48	469.92	2.73
5	473.97	2.38	466.16	2.66				



Gambar 4.17 Grafik SFOC pada kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 36 C)

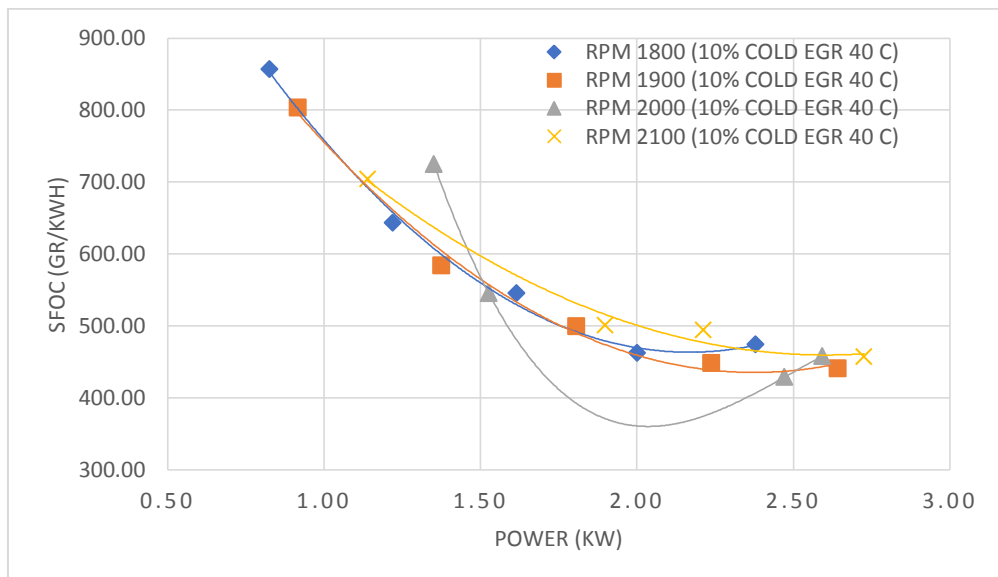
Pada kondisi 10% cold EGR (Temperature intake 36 C). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 473,97 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 466,16 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 469,92 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 469,92 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.18 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

Tabel 4.19 SFOC pada Kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

No	B30 (10% Cold EGR 40 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	882.48	0.83	827.86	0.92	746.76	1.35	725.40	1.14
2	662.73	1.22	601.48	1.37	561.65	1.53	515.69	1.90
3	561.38	1.62	514.62	1.81	471.89	2.59	509.25	2.21
4	476.46	2.00	461.56	2.24	441.56	2.47	470.43	2.73
5	488.31	2.38	453.97	2.64				



Gambar 4.18 Grafik SFOC pada kondisi 10% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

Pada kondisi 10% cold EGR (Temperature intake 40 C). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 476,46 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 461.56 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 441.56 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 470.43 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

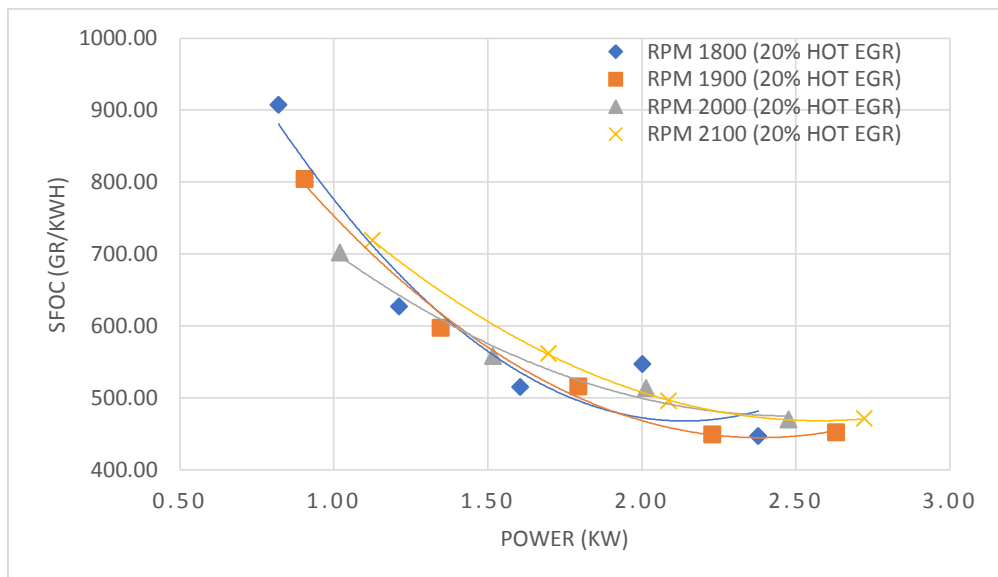


#### 4.2.19 20% EGR (*Temperature intake 53 C*)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 20% EGR (*Temperature intake 53 C*)

Tabel 4.20 SFOC pada Kondisi 20% EGR (*Temperature intake 53 C*)

No	B30 (20% EGR 53 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	906.77	0.82	804.08	0.91	701.57	1.02	718.37	1.13
2	626.47	1.21	596.77	1.35	557.38	1.52	561.61	1.70
3	514.98	1.61	515.71	1.80	513.01	2.01	495.05	2.09
4	546.36	2.00	448.85	2.23	469.29	2.48	470.97	2.72
5	446.75	2.38	451.34	2.63				



Gambar 4.19 Grafik SFOC pada kondisi 20% EGR (*Temperature intake 53 C*)

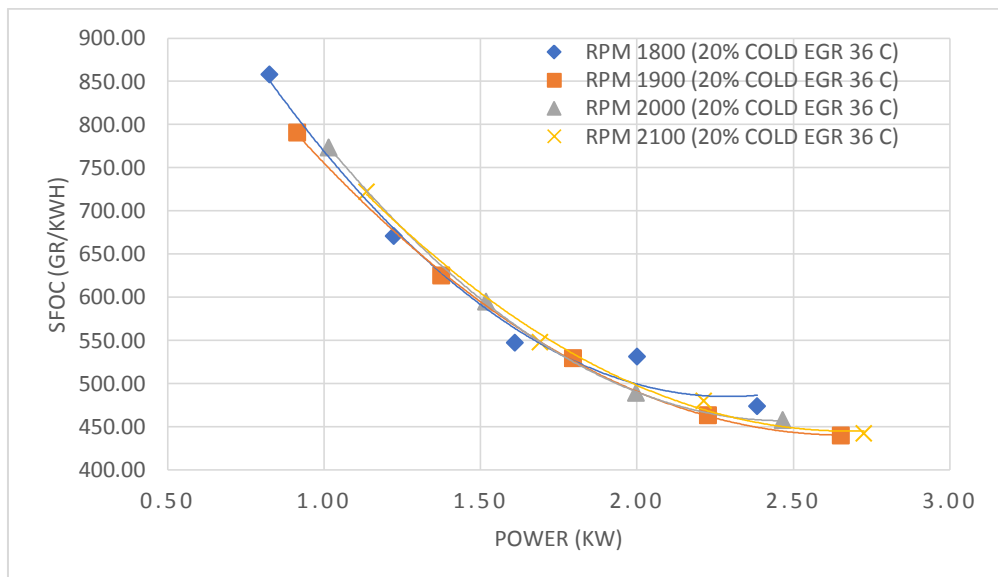
Pada kondisi 20% EGR (*Temperature intake 53 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 446.75 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 448.85 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 469.29 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 470.97 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

#### 4.2.20 20% Cold EGR (Temperature intake 36 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 36 C)

Tabel 4.21 SFOC pada Kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 36 C)

No	B30 (20% COLD EGR 36 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	883.80	0.83	814.13	0.91	796.52	1.02	743.61	1.14
2	690.72	1.22	643.69	1.38	612.57	1.52	564.10	1.69
3	563.11	1.61	544.73	1.80	503.24	2.00	494.10	2.21
4	546.65	2.00	476.84	2.23	471.21	2.47	454.91	2.73
5	487.51	2.38	452.42	2.65				



Gambar 4.20 Grafik SFOC pada kondisi 20% EGR (Temperature intake 36 C)

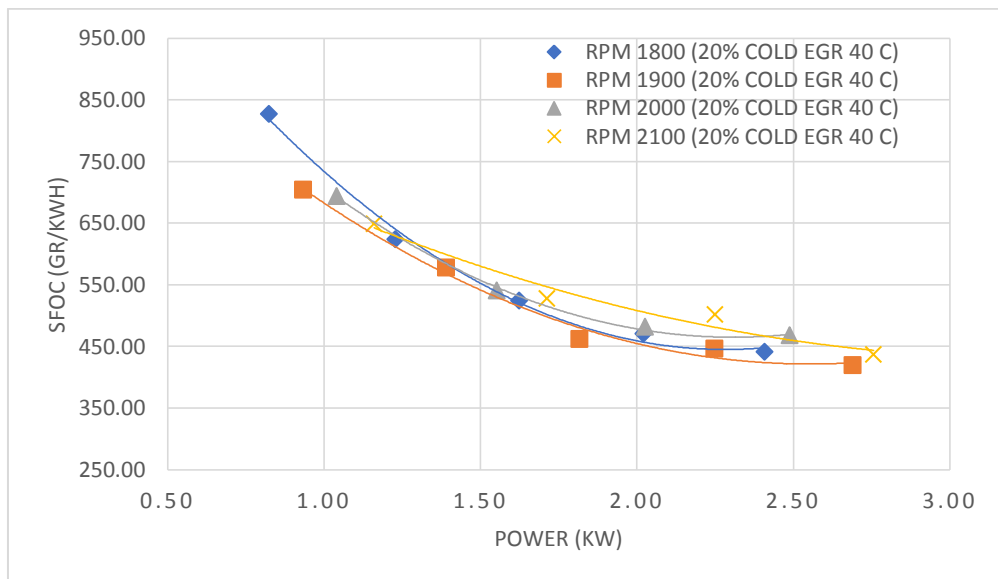
Pada kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 53 C). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 487.51 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 452.42 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 471.21 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 454.91 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.21 20% Cold EGR (Temperature intake 40 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 40 C)

Tabel 4.22 SFOC pada Kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 40 C)

No	B30 (20% COLD EGR 40 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	883.80	0.82	814.13	0.93	714.80	1.04	668.31	1.16
2	690.72	1.23	643.69	1.39	556.99	1.55	543.16	1.71
3	563.11	1.62	544.73	1.82	495.93	2.03	516.60	2.25
4	546.65	2.02	476.84	3.35	481.95	2.49	449.66	2.76
5	487.51	2.41	452.42	2.69				



Gambar 4.21 Grafik SFOC pada kondisi 20% EGR (Temperature intake 40 C)

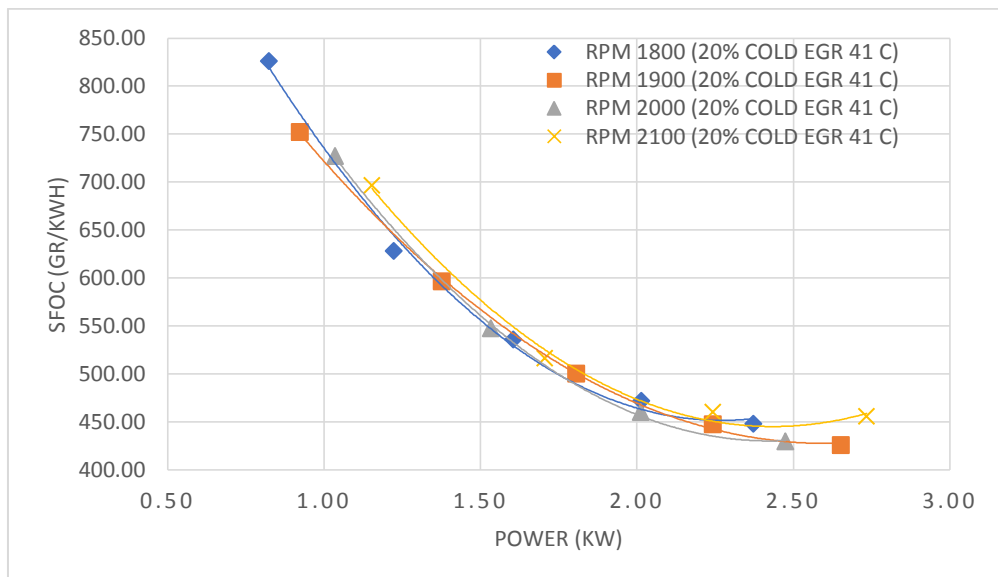
Pada kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 40 C). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 487.51 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 452.42 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 481.95 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 449.66 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.22 20% Cold EGR (Temperature intake 41 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 41 C)

Tabel 4.23 SFOC pada Kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 41 C)

No	B30 (20% COLD EGR 41 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	850.92	0.82	774.90	0.92	748.69	1.04	717.14	1.15
2	646.73	1.22	614.41	1.38	563.83	1.53	531.82	1.71
3	551.44	1.61	514.89	1.81	473.76	2.01	473.90	2.24
4	485.93	2.01	460.74	2.24	442.00	2.48	469.09	2.73
5	461.18	2.37	438.11	2.65				



Gambar 4.22 Grafik SFOC pada kondisi 20% EGR (Temperature intake 41 C)

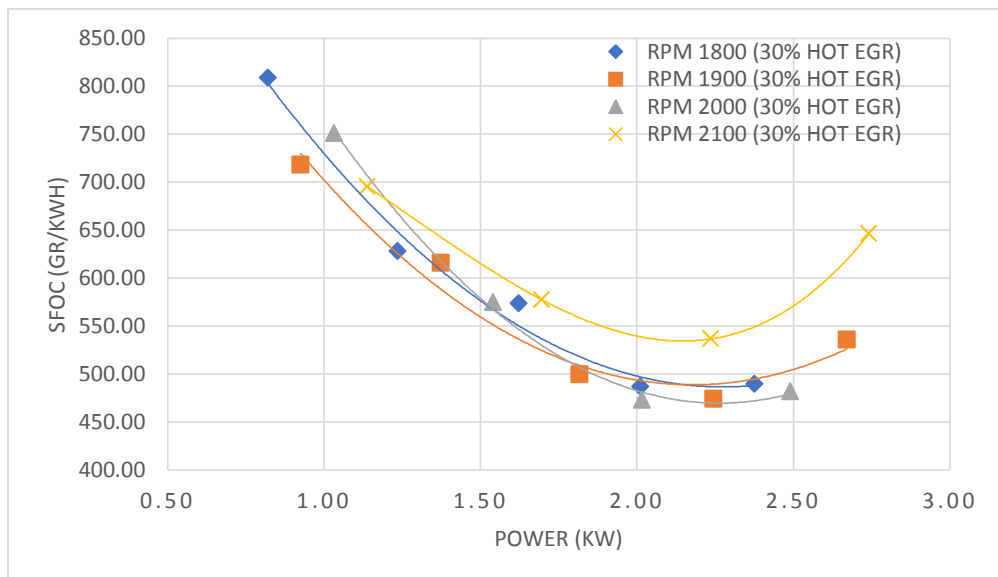
Pada kondisi 20% cold EGR (Temperature intake 41 C). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 461.18 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 438.11 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 442.00 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 469.09 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.23 30% EGR (*Temperature intake 53 C*)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 30% EGR (*Temperature intake 53 C*)

Tabel 4.24 SFOC pada Kondisi 30% EGR (*Temperature intake 53 C*)

No	B30 (20% EGR 53 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	808.68	0.82	717.82	0.93	750.86	1.03	695.21	1.14
2	627.63	1.23	615.63	1.37	574.68	1.54	577.34	1.70
3	573.35	1.62	499.14	1.82	472.81	2.02	536.37	2.24
4	486.78	2.01	473.54	2.24	481.77	2.49	645.96	2.74
5	489.04	2.38	535.54	2.67				



Gambar 4.23 Grafik SFOC pada kondisi 30% EGR (*Temperature intake 53 C*)

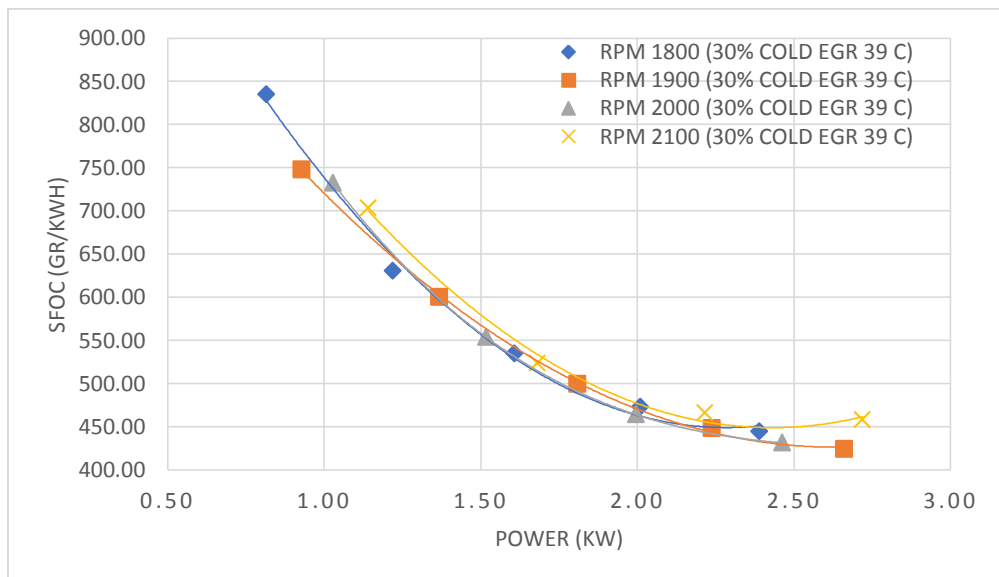
Pada kondisi 30% EGR (*Temperature intake 53 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 486.78 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 473.54 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 472.81 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 536.37 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.24 30% Coldt EGR (Temperature intake 36 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 36 C)

Tabel 4.25 SFOC pada Kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 36 C)

No	B30 (20% COLD EGR 36 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	860.14	0.82	770.64	0.93	754.18	1.03	724.25	1.14
2	649.48	1.22	618.40	1.37	570.33	1.52	539.50	1.68
3	550.85	1.61	514.30	1.81	477.85	2.00	479.78	2.22
4	487.13	2.01	461.82	2.24	444.09	2.46	471.74	2.72
5	457.81	2.39	436.84	2.66				



Gambar 4.24 Grafik SFOC pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 36 C)

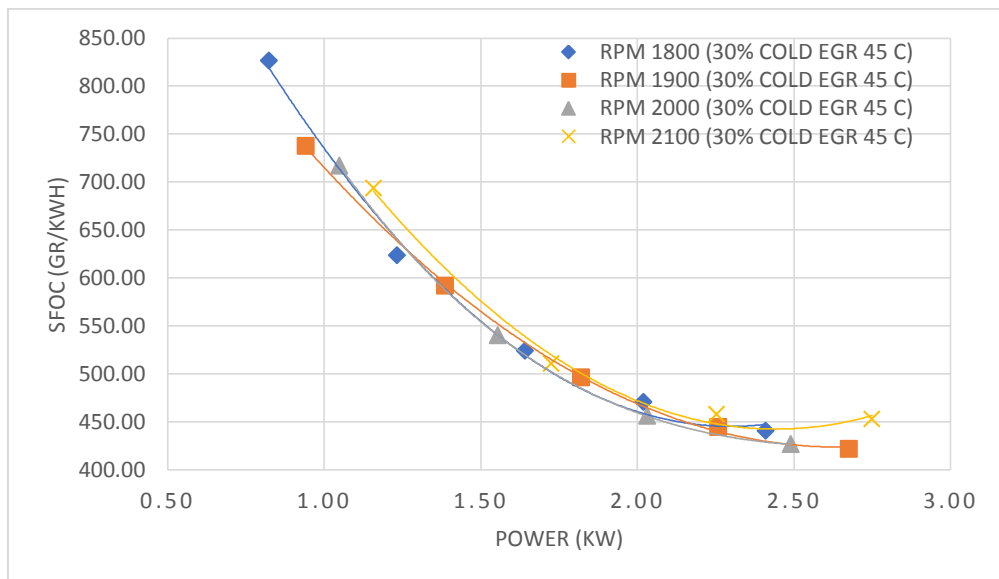
Pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 36 C). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 457.81 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 436.84 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 444.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 471.74 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.25 30% Coldt EGR (Temperature intake 45 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 45 C)

Tabel 4.26 SFOC pada Kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 45 C)

No	B30 (20% COLD EGR 45 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	860.14	0.82	770.64	0.94	738.57	1.05	714.47	1.16
2	649.48	1.23	618.40	1.39	556.34	1.55	525.73	1.73
3	550.85	1.64	514.30	1.82	469.51	2.03	471.50	2.25
4	487.13	2.02	461.82	2.26	439.21	2.49	466.57	2.75
5	457.81	2.41	436.84	2.68				



Gambar 4.25 Grafik SFOC pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 45 C)

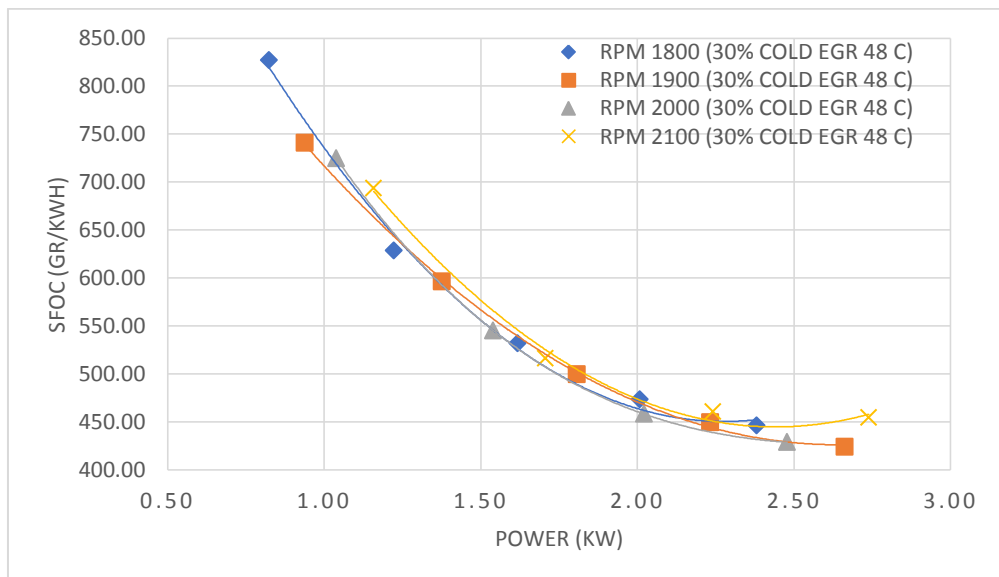
Pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 45 C). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 457.81 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 436.84 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 444.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 439.21 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

#### 4.2.26 30% Coldt EGR (Temperature intake 48 C)

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 48 C)

Tabel 4.27 SFOC pada Kondisi 30% cold EGR

No	B30 (20% COLD EGR 48 C)							
	RPM 1800		RPM 1900		RPM 2000		RPM 2100	
	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)	SFOC (gr/kWh)	Power (kW)
1	851.73	0.82	763.07	0.94	746.76	1.04	714.21	1.16
2	647.22	1.22	614.11	1.38	561.65	1.54	531.40	1.71
3	547.59	1.62	514.59	1.81	471.89	2.02	474.18	2.24
4	487.45	2.01	462.75	2.23	441.56	2.48	468.23	2.74
5	459.55	2.38	436.64	2.66				



Gambar 4.26 Grafik SFOC pada kondisi 30% cold EGR (Temperature intake 48 C)

Pada kondisi 30% cold EGR. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 459.55 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 436.64 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 441.56 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 468.23 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.



### 4.3 Perbandingan daya dari hasil eksperimen pada setiap RMP, disemua kondisi EGR

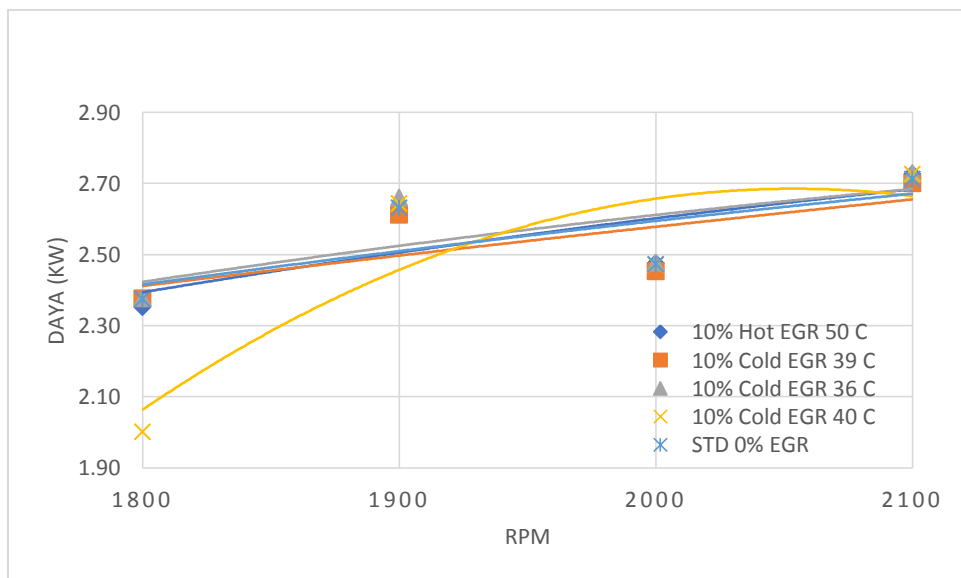
Dari hasil eksperimen yang telah dilaksanakan. Akan dilakukan perbandingan di setiap RPM, penggunaan jenis bahan bakar, dan juga kondisi disetiap bukaan katup EGR. Pemaparan hasil eksperimen akan dipaparkan secara grafik dan tabel.

#### 4.3.1 10% EGR

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 10% EGR

Tabel 4.28 Daya pada kondisi 10% EGR

B30 Power 100% load ( 10% EGR) kW					
Rpm	daya 10% EGR 50 C	daya 10% Cold EGR 39 C	daya 10% EGR 36 C	daya 10% EGR 40 C	Daya STD 0% EGR
1800	2.35	2.38	2.38	2.00	2.38
1900	2.63	2.61	2.66	2.64	2.63
2000	2.48	2.45	2.48	2.47	2.47
2100	2.73	2.70	2.73	2.73	2.71



Gambar 4.27 Grafik daya pada kondisi 10% EGR

Pada kondisi 10% bukaan EGR. Pada tabel dan grafik diatas merupakan 100% *Power* berdasarkan pada titik SFOC terendah yang terdapat pada subab

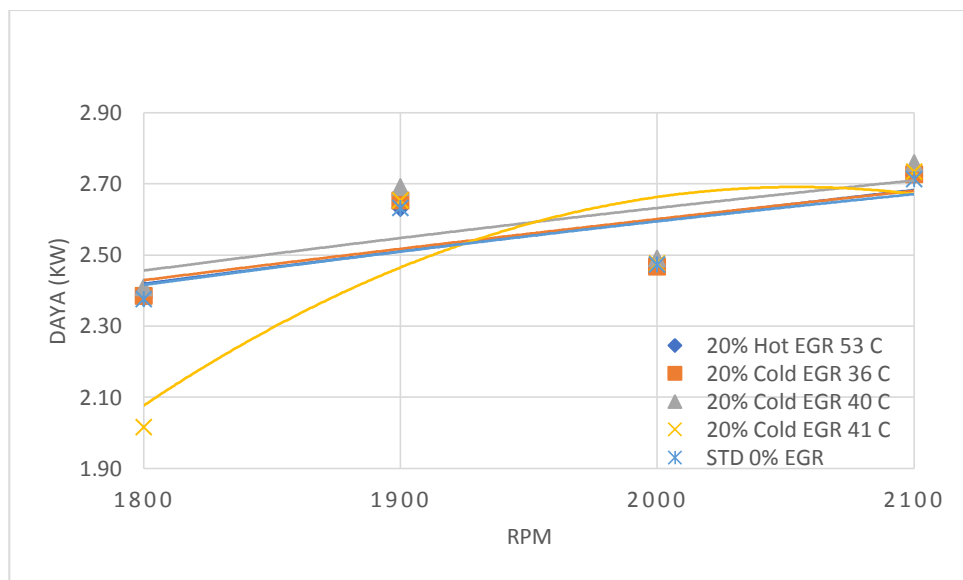
4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 10% EGR pada pendinginan temperature *intake* 36 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.38 kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.66 kW, pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.48 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.73 kW.

#### 4.3.2 20% EGR

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 20% EGR

Tabel 4.29 Daya pada kondisi 20% EGR

B30 Power 100% load ( 20% EGR) kW					
Rpm	daya 20% EGR 53 C	daya 20% Cold EGR 36 C	daya 20% EGR 40 C	daya 20% EGR 41 C	Daya STD 0% EGR
1800	2.38	2.38	2.41	2.01	2.38
1900	2.63	2.65	2.69	2.65	2.63
2000	2.48	2.47	2.49	2.48	2.47
2100	2.72	2.73	2.76	2.73	2.71



Gambar 4.28 Grafik daya pada kondisi 20% EGR

Pada kondisi 20% bukaan EGR. Pada tabel dan grafik diatas merupakan 100% *Power* berdasarkan pada titik SFOC terendah yang terdapat pada subab 4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 20% EGR pada pendinginan temperature *intake* 40 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.41

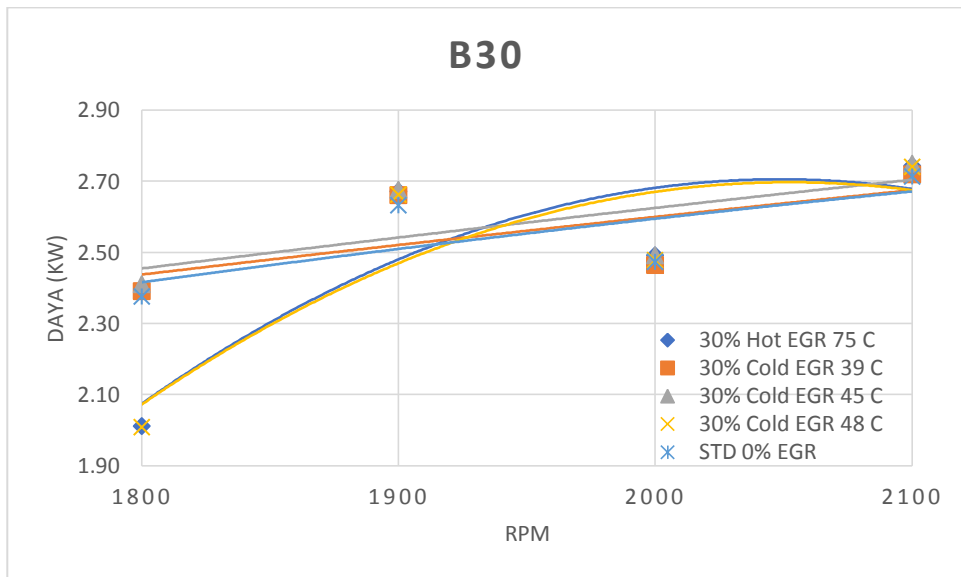
kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.69 kW, pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.76 kW.

#### 4.3.3 30% EGR

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi 30% EGR

Tabel 4.30 Daya pada kondisi 30% EGR

B30 Power 100% load ( 30% EGR) kW					
Rpm	daya 30% EGR 75 C	daya 30% Cold EGR 39 C	daya 30% EGR 45 C	daya 30% EGR 48 C	Daya STD 0% EGR
1800	2.01	2.39	2.41	2.01	2.38
1900	2.67	2.66	2.68	2.66	2.63
2000	2.49	2.46	2.49	2.48	2.47
2100	2.74	2.72	2.75	2.74	2.71



Gambar 4.29 Grafik daya pada kondisi 30% EGR

Pada kondisi 30% bukaan EGR. Pada tabel dan grafik diatas merupakan 100% *Power* berdasarkan pada titik SFOC terendah yang terdapat pada subab 4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 30% EGR pada pendinginan temperature *intake* 45 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.41 kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.68 kW,

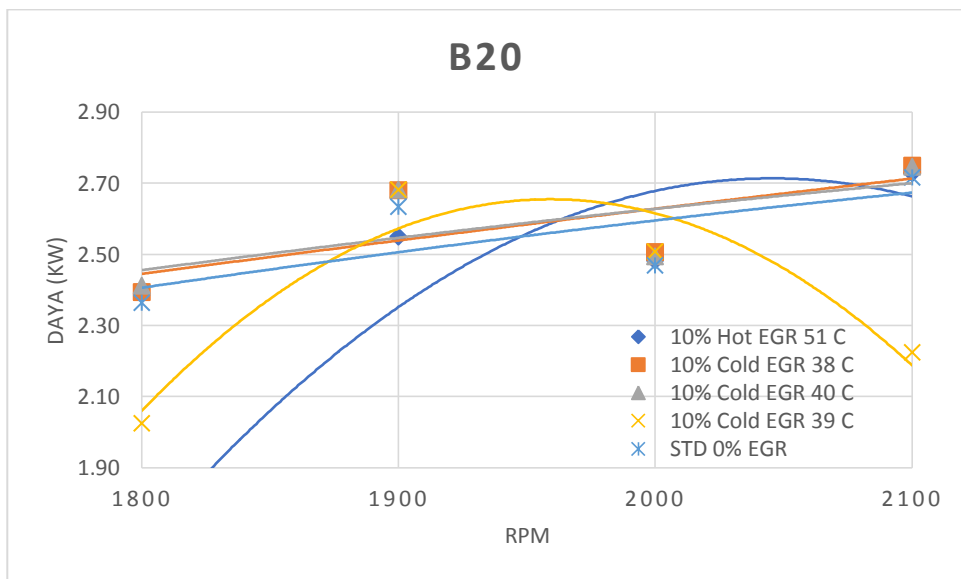
pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.75 kW.

#### 4.3.3 B20 EGR 10%

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi B20 EGR 10%

Tabel 4.31 Daya pada kondisi B20 EGR 10%

B20 Power 100% load ( 10% EGR) kW					
Rpm	daya 10% EGR 51 C	daya 10% Cold EGR 38 C	daya 10% EGR 40 C	daya 10% EGR 39 C	Daya STD 0% EGR
1800	1.62	2.39	2.41	2.02	2.36
1900	2.55	2.68	2.68	2.68	2.63
2000	2.48	2.51	2.49	2.51	2.47
2100	2.73	2.75	2.74	2.22	2.72



Gambar 4.30 Grafik daya pada kondisi B20 EGR 10%

Pada kondisi B20 EGR 10%. Pada tabel dan grafik diatas merupakan 100% *Power* berdasarkan pada titik SFOC terendah yang terdapat pada subab 4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 10% EGR pada pendinginan temperature *intake* 40 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.41 kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.68 kW,

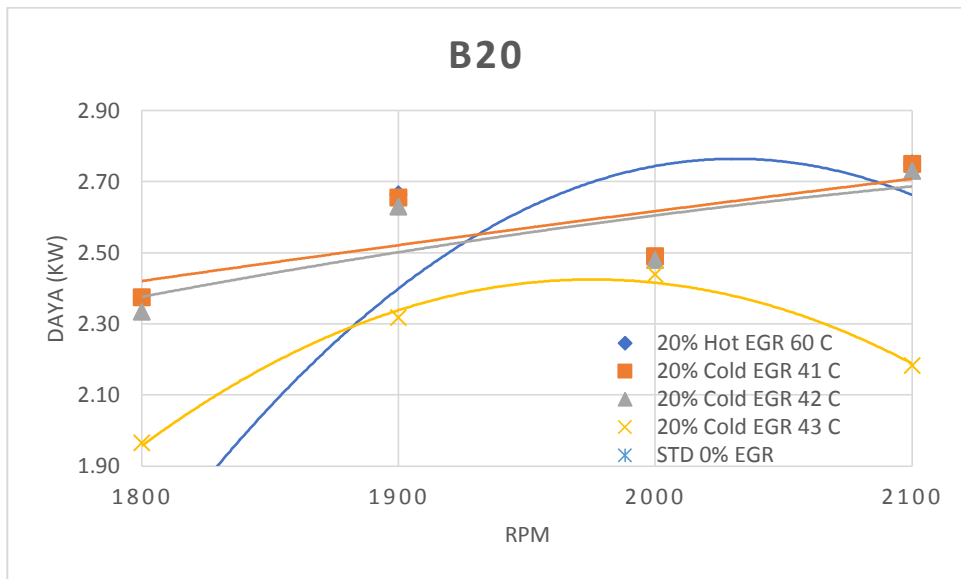
pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.74 kW.

#### 4.3.4 B20 EGR 20%

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada kondisi B20 EGR 20%

Tabel 4.32 Daya pada kondisi B20 EGR 20%

B20 Power 100% load ( 20% EGR) kW					
Rpm	daya 20% EGR 60 C	daya 20% Cold EGR 41 C	daya 20% EGR 42 C	daya 20% EGR 43 C	Daya STD 0% EGR
1800	1.54	2.37	2.33	1.96	2.36
1900	2.66	2.65	2.63	2.32	2.63
2000	2.48	2.49	2.48	2.44	2.47
2100	2.75	2.75	2.73	2.18	2.72



Gambar 4.31 Grafik Daya pada kondisi B20 EGR 20%

Pada kondisi B20 EGR 20%. Pada tabel dan grafik diatas merupakan 100% Power berdasarkan pada titik SFOC terendah yang terdapat pada subab 4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 20% EGR pada pendinginan temperature intake 41 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.37 kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.65 kW,

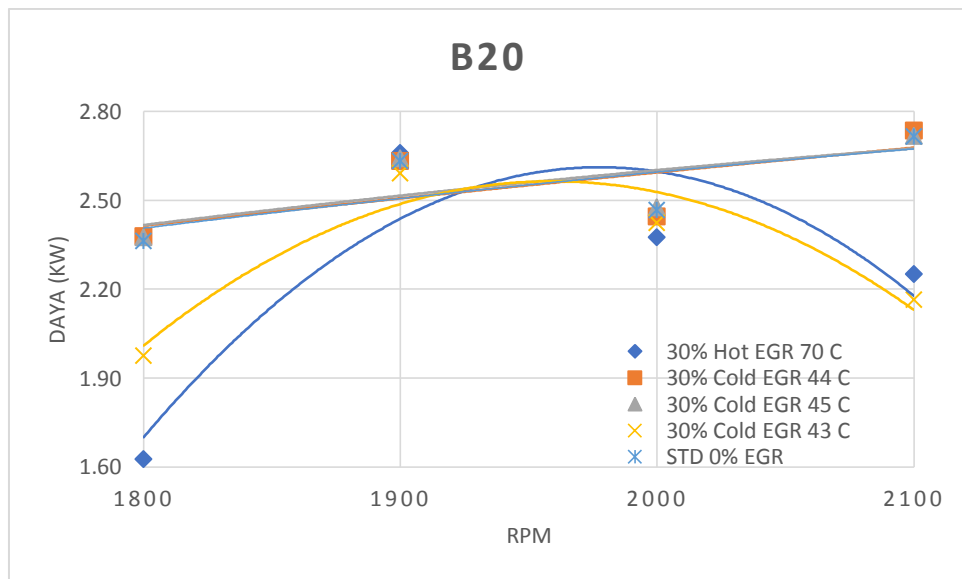
pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.75 kW.

#### 4.3.5 B20 EGR 30%

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada RPM 2100

Tabel 4.33 Daya pada kondisi B20 EGR 30%

B20 Power 100% load (30% EGR) kW					
Rpm	daya 30% EGR 76 C	daya 30% Cold EGR 44 C	daya 30% EGR 45 C	daya 30% EGR 43 C	Daya STD 0% EGR
1800	1.63	2.38	2.37	1.98	2.36
1900	2.66	2.63	2.64	2.59	2.63
2000	2.38	2.45	2.48	2.42	2.47
2100	2.25	2.73	2.72	2.16	2.72



Gambar 4.32 Grafik daya pada kondisi B20 EGR 30%

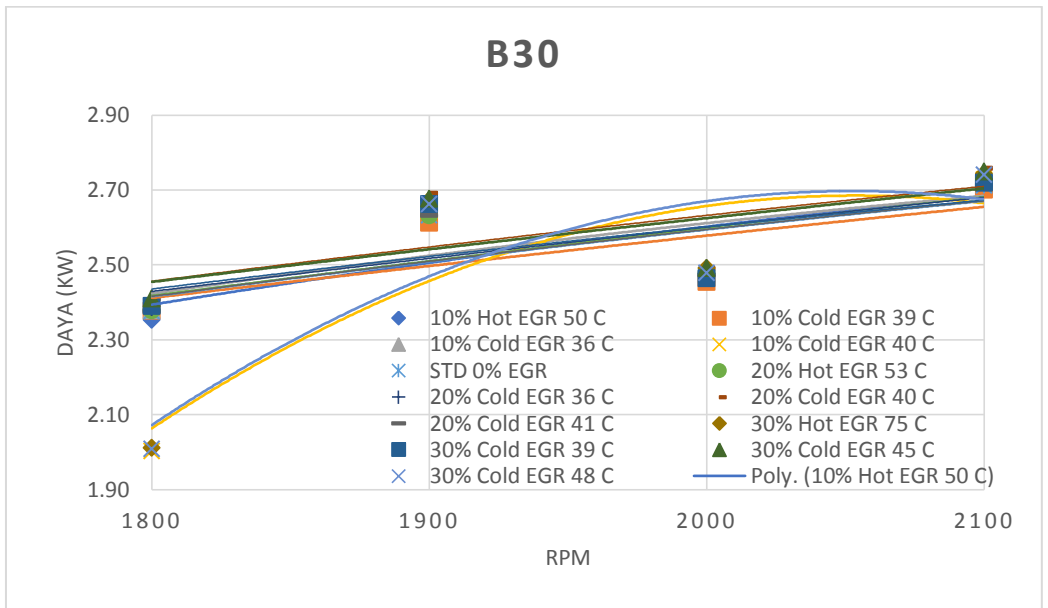
Pada kondisi B20 EGR 20%. Pada tabel dan grafik diatas merupakan 100% Power berdasarkan pada titik SFOC terendah yang terdapat pada subab 4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 20% EGR pada pendinginan temperature intake 41 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.37 kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.65 kW, pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.75 kW.

#### 4.4 Perbandingan daya dari hasil eksperimen pada setiap RMP dan bukaan katup EGR pada kondisi EGR

Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan akan dilakukan perbandingan di setiap RPM, penggunaan jenis bahan bakar, dan juga kondisi disetiap bukaan katup EGR. Pemaparan hasil eksperimen akan dipaparkan secara grafik dan tabel.

##### 4.4.1 B30 Semua kondisi EGR

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada B30 Semua kondisi EGR

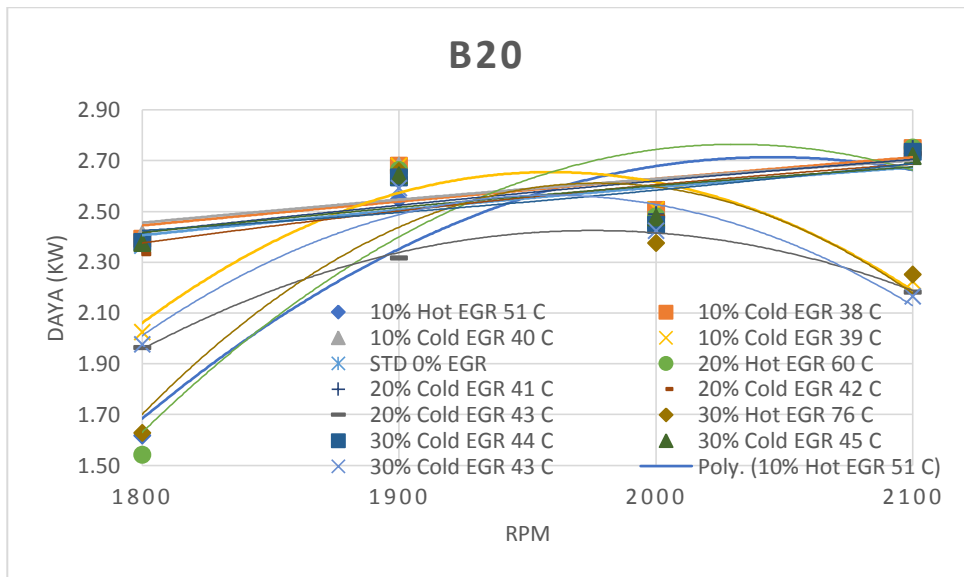


Gambar 4.33 Grafik Daya pada kondisi semua EGR B30

Setelah dilakukan perbandingan di setiap bukaan EGR. Kini akan dilakukan perbandingan diseluruh bukaan EGR dan *temperature intake*. Hasil yang didapat daya tertinggi pada B30 diperoleh pada kondisi 20% EGR dengan pendinginan *temperature intake* 40 C

#### 4.4.2 B20 Semua kondisi EGR

Berikut merupakan pemaparan dari hasil eksperimen pada RPM 1900



Gambar 4.34 Grafik Daya pada kondisi semua EGR B20

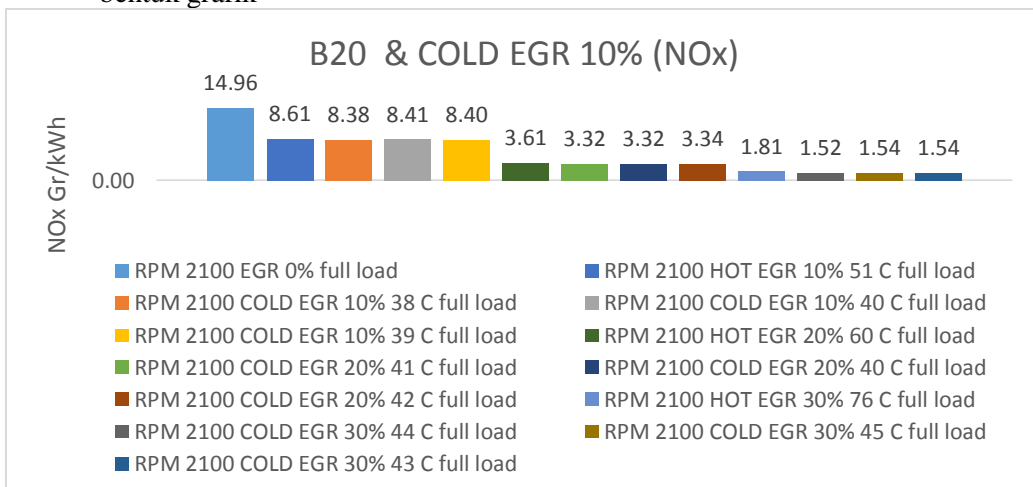
Setelah dilakukan perbandingan di setiap bukaan EGR. Kini akan dilakukan perbandingan diseluruh bukaan EGR dan *temperature intake*. Hasil yang didapat daya tertinggi pada B20 diperoleh pada kondisi 10% EGR dengan pendinginan *temperature intake* 38 C



#### 4.5 Perbandingan hasil NOx dari hasil eksperimen pada setiap RPM dan bukaan katup EGR pada kondisi *standard*, EGR dan *cold* EGR baik 10%, 20%, dan 30%

##### 4.6.1 Perbandingan hasil NOx dari B20 disemua kondisi EGR pada RPM 2100

Berikut merupakan perbandingan NOx yang akan dipaparkan dalam bentuk grafik



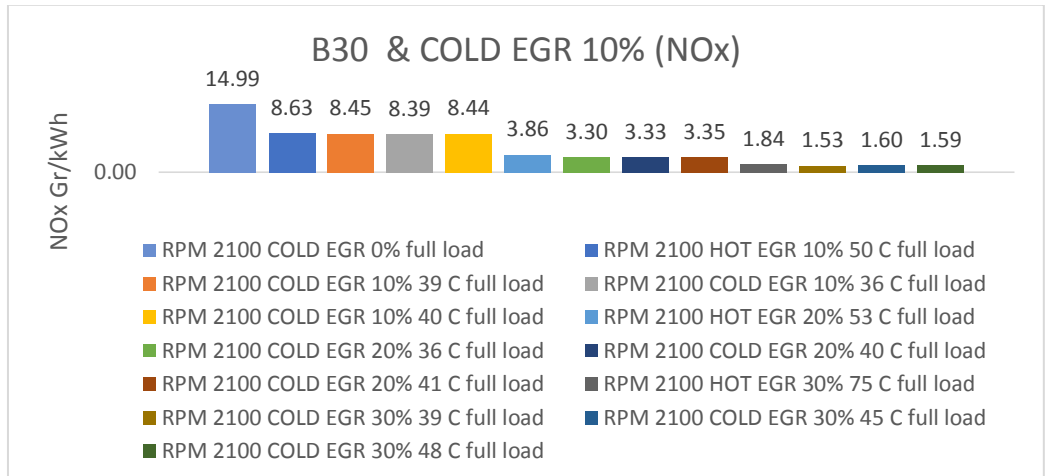
Gambar 4.35 Grafik kadar NOx pada RPM 2100 di semua kondisi EGR

Kadar emisi NOx yang tinggi disebabkan oleh tingginya temperature diruang bakar. Temperature yang tinggi diruang bakar akan bereaksi dengan oksigen dan nitrogen diruang bakar. Kandungan oksigen dan nitrogen diperoleh dari udara sekitar yang dihisap oleh motor disel guna untuk proses siklus, udara tersebut berkomposisi 75% oleh nitrogen dan 25% oksigen. Semakin tinggi temperature rung bakar maka kadar NOx akan semakin tinggi.

Berdasarkan MARPOL ANNEX VI untuk motor diesel rpm lebih dari 2000 rpm. Batas kadar NOx yang boleh keluar dari *exhaust* untuk TEIR 1 yaitu 9.8 gr/kWh, TEIR 2 yaitu 7.7 gr/kWh, TEIR 3 yaitu 1.96 gr/kWh. Kadar NOx terendah dihasilkan oleh penggunaan *cold* EGR dengan bukaan 30% dan *temperature intake* sebesar 39 C dengan kadar NOx 1.52 gr/kWh

#### 4.6.2 Perbandingan hasil NOx dari B30 disemua kondisi EGR pada RPM 2100

Berikut merupakan perbandingan NOx yang akan dipaparkan dalam bentuk grafik



Gambar 4.36 Grafik kadar NOx pada RPM 2100 di di semua kondisi EGR

Kadar emisi NOx yang tinggi disebabkan oleh tingginya temperature diruang bakar. Temperature yang tinggi diruang bakar akan bereaksi dengan oksigen dan nitrogen diruang bakar. Kandungan oksigen dan nitrogen diperoleh dari udara sekitar yang dihisap oleh motor disel guna untuk proses siklus, udara tersebut berkomposisi 75% oleh nitrogen dan 25% oksigen. Semakin tinggi temperature rung bakar maka kadar NOx akan semakin tinggi.

Berdasarkan MARPOL ANNEX VI untuk motor diesel rpm lebih dari 2000 rpm. Batas kadar NOx yang boleh keluar dari *exhaust* untuk TEIR 1 yaitu 9.8 gr/kWh, TEIR 2 yaitu 7.7 gr/kWh, TEIR 3 yaitu 1.96 gr/kWh. Kadar NOx terendah dihasilkan oleh penggunaan *cold* EGR dengan bukaan 30% dan *temperature intake* sebesar 39 C dengan kadar NOx 1.53 gr/kWh

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

1. Dari performa yang dihasilkan oleh *cold* EGR dengan melakukan variasi suhu pada *intake* dibawah suhu *intake* saat kondisi EGR. Daya tertinggi untuk penggunaan B20 terdapat pada *temperature intake* 40°C untuk kondisi *cold EGR* dengan bukaan 10%, sedangkan untuk penggunaan B30 performa terbaik diperoleh pada *temperature intake* 40 C pada bukaan EGR 20%
2. Dari kadar NO<sub>x</sub> yang dihasilkan setelah dilakukan pemasangan *cold* EGR. Titik terendah dari kadar NO<sub>x</sub> pada penggunaan B30 kondisi 10% bukaan EGR adalah 36°C, pada kondisi 20% bukaan EGR adalah 36°C, dan pada kondisi 30% bukaan EGR adalah 39°C. Pada B20 kondisi 10% bukaan EGR adalah 38°C, pada kondisi 20% bukaan EGR adalah 40°C, dan pada kondisi 30% bukaan EGR adalah 43°C

### **5.2 Saran**

1. Pada penelitian selanjutnya diharapkan mendesain sistem pendingin yang keluar dari *outlet cold* EGR agar suhu pendinginan tetap stabil.
2. Pada penelitian selanjutnya diharapkan menambah variasi suhu pada *intake* saat kondisi *cold* EGR
3. Pada penelitian selanjutnya diharapkan dilakukan penambahan *intercooler* dan juga pengkombinasian dengan SCR (*Selective Catalytic Reduction*)

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

Faris, F. (2017). *STUDI ANALISA PERFORMA DAN NO<sub>x</sub> PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN COLD EGR SPIRAL TUBE BERBASIS EKSPERIMEN*. SURABAYA: DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA.

Jaffar, H., K. Palaniradja, N. Alagumurthi, & R. Manimaran. (2012). Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on Performance and Emission characteristics of a Three Cylinder Direct Injection Compression Ignition Engine. *Alexandria Engineering Journal*.

K.A. Abed, M.S. Gad, A.K. EL Morsi, M.M. Sayed, & S. Abu Elyazeed. (2019). Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Egyptian Journal of Petroleum*.

Kuspriyanto, R. I. (2018). *PENGARUH PENGGUNAAN AIR DALAM BAHAN BAKAR EMULSI BIODIESEL MINYAK KELAPA SAWIT (CRUDE PALM OIL) TERHADAP PERFORMA, NO<sub>x</sub>, DAN PROSES PEMBAKARAN (COMBUSTION PROCESS) PADA MESIN DIESEL*. SURABAYA: DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA.

Putra, A. D. (2017). *STUDI ANALISA PERFORMA, PROSES PEMBAKARAN DAN NO<sub>x</sub> PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN DAN COLD EGR BERBASIS EKSPERIMEN*. SURABAYA: DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA.

Putri, S. K., Supranto, & Sudiyo, R. (2012). Studi Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa (Coconut Oil) dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Rekayasa Propes, Vol. 6. No. 1*.





























































## BIODATA PENULIS



**Adhittya Rhengga Saputra** adalah nama penulis Tugas Akhir ini. penulis lahir dari orang tua Supriyadi dan Muayanah sebagai anak terakhir dari dua bersaudara. Penulis dilahirkan di Semarang pada tanggal 24 Februari 1996. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari TK Puriananda, melanjutkan ke SDN Watu Golong 01, melanjutkan ke SMP AL-Islam Krian, melanjutkan ke jenjang selanjutnya di SMA AL-Islam Krian, dan melanjutkan jenjang diploma di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan program studi D3 Teknik Permesinan Kapal (*lulus tahun 2017*) hingga akhirnya bisa menempuh masa kuliah di S1- Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknologi Kelautan Surabaya. Dengan ketekunan dan

motivasi tinggi untuk terus belajar dan berusaha, penulis telah berhasil menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir ini. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini mampu memberikan kontribusi positif bagi dunia Pendidikan. Penulis mengambil bidang *Marine Power Plant* (MPP)

Akhir kata penulis mengucapkan rasa syukur yang sebesar-besarnya atas terselesaikannya Tugas Akhir ini yang berjudul **“Optimalisasi Cold Egr (Exhaust Gas Recirculation) Pada Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Terhadap Performa Dan Nox”**.