



TUGAS AKHIR – (ME184834)

OPTIMALISASI COLD EGR (EXHAUST GAS RECIRCULATION) PADA MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL TERHADAP PERFORMA DAN NO_x

Adhitya Rhengga Saputra
NRP 04211746000023

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



TUGAS AKHIR – (ME184834)

OPTIMALISASI COLD EGR (EXHAUST GAS RECIRCULATION) PADA MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL TERHADAP PERFORMA DAN NO_x

Adhitya Rhengga Saputra
NRP 04211746000023

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_x

Adhitya Rhengga Saputra
NRP 04211746000023

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

DEPARTEMENT 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_x
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 Iswantoro, ST., MT.

NIP. 1991201711050



SURABAYA, JANUARI 2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
OPTIMALISASI COLD EGR (EXHAUST GAS RECIRCULATION)
PADA MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL
TERHADAP PERFORMA DAN NOx
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 :

ADHITYA RHENGGGA SAPUTRA

NRP. 04211746000023



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 alternatif yang terbarukan seperti penggunaan biodiesel pada diesel *engine*. *Biodiesel* merupakan bahan bakar yang berasal dari tumbuh-tumbuhan seperti kelapa sawit yang bersifat renewable namun 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 penginginan pada EGR atau biasa 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 NOx B30 emissions, the lowest NOx 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 NOx B20 emissions, the lowest NOx 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 penggeraan 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

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Skripsi	2
1.5 Manfaat	2
BAB II	
DASAR TEORI	3
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 Pemcemaran Udara / Emisi	14
2.6 <i>Cold EGR</i> berdasarkan Penelitian	15
BAB III	
METODOLOGI PENELITIAN	17
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 NOx 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 NOx dari B20 disemua kondisi EGR pada RPM 2100	62
4.5.2 Perbandingan hasil NOx 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 EGR (Exhaust Gas Recirculation)</i>	7
2.6 Perencanaan <i>cold EGR (Exhaust Gas Recirculation)</i>	11
2.7 Perbandingan CO pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20	11
2.8 Perbandingan CO ₂ pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20	12
2.9 Perbandingan CO ₂ 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 Minya 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 EGR</i> terhadap SFOC.....	15
2.4 Perbandingan dan <i>cold EGR</i> terhadap daya dan <i>peak power</i>	15
2.5 Perbandingan dan <i>cold EGR</i> terhadap NOx pada beban 100%.....	15
2.6 Perbandingan dan <i>cold EGR</i> terhadap <i>Combustion Pressure</i> pada beban 100%	15
2.7 Penurunan suhu gas buang pada <i>cold EGR</i>	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 EGR</i> (<i>temperature intake 38 C</i>).....	30
4.5 SFOC pada 10% <i>cold EGR</i> (<i>temperature intake 40 C</i>).....	31
4.6 SFOC pada 10% <i>cold EGR</i> (<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 EGR</i> (<i>temperature intake 41 C</i>).....	34
4.9 SFOC pada 20% <i>cold EGR</i> (<i>temperature intake 42 C</i>).....	35
4.10 SFOC pada 20% <i>cold EGR</i> (<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 EGR</i> (<i>temperature intake 44 C</i>).....	38
4.13 SFOC pada 30% <i>cold EGR</i> (<i>temperature intake 45 C</i>).....	39
4.14 SFOC pada 30% <i>cold EGR</i> (<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 EGR</i> (<i>temperature intake 39 C</i>)	43
4.18 SFOC pada kondisi 10% <i>cold EGR</i> (<i>temperature intake 36 C</i>)	44
4.19 SFOC pada kondisi 10% <i>cold EGR</i> (<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 EGR</i> (<i>temperature intake 55 C</i>)	47
4.22 SFOC pada kondisi 20% <i>cold EGR</i> (<i>temperature intake 40 C</i>)	48
4.23 SFOC pada kondisi 20% <i>cold EGR</i> (<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 EGR</i> (<i>temperature intake 36 C</i>).	51
4.26 SFOC pada kondisi 30% <i>cold EGR</i> (<i>temperature intake 45 C</i>).	52
4.25 SFOC 30% <i>cold EGR</i>	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 NOx pada RPM 2100 di semua kondisi EGR	62
4.36 Grafik kadar NOx 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 NOx. NOx adalah gas yang dihasilkan dari proses pembakaran yang bersifat mencemari udara. NOx 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 NOx 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 NOx.

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 kekurang, yaitu apabila gas buang yang disirkulasikan kembali keruangan 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 dideingkan 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 keruangan bakar. Dan menurut hasil penelitian tersebut *cold* EGR dapat mereduksi NOx 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 terdapat 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 sebagai 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

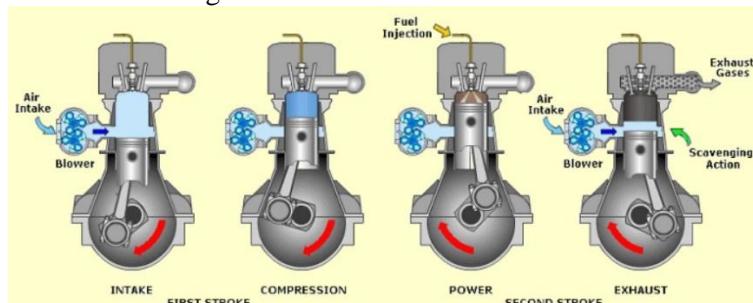
DASAR TEORI

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 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

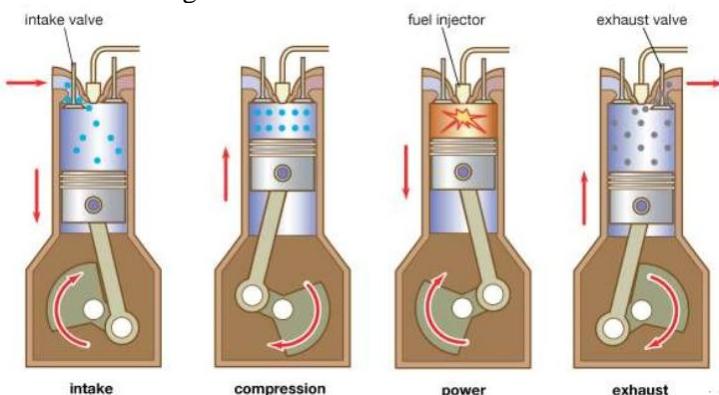
(sumber : http://www.railmotorsociety.org.au/rm_engine_diesel_page.htm)

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 injektor 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.

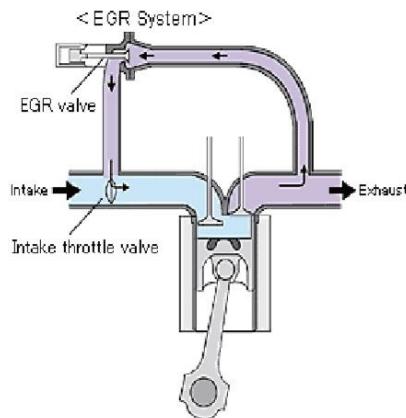
Langkah usaha (*power*), piston terdorong kuat dan bergerak dari TMA menuju TMB akibat dari terbakarnya bahan bakar pada langkah kompresi. Langkah buang (*exhaust*), dimana piston bergerak dari TMB menuju TMA. Saat ini piston berada di TMB, saat piston pada posisi beberapa derajat

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 NOx. Dikarenakan pada motor diesel hasil pembakaran terdapat kandungan emisi NOx yang susah terurai di udara bebas. Sehingga dari hasil pembakaran motor diesel dapat menyebabkan dampak yang buruk terhadap mahluk hidup dan sekitarnya (*Anugrah Des Putra, 2017*)

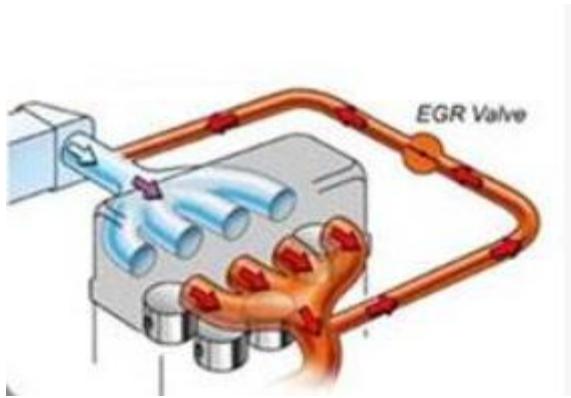
Untuk sistem dari EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) tersebut bekerja dengan mensirkulasikan kembali gas buang kedalam ruang bakar. Gas buang yang berasal dari *exhaust* akan dimanfaatkan kembali dan hanya digunakan sekitar 10%-30% yang akan disalurkan ke *inlet manifold*, yang mana penggunaan 10%-30%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



Gambar 2.3 Sitem 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 :

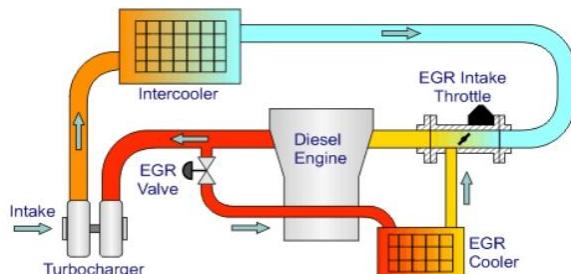
- Memiliki panas spesifik, dimana panas tersebut didapat dari *exhaust*. Panas tersebut berguna untuk melakukan siklus pada motor diesel, secara tidak langsung panas tersebut akan mengurangi keterlambatan pembakaran (*ignition delay*) (Jaffar Hussain dkk, 2012).
- Apabila penggunaan gas buang yang disirkulasikan 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 NOx, NOx terbentuk karena adanya oksigen dan nitrogen yang bertemu pada temperatur 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 temperatur nyala didalam ruang bakar akan berkurang sehingga NOx 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 keruangan bakar dan berimbang pada penurunan performa.
- Menurut hasil penelitian Anugrah Des Putra (2017), pabila 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.dieselnet.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.

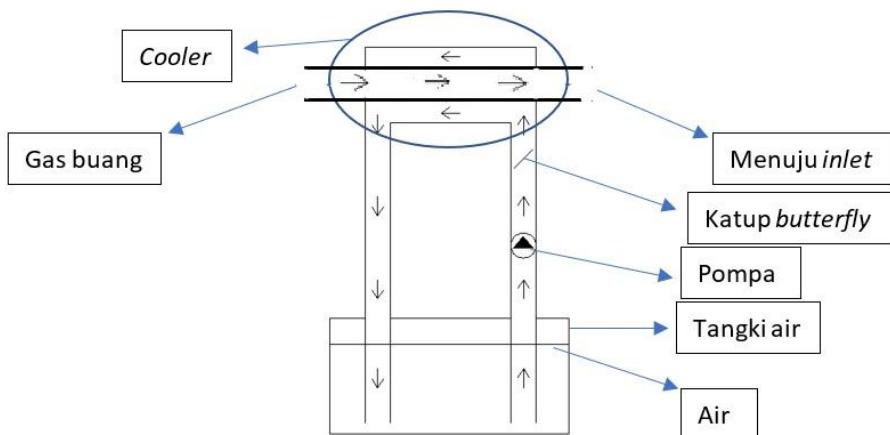
Keuntungan :

- 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 keruangan bakar yang akan berdampak terdajinya kerapatan oksigen dan oksigen yang masuk ke ruang bakar akan lebih banyak.
- *Cold EGR* mereduksi lebih banyak NOx jika dibandingkan dengan *EGR* pada bukaan katup yang sama. Hal ini dikarenakan adanya pendinginan terlebih dahulu yang akan berimbang pada penurunan temperatur nyala dalam ruang bakar meskipun oksigen yang masuk kedalam 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 tanki 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 tanki 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

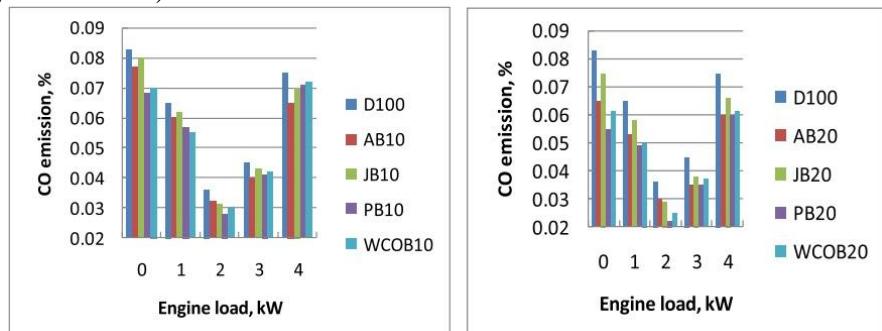
No.	Parameter Uji	Satuan	Persyaratan	Metode uji
1	Massa jenis pada 40°C	Kg/m ³	850-890	ASTM D 1298 atau ASTM D 4052
2	Viskositas kinematik pada 40°C	Mm ² /s (cST)	2,3 – 6,0	ASTM D 445
3	Angka setana	Min	51	ASTM D 613 atau ASTM D 6890
4	Titik nyala	°C, min	100	ASTM D 93
5	Titik kabut	°C, maks	18	ASTM 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 khususnya pada motor diesel. Terdapat beberapa komponen emisi yang dihasilkan dari motor diesel antara lain:

2.5.1 Karbon Monoksida (CO)

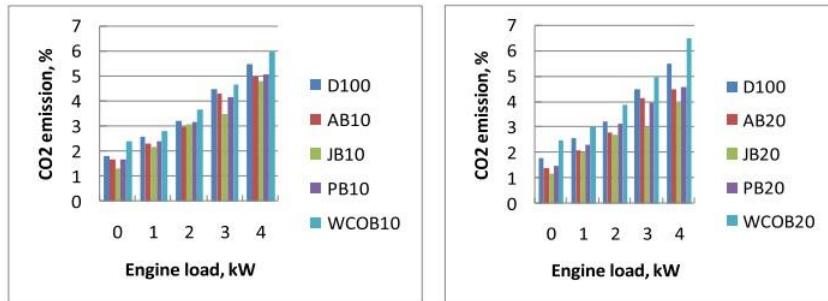
Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Maka dari itu suatu lingkungan yang sudah tercemar oleh karbon monoksida tidak dapat terlihat dan dirasakan. Apabila seseorang yang terpapar dalam waktu yang melebihi toleransi maka akan merusak kesehatan bahkan kematian. 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 (CO₂)

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

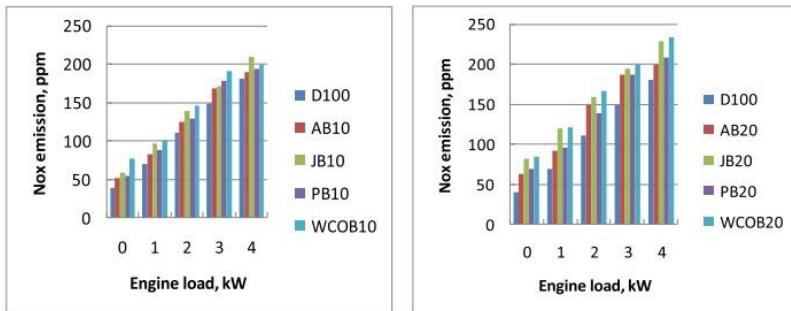


Gambar 2.8 Perbandingan CO₂ pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20

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

2.5.3 Nitrogen Monoksida (NOx)

Nitrogen Monoksida merupakan gas yang tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak terbakar. NOx pada umumnya dihasilkan dari motor pembakaran dalam khususnya pada motor diesel. Dimana NOx terbentuk akibat reaksi dari oksigen dan nitrogen yang bereaksi pada temperatur tinggi khusunya pada ruang bakar. Menurut hasil penelitian K.A. Abed dkk (2019) NOx 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 NOx

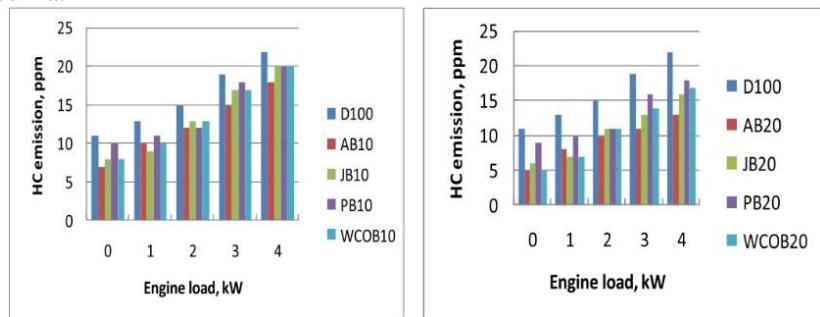


Gambar 2.9 Perbandingan NOx pada motor diesel berbahan bakar diesel konvensional, B10, dan B20

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

2.5.4 Hidrokarbon (HC)

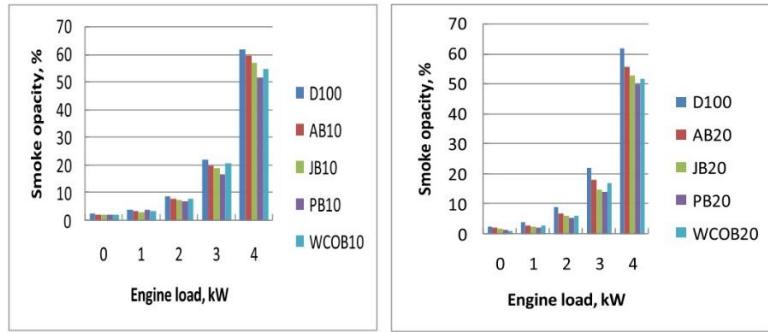
Hidrokarbon adalah suatu gas yang dihasilkan pada motor bakar dalam khususnya pada motor diesel yang bersifat mencemari udara. Hidrokarbon terbentuk dikarenakan pembakaran yang tidak sempurna pada motor bakar dalam khususnya motor diesel yang sudah berumur. Ketidak sempurnaan dalam pembakaran disebabkan 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 berpenggerak motor diesel. Dapat dilihat pada pengoperasian pada motor diesel terdapat asap berwana 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
Density at 15,56 °C	829	845	835	835	833	855,8	856,4	843,8	840,5	Kg/m ³
Kinematic visco at 40 °C	2,8	5,2	3,5	2,82	2,49	2,98	2,85	4,8	3,31	Mm ² /s (cst)
Flash Point	75	88	83	71,5	69	60	69	90	83	°C
Heating Value	42000	40000	41500	41206	41780	43953	47,021	37866	40017	Kj/kg
Cetane number	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 2.3 Perbandingan dan *cold* EGR terhadap SFOC
Sumber : (*Anugrah Des Putra, 2017*)

No	RPM	SFOC 0% EGR	SFOC 10% EGR	SFOC 10% <i>COLD</i> EGR	SFOC 20% EGR	SFOC 20% <i>COLD</i> EGR	SFOC 30% EGR	SFOC 30% <i>COLD</i> EGR	SATUAN
1.	1800	321,18	288,31	216,02	343,15	250,10	394,88	312,98	gr/kWh
2.	1900	328,62	301,99	260,99	333,54	275,31	408,81	327,01	gr/kWh
3.	2000	340,68	285,95	290,36	325,09	295,05	416,96	285,18	gr/kWh
4.	2100	340,29	297,94	297,88	315,68	325	398,40	328,22	gr/kWh
5.	2200	353,68	320,69	308,72	326,54	331,69	382,52	361,93	gr/kWh

Tabel 2.4 Perbandingan dan cold EGR terhadap Daya dan Peak Power
Sumber : (Anugrah Des Putra, 2017)

No	Daya 0% EGR	Daya 10% EGR	Daya 10% <i>COLD</i> EGR	Daya 20% EGR	Daya 20% <i>COLD</i> EGR	Daya 30% EGR	Daya 30% <i>COLD</i> EGR	SATUAN
1.	4,48	4,5	4,5	4,03	4,09	2,1	4,05	kW
2.	2200	2200	2100	2100	2100	2200	2100	RPM

Tabel 2.5 Perbandingan dan cold EGR terhadap NOx pada beban 100%
Sumber : (Anugrah Des Putra, 2017)

Tabel 2.6 Perbandingan dan *cold EGR* terhadap *Combustion Pressure* pada beban 100%

Sumber : (*Anugrah Des Putra, 2017*)

Tabel 2.7 Penurunan suhu gas buang pada *cold* EGRSumber : (*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 pembanding 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 meanol 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 laturan 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°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°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. Prosses pengendapan dilakukan kurang lebih 24 jam



Gambar 3.3 proses pengendapan

d. Proses buble

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 dilkakan pengeringan dengan cara memanaskan biodiesel hingga 100°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°C. sehingga dihasilkan biodiesel yang murni. Biodiesel yang murni tersebut dapat disebut B100



Gambar 3.6 proses pengeringan

g. Pembuatan B20 dan B30

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

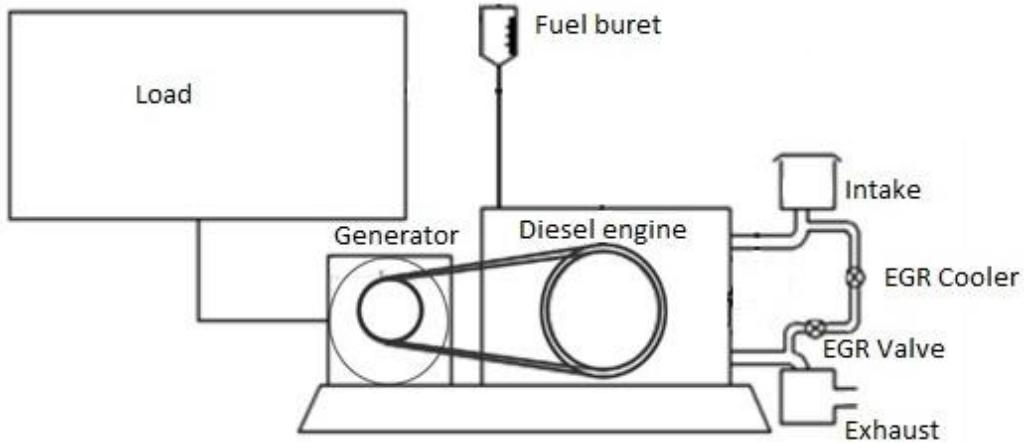
3.5 Engine Set up

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)

ρ' = Massa jenis fluida (manometer) (Kg/m^3)

Δh = Beda ketinggian fluida (manometer) (m)

ρ = Massa jenis fluida (EGR) (Kg/m^3)

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

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

Dimana :

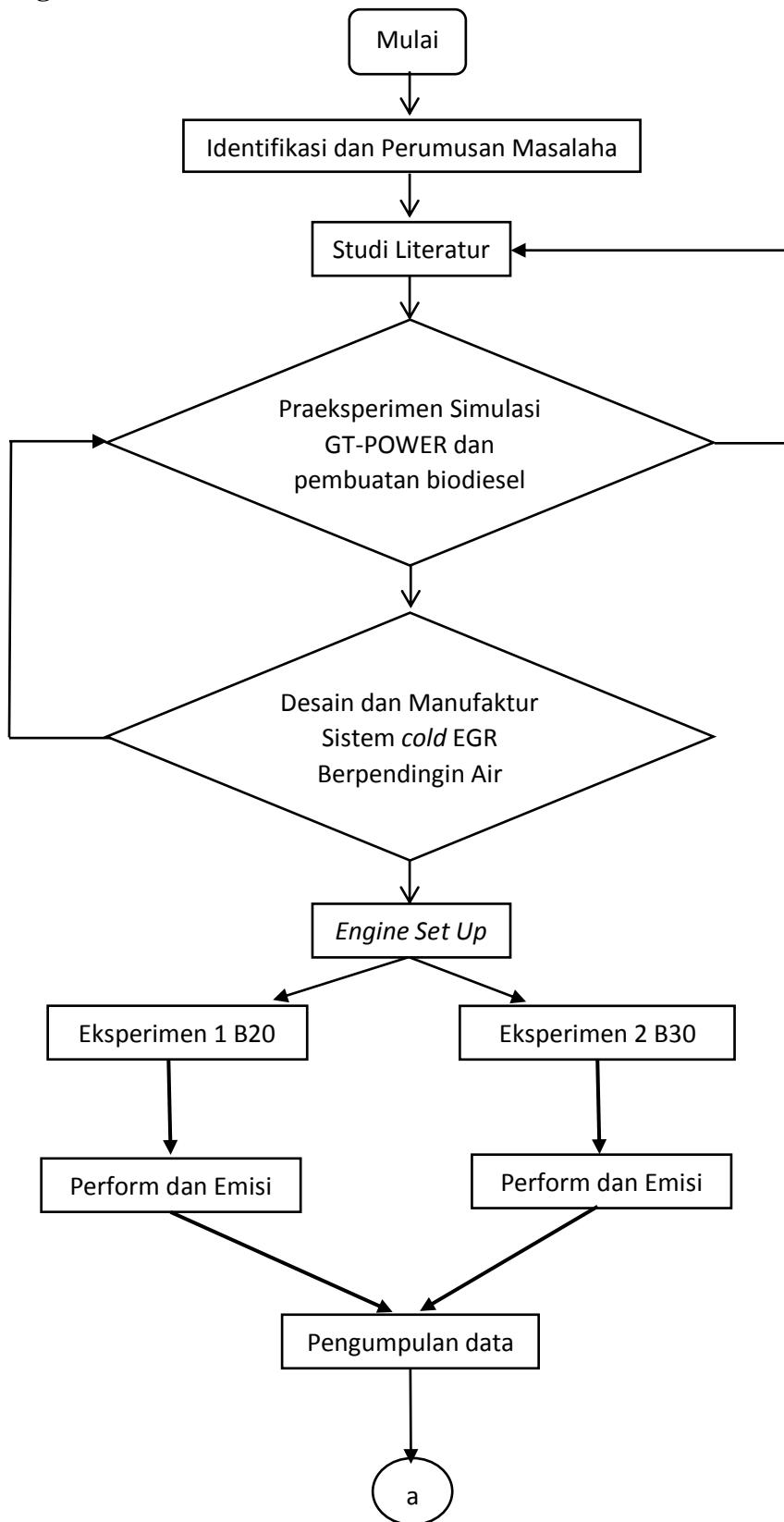
\dot{m} = Massa kecepatan alir (Kg/s)

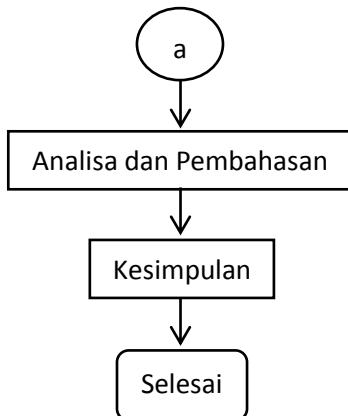
ρ = Massa jenis fluida (EGR) (Kg/m^3)

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 refensi 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 pengubahan 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 ² /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 *cold EGR*

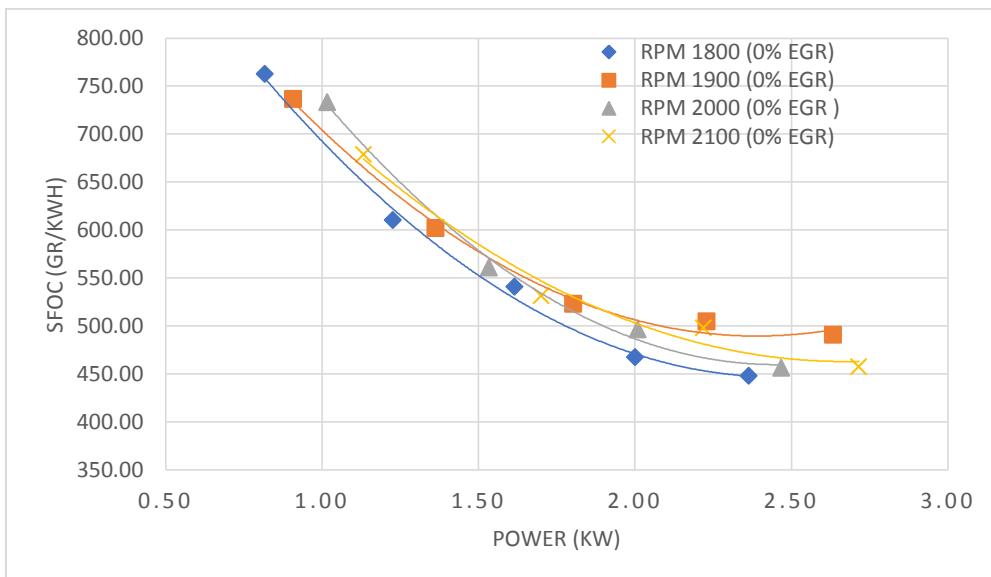
Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan akan dilakukan perbandingan di setiap RPM, penggunaan jenis bahan bakar, dan juga kondisi disetiap bukaan katup EGR. Pemaparan hasil eksperimen akan dipaparkan secara grafik dan tabel.

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

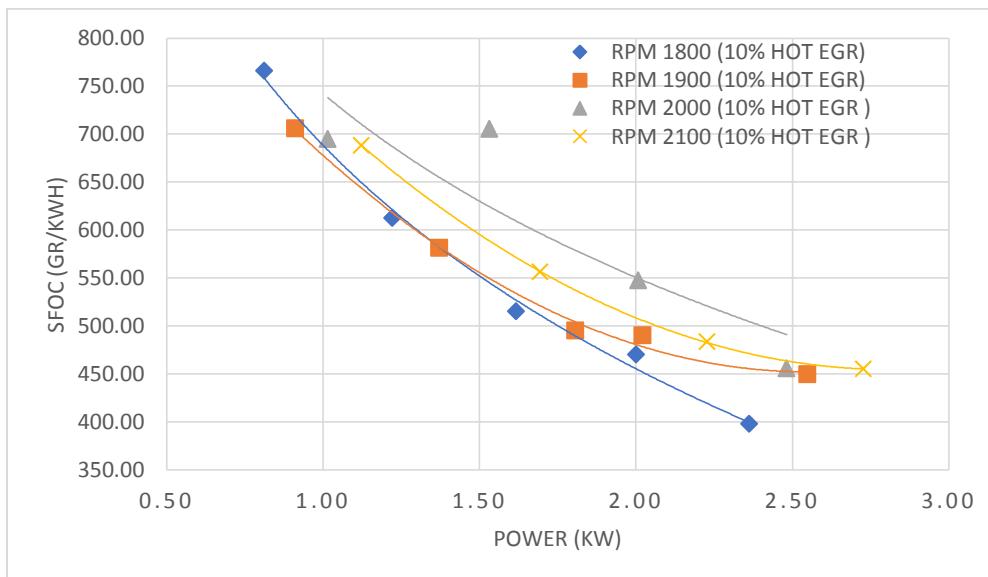
Pada kondisi 0% merupakan sebagai acuan awal pengambilan data tanpa menggunakan EGR. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 447,42 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SF0C 490,65 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SF0C 455,90 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SF0C 457,18 gr/kWh. 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*)

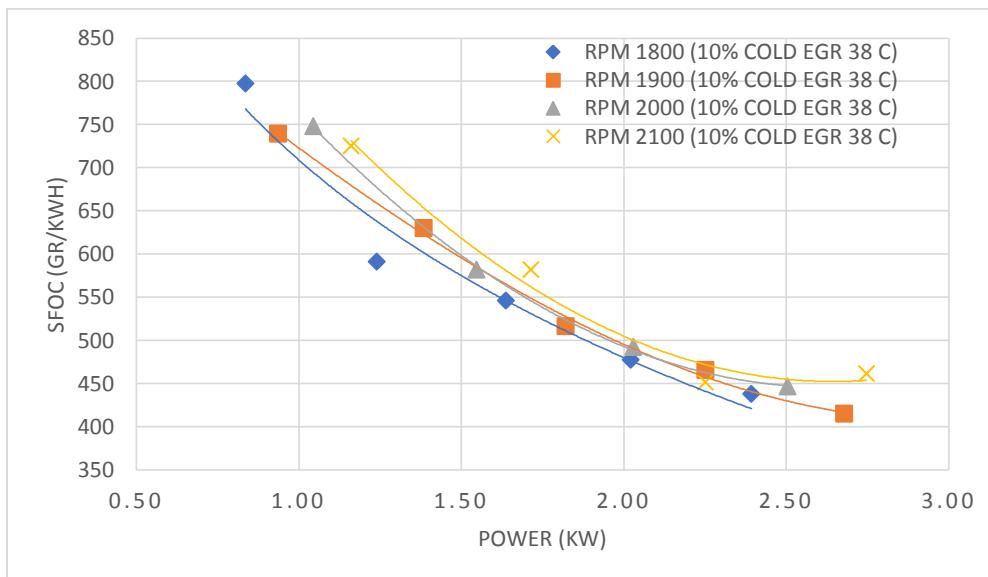
Pada kondisi 10% EGR 51 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 397.81 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 449.47 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 476.38 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 433,38 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

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*)

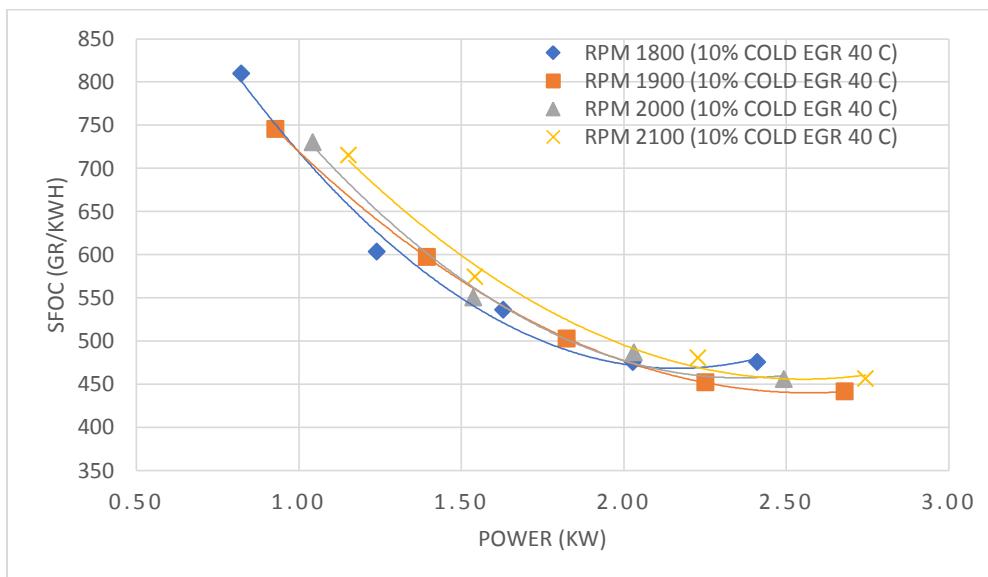
Pada kondisi 10% *Cold EGR* 38 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 437.67 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 414,54 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 457.21 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 459.91 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

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*)

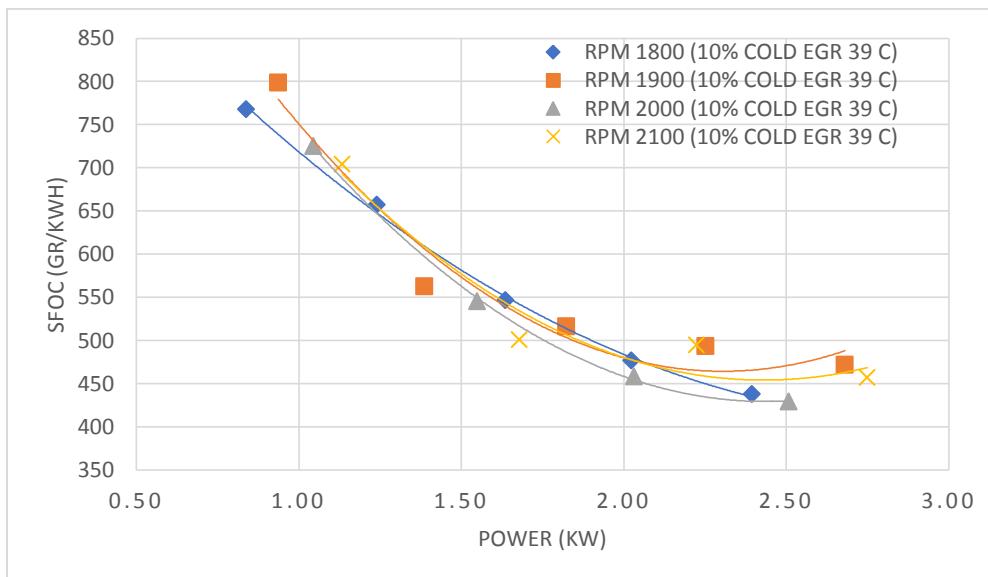
Pada kondisi 10% *Cold EGR* 38 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 475.12 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 441.06 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 459.28 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 460.44 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

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*)

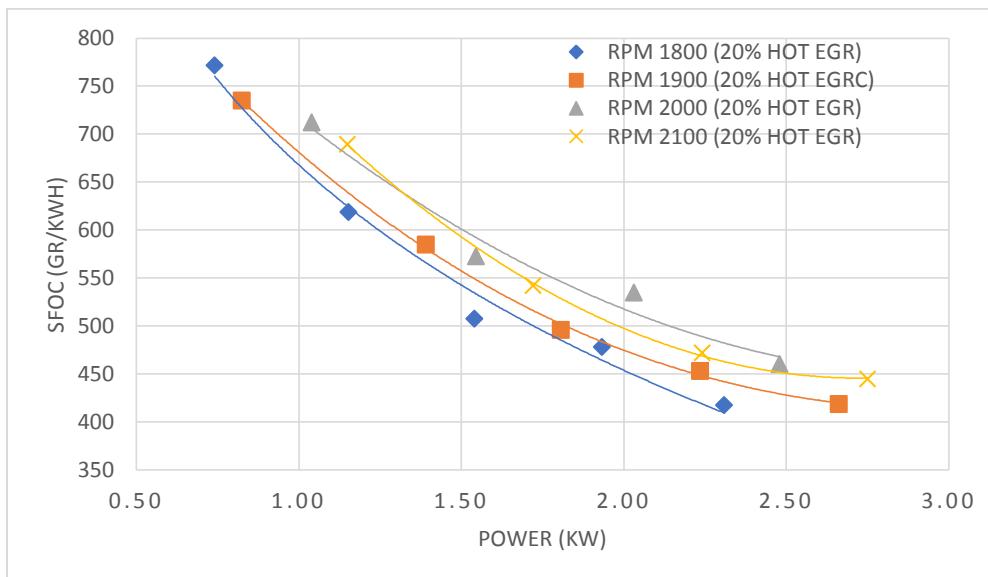
Pada kondisi 10% *Cold EGR* 39 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 437.42 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 471.47 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 429.89 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 470.89 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

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*)

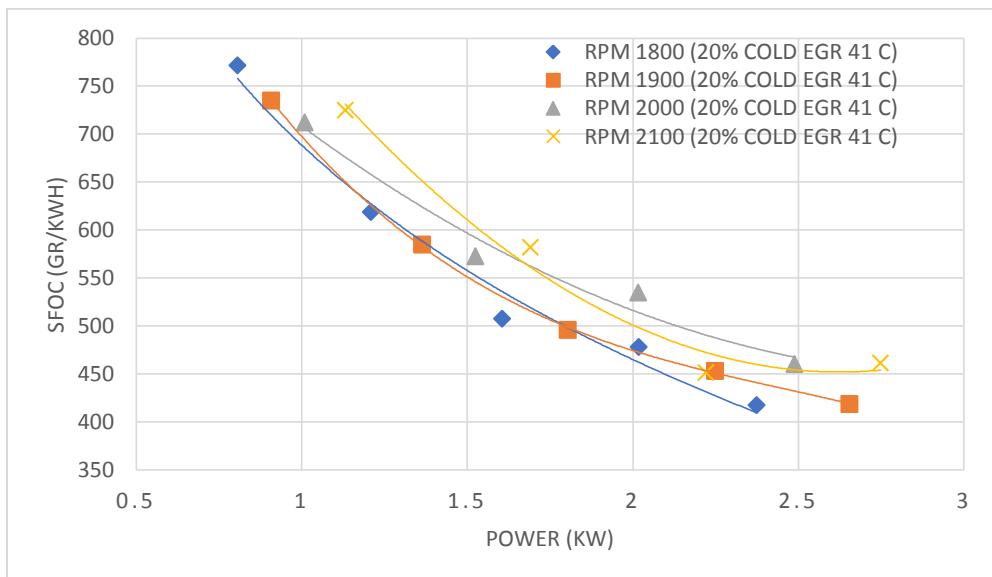
Pada kondisi 20% EGR 60 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 417.24 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 418.39 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 460.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 444.58 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

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)*

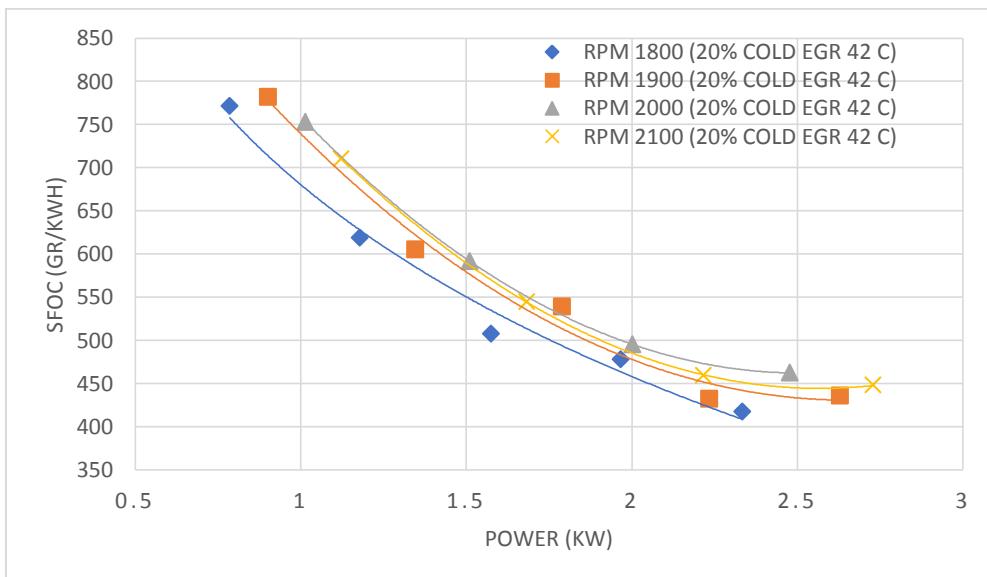
Pada kondisi 20% EGR 60 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 417.24 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 418.39 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 460.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 444.58 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

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*)

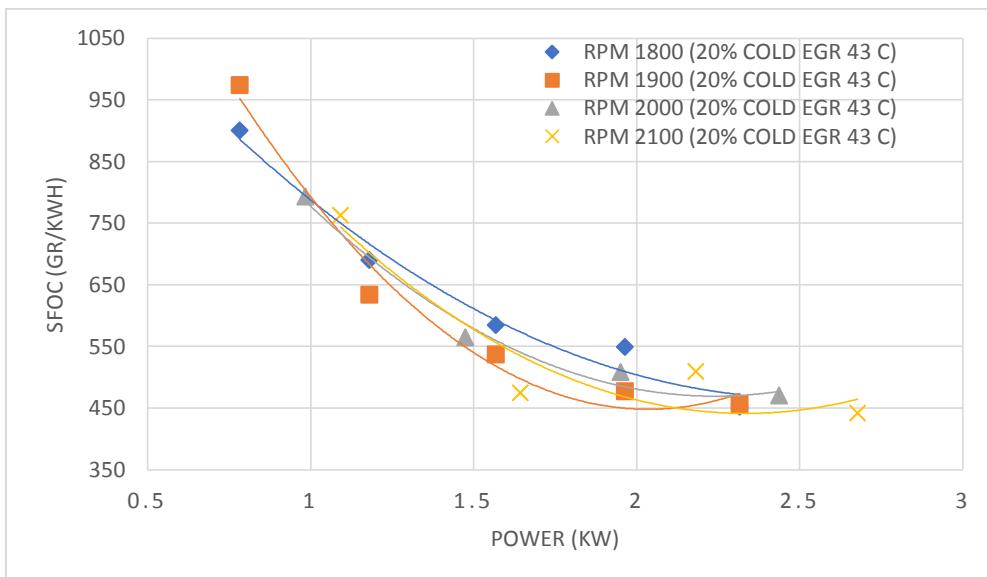
Pada kondisi 20% *Cold EGR* 42 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 448.76 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 431.74 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 462.26 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 447.70 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

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*)

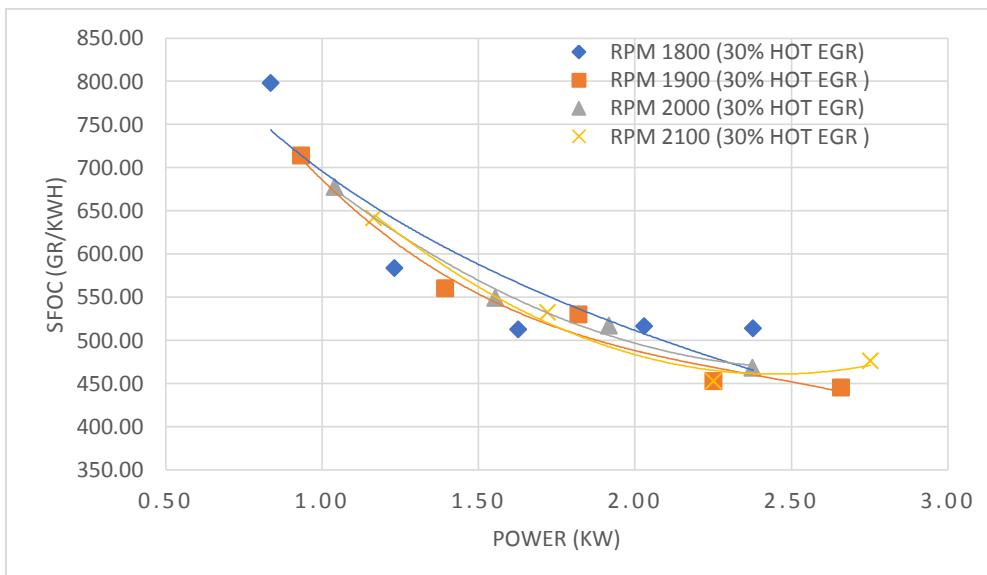
Pada kondisi 20% *Cold EGR* 43 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 452.08 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 456.16 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 496.93 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 441.70 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

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*)

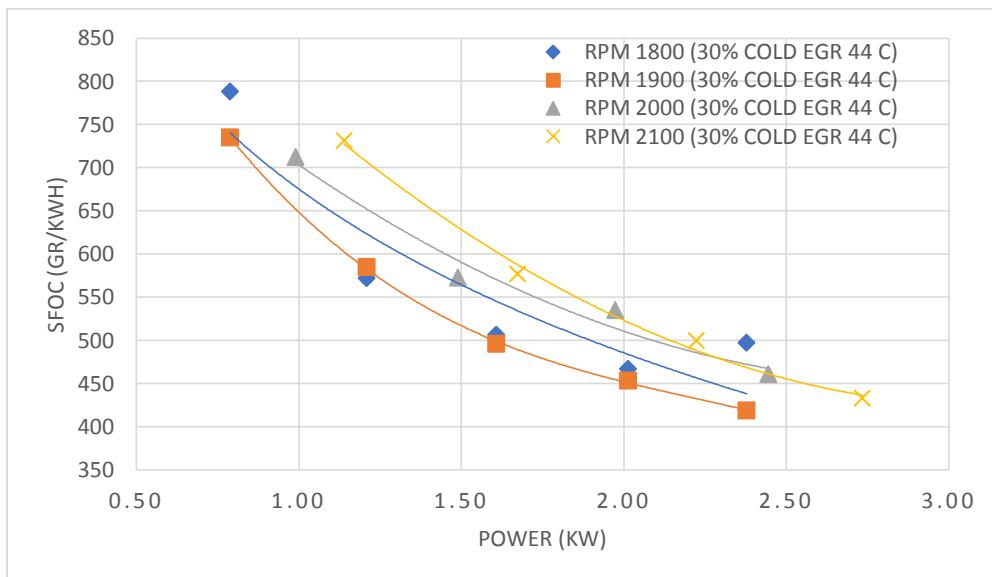
Pada kondisi 30% EGR 76 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 512.07 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 444.64 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 467.55 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 452.29 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

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*)

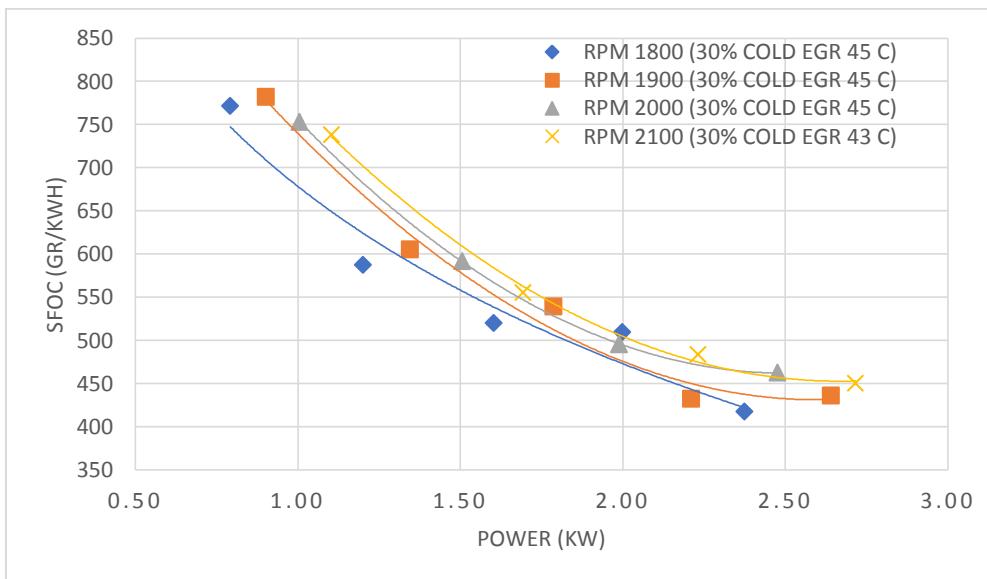
Pada kondisi 30% *Cold EGR* 44 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 466.69 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 397.70 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 454.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 432.27 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

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*)

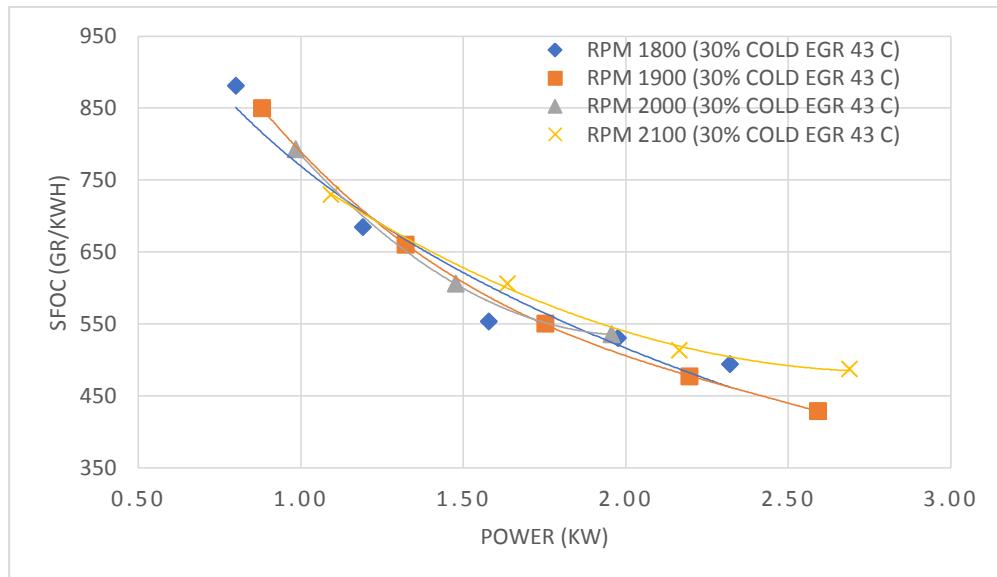
Pada kondisi 30% *Cold EGR* 45°C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 417.17 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 408.16 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 448.50 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 482.97 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% power.

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*)

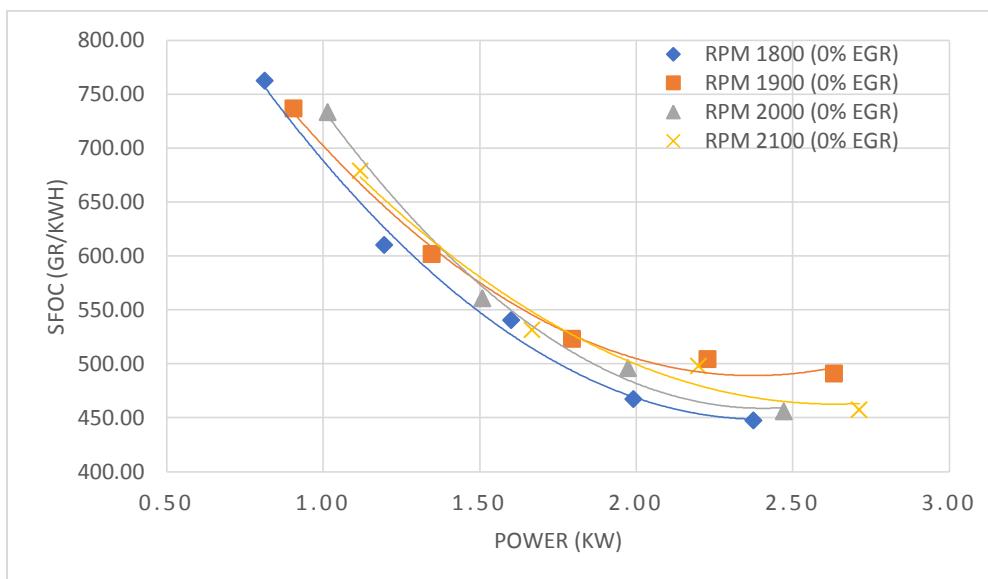
Pada kondisi 30% *Cold EGR* 43 C. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 493.59 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan 428.47 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 458.39 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 486.89 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

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

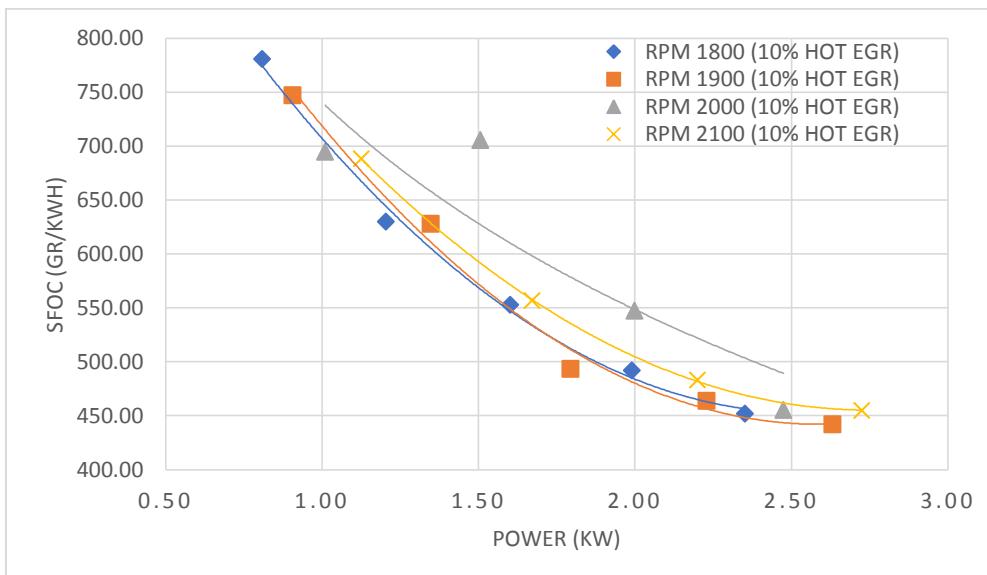
Pada kondisi 0% merupakan sebagai acuan awal pengambilan data tanpa menggunakan EGR. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 447,42 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 490,65 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 455,90 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 457,18 gr/kWh.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

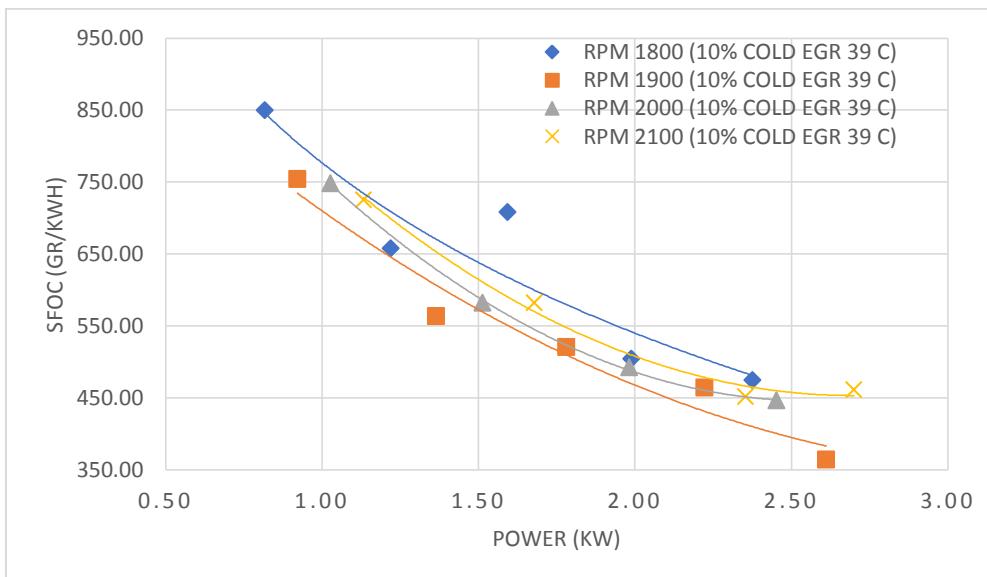
Pada kondisi 10% EGR (*Temperature intake 50 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 415,87 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 441,66 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 455,28 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 454,87 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk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

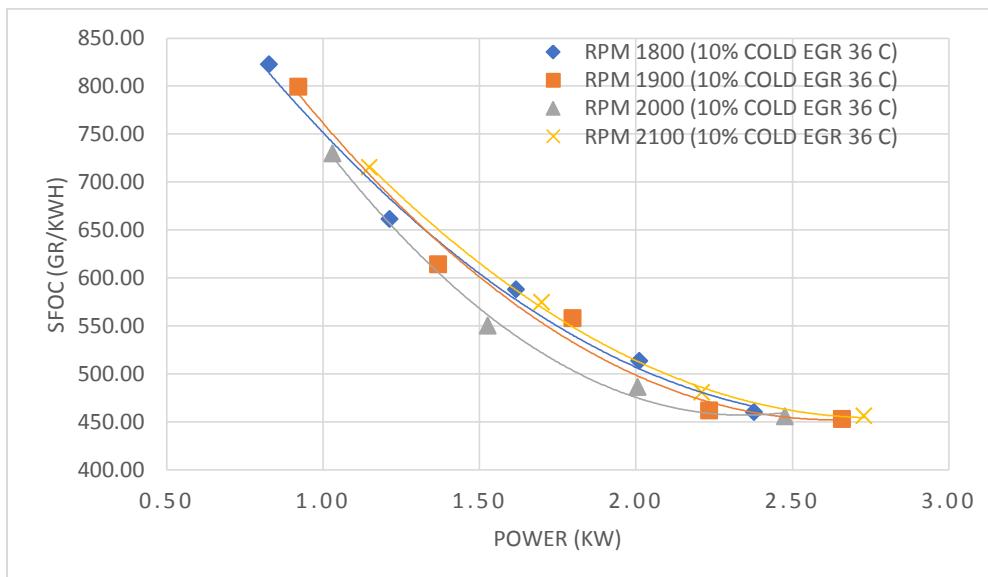
Pada kondisi 10% *cold EGR*. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 489,00 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 374,83 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 459,48 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 474,95 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk menentukan 100% *power*.

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*)

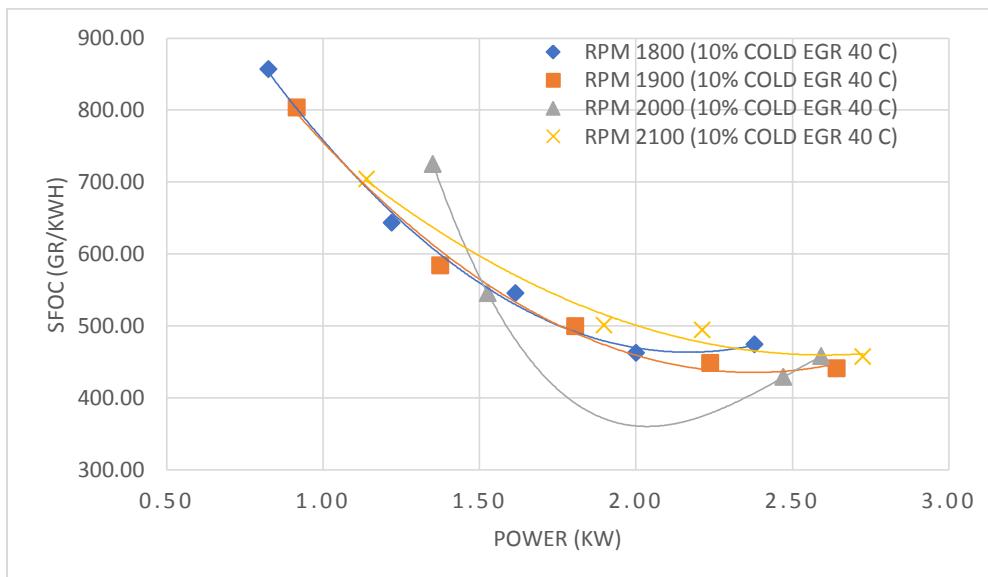
Pada kondisi 10% cold EGR (*Temperature intake 36 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 473,97 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 466,16 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 469,92 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 469,92 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan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

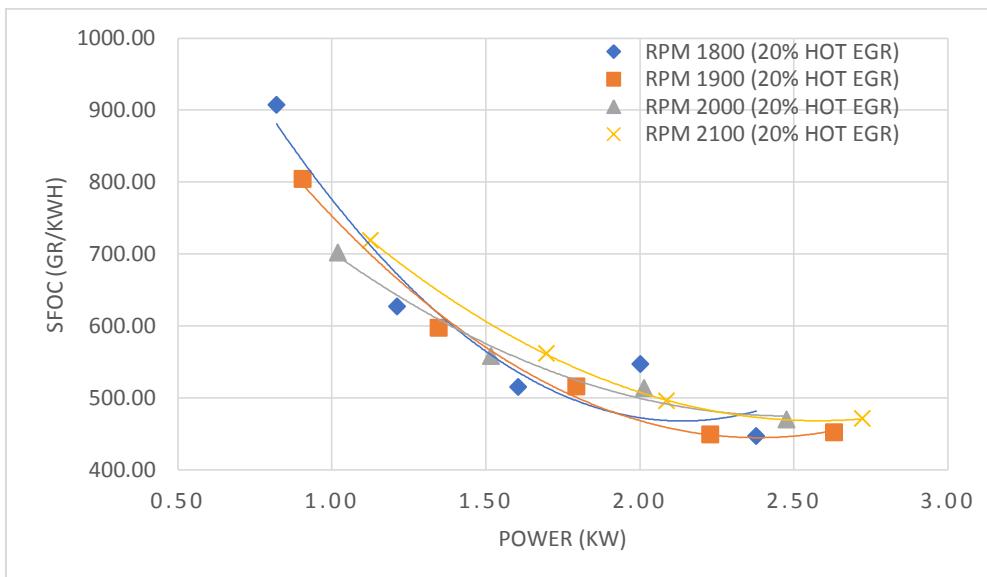
Pada kondisi 10% cold EGR (*Temperature intake 40 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 476,46 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 461,56 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 441,56 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 470,43 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan 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*)

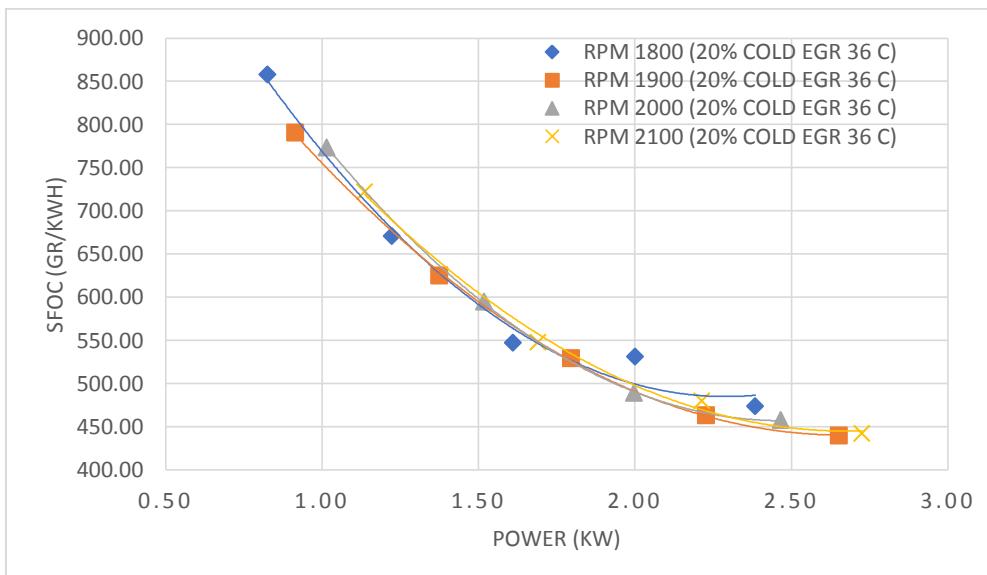
Pada kondisi 20% EGR (*Temperature intake 53 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 446.75 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 448.85 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 469.29 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 470.97 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk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

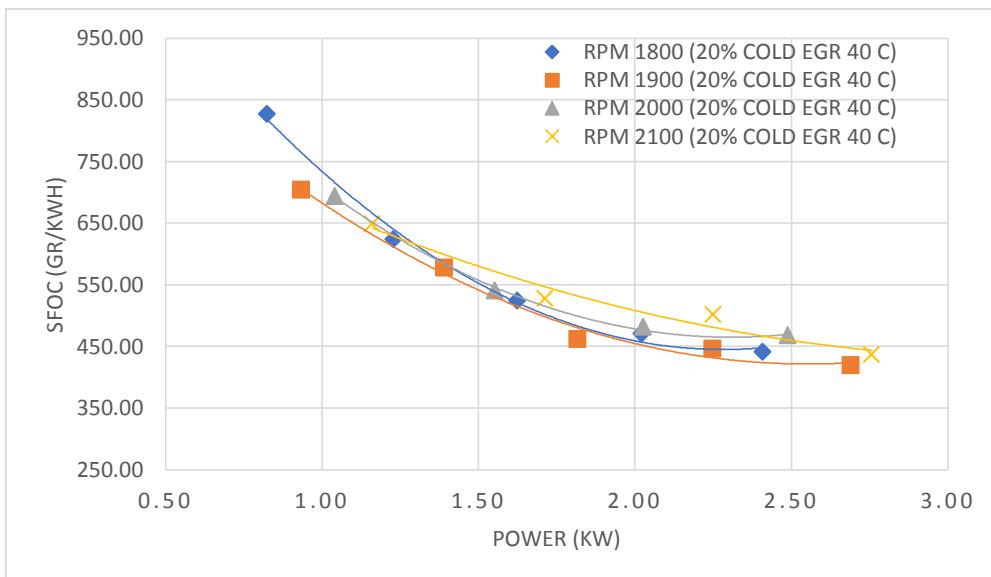
Pada kondisi 20% *cold EGR (Temperature intake 53 C)*. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 487.51 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 452.42 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 471.21 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 454.91 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan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

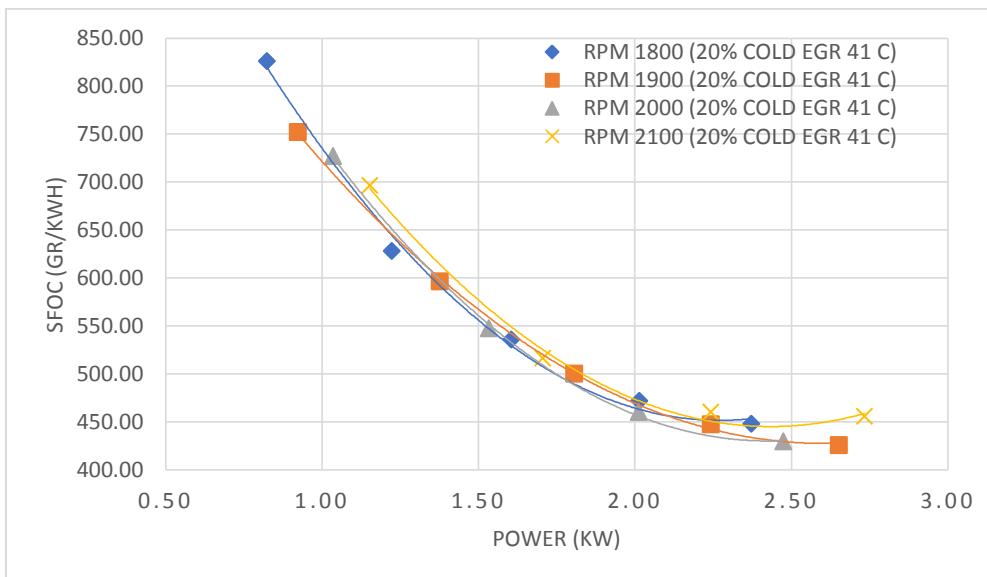
Pada kondisi 20% *cold EGR (Temperature intake 40 C)*. Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 487.51 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 452.42 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 481.95 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 449.66 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan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

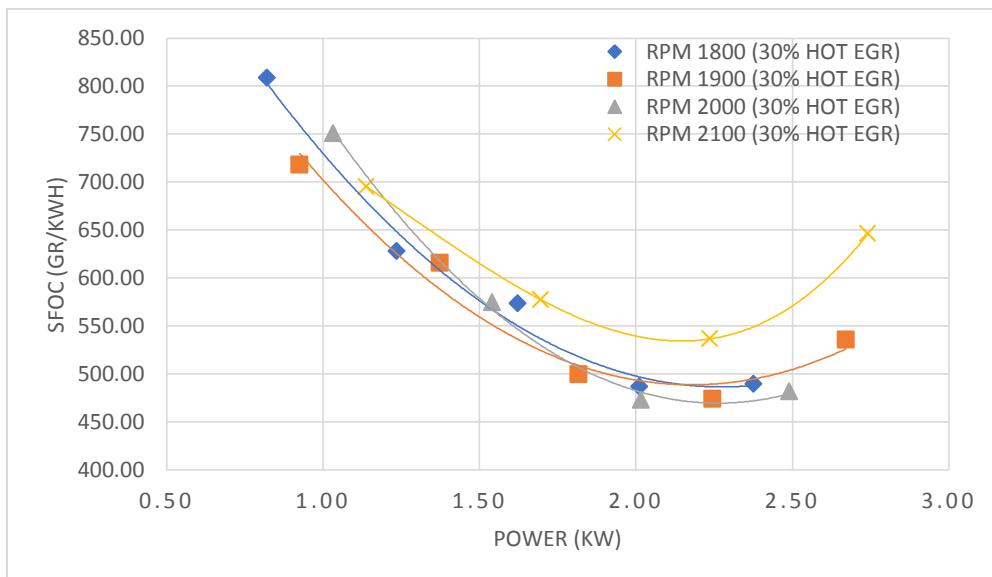
Pada kondisi 20% *cold EGR* (*Temperature intake 41 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 461.18 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 438.11 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 442.00 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 469.09 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan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

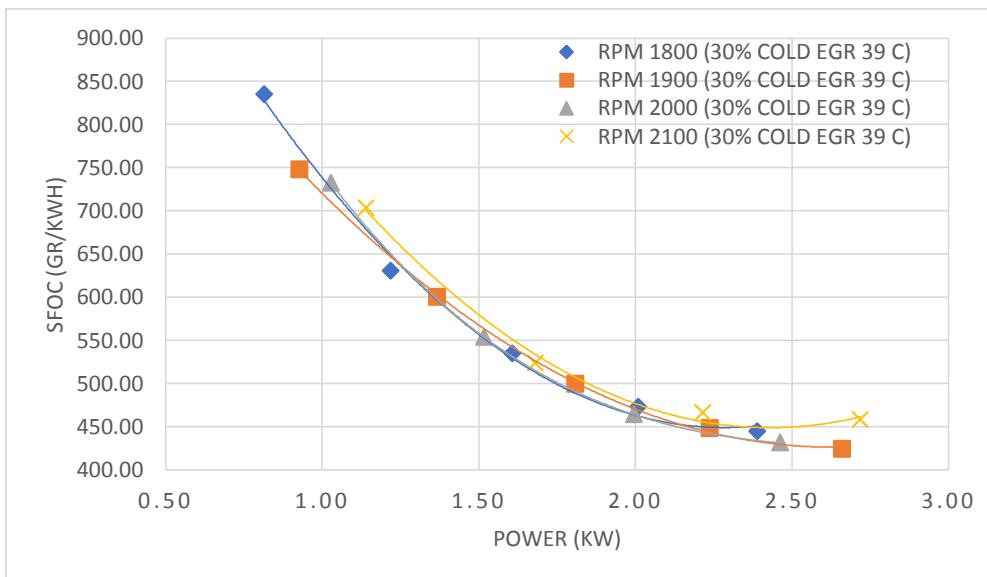
Pada kondisi 30% EGR (*Temperature intake 53 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 486.78 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 473.54 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 472.81 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 536.37 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan untuk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

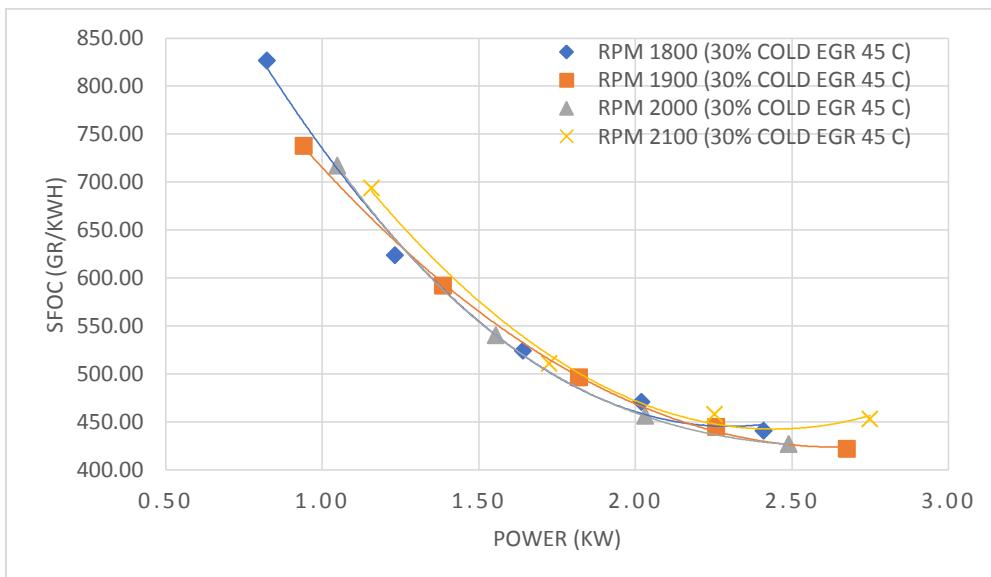
Pada kondisi 30% *cold* EGR (*Temperature intake 36 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 457.81 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 436.84 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 444.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 471.74 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan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

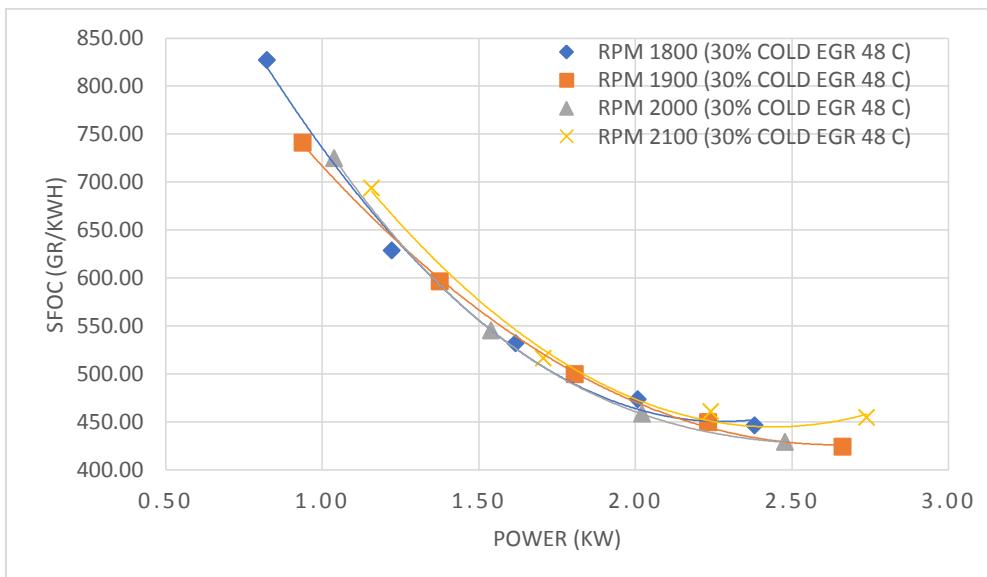
Pada kondisi 30% *cold* EGR (*Temperature intake 45 C*). Titik SFOC terendah pada masing-masing RPM yaitu, pada RPM 1800 dengan SFOC 457.81 gr/kWh, pada RPM 1900 dengan SFOC 436.84 gr/kWh, pada RPM 2000 dengan SFOC 444.09 gr/kWh, dan pada RPM 2100 dengan SFOC 439.21 gr/kWh. Titik SFOC terendah merupakan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

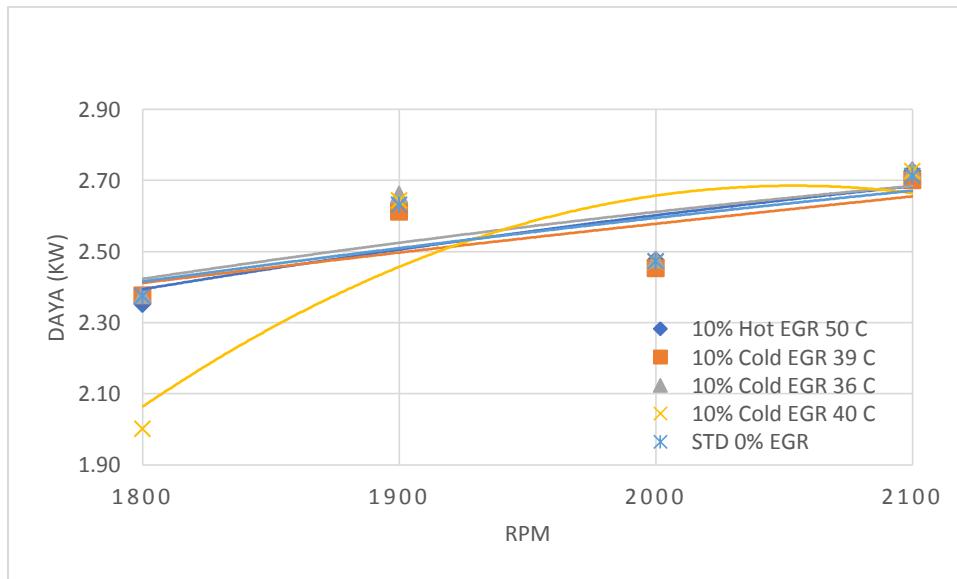
Dari hasil eksperimen yang telah dilaksanakan. Akan dilakukan perbandingan di setiap RPM, penggunaan jenis bahan bakar, dan juga kondisi disetiap bukaan katup EGR. Pemaparan hasil eksperimen akan dipaparkan secara grafik dan tabel.

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

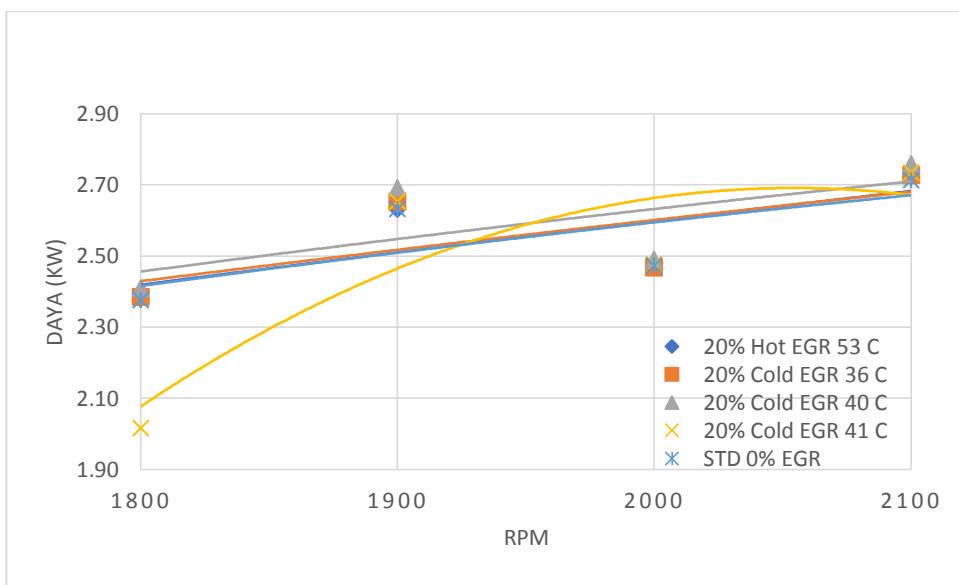
4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 10% EGR pada pendinginan temperature *intake* 36 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.38 kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.66 kW, pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.48 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.73 kW.

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

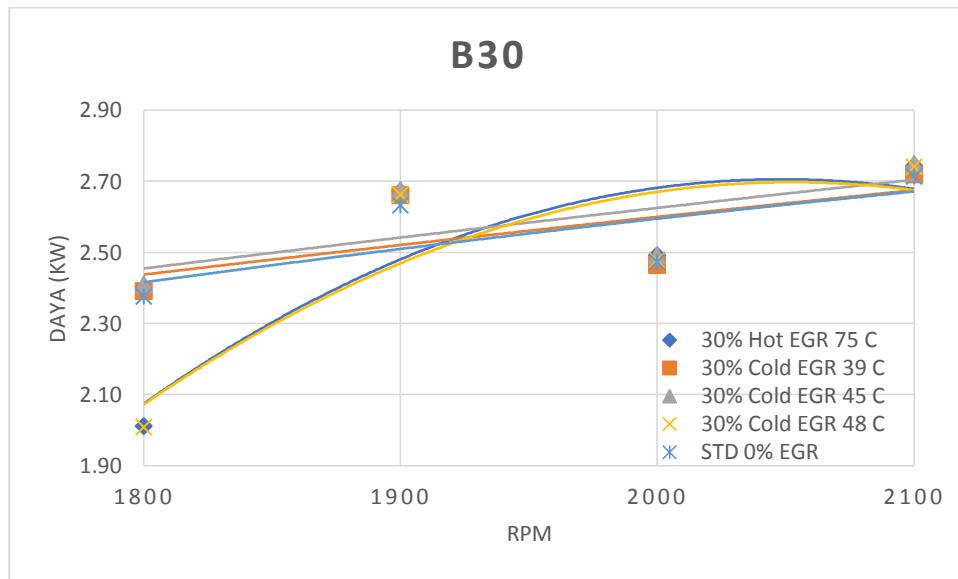
kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.69 kW, pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.76 kW.

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 subbab 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,

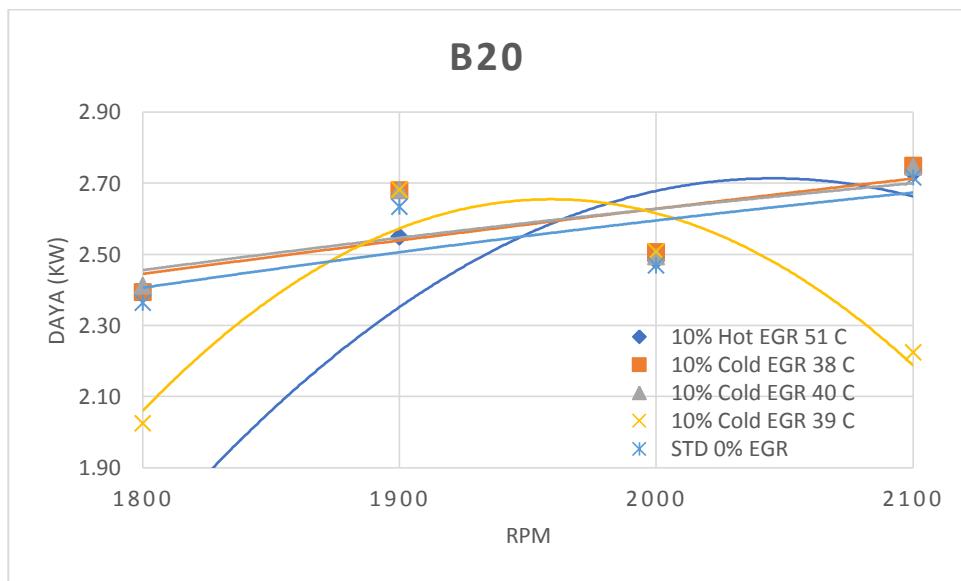
pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.75 kW.

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,

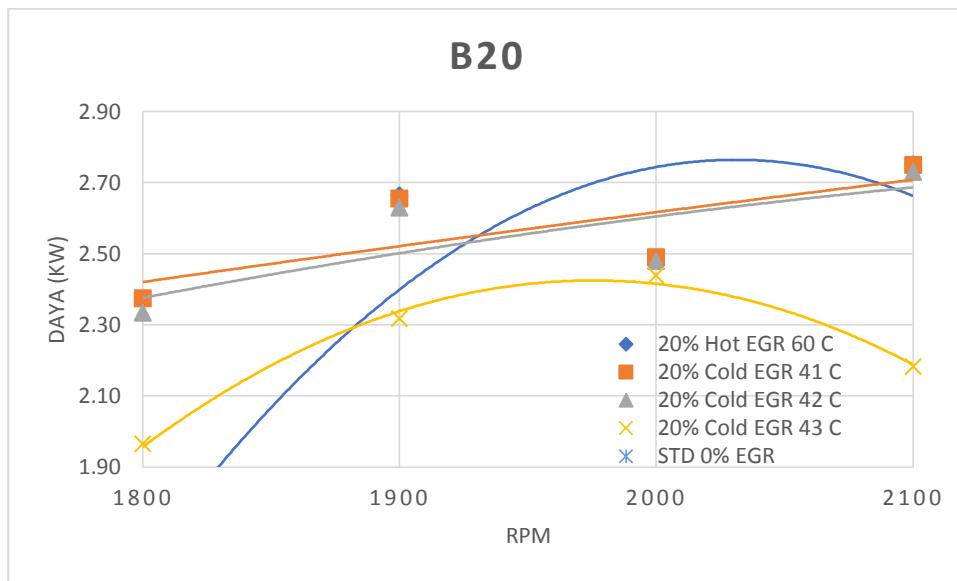
pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.74 kW.

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 subbab 4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 20% EGR pada pendinginan temperatur *intake* 41 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.37 kW, pada RPM 1900 menghasilkan daya 2.65 kW,

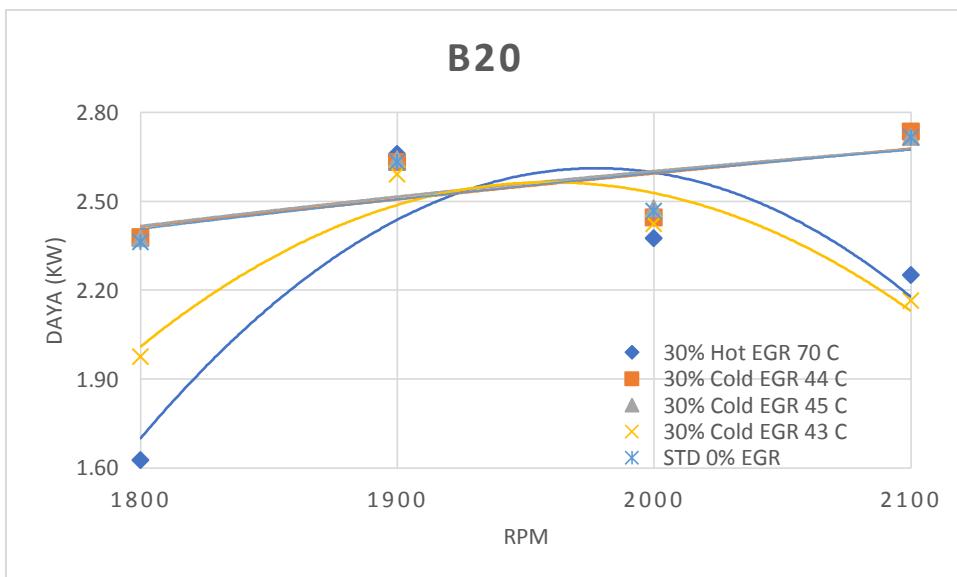
pada RPM 2000 menghasilkan daya 2.49 kW, dan pada RPM 2100 menghasilkan daya 2.75 kW.

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%

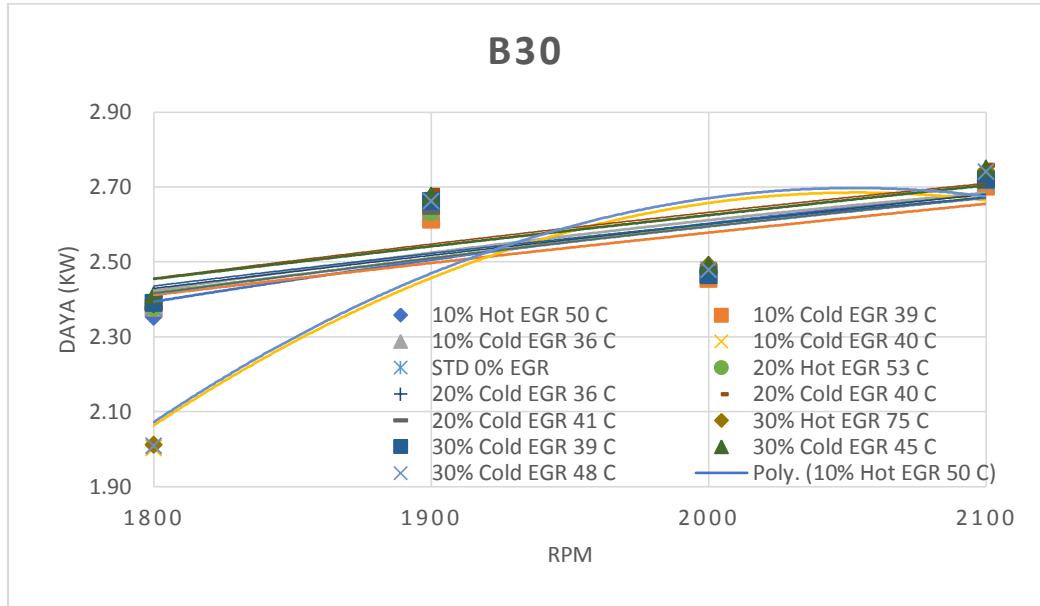
Pada kondisi B20 EGR 20%. Pada tabel dan grafik diatas merupakan 100% *Power* berdasarkan pada titik SFOC terendah yang terdapat pada subab 4.2. Dari hasil diatas daya optimal didapat pada 20% EGR pada pendinginan temperature *intake* 41 C. Dimana pada RPM 1800 menghasilkan daya 2.37 kW, pada RPM 1900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

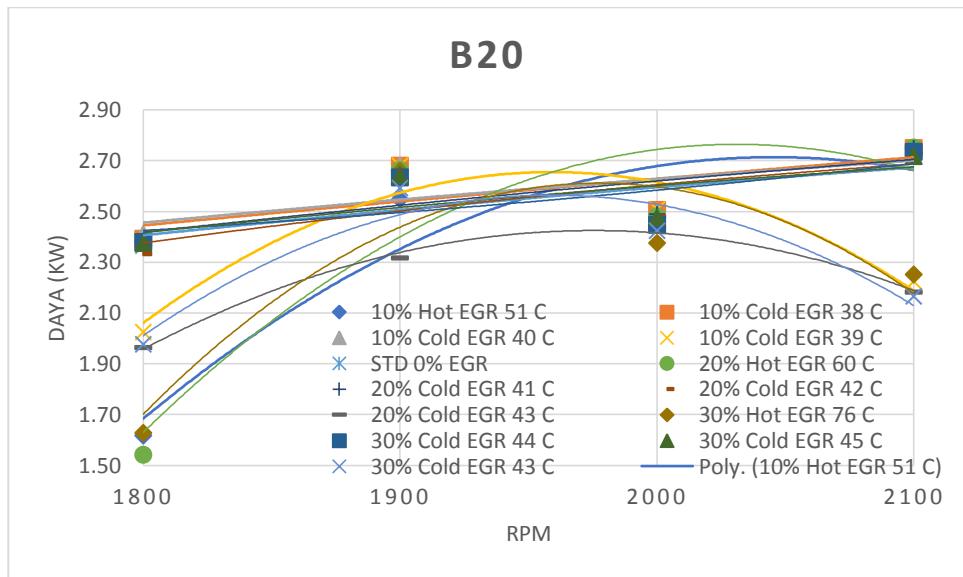


Gambar 4.33 Grafik Daya pada kondisi semua EGR B30

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



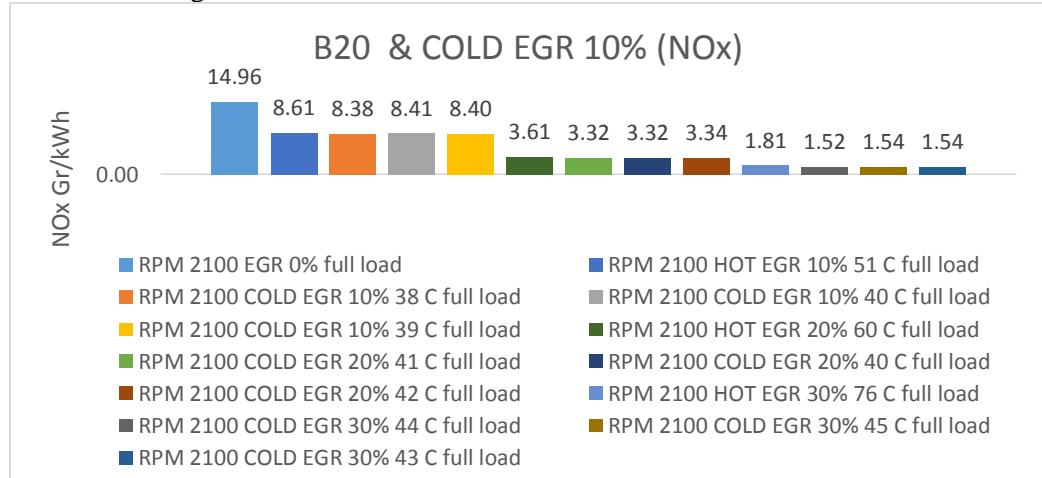
Gambar 4.34 Grafik Daya pada kondisi semua EGR B20

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 RMP 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



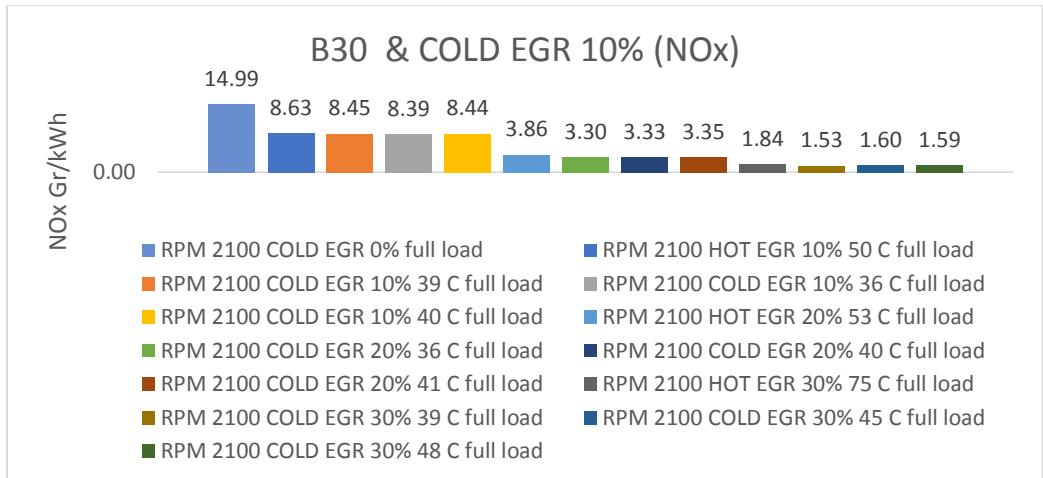
Gambar 4.35 Grafik kadar NOx pada RPM 2100 di semua kondisi EGR

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 diesel 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 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 diesel 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 NOx yang dihasilkan setelah dilakukan pemasangan *cold EGR*. Titik terendah dari kadar NOx 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_x PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN COLD EGR SPIRAL TUBE BERBASIS EKSPERIMENT*. 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_x, 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_x PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN DAN COLD EGR BERBASIS EKSPERIMENT*. 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.

LAMPIRAN

B30 0% EGR

B30 10% HOT EGR

B30 20% HOT EGR

B30 30% HOT EGR

B20 0% EGR

B20 10% HOT EGR

B20 20% HOT EGR

B20 30% HOT EGR

B30 10% COLD EGR NO 1

B30 10% COLD EGR NO 2

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust		Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%		Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM	waktu	Densitas		Efisiensi slip	Daya	FCR	SFOC	
			Tegangan (RPM)	Arus (Ampere)		(cm)	m		(cm)	m						(s)	m3	(h)	kg/m3	gr/m3		
1804	1000	1332	193	4.1	0.85	4.2	0.042	96	0.1	0.001	32	10	53	0.00001	0.014722	870	870000	1.012	0.828	701.820	847.324	
1802	1500	1326	190	6.08	0.85	4.2	0.042	106	0.1	0.001	33	10	45	0.00001	0.0125	870	870000	1.008	1.213	826.588	681.267	
1804	2000	1324	190	8.08	0.85	4.4	0.044	111	0.1	0.001	34	10	38	0.00001	0.010556	870	870000	1.005	1.617	978.854	605.482	
1804	2500	1324	190	10.05	0.85	4.8	0.048	129	0.1	0.001	35	10	35	0.00001	0.009722	870	870000	1.005	2.011	1062.756	528.521	
1803	3000	1323	188	12.01	0.85	5.2	0.052	132	0.1	0.001	35	10	33	0.00001	0.009167	870	870000	1.005	2.378	1127.166	473.967	
1903	1000	1400	206	4.26	0.85	4.1	0.041	113	0.1	0.001	35	10	49	0.00001	0.013611	870	870000	1.008	0.922	759.111	823.408	
1903	1500	1400	205	6.35	0.85	4.2	0.042	110	0.1	0.001	35	10	43	0.00001	0.011944	870	870000	1.008	1.368	865.034	632.546	
1901	2000	1396	203	8.41	0.85	5.7	0.057	120	0.1	0.001	35	10	36	0.00001	0.01	870	870000	1.005	1.799	1033.235	574.448	
1902	2500	1395	203	10.44	0.85	6.2	0.062	130	0.1	0.001	36	10	35	0.00001	0.009722	870	870000	1.004	2.234	1062.756	475.630	
1904	3000	1394	202	12.48	0.85	6.6	0.066	141	0.1	0.001	36	10	30	0.00001	0.008333	870	870000	1.004	2.660	1239.882	466.160	
	3500																					
2001	1000	1472	221	4.44	0.85	5	0.05	108	0.2	0.002	37	10	48	0.00001	0.013333	870	870000	1.008	1.031	774.926	751.697	
2001	1500	1473	220	6.61	0.85	5.3	0.053	106	0.2	0.002	36	10	43	0.00001	0.011944	870	870000	1.009	1.527	865.034	566.581	
2003	2000	1470	218	8.75	0.85	6.1	0.061	115	0.2	0.002	37	10	37	0.00001	0.010278	870	870000	1.006	2.007	1005.310	500.959	
2003	2500	1469	217	10.84	0.85	6.3	0.063	124	0.3	0.003	37	10	32	0.00001	0.008889	870	870000	1.006	2.476	1162.389	469.391	
	3000																					
	3500																					
2102	1000	1547	237	4.61	0.85	5.6	0.056	119	0.3	0.003	37	10	44	0.00001	0.012222	870	870000	1.008	1.147	845.374	736.808	
2103	1500	1548	236	6.86	0.85	6.3	0.063	120	0.3	0.003	38	10	37	0.00001	0.010278	870	870000	1.009	1.699	1005.310	591.697	
2103	2000	1543	233	9.01	0.85	6.8	0.068	138	0.3	0.003	37	10	34	0.00001	0.009444	870	870000	1.006	2.210	1094.014	494.962	
2104	2500	1544	231	11.23	0.85	7.2	0.072	135	0.3	0.003	38	10	29	0.00001	0.008056	870	870000	1.006	2.729	1282.637	469.919	
	3000																					
	3500																					
																	36					

B30 10% COLD EGR NO 3

B30 20% COLD EGR NO 1

B30 20% COLD EGR NO 2

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust		Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%		Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM	waktu	Densitas		Efisiensi slip	Daya	FCR	SFOC
			Tegangan (RPM)	Arus (Ampere)		(cm)	m		(cm)	m						(h)	kg/m3	gr/m3			
1802	1000	1328	192	4.09	0.85	3.3	0.033	90	0.2	0.002	39	10	55	0.00001	0.015278	870	870000	1.010	0.824	676.299	821.211
1803	1500	1326	192	6.09	0.85	3.6	0.036	110	0.2	0.002	39	10	50	0.00001	0.013889	870	870000	1.008	1.229	743.929	605.422
1805	2000	1327	191	8.09	0.85	3.9	0.039	114	0.2	0.002	39	10	44	0.00001	0.012222	870	870000	1.007	1.624	845.374	520.425
1804	2500	1324	191	10.05	0.85	4.6	0.046	120	0.2	0.002	39	10	39	0.00001	0.010833	870	870000	1.005	2.021	953.755	471.831
1804	3000	1322	190	12.02	0.85	5.2	0.052	124	0.2	0.002	39	10	34	0.00001	0.009444	870	870000	1.004	2.409	1094.014	454.210
1903	1000	1401	208	4.27	0.85	4.1	0.041	102	0.2	0.002	40	10	55	0.00001	0.015278	870	870000	1.009	0.932	676.299	725.344
1905	1500	1402	208	6.37	0.85	4.4	0.044	103	0.2	0.002	40	10	45	0.00001	0.0125	870	870000	1.009	1.390	826.588	594.693
1901	2000	1397	205	8.42	0.85	4.8	0.048	105	0.2	0.002	40	10	43	0.00001	0.011944	870	870000	1.006	1.817	865.034	476.016
1901	2500	1394	304	10.45	0.85	5.2	0.052	129	0.2	0.002	40	10	36	0.00001	0.01	870	870000	1.004	3.352	1033.235	308.269
1903	3000	1396	203	12.58	0.85	5.5	0.055	154	0.2	0.002	41	10	32	0.00001	0.008889	870	870000	1.005	2.691	1162.389	432.035
	3500																				
2002	1000	1472	223	4.44	0.85	4.8	0.048	102	0.2	0.002	40	10	50	0.00001	0.013889	870	870000	1.007	1.041	743.929	714.800
2004	1500	1473	223	6.63	0.85	5.2	0.052	117	0.2	0.002	40	10	43	0.00001	0.011944	870	870000	1.008	1.553	865.034	556.994
2003	2000	1471	220	8.76	0.85	6	0.06	130	0.2	0.002	40	10	37	0.00001	0.010278	870	870000	1.007	2.027	1005.310	495.928
2005	2500	1470	218	10.85	0.85	6.5	0.065	140	0.2	0.002	41	10	31	0.00001	0.008611	870	870000	1.006	2.490	1199.886	481.952
	3000					0															
	3500																				
2102	1000	1547	239	4.62	0.85	5.3	0.053	117	0.2	0.002	41	10	48	0.00001	0.013333	870	870000	1.008	1.160	774.926	668.306
2101	1500	1545	237	6.87	0.85	6.2	0.062	111	0.2	0.002	40	10	40	0.00001	0.011111	870	870000	1.007	1.712	929.912	543.162
2103	2000	1544	235	9.1	0.85	6.7	0.067	129	0.2	0.002	41	10	32	0.00001	0.008889	870	870000	1.006	2.250	1162.389	516.599
2105	2500	1543	233	11.24	0.85	7.3	0.073	138	0.2	0.002	41	10	30	0.00001	0.008333	870	870000	1.006	2.757	1239.882	449.664
	3000																				
	3500													40							

B30 20% COLD EGR NO 3

B30 30% COLD EGR NO 1

B30 30% COLD EGR NO 2

B30 30% COLD EGR NO 3

B20 10% COLD EGR NO 1

B20 10% COLD EGR NO 2

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust	Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%	Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM m3	waktu h	Densitas kg/m3		Efisiensi slip	Daya Kw	FCR gr/hr	SFOC gr/kwh		
			Tegangan	Arus										gr/m3	kg/m3						
(RPM)		(RPM)																			
1802	1000	1328	191	4.11	0.85	4.3	0.043	102	0.1	0.001	39	10	55	0.00001	0.015278	857.3	857300	1.010	0.823	666.427	809.50
1806	1500	1327	192	6.14	0.85	4.8	0.048	111	0.1	0.001	38	10	49	0.00001	0.013611	857.3	857300	1.007	1.240	748.030	603.25
1803	2000	1326	191	8.12	0.85	5.2	0.052	120	0.1	0.001	38	10	42	0.00001	0.011667	857.3	857300	1.008	1.630	872.702	535.45
1802	2500	1323	191	10.09	0.85	5.5	0.055	142	0.1	0.001	38	10	38	0.00001	0.010556	857.3	857300	1.006	2.029	964.565	475.45
1804	3000	1323	190	12.04	0.85	6.1	0.061	147	0.1	0.001	39	10	32	0.00001	0.008889	857.3	857300	1.005	2.411	1145.421	475.12
								0													
1904	1000	1402	207	4.27	0.85	5	0.05	124	0.1	0.001	39	10	53	0.00001	0.014722	857.3	857300	1.009	0.928	691.575	745.45
1905	1500	1402	208	6.39	0.85	5.2	0.052	120	0.1	0.001	39	10	44	0.00001	0.012222	857.3	857300	1.009	1.395	833.034	597.14
1905	2000	1397	205	8.45	0.85	5.8	0.058	114	0.2	0.002	39	10	40	0.00001	0.011111	857.3	857300	1.005	1.825	916.337	502.19
1905	2500	1394	204	10.46	0.85	6.3	0.063	139	0.2	0.002	39	10	36	0.00001	0.01	857.3	857300	1.003	2.253	1018.152	452.00
1903	3000	1394	203	12.51	0.85	6.9	0.069	155	0.2	0.002	40	10	31	0.00001	0.008611	857.3	857300	1.003	2.681	1182.370	441.05
2005	1000	1474	223	4.45	0.85	5.4	0.054	121	0.2	0.002	40	10	52	0.00001	0.014444	857.3	857300	1.007	1.043	704.875	675.65
2003	1500	1472	221	6.61	0.85	6.1	0.061	120	0.2	0.002	49	10	40	0.00001	0.011111	857.3	857300	1.006	1.538	916.337	595.87
2003	2000	1471	220	8.77	0.85	6.6	0.066	126	0.2	0.002	39	10	36	0.00001	0.01	857.3	857300	1.005	2.032	1018.152	500.94
2005	2500	1471	218	10.86	0.85	7.2	0.072	142	0.2	0.002	40	10	32	0.00001	0.008889	857.3	857300	1.005	2.494	1145.421	459.27
															0						
2105	1000	1550	238	4.62	0.85	6.2	0.062	120	0.2	0.002	40	10	45	0.00001	0.0125	857.3	857300	1.009	1.154	814.522	705.76
2105	1500	1547	237	6.19	0.85	6.8	0.068	122	0.2	0.002	39	10	37	0.00001	0.010278	857.3	857300	1.007	1.543	990.635	642.11
2105	2000	1545	235	9.01	0.85	7.3	0.073	131	0.2	0.002	39	10	34	0.00001	0.009444	857.3	857300	1.006	2.230	1078.044	483.52
2102	2500	1540	232	11.2	0.85	8	0.08	153	0.2	0.002	41	10	29	0.00001	0.008056	857.3	857300	1.002	2.745	1263.913	460.44
															40						

B20 10% COLD EGR NO 3

B20 20% COLD EGR NO 1

B20 20% COLD EGR NO 2

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust	Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%	Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM m3	waktu (h)	Densitas kg/m3	Efisiensi slip gr/m3	Daya Kw	FCR gr/hr	SFOC gr/kwh			
			Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)																	
(RPM)	(RPM)																				
1802	1000	1328	190	3.94	0.85	5	0.05	66	0.2	0.002	37	10	56	0.00001	0.015556	857.3	857300	1.010	0.785	654.526	833.719
1803	1500	1328	189	5.94	0.85	5	0.05	78	0.2	0.002	38	10	47	0.00001	0.013056	857.3	857300	1.009	1.178	779.861	662.016
1804	2000	1327	189	7.93	0.85	5.4	0.054	85	0.2	0.002	38	10	43	0.00001	0.011944	857.3	857300	1.008	1.575	852.406	541.306
1804	2500	1324	188	9.93	0.85	5.9	0.059	106	0.2	0.002	39	10	33	0.00001	0.009167	857.3	857300	1.005	1.966	1110.711	564.992
1805	3000	1325	188	4.79	0.85	6.2	0.062	123	0.2	0.002	40	10	35	0.00001	0.009722	857.3	857300	1.006	0.948	1047.242	1104.560
								0													
1903	1000	1405	208	4.14	0.85	5	0.05	72	0.2	0.002	41	10	52	0.00001	0.014444	857.3	857300	1.011	0.901	704.875	781.957
1903	1500	1400	206	6.22	0.85	5.6	0.056	96	0.2	0.002	41	10	45	0.00001	0.0125	857.3	857300	1.008	1.346	814.522	605.106
1903	2000	1398	205	8.3	0.85	6	0.06	87	0.2	0.002	42	10	38	0.00001	0.010556	857.3	857300	1.006	1.790	964.565	538.846
1902	2500	1394	204	10.38	0.85	6.5	0.065	110	0.2	0.002	40	10	38	0.00001	0.010556	857.3	857300	1.004	2.234	964.565	431.743
1905	3000	1397	203	12.3	0.85	7	0.07	114	0.2	0.002	41	10	32	0.00001	0.008889	857.3	857300	1.006	2.629	1145.421	435.731
2005	1000	1475	223	4.33	0.85	5.8	0.058	81	0.2	0.002	41	10	48	0.00001	0.013333	857.3	857300	1.008	1.014	763.614	752.759
2003	1500	1473	221	6.5	0.85	6	0.06	84	0.2	0.002	40	10	41	0.00001	0.011389	857.3	857300	1.006	1.511	893.987	591.577
2004	2000	1473	220	8.65	0.85	6.8	0.068	88	0.2	0.002	39	10	37	0.00001	0.010278	857.3	857300	1.006	2.002	990.635	494.835
2005	2500	1471	218	10.79	0.85	7	0.07	98	0.2	0.002	41	10	32	0.00001	0.008889	857.3	857300	1.005	2.478	1145.421	462.256
3000																0					
3500																					
2103	1000	1548	238	4.49	0.85	6	0.06	85	0.2	0.002	41	10	46	0.00001	0.012778	857.3	857300	1.008	1.122	796.815	710.173
2103	1500	1547	237	6.76	0.85	7	0.07	101	0.2	0.002	40	10	40	0.00001	0.011111	857.3	857300	1.008	1.683	916.337	544.388
2105	2000	1547	235	8.98	0.85	7.5	0.075	92	0.2	0.002	40	10	36	0.00001	0.01	857.3	857300	1.008	2.217	1018.152	459.219
2103	2500	1542	232	11.16	0.85	8	0.08	108	0.2	0.002	41	10	30	0.00001	0.008333	857.3	857300	1.005	2.729	1221.783	447.697
3000																					
3500																40					

B20 20% COLD EGR NO 3

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust		Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%	Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM	waktu	Densitas		Efisiensi slip	Daya	FCR	SFOC	
			Tegangan	Arus		(cm)	m								kg/m3	gr/m3					
(RPM)		(RPM)	(Volt)	(Ampere)														Kw	gr/hr	gr/kwh	
1803	1000	1328	189	3.95	0.85	4.4	0.044	87	0.2	0.002	41	10	52	0.0001	0.014444	857.3	857300	1.009	0.783	704.875	899.813
1803	1500	1329	189	5.96	0.85	5	0.05	92	0.2	0.002	41	10	45	0.0001	0.0125	857.3	857300	1.010	1.181	814.522	689.633
1803	2000	1325	188	7.93	0.85	5	0.05	94	0.2	0.002	42	10	40	0.0001	0.011111	857.3	857300	1.007	1.568	916.337	584.442
1803	2500	1323	188	9.92	0.85	5.6	0.056	109	0.2	0.002	41	10	34	0.0001	0.009444	857.3	857300	1.005	1.964	1078.044	548.811
1803	3000	1324	187	11.77	0.85	6	0.06	136	0.2	0.002	43	10	35	0.0001	0.009722	857.3	857300	1.006	2.316	1047.242	452.081
						0															
1903	1000	1401	203	4.11	0.85	4.9	0.049	116	0.2	0.002	43	10	43	0.0001	0.011944	857.3	857300	1.009	0.876	852.406	973.207
1902	1500	1399	202	6.19	0.85	5	0.05	106	0.2	0.002	42	10	44	0.0001	0.012222	857.3	857300	1.007	1.315	833.034	633.719
1905	2000	1399	202	8.25	0.85	5.9	0.059	122	0.2	0.002	41	10	39	0.0001	0.010833	857.3	857300	1.007	1.752	939.833	536.446
1903	2500	1397	202	10.33	0.85	6.1	0.061	115	0.2	0.002	42	10	35	0.0001	0.009722	857.3	857300	1.006	2.197	1047.242	476.709
1903	3000	1396	201	12.24	0.85	7	0.07	129	0.2	0.002	42	10	31	0.0001	0.008611	857.3	857300	1.005	2.592	1182.370	456.161
2003	1000	1474	219	4.28	0.85	5.3	0.053	111	0.2	0.002	42	10	47	0.0001	0.013056	857.3	857300	1.008	0.984	779.861	792.219
2002	1500	1473	218	6.44	0.85	6	0.06	104	0.2	0.002	41	10	44	0.0001	0.012222	857.3	857300	1.007	1.475	833.034	564.597
2001	2000	1470	216	8.58	0.85	6.1	0.061	114	0.2	0.002	41	10	37	0.0001	0.010278	857.3	857300	1.005	1.952	990.635	507.581
2003	2500	1472	216	10.73	0.85	7	0.07	126	0.2	0.002	42	10	32	0.0001	0.008889	857.3	857300	1.007	2.437	1145.421	469.933
													42			0					
2103	1000	1549	234	4.45	0.85	6	0.06	107	0.2	0.002	42	10	44	0.0001	0.012222	857.3	857300	1.009	1.093	833.034	762.423
2101	1500	1544	233	6.7	0.85	6.8	0.068	108	0.2	0.002	41	10	47	0.0001	0.013056	857.3	857300	1.006	1.643	779.861	474.561
2102	2000	1544	231	8.97	0.85	7.2	0.072	111	0.2	0.002	42	10	33	0.0001	0.009167	857.3	857300	1.006	2.181	1110.711	509.210
2103	2500	1542	229	11.09	0.85	8	0.08	144	0.2	0.002	43	10	31	0.0001	0.008611	857.3	857300	1.005	2.677	1182.370	441.701
																41.78947368					

B20 30% COLD EGR NO 1

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust	Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%	Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM	waktu	Densitas		Efisiensi slip	Daya	FCR	SFOC		
			Tegangan (RPM)	Arus (Ampere)										kg/m3	gr/m3						
1802	1000	1326	192	3.91	0.85	4	0.04	73	0.3	0.003	42	10	59	0.00001	0.016389	857.3	857300	1.008	0.788	621.245	787.900
1804	1500	1328	192	6	0.85	4.4	0.044	92	0.3	0.003	44	10	53	0.00001	0.014722	857.3	857300	1.009	1.209	691.575	571.802
1805	2000	1325	191	8	0.85	4.7	0.047	107	0.3	0.003	44	10	45	0.00001	0.0125	857.3	857300	1.006	1.609	814.522	506.308
1804	2500	1325	191	10.02	0.85	5	0.05	117	0.3	0.003	45	10	39	0.00001	0.010833	857.3	857300	1.006	2.014	939.833	466.687
1803	3000	1320	190	11.86	0.85	5.7	0.057	135	0.3	0.003	45	10	31	0.00001	0.008611	857.3	857300	1.003	2.379	1182.370	497.039
								0													
1902	1000	1401	203	4.15	0.85	4.7	0.047	110	0.3	0.003	45	10	53	0.00001	0.014722	857.3	857300	1.009	0.884	691.575	782.384
1902	1500	1396	206	6.25	0.85	5	0.05	103	0.3	0.003	44	10	48	0.00001	0.013333	857.3	857300	1.006	1.356	763.614	563.247
1902	2000	1398	204	8.31	0.85	5.1	0.051	115	0.3	0.003	45	10	43	0.00001	0.011944	857.3	857300	1.007	1.783	852.406	478.200
1904	2500	1397	204	10.4	0.85	6	0.06	120	0.3	0.003	45	10	39	0.00001	0.010833	857.3	857300	1.006	2.232	939.833	420.988
1903	3000	1395	203	12.31	0.85	6	0.06	140	0.3	0.003	45	10	35	0.00001	0.009722	857.3	857300	1.005	2.633	1047.242	397.698
	3500																				
2002	1000	1473	222	4.25	0.85	5	0.05	109	0.3	0.003	44	10	52	0.00001	0.014444	857.3	857300	1.008	0.991	704.875	711.223
2003	1500	1473	221	6.42	0.85	5.2	0.052	108	0.3	0.003	44	10	45	0.00001	0.0125	857.3	857300	1.008	1.490	814.522	546.526
2004	2000	1472	219	8.58	0.85	6	0.06	115	0.3	0.003	44	10	34	0.00001	0.009444	857.3	857300	1.007	1.975	1078.044	545.815
2004	2500	1470	218	10.66	0.85	6.5	0.065	123	0.3	0.003	44	10	33	0.00001	0.009167	857.3	857300	1.006	2.446	1110.711	454.086
	3000															0					
	3500																				
2103	1000	1548	238	4.56	0.85	5.5	0.055	103	0.3	0.003	43	10	44	0.00001	0.012222	857.3	857300	1.008	1.139	833.034	731.054
2103	1500	1545	236	6.74	0.85	6	0.06	107	0.3	0.003	43	10	38	0.00001	0.010556	857.3	857300	1.006	1.673	964.565	576.429
2103	2000	1546	235	9	0.85	6.5	0.065	121	0.3	0.003	44	10	33	0.00001	0.009167	857.3	857300	1.007	2.224	1110.711	499.526
2105	2500	1543	232	11.19	0.85	7	0.07	134	0.3	0.003	44	10	31	0.00001	0.008611	857.3	857300	1.005	2.735	1182.370	432.374
	3000																				
	3500															44					

B20 30% COLD EGR NO 2

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust	Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%	Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM m3	waktu (h)	Densitas kg/m3	Efisiensi slip gr/m3	Daya Kw	FCR gr/hr	SFOC gr/kwh			
			Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)																	
(RPM)	(RPM)																				
1805	1000	1329	193	3.91	0.85	4	0.04	77	0.3	0.003	40	10	60	0.00001	0.016667	857.3	857300	1.009	0.792	610.891	771.214
1804	1500	1328	191	5.99	0.85	4.1	0.041	88	0.3	0.003	43	10	52	0.00001	0.014444	857.3	857300	1.009	1.201	704.875	586.827
1806	2000	1329	191	7.99	0.85	4.7	0.047	97	0.3	0.003	44	10	44	0.00001	0.012222	857.3	857300	1.008	1.603	833.034	519.741
1803	2500	1322	190	9.98	0.85	5	0.05	103	0.3	0.003	45	10	36	0.00001	0.01	857.3	857300	1.005	1.999	1018.152	509.402
1803	3000	1322	189	11.92	0.85	5.4	0.054	117	0.3	0.003	46	10	37	0.00001	0.010278	857.3	857300	1.005	2.375	990.635	417.165
								0													
1905	1000	1402	207	4.15	0.85	4.2	0.042	102	0.3	0.003	46	10	48	0.00001	0.013333	857.3	857300	1.008	0.902	763.614	846.458
1902	1500	1399	205	6.24	0.85	5	0.05	91	0.3	0.003	45	10	46	0.00001	0.012778	857.3	857300	1.006	1.346	796.815	591.887
1904	2000	1397	204	8.31	0.85	5	0.05	99	0.3	0.003	44	10	40	0.00001	0.011111	857.3	857300	1.005	1.787	916.337	512.888
1903	2500	1394	203	10.31	0.85	6	0.06	106	0.3	0.003	45	10	37	0.00001	0.010278	857.3	857300	1.003	2.210	990.635	448.150
1903	3000	1393	203	12.31	0.85	6	0.06	123	0.3	0.003	46	10	34	0.00001	0.009444	857.3	857300	1.002	2.641	1078.044	408.165
3500																					
2002	1000	1475	222	4.32	0.85	5	0.05	100	0.3	0.003	46	10	46	0.00001	0.012778	857.3	857300	1.009	1.006	796.815	792.037
2005	1500	1477	221	6.51	0.85	5.3	0.053	86	0.3	0.003	45	10	42	0.00001	0.011667	857.3	857300	1.011	1.507	872.702	579.037
2002	2000	1472	219	8.64	0.85	6	0.06	100	0.3	0.003	46	10	36	0.00001	0.01	857.3	857300	1.007	1.989	1018.152	511.912
2005	2500	1471	218	10.8	0.85	6.5	0.065	110	0.3	0.003	46	10	33	0.00001	0.009167	857.3	857300	1.007	2.476	1110.711	448.504
3000																	0				
3500																					
2102	1000	1547	231	4.55	0.85	5.4	0.054	97	0.3	0.003	47	10	45	0.00001	0.0125	857.3	857300	1.008	1.104	814.522	737.962
2105	1500	1546	236	6.83	0.85	6	0.06	90	0.3	0.003	46	10	39	0.00001	0.010833	857.3	857300	1.008	1.694	939.833	554.871
2104	2000	1543	234	9.06	0.85	6.6	0.066	105	0.3	0.003	46	10	34	0.00001	0.009444	857.3	857300	1.006	2.232	1078.044	482.973
2105	2500	1544	232	11.13	0.85	7	0.07	122	0.3	0.003	47	10	30	0.00001	0.008333	857.3	857300	1.006	2.717	1221.783	449.695
3000																					
3500																					
																	45.16666667				

B20 30% COLD EGR NO 3

Putaran Engine	Beban	Putaran Generator	Alternator		Load Factor	Δh manometer exhaust	Temperatur (exhaust)	Δh manometer EGR 0%	Temperatur (EGR)	Jumlah Bahan Bakar	Waktu	Volume BBM	waktu	Densitas		Efisiensi slip	Daya	FCR	SFOC		
			Tegangan	Arus (Ampere)										(ml)	(s)	m ³	(h)	kg/m ³	gr/m ³		
(RPM)		(RPM)	(Volt)	(Ampere)														Kw	gr/hr	gr/kwh	
1804	1000	1328	192	3.97	0.85	4.1	0.041	82	0.3	0.003	35	10	52	0.00001	0.014444	857.3	857300	1.009	0.800	704.875	880.80
1804	1500	1326	190	5.96	0.85	4.4	0.044	92	0.3	0.003	37	10	45	0.00001	0.0125	857.3	857300	1.007	1.191	814.522	684.08
1803	2000	1325	189	7.94	0.85	4.9	0.049	103	0.3	0.003	39	10	42	0.00001	0.011667	857.3	857300	1.007	1.578	872.702	552.96
1803	2500	1325	189	9.94	0.85	5	0.05	122	0.3	0.003	41	10	35	0.00001	0.009722	857.3	857300	1.007	1.976	1047.242	530.049
1805	3000	1322	187	11.76	0.85	5.7	0.057	120	0.3	0.003	42	10	32	0.00001	0.008889	857.3	857300	1.003	2.321	1145.421	493.59
								0													
1903	1000	1400	204	4.11	0.85	4.4	0.044	115	0.3	0.003	43	10	49	0.00001	0.013611	857.3	857300	1.008	0.881	748.030	849.24
1903	1500	1399	203	6.2	0.85	5	0.05	98	0.3	0.003	42	10	42	0.00001	0.011667	857.3	857300	1.007	1.323	872.702	659.56
1904	2000	1400	202	8.26	0.85	5	0.05	100	0.3	0.003	43	10	38	0.00001	0.010556	857.3	857300	1.008	1.753	964.565	550.28
1902	2500	1396	202	10.32	0.85	6	0.06	106	0.3	0.003	44	10	35	0.00001	0.009722	857.3	857300	1.005	2.196	1047.242	476.82
1904	3000	1397	201	12.25	0.85	6.3	0.063	133	0.3	0.003	45	10	33	0.00001	0.009167	857.3	857300	1.006	2.592	1110.711	428.47
2002	1000	1474	219	4.28	0.85	4.7	0.047	115	0.3	0.003	45	10	47	0.00001	0.013056	857.3	857300	1.009	0.984	779.861	792.61
2002	1500	1473	218	6.45	0.85	5	0.05	110	0.3	0.003	44	10	41	0.00001	0.011389	857.3	857300	1.008	1.477	893.987	605.27
2004	2000	1472	217	8.58	0.85	5.9	0.059	118	0.3	0.003	45	10	35	0.00001	0.009722	857.3	857300	1.007	1.957	1047.242	535.107
2002	2500	1469	215	10.7	0.85	6.3	0.063	124	0.3	0.003	46	10	33	0.00001	0.009167	857.3	857300	1.005	2.423	1110.711	458.38
																0					
2102	1000	1548	234	4.45	0.85	5	0.05	122	0.3	0.003	45	10	46	0.00001	0.012778	857.3	857300	1.009	1.093	796.815	729.156
2104	1500	1546	233	6.68	0.85	6	0.06	118	0.3	0.003	45	10	37	0.00001	0.010278	857.3	857300	1.008	1.636	990.635	605.69
2102	2000	1543	231	8.9	0.85	6.5	0.065	122	0.3	0.003	45	10	33	0.00001	0.009167	857.3	857300	1.006	2.165	1110.711	513.13
2106	2500	1544	230	11.11	0.85	7	0.07	130	0.3	0.003	47	10	28	0.00001	0.007778	857.3	857300	1.006	2.689	1309.053	486.88
																43					

BIODATA PENULIS



Adhitya 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 terselesaiannya Tugas Akhir ini yang berjudul **“Optimalisasi Cold Egr (Exhaust Gas Recirculation) Pada Motor Diesel Berbahan Bakar Biodiesel Terhadap Performa Dan Nox”**.