



SKRIPSI - ME 141501

ANALISA PERFORMA DAN EMISI PADA SISTEM *EXHAUST GAS RECIRCULATION* MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL MINYAK SERAI WANGI

Ryan Ananta Mufied Rahardi
NRP 4213 100 111

Dosen Pembimbing
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



SKRIPSI - ME 141501

**ANALISA PERFORMA DAN EMISI PADA SISTEM
EXHAUST GAS RECIRCULATION MOTOR
DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR
BIODIESEL MINYAK SERAI WANGI**

Ryan Ananta Mufied Rahardi
NRP 4213 100 111

Dosen Pembimbing
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - ME 141501

**ANALYSIS OF PERFORMANCE AND EMISSION
OF DIESEL ENGINE WITH EXHAUST GAS
RECIRCULATION SYSTEM USING LEMON
GRASS OIL AS BIODIESEL FUEL**

Ryan Ananta Mufied Rahardi
NRP 4213 100 111

Supervisors
Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

DEPARTMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PERFORMA DAN EMISI PADA SISTEM *EXHAUST GAS*
RECIRCULATION MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN
BAKAR BIODIESEL MINYAK SERAI WANGI**

TUGAS AKHIR

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

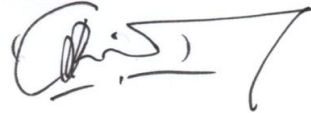
Oleh:

Ryan Ananta Mufied Rahardi

NRP 4213 100 111

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.



SURABAYA
Juli, 2017

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA PERFORMA DAN EMISI PADA SISTEM *EXHAUST GAS RECIRCULATION* MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL MINYAK SERAI WANGI

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada

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

Oleh:

Ryan Ananta Mufied Rahardi
NRP 4213 100 111

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan:



Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T.
NIP. 197708022008011007

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALISA PERFORMA DAN EMISI PADA *SISTEM EXHAUST GAS RECIRCULATION* MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL MINYAK SERAI WANGI

Nama Mahasiswa : Ryan Ananta Mufied Rahardi
NRP : 4213100111
Departemen : Teknik Sistem Perkapalan
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana S.T., M.T.

Minyak serai wangi merupakan minyak nabati yang termasuk ke dalam golongan minyak atsiri. Dalam beberapa tahun terakhir, minyak serai wangi sedang diteliti agar dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar. Beberapa hal yang mendasari ide tersebut adalah minyak atsiri memiliki karakteristik yang menyerupai bahan bakar minyak bumi. Selain itu, komponen oksigen yang terkandung dalam struktur kimia minyak atsiri diharapkan dapat menyempurnakan proses pembakaran. Proses pembakaran yang sempurna dapat membuat temperatur ruang pembakaran yang lebih tinggi sehingga terbentuklah emisi NOx. Sehingga pada penelitian ini digunakan sistem Exhaust Gas Recirculation (EGR) sebagai pereduksi emisi NOx. Penelitian ini menggunakan berbagai variasi campuran minyak serai wangi pada Pertamina Dex dan MDO yang diuji pada motor diesel Yanmar TF85-MHDI satu silinder. Hasil yang didapatkan dari eksperimen ini adalah minyak serai wangi yang dicampurkan pada Pertamina Dex, menghasilkan performa mesin yang menurun, baik daya, torsi maupun BMEP pada semua kondisi. Saat minyak serai wangi dicampurkan pada MDO, performa yang dihasilkan cenderung meningkat sejak RPM 2100 & beban 4000 Watt hingga RPM 2200 & beban 5000 Watt, tetapi hasil SFOC dari bahan bakar ini cenderung lebih tinggi. Penggunaan sistem EGR pada penelitian ini memberikan dampak yang cukup baik dari segi performa dan kandungan emisi yang dihasilkan. Performa dari masing-masing bahan bakar sedikit lebih tinggi pada RPM dan beban rendah hingga menengah. Dari sisi emisi, terjadi penurunan kandungan NOx yang signifikan pada bahan bakar campuran minyak serai wangi dengan MDO jika dibandingkan dengan MDO murni.

Kata kunci : Minyak Serai Wangi, Biodiesel, Analisa Performa dan Emisi, Sistem Exhaust Gas Recirculation, Motor Diesel

Halaman ini sengaja dikosongkan

ANALYSIS OF PERFORMANCE AND EMISSION OF DIESEL ENGINE WITH EXHAUST GAS RECIRCULATION SYSTEM USING LEMON GRASS OIL AS BIODIESEL FUEL

Name : Ryan Ananta Mufied Rahardi
NRP : 4213100111
Department : Marine Engineering
Supervisors : Dr. I Made Ariana S.T., M.T.

Lemongrass oil is a vegetable oil that belongs to the essential oil group. In recent years, lemongrass oil is being observed for use as a fuel mixture. Some of the things that underlie the idea are essential oils have characteristics that resemble petroleum fuels. In addition, the oxygen components contained in the chemical structure of essential oils are expected to enhance the combustion process. The perfect combustion process can create a higher combustion chamber temperature resulting in NO_x emissions. Because of that Exhaust Gas Recirculation (EGR) system is used as NO_x emission reducer. This study used a variety of mixtures of citronella oil on Pertamina dex and MDO tested on a single-cylinder Yanmar TF85-MHDI diesel motor. The results obtained from this experiment are the lemongrass oil mixed in Pertamina dex, resulting in decreased engine performance, both power, torque and BMEP in all conditions. When the lemongrass oil is mixed on the MDO, the resulting performance tends to increase when RPM 2100 & 4000 Watt load up to RPM 2200 & 5000 Watt load, but SFOC results from this fuel tend to be higher. The use of the EGR system in this study provides a good impact in terms of performance and emission content generated. The performance of every fuel is slightly higher at low RPM and load to medium RPM and load. In terms of emissions, there is a significant decrease in NO_x content in fuel blend of lemongrass oil with MDO when compared with pure MDO.

Keywords : Lemongrass Oil, Biodiesel, Analysis of Performance and Emission, Exhaust Gas Recirculation System, Diesel Motor

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah S.W.T. karena berkat limpahan rahmat, hidayah dan anugerah-Nya sehingga tugas akhir dengan judul “**Analisa Performa dan Emisi pada Sistem Exhaust Gas Recirculation Motor Diesel Menggunakan Bahan Bakar Biodiesel Minyak Serai Wangi**” ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tidak lepas dari doa dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua serta adik penulis, Ir. Upari Rahardi, Eri Primandari S.Si dan Rafi Amani Muflih Rahardi yang selalu memberikan doa, masukan serta dukungan baik moral maupun material kepada penulis.
2. Bapak Dr. I Made Ariana S.T., M.T., selaku dosen pembimbing, yang selalu mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Bapak Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.T., selaku Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan.
4. Bapak Dr. Ir. A.A Masroeri, M.Eng selaku dosen wali yang selalu memberikan motivasi dan dukungan untuk penulis.
5. Bapak Nur selaku teknisi Laboratorium *Marine Power Plant* yang telah membantu penulis dalam persiapan pra eksperimen hingga eksperimen selesai.
6. Bapak Mayor Cahya Kusuma dari TNI-AL, yang telah membantu dalam pengadaan bahan bakar MDO untuk keperluan tugas akhir ini.
7. Teman-teman serta Mas dan Mbak “*Marine Power Plant Laboratory*” yang selalu membantu dan menjadi tempat bertukar pikiran selama pengerjaan tugas akhir ini.
8. Teman-teman “Gengs”, Ririn, Rizky, Kafin, Nabil, Edo, Yugo, Adi, Made, Qiyah, Mitha, Fathia, Mayang, yang selalu berbagi susah & senang selama kuliah dan saling memotivasi selama mengerjakan tugas akhir.
9. Teman-teman seangkatan “Barakuda 13”, yang selalu mendukung dan mengingatkan sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan lancar.
10. Serta semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu

Tiada gading yang tak retak, penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan tugas akhir ini. Oleh karena itu, perlunya saran dan masukan untuk dapat menyempurnakan tugas akhir ini dengan baik dan dapat bermanfaat bagi pembaca.

Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi yang membutuhkannya, Aamiin.

Surabaya, Juli 2017
Penulis.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan 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.....	3
2.2 Bahan Bakar Diesel	5
2.3 Biodiesel.....	6
2.4 Minyak Atsiri	8
2.5 Parameter dalam Performa Mesin	9
2.6 Emisi Gas Buang.....	11
2.7 <i>Exhaust Gas Recirculation</i>	12
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Perumusan Masalah.....	16
3.2 Studi Literatur	16
3.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	16
3.4 <i>Engine Set-Up</i> & Proses Pembuatan Biodiesel.....	17
3.5 Eksperimen.....	18
3.6 Pengumpulan Data	18
3.7 Analisa & Pembahasan.....	18
3.8 Kesimpulan & Saran	18

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Karakteristik Bahan Bakar	19
4.1.1 Viskositas	19
4.1.2 Densitas	19
4.1.3 <i>Flash Point</i>	19
4.2 Performa Power Motor Diesel	20
4.2.1 Beban 1000 watt.....	20
4.2.2 Beban 2000 watt.....	21
4.2.3 Beban 3000 watt.....	22
4.2.4 Beban 4000 watt.....	23
4.2.5 Beban 5000 watt.....	24
4.2 Performa Torsi Motor Diesel	25
4.2.1 Beban 1000 watt.....	25
4.2.2 Beban 2000 watt.....	26
4.2.3 Beban 3000 watt.....	27
4.2.4 Beban 4000 watt.....	28
4.2.5 Beban 5000 watt.....	29
4.3 Performa BMEP Motor Diesel.....	30
4.3.1 Beban 1000 watt.....	30
4.3.2 Beban 2000 watt.....	32
4.3.3 Beban 3000 watt.....	33
4.3.4 Beban 4000 watt.....	34
4.3.5 Beban 5000 watt.....	35
4.4 Performa SFOC Motor Diesel.....	36
4.4.1 Beban 1000 watt.....	36
4.4.2 Beban 2000 watt.....	37
4.4.3 Beban 3000 watt.....	38
4.4.4 Beban 4000 watt.....	39
4.4.5 Beban 5000 watt.....	40
4.5 Kandungan Emisi NO _x Motor Diesel	41
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
Daftar Pustaka.....	45
LAMPIRAN.....	47
BIODATA PENULIS	61

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Properti Bahan Bakar Diesel.....	5
Tabel 2. 2 Standar Properti Bahan Bakar Biosiesel	7
Tabel 2. 3 Nilai Properti Minyak Serai Wangi.....	9
Tabel 2. 4 Standar Emisi NOx	12
Tabel 4. 1 Karakteristik Bahan Bakar	19

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Sistem Kerja Motor Diesel 2 Langkah	3
Gambar 2. 2 Sistem Kerja Motor Diesel 4 Langkah	4
Gambar 2. 3 Tanaman Serai Wangi	8
Gambar 3. 1 Skema Engine Setup.....	17
Gambar 4. 1 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt	20
Gambar 4. 2 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt	21
Gambar 4. 3 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt	22
Gambar 4. 4 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt	23
Gambar 4. 5 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt	24
Gambar 4. 6 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt	25
Gambar 4. 7 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt	26
Gambar 4. 8 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt	27
Gambar 4. 9 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt	28
Gambar 4. 10 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt	29
Gambar 4. 11 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt.....	30
Gambar 4. 12 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt.....	32
Gambar 4. 13 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt.....	33
Gambar 4. 14 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt.....	34
Gambar 4. 15 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt.....	35
Gambar 4. 16 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt.....	36
Gambar 4. 17 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt.....	37
Gambar 4. 18 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt.....	38
Gambar 4. 19 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt.....	39
Gambar 4. 20 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt.....	40
Gambar 4. 21 Diagram Kandungan Emisi NO _x pada RPM 2000 dan Beban 3000 & 4000 Watt	41

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di zaman yang semakin modern, kebutuhan energi untuk menunjang kehidupan sehari-hari semakin meningkat. Salah satu sektor yang membutuhkan energi adalah sektor transportasi. Di sektor transportasi, bahan bakar yang umum digunakan adalah jenis minyak bumi. Dimana minyak bumi ini merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbarui. Berdasarkan pendapat para ahli, cadangan minyak bumi hanya cukup untuk beberapa puluh tahun mendatang.

Mesin diesel merupakan salah satu mesin yang paling banyak digunakan untuk transportasi, baik darat maupun air. Berbagai macam kelebihan ditawarkan oleh mesin diesel, seperti hemat bahan bakar dan harganya yang murah menjadikan mesin diesel menjadi pilihan utama pada sektor transportasi, walaupun permasalahan yang dihasilkan mesin diesel adalah emisi sisa pembakaran.

Mesin diesel dapat mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanik. Namun emisi sisa pembakaran yang dikeluarkan mesin diesel mengandung beberapa zat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Diantaranya adalah CO, HC, NO_x, dan materi partikulat. Emisi-emisi tersebut dapat menyebabkan penyakit gangguan pernapasan, iritasi mata, dan kanker. Dari sisi lingkungan dapat menyebabkan pemanasan global.

Untuk mengatasi permasalahan emisi sisa pembakaran dari mesin diesel ini, sedang dikembangkan berbagai minyak dari tanaman maupun lemak hewan yang dapat dijadikan campuran biodiesel. Namun yang paling umum digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel adalah minyak nabati. Salah satu tanaman yang sedang diteliti kemampuannya sebagai campuran biodiesel adalah minyak atsiri dari tanaman serai wangi.

Serai wangi (*Cymbopogon nardus*) merupakan salah satu tanaman minyak atsiri. Minyak atsiri serai wangi diperoleh dari hasil penyulingan daunnya, dengan nama dagang *Citronella / Lemongrass Oil*. Serai wangi memiliki prospek yang cerah dalam pemanfaatannya sebagai campuran biodiesel. Mulai dari habitat tumbuhnya yang tersebar di berbagai daerah di Indonesia & masa panen yang relatif singkat (Kardinan, 2005). Dari berbagai uji coba yang telah dilakukan sebagai biodiesel, minyak ini menunjukkan performa yang lebih baik dibanding bahan bakar diesel petroleum. Namun ada beberapa parameter emisi yang lebih buruk dibanding bahan bakar diesel petroleum, salah satunya emisi NO_x yang tinggi.

Terdapat berbagai teknologi yang sedang dikembangkan untuk mengatasi permasalahan emisi ini, salah satu teknologi yang sederhana adalah *Exhaust Gas Recirculation* (EGR). EGR ini dapat mereduksi nilai emisi NO_x dengan cara mengalirkan kembali sebagian gas buang ke ruang pembakaran.

Berdasarkan fakta diatas, penulis mencoba untuk melakukan pengujian dimana minyak serai wangi agar dapat digunakan sebagai campuran biodiesel untuk bahan bakar diesel. Dengan harapan mampu memberikan hasil yang baik sehingga dapat menanggulangi ketersediaan bahan bakar dan juga mengatasi emisi yang dihasilkan dari mesin diesel.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ada dua, yaitu :

1. Bagaimanakah performa (efisiensi dan SFOC) yang dihasilkan dengan menggunakan biosiedel minyak serai wangi pada sistem *Exhaust Gas Recirculation* motor diesel?
2. Bagaimana emisi yang dihasilkan dengan menggunakan biodiesel minyak serai wangi pada sistem *Exhaust Gas Recirculation* motor diesel?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dibuat agar lingkup penelitian ini lebih fokus, yaitu :

1. Tidak menganalisa karakteristik pembakaran akibat penggunaan biodiesel minyak serai wangi.
2. Hanya menganalisa performa yang meliputi efisiensi & SFOC akibat penggunaan biodiesel minyak serai wangi pada sistem *Exhaust Gas Recirculation* motor diesel.
3. Hanya menganalisa kandungan emisi NO_x akibat penggunaan biodiesel minyak serai wangi pada sistem *Exhaust Gas Recirculation* motor diesel.
4. Tidak menjelaskan proses pembuatan minyak serai wangi.
5. Pengujian emisi sistem *Exhaust Gas Recirculation* dilakukan pada biodiesel minyak serai wangi yang menghasilkan performa terbaik.

1.4 Tujuan Skripsi

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa performa (Efisiensi dan SFOC) akibat penggunaan biodiesel minyak serai wangi pada sistem *Exhaust Gas Recirculation* motor diesel.
2. Menganalisa kandungan emisi akibat penggunaan biodiesel minyak serai wangi pada sistem *Exhaust Gas Recirculation* motor diesel.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui seberapa besar pengaruh yang dapat ditimbulkan akibat penambahan minyak serai wangi pada bahan bakar solar pada performa motor diesel dengan sistem *Exhaust Gas Recirculation*.
2. Mengetahui seberapa besar pengaruh yang dapat ditimbulkan akibat penambahan minyak serai wangi pada bahan bakar solar pada kandungan emisi yang dihasilkan sistem *Exhaust Gas Recirculation*.

BAB II DASAR TEORI

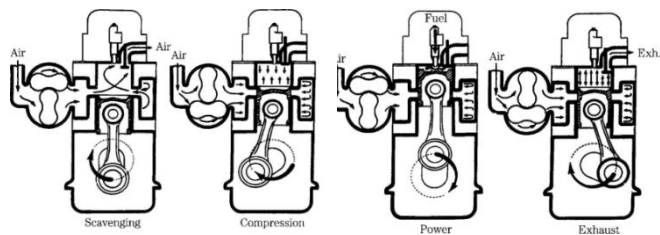
2.1 Motor Diesel

Motor bakar diesel biasa disebut juga dengan Mesin diesel (atau mesin pemacu kompresi) adalah motor bakar pembakaran dalam yang mana bahan bakar dinyalakan oleh suhu tinggi yang diakibatkan dari kompresi. Mesin ini tidak menggunakan busi seperti mesin bensin atau mesin gas.

Prinsip kerja mesin yang ditemukan oleh Rudolf Diesel ini adalah ketika udara dimasukkan ke dalam ruang bakar, yang selanjutnya udara tersebut dikompresikan hingga mencapai suhu dan tekanan yang tinggi. Beberapa saat sebelum piston mencapai Titik Mati Atas (TMA) bahan bakar solar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Dengan suhu dan tekanan udara dalam silinder yang cukup tinggi maka partikel-partikel bahan bakar akan menyala dengan sendirinya dan menghasilkan ledakan yang mendorong piston ke bawah. Kekuatan untuk mendorong piston ini, biasanya disebut dengan langkah usaha. Kejadian ini berulang-ulang dan tenaga yang muncul itu dimanfaatkan untuk menggerakkan mobil, generator listrik, dan sebagainya. Agar bahan bakar solar dapat terbakar sendiri, maka diperlukan rasio kompresi 15-22 menghasilkan tekanan 40 bar dan suhu udara kompresi kira-kira 600°C.

a) Motor diesel 2 langkah

Langkah - langkah piston dalam motor diesel 2 langkah lebih ringkas oleh karena satu langkah piston memuat dua tahap dari 4 tahap sebuah motor bakar, hal itu dapat dijelaskan sebagai berikut :



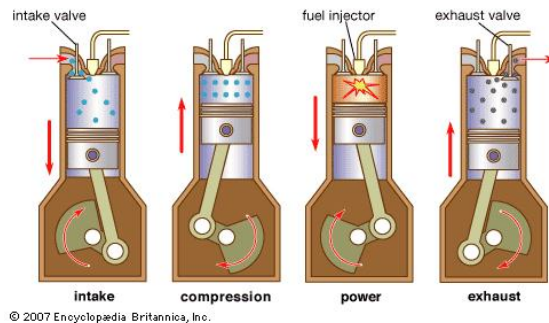
Gambar 2. 1 Sistem Kerja Motor Diesel 2 Langkah

Jika diasumsikan telah terjadi langkah usaha (*power*) maka piston bergerak dari TMA ke arah TMB. Pada saat torak berada $\pm 20\%$ dari langkahnya sebelum TMB, torak akan sampai pada permukaan bagian atas lubang pembuangan, sehingga terjadi proses pembuangan gas sisa pembakaran selama $\pm 20\%$ dari langkah torak sampai di TMB. Pada saat torak $\pm 10\%$ dari langkahnya sebelum TMB, torak akan sampai pada permukaan bagian atas lubang pembilasan, sehingga terjadi proses pembilasan membersihkan gas sisa-sisa pembakaran selama $\pm 10\%$ dari langkah torak sampai di TMB.

Piston kemudian bergerak dari TMB ke arah TMA, pada tahap ini selanjutnya piston akan menutup saluran pada dinding silinder. Dengan demikian maka terjadilah langkah kompresi, dimana udara murni yang masuk ke dalam silinder segera ditekan ke atas sampai mencapai tekanan ± 40 bar. Pada saat torak mencapai $\pm 8^\circ$ sebelum TMA,

pompa injektor akan memompakan bahan bakar ke dalam silinder. Lalu terjadi proses pembakaran. Proses ini berlanjut hingga piston melewati $\pm 5^\circ$ setelah TMA. Langkah berikutnya berulang ke langkah pertama (Handoyo, 2014).

b) Motor diesel 4 langkah



Gambar 2. 2 Sistem Kerja Motor Diesel 4 Langkah

Berikut langkah piston dalam Motor diesel 4 langkah yang dijelaskan secara bertahap sebagai berikut :

1. Langkah Masukan (*intake stroke*)

Piston bergerak dari TMA ke arah TMB, pada tahap ini kondisi katup masuk terbuka sedangkan katup buang tertutup. Dengan demikian terjadi hisapan terhadap saluran masuk oleh gerakan piston tersebut sehingga ada fluida yang memasuki silinder mesin. Fluida ini dalam mesin diesel hanya udara yang dihisap masuk ke silinder mesin.

2. Langkah kompresi (*compression stroke*)

Piston bergerak dari TMB ke arah TMA, pada tahap ini kondisi kedua katup tertutup. Terjadilah kompresi di dalam silinder mesin, sehingga fluida yang awalnya terhisap mengalami kenaikan tekanan dan temperatur.

3. Langkah Usaha (*power stroke*)

Pada akhir langkah kompresi, yaitu beberapa derajat sebelum piston sampai di TMA mesin diesel yang memiliki nilai suhu kompresi sangat tinggi mampu membakar bahan bakar yang disemprotkan ke dalam silinder pada waktu beberapa derajat sebelum mencapai TMA. Seperti dijelaskan sebelumnya pembakaran ini akan menghasilkan tekanan tinggi dalam silinder dan mendorong piston ke arah TMB, pada tahap ini kedua katup masih tertutup.

4. Langkah Buang (*exhaust stroke*)

Langkah usaha yang mendorong piston ke TMB akan diikuti oleh penambahan volume silinder yang terbentuk dengan piston tersebut. Hal ini tentu saja menyebabkan turunnya tekanan dalam silinder, dan gas-gas sisa pembakaran (gas buang) harus dibuang keluar. Oleh karena itu katup buang dibuka dan piston bergerak ke arah TMA mendorong gas sisa keluar dari silinder.

2.2 Bahan Bakar Diesel

Diesel adalah salah satu jenis bahan bakar minyak. Di Indonesia, Diesel lebih dikenal dengan nama solar. Solar khusus digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Sebuah mesin yang diciptakan oleh Rudolf Diesel, dan disempurnakan oleh Charles F. Kettering. Diesel digunakan dalam mesin diesel (mobil, kapal, dll), sejenis mesin pembakaran dalam.

Solar adalah hasil dari pemanasan minyak bumi antara 105°C-135°C dan merupakan bahan bakar mesin diesel dan merupakan fraksinasi dari minyak bumi. Solar tidak dapat menguap pada suhu tersebut dan bagian minyak bumi lainnya akan terbawa keatas untuk diolah kembali. Umumnya solar mengandung kadar belerang yang cukup tinggi. Kualitas minyak solar dinyatakan dalam bilangan setana, angka setana solar dipasaran adalah 48. *Cetane number* atau tingkatan dari solar adalah satu cara untuk mengontrol bahan bakar solar dalam kemampuan untuk pencegah terjadinya *knocking*. Tingkatan yang lebih besar memiliki kemampuan yang lebih baik.

Bahan bakar solar atau minyak solar adalah bahan bakar yang digunakan untuk mesin diesel putaran tinggi diatas 1000 rpm. Bahan bakar solar disebut juga *High Speed Diesel* (HSD) atau *Automotif Diesel Oil* (ADO). Pada motor diesel penyalanya adalah penyalan kompresi merupakan jenis mesin *Internal Combustion Engine*. Berbeda dengan bensin dimana motor bensin penyalanya menggunakan busi motor, baik dua langkah maupun empat langkah. Minyak solar adalah campuran kompleks hidrokarbon C21-C30, yang mempunyai titik didih 105°C-135°C. mutu minyak solar harus memenuhi batasan sifat-sifat yang tercantum pada spesifikasi dalam segala cuaca. Secara umum minyak solar adalah mudah teratomisasi menjadi butiran-butiran halus, sehingga dapat segera menyala dan terbakar dengan sempurna sesuai dengan kondisi dalam ruang bakar mesin.

Tabel 2. 1 Standar Properti Bahan Bakar Diesel

No	Properties	Satuan / Unit	Limits		Test Methods	
			Min	Maks	ASTM	IP
1	Specific Gravity 60 / 60 °F		0,840	0,920	D-1298	
2	Viscosity Redwood 1 / 100 °F	Secs	35	45	D-445	IP 70
3	Pour Point	°F	-	65	D-97	
4	Sulphur Content	% wt	-	1,5	D-1551 / D-1552	

No	Properties	Satuan / Unit	Limits		Test Methods	
			Min	Maks	ASTM	IP
5	Conradson Carbon Residu	% wt	-	10	D-198	
6	Water Content	% vol	-	0,25	D-95	
7	Sediment	% wt	-	0,02	D-473	
8	Ash	% wt	-	0,02	D-482	
	Netralization Value					
	Strong Acid Number	mgKOH/gr	-	Nil		
9	Flash Point P.M.c.c	°F	150	-	D-93	
10	Colour ASTM		6	-	D-1500	

Tabel diatas merupakan standar properti untuk bahan bakar diesel yang harus dipenuhi berdasarkan Surat Keputusan Dirjen Migas No.002/P/DM/MIGAS/1979 tanggal 25 Mei 1979.

2.3 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarui seperti minyak sayur atau minyak hewan. Minyak dasar diubah menjadi ester dan membuang asam lemak bebas melalui sebuah proses transesterifikasi. Setelah melewati proses ini, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (solar) dari minyak bumi, dan dapat digunakan sebagai penambah untuk bahan bakar diesel minyak bumi, meningkatkan bahan bakar diesel petrol murni ultra rendah belerang yang rendah pelumas (Manai, 2010).

Biodiesel merupakan alternatif yang paling dekat untuk menggantikan bahan bakar fosil sebagai sumber energi transportasi utama dunia, karena ia merupakan bahan bakar terbarukan yang dapat menggantikan diesel petrol di mesin sekarang ini dan dapat diangkut dan dijual dengan menggunakan infrastruktur sekarang ini.

Berikut adalah beberapa kelebihan yang dimiliki oleh biodiesel :

1. Dapat mereduksi efek rumah kaca dan emisi berbahaya
2. *Biodegradable*
3. *Flash point* yang lebih tinggi
4. Tidak beracun
5. Meningkatkan pelumasan pada mesin
6. Meningkatkan perekonomian di bidang pertanian, karena penggunaan bahan baku.

Namun selain memberikan keuntungan, terdapat beberapa kerugian yang dihasilkan dari penggunaan biodiesel, yaitu :

1. Meningkatkan emisi NO_x
2. Mempercepat proses oksidasi dan hidrolisis pada komponen mesin
3. Tidak cocok digunakan pada temperatur rendah
4. Biaya yang lebih tinggi
5. Dapat menciptakan persaingan kebutuhan bahan bakar, antara untuk biodiesel atau kebutuhan pangan.

Tabel 2. 2 Standar Properti Bahan Bakar Biosiesel

Parameter dan Satuannya	Batas Nilai	Metode Uji	Metode Setara
Massa Jenis pada 40°C, kg/m ³	850 - 890	ASTM D-1298	ISO 3675
Viskositas Kinematik pada 40°C, mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D-445	ISO 3104
Angka Setana	Min 51	ASTM D-613	ISO 5165
Titik Nyala, °C	Min 100	ASTM D-93	ISO 2710
Titik Kabut, °C	Maks 18	ASTM D-2500	-
Korosi Bilah Tembaga (3 jam, 50°C)	Maks no 3	ASTM D-130	ISO 2160
Residu Karbon, %-berat	Maks 0,05	ASTM D-4530	ISO 10370
- Dalam contoh ash	(maks 0,03)		
- Dalam 10% ampas distilasi			
Air dan Sedinmen, %-volume	Maks 0,05	ASTM D-2709	-
Temperatur distilasi 90%, °C	Maks 360	ASTM D-1160	-
Abu Tersulfatkan, %-berat	Maks 0,02	ASTM D-874	ISO 3987
Belerang, ppm-b (mg / kg)	Maks 100	ASTM D-5453	prEN ISO 20884
Fosfor, ppm-b (mg/kg)	Maks 10	AOCS Ca 12-55	FBI –A05-03
Angka Asam, mg-KOH/g	Maks 0,8	AOCS Cd 3-63	FBI –A01-03
Gliserol Bebas, %-berat	Maks 0,02	AOCS Ca 14-56	FBI –A02-03
Gliserol Total, %-berat	Maks 0,24	AOCS Ca 14-56	FBI –A02-03
Kadar Ester Alkil, %-berat	Min 96,5	Dihitung	FBI –A03-03
Angka Iodium, g-12 (100 g)	Maks 115	AOCS Cd 1-25	FBI –A04-03
Uji Halphen	Negatif	AOCS Cb 1-25	FBI –A06-03

Sebuah minyak dapat dikatakan sebagai suatu biodiesel jika memenuhi syarat syarat nilai yang telah ditentukan oleh suatu lembaga. Tabel di atas merupakan syarat kualitas biodiesel menurut SNI-0407182-2006

2.4 Minyak Atsiri

Minyak atsiri, atau dikenal juga sebagai minyak eterik (*aetheric oil*), minyak esensial (*essential oil*), minyak terbang (*volatile oil*), serta minyak aromatik (*aromatic oil*), adalah kelompok besar minyak nabati yang berwujud cairan kental pada suhu ruang namun mudah menguap sehingga memberikan aroma yang khas. Minyak atsiri merupakan bahan dasar dari wangi-wangian atau minyak gosok (untuk pengobatan) alami. Di dalam perdagangan, hasil sulingan (destilasi) minyak atsiri dikenal sebagai bibit minyak wangi.

Minyak atsiri dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar diesel karena memiliki karakteristik menyerupai/mendekati bahan bakar minyak bumi, seperti mudah menguap, berat jenisnya rendah, dan tersusun dari senyawa-senyawa organik hidrokarbon spesifik. Minyak atsiri umumnya larut dalam pelarut organik seperti alkohol, eter, petroleum, benzene, dan tidak larut dalam air. Selain itu, komponen oksigen yang terkandung dalam struktur kimia minyak atsiri diharapkan dapat menyempurnakan sistem pembakaran. Minyak atsiri juga mudah didapatkan karena banyak tumbuhan di Indonesia yang menjadi sumber minyak tersebut, seperti minyak kayu putih dan minyak sereh wangi yang dihasilkan dari tanaman kayu putih dan sereh wangi (*Setyawan, 2015*).



Gambar 2. 3 Tanaman Serai Wangi

Minyak sereh (*Lemongrass oil*) merupakan minyak atsiri yang diproduksi dari tanaman sereh wangi terutama bagian daun. Kandungan utama minyak sereh wangi adalah sitronelal (*citronellal*), sitronelol (*citronellol*), geraniol dan ester dari geraniol dan sitronelol (*citronelol*). Senyawa-senyawa tersebut merupakan senyawa monoterpen yang biasa dimanfaatkan sebagai senyawa dasar dalam industri manufaktur, produk-produk parfum dan farmasi. Keberadaan sitronelal di alam tidak tersebar secara luas. Sitronelal dengan dekstrorotari ditemui pada *Ceylonese citronella oil* (dari *C. Nardus*) sedangkan pada minyak sereh jawa dan Pinus Jeffereyi ditemukan sitronelal dengan levorotari. Stuktur kimia dari kandungan minyak sereh wangi sebagai monoterpen, menjadi pertimbangan yang menguntungkan sebagai aditif pada solar yang tersusun atas karbon lurus (*Kadarohman, 2009*).

Keuntungan yang didapatkan jika menggunakan minyak serai wangi sebagai biodiesel adalah :

1. Efisiensi termal yang lebih baik dibanding bahan bakar diesel petroleum
2. Emisi hidrokarbon yang lebih sedikit
3. Emisi karbondioksida yang lebih sedikit

Selain itu, terdapat pula kekurangannya, seperti :

1. Emisi NOx yang lebih tinggi
2. Konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi

Karakteristik minyak serai wangi yang pernah diuji oleh Badan Penelitian Tanaman Obat dan Aromatik pada tahun 2010 adalah :

Tabel 2. 3 Nilai Properti Minyak Serai Wangi

Karakteristik	Nilai
Berat jenis (gr/cm ³)	0,855
Viskositas (mm/det)	3,9
Titik Didih (°C)	108
Titik Nyala (°C)	103
Kadar Sulfur (%)	0,28

Tabel 2.3. menunjukkan nilai properti minyak serai wangi. Yang mana masing-masing properti diatas nilainya memenuhi yang disyaratkan untuk dijadikan Biodiesel (*Ma'mun, Sriyadi, Suhirman, Mulyana, Suyatno, & Kustiwa, 2010*).

2.5 Parameter dalam Performa Mesin

Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran mesin kendaraan baik itu kendaraan beroda, perahu/kapal dan pesawat terbang yang menggunakan bahan bakar.

1. Torsi

Torsi atau momen putar motor adalah gaya yang dikalikan dengan jarak panjang lengan. Gaya yang dimaksud adalah daya motor, sedangkan panjang lengan adalah panjang langkah torak.

$$T = \frac{P \times 60000}{2 \pi \times rpm}$$

Dimana :

T : torsi (Nm)

P : daya (kW)

Rpm : putaran motor diesel (rpm)

2. Daya

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Pengertian dari daya adalah kecepatan yang menimbulkan kerja motor selama waktu tertentu.

$$P = \frac{v \times i \times \cos \phi}{\text{eff gen} \times \text{eff slip}}$$

Dimana :

P : daya (kW)

V : tegangan listrik (Volt)

I : arus listrik (Ampere)

Cos ϕ : 0.9

Eff Gen: efisiensi generator (0.85)

Eff Slip: efisiensi slip (hitung)

3. BMEP

BMEP adalah tekanan efektif dari fluida kerja terhadap piston sepanjang langkahnya untuk menghasilkan kerja per siklus.

$$BMEP = \frac{P \times Z \times 1000}{V \times 2 \times 3,14 \times rps \times i}$$

Dimana :

BMEP : tekanan efektif rata-rata (N/m²)

P : daya (kW)

Z : konstanta 2 untuk 4-stroke

V : volume langkah (m³)

I : jumlah silinder

4. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar adalah laju konsumsi bahan bakar yang diperoleh dengan menganalisis pemakaian bahan bakar yang terpakai per satuan waktu (detik) untuk setiap daya kuda yang dihasilkan.

$$FCR = \frac{v \times \rho}{t}$$

Dimana :

FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)
 ρ : massa jenis bahan bakar (gr/m³)
 v : volume bahan bakar (m³)
 t : waktu yang diperlukan menghabiskan bahan bakar sebanyak 10 ml

$$SFOC = \frac{FCR}{P}$$

Dimana :

SFOC : konsumsi spesifik bahan bakar (gr/kWh)
 FCR : laju aliran bahan bakar (gr/h)
 P : daya (kW)

2.6 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran mesin kendaraan baik itu kendaraan beroda, perahu/kapal dan pesawat terbang yang menggunakan bahan bakar. Biasanya emisi gas buang ini terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari sistem pembuangan dan pembakaran mesin serta lepasnya partikel-partikel karena kurang tercukupinya oksigen dalam proses pembakaran tersebut. Emisi gas buang merupakan salah satu penyebab terjadinya efek rumah kaca dan pemanasan global yang terjadi akhir-akhir ini. Komposisi dari emisi gas buang adalah :

1. Emisi Senyawa Hidrokarbon

Bensin adalah senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan terbuang bersama sisa pembakaran. Apabila suatu senyawa hidrokarbon terbakar sempurna (bereaksi dengan oksigen) maka hasil reaksi pembakaran tersebut adalah karbondioksida (CO₂) dan air (H₂O). Walaupun desain ruang bakar mesin kendaraan saat ini yang sudah mendekati ideal, tetapi tetap saja sebagian dari bahan bakar seolah-olah tetap dapat "bersembunyi" dari api saat terjadi proses pembakaran dan menyebabkan emisi HC pada ujung knalpot cukup tinggi. Hidrokarbon (HC), dapat menyebabkan iritasi mata, pusing, batuk, mengantuk, bercak kulit, perubahan kode genetik, memicu asma dan kanker paru-paru.

2. Emisi CO₂

Gas karbon monoksida (CO) adalah gas yang relatif tidak stabil dan cenderung bereaksi dengan unsur lain. Gas karbon monoksida (CO) merupakan gas yang sangat sulit dideteksi karena gas CO tidak memiliki bau, rasa dan bentuk. Gas CO (Karbon Monoksida), dapat mengurangi kadar oksigen dalam darah, dapat menimbulkan pusing, gangguan berpikir, penurunan reflek dan gangguan jantung.

3. Emisi SO_x

Oksida Belerang (SO₂) dapat menimbulkan efek iritasi pada saluran nafas sehingga menimbulkan gejala batuk, sampai sesak nafas dan meningkatkan asma.

4. Particulate Matter (PM)

Partikel debu dalam emisi gas buang terdiri dari berbagai macam-macam komponen, baik padat maupun cair yang mengendap dalam partikel debu. Dalam debu tersebut terkandung metal oksida. Saat kandungan metal ini berekspansi maka akan membentuk partikulat yang mengandung unsur karbon. Sebagai contoh asap hitam tebal yang keluar dari cerobong pabrik, hal yang paling berbahaya adalah partikel halus yang terkandung, karena dapat mengganggu fungsi paru-paru.

5. Emisi Senyawa NO_x

Senyawa NO_x adalah ikatan kimia antara unsur nitrogen dan oksigen. Dalam kondisi normal atmosfer, nitrogen adalah gas inert yang amat stabil yang tidak akan berikatan dengan unsur lain. Tetapi dalam kondisi suhu tinggi dan tekanan tinggi dalam ruang bakar, nitrogen akan memecah ikatannya dan berikatan dengan oksigen.

Senyawa NO_x ini sangat tidak stabil dan bila terlepas ke udara bebas, akan berikatan dengan oksigen untuk membentuk NO₂. Inilah yang amat berbahaya karena senyawa ini amat beracun dan bila terkena air akan membentuk asam nitrat.

Tingginya konsentrasi senyawa NO_x disebabkan karena tingginya konsentrasi oksigen ditambah dengan tingginya suhu ruang bakar. Oksida Nitrogen (NO₂) dapat menimbulkan iritasi mata, batuk, meningkatkan kasus asma, menimbulkan infeksi saluran nafas, memicu kanker paru-paru, serta gangguan jantung dan paru-paru.

Dalam MARPOL Annex VI, dijelaskan mengenai batas emisi NO_x untuk mesin diesel yang nilainya bergantung pada putaran maksimal (RPM) yang digunakan pada mesin tersebut. Berikut adalah nilai batas emisi NO_x.

Tabel 2. 4 Standar Emisi NO_x

Tier	Date	NO _x Limit, g/kWh		
		n < 130	130 ≤ n < 2000	n ≥ 2000
Tier I	2000	17,0	45.n ^{-0,2}	9,8
Tier II	2011	14,4	44.n ^{-0,23}	7,7
Tier III	2016	3,4	9.n ^{-0,2}	1,96

2.7 Exhaust Gas Recirculation

EGR adalah kependekan dari *Exhaust Gas Recirculation* yakni sebuah teknologi yang memiliki tujuan utama untuk mengurangi emisi gas buang terutama NO_x. EGR bekerja dengan cara mensirkulasi kembali sebagian dari gas buang hasil pembakaran dari *exhaust manifold* kembali ke ruang bakar (*combustion chamber*),

sebagian gas buang (dalam konteks ini disebut “inert” karena gas ini tidak bereaksi dengan pembakaran) akan mengganti sebagian jumlah campuran bahan bakar yg masuk ke silinder (Yasin, 2017).

Keuntungan menggunakan sistem EGR pada mesin adalah :

1. Mereduksi emisi NO_x
2. Meningkatkan usia pemakaian mesin karena temperatur dalam silinder yang lebih rendah

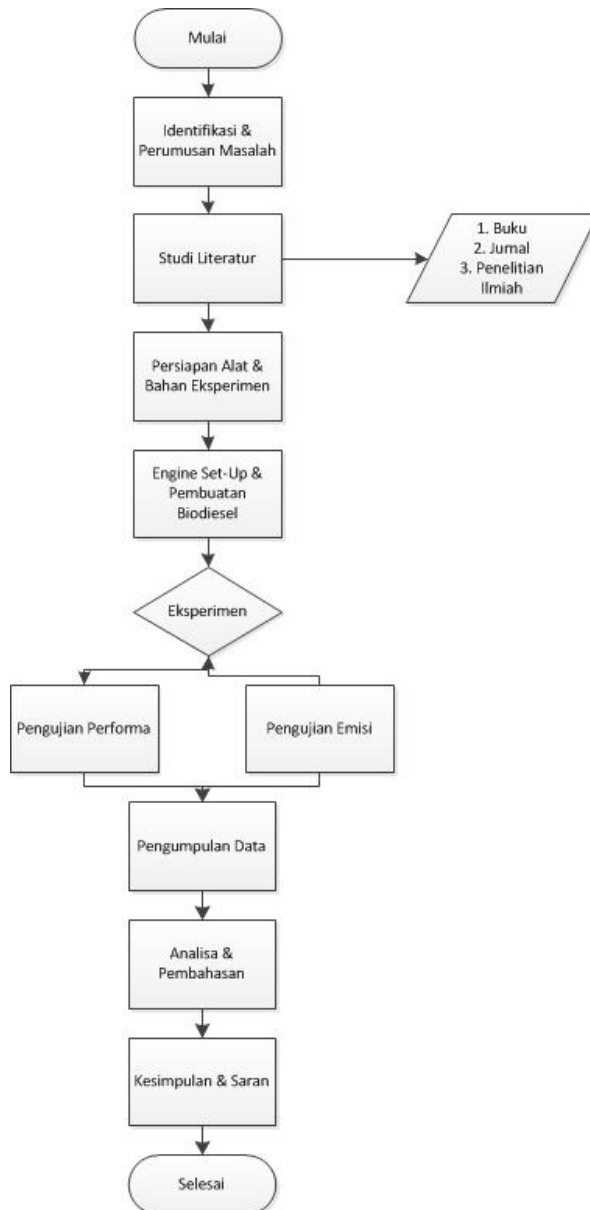
Jika ada keuntungan, maka terdapat pula kerugian yang didapatkan dari penggunaan sistem EGR, diantaranya yaitu :

1. Terdapat partikulat yang masuk dengan udara untuk pembakaran
2. Karena berasal dari gas buang, maka nilai oksigen untuk proses pembakaran tidak terpenuhi, menyebabkan penurunan performa mesin
3. Kalibrasi sistem EGR yang cukup sulit

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI

Dalam pembuatan skripsi ini, tentu saja memerlukan proses yang harus terstruktur. Hal tersebut haruslah ada, agar kedepannya dalam pengerjaan akan terasa lebih terarah dan lebih mudah. Dalam metodologi penelitian ini, penulis menggunakan metode eksperimen. Adapun diagram metodologi yang digunakan adalah sebagai berikut :



3.1 Perumusan Masalah

Perumusan masalah merupakan tahap awal dalam pelaksanaan skripsi. Tahap ini merupakan tahap yang sangat penting, dimana pada tahap inilah suatu permasalahan yang ada harus dipecahkan sehingga layak untuk dijadikan bahan dalam skripsi. Pencarian masalah dilakukan dengan cara menggali informasi mengenai masalah yang terjadi pada saat ini. Dari tahap ini juga, tujuan mengapa skripsi ini dikerjakan dapat diketahui. Dalam skripsi ini, masalah yang akan dibahas dan dipecahkan adalah mengenai ANALISA PERFORMA DAN EMISI PADA SISTEM *EXHAUST GAS RECIRCULATION* MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BIODIESEL MINYAK SERAI WANGI.

3.2 Studi Literatur

Setelah suatu permasalahan sudah diketahui, maka selanjutnya adalah studi literatur. Dimana yang harus dilakukan pada tahap ini, adalah mencari referensi permasalahan-permasalahan yang ada berikut solusinya dan juga mempelajari kedua hal tersebut untuk diimplementasikan pada skripsi ini, sehingga jelas apa saja yang harus dilakukan agar permasalahan tersebut dapat terpecahkan. Studi literatur dapat dilakukan dengan cara memahami isi *paper* atau jurnal yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dipecahkan.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Pada tahap ini dilakukan persiapan perlengkapan sebelum dilaksanakannya eksperimen analisis proses pembakaran serta emisi yang dihasilkan dari campuran bahan bakar minyak bumi dengan minyak serai wangi. Alat dan bahan yang dibutuhkan untuk melakukan eksperimen ini adalah sebagai berikut :

1. Bahan Bakar
2. Minyak Serai Wangi
3. Motor Diesel Yanmar TF85-MH
4. Sistem *Exhaust Gas Recirculation*
5. *Control Panel*
6. *Fuel Buret*

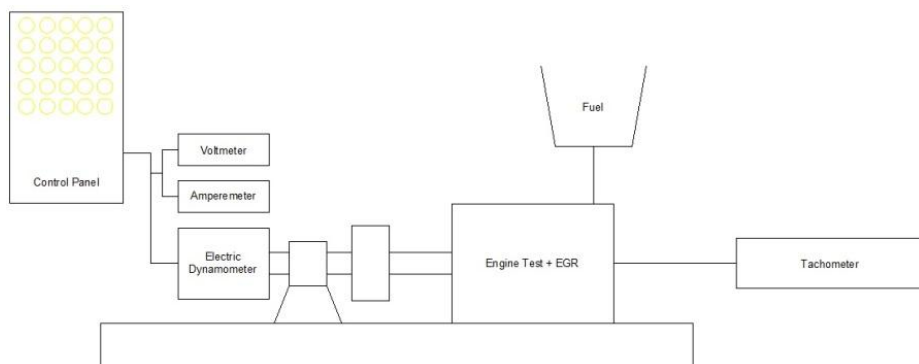
Untuk penentuan variabel bahan bakar yang akan digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Variabel bahan bakar
 - Pertadex = Pertamina Dex 100%
 - Dexlite = Dexlite 100%
 - MDO = MDO 100%
 - B15 = Pertamina Dex 85% + minyak serai wangi 15%
 - B20 = Pertamina Dex 80% + minyak serai wangi 20%
 - B25 = Pertamina Dex 75% + minyak serai wangi 25%
 - MDO B20 = MDO 80% + minyak serai wangi sebanyak 20%

- B15 + EGR = Pertamina Dex 85% + minyak serai wangi 15% + EGR
 - B20 + EGR = Pertamina Dex 80% + minyak serai wangi 20% + EGR
 - B25 + EGR = Pertamina Dex 85% + minyak serai wangi 15% + EGR
 - MDO B20 + EGR = MDO 80% + minyak serai wangi sebanyak 20% + EGR
- b. Variabel RPM
- Pada RPM 1800
 - Pada RPM 1900
 - Pada RPM 2000
 - Pada RPM 2100
 - Pada RPM 2200
- c. Variabel Beban
- Pada beban 20% yaitu 1000 Watt
 - Pada beban 40% yaitu 2000 Watt
 - Pada beban 60% yaitu 3000 Watt
 - Pada beban 80% yaitu 4000 Watt
 - Pada beban 100% yaitu 5000 Watt

2.4 Engine Set-Up & Proses Pembuatan Biodiesel

Pada tahap ini, peralatan yang akan digunakan seperti motor diesel, sistem EGR, panel pembebanan dan peralatan lainnya harus di *Setup* terlebih dahulu. *Setup* yang dilakukan adalah pemasangan sistem EGR pada bagian *Exhaust* dan *Intake Manifold* motor diesel. Lalu motor diesel dihubungkan pada generator. *Output* dari generator ini dihubungkan pada panel pembebanan yang berisikan lampu dengan variasi pembebanan 0 hingga 5000 watt. Selain itu, disiapkan pula *buret* untuk mengukur SFOC pada masing masing pembebanan yang diterima oleh motor diesel



Gambar 3. 1 Skema Engine Setup

3.5 Eksperimen

Eksperimen ini dilakukan setelah tahap-tahap sebelumnya sudah terlaksana. Eksperimen ini menggunakan mesin diesel yang berada di Laboratorium *Marine Power Plant* FTK ITS. Dalam eksperimen ini terdapat 2 data yang diambil, yaitu performa serta emisi yang dihasilkan antara bahan bakar biodiesel dengan minyak serai wangi.

3.6 Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh setelah melakukan Eksperimen percobaan

3.7 Analisa & Pembahasan

Pada penelitian ini analisa data yang dilakukan adalah analisa pada performa dari biodiesel dengan minyak serai wangi. Selain itu juga menganalisa kandungan emisi dari NO_x dari bahan bakar biodiesel dengan minyak serai wangi.

3.8 Kesimpulan & Saran

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

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Bahan Bakar

Bahan Bakar	Karakteristik	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
Minyak Serai Wangi 100%	Viskositas at 40°C	3,32	cSt	ASTM D 442-97
	Densitas	0,87	gr/cm ³	Piknometer
	Flash Point	81	°C	ASTM D 93-00
Pertamina Dex + 20% Minyak Serai Wangi	Viskositas at 40°C	2,68	cSt	ASTM D 442-97
	Densitas	0,82	gr/cm ³	Piknometer
	Flash Point	85	°C	ASTM D 93-00

Tabel 4. 1 Karakteristik Bahan Bakar

4.1.1 Viskositas

Viskositas dapat diartikan sebagai kekentalan suatu fluida. Fluida yang encer dapat dikatakan memiliki nilai viskositas yang rendah, salah satu contohnya adalah air. Sedangkan nilai viskositas yang tinggi mengakibatkan suatu fluida tersebut bersifat kental, contohnya *grease*. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik viskositas, terlihat bahwa minyak serai wangi 100% memenuhi nilai standar biodiesel, yaitu sebesar 3,32 cSt. Sedangkan Pertamina Dex + 20% minyak serai wangi memiliki nilai yang lebih rendah, yaitu 2,68 cSt. Tetapi masih memenuhi SNI biodiesel.

4.1.2 Densitas

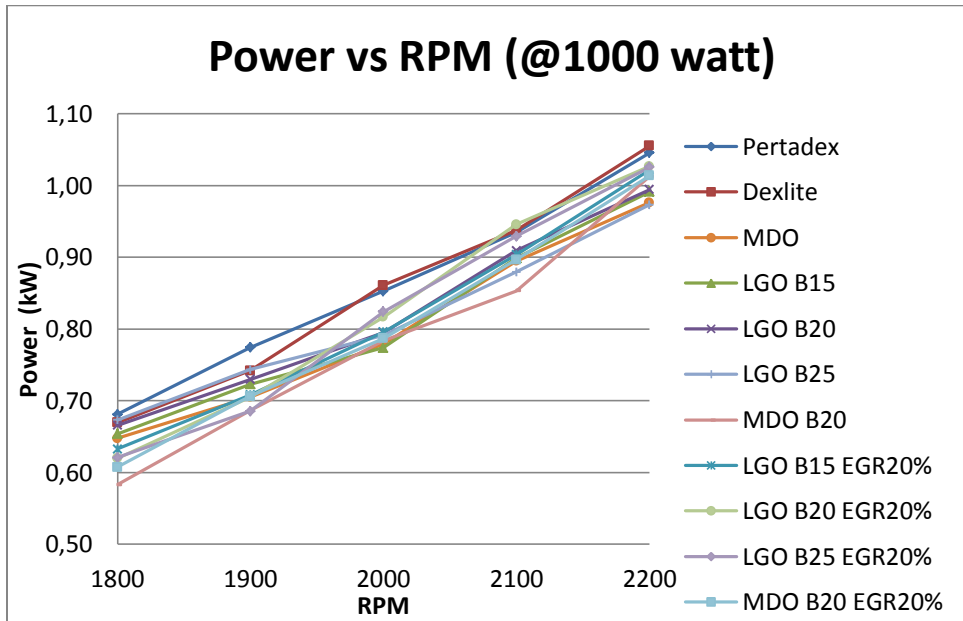
Densitas adalah suatu ukuran massa per volume. Semakin besar nilai massa setiap volumenya, maka densitas benda tersebut semakin besar. Contoh dari benda yang memiliki nilai densitas besar adalah besi. Sedangkan contoh dari benda yang memiliki nilai densitas rendah adalah gas oksigen. Berdasarkan hasil pengujian, minyak serai wangi memiliki nilai sebesar 0,87 gr/cm³, yang mana telah memenuhi standar SNI biodiesel. Namun nilai densitas dari Pertamina Dex + 20% minyak serai wangi tidak memenuhi SNI Biodiesel, karena nilai yang terkandung sebesar 0,82 gr/cm³

4.1.3 Flash Point

Flash point dapat diartikan sebagai temperatur terendah suatu bahan bakar dapat terbakar akibat dari bertemunya bahan bakar dan sumber api. Jika suatu bahan bakar memiliki nilai *flash point* yang rendah, maka bahan bakar tersebut dapat lebih cepat terbakar. Tabel 4.1. menunjukkan bahwa Pertamina Dex + 20% minyak serai wangi akan lebih lambat terbakar karena nilai *flash point*-nya sebesar 85°C. Sedangkan minyak serai wangi murni akan lebih cepat terbakar karena nilainya lebih kecil, yaitu 81°C. Jika mengacu aturan SNI biodiesel, kedua bahan bakar ini tidak sesuai dengan standar.

4.2 Performa Power Motor Diesel

4.2.1 Beban 1000 watt



Gambar 4. 1 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt

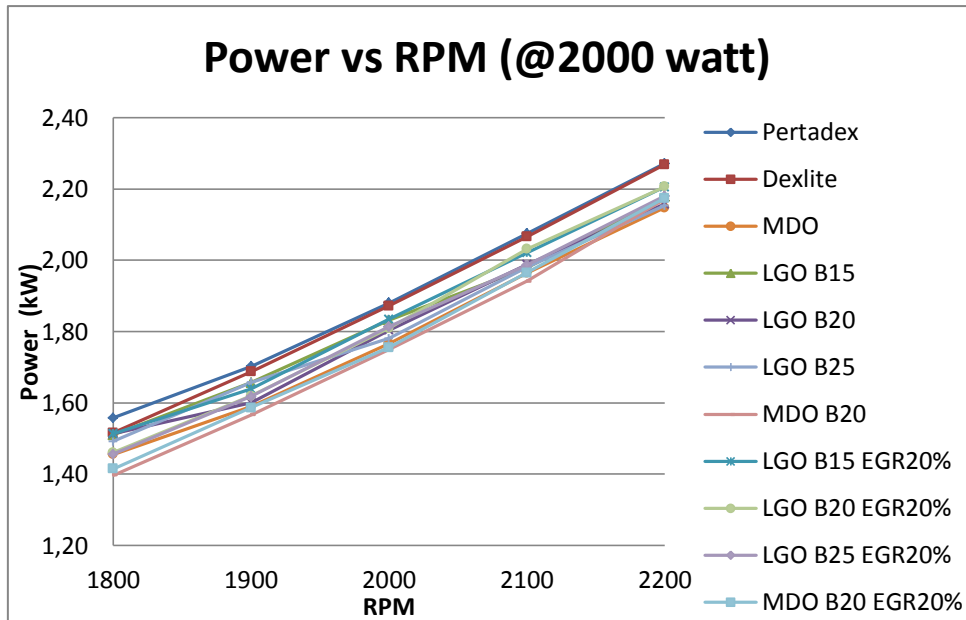
Gambar 4.1. merupakan grafik perbandingan performa *power* terhadap RPM pada beban 1000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan *power* motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, *power* motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan *power* berkisar 0,01 – 0,07 kW (1,12 – 6,95%). Saat EGR 20% digunakan, *power* yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 0,03 – 0,08 kW.

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. *Power* yang dihasilkan sebesar 0,98 kW. Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan *power* sebesar 1,01 kW. Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 0,03 kW (3,06%). Pada saat menggunakan EGR 20% terlihat bahwa *power* yang dihasilkan tetap sama, yaitu 1,01 kW.

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2200, *power* yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 2100. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan *power* sebesar 0,89 kW. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan *power* sebesar 0,85 kW, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,04 kW (4,49%) dan saat menggunakan

EGR 20% terlihat *power* yang dihasilkan sebesar 0,90 kW, dimana terjadi penurunan performa sebesar 0,01 kW (1,12%).

4.2.2 Beban 2000 watt



Gambar 4. 2 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt

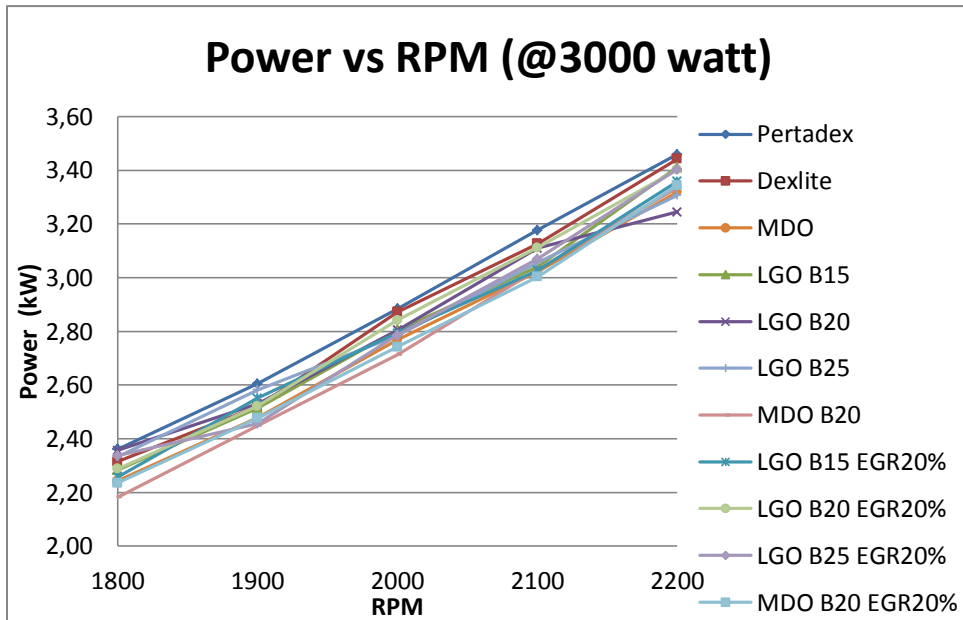
Berdasarkan grafik *power* terhadap RPM pada beban 2000 watt dapat diketahui bahwa untuk *power* tertinggi motor diesel dihasilkan saat menggunakan bahan bakar Pertamina Dex. Hal ini dikarenakan Pertamina Dex memiliki karakteristik yang paling bagus diantara bahan bakar lainnya. Seperti terlihat pada gambar 4.2. setelah Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, *power* yang dihasilkan motor diesel cenderung lebih rendah. Penurunan *power* berkisar 0,04 – 0,12 Kw (2,88 – 5,19%). Berikutnya adalah pengaruh pada *power* yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan EGR 20%. Hasil yang tertera pada grafik adalah *power* yang dihasilkan 0,05 – 0,10 kW lebih rendah dibandingkan Pertamina Dex murni.

Pengaruh yang berbeda terjadi saat minyak serai wangi ditambahkan ke MDO. Saat motor diesel dioperasikan pada RPM 2200, *power* yang dihasilkan sedikit lebih tinggi. Dimana *power* yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan MDO murni adalah 2,15 kW, setelah ditambahkan minyak serai wangi menjadi 2,17 kW. Terdapat peningkatan *power* sebesar 0,02 kW (0,93%). Selanjutnya digunakan EGR 20%, terlihat bahwa *power* yang dihasilkan tetap sama, yaitu 2,17 kW.

Namun penambahan minyak serai wangi saat motor diesel dioperasikan pada putaran rendah, hasil *power*-nya cenderung lebih rendah. Penurunan *power* terbesar terjadi pada RPM 1800. Ketika menggunakan bahan bakar MDO, *power* yang dihasilkan sebesar 1,46 kW. Penambahan minyak serai wangi mengakibatkan *power* motor diesel menjadi 1,40 kW. Dimana terlihat penurunan sebesar 0,06 kW (4,11%).

Penggunaan EGR 20% pada kondisi ini mengakibatkan *power* yang dihasilkan menjadi 1,41 kW atau terjadi penurunan *power* sebesar 0,05 kW (3,42%).

4.1.3 Beban 3000 watt



Gambar 4. 3 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt

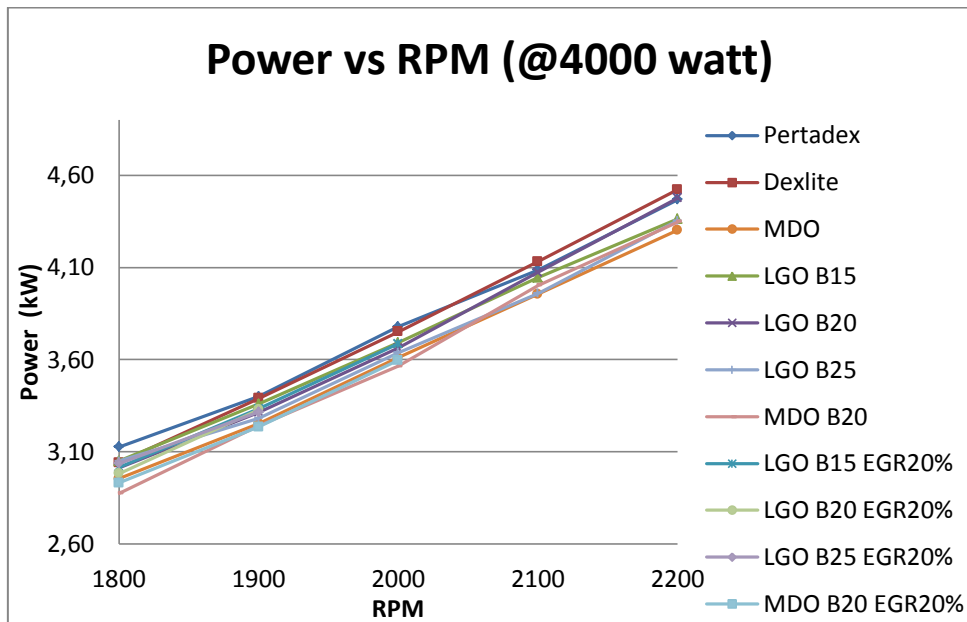
Pada grafik 4.3, yaitu grafik perbandingan *power* terhadap RPM pada beban 3000 watt terlihat bahwa *power* yang dihasilkan dari motor diesel menggunakan bahan bakar Pertamina Dex menjadi yang tertinggi. Nilai yang dihasilkan sebesar 2,36 – 3,46 kW. Kemudian digunakan minyak serai wangi sebagai campuran biodiesel ke Pertamina Dex. Dimana *power* yang tertera saat pengujian menjadi lebih rendah, dengan selisih sebesar 0,03 – 0,21 kW (1,23 – 6,20%) untuk tiga variasi campuran. Lalu EGR 20% diaplikasikan di motor diesel saat menggunakan bahan bakar campuran Pertamina Dex dengan minyak serai wangi. *Power* yang dihasilkan tetap lebih rendah, yaitu selisih 0,02 – 0,15 kW.

Eksperimen dilanjutkan dengan menggunakan bahan bakar dasar MDO. Penambahan minyak serai wangi mampu meningkatkan *power* motor diesel di RPM 2200. Motor diesel yang menggunakan MDO menghasilkan *power* sebesar 3,32 kW. Maka penambahan minyak serai wangi 20% menjadikan *power* yang mampu dihasilkan sebesar 3,34 kW. Terdapat peningkatan sebanyak 0,02 kW (0,60%). Penggunaan EGR 20% tidak memberikan dampak yang berbeda karena *power* yang dihasilkan tetap 3,34 kW.

Tetapi dari grafik di atas, dapat diketahui bahwa *power* yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan MDO selain di RPM 2200 cenderung menurun. Pada RPM 1800, penurunan *power* yang paling tinggi terjadi. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan *power* sebesar 2,24 kW. Saat ditambahkan minyak serai

wangi, motor diesel menghasilkan *power* sebesar 2,18 kW, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,06 kW (2,68%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat *power* yang dihasilkan sebesar 2,24 kW, yang mana *power* yang dihasilkan motor diesel sama seperti saat menggunakan MDO murni.

4.1.4 Beban 4000 watt



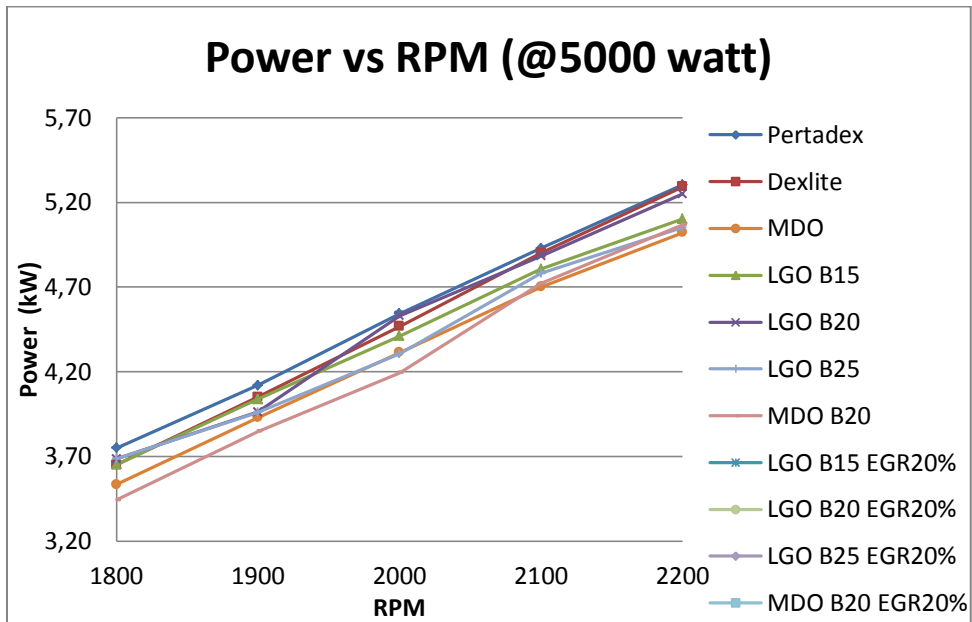
Gambar 4. 4 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt

Gambar 4.4. merupakan grafik perbandingan performa *power* terhadap RPM pada beban 4000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan *power* motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, *power* motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan *power* berkisar 0,08 – 0,14 kW (2,43 – 3,70%). Saat EGR 20% digunakan, *power* yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 0,09 – 0,15 kW. Selain itu, dampak yang dihasilkan dari penggunaan EGR ini adalah motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 2000 hingga RPM 2200 untuk B20 & B25.

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. *Power* yang dihasilkan sebesar 4,30 kW. Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan *power* sebesar 4,35 kW. Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 0,05 kW (1,16%). Pada saat menggunakan EGR 20% motor diesel tidak mampu beroperasi pada RPM 2100 & 2200, sehingga tidak ada data yang didapatkan.

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2200, power yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan *power* sebesar 2,95 kW. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan *power* sebesar 2,87 kW, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,08 kW (2,71%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat *power* yang dihasilkan sebesar 2,93 kW, dimana terjadi penurunan performa sebesar 0,02 kW (0,68%).

4.1.5 Beban 5000 watt



Gambar 4. 5 Grafik Power Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt

Mengacu gambar 4.5. grafik *power* terhadap RPM pada beban 5000 Watt, penggunaan Pertamina Dex pada motor diesel mampu menghasilkan *power* yang tertinggi. *Power* yang dihasilkan berada pada rentang 3,75 – 530 kW. Namun saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, *power* motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Terdapat selisih penurunan *power* sebanyak 0,06 – 0,24 kW (1,66 – 5,23%). Kemudian EGR 20% digunakan, motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 1800 hingga RPM 2200 untuk semua campuran bahan bakar.

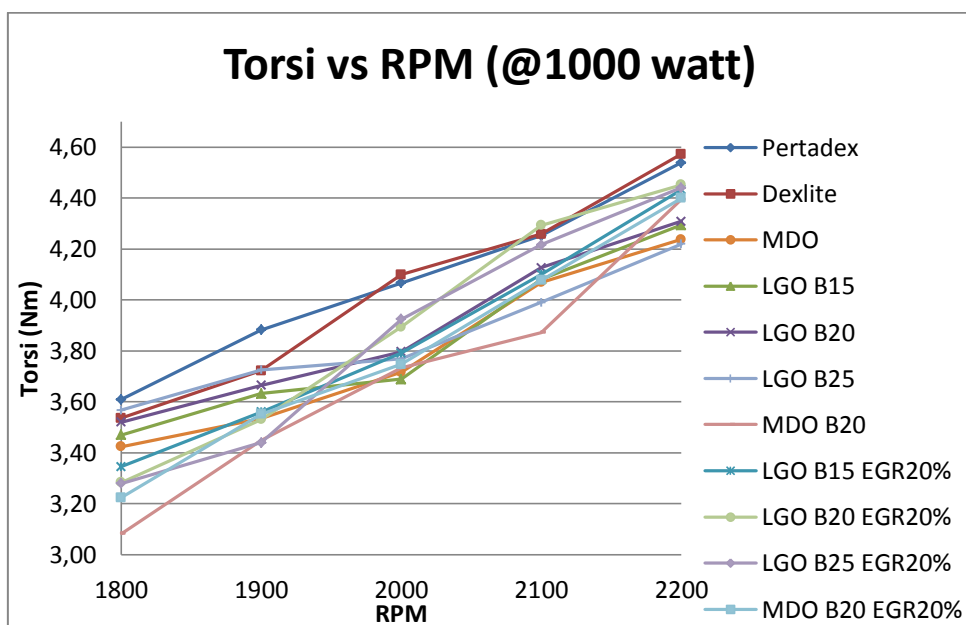
Beralih pada bahan bakar MDO. Campuran bahan bakar MDO dengan minyak serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. *Power* yang dihasilkan dari penggunaan MDO murni sebesar 5,02 kW. Kemudian MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel mampu menghasilkan *power* sebesar 5,07 kW. Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 0,05 kW (1%). Tetapi penggunaan EGR 20% mengakibatkan motor diesel tidak mampu beroperasi

sejak RPM 1800 hingga RPM 2200, sehingga tidak ada data yang didapatkan.

Namun pada gambar 4.5, terlihat selain pada RPM 2200, *power* yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 2000. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan *power* sebesar 4,31 kW. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan *power* sebesar 4,19 kW, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,12 kW (2,78%) dan saat menggunakan EGR 20% motor diesel tidak mampu beroperasi sehingga tidak ada data yang didapatkan.

4.2 Performa Torsi Motor Diesel

4.2.1 Beban 1000 watt



Gambar 4. 6 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt

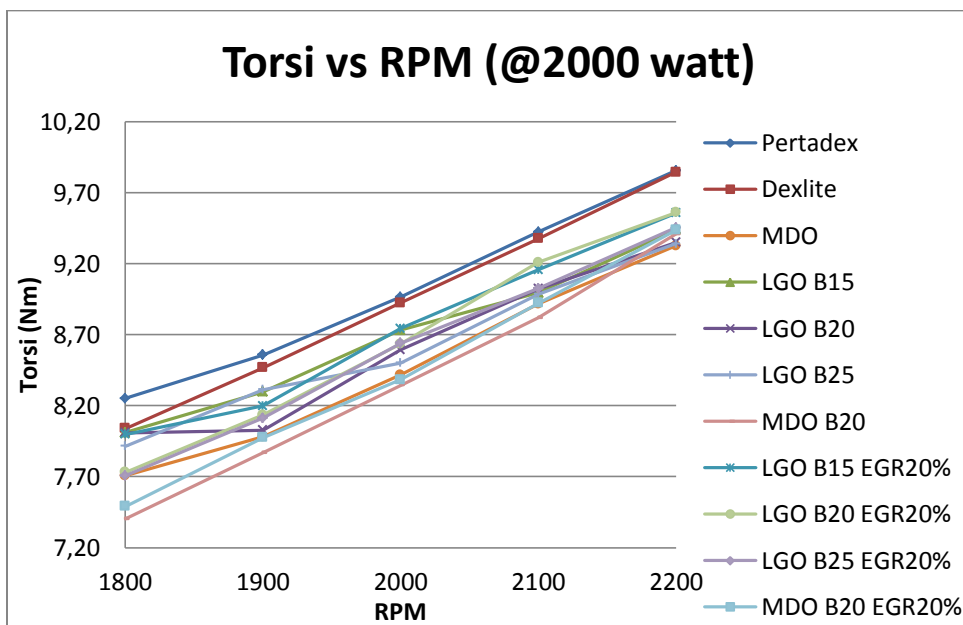
Gambar 4.6. merupakan grafik perbandingan performa torsi terhadap RPM pada beban 1000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan torsi motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, torsi motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan torsi berkisar 0,04 – 0,32 Nm (1,17 – 7,03%). Saat EGR 20% digunakan, torsi yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 0,03 – 0,44 Nm.

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. Torsi

yang dihasilkan sebesar 4,24 Nm. Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan torsi sebesar 4,40 Nm. Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 0,16 Nm (3,70%). Pada saat menggunakan EGR 20% terlihat bahwa torsi yang dihasilkan tetap sama, yaitu 4,40 Nm.

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2200, torsi yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan torsi sebesar 3,42 Nm. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan torsi sebesar 3,08 Nm, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,34 Nm (9,97%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat torsi yang dihasilkan sebesar 3,22 Nm, dimana terjadi penurunan performa sebesar 0,20 Nm (5,85%).

4.2.2 Beban 2000 watt



Gambar 4. 7 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt

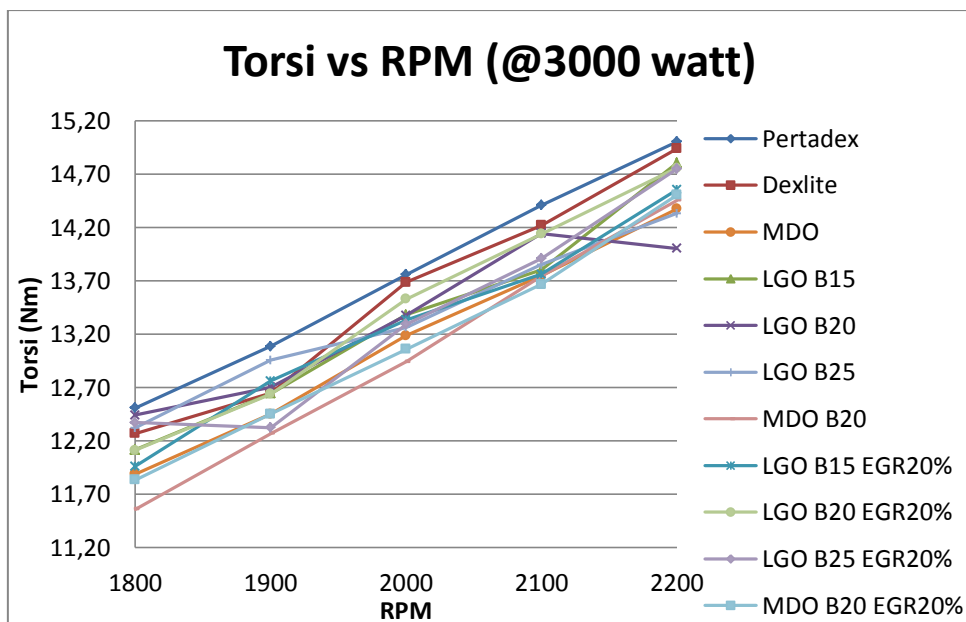
Berdasarkan grafik torsi terhadap RPM pada beban 2000 watt dapat diketahui bahwa untuk torsi tertinggi motor diesel dihasilkan saat menggunakan bahan bakar Pertamina Dex. Hal ini dikarenakan Pertamina Dex memiliki karakteristik yang paling bagus diantara bahan bakar lainnya. Seperti terlihat pada gambar 4.7. setelah Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, torsi yang dihasilkan motor diesel cenderung lebih rendah. Penurunan torsi berkisar 0,24 – 0,42 Nm (2,92 – 5,75%). Berikutnya adalah pengaruh pada torsi yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan EGR 20%. Hasil yang tertera pada grafik adalah torsi yang dihasilkan 0,21 – 0,55 Nm lebih rendah dibandingkan Pertamina Dex murni.

Pengaruh yang berbeda terjadi saat minyak serai wangi ditambahkan ke MDO.

Saat motor diesel dioperasikan pada RPM 2200, torsi yang dihasilkan sedikit lebih tinggi. Dimana torsi yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan MDO murni adalah 9,33 Nm, setelah ditambahkan minyak serai wangi menjadi 9,41 Nm. Terdapat peningkatan torsi sebesar 0,08 Nm (0,88%). Selanjutnya digunakan EGR 20%, terlihat bahwa torsi yang dihasilkan lebih tinggi, yaitu 9,44 Nm, terdapat selisih sebesar 0,11 Nm (1,20%).

Namun penambahan minyak serai wangi saat motor diesel dioperasikan pada putaran rendah, hasil torsinya cenderung lebih rendah. Penurunan torsi terbesar terjadi pada RPM 1800. Ketika menggunakan bahan bakar MDO, torsi yang dihasilkan sebesar 7,71 Nm. Penambahan minyak serai wangi mengakibatkan torsi motor diesel menjadi 7,40 Nm. Dimana terlihat penurunan sebesar 0,31 Nm (3,94%). Penggunaan EGR 20% pada kondisi ini mengakibatkan torsi yang dihasilkan menjadi 7,49 Nm atau terjadi penurunan torsi sebesar 0,22 Nm (2,81%).

4.2.3 Beban 3000 watt



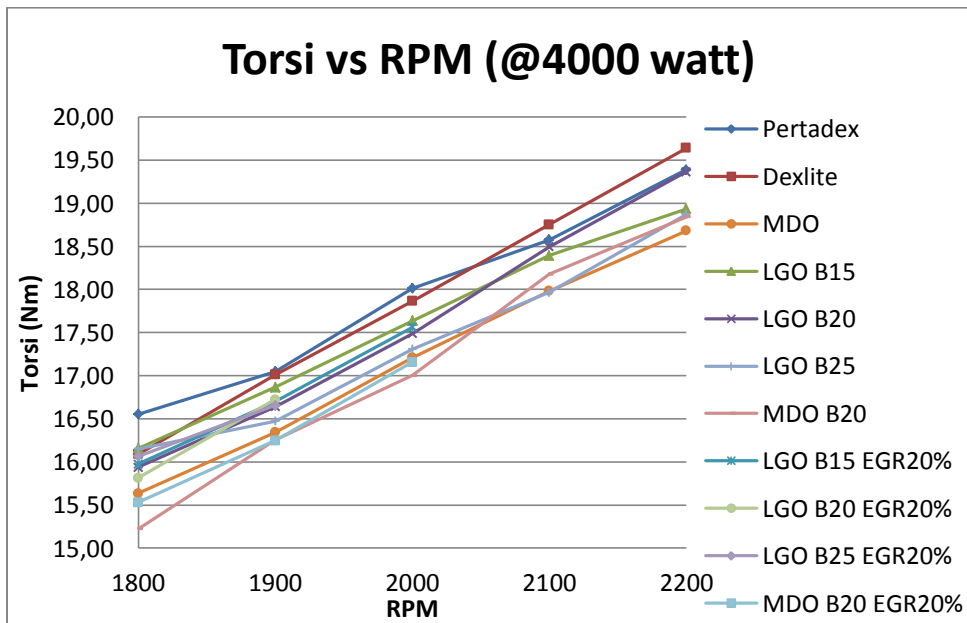
Gambar 4. 8 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt

Gambar 4.8. merupakan grafik perbandingan performa torsi terhadap RPM pada beban 3000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan torsi motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, torsi motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan torsi berkisar 0,07 – 1,00 Nm (0,54 – 6,67%). Saat EGR 20% digunakan, torsi yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 0,14 – 0,77 Nm.

Sedangkan penggunaan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. Torsi yang dihasilkan sebesar 14,38 Nm. Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan torsi sebesar 14,45 Nm. Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 0,07 Nm (0,54%). Pada saat menggunakan EGR 20% terlihat bahwa torsi yang dihasilkan lebih tinggi, yaitu 14,50 Nm, terjadi kenaikan sebesar 0,12 Nm (0,90%)

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2200, torsi yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan torsi sebesar 11,56 Nm. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan torsi sebesar 11,56 Nm, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,33 Nm (2,77%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat torsi yang dihasilkan sebesar 11,84 Nm, dimana terjadi penurunan performa sebesar 0,05 Nm (0,46%).

4.2.4 Beban 4000 watt



Gambar 4. 9 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt

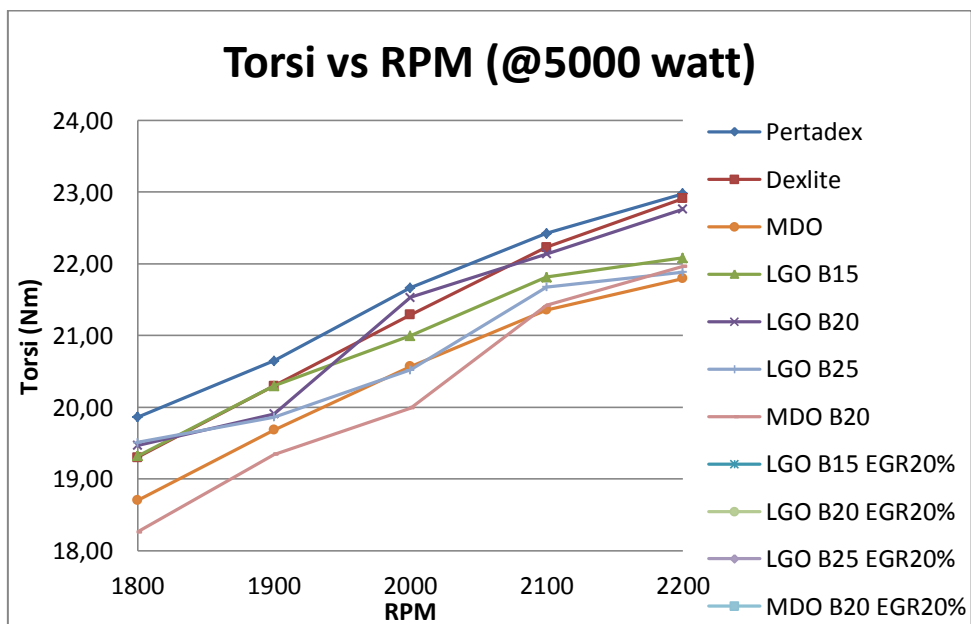
Gambar 4.9. merupakan grafik perbandingan performa torsi terhadap RPM pada beban 4000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan torsi motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, torsi motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan torsi berkisar 0,40 – 0,70 Nm (2,39 –3,90%). Saat EGR 20% digunakan, torsi yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih

rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 0,23 – 0,73 Nm. Selain itu, dampak yang dihasilkan dari penggunaan EGR ini adalah motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 2000 hingga RPM 2200 untuk B20 & B25.

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2100 & 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. Torsi yang dihasilkan sebesar 17,98 & 18,68 Nm. Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan torsi sebesar 18,18 & 18,84 Nm. Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 0,20 & 0,16 Nm (1,08 & 0,85%). Pada saat menggunakan EGR 20% motor diesel tidak mampu beroperasi pada RPM 2100 & 2200, sehingga tidak ada data yang didapatkan.

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2100 & 2200, torsi yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan torsi sebesar 15,64 Nm. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan torsi sebesar 15,22 Nm, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,42 Nm (2,63%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat *torsi* yang dihasilkan sebesar 15,53 Nm, dimana terjadi penurunan performa sebesar 0,11 Nm (0,68%).

4.2.5 Beban 5000 watt



Gambar 4. 10 Grafik Torsi Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt

Mengacu gambar 4.10. grafik torsi terhadap RPM pada beban 5000 Watt, penggunaan Pertamina Dex pada motor diesel mampu menghasilkan torsi yang tertinggi. Torsi yang dihasilkan berada pada rentang 19,86 – 22,98 Nm. Namun saat

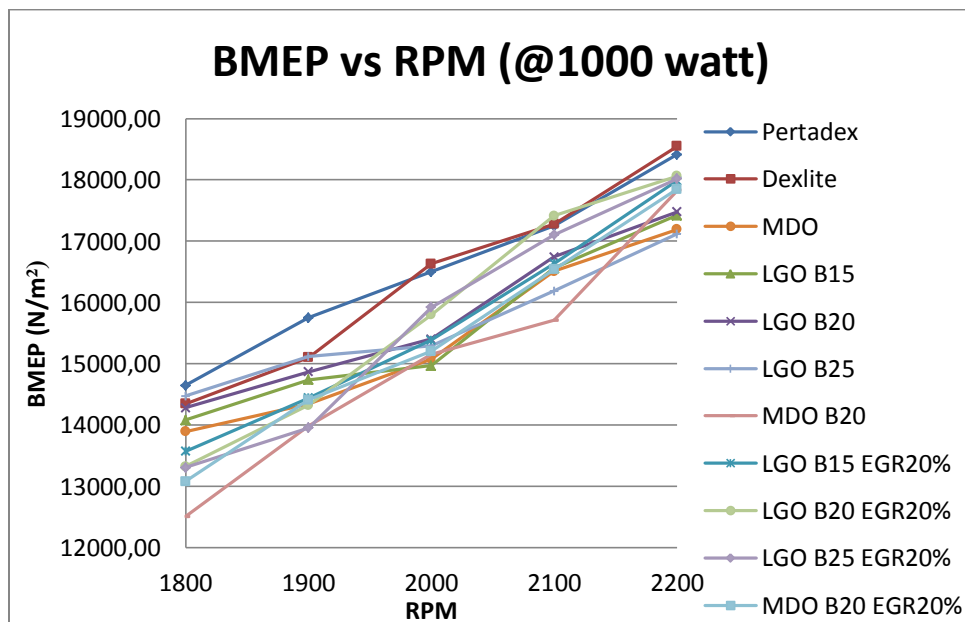
bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, torsi motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Terdapat selisih penurunan torsi sebanyak 0,35 – 1,14 Nm (1,77 – 5,28%). Kemudian EGR 20% digunakan, motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 1800 hingga RPM 2200 untuk semua campuran bahan bakar.

Beralih pada bahan bakar MDO. Campuran bahan bakar MDO dengan minyak serai wangi, pada RPM 2100 & 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. Torsi yang dihasilkan dari penggunaan MDO murni sebesar 21,36 & 21,80 Nm. Kemudian MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel mampu menghasilkan torsi sebesar 21,42 & 21,96 Nm. Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 0,06 – 0,16 Nm (0,28 – 0,76%). Tetapi penggunaan EGR 20% mengakibatkan motor diesel tidak mampu beroperasi sejak RPM 1800 hingga RPM 2200, sehingga tidak ada data yang didapatkan.

Namun pada gambar 4.5, terlihat selain pada RPM 2100 & 2200, torsi yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 2000. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan torsi sebesar 20,57 Nm. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan torsi sebesar 19,99 Nm, yang mana mengalami penurunan sebesar 0,58 Nm (2,83%) dan saat menggunakan EGR 20% motor diesel tidak mampu beroperasi sehingga tidak ada data yang didapatkan.

4.3 Performa BMEP Motor Diesel

4.3.1 Beban 1000 watt



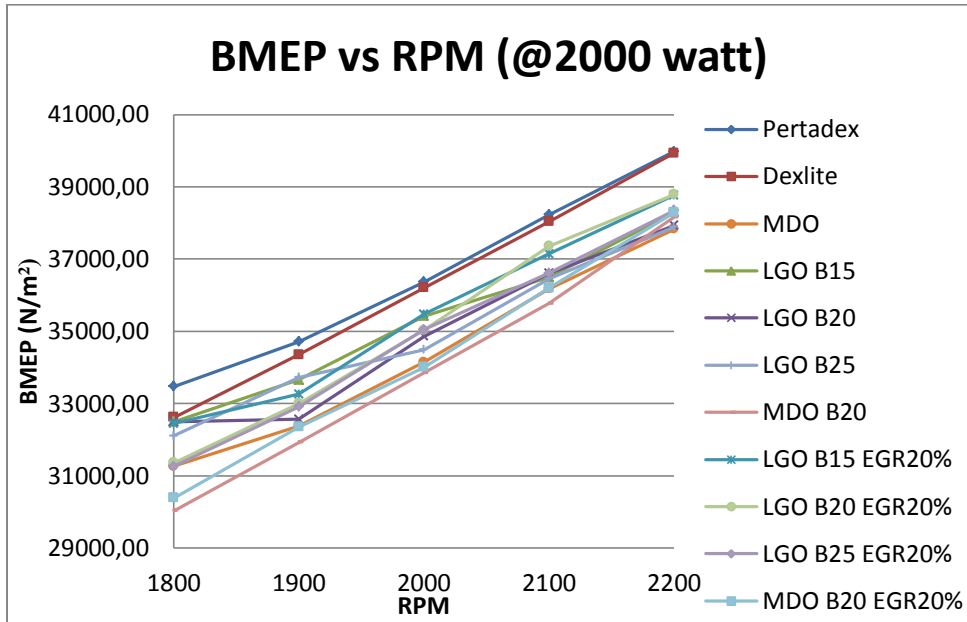
Gambar 4. 11 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt

Gambar 4.11. merupakan grafik perbandingan performa BMEP terhadap RPM pada beban 1000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan BMEP motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, BMEP motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan BMEP berkisar 172,03 – 1295,08 N/m² (1,17 – 7,03%). Saat EGR 20% digunakan, BMEP yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 144,67 – 1797,31 N/m².

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. BMEP yang dihasilkan sebesar 17421,53 N/m². Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan BMEP sebesar 17829,80 N/m². Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 636,43 N/m² (3,70%). Pada saat menggunakan EGR 20% terlihat bahwa BMEP yang dihasilkan lebih tinggi, yaitu 17848,08 N/m², terjadi kenaikan sebesar 655,71 N/m² (3,81%).

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2200, BMEP yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan BMEP sebesar 13892,04 N/m². Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan BMEP sebesar 1385,65 N/m², yang mana mengalami penurunan sebesar 1385,65 N/m² (9,97%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat BMEP yang dihasilkan sebesar 13079,07 N/m², dimana terjadi penurunan performa sebesar 812,98 N/m² (5,85%).

4.3.2 Beban 2000 watt



Gambar 4. 12 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt

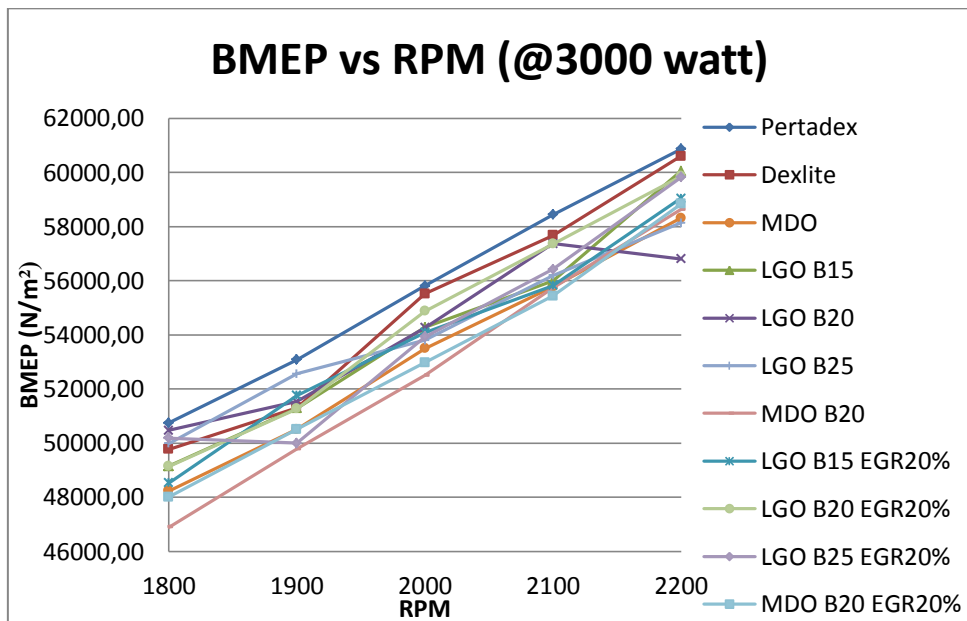
Berdasarkan grafik BMEP terhadap RPM pada beban 2000 watt dapat diketahui bahwa untuk BMEP tertinggi motor diesel dihasilkan saat menggunakan bahan bakar Pertamina Dex. Hal ini dikarenakan Pertamina Dex memiliki karakteristik yang paling bagus diantara bahan bakar lainnya. Seperti terlihat pada gambar 4.12. setelah Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, BMEP yang dihasilkan motor diesel cenderung lebih rendah. Penurunan BMEP berkisar 976,51 – 2090,83 N/m² (2,92 – 5,23%). Berikutnya adalah pengaruh pada BMEP yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan EGR 20%. Hasil yang tertera pada grafik adalah BMEP yang dihasilkan 871,26 – 2211,79 N/m² lebih rendah dibandingkan Pertamina Dex murni.

Pengaruh yang berbeda terjadi saat minyak serai wangi ditambahkan ke MDO. Saat motor diesel dioperasikan pada RPM 2200, BMEP yang dihasilkan sedikit lebih tinggi. Dimana BMEP yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan MDO murni adalah 37831,45 N/m², setelah ditambahkan minyak serai wangi menjadi 38163,67 N/m². Terdapat peningkatan BMEP sebesar 332,22 N/m² (0,88%). Selanjutnya digunakan EGR 20%, terlihat bahwa BMEP yang dihasilkan lebih tinggi, yaitu 9,44 Nm, terdapat selisih sebesar 38284,14 N/m² (1,20%).

Namun penambahan minyak serai wangi saat motor diesel dioperasikan pada putaran rendah, hasil BMEP-nya cenderung lebih rendah. Penurunan BMEP terbesar terjadi pada RPM 1800. Ketika menggunakan bahan bakar MDO, BMEP yang dihasilkan sebesar 31263,40 N/m². Penambahan minyak serai wangi mengakibatkan BMEP motor diesel menjadi 30031,85 N/m². Dimana terlihat penurunan sebesar 1231,55 N/m² (3,94%). Penggunaan EGR 20% pada kondisi ini mengakibatkan BMEP yang dihasilkan menjadi 30384,50 N/m² atau terjadi penurunan BMEP sebesar 878,90

N/m² (2,81%).

4.3.3 Beban 3000 watt



Gambar 4. 13 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt

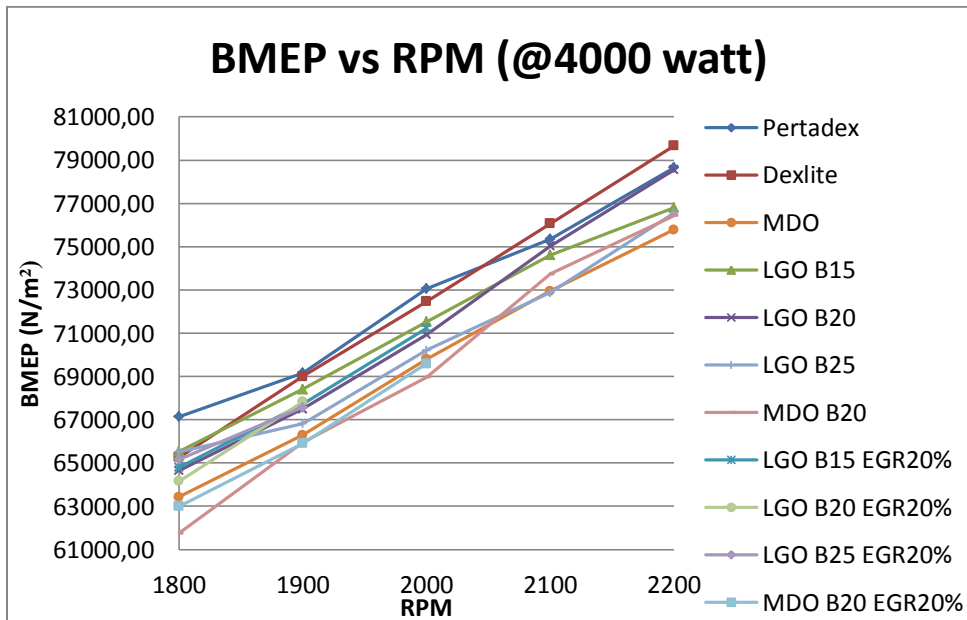
Gambar 4.13. merupakan grafik perbandingan performa BMEP terhadap RPM pada beban 3000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan BMEP motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, BMEP motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan BMEP berkisar 272,78 – 4057,35 N/m² (0,54 – 6,67%).. Saat EGR 20% digunakan, BMEP yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 1005,44 – 3087,05 N/m².

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. BMEP yang dihasilkan sebesar 58316,56 N/m². Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan BMEP sebesar 58633,86 N/m². Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 317,30 N/m² (0,54%). Pada saat menggunakan EGR 20% terlihat bahwa BMEP yang dihasilkan lebih tinggi, yaitu 58839,82 N/m², terjadi kenaikan sebesar 523,26 N/m² (0,90%).

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2200, BMEP yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan BMEP sebesar 48234,03 N/m². Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan BMEP sebesar

46897,25 N/m², yang mana mengalami penurunan sebesar 1336,78 N/m² (2,77%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat BMEP yang dihasilkan sebesar 48014,51 N/m², dimana terjadi penurunan performa sebesar 219,52 N/m² (0,46%).

4.3.4 Beban 4000 watt



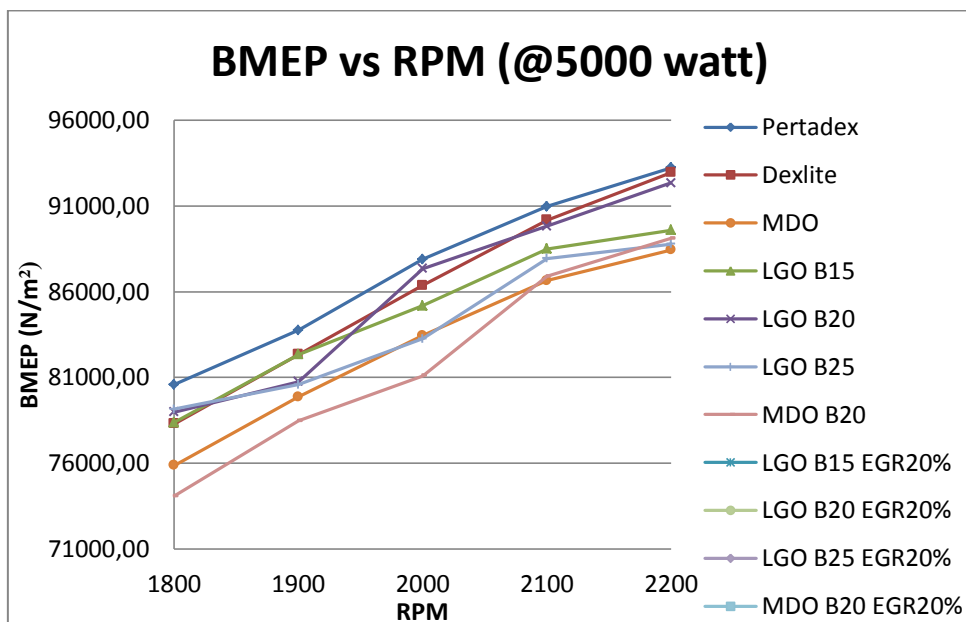
Gambar 4. 14 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt

Gambar 4.14. merupakan grafik perbandingan performa BMEP terhadap RPM pada beban 4000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan BMEP motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, BMEP motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk semua variable campuran. Penurunan BMEP berkisar 100,20 – 2487,97 N/m² (0,13 – 3,71%). Saat EGR 20% digunakan, torsi yang dihasilkan motor diesel sedikit lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 1327,02 – 2990,32 N/m². Selain itu, dampak yang dihasilkan dari penggunaan EGR ini adalah motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 2000 hingga RPM 2200 untuk B20 & B25.

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 2100 & 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. BMEP yang dihasilkan sebesar 72951,35 & 75791,64 N/m². Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan BMEP sebesar 73739,88 & 76439,43 N/m². Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 788,53 & 647,79 N/m² (1,08 & 0,85%). Pada saat menggunakan EGR 20% motor diesel tidak mampu beroperasi pada RPM 2100 & 2200, sehingga tidak ada data yang didapatkan.

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2100 & 2200, BMEP yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan BMEP sebesar 63432,62 N/m². Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan BMEP sebesar 61761,56 N/m², yang mana mengalami penurunan sebesar 1671,06 N/m² (2,63%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat BMEP yang dihasilkan sebesar 63004,55 N/m², dimana terjadi penurunan performa sebesar 428,07 N/m² (0,67%).

4.3.5 Beban 5000 watt



Gambar 4. 15 Grafik BMEP Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt

Mengacu gambar 4.15. grafik BMEP terhadap RPM pada beban 5000 Watt, penggunaan Pertamina Dex pada motor diesel mampu menghasilkan BMEP yang tertinggi. BMEP yang dihasilkan berada pada rentang 80577,93 – 93228,22 N/m². Namun saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, BMEP motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Terdapat selisih penurunan BMEP sebanyak 541,21 – 4640,49 N/m² (0,13 – 3,71%). Kemudian EGR 20% digunakan, motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 1800 hingga RPM 2200 untuk semua campuran bahan bakar.

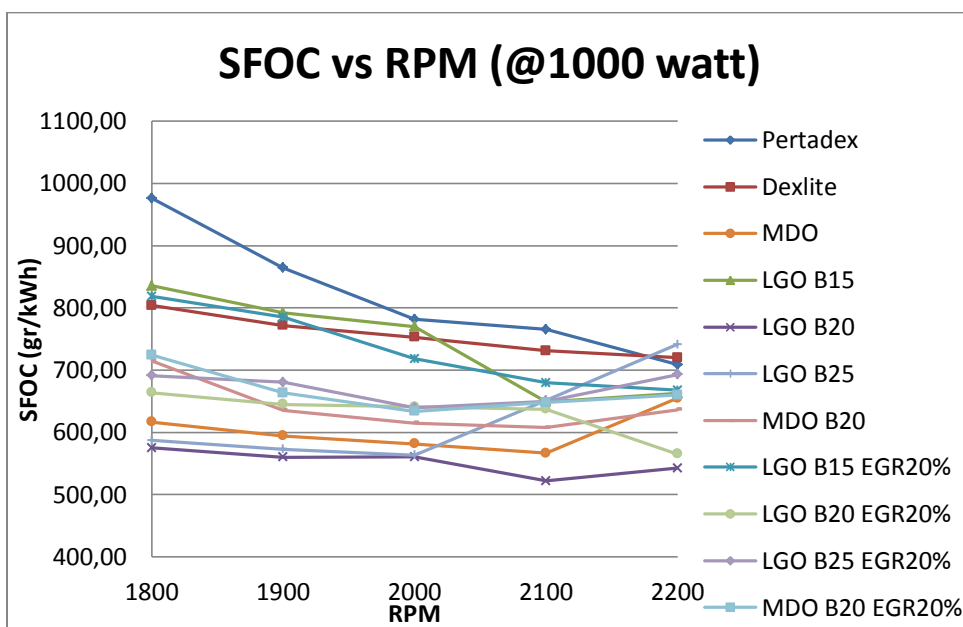
Beralih pada bahan bakar MDO. Campuran bahan bakar MDO dengan minyak serai wangi, pada RPM 2100 & 2200 motor diesel mengalami peningkatan performa. BMEP yang dihasilkan dari penggunaan MDO murni sebesar 86643,27 & 88428,63 N/m². Kemudian MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel mampu menghasilkan BMEP sebesar 86898,09 & 89103,65 N/m². Dimana terjadi peningkatan performa sebesar 254,81 & 675,03 N/m² (0,29 & 0,76%). Tetapi

penggunaan EGR 20% mengakibatkan motor diesel tidak mampu beroperasi sejak RPM 1800 hingga RPM 2200, sehingga tidak ada data yang didapatkan.

Namun pada gambar 4.15, terlihat selain pada RPM 2100 & 2200, BMEP yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi pada RPM 2000. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan BMEP sebesar 83447,68 N/m². Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan BMEP sebesar 81089,10 N/m², yang mana mengalami penurunan sebesar 2358,58 N/m² (2,83%) dan saat menggunakan EGR 20% motor diesel tidak mampu beroperasi sehingga tidak ada data yang didapatkan.

4.4 Performa SFOC Motor Diesel

4.4.1 Beban 1000 watt



Gambar 4. 16 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 1000 Watt

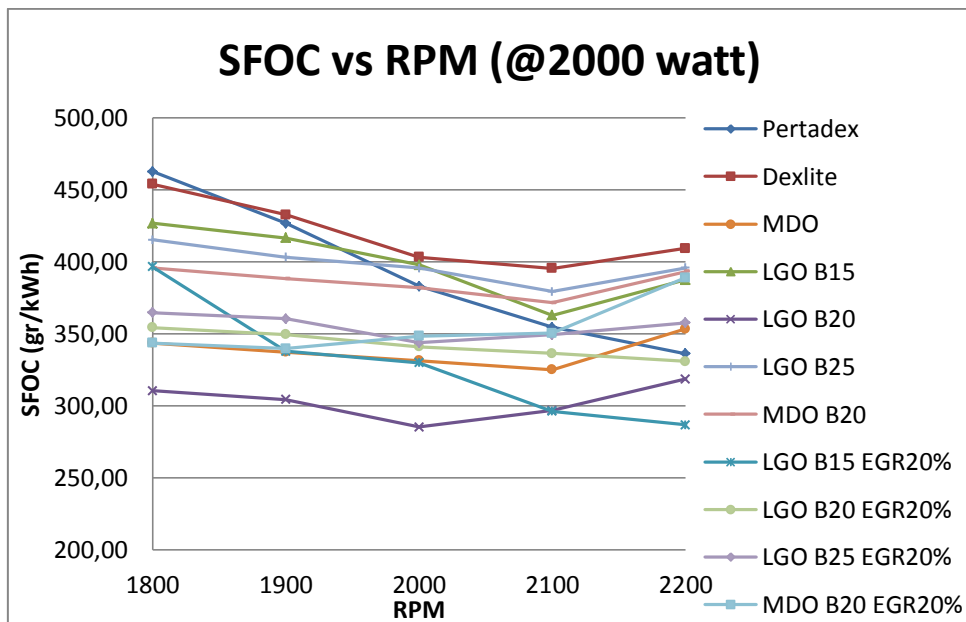
Gambar 4.16. merupakan grafik perbandingan performa SFOC terhadap RPM pada beban 1000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan SFOC motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, SFOC motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah hampir untuk semua variable campuran, kecuali pada campuran B25 di RPM 2200. Penurunan SFOC berkisar 46,61 – 401,06 gr/kWh (6,57 – 41,08%). Saat EGR 20% digunakan, SFOC yang dihasilkan motor diesel masih lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 41,26 – 312,43 gr/kWh.

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak

serai wangi, pada RPM 2200 motor diesel mengalami penurunan. SFOC yang dihasilkan sebesar 654,62 gr/kWh. Sedangkan MDO yang ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, motor diesel menghasilkan SFOC sebesar 636,06 gr/kWh. Dimana bahan bakar yang dikonsumsi lebih hemat 18,56 gr/kWh (2,84%). Pada saat menggunakan EGR 20% terlihat bahwa SFOC yang dihasilkan lebih tinggi, yaitu 659,97 gr/kWh, terjadi kenaikan sebesar 5,35 gr/kWh (0,82%).

Namun dari grafik di atas, terlihat selain pada RPM 2200, SFOC yang dihasilkan motor diesel saat menggunakan campuran bahan bakar MDO dan minyak serai wangi mengalami peningkatan. Peningkatan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 616,60 gr/kWh. Saat ditambahkan minyak serai wangi, motor diesel menghasilkan SFOC sebesar 715,30 gr/kWh, yang mana mengalami peningkatan sebesar 98,70 gr/kWh (16,01%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat SFOC yang dihasilkan sebesar 723,95, dimana terjadi peningkatan SFOC sebesar 107,35 gr/kWh (17,41%).

4.4.2 Beban 2000 watt



Gambar 4. 17 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 2000 Watt

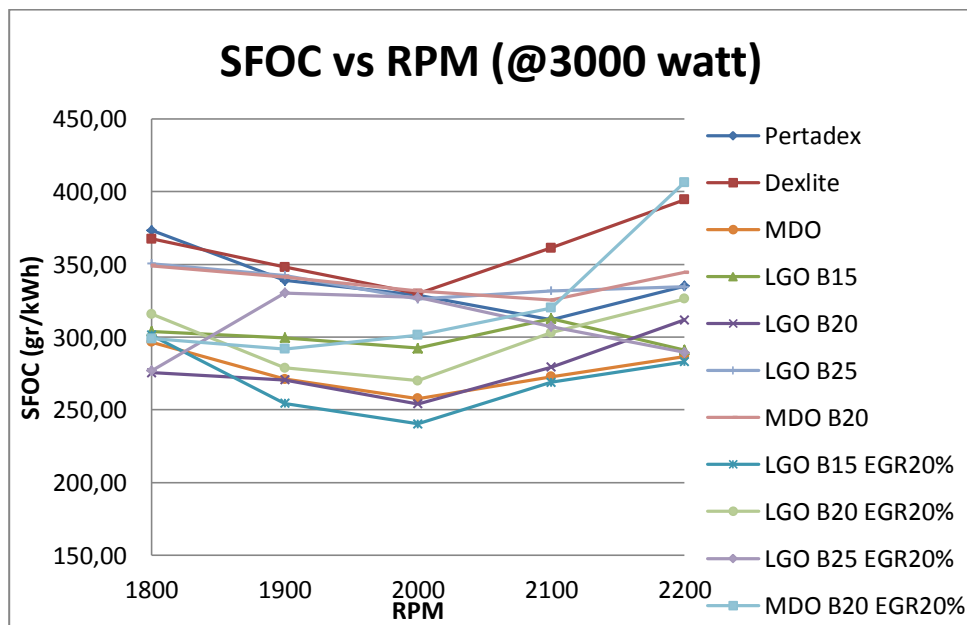
Gambar 4.17. merupakan grafik perbandingan performa SFOC terhadap RPM pada beban 2000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan SFOC motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, SFOC motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah hampir untuk semua variable campuran, kecuali pada campuran B15 di RPM 2200 dan B25 di RPM 2000 – 2210. Penurunan SFOC berkisar 10,20 – 152,10 gr/kWh (2,39 – 32,88%). Saat EGR 20% digunakan, SFOC yang dihasilkan motor diesel masih

lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 5,24 – 108,26 gr/kWh.

Sedangkan penggunaan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada semua RPM mengalami peningkatan SFOC. Peningkatan terkecil terjadi pada RPM 2200. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 353,32 gr/kWh. Lalu setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC nya menjadi 393,27 gr/kWh. Dimana terdapat peningkatan sebesar 39,94 gr/kWh (11,31%). Saat menggunakan EGR 20%, motor diesel menghasilkan SFOC sebesar 288,98 gr/kWh, terjadi peningkatan sebesar 35,66 gr/kWh (11,31%).

Lalu SFOC yang mengalami peningkatan terbesar terjadi saat RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 343,69 gr/kWh, setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC yang dihasilkan menjadi 397,66 gr/kWh, yang mana terdapat kenaikan sebesar 53,97 gr/kWh (15,70%) dan saat menggunakan EGR 20% terlihat SFOC yang dihasilkan motor diesel hampir sama seperti saat menggunakan MDO murni, yaitu sebesar 343,66 gr/kWh.

4.4.3 Beban 3000 watt



Gambar 4. 18 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 3000 Watt

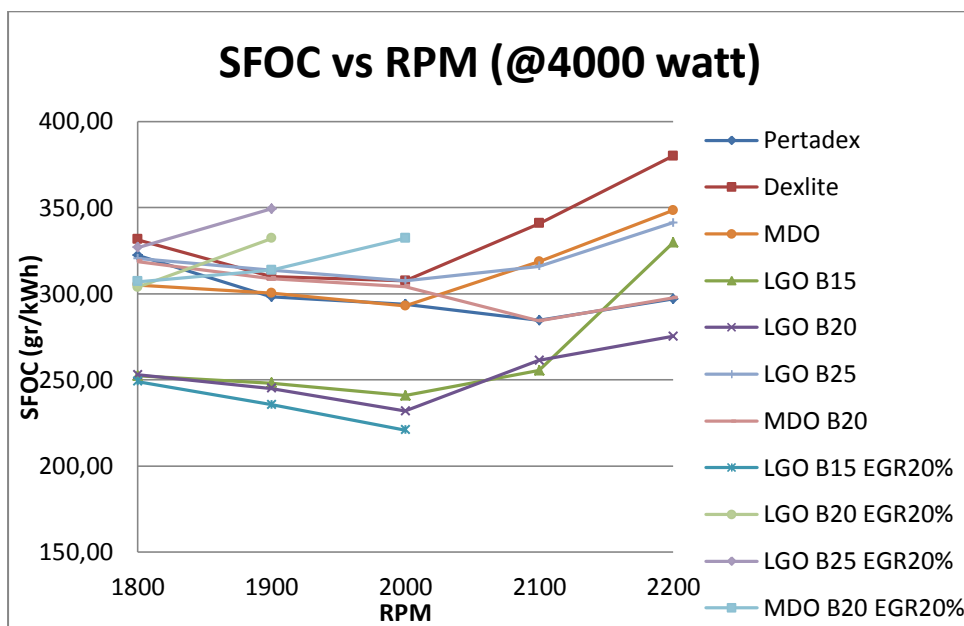
Gambar 4.18 merupakan grafik perbandingan performa SFOC terhadap RPM pada beban 3000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan SFOC motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, SFOC motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah hampir untuk semua variable campuran, kecuali pada campuran B15 di RPM 2000 dan B25 di RPM 1900 – 2100. Penurunan SFOC berkisar 22,99 – 97,97 gr/kWh

(6,16 – 26,23%). Saat EGR 20% digunakan, SFOC yang dihasilkan motor diesel masih lebih rendah dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 8,81 – 96,59 gr/kWh.

Sedangkan penggunaan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada semua RPM mengalami peningkatan SFOC. Peningkatan terkecil terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 296,63 gr/kWh. Lalu setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC nya menjadi 348,98 gr/kWh. Dimana terdapat peningkatan sebesar 52,36 gr/kWh (17,65%). Saat menggunakan EGR 20%, motor diesel menghasilkan SFOC sebesar 299,03 gr/kWh, terjadi peningkatan sebesar 2,41 gr/kWh (0,81%).

Lalu SFOC yang mengalami peningkatan terbesar terjadi saat RPM 2000. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 257,74 gr/kWh, setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC yang dihasilkan menjadi 331,61 gr/kWh, yang mana terdapat kenaikan sebesar 73,87 gr/kWh (28,66%) dan saat menggunakan EGR 20%, motor diesel menghasilkan SFOC sebesar 301,29 gr/kWh, terjadi peningkatan sebesar 43,56 gr/kWh (16,90%).

4.4.4 Beban 4000 watt



Gambar 4. 19 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 4000 Watt

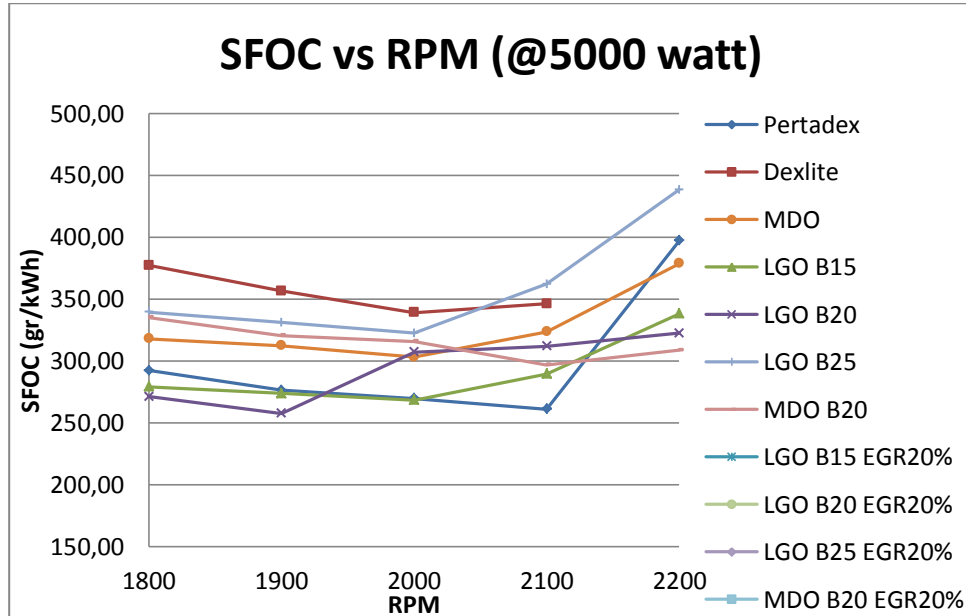
Gambar 4.19. merupakan grafik perbandingan performa SFOC terhadap RPM pada beban 4000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20% EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan SFOC motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, SFOC motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah hampir untuk semua variable campuran, kecuali pada campuran B15 di RPM

2200 dan B25 di RPM 1900 – 2200. Penurunan SFOC berkisar 21,70 – 69,90 gr/kWh (7,31 – 21,69%). Saat EGR 20% digunakan, SFOC yang dihasilkan motor diesel ada yang lebih rendah dan lebih tinggi dibandingkan bahan bakar Pertamina Dex murni. Selisih penurunan sekitar 18,52 – 73,27 gr/kWh dan selisih peningkatan 4,53 – 50,99 gr/kWh. Selain itu, dampak yang dihasilkan dari penggunaan EGR ini adalah motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 2000 hingga RPM 2200 untuk B20 & B25.

Sedangkan penggunaan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 1800 - 2000 mengalami peningkatan SFOC. Peningkatan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 305,01 gr/kWh. Lalu setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC nya menjadi 318,77 gr/kWh. Dimana terdapat peningkatan sebesar 13,76 gr/kWh (4,51%). Saat menggunakan EGR 20%, motor diesel menghasilkan SFOC sebesar 306,90 gr/kWh, terjadi peningkatan sebesar 1,89 gr/kWh (0,62%).

Lalu SFOC yang mengalami penurunan terjadi saat RPM 2100 & 2000. Penurunan terbesar terjadi saat RPM 2200. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 348,19 gr/kWh, setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC yang dihasilkan menjadi 297,53 gr/kWh, yang mana terdapat penurunan sebesar 50,66 gr/kWh (14,55%) dan saat menggunakan EGR 20%, motor diesel tidak mampu beroperasi sehingga tidak ada data yang didapatkan.

4.4.5 Beban 5000 watt



Gambar 4. 20 Grafik SFOC Terhadap RPM pada Beban 5000 Watt

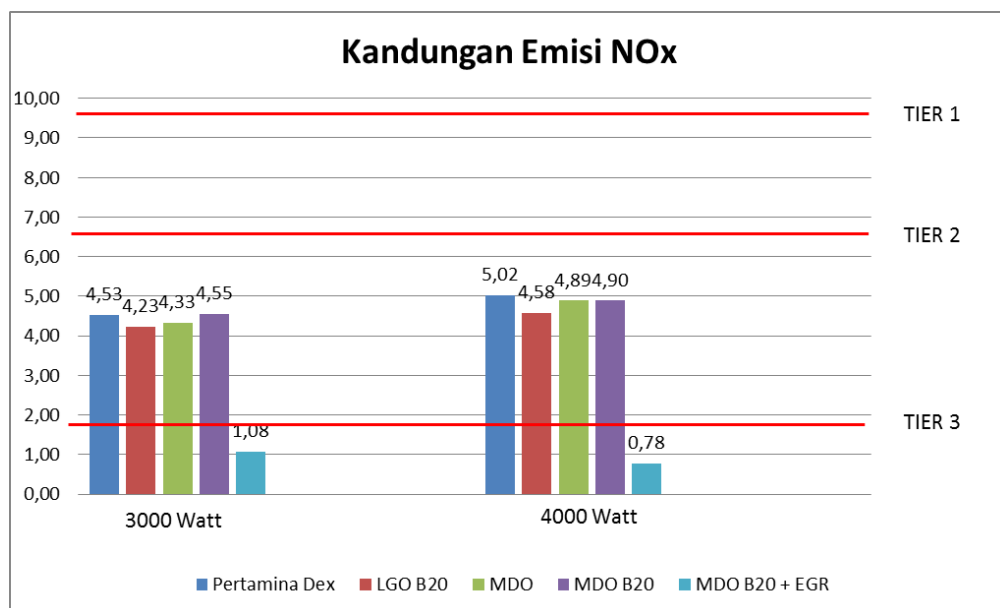
Gambar 4.20. merupakan grafik perbandingan performa SFOC terhadap RPM pada beban 5000 Watt untuk 11 variasi bahan bakar. EGR yang digunakan sebesar 20%

EGR. Berdasarkan grafik diatas, terlihat bahwa bahan bakar Pertamina Dex dan Dexlite menghasilkan SFOC motor diesel tertinggi. Saat bahan bakar Pertamina Dex ditambahkan minyak serai wangi, SFOC motor diesel yang dihasilkan menjadi lebih rendah untuk sebagian variable campuran, kecuali pada campuran B15 di RPM 2100, B20 di RPM 2000 & 2100, dan B25 di RPM 1800 – 2200. Penurunan SFOC berkisar 18,82 – 74,82 gr/kWh (6,81 – 24,53%). Saat EGR 20% digunakan, motor diesel tidak mampu beroperasi sejak kondisi RPM 1800 hingga RPM 2200 untuk semua campuran bahan bakar.

Sedangkan penggunaan bahan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, pada RPM 1800 - 2000 mengalami peningkatan SFOC. Peningkatan terbesar terjadi pada RPM 1800. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 318,05 gr/kWh. Lalu setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC nya menjadi 335,22 gr/kWh. Dimana terdapat peningkatan sebesar 17,17 gr/kWh (5,40%). Saat menggunakan EGR 20%, motor diesel tidak mampu beroperasi sejak RPM 1800 hingga RPM 2200, sehingga tidak ada data yang didapatkan.

Lalu SFOC yang mengalami penurunan terjadi saat RPM 2100 & 2000. Penurunan terbesar terjadi saat RPM 2200. Motor diesel yang menggunakan MDO murni menghasilkan SFOC sebesar 378,66 gr/kWh, setelah ditambahkan minyak serai wangi, SFOC yang dihasilkan menjadi 308,75 gr/kWh, yang mana terdapat penurunan sebesar 74,82 gr/kWh (24,53%) dan saat menggunakan EGR 20%, motor diesel tidak mampu beroperasi sehingga tidak ada data yang didapatkan

4.5 Kandungan Emisi NOx Motor Diesel



Gambar 4. 21 Diagram Kandungan Emisi NOx pada RPM 2000 dan Beban 3000 & 4000 Watt

Emisi NOx terbentuk akibat hasil proses pembakaran motor diesel yang tidak

sempurna. Saat motor diesel bekerja, kondisi temperatur dalam ruang pembakaran sangat tinggi, yang mana NO_x terbentuk karena oksigen dan nitrogen bebas bertemu. Untuk mengatur permasalahan pencemaran udara ini, *International Maritim Organisation* (IMO) telah mengeluarkan standar ambang batas emisi NO_x, yang terdapat pada MARPOL Annex VI

Pada Gambar 4.21. terlihat nilai kandungan NO_x dari masing masing bahan bakar pada RPM 2000 dengan beban 3000 & 4000 watt. Secara keseluruhan, semua bahan bakar telah memenuhi kualifikasi TIER 2 dan motor diesel yang ditambahkan perangkat *Exhaust Gas Recirculation* mampu memenuhi kualifikasi TIER 3.

Bahan bakar Pertadex memiliki kandungan NO_x sebesar 4,531 & 5,024 gr/kwh. Saat bahan bakar pertadex ditambahkan minyak serai wangi sebesar 20%, menghasilkan kandungan NO_x yang lebih rendah, yaitu 4,23 & 4,58 gr/kwh. Terjadi penurunan sebesar 0,301 & 0,448 gr/kwh (6,64 & 8,92%). Namun hal sebaliknya terjadi saat bahan bakar MDO dibandingkan dengan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, terjadi kenaikan kandungan emisi NO_x. Bahan bakar MDO memiliki kandungan sebesar 4,33 & 4,888 gr/kwh. Setelah ditambahkan minyak serai wangi, kandungan emisi yang dihasilkan sebesar 4,552 & 4,895. Terjadi kenaikan sebesar 0,312 & 0,222 gr/kwh (7,21 & 4,54%).

Penggunaan EGR yang diharapkan dapat menurunkan kandungan NO_x terbukti pada penelitian ini. Motor diesel yang telah dipasangkan EGR dan dijalankan menggunakan bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi menghasilkan kandungan NO_x sebesar 1,083 & 0,784 gr/kwh. Terjadi penurunan sebesar 3,247 & 4,104 gr/kwh (74,99 & 83,96%) jika dibandingkan motor diesel tanpa EGR yang hanya menggunakan bahan bakar MDO.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, yaitu penggunaan bahan bakar biodiesel minyak serai wangi pada motor diesel yang menggunakan sistem EGR. Dapat ditarik kesimpulan sementara sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang menghasilkan performa terbaik dihasilkan oleh Pertamina Dex. Ketika Pertamina Dex ini ditambahkan minyak serai wangi dengan berbagai rasio campuran, performa motor diesel yang dihasilkan cenderung menurun. Penurunan daya yang dihasilkan bisa mencapai 0,24 kW. Selain itu, torsi yang dihasilkan mengalami penurunan hingga 1,14 Nm, BMEP mengalami penurunan hingga 4640,49 N/m² dan hingga SFOC hingga 69,34 gr/kWh. Namun hal yang berbeda terjadi saat bahan bakar MDO ditambahkan minyak serai wangi. Sejak beban 3000 Watt di RPM 2100 hingga beban 5000 Watt di RPM 2200, performa motor diesel yang dihasilkan mengalami peningkatan. Untuk daya mengalami peningkatan sebesar 0,05 kW, torsi 0,20 Nm, dan BMEP 788,53 N/m² dan SFOC hingga 57,71 gr/kWh. Penggunaan sistem EGR pada motor diesel pada masing masing bahan bakar tidak memberikan dampak yang signifikan. Saat digunakan pada bahan bakar Pertamina Dex yang dicampur minyak serai wangi, pada RPM 1800 dan beban 1000 Watt hingga puncak menghasilkan performa motor diesel yang sedikit lebih rendah. Pada bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi, peningkatan performa terjadi sejak RPM 1800 & beban 1000 Watt. Namun penggunaan EGR ini menyebabkan motor diesel tidak mampu bekerja pada beban 4000 Watt sejak RPM 2100 dan beban 5000 Watt sejak RPM 1800.
2. Kandungan emisi NO_x pada bahan bakar Pertamina Dex memiliki nilai yang tinggi. Setelah dicampurkan dengan minyak serai wangi, kandungan emisi yang dihasilkan dapat lebih rendah. Namun hal yang berlawanan terjadi pada bahan bakar MDO yang ditambahkan minyak serai wangi. Campuran MDO dan minyak serai wangi memiliki kandungan NO_x yang lebih tinggi dibandingkan kandungan yang terdapat pada bahan bakar MDO murni. Hal ini sesuai dengan referensi yang ada, dimana minyak serai wangi memiliki kandungan oksigen yang lebih banyak sehingga memungkinkan terjadinya peningkatan kandungan emisi NO_x. Saat motor diesel diaplikasikan sistem EGR, kandungan emisi yang dihasilkan dari bahan bakar campuran MDO dan minyak serai wangi menjadi jauh lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sistem EGR dapat menurunkan kandungan emisi, terutama NO_x.

5.2 Saran

Setelah dilakukannya penelitian mengenai penggunaan bahan bakar biodiesel minyak serai wangi untuk motor diesel dengan sistem EGR, maka didapatkan saran sebagai berikut :

1. Peneliti selanjutnya dapat menggunakan minyak hewani dan nabati lainnya, yang lebih mudah didapatkan dan lebih murah, seperti minyak jagung atau minyak bunga matahari.
2. Peneliti selanjutnya dapat menggunakan sistem EGR dengan bukaan katup yang lebih rendah, semisal 5% atau 10 % agar motor diesel mampu bekerja pada semua kondisi.
3. Penggunaan minyak serai wangi maupun minyak atsiri lainnya sebagai campuran biodiesel untuk keperluan umum tidak disarankan karena harga minyak atsiri tergolong mahal.

Daftar Pustaka

- Galvez, R. P., & Berge, J.-P. (2013). *Utilization of Fish Waste*.
- Handoyo, J. J. (2014). *Mesin Penggerak Utama Kapal*. Deepublish.
- Kadarohman, A. (2009). Eksplorasi Minyak Atsiri Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar.
- Kardinan, A. (2005). *Tanaman Penghasil Minyak Atsiri*. AgroMedia.
- Ma'mun, Sriyadi, Suhirman, S., Mulyana, H., Suyatno, D., & Kustiwa, D. (2010). Minyak Atsiri Sebagai Bio Aditif Untuk Penghematan Bahan Bakar Minyak (BBM).
- Manal, S. (n.d.). *Membuat Sendiri Biodiesel : Bahan Bakar Alternatif Pengganti Solar*. Andi Publisher.
- Nagaraju, V. (2008). Effect of Injection Pressure, Exhaust Gas Recirculation and Swirl Ratio on Autoignition, Combustion and Engine Out Emissions in a HSDI Engine Fueled by Soybean Biodiesel Blend (B20). *ProQuest LLC*.
- Sathiyamoorthi, R., & Sankaranarayanan, G. (2016). The Effect of Using Ethanol as Additive on the Combustion and Emissions of a Direct Injection Diesel Engine Fuelled with Neat Lemongrass Oil-Diesel Fuel Blend.
- Setyawan, N. A. (2015). Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Kayu Putih Pada Bahan Bakar Premium Terhadap Performa, Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang Sepeda Motor.
- Sutjahjo, H. (2007). In *Akankah Indonesia Tenggelam Akibat Pemanasan Global*. Niaga Swadaya.
- Tim Dosen. (2013). Diesel Engine. In *Marine Diesel*. Teknik Sistem Perkapalan.
- Venugopal, V., Manjunath, H. N., Rukmangadha, P., & Madhu, D. (2014). Experimental Investigation of Performance and Emission Characteristic of Lemongrass as Biodiesel. *IOSR*.

Yasin, A. M. (2017). Studi Analisis Performa, Proses Pembakaran dan NOx Motor Diesel Dengan Sistem EGR Menggunakan Angle Globe EGR Valve Berbasis Eksperimen. *ITS*.

LAMPIRAN

A. Hasil Data Uji Performa

Tabel Data Pertamina Dex

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generator	Volt	Arus	Cos ϕ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Slip	p BB (gr/m3)	Power (kW)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m2)	SFOC (gr/kWh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1802	1303	182	3,5	0,9	10ml	46,04	1315,328	0,991	850000	0,681	3,610	14644,44	976,188
	2000	1804	1299	191	7,6	0,9	10ml	42,45	1316,788	0,986	850000	1,558	8,251	33474,61	462,665
	3000	1804	1292	192	11,4	0,9	10ml	34,69	1316,788	0,981	850000	2,362	12,509	50748,27	373,451
	4000	1804	1290	189	15,3	0,9	10ml	30,38	1316,788	0,980	850000	3,125	16,552	67149,26	322,278
	5000	1803	1279	183	18,8	0,9	10ml	27,93	1316,058	0,972	850000	3,748	19,862	80577,93	292,290
1900	1000	1905	1379	196	3,7	0,9	10ml	45,730	1390,511	0,992	850000	0,774	3,883	15753,29	864,229
	2000	1901	1373	204	7,8	0,9	10ml	42,110	1387,591	0,989	850000	1,703	8,558	34716,18	426,773
	3000	1902	1365	205	11,8	0,9	10ml	34,650	1388,321	0,983	850000	2,605	13,086	53086,11	339,001
	4000	1905	1358	201	15,6	0,9	10ml	30,190	1390,511	0,977	850000	3,400	17,050	69166,94	298,153
	5000	1906	1346	194	19,4	0,9	10ml	26,880	1391,241	0,967	850000	4,119	20,647	83759,89	276,381
2000	1000	2003	1442	209	3,8	0,9	10ml	45,92	1462,044	0,986	850000	0,853	4,067	16498,42	781,576
	2000	2004	1441	216	8,1	0,9	10ml	42,48	1462,774	0,985	850000	1,881	8,965	36370,77	383,055
	3000	2003	1439	218	12,3	0,9	10ml	32,26	1462,044	0,984	850000	2,885	13,759	55818,54	328,831
	4000	2004	1430	214	16,3	0,9	10ml	27,57	1462,774	0,978	850000	3,778	18,012	73070,66	293,778
	5000	2003	1418	207	20,1	0,9	10ml	24,98	1462,044	0,970	850000	4,542	21,666	87895,75	269,684
21000	1000	2101	1517	224	3,9	0,9	10ml	42,77	1533,577	0,989	850000	0,935	4,252	17250,62	765,114
	2000	2104	1514	230	8,4	0,9	10ml	41,59	1535,766	0,986	850000	2,075	9,423	38226,01	354,570
	3000	2107	1510	232	12,7	0,9	10ml	30,87	1537,956	0,982	850000	3,177	14,408	58451,07	311,963
	4000	2102	1498	223	16,9	0,9	10ml	26,32	1534,307	0,976	850000	4,087	18,577	75362,87	284,459
	5000	2100	1472	217	20,6	0,9	10ml	23,78	1532,847	0,960	850000	4,929	22,424	90969,72	261,077
2200	1000	2201	1594	239	4,1	0,9	10ml	41,28	1606,569	0,992	850000	1,046	4,539	18414,98	708,868
	2000	2202	1584	243	8,7	0,9	10ml	40,08	1607,299	0,986	850000	2,271	9,855	39980,48	336,127
	3000	2203	1573	244	13,1	0,9	10ml	26,39	1608,029	0,978	850000	3,460	15,005	60870,95	335,145
	4000	2202	1568	238	17,3	0,9	10ml	23,06	1607,299	0,976	850000	4,469	19,390	78660,14	296,937
	5000	2205	1539	227	21,1	0,9	10ml	14,52	1609,489	0,956	850000	5,304	22,981	93228,22	397,350

Tabel Data Dexlite

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generato	Volt	Arus	Cos ϕ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Slip	ρ BB (gr/m ³)	Power (kW)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kwh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1808	1308	179	3,5	0,9	10ml	56,89	1319,708	0,991	850000	0,669	3,537	14347,99	803,657
	2000	1802	1302	189	7,5	0,9	10ml	44,455	1315,328	0,990	850000	1,516	8,039	32612,93	453,974
	3000	1803	1299	191	11,3	0,9	10ml	35,96	1316,058	0,987	850000	2,315	12,269	49771,46	367,536
	4000	1806	1296	187	15,1	0,9	10ml	30,365	1318,248	0,983	850000	3,041	16,088	65266,64	331,370
	5000	1807	1288	181	18,6	0,9	10ml	22,22	1318,978	0,977	850000	3,650	19,301	78298,48	377,260
1900	1000	1904	1378	193	3,6	0,9	10ml	53,46	1389,781	0,992	850000	0,742	3,723	15103,87	771,457
	2000	1904	1374	202	7,8	0,9	10ml	41,92	1389,781	0,989	850000	1,687	8,467	34350,81	432,584
	3000	1903	1366	200	11,7	0,9	10ml	34,89	1389,051	0,983	850000	2,519	12,649	51314,83	348,108
	4000	1904	1363	200	15,7	0,9	10ml	29,115	1389,781	0,981	850000	3,390	17,011	69009,91	310,028
	5000	1906	1348	192	19,3	0,9	10ml	21,195	1391,241	0,969	850000	4,049	20,298	82346,73	356,528
2000	1000	2006	1444	211	3,8	0,9	10ml	47,23	1464,234	0,986	850000	0,861	4,100	16633,23	752,611
	2000	2004	1441	215	8,1	0,9	10ml	40,545	1462,774	0,985	850000	1,872	8,924	36202,39	403,203
	3000	2005	1440	217	12,3	0,9	10ml	32,305	1463,504	0,984	850000	2,872	13,687	55523,91	329,786
	4000	2006	1435	213	16,3	0,9	10ml	26,535	1464,234	0,980	850000	3,751	17,865	72475,8	307,435
	5000	2005	1415	204	20	0,9	10ml	20,2	1463,504	0,967	850000	4,468	21,291	86373,68	339,038
21000	1000	2103	1528	226	3,9	0,9	10ml	44,655	1535,036	0,995	850000	0,938	4,259	17279,35	730,902
	2000	2105	1515	229	8,4	0,9	10ml	37,465	1536,496	0,986	850000	2,066	9,376	38034,69	395,402
	3000	2101	1505	230	12,6	0,9	10ml	27,09	1533,577	0,981	850000	3,127	14,219	57681,9	361,261
	4000	2105	1504	226	16,9	0,9	10ml	21,745	1536,496	0,979	850000	4,131	18,752	76072,03	340,612
	5000	2106	1478	216	20,6	0,9	10ml	18,035	1537,226	0,961	850000	4,900	22,230	90182,91	346,256
2200	1000	2205	1589	240	4,1	0,9	10ml	40,29	1609,489	0,987	850000	1,055	4,573	18550,21	719,683
	2000	2202	1586	243	8,7	0,9	10ml	32,95	1607,299	0,987	850000	2,269	9,843	39930,07	409,377
	3000	2202	1580	244	13,1	0,9	10ml	22,525	1607,299	0,983	850000	3,443	14,938	60601,27	394,577
	4000	2200	1579	240	17,5	0,9	10ml	17,84	1605,839	0,983	850000	4,523	19,641	79679,18	379,886
	5000	2207	1530	225	21,1	0,9	10ml	14,235	1610,949	0,950	850000	5,293	22,912	92950,4	406,149

Tabel Data MDO

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generator	Volt	Arus	Cos ϕ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Slip	p BB (gr/m3)	Power (kW)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kWh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1807	1305	178	3,4	0,9	10ml	80,23	1318,978	0,989	890000	0,648	3,424	13892,04	616,604
	2000	1805	1301	186	7,3	0,9	10ml	64,03	1317,518	0,987	890000	1,456	7,706	31263,4	343,693
	3000	1803	1296	188	11,1	0,9	10ml	48,14	1316,058	0,985	890000	2,244	11,890	48234,03	296,628
	4000	1805	1293	185	14,8	0,9	10ml	35,56	1317,518	0,981	890000	2,954	15,636	63432,62	305,011
	5000	1805	1279	178	18,2	0,9	10ml	28,51	1317,518	0,971	890000	3,533	18,703	75874,97	318,049
1900	1000	1906	1367	187	3,5	0,9	10ml	76,43	1391,241	0,983	890000	0,705	3,535	14342,3	594,376
	2000	1903	1367	197	7,5	0,9	10ml	59,75	1389,051	0,984	890000	1,590	7,981	32377,01	337,329
	3000	1902	1364	200	11,5	0,9	10ml	47,69	1388,321	0,982	890000	2,479	12,451	50511,6	271,043
	4000	1902	1355	196	15,3	0,9	10ml	32,79	1388,321	0,976	890000	3,253	16,342	66295,78	300,351
	5000	1907	1347	190	18,9	0,9	10ml	26,11	1391,971	0,968	890000	3,929	19,685	79859,3	312,309
2000	1000	2003	1445	202	3,6	0,9	10ml	70,74	1462,044	0,988	890000	0,779	3,716	15075,22	581,376
	2000	2006	1444	211	7,8	0,9	10ml	54,72	1464,234	0,986	890000	1,767	8,416	34141,89	331,362
	3000	2006	1438	214	12	0,9	10ml	44,9	1464,234	0,982	890000	2,769	13,187	53495,08	257,737
	4000	2005	1426	209	15,9	0,9	10ml	30,3	1463,504	0,974	890000	3,611	17,208	69807,42	292,825
	5000	2003	1407	201	19,5	0,9	10ml	24,51	1462,044	0,962	890000	4,312	20,570	83447,68	303,130
21000	1000	2101	1517	220	3,8	0,9	10ml	63,21	1533,577	0,989	890000	0,895	4,069	16508,15	566,444
	2000	2105	1516	226	8,1	0,9	10ml	50,18	1536,496	0,987	890000	1,964	8,916	36171,95	325,022
	3000	2101	1505	226	12,4	0,9	10ml	38,84	1533,577	0,981	890000	3,024	13,750	55779,08	272,829
	4000	2101	1495	222	16,4	0,9	10ml	25,44	1533,577	0,975	890000	3,954	17,983	72951,35	318,486
	5000	2103	1459	211	20	0,9	10ml	21,06	1535,036	0,950	890000	4,701	21,358	86643,27	323,620
2200	1000	2201	1590	234	3,9	0,9	10ml	50,13	1606,569	0,990	890000	0,976	4,238	17193,37	654,619
	2000	2201	1583	238	8,4	0,9	10ml	42,23	1605,839	0,986	890000	2,147	9,325	37831,45	353,322
	3000	2206	1578	240	12,8	0,9	10ml	33,67	1610,219	0,980	890000	3,319	14,375	58316,56	286,699
	4000	2200	1563	234	16,9	0,9	10ml	21,39	1605,839	0,973	890000	4,302	18,683	75791,64	348,187
	5000	2201	1506	219	20,3	0,9	10ml	16,85	1606,569	0,937	890000	5,022	21,798	88428,63	378,664

Tabel Data Pertamina Dex + LGO 15%

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generato	Volt	Arus	Cos ϕ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Slip	ρ BB (gr/m ³)	Power (kW)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kwh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1800	1302	180	3,4	0,9	10ml	56,07	1313,869	0,991	850750	0,654	3,471	14080,5	835,330
	2000	1801	1296	190	7,4	0,9	10ml	47,54	1314,599	0,986	850750	1,510	8,011	32498,1	426,627
	3000	1801	1292	191	11,1	0,9	10ml	44,11	1314,599	0,983	850750	2,284	12,117	49155,43	303,988
	4000	1803	1287	189	14,9	0,9	10ml	39,8	1316,058	0,978	850750	3,049	16,157	65546,16	252,379
	5000	1806	1280	182	18,4	0,9	10ml	30,05	1318,248	0,971	850750	3,652	19,319	78371,28	279,100
1900	1000	1901	1373	193	3,5	0,9	10ml	53,490	1387,591	0,989	850750	0,723	3,633	14737,8	792,122
	2000	1908	1373	203	7,6	0,9	10ml	44,370	1392,701	0,986	850750	1,657	8,297	33660,21	416,576
	3000	1900	1370	204	11,5	0,9	10ml	40,660	1386,861	0,988	850750	2,515	12,645	51296,19	299,553
	4000	1903	1362	202	15,4	0,9	10ml	36,750	1389,051	0,981	850750	3,359	16,865	68418,36	248,091
	5000	1900	1341	193	19,1	0,9	10ml	27,710	1386,861	0,967	850750	4,037	20,298	82345,45	273,810
2000	1000	2004	1443	206	3,5	0,9	10ml	51,39	1462,774	0,986	850750	0,774	3,689	14967,41	770,116
	2000	2004	1443	216	7,9	0,9	10ml	42,04	1462,774	0,986	850750	1,832	8,732	35423,56	397,765
	3000	2003	1437	217	12	0,9	10ml	37,35	1462,044	0,983	850750	2,805	13,381	54282,76	292,311
	4000	2000	1427	213	16	0,9	10ml	34,45	1459,854	0,977	850750	3,692	17,635	71540,72	240,828
	5000	2007	1413	205	19,6	0,9	10ml	25,87	1464,964	0,965	850750	4,411	20,997	85181,54	268,405
21000	1000	2104	1519	221	3,8	0,9	10ml	52,49	1535,766	0,989	850750	0,899	4,082	16561,35	649,024
	2000	2102	1516	228	8,1	0,9	10ml	42,66	1534,307	0,988	850750	1,979	8,995	36492,06	362,767
	3000	2105	1507	229	12,3	0,9	10ml	32,21	1536,496	0,981	850750	3,041	13,801	55989,3	312,702
	4000	2101	1497	226	16,5	0,9	10ml	29,64	1533,577	0,976	850750	4,045	18,394	74618,8	255,462
	5000	2105	1470	215	20,2	0,9	10ml	22,01	1536,496	0,957	850750	4,806	21,816	88501,41	289,505
2200	1000	2206	1596	238	3,9	0,9	10ml	46,64	1610,219	0,991	850750	0,992	4,294	17421,53	662,260
	2000	2204	1590	242	8,4	0,9	10ml	36,3	1608,759	0,988	850750	2,178	9,440	38297,92	387,423
	3000	2202	1583	246	12,9	0,9	10ml	30,83	1607,299	0,985	850750	3,412	14,803	60051,19	291,183
	4000	2202	1562	237	16,9	0,9	10ml	21,3	1607,299	0,972	850750	4,364	18,934	76812,47	329,496
	5000	2207	1508	220	20,5	0,9	10ml	17,75	1610,949	0,936	850750	5,101	22,084	89588,63	338,240

Tabel Data Pertamina Dex + LGO 20%

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generato	Volt	Arus	Cos ϕ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Slip	ρ BB (gr/m ³)	Power (kW)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kWh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1807	1305	183	3,4	0,9	10ml	80,00	1318,98	0,989	851000	0,666	3,52	14282,27	575,124
	2000	1805	1303	191	7,4	0,9	10ml	65,19	1317,52	0,989	851000	1,513	8,01	32493,64	310,563
	3000	1810	1301	194	11,3	0,9	10ml	47,18	1321,17	0,985	851000	2,357	12,44	50475,49	275,480
	4000	1806	1289	188	14,8	0,9	10ml	40,20	1318,25	0,978	851000	3,013	15,94	64661,29	252,941
	5000	1808	1284	183	18,5	0,9	10ml	30,67	1319,71	0,973	851000	3,684	19,47	78983,34	271,118
1900	1000	1902	1368	194	3,5	0,9	10ml	75,00	1388,32	0,985	851000	0,730	3,67	14868,3	559,852
	2000	1905	1373	199	7,5	0,9	10ml	62,88	1390,51	0,987	851000	1,600	8,03	32562,78	304,423
	3000	1903	1362	202	11,6	0,9	10ml	44,74	1389,05	0,981	851000	2,530	12,70	51535,91	270,621
	4000	1903	1360	199	15,4	0,9	10ml	37,73	1389,05	0,979	851000	3,314	16,64	67501,37	245,001
	5000	1901	1339	191	18,9	0,9	10ml	30,03	1387,59	0,965	851000	3,961	19,91	80759,25	257,559
2000	1000	2000	1435	205	3,6	0,9	10ml	68,79	1459,85	0,983	851000	0,795	3,80	15405,73	560,234
	2000	2006	1441	215	7,8	0,9	10ml	59,52	1464,23	0,984	851000	1,804	8,59	34861,56	285,277
	3000	2003	1444	218	12	0,9	10ml	43,00	1462,04	0,988	851000	2,804	13,38	54268,55	254,044
	4000	2001	1430	213	15,9	0,9	10ml	36,08	1460,58	0,979	851000	3,663	17,49	70944,44	231,833
	5000	2010	1413	205	20,1	0,9	10ml	22,02	1467,15	0,963	851000	4,530	21,53	87354,53	307,120
21000	1000	2105	1523	224	3,8	0,9	10ml	64,57	1536,50	0,991	851000	0,909	4,13	16742,08	521,812
	2000	2105	1518	229	8,1	0,9	10ml	51,93	1536,50	0,988	851000	1,988	9,02	36603,82	296,763
	3000	2101	1501	230	12,5	0,9	10ml	35,27	1533,58	0,979	851000	3,110	14,14	57376,61	279,280
	4000	2104	1495	219	17,1	0,9	10ml	28,78	1535,77	0,973	851000	4,073	18,50	75037,22	261,333
	5000	2107	1470	215	20,5	0,9	10ml	20,12	1537,96	0,956	851000	4,883	22,14	89815,79	311,861
2200	1000	2205	1584	237	3,9	0,9	10ml	56,79	1609,49	0,984	851000	0,994	4,31	17479,76	542,489
	2000	2205	1592	240	8,4	0,9	10ml	44,56	1609,49	0,989	851000	2,158	9,35	37933,7	318,587
	3000	2214	1586	235	12,8	0,9	10ml	30,28	1616,06	0,981	851000	3,245	14,00	56813,61	311,760
	4000	2209	1570	238	17,3	0,9	10ml	24,86	1612,41	0,974	851000	4,477	19,37	78559,93	275,238
	5000	2204	1526	224	21	0,9	10ml	18,09	1608,76	0,949	851000	5,251	22,76	92340,13	322,527

Tabel Data Pertamina Dex + LGO 25%

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generato	Volt	Arus	Cos ϕ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Stip	ρ BB (gr/m ³)	Power (kW)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kWh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1803	1304	180	3,5	0,9	10ml	77,55	1316,06	0,99	851250,00	673,227	3,567	14472,4	586,970
	2000	1801	1298	188	7,4	0,9	10ml	49,48	1314,60	0,99	851250,00	1491,872	7,914	32106,47	415,144
	3000	1809	1298	190	11,4	0,9	10ml	37,48	1320,44	0,98	851250,00	2333,057	12,322	49987,5	350,457
	4000	1804	1291	187	15,1	0,9	10ml	31,36	1316,79	0,98	851250,00	3049,523	16,151	65519,42	320,444
	5000	1805	1281	181	18,7	0,9	10ml	24,48	1317,52	0,97	851250,00	3685,966	19,510	79149,6	339,623
1900	1000	1906	1377	193	3,6	0,9	10ml	71,98	1391,24	0,99	851250,00	743,279	3,726	15114,84	572,791
	2000	1905	1368	200	7,7	0,9	10ml	45,86	1390,51	0,98	851250,00	1657,420	8,312	33721,92	403,174
	3000	1904	1365	203	11,8	0,9	10ml	34,65	1389,78	0,98	851250,00	2582,351	12,958	52568,2	342,485
	4000	1904	1358	198	15,3	0,9	10ml	29,76	1389,78	0,98	851250,00	3282,667	16,472	66824,32	313,689
	5000	1905	1349	192	18,9	0,9	10ml	23,37	1390,51	0,97	851250,00	3960,491	19,863	80580,28	331,094
2000	1000	2006	1446	205	3,6	0,9	10ml	68,74	1464,23	0,99	851250,00	791,265	3,769	15288,53	563,415
	2000	2001	1443	213	7,8	0,9	10ml	43,50	1460,58	0,99	851250,00	1780,566	8,502	34489,39	395,651
	3000	2005	1443	216	12	0,9	10ml	33,75	1463,50	0,99	851250,00	2783,467	13,264	53807,94	326,212
	4000	2008	1438	212	15,9	0,9	10ml	27,40	1465,69	0,98	851250,00	3637,817	17,309	70218,54	307,446
	5000	2004	1410	202	19,4	0,9	10ml	22,08	1462,77	0,96	851250,00	4304,619	20,522	83255,26	322,423
21000	1000	2106	1520	222	3,7	0,9	10ml	53,45	1537,23	0,99	851250,00	879,574	3,990	16187,84	651,838
	2000	2106	1511	227	8,1	0,9	10ml	40,79	1537,23	0,98	851250,00	1980,650	8,985	36452,23	379,313
	3000	2108	1508	230	12,3	0,9	10ml	30,21	1538,69	0,98	851250,00	3056,365	13,852	56196,5	331,897
	4000	2106	1494	223	16,3	0,9	10ml	24,49	1537,23	0,97	851250,00	3960,074	17,965	72881,88	315,986
	5000	2107	1472	215	20,1	0,9	10ml	17,70	1537,96	0,96	851250,00	4780,730	21,678	87943,63	362,153
2200	1000	2203	1590	233	3,9	0,9	10ml	42,48	1608,03	0,99	851250,00	973,063	4,220	17119,9	741,369
	2000	2203	1588	242	8,3	0,9	10ml	35,96	1608,03	0,99	851250,00	2153,577	9,340	37889,66	395,712
	3000	2205	1577	241	12,7	0,9	10ml	27,70	1609,49	0,98	851250,00	3307,506	14,331	58138,89	334,487
	4000	2204	1567	237	16,9	0,9	10ml	20,63	1608,76	0,97	851250,00	4353,922	18,874	76667,37	341,177
	5000	2205	1528	222	20,4	0,9	10ml	13,84	1609,49	0,95	851250,00	5050,931	21,885	88784,57	438,381

Tabel Data MDO + LGO 20%

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generato	Volt	Arus	Cos ϕ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Slip	ρ BB (gr/m ³)	Power (kW)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kWh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1806	1303	170	3,2	0,9	10ml	76,26	1318,248	0,988	883000	0,583	3,083	12506,4	715,305
	2000	1803	1296	183	7,1	0,9	10ml	57,52	1316,058	0,985	883000	1,397	7,403	30031,85	395,586
	3000	1804	1295	186	10,9	0,9	10ml	41,73	1316,788	0,983	883000	2,183	11,560	46897,25	348,984
	4000	1804	1287	183	14,5	0,9	10ml	34,69	1316,788	0,977	883000	2,875	15,224	61761,56	318,771
	5000	1801	1274	176	17,9	0,9	10ml	27,55	1314,599	0,969	883000	3,442	18,260	74075,39	335,219
1900	1000	1902	1376	189	3,4	0,9	10ml	72,87	1388,321	0,991	883000	0,686	3,448	13989,43	635,446
	2000	1902	1368	197	7,4	0,9	10ml	52,28	1388,321	0,985	883000	1,566	7,869	31921,96	388,152
	3000	1907	1372	200	11,4	0,9	10ml	38,02	1391,971	0,986	883000	2,449	12,271	49780,41	341,363
	4000	1905	1360	197	15,2	0,9	10ml	31,75	1390,511	0,978	883000	3,242	16,258	65955,13	308,852
	5000	1900	1335	188	18,6	0,9	10ml	25,78	1386,861	0,963	883000	3,846	19,341	78463,42	320,578
2000	1000	2005	1445	203	3,6	0,9	10ml	65,99	1463,504	0,987	883000	0,784	3,734	15149,85	614,663
	2000	2003	1431	210	7,7	0,9	10ml	47,58	1462,044	0,979	883000	1,749	8,344	33849,17	381,931
	3000	2003	1434	213	11,8	0,9	10ml	35,33	1462,044	0,981	883000	2,713	12,942	52503,73	331,607
	4000	2003	1432	210	15,7	0,9	10ml	29,33	1462,044	0,979	883000	3,564	17,001	68968,95	304,082
	5000	2004	1390	197	19,1	0,9	10ml	24,01	1462,774	0,950	883000	4,193	19,988	81089,1	315,781
21000	1000	2105	1510	214	3,7	0,9	10ml	61,34	1536,496	0,983	883000	0,853	3,872	15707,83	607,471
	2000	2103	1514	226	8	0,9	10ml	44,07	1535,036	0,986	883000	1,941	8,818	35772,58	371,625
	3000	2107	1507	228	12,3	0,9	10ml	32,23	1537,956	0,980	883000	3,030	13,741	55744,81	325,468
	4000	2104	1499	225	16,4	0,9	10ml	27,95	1535,766	0,976	883000	4,003	18,177	73739,88	284,124
	5000	2106	1447	212	19,8	0,9	10ml	22,68	1537,226	0,941	883000	4,722	21,420	86898,09	296,843
2200	1000	2201	1586	236	4	0,9	10ml	49,36	1606,569	0,987	883000	1,012	4,395	17829,8	636,057
	2000	2205	1589	241	8,4	0,9	10ml	37,23	1609,489	0,987	883000	2,171	9,407	38163,67	393,266
	3000	2205	1576	241	12,8	0,9	10ml	27,67	1609,489	0,979	883000	3,336	14,453	58633,86	344,407
	4000	2204	1563	236	16,9	0,9	10ml	24,58	1608,759	0,972	883000	4,347	18,842	76439,43	297,527
	5000	2204	1425	213	19,9	0,9	10ml	20,32	1608,759	0,886	883000	5,067	21,964	89103,65	308,750

Tabel Data Pertamina Dex + LGO 15% (EGR 20%)

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generato	Volt	Arus	Cos φ	Bahan Bakar		RPM Generator	Eff Slip	ρ BB (gr/m ³)	Power (kw)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kWh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1807	1311	180	3,3	0,9	10ml	59,14	1318,978	0,994	850750	0,633	3,346	13572,55	818,424
	2000	1809	1305	191	7,4	0,9	10ml	51	1320,438	0,988	850750	1,514	7,997	32443,84	396,587
	3000	1804	1295	189	11,1	0,9	10ml	44,99	1316,788	0,983	850750	2,259	11,962	48528,04	301,394
	4000	1804	1288	187	14,9	0,9	10ml	40,78	1316,788	0,978	850750	3,016	15,974	64802,19	249,004
	5000														
1900	1000	1900	1372	189	3,5	0,9	10ml	55,12	1386,861	0,989	850750	0,708	3,560	14442,87	784,807
	2000	1910	1376	201	7,6	0,9	10ml	55,3	1394,161	0,987	850750	1,639	8,198	33255,92	337,949
	3000	1910	1376	205	11,6	0,9	10ml	47,2	1394,161	0,987	850750	2,551	12,761	51769,16	254,351
	4000	1907	1362	200	15,4	0,9	10ml	39	1391,971	0,978	850750	3,333	16,698	67740,95	235,620
	5000														
2000	1000	2005	1451	207	3,6	0,9	10ml	53,6	1463,504	0,991	850750	0,796	3,792	15384,49	717,987
	2000	2005	1441	216	7,9	0,9	10ml	50,58	1463,504	0,985	850750	1,835	8,744	35472,73	329,983
	3000	2002	1442	217	12	0,9	10ml	45,62	1461,314	0,987	850750	2,794	13,334	54094,54	240,274
	4000	2005	1433	213	16	0,9	10ml	37,63	1463,504	0,979	850750	3,685	17,561	71241,18	220,851
	5000														
21000	1000	2105	1519	222	3,8	0,9	10ml	49,88	1536,496	0,989	850750	0,904	4,101	16636,29	679,585
	2000	2109	1521	230	8,2	0,9	10ml	51,14	1539,416	0,988	850750	2,021	9,156	37144,13	296,314
	3000	2102	1518	230	12,3	0,9	10ml	37,61	1534,307	0,989	850750	3,028	13,761	55826,3	268,970
	4000														
	5000														
2200	1000	2202	1592	239	4	0,9	10ml	44,89	1607,299	0,990	850750	1,022	4,434	17988,4	667,605
	2000	2205	1596	243	8,5	0,9	10ml	48,41	1609,489	0,992	850750	2,205	9,556	38767,7	286,857
	3000	2205	1578	243	12,8	0,9	10ml	32,21	1609,489	0,980	850750	3,359	14,555	59045,52	283,069
	4000														
	5000														

Tabel Data Pertamina Dex + LGO 25% (EGR 20%)

RPM	Beban	RPM Engine	RPM Generato	Volt	Arus	Cos φ	Bahan Bakar		RPM Generator Calculation	Eff Slip	ρ BB (gr/m ³)	Power (kw)	Torsi (Nm)	BMEP (N/m ²)	SFOC (gr/kWh)
							Volume	t (s)							
1800	1000	1808	1300	175	3,3	0,9	10ml	71,43	1319,708	0,985	851250	0,621	3,280	13307,19	691,145
	2000	1806	1297	188	7,2	0,9	10ml	57,68	1318,248	0,984	851250	1,457	7,706	31262,81	364,723
	3000	1805	1295	192	11,3	0,9	10ml	47,36	1317,518	0,983	851250	2,337	12,371	50186,58	276,858
	4000	1806	1310	190	15	0,9	10ml	30,88	1318,248	0,994	851250	3,037	16,065	65170,53	326,804
	5000														
1900	1000	1904	1372	188	3,4	0,9	10ml	65,7	1389,781	0,987	851250	0,686	3,440	13955,98	680,364
	2000	1905	1379	202	7,5	0,9	10ml	52,56	1390,511	0,992	851250	1,618	8,112	32909,86	360,461
	3000	1905	1366	200	11,4	0,9	10ml	37,75	1390,511	0,982	851250	2,457	12,325	49999,06	330,340
	4000	1902	1388	202	15,5	0,9	10ml	26,47	1388,321	1,000	851250	3,316	16,657	67572,7	349,139
	5000														
2000	1000	2006	1448	208	3,7	0,9	10ml	58,18	1464,234	0,989	851250	0,824	3,925	15921,14	639,228
	2000	2006	1440	216	7,8	0,9	10ml	49,14	1464,234	0,983	851250	1,814	8,639	35048,03	343,799
	3000	2002	1433	215	12	0,9	10ml	33,62	1461,314	0,981	851250	2,786	13,294	53932,58	327,206
	4000														
	5000														
21000	1000	2106	1523	223	3,9	0,9	10ml	50,73	1537,226	0,991	851250	0,929	4,217	17105,95	649,926
	2000	2103	1511	228	8,1	0,9	10ml	44,16	1535,036	0,984	851250	1,987	9,025	36612,81	349,328
	3000	2109	1514	230	12,4	0,9	10ml	32,48	1539,416	0,983	851250	3,070	13,910	56428,87	307,284
	4000														
	5000														
2200	1000	2206	1596	240	4	0,9	10ml	43,13	1610,219	0,991	851250	1,026	4,442	18018,39	692,841
	2000	2204	1588	242	8,4	0,9	10ml	39,29	1608,759	0,987	851250	2,181	9,452	38346,16	357,700
	3000	2205	1576	244	12,9	0,9	10ml	31,1	1609,489	0,979	851250	3,404	14,747	59827,52	289,510
	4000														
	5000														

B. Hasil Data Uji Emisi

Tabel Data Uji Emisi NOx

Bahan Bakar	RPM	Beban	PPM	Convert	NOx (mg/kWh)	NOx (gr/kWh)
Pertamina Dex	2000	3000	2574,43	1,76	4531	4,53
		4000	2854,55	1,76	5024	5,02
LGO B20		3000	2403,41	1,76	4230	4,23
		4000	2600,00	1,76	4576	4,58
MDO		3000	2460,23	1,76	4330	4,33
		4000	2777,27	1,76	4888	4,89
MDO B20		3000	2586,36	1,76	4552	4,55
		4000	2781,25	1,76	4895	4,90
MDO B20 + EGR		3000	615,34	1,76	1083	1,08
		4000	445,45	1,76	784	0,78

C. Hasil Data Uji Properti Bahan Bakar

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nama Pemilik : Ryan Ananta
 Alamat Pemilik : Teknik Sistem Perkapalan ITS
 Nama Contoh : **Minyak Serai Wangi** Tanggal Terima : 10 Mei 2017
 Deskripsi : Bentuk : Padat/Cair/Gas Tanggal Pengujian : 18 Mei 2017
 Contoh Volume : - Tanggal Selesai Pengujian : 22 Mei 2017
 Kemasan : Botol Jumlah Contoh : 2
 Kode Contoh : **EI-297**

Menyatakan bahwa contoh tersebut di atas telah diuji di Laboratorium Energi & Lingkungan – LPPM ITS.

No.	Nama Contoh	Jenis Uji	Hasil	Satuan	Metode Pengujian
1	A B100	Viskositas at 40°C	3,32	cSt	ASTM D 445-97
2		Densitas	0,87	gr/cm ³	Piknometer
3		Flash Point	81	°C	ASTM D 93-00
5	B B20	Viskositas at 40°C	2,68	cSt	ASTM D 445-97
6		Densitas	0,82	gr/cm ³	Piknometer
7		Flash Point	85	°C	ASTM D 93-00

Suhu : 23,6°C
 Humidity : 57%
 Analis : MBB, EWY, KRN

Catatan:

1. Hasil pengujian hanya berlaku dari sampel yang diuji.
2. Laboratorium tidak bertanggung jawab atas kerugian pada pihak ke tiga.
3. Laporan hasil pengujian hanya diperbanyak secara utuh.

Manajer Puncak
 Laboratorium Energi dan Lingkungan

Manajer Teknis

Dr. Ir. Susianto, DEA
 NIP. 19620820 198903 1 004

Vita Yuliana, S.Si
 NIPH. 914014001

Gambar Hasil Data Uji Properti Bahan Bakar

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Bandung pada tanggal 20 Maret 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal mulai dari TK Putra 1, SDN Bina Harapan 1 Bandung, SMPN 8 Bandung, dan SMAN 24 Bandung. Pada tahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan di Departemen Teknik Sistem Perkapalan FTK-ITS dengan NRP 4213100111. Selama berkuliah, penulis aktif dalam beberapa kegiatan di dalam kampus. Dalam bidang organisasi, penulis berkesempatan menjadi anggota UKM UKAFO di tahun 2013 & Staff Ahli Departemen Media dan Informasi HIMASISKAL pada tahun ketiga. Dalam bidang kepanitiaan, banyak kegiatan yang penulis ikut berkontribusi, beberapa diantaranya adalah Staff *Creative Room* ITS Expo 2013, OC bidang Kesehatan Gerigi ITS 2014, Staff Ahli *Hall of Fame* ITS Expo 2015, dan Koordinator Desain & Dokumentasi Marine Icon 2016. Pada tahun keempat berkuliah, penulis mengambil konsentrasi Tugas Akhir di bidang studi *Marine Power Plant* (MPP) dan juga menjadi Asisten Lab untuk kegiatan praktikum mata kuliah bidang MPP. Pengalaman Kerja Praktek yang pernah ditempuh penulis antara lain di PT Palindo Marine Shipyard, Batam dan PT. Indonesia Power Unit PLTP Kamojang, Garut.