23.205/H/05

TUGAS AKHIR
LS 1336

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

ANALISA EMISI NOx DAN PARTIKEL SMOKE PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR JELANTAH METHYL ESTHER

RSSP
623.8723
Pra
a-1
2005

Disusun Oleh :

AWAN PRADIPTA
NRP. 4297 100 018

PERPUSTAKAAN
I T S

Tgl. Terima	5-4-2005
Terima Dari	H
No. Agenda Prp.	22/639

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
S U R A B A Y A
2005

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA EMISI NOx DAN PARTIKEL SMOKE PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR JELANTAH METHYL ESTHER

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
S U R A B A Y A

Surabaya, 1 Februari 2005

Mengetahui / Menyetujui

Dosen Pembimbing I	Dosen Pembimbing II
Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng	Ir. Tjoek Suprajitno
NIP. 131.646.637	NIP. 130.816.215

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN - ITS
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
KAMPUS ITS KEPUTIH SUKOLILO SURABAYA 60111
TELP. 5994754, 5994251-55 PES 1102 FAX 5994754

SURAT KEPUTUSAN PENGERJAAN TUGAS AKHIR KS 1701

Sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana teknik pada Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Tekonologi Kelautan ITS, maka perlu diterbitkan surat keputusan pengerjaan tugas akhir yang memberikan tugas kepada mahasiswa tersebut dibawah untuk mengerjakan tugas sesuai judul dan lingkup bahasan yang telah ditentukan.

Nama Mahasiswa	:	AWAN PRADIPTA
NRP	:	4297100018
Dosen Pembimbing	:	1. Ir. AGOEK ZUHDI MF, MEng 2. Ir. TJOEK SOEPRAYITNO
Tanggal Diberikan Tugas	:	
Tanggal Diselesaikan Tugas	:	
Judul Tugas Akhir	:	ANALISA EMISI NOx DAN PARTIKULAT SMOG PADA MOTOR DIESEL DENGAN BAHAK BAKAR MINYAK JELANTAH METHYL ESTHER

Surabaya,
Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
FT. Kelautan ITS

Ir. SURJO WIDODO ADJI, M.sc
NIP. 131 879 390

Surabaya,
Yang Menerima Tugas :

Mahasiswa	Dosen Pembimbing II	Dosen Pembimbing I
AWAN PRADIPTA	Ir. TJOEK SOEPRAYITNO	Ir. AGOEK ZUHDI MF, MEng
NRP. 4297100018	NIP. 130 816 215	NIP. 131 646 637

ABSTRAK

Masalah utama yang dihadapi dalam pengoperasian diesel engine adalah tingginya emisi Nox, dan partikel asap (smoke particle). Untuk itu, maka bahan bakar yang baru harus dapat memenuhi persyaratan operasional diesel engine sebagaimana bahan bakar konvensional, sekaligus mengatasi tingginya emisi gas buang yang berbahaya. Biodiesel adalah jenis bahan bakar yang dihasilkan dari pemrosesan tertentu serta bahan yang berasal dari makhluk hidup. Dengan demikian boleh dikatakan bahan bakar ini tak pernah habis. Istilah biodiesel ditujukan kepada jenis bahan bakar renewable yang dihasilkan melalui proses esterifikasi, misalnya proses esterifikasi dari minyak nabati dengan methanol menghasilkan methyl esther. Ditinjau secara ekonomis, bahan bakar ini masih lebih mahal dibandingkan dengan bahan bakar konvensional. Namun apabila dilakukan produksi biodiesel dalam skala besar, maka tidak diragukan lagi bahwa biodiesel merupakan jenis bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan secara ekonomis dapat dipertimbangkan kemungkinannya di masa mendatang.

Keyword: Biodiesel Jelantah Methyl Esther, Emisi NOx, Partikel Smoke

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "**ANALISA EMISI NOx DAN PARTIKEL SMOKE PADA MOTOR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR JELANTAH METHYL ESTER**".

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini penulis telah berupaya benar-benar untuk pengerjaannya tentunya dengan harapan tugas akhir ini mempunyai arti, sehingga mampu dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Dalam pengerjaan Tugas Akhir segala perasaan telah bercampur aduk menjadi satu. Tapi itu semua merupakan warna yang semakin memperindah dalam kehidupan ini. Hidup adalah sebuah perjuangan, dan saat ini merupakan salah satu wahana untuk semakin memperkuat pijakan dalam mengarungi kehidupan. Berjuang, berjuang dan berjuang yang harus dilakukan agar menjadikan waktu dalam kehidupan bisa mempunyai arti.

Penulis menyadari bahwasanya dalam pengerjaan Tugas Akhir masih terdapat kekurangan, kami harapkan kekurangan tersebut menjadi koreksi bagi penulis agar pada masa mendatang bisa menjadi lebih baik lagi.

Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi kita semua terutama bagi penulis. Amin.

Surabaya, 1 Februari 2005

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis mempunyai hutang budi yang begitu besar kepada kerabat, kawan, dan juga para dosen yang telah meluangkan waktunya. Oleh sebab itu perkenankan saya untuk meluangkan halaman khusus ini untuk sekedar menunjukkan berterima kasihnya saya atas bantuan yang telah diberikan. Ucapan terima kasih saya ucapkan kepada :

1. Kedua orang tua (Bp.Maryono dan Ibu Sri Rahayu) yang telah membesarkan, membimbing, dan memberikan watak yang mulia kepada saya.
2. Ir. Aguk Zuhdi MF, M.Eng selaku dosen pembimbing yang tak henti-hentinya memberikan dukungan sehingga Tugas Akhir dapat terselesaikan. Dan juga orang yang telah banyak meluangkan waktunya bagi saya untuk belajar penelitian.
3. Ir. Surjo Widodo Adji,Msc , selaku ketua jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
4. Ir. Tjoek Suprajitno selaku dosen pembimbing yang memberikan kepercayaan yang begitu besar dalam pengerjaan Tugas Akhir.
5. Ir. Sardono Sarwito,Msc selaku dosen pembimbing yang tak henti-hentinya memberikan support agar lulus.
6. Ir. Saut Gurning Atas kepercayaan yang diberikan di Laboratorium Mesin Perkapalan.
7. Bp.Sugiharto dari Balai Teknik Kesehatan Lingkungan yang telah bersedia untuk mengambil uji emisi.
8. Terima kasih yang sebesar – besarnya pada rekan – rekan, Bogie & manda (thanks supportnya), Nova (totok ijo), Gendon (Thanks man), Becky, Kepick, Tobal, Jaja, Hageng dan semuanya yang mungkin tidak dapat saya sebutkan, mohon maaf penulis.
9. Teman-teman "99", Arcan, kipenk, tewel, joko, manunk dan semuanya yang mungkin tidak saya sebutkan.
10. Teman-teman "gelapku", Ade, Ipul, Triads.
11. "Someone" yang tetap ada dan selalu ada meskipun kadang aku nggak nganggep kamu.

12. Pak Kos dan Bu Kos, Maap ya pak dan bu, Kamarku mesti selalu rame.
13. Cak Wandi dan Bu Wandi, tempat cangkrukan yang selalu setia "menyediakan" makan selama kuliah.
14. Dan yang terakhir tak lupa kepada Milan team, hiburan yang selalu ada di kala pengerjaan tugas akhir.

Semoga Allah SWT selalu membimbing kita semua kepada jalan yang lurus, jalan yang penuh nikmat dan karunia-Nya. Mohon maaf bila ada pihak-pihak yang belum disebutkan di atas.

Surabaya, 1 Februari 2005

Penulis

DAFTAR ISI

Sampul

Lembar Pengesahan

Abstrak

Kata Pengantar

Ucapan Terima kasih

Daftar Isi

Daftar Gambar

Daftar Tabel

Daftar Grafik

BAB I PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang.....1

I.2. Perumusan Masalah.....2

I.3. Tujuan Penulisan.....4

I.4. Manfaat Penulisan.....4

I.4. Batasan Masalah.....4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Upaya mereduksi Kandungan NOx dan Partikel Smoke.....7

II.2. Terbentuknya NOx pada Motor Diesel.....13

II.3. Pengaruh Buruk NOx.....15

II.4. Beberapa Bahan Kimia Dasar Dalam Pembakaran.....15

II.5. Asap Motor Diesel.....19

II.6. Pengukuran Asap.....20

II.7. Esterifikasi Biodiesel.....21

II.8. Emisi NOx Spesifik.....22

II.9. Batas Regulasi Emisi NOx dan Partikel Smoke.....22

BAB III METODOLOGI

III.1. Diagram Alir Pengerjaan.....25

III.2. Esterifikasi. 26

III.3. Karakteristik Bahan Bakar Jelantah Methyl Esther 30

III.4. Karakteristik Minyak Solar.....30

III.5. Pra Eksperimen dan Eksperimen.....31

III.6. Komposisi Pemakaian Jelantah Methyl Esther.....37

III.7. Eksperimen Di Engine Test Bed.....37

III.8. Pengujian Emisi NOx dan Partikel Smoke.....38

III.9. Analisa Data.....39

III.10 Kesimpulan.....39

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

IV.1. Analisa Jelantah Methyl Esther murni.....40

IV.2. Analisa Bahan Bakar 50:50 JME dan minyak solar.....44

IV.3. Analisa Minyak Solar (bahan bakar pembanding).....47

IV.4. Pengaruh JME terhadap terbentuknya NOx dan Smoke.....49

IV.4.1. Pada Putaran 1900 Rpm.....49

IV.4.2. Pada Putaran 2300 Rpm.....50

IV.5. Batas Syarat Regulasi Pada Masing-masing bahan bakar.....52

IV.5.1. Jelantah Methyl Esther murni.....52

IV.5.2. Campuran JME dan Solar (50:50).....53

IV.5.3. Minyak Solar Murni.....54

IV.6. Analisa Keseluruhan.....55

IV.7. Pembahasan.....57

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan.....60

V.2. Saran.....61

Daftar Pustaka

Lampiran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan.....25

Gambar 3.2. Motor Diesel.....32

Gambar 3.3. Generator.....33

Gambar 3.4. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian.....34

Gambar 3.5. Rangkaian Lampu.....34

Gambar 3.6. Pemodelan Eksperimen.....36

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Batasan sNOx (US)....22

Tabel 2.2. Batasan sNOx (Eropa)....23

Tabel 2.3. Batasan Emisi Partikel (US)....24

Tabel 2.4. Batasan Emisi Partikel (Eropa)....24

Tabel 3.1. Diagram Pembuatan Jelantah Methyl Esther....29

Tabel 3.2. Karakteristik Bahan Bakar Jelantah Methyl Esther....30

Tabel 3.3. Karakteristik Bahan Bakar Minyak Solar Pertamina....30

Tabel 3.4. Komposisi Pemakaian JME dan Solar....37

Tabel 4.1. Data Jelantah Methyl Esther Murni....41

Tabel 4.2. Data Campuran JME dan minyak solar (50:50)....45

Tabel 4.3. Data minyak solar murni....47

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. sNOx Vs Beban JME murni....42

Grafik 4.2. Smoke Vs Beban JME murni....43

Grafik 4.3. sNOx Vs Beban Campuran JME dan minyak solar....45

Grafik 4.4. Partikel smoke Vs Beban campuran JME dan minyak solar....46

Grafik 4.5. sNOx Vs Beban minyak solar murni....48

Grafik 4.6. Smoke Vs Beban minyak solar murni....48

Grafik 4.7. sNOx Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 1900)....49

Grafik 4.8. Smoke Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 1900)....50

Grafik 4.9. sNOx Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 2300)....50

Grafik 4.10. Smoke Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 2300)....51

Grafik 4.11. Smoke Vs sNOx dengan JME murni pada 1900 Rpm....52

Grafik 4.12. Smoke Vs sNOx dengan JME murni pada 2300 Rpm....52

Grafik 4.13. Smoke Vs sNOx dengan JME-Solar (50:50) pada 1900 Rpm....53

Grafik 4.14. Smoke Vs sNOx dengan JME-Solar (50:50) pada 2300 Rpm....53

Grafik 4.15. Smoke Vs sNOx dengan minyak Solar pada 1900 Rpm....54

Grafik 4.16. Smoke Vs sNOx dengan minyak Solar pada 2300 Rpm....54

Grafik 4.17. Batas syarat regulasi....57

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH – NOPEMBER

BAB I
PENDAHULUAN

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Masalah utama yang dihadapi dalam pengoperasian diesel engine adalah tingginya emisi NOx, dan partikel asap (smoke particle). Untuk itu, maka bahan bakar yang baru harus dapat memenuhi persyaratan operasional diesel engine sebagaimana bahan bakar konvensional, sekaligus mengatasi tingginya emisi gas buang yang berbahaya. Biodiesel adalah jenis bahan bakar yang dihasilkan dari pemrosesan tertentu serta bahan yang berasal dari makhluk hidup. Dengan demikian boleh dikatakan bahan bakar ini tak pernah habis *(Pelly, 2000)*. Istilah biodiesel ditujukan kepada jenis bahan bakar renewable yang dihasilkan melalui proses esterifikasi, misalnya proses esterifikasi dari minyak nabati dengan metanol menghasilkan methyl esther. Ditinjau secara ekonomis, bahan bakar ini masih lebih mahal dibandingkan dengan bahan bakar konvensional. Namun apabila dilakukan produksi biodiesel dalam skala besar, maka tidak diragukan lagi bahwa biodiesel merupakan jenis bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan secara ekonomis dapat dipertimbangkan kemungkinannya di masa mendatang *(Kompas, 2002)*.

Ada 3 hal yang harus diperhatikan dalam pengoperasian motor diesel yaitu pencegahan akan munculnya hard combustion, low specific fuel consumption, dan regulasi tentang air pollution. Hard combustion pada motor diesel yang

menggunakan minyak nabati dapat dieliminir dengan mengubahnya menjadi esther (biodiesel). Dalam bentuk esther, karakteristik fisik dan kimia esther (nilai kalor,density,cetane number,dll) lebih mirip dengan bahan bakar fosil daripada masih dalam bentuk minyak nabati mentah *(Fahruri, 2004)*.Secara umum,dilihat dari emisi gas buang yang dihasilkan diesel engine yang memakai biodiesel lebih ramah lingkungan.

Metode penelitian yang dilakukan adalah metode eksperimen dengan menggunakan minyak jelantah methyl esther sebagai bahan uji. Untuk mendapatkan data-data tentang emisi,mesin dijalankan pada kecepatan dinas dan beban dinas dengan waktu yang bervariasi. Studi eksperimen ini perlu dilakukan karena minyak jelantah diharapkan mampu menggantikan bahan bakar konvensional di kemudian hari sehingga data-data tentang kandungan gas atau emisi perlu diketahui lebih mendetail dan menyeluruh agar penggunaannya tidak menimbulkan dampak negatif melebihi nilai keunggulannya.

I.2. Perumusan Masalah

Pada Setiap proses Pembakaran pada motor bakar selalu menghasilkan gas buang. Demikian pula pada proses pembakaran motor diesel.Emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor diesel terdiri dari Nitrogen Oxides (NOx), Sulfur Oxides (SOx), Hydrocarbons (HC), Carbon Monoxide (CO) dan Particulates *(Stone, 1992)*. Hujan Asam yang ditimbulkan oleh NOx menyebabkan kadar timbal dan aluminium di dalam air minum bertambah dan sebagai dampaknya adalah penyakit yang menyerang kontrol syaraf. Disamping itu, melalui suatu proses photochemical, NOx akan bereaksi dan menyebabkan Photochemical

Smoke atau kabut asap yang berbahaya bagi manusia karena dapat menghalangi jarak pandang manusia sehingga akan membahayakan lalu lintas udara,air dan darat *(Setiono, 2001)*.

Meninjau bahaya yang ditimbulkan oleh emisi NOx, maka emisi Nox yang dihasilkan oleh motor bakar perlu dikontrol. Terbentuknya NOx pada proses pembakaran motor diesel dipengaruhi oleh temperatur pembakaran dan bahan bakar yang digunakan. Karakteristik bahan bakar yang paling berpengaruh terhadap terbentuknya NOx adalah cetane number bahan bakar. Proses campuran antara minyak solar dan jelantah methyl esther menghasilkan karakteristik dan cetane number yang berbeda pula. Demikian juga dengan Jelantah methyl esther murni. Jelantah Methyl Esther mempunyai angka Setana yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar konvensional/minyak solar *(Heywood, 1998)*.

Angka setana bahan bakar akan mempengaruhi kualitas penyalaan bahan bakar. Angka setana minyak yang semakin tinggi maka suhu yang diperlukan untuk penyalaan bahan bakar akan semakin rendah. Angka setana juga mempengaruhi penyiapan penyalaan bahan bakar *(ignition delay)*, semakin besar angka setana penyiapan penyalaan semakin sedikit, demikian pula sebaliknya *(Arismunandar, 1998)*. Dengan semakin rendahnya temperatur/suhu dalam ruang bakar maka akan menurunkan tingkat emisi NOx yang terjadi (Pembakaran Sempurna).

Methanol tidak memperlihatkan peningkatan secara signifikan dari kemampuan mereduksi Nox namun dari sisi lain keduanya mampu mereduksi Smoke dan pembentukan pembentukan hydrocarbon *(Brian, 1995)*. Methanol merupakan salah satu bentuk dari senyawa alkohol yang dapat digunakan sebagai

bahan bakar atau dicampur dengan bahan bakar petroleum yang terbukti berfungsi sebagai anti knocking.

Berdasarkan uraian di atas,di perkirakan penggunaan JME (Esterifikasi dari methanol dan minyak jelantah) akan menurunkan tingkat NOx dan Partikel Smoke-nya. Sedangkan target dari penelitian adalah terpenuhinya regulasi tentang tingkat NOx dan smoke yang diatur oleh IMO. Oleh karena itu, perlu dicari komposisi yang tepat antara JME dengan minyak solar.

I.3. Tujuan Penulisan Tugas Akhir

Tujuan penulisan Tugas Akhir ini adalah :

- Mempelajari emisi gas buang dari bahan bakar Jelantah methyl esther dan komposisinya dengan minyak solar.
- Mempelajari emisi gas buang apakah memenuhi regulasi atau tidak.

I.4. Manfaat Penulisan Tugas Akhir

Sedangkan untuk manfaatnya yaitu mengurangi dan membatasi jumlah emisi gas buang yang terjadi sehingga akan menyelamatkan kondisi lingkungan hidup sekitar termasuk manusia di dalamnya.

I.4. Batasan Masalah

Untuk Menyederhanakan masalah dan agar persoalan lebih terarah maka perlu dilakukan pembatasan masalah. Batasan-batasan permasalahan yang diambil adalah sebagai berikut:

1. Hanya membahas tingkat NOx dan smoke yang dihasilkan dari gas buang pada motor diesel dengan bahan bakar Minyak Jelantah Methyl Esther.
2. Tidak Membahas proses kimiawi terbentuknya NOx.
3. Minyak Jelantah yang digunakan untuk proses esterifikasi adalah minyak goreng sisa penggorengan dari pabrik kerupuk
4. Hasil percobaan hanya berlaku pada kondisi lingkungan saat dilaksanakan percobaan di laboratorium Mesin Kapal Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
5. Proses Pengujian Kandungan NOx dan Smoke dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan sesuai dengan Metode yang dilakukan oleh Balai Teknik Kesehatan Lingkungan.
6. Hasil Percobaan hanya berlaku pada motor diesel DongFeng Type R-180 yang dipakai sebagai Mesin Uji.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Motor diesel adalah salah satu jenis motor pembakaran dalam (Internal combustion Engine), yaitu motor bakar yang pembakarannya terjadi di dalam ruang bakar (Combustion Chamber). Kerja dari motor diesel merupakan hasil dari proses pembakaran di dalam ruang bakar pada tekanan dan temperatur yang sangat tinggi sehingga motor diesel disebut juga sebagai compression ignition engine *(Arismunandar, 1988)*.

Selain menghasilkan kerja yang bermanfaat,proses pembakaran pada setiap motor bakar juga menghasilkan gas buang. Salah satu komponen emisi gas buang yang dihasilkan oleh motor diesel adalah Nitrogen Oxides (NOx) dan Partikel smoke yang berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk mengurangi kandungan NOx pada gas buang motor diesel.

Pencemaran udara didefinisikan sebagai kehadiran zat-zat pencemar dalam kuantitas tertentu dalam suatu waktu yang kehadirannya membahayakan bagi kehidupan manusia, tumbuhan, dan binatang *(Wark & Warnes, 1981)*. Pencemaran udara juga didefinisikan sebagai suatu kondisi yang ada dimana atmosfer mengandung unsur-unsur dengan konsentrasi yang dapat mengakibatkan efek yang tidak menyenangkan yaitu iritasi pada mata dan hidung serta kesulitan dalam bernafas. Pada kondisi yang lebih ekstrim polutan toksik untuk manusia,

hewan dan tumbuhan. Polusi yang terlalu lama dapat mengurangi kesehatan manusia, merusak material dan konstruksi bahkan pada area tertentu spesies tumbuhan dan hewan tidak dapat hidup *(Kirk, 1978)*.

Partikel adalah zat yang terdispersi baik padat maupun cair yang besarnya melebihi satu molekul tetapi dengan garis tengah lebih kecil dari 500 mikron. Partikel berada di atmosfer dengan berbagai ukuran dengan sifat fisik dan kimianya. Partikel yang berukuran lebih kecil dari satu mikron biasanya disebut dengan aerosol yang dapat tetap berada di udara dan bergerak seperti gas *(Wark & Warnes, 1981)*.

II.1. Upaya Mereduksi Kandungan NOx dan Partikel Smoke.

Semakin ketatnya regulasi membuat para teknisi semakin mengembangkan upaya dalam mereduksi kandungan NOx pada gas buang. Pada dasarnya terdapat tiga penggolongan dalam upaya mereduksi NOx *(Setiono, 2001)*, yaitu:

1. Fuel Modifications (modifikasi pada bahan bakar)
2. Engine Design modification (modifikasi desain engine)
3. After Treatment/Add-on pollution control technologies

II.1.1. Modifikasi Bahan Bakar

Beberapa hal yang berkaitan pada pembentukan NOx jika ditinjau dari bahan bakar yang digunakan adalah:

- Kandungan Sulfur

Sulfur pada gas buang pada dasarnya tidak memberikan efek langsung pada pembentukan NOx namun dapat menghalangi pengurangan NOx yang dilakukan

oleh katalis. Pengembunan sulfur acid juga dapat menyebabkan korosi pada saluran gas buang jika menggunakan metode Exhaust Gas Recirculation (EGR).

- Cetane Number

Cetane number mengindikasikan kesiapan suatu bahan bakar untuk menyala ketika diinjeksikan pada silinder,semakin tinggi cetane number semakin mudah bahan tersebut untuk menyala. Untuk heavy duty engine, peningkatan cetane number mengurangi ignition delay, bersama-sama dengan premixed combustion. Peningkatan tekanan pembakaran secara perlahan memberikan waktu untuk pendinginan dan pada akhirnya akan memberikan dampak pada rendahnya temperatur gas pada daerah tersebut *(Stone, 1992)*. Semakin rendahnya temperatur akan semakin mengurangi pembentukan NOx.

II.1.2. Pemilihan Bahan Bakar Tanpa Modifikasi Engine

- Synthetic diesel fuel

Bahan Bakar diesel sintetis dapat dibuat dari karbon dengan memasukkan gas alam atau batubara, mempunyai angka setane yang tinggi (sekitar 75 bahkan lebih), aromatics yang rendah dan tidak terdapat kandungan sulfur. Karena pada umumnya bahan bakar sintetik tersebut dibuat dari gas alam maka disebut bahan bakar gas-to-liquid (GTL). Sejak akhir 90-an hampir setiap perusahaan minyak besar (ARCO, Exxon, Texaco, Phillips, Conoco, Mobile) telah mengumumkan suatu rencana untuk membangun commercial plants untuk memproduksi bahan bakar sintetis *(Setiono, 2001)*.

Dengan penggunaan bahan bakar sintetis mampu mereduksi 5 – 12% NOx dan pollutan yang lain (CO, HC, PM) juga mampu tereduksi. Konsekuensi dari harga

satuan dari synthetic fuel ini lebih mahal jika dibandingkan dengan alkohol, namun bahan bakar ini tentu saja mempunyai karakteristik yang lebih baik untuk engine dengan pembakaran kompresi *(Brian, 1995)*.

- Water in Diesel Emulsions

Dasar teknologi yang digunakan adalah dengan melibatkan air pada bahan bakar diesel pada puncak terendah dari temperatur pembakaran dan hal tersebut dapat mereduksi NOx. Selama langkah pembakaran air dikonversikan menjadi steam. Penguapan air berdasarkan panas akan menyebabkan temperatur engine rendah. Penambahan air adalah salah satu dari beberapa modifikasi engine yang secara simultan mampu mereduksi NOx sebesar 20 – 50% dan Partikel smoke.

II.1.3. Pemilihan Bahan Bakar Dengan Modifikasi Engine

- Dimethyl Ether

Dimethyl Ether (DME) dapat digunakan pada motor diesel untuk menghasilkan comparable power dengan emisi rendah. DME mempunyai cetane number 55–60; dan biasanya diesel fuel mempunyai angka cetane sebesar 40-50 sehingga DME lebih baik dan lebih konsisten dalam penyalaan sehingga mampu mereduksi NOx dan Smoke partikel.

DME merupakan komposisi ether yang paling sederhana, bersifat tidak beracun dan aman bagi lingkungan. Energi densitas dari DME secara signifikan lebih rendah dari bahan bakar diesel.

- Gas Alam

Gas alam diextract dari sumber bawah tanah dan pada umumnya terdiri dari methane, dan siap dipakai secara luas sebagai bahan bakar alternatif pada

kendaraan dengan light duty on road. Untuk Compressed Natural Gas (CNG) gas ditekan sampai 2400-3600 Psi dalam silinder yang memang didesain secara khusus. Liquified Natural Gas (LNG), gas alam didinginkan sampai -259 F dan ditempatkan dalam insulated tank. Dengan menggunakan gas alam ini, emisi NOx dapat ditekan sampai 78%.

- Diesel/Electric Hybrid

Mesin-mesin yang menggunakan electric tentu saja tidak menghasilkan emisi. Dan emisi dihasilkan hanya untuk menghasilkan tenaga listrik pada power plant yang relatif dapat dikontrol.

II.1.4. Pemilihan Bahan Bakar khusus untuk mereduksi NOx

- Biodiesel

Bahan bakar biodiesel dihasilkan dari sumber-sumber baru, minyak sayur, lemak hewan. Meskipun angka setane dari biodiesel lebih tinggi dari bahan bakar diesel konvensional, namun biodiesel cenderung untuk menghasilkan emisi NOx yang lebih besar. World energy melaporkan dari test yang dihasilkan EPA memperlihatkan peningkatan NOx sebesar 2-13% jika dibandingkan dengan bahan bakar konvensional.

- Ethanol dan Methanol

Ethanol dan methanol tidak memperlihatkan peningkatan secara signifikan dari kemapuan mereduksi NOx namun dari sisi lain keduanya mampu mereduksi pembentukan smoke dan hydrokarbon.

Ethanol dan methanol merupakan salah satu bentuk dari senyawa alkohol yang dapat digunakan sebagai bahan bakar atau dicampur dengan bahan bakar

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

petroleum yang terbukti berfungsi sebagai antiknock. Keduanya mempunyai sifat panas laten yang tinggi, titik didih dan flash point yang tinggi *(Brian, 1995)*.

II.1.5. Modifikasi Desain Engine

- Water Injection

Water Injection pada prinsipnya menyerap panas untuk mengubah air menjadi uap pada temperatur pembakaran pada puncak terendah dan mampu mereduksi NOx. Namun kelemahan pada system ini yaitu dapat menyebabkan korosi yang pada nantinya akan menyebabkan permasalahan baru.

- Modifikasi system bahan bakar

Dengan mendesain injector bahan bakar berdasarkan kontrol elektronik pada saat kombinasi terbaik antara tekanan injeksi, waktu injeksi, dan lokasi penyemprotan bahan bakar, akan semakin meningkatkan efisiensi pembakaran tanpa menaikkan emisi NOx. Memperlambat injection timing akan mereduksi NOx, namun dengan metode yang demikian, akan semakin meningkatkan smoke partikel.

- EGR (Exhaust Gas Recirculation)

EGR (mencampur sebagian dari exhaust gas dengan udara bersih untuk masukan engine) adalah teknologi yang sesuai hanya pada heavy duty diesel engine. Pada EGR gas buang disirkulasikan menuju saluran udara masukan. Hal ini dimaksudkan akan semakin mengurangi konsentrasi unsur O2 pada proses pembakaran dan akan semakin mereduksi pembentukan NOx. Namun EGR menghasilkan Partikel smoke yang cukup signifikan pada gas buangnya sehingga diperlukan suatu instrumen tambahan untuk mereduksi partikel smoke tersebut. EGR mampu mereduksi NOx sebesar 50%.

II.1.6. After Treatment Technology

- Lean NOx Catalyst

Teknologi katali konvensional untuk mereduksi NOx pada motor bensin tidak dapat diaplikasikan pada motor diesel karena kelebihan oksigen pada gas buang motor diesel sebagai akibat tingginya rasio antara udara dengan bahan bakar yang menyebabkan oksidasi dan bukan reduksi. Penelitian yang sedang berjalan pada umumnya menciptakan katalis yang mampu mereduksi NOx pada kondisi gas buang yang penuh dengan oksigen.Teknologi tersebut dikenal dengan diesel lean NOx catalyst atau DeNOx catalyst.

Pengembangan lebih jauh pada lean NOx catalyst mengarah pada pemakaian zeolit dan desain katalis yang lain, digunakannya sejenis metal yang dicampurkan pada zeolit. Metal yang sering digunakan adalah tembaga.

- Selective Catalytic Reduction (SCR)

SCR pertama kali digunakan pada tahun 1970-an. SCR merupakan salah satu metode untuk mengurangi kadar NOx pada motor diesel dengan memberikan instrumen tambahan pada saluran gas buang (Exhaust gas manifold) dan menggunakan urea sebagai *reduction agent*-nya. Proses SCR dimana perubahan NOx menjadi senyawa kimia yang tidak berbahaya yaitu Nitrogen dan uap air. Diawali dengan memasukkan urea pada saluran gas buang. Gas buang yang melewati urea akan bereaksi dan akhirnya akan menyentuh NOx reduction catalysis.

Proses dari SCR mempunyai beberapa keistimewaan antara lain prosesnya yang sederhana, reliability tinggi, treatment dari produk yang sudah dihasilkan tidak diperlukan lagi, dan pengoperasiannya yang mudah.

Keuntungan dari digunakannya urea sendiri adalah sebagai berikut:

1. Penanganannya yang mudah.
2. Mempunyai sifat tidak berbau.
3. Tidak memerlukan treatment kedua.
4. Reducing agent yang murah jika dibandingkan amonia
5. Biaya pemasangan instalasi yang murah.
6. Compact plot plan.

II.2. Terbentuknya Nox pada motor diesel

Pada motor diesel, NOx terbentuk selama proses pembakaran sebagai hasil reaksi kimia antara oksigen dan nitrogen yang terdiri dari nitric oxide (NO) dan nitrogen dioxide (NO_2).konsentrasi NO_2 pada gas buang motor diesel relatif lebih kecil bila dibandingkan dengan konsentrasi NO, kira-kira hanya 10% ~ 30% emisi Nox berupa NO_2. Prinsip utama terbentuknya NO adalah hasil oksidasi dari molekul nitrogen *(Brian, 1995)*. NO dapat terbentuk dengan 3 macam cara yaitu:

1. Thermal NO

   N_2 yang terdapat pada udara hisap akan bereaksi dengan oksigen pada temperatur tinggi untuk membentuk thermal NO pada flame front dan burned gas region.

2. Fuel NO

Apabila bahan bakar yang digunakan mengandung molekul nitrogen maka molekul nitrogen ini akan dilepaskan pada temperatur rendah untuk membentuk fuel NO.

3. Prompt NO

   Prompt NO terbentuk pada daerah flame front.daerah flame front ini sangat tipis sekali (~0,1 mm) dan terjadi pada waktu yang singkat sehingga NO yang terbentuk dengan cara prompt NO ini sangat kecil

Dari ketiga cara tersebut, thermal NO merupakan sumber utama terbentuknya NO pada motor diesel.

Faktor utama yang mempengaruhi terbentuknya Nox adalah temperatur. Pada temperatur rendah (temperatur kamar), hanya terdapat sedikit senyawa Nox yang ada pada kesetimbangan. Hal ini dapat dibuktikan dengan kenyataan bahwa N_2 dan O_2 keberadaannya sangat berlimpah di atmosfer padahal terdapat banyak waktu untuk membentuk NOx. Pada temperatur yang tinggi dalam arti pada proses pembakaran terjadi reaksi antara N_2 dan O_2. Jadi N_2 dan O_2 hanya akan bereaksi menjadi NOx bila bercampur pada suhu yang tinggi yaitu sekitar 2000 K ~ 3000 K *(Brian, 1995)*.

Produksi NOx terbesar dihasilkan pada periode premixed combustion, dimana semakin tinggi kenaikan premixed combustion, semakin tinggi pula konsentrasi Nox yang diproduksi. Hal ini disebabkan karena periode premixed combustion terjadi pada temperatur yang tinggi karena terjadi heat release sehingga NOx sangat banyak terbentuk pada periode ini. Tingginya heat release yang terjadi pada periode premixed combustion dipengaruhi oleh lamanya waktu

ignition delay dan jumlah bahan bakar yang terbakar pada periode premixed combustion ini.

II.3. Pengaruh Buruk NOx

Dampak NOx terhadap manusia umumnya berupa gangguan infeksi akut dari alat-alat pernapasan yaitu bronchitis kronis, asma dan kanker paru-paru. Selain itu nitrogen oksida akan dapat terserap dalam darah dan bereaksi dengan hemoglobin yang sama halnya dengan karbon monoksida akan menghalangi penyerapan oksigen pada saat pernapasan *(Riyadi, 1982).*

NOx dapat membentuk smoke jika kombinasinya dengan hidrokarbon yang tidak terbakar bereaksi dengan sinar matahari. Smoke pada konsentrasi 0, 5 ppm dalam periode 10-12 hari dapat menghambat pertumbuhan tanaman kacang dan tomat *(Brigman, 1990).* Smoke juga dapat menyebabkan bercak pada daun dan menyebabkan kerusakan pada bunga-bunga dan tanaman hias lainnya. Selain itu smoke dapat menurunkan PH air hujan sehingga dapat menyebabkan kematian pada ikan-ikan dan kehidupan lainnya di danau. Rendahnya tingkat keasaman air dapat menyebabkan pengendapan dan pengumpulan lendir pada lamela insang sehingga kegiatan pernapasan menjadi terhambat. Reproduksi pada beberapa jenis ikan akan gagal pada PH kurang dari 5, 5 *(Riyadi, 1982).*

II. 4. Beberapa Bahan Kimia Dasar Dalam Pembakaran.

Menurut Santoso (2003) ada beberapa bahan kimia dasar dalam pembakaran, yaitu :

- SOx

Semua bahan bakar untuk mesin diesel mengandung sulfur. Untuk bahan bakar otomotif mengandung sulfur sebesar 0,05% sementara bahan bakar untuk mesin yang lebih berat mengandung sulfur sebesar 1% - 3%. Dalam proses pembakaran sulfur dioksidasi menjadi O_2 dan O_3 dengan perbandingan 95% banding 5%.

Dengan memanfatkan bahan bakar yang kandungan sulfur-nya lebih rendah akan dapat mengurangi polusi SOx sampai sebesar 1/3. Kandungan metal didalam bahan bakar minyak bumi dapat dihilangkan melalui proses desulfurisasi. Perundang-undangan dan teknologi mesin diesel yang terus berkembang dewasa ini mampu mendorong industri perkapalan untuk menekan dampak negatif dari gas buangnya termasuk SOx.

SOx membawa akibat yang sangat buruk terhadap lingkungan yaitu terjadinya hujan asam . Ketika hujan asam tersebut sampai ke lautan bebas akan dapat menyebabkan korosi terhadap gedung-gedung dan bangunan disekitar pantai. Disamping itu hujan asam juga menyebabkan menurunnya hasil pertanian seperti juga hasil-hasil kelautan, seperti perikanan.

- CO_2

CO2 dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar fosil yang kemudian ikut mendorong terjadinya efek rumah kaca. CO2 sangatlah berbahaya dan beracun bagi kehidupan manusia, dalam jumlah yang sangat tinggi akan menyebabkan kurangnya oksigen didalam paru-paru. Sampai saat ini belum ditemukan cara agar pembakaran bahan bakar fosil tidak menghasilkan CO2. Gas Gaseous Fuels dengan perbandingan H/C lebih tinggi akan menghasilkan CO2 yang lebih sedikit namun demikian sampai sekarang belum ditemukan bahan bakar alternatif yang

secara ekonomis dan kuantitas mampu menggantikan bahan bakar fosil paling tidak sampai tahun 2010.

- NOx

Pada umumnya udara mengandung nitrogen (N2) sebesar 80%. Dalam proses pembakaran sebagian dari nitrogen di udara teroksidasi menjadi NO, NO2, dan N2O. Warna kekuning-kuningan atau kecoklat-coklatan dari pipa pembuangan menandakan tingginya konsentrasi NOx (NO2). Sekitar 2% sampai 20% dari NOx yang dihasilkan oleh nitrogen berada didalam bahan bakar (bahan bakar NOx). Tingginya kualitas dari suatu bahan bakar menandakan semakin kurangnya kandungan emisi NOx. Walaupun demikian hal ini tidak begitu berpengaruh karena sekitar 80% - 90% dari emisi NOx di udara dihasilkan oleh oksidasi nitrogen dalam aksi pembakaran. NOx sangatlah berbahaya bagi lingkungan karena menyebabkan hujan asam. Disamping itu NOx juga berbahaya bagi manusia, karena NOx dan HC bereaksi aktif terhadap pembentukan O3. Dalam proses inilah NOx mampu menyebabkan korosi dan gangguan dan infeksi dada. Terkait dengan dampak dari hujan asam kondisi air minum akan berkurang kualitasnya karena mengandung aluminium disamping itu diindikasikan juga menyebabkan gangguan pada syaraf manusia. Emisi NOx dari power plan menarik perhatian dari beberapa pemerintah dan organisasi internasioanl seperti IMO.

- Hidrokarbon (HC)

Pembakaran sempurna dibentuk oleh pertukaran gas yang dikondisikan agar semua unsur C dari bahan bakar akan berubah menjadi CO2 dan semua uncur H dari bahan bakar dapat habis menjadi senyawa H2O. Bagaimanapun HC masih

tersisa setelah proses pembakaran. Bahan bakar yang mempunyai kualitas buruk mempunyai konsentrasi yang besar pada sisa pecahannya dimana sulit untuk dibakar secara sempurna juga disebabkan oleh kumpulan emisi dari HC. Dengan memindahkan beberapa bagian dari HC dimana dikondisikan beberapa bagian itu juga dapat dipindahkan. Menghindari pemakaian bahan bakar yang buruk biasanya dapat efektif dalam mengurangi emisi dari HC. Pembakaran dengan suhu yang tinggi sehingga mencapai pembakaran yang sempurna juga dapat meminimalisasi emisi dari HC, tetapi juga dapat memberikan konsekuensi lain yang didalamnya terdapat emisi dari NOx. Ini adalah proses alami, kehadiran dari HC dapat memberikan keseimbangan dalam lingkungan kelautan.

- Particulate Matter (PM)

Beberapa keterangan atau bahan diambil dari karbon, oksida metal, sulfur dan pembakaran HC sebagai hasil dari pembakaran yang tidak sempurna dan bahan bakar juga pelumasan oli kotor dimana tidak dapat digunakan dalam pembakaran mesin diesel. Bahan bakar dengan kandungan sulfur yang rendah dan pada pembakaran dengan temperatur yang tinggi sangat efektif dalam mengurangi PM. Bagaimanapun pembakaran dengan temperatur yang tinggi dapat meningkatkan emisi NOx. Selama proses berlangsung konsentrasi beban aliran dari PM dapat ditingkatkan dengan factor 20 atau lebih, bagian tersendiri dari partikel itu akan meningkat besarnya dan mengandung karbon sampai mencapai 95% yang menghasilkan asap hitam. Beban yang konstan dan berat mempengaruhi kerja dari bahan bakar mencapai lebih dari 50% dan PM juga mengandung oksida metal atau sulfat. Pecahan dari PM tidak dapat dioksidasikan lebih jauh lagi sekarang ini Oksidasi dari PM dapat dirasakan pada mesin diesel di bus dan truk. Penyulingan

bahan bakar dengan kandungan sulfur yang rendah (kurang dari 0,2%) dapat mengurangi kandungan emisi PM dan juga yang ada didalamnya. Tetapi itu akan memacu terhadap masalah keuangan dimana menggunakan bahan bakar yang murah dapat menjangkau sejauh mungkin.

II.5. Asap Motor Diesel

Asap merupakan salah satu produk dari hasil pembakaran motor diesel yang tampak. Tebal asap motor diesel tergantung pada campuran bahan bakar dan udara, jenis bahan bakar dan besarnya tekanan. Asap terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dalam ruang bakar. Pembakaran yang tidak sempurna bisa terjadi karena faktor-faktor desain mesin seperti karakteristik sistem injeksi, sistem industri, kontrol regulator, bahan bakar yang dipakai serta standart mesin *(Mathur & Sharma, 1980)*.

- Sistem Injeksi

Karakteristik sistem injeksi yang menimbulkan tingkat asap meliputi kekurangan atau kelebihan penetrasi, ukuran droplet yang tidak sesuai, kelebihan massa injeksi, injeksi tambahan dan penyebaran atom yang tidak tepat.

- Standard

Kecenderungan produsen untuk mengeset mesin dengan daya maksimum sehingga akan menghasilkan lebih banyak asap pada gas buangnya.

- Perawatan

Karakteristik injeksi dan jumlah minyak pelumas yang melewati ring piston dipengaruhi oleh perawatan yang diberikan kepada motor diesel itu sendiri sehingga sangat mempengaruhi timbulnya asap pada mesin.

- Bahan bakar

Kualitas bahan bakar mempengaruhi produksi asap putih mesin. Bahan bakar yang lebih mudah menguap biasanya menghasilkan sedikit asap daripada bahan bakar yang lebih sulit menguap. Jumlah setana yang tinggi dan uap yang mudah menguap mempermudah kinerja pembentukan asap dingin dari mesin. Jumlah setana tidak mempengaruhi terbentuknya asap hitam.

- Beban muatan

Setiap kelebihan beban muatan pada mesin akan menghasilkan asap yang lebih hitam. Tingkat asap akan meningkat dari tanpa muatan sampai muatan penuh.

- Jenis dan kecepatan

Secara alami mesin-mesin yang dibuat mempunyai tingkat asap yang lebih tinggi pada muatan yang lebih berat daripada mesin-mesin turbo listrik karena mesin turbo listrik mempunyai cukup oksigen walaupun pada muatan penuh.

- Rasio bahan bakar dan udara

Bertambahnya rasio bahan bakar-udara akan menyebabkan bertambah tebalnya gas buang yang dikeluarkan oleh motor diesel.

II.6. Pengukuran asap

Secara visual, penilaian terhadap tingkat asap sangat sulit dilakukan karena gas asap sangat peka terhadap cahaya. Ada dua jenis utama dari pengukur asap yang dipakai untuk mengukur kepadatan asap yaitu jenis penggelapan filter dan jenis pemadaman cahaya. Jenis pemadaman cahaya dapat mengukur baik asap putih maupun asap hitam, sedangkan jenis kertas filter hanya hanya dapat membaca jenis asap hitam *(Mathur & Sharma, 1980)*. Salah satu jenis

penggelapan filter adalah pengukuran dengan menggunakan Bosch smoke meter. Volume yang terukur dari gas buang ditarik melalui kertas filter yang menghitam dengan berbagai derajat bergantung dengan jumlah karbon yang hadir didalam tempat buangan. Kepadatan jelaga diukur dengan menentukan jumlah pantulan cahaya dari kertas jelaga, gasris tengah filter dan volume sampel. Jenis pengukuran yang lain adalah pengukuran dengan menggunakan Hartrige smoke meter, merupakan salah satu jenis pengukur dengan prinsip pengendapan cahaya. Cara kerja dari alat ini adalah dengan melewatkan sampel gas buang secara kontinyu pada suatu tabung dengan panjang sekitar 46 cm yang disalah satu ujungnya diberi sumber cahaya dan photo sel pada ujung lainnya.

II.7. Esterifikasi Biodiesel

Alat untuk memproduksi biodiesel disebut dengan transesterifikasi. Ada dua jenis transesterifikasi yaitu system batch dan continues (*Graboski dan McCormick,1998*), (*Allen and Watts,1996*). Dalam Skala laboratorium tipe batch lebih cocok karena produksinya tidak terlalu besar (*Allen and Watts,1996*). Sedangkan untuk kapasitas yang lebih besar tipe continues lebih baik. Tipe semacam ini lebih cocok untuk proses komersial.

Pada dasarnya proses pembuatan biodiesel adalah merubah minyak nabati kedalam bentuk ester. Untuk memperoleh ester, minyak nabati direaksikan dengan alcohol (methanol atau ethanol). Untuk mempercepat reaksi maka digunakan KOH atau sodium Hidrokside sebagai katalisator.

II.8. Emisi Nox Spesifik (SNOx)

Tingkat emisi Nox adalah salah satu karakteristik operasi motor diesel yang penting.Konsentrasi Nox pada gas buang motor diesel biasanya diukur dalam parts per million (ppm).Ukuran yang lebih bermanfaat dan umum digunakan adalah emisi spesifik yang menyatakan kecepatan massa polutant per unit daya.Untuk merubah satuan emisi Nox dalam ppm menjadi emisi Nox spesifik (SNOx) berdasarkan rekomendasi SAE J177 th 1982 adalah sebagai berikut:

$$SNOx\ (g/kWh) = 9{,}5 \cdot 10^{-2}\,[NOx].\frac{Me}{P}$$

II.9. Batas Regulasi Emisi Nox dan Partikel Smoke

Sebagai suatu sumber polusi yang berbahaya,maka keberadaan Nox harus dikurangi dengan mengeluarkan aturan-aturan yang mengatur batasan maksimum Nox yang diijinkan

Batas emisi Nox yang dikeluarkan oleh US Federal Emission standard sebagai berikut:

Tahun	Batas emisi Nox (g/Bhp.Hr)
1991	5,0
1994	5,0
1998	4,0

Tabel 2.1. Batasan sNOx (US)

Batas emisi Nox yang dikeluarkan oleh European Exhaust Emission standard adalah sebagai berikut :

Tahun	Batas emisi Nox (g/kWh)
1988	18,0
1992	8,0
1995	7,0
1999	5,0

Tabel 2.2. Batasan sNOx (Eropa)

Sedangkan Batasan emisi Nox yang dikeluarkan oleh IMO (International Maritime Organization) sebagai berikut:

1. Untuk Marine diesel dengan putaran kurang dari 130 Rpm,emisi Nox maksimum yang diijinkan adalah 17 g/kWh.
2. Untuk Marine diesel dengan putaran antara 130 Rpm s/d 2000 Rpm, emisi Nox maksimum yang diijinkan adalah berdasarkan fungsi dari putarannya yaitu $45.n^{-0,2}$ g/kWh. Dimana n adalah putaran motor dalam Rpm.
3. Untuk marine diesel dengan putaran lebih dari 2000 Rpm emisi Nox maksimum yang diijinkan adalah 9,84 g/kWh.

Sedangkan Untuk Partikel smoke yaitu:

1. Regulasi untuk Smoke Partikel Spesifik yang dikeluarkan oleh US Federal Emission Standart.

Tahun	Batas Emisi Partikel Gr / kWh
1991	0.34
1994	0.13
1998	0.10

Tabel 2.3. Batasan Emisi Partikel (US).

2. Regulasi untuk smoke partikel spesifik yang dikeluarkan oleh Eropean Exhaust Emission Standart.

Tahun	Batas Emisi Partikel Gr / kWh
1992	0.36
1995	0.15
1999	0.10

Tabel 2.4. Batasan Emisi Partikel (Eropa).

BAB III
METODOLOGI

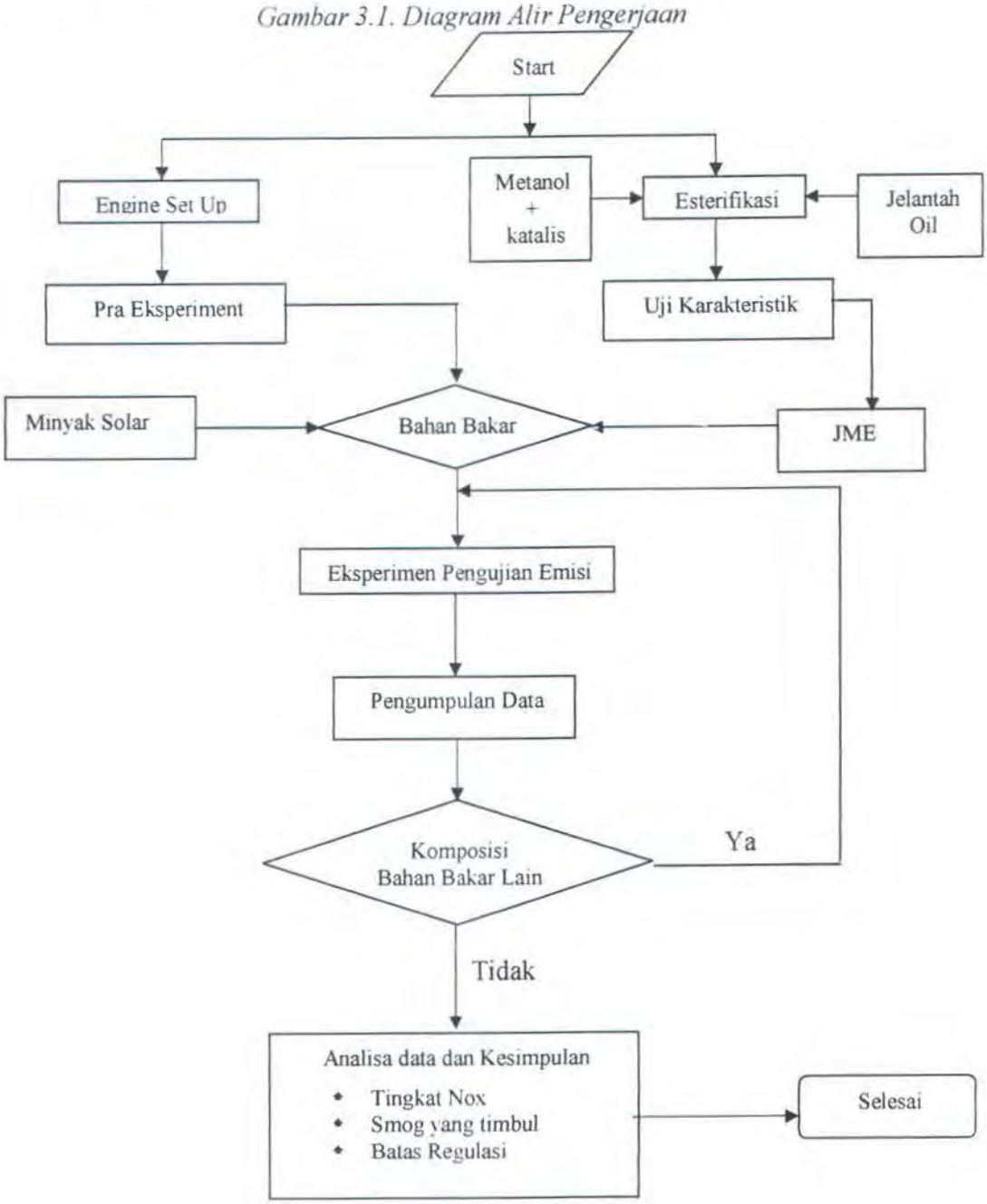
BAB III

METODOLOGI

III.1. Diagram Alir Pengerjaan

Untuk lebih memudahkan dalam pengerjaan metode eksperimen ini, maka langkah-langkah metodologi dibuat melalui diagram alir seperti terlihat dibawah.

Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan



III.2. Esterifikasi

III.2.1. Penyiapan unit esterifikasi.

Dalam literatur disebutkan prinsip dasar proses esterifikasi yang digunakan untuk menghasilkan turunan ester dari minyak jelantah. Demikan pula contoh desain alat yang telah dipakai beberapa peneliti sebelumnya. Namun demikian perlu dibuat suatu unit esterifikasi yang cocok dengan kebutuhan kita. Juga mengingat dana yang ada, maka desain yang telah ada perlu dimodifikasi dengan berpedoman pada prinsip proses esterifikasi itu sendiri. Dengan demikian maka diharapkan desain unit yang baru ini dapat melaksanakan fungsinya sebagai unit esterifikasi. Untuk itu telah disiapkan suatu unit esterifikasi yang reaktor ini lebih sederhana bila dibandingkan dengan desain *Mike Pelly dan Aleks Kac (2000)*. Dengan desain yang lebih sederhana, maka jumlah biaya awal serta biaya operasional akan lebih murah. Peralatan yang diperlukan untuk proses esterifikasi tersebut antara lain :

1. Kompor
2. Panci
3. Thermometer
4. Stopwatch
5. Alat pengaduk
6. Gelas reaksi

Sementara itu bahan-bahan yang kita perlu persiapkan antara lain :

1. Minyak jelantah
2. Methanol
3. H_2SO_4
4. KOH
5. Des water
6. Asam cuka

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

III.2.2. Produksi jelantah methyl ester.

Jelantah methyl ester merupakan nama untuk biodiesel yang didapat dari pemrosesan minyak jelantah (*waste vegetable oil*) menjadi bentuk ester melalui proses transesterifikasi.

Tahap-tahap dalam proses esterifikasi sebagai berikut:

I. Tahap Pembersihan.

Tahap pembersihan pembersihan minyak jelantah dari kotoran penggorengan dilakukan dengan jalan penyaringan pada suhu 35^0C, dilanjutkan dengan pemanasan sampai 100 ^{0}C untuk memisahkan kandungan air dalam minyak jelantah dan didinginkan kembali.

II. *Tahap Esterifikasi.*

Tahap Pertama Esterifikasi :

1. pengukuran minyak jelantah dan letakkan kedalam reaktor.
2. siapkan ethoxide dengan mencampurkan methanol sebanyak 25% (dari volume minyak jelantah) dengan KOH (6.25g/liter minyak jelantah).
3. panaskan minyak jelantah pada temperatur 48-52^{o}C.
4. tambahkan ¾ dari ethoxide.
5. campur dan diaduk selama 50-60 menit dengan temperatur tetap jaga (48-52^{o}C).
6. diamkan selama 12 jam untuk mendapatkan jelantah methyl ester.
7. pisahkan glycerine dari jelantah methyl ester.

Tahap Kedua Esterifikasi :

8. masukkan kedalam reaktor jelantah methyl ester dari hasil tahap pertama.
9. panaskan jelantah methyl ester pada temperatur 48-52°C.
10. tambahkan ¼ dari ethoxide.
11. campur dan diaduk selama 50-60 menit dengan temperatur tetap jaga (48-52°C).
12. diamkan selama 12 jam untuk mendapatkan jelantah methyl ester.
13. pisahkan glycerine dari jelantah methyl ester.

III. *Tahap Pencucian*

Tahap pencucian digunakan untuk mendapatkan jelantah methyl ester dengan PH yang normal. Pencucian jelantah methyl ester dilakukan dengan cara menambahkan distelated water kedalam jelantah methyl ester dengan volume 1:1 sehingga teremulsi. Untuk mengatasi emulsi yang terjadi maka ditambahkan asam cuka sebanyak 2% dan dilakukan pembumbelan. Asam cuka yang digunakan adalah asam cuka kuat untuk cuka 25% dapat kita campurkan kedalam jelantah methyl ester sebanyak 7 ml. Jelantah methyl ester dapat didapatkan kembali dengan PH yang normal dengan jalan pengeringan hasil pembumbelan selama ± 6-12 jam.

IV. *Tahap Pengeringan.*

Tahap ini digunakan untuk memisahkan jelantah methyl ester dengan air. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan jelantah methyl ester yang telah dicuci sampai pada suhu 130 ^{0}C.

Diagram dibawah ini menjelaskan urutan langkah proses.

Action	Waktu (menit)								
	15	5	60	60	480	90-150	60	480	60
Minyak dipanaskan	XXX					XXXX			
Penambahan Alkohol		X							
Penghentian reaksi dengan H_2SO_4		X							
Pengadukan pelan-pelan.		XXX	XXXX	XXXX		XXXX			
Penambahan Methoxide I			X			X			
Pendinginan					XXXX		XXXX		
Pengeluaran Glyserol					X		X		
Pembublelan								XXXX	
Penambahan Air dan Asam								X	
Pengeringan									XXX
Temperatur minyak	35°C	35°C	35°C			57°C			130 °C
Ph								6-7	

Tabel 3.1. Diagram Pembuatan Jelantah Methyl Esther

III.3. Karakteristik Bahan Bakar Jelantah Methyl Esther.

Parameter		Hasil	Metode
Viskositas 100 ^{0}F	(cSt)	7,14	D-445
Densitas (60/60 ^{0}F)	(gr/ml)	0,9068	D-287
TAN (Total Acid Number)	(mgr KOH/gr)	2,7104	D-974
Ash	(%w)	0,3100	D-482
Flash point	(^{0}C)	180	D-92
Kadar Sulfur	(%w)	0,3254	D-1551
Kadar Air	(%V)	0,9867	D-1744

Tabel 3.2. Karakteristik Bahan Bakar Minyak Jelantah Methyl Esther

III.4. Karakteristik Minyak Solar

Parameter		Min	Max
Strong Acid Number	mg KOH/g	-	Nil
Flash Pont PM cc	$^\circ$C	150	-
Pour Point	$^\circ$C	-	65
Sediment	%wt	-	0.01
Specific Gravity	60/60 $^\circ$C	0.820	0.870
Sulpur Content	%wt	-	0.5
Viscosity Kin./100 $^\circ$F	cS	1.6	5.8
Water Content	% Vol	-	0.05
Cetane Number		45	-
Ash Content	%wt	-	0.01

Tabel 3.3. Karakteristik Bahan Bakar Minyak Solar Pertamina

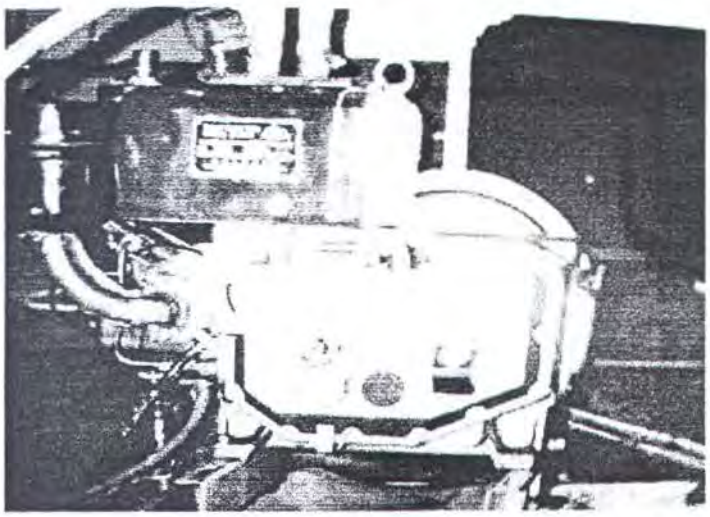
III.5. Pra Eksperimen dan Eksperimen

Pra Eksperimen dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari motor diesel itu sendiri. Dengan demikian, dapat dianggap bahwa unjuk kerja engine pada saat ini, merupakan unjuk kerja mula-mula engine. Untuk keperluan ini digunakan sebuah motor diesel empat langkah dengan satu silinder. Motor diesel dikopel pada sebuah generator untuk mengukur besarnya *power* dari engine. Spesifikasi mesin dan generator dapat dilihat sebagai berikut:

1. Spesifikasi Motor Diesel.

Merek	: DONG FENG
Model	: R180
Tipe	: Single cylinder, horizontal, water cooled.
Jumlah langkah	: 4 langkah
Diameter silinder	: 80 mm
Langkah piston	: 80 mm
Rasio kompresi	: 21 : 1
Piston displacement	: 0,402 L
Putaran maksimum	: 2600 rpm
Daya maksimum	: 5,67 KW (7,7 PS)
Specific fuel consumption	: 269,3 g/KW.h (198 g/PS.h)

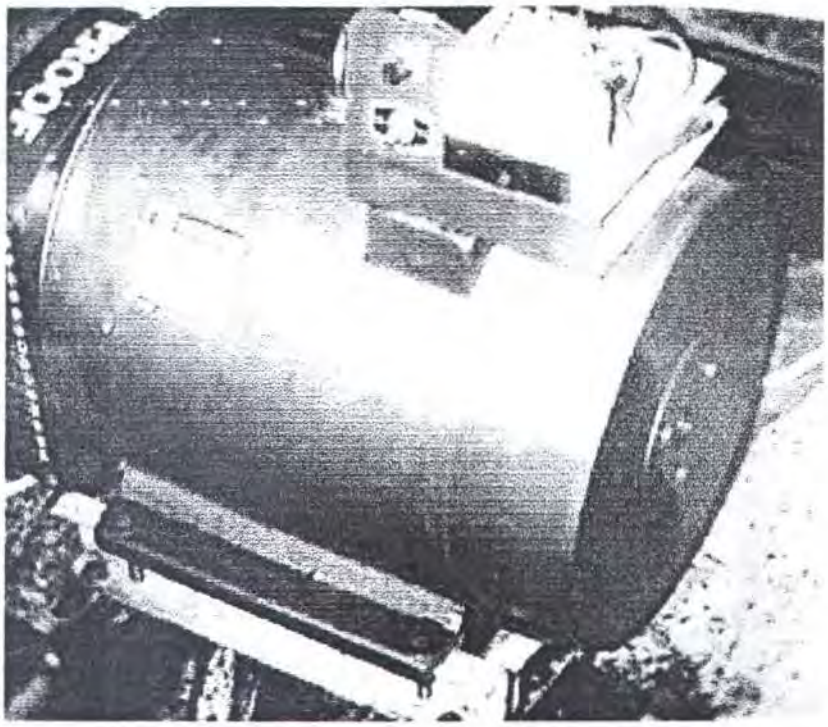
Specific lub. Oil consumption: 3,4 g/KW.h (2,5 g/PS.h)



Gambar 3.2. Motor Diesel

2. Spesifikasi Generator.

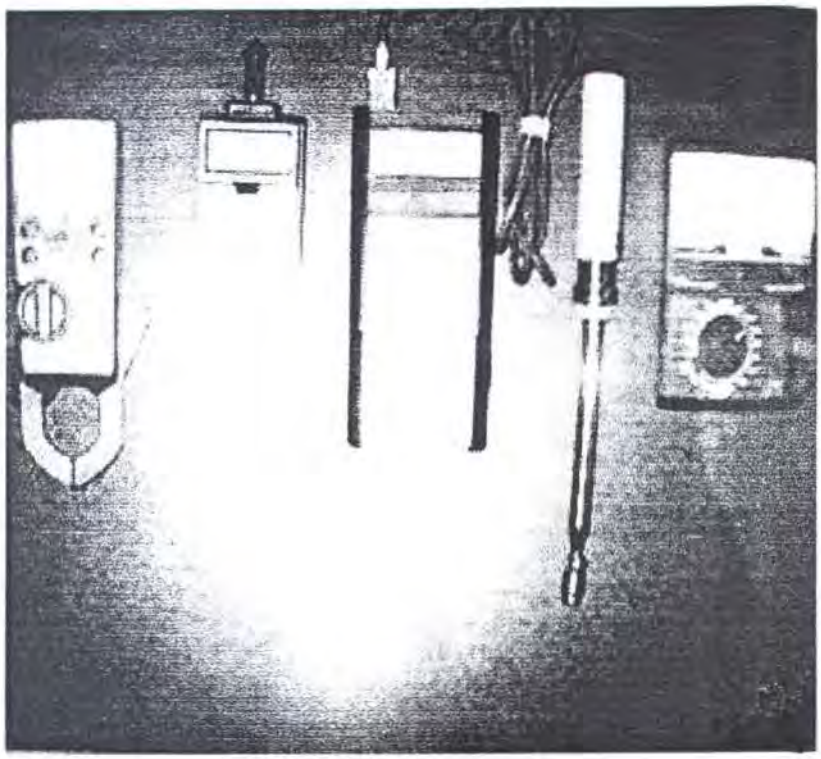
Merk	: MIN DONG
Type	: ST 7,5
Daya maksimum	: 7,5 Kw
Voltage	: 230 V
Frequency	: 50 Hz
Putaran maksimum	: 1500 rpm
Cos ←	: 1
Phase	: 1



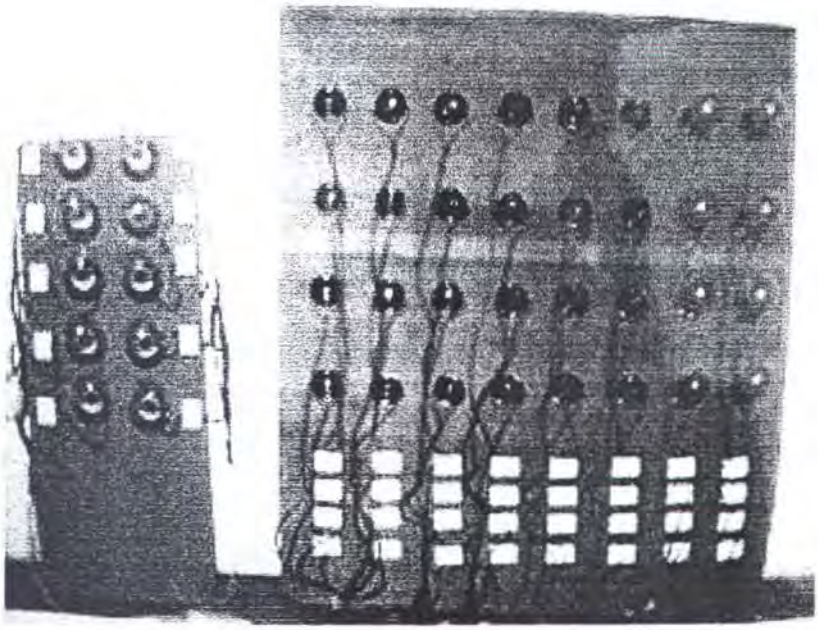
Gambar 3.3. Generator

3. Alat-alat Yang Digunakan

1. Tangmeter.
2. Tachometer digital.
3. Termometer digital.
4. AVO meter.
5. Lampu 250 watt.



Gambar 3.4. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian



Gambar 3.5. Rangkaian lampu

Diharapkan data yang dihasilkan dari percobaan ini dapat digunakan sebagai data pembanding dengan data yang dihasilkan pada eksperimen dengan memakai bahan bakar jelantah methyl ester. Langkah-langkah percobaan pengujian motor diesel pada pra eksperimen sebagai berikut :

a. Tahap persiapan.

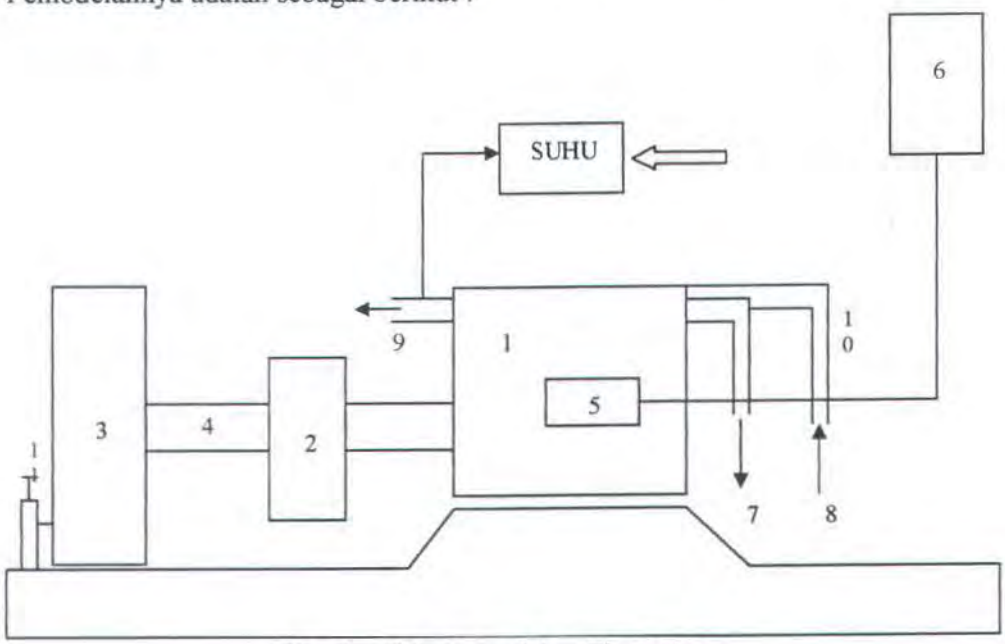
1. Memeriksa instalasi engine test bed (tangki bahan bakar, minyak pelumas, sistem bahan bakar, sistem pendingin, alat-alat yang digunakan, baut-baut pengikat, dll).
2. Menstart engine.
3. Memanaskan engine hingga siap sekitar 10 menit pada putaran 2300 rpm dan tanpa beban.

b. Tahap pengukuran.

1. Menyiapkan bahan bakar kedalam gelas pengukur sehingga dapat diamati pemakaian bahan bakarnya.
2. Putaran motor diesel pada 2300 rpm dan dijaga tetap konstan.
3. Beban diatur pada beban pertama sebesar 250 watt.
4. Dilakukan pengukuran yang meliputi arus armature, tegangan armature, pemakaian bahan bakar, temperatur dan gas buang, temperatur air pendingin.
5. Percobaan diulangi mulai no.1 sampai dengan no. 4 sampai dengan mendapatkan beban maksimum dengan variasi beban sebesar 250 watt.
6. Percobaan diulangi mulai no.1 sampai dengan no 4 dengan variasi putaran engine (1900 rpm, 1500 rpm).

Hasil dari pengukuran ditabelkan dan dilakukan perhitungan. Hasil pra eksperimen ini dapat digunakan untuk menentukan beban-beban yang perlu diamati sebagai perbandingan dengan penggunaan bahan bakar jelantah methyl ester. Hasil dari pra eksperimen ini dapat dilihat pada lampiran.

Pemodelannya adalah sebagai berikut :



Gambar 3.6. Pemodelan Eksperimen

Keterangan :

1. Motor diesel
2. Pulley
3. Generator
4. Sabuk/Belt
5. Pompa bahan bakar
6. Tangki gelas bahan bakar
7. Water cooler out
8. Water cooler in
9. Exhaust pipe
10. Flow meter
11. Panel pengatur beban

III.6. Komposisi pemakaian bahan bakar jelantah methyl ester

Efek pemakaian jelantah methyl ester pada motor diesel, tidak hanya terbatas pada pemakaian jelantah methyl ester untuk menggantikan bahan bakar konvensional secara total, namun juga terhadap pencampuran jelantah methyl ester dengan bahan bakar konvensional pada berbagai variasi (JMExx). Dengan demikian perlu dilakukan pembuatan JMExx dengan mencampurkan jelantah methyl ester dengan minyak solar. Minyak solar dimasukkan kedalam gelas ukur, kemudian ditambahkan jelantah methyl ester sesuai dengan komposisi campuran yang telah ditentukan. Pada eksperimen kali ini jumlah komposisi bahan bakar adalah Jelantah Methyl Ester 50% (JME50) ,Jelantah Methyl Ester 100% (JME100) dan minyak solar 100% (Solar 100) Sebagai pembanding.

Bahan bakar	JME100	JME50	Solar100
Minyak solar (% Vol)	**0**	**50**	**100**
Jelantah methyl ester (% Vol)	**100**	**50**	**0**

Tabel 3.4. Komposisi Pemakaian JME dan Solar

III.7. Eksperimen di Engine Test Bed.

Untuk memperoleh data-data, dilakukan pengukuran emisi Nox dan smoke kurang lebih selama 5 menit. Dalam menentukan beban pada pengukuran emisi Nox dan smoke digunakan system US 13-mode cycle. Siklus ini dirancang untuk mengukur polutan motor diesel pada engine test bed. Adapun 13-mode pengujian tersebut adalah terbagi dalam beban-beban pada putaran dimana torsi maksimum dan putaran pada daya maksimum.untuk mendapatkan putaran pada torsi dan daya yang maksimum,dipelajari terlebih dahulu pada pra-eksperimen. Misalkan torsi

maksimum didapatkan pada putaran 1900 Rpm dan daya maksimum didapatkan pada putaran 2300 Rpm,maka akan diberikan pembebanan 10,25,50,75 dan 100% beban.

III.8. Pengujian Emisi NOx dan Partikel Smoke.

Pengambilan sampel gas buang yang keluar dari saluran pembuangan diambil dan dimasukkan ke dalam tabung yang telah berisi larutan Reagen Absorber Nox.Kecepatan dan tekanan yang dimiliki gas buang dan dengan dibantu oleh suatu pompa vakum,maka gas buang akan mengalir ke dalam tabung yang berisi larutan reagen aborber yang telah disediakan.Untuk mendapatkan kualitas sampel yang memadai,pengambilan sampel menggunakan larutan 20 cc.sampel gas buang yang telah berada pada larutan reagen absorber dibawa ke balai kesehatan lingkungan surabaya.

Metode pengukuran emisi Nox yang dilakukan di balai kesehatan didasarkan pada reaksi antara Nox dengan sulfanic acid untuk membentuk diazonium salt kemudian direaksikan dengan N-ethelene diamine dihydrocloride untuk membentuk warna oranye.warna yang terbentuk diukur dengan spektrofotometer pada gelombang 540 mmdan konsentrasi Nox diukur berdasarkan kurva kalibrasi.Reagen Absorber adalah larutan yang menangkap Nox dalam gas buang.komposisinya adalah 4 gram NaOH dan 1 gram sodium arsenat yang dilarutkan dalam 1 liter aquadest.

III.9. Analisa data.

Setelah data yang dibutuhkan telah diperoleh dari Balai Teknik Kesehatan Lingkungan,maka dilakukan analisa pada data tersebut.Analisa data dilakukan pada setiap komposisi bahan bakar.Analisa data disertai dengan grafik untuk mengetahui trend dari pemakaian komposisi pemakaian bahan bakar yang berbeda.Ada batasan yang sudah ditetapkan dari IMO (International Maritime Organization) dan US Federal Emission Standart.

III.10. Kesimpulan.

Setelah didapatkan hasil analisa data maka dapat dilakukan pengambilan kesimpulan. Kesimpulan yang diambil harus dapat menjawab tujuan utama dilakukannya pengujian ini yaitu mengetahui apakah pemakaian Jelantah Methyl Esther sesuai dengan regulasi yang telah ditetapkan.

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Dalam penganalisaan ditampilkan beberapa grafik dimana grafik-grafik tersebut diperoleh dari data-data Eksperimen yang telah ditabelkan. Analisa data ditampilkan melalui beberapa sub-bab sebagai berikut: Analisa Jelantah methyl esther murni, Analisa Campuran JME dan Solar (50:50), Analisa Minyak solar murni, Pengaruh JME terhadap terbentuknya NOx dan partikel smoke, Batas Syarat regulasi pada masing-masing bahan bakar, Analisa keseluruhan, Pembahasan.

IV.1. Analisa jelantah methyl esther murni.

IV.1.1. Emisi NOx.

Dari hasil tabel 4.1. dapat dilihat hubungan antara load dan spesifik NOx (sNOx). Terlihat bahwa seiring dengan naiknya putaran motor maka terjadi penurunan pada emisi NOx. Kecuali pada posisi beban 1 (10 % Load), menuju ke beban 2 (25% load). Penyimpangan ini dapat terjadi karena kesalahan pengukuran konsentrasi NOx di Balai Teknik Kesehatan Lingkungan. Sebab pengukuran konsentrasi NOx dilakukan dari sampel gas buang yang diambil. Kemungkinan terjadinya kontaminasi udara luar sangat besar pada saat pengangkutan sampel gas buang sebelum diukur konsentrasinya.

Peningkatan konsentrasi NOx seiring dengan naiknya putaran motor menyebabkan suhu pembakaran juga semakin tinggi. Semakin tinggi suhu

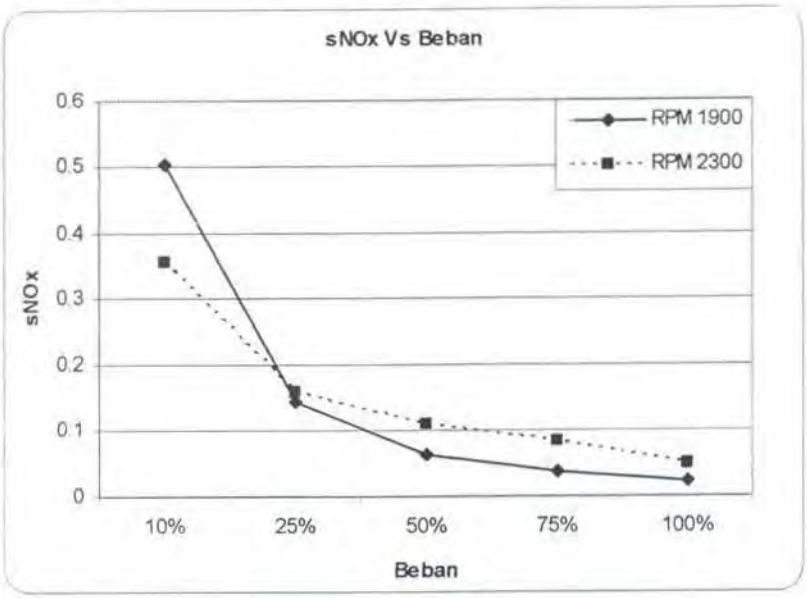
pembakaran menghasilkan emisi NOx yang banyak pula meskipun tidak terlalu signifikan.

Dari hasil pengujian didapatkan data yang telah ditabelkan sebagai berikut:

No	Rpm	Beban	Hasil Pengujian			
		(%)	NOx	sNOx	Smoke	Smoke
			(ppm)	(gr/kWh)	(mg/m3)	(gr/kWh)
1	idle	0	78.88	-	23	-
2	1900	10	90.97	0.50	44	0.21
3	1900	25	64.92	0.14	33	0.06
4	1900	50	56.55	0.06	39	0.04
5	1900	75	51.9	0.04	163	0.11
6	1900	100	38.93	0.02	191	0.09
7	idle	0	55.62	-	41	-
8	2300	10	63.06	0.36	70	0.34
9	2300	25	72.36	0.16	34	0.07
10	2300	50	100.27	0.11	62	0.06
11	2300	75	116.09	0.08	36	0.02
12	2300	100	92.83	0.05	60	0.03
13	idle	0	60.72	-	33	-

Tabel 4.1. Data Jelantah Methyl Esther Murni.

Tabel 4. 1. didapatkan dari hasil pengujian dengan melakukan tes 13-mode US cycle. Pada engine test bed eksperimen NOx dan partikel smoke, juga menyertakan pengujian pada kondisi engine idle. Akan tetapi pada saat perhitungan emisi spesifik NOx dan partikel smoke, kondisi tersebut tidak disertakan.



Grafik 4.1. sNOx Vs Beban JME murni

Seiring dengan penambahan beban (load) maka konsentrasi NOx yang terjadi juga akan cenderung turun. Hal yang signifikan terjadi pada RPM 1900 (torsi maksimum dari motor). Sedangkan pada RPM 2300 (Full Load dari engine), emisi NOx masih agak tinggi. Kenaikan beban dari putaran konstan menyebabkan penurunan pada emisi NOx spesifik. Penambahan beban menyebabkan kenaikan pada suhu gas buang dan pada daya yang dihasilkan Kenaikan suhu gas buang dapat dijadikan indikasi kenaikan pada suhu pembakaran yang menyebabkan peningkatan konsentrasi NOx pada gas buang yang dihasilkan. Delta kenaikan konsentrasi NOx lebih kecil bila dibandingkan delta kenaikan daya motor, sehingga emisi NOx akan turun pada putaran konstan seiring dengan penambahan beban.

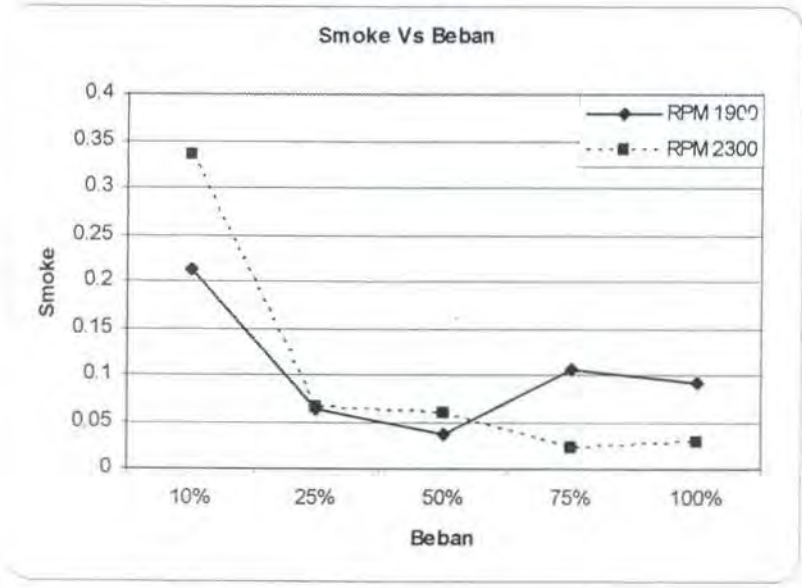
Seperti diketahui angka setana dari Jelantah methyl esther lebih tinggi dibandingkan bahan bakar konvensional. Angka setana bahan bakar akan mempengaruhi kualitas penyalaan bahan bakar. Angka setana minyak yang

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

semakin tinggi maka suhu yang diperlukan untuk penyalaan bahan bakar akan semakin rendah. Angka setana juga mempengaruhi penyiapan penyalaan bahan bakar *(ignition delay)*, semakin besar angka setana penyiapan penyalaan semakin sedikit, demikian pula sebaliknya.Dengan semakin rendahnya temperatur/suhu dalam ruang bakar maka akan menurunkan tingkat emisi NOx yang terjadi (Pembakaran Sempurna).

IV.1.2. Partikel Smoke.

Dari tabel 4.1. dapat terlihat bahwa partikel smoke akan cenderung turun seiring dengan penambahan putaran motor. Kecuali pada beban 75% dan beban 100% pada putaran motor 1900 Rpm. Secara teoritis, methanol mampu mereduksi smoke dan pembentukan hydrokarbon. Dapat disimpulkan bahwa hasil maksimal reduksi smoke tercapai pada load 75% dan 100% pada kondisi rpm maksimum (2300).



Grafik 4.2. Smoke Vs Beban JME murni

Sedangkan pada grafik 4.2 tampak jelas bahwa penambahan beban akan sangat mempengaruhi besarnya nilai partikel smoke. Pada putaran torsi maksimum (1900 Rpm) dan putaran maksimum (2300 Rpm), dapat dilihat kecenderungan menurunnya partikel smoke terjadi seiring dengan penambahan beban. Nilai partikel smoke yang terendah terjadi pada 50% load dan putaran 1900 rpm. Akan tetapi pada putaran 1900 rpm,setelah kurva menunjukkan penurunan partikel smoke, kurva akan cenderung naik Hal ini menunjukkan bahwa produksi partikel tidak sebanding dengan daya yang dihasilkan pada kondisi pembebanan tersebut. Kenyataan ini terjadi karena adanya ketidak-benaran penyebaran bahan bakar di dalam ruang bakar sehingga daya yang dikeluarkan akibat pembakaran menjadi rendah dan produksi partikel smoke menjadi tinggi karena pembakaran yang tidak sempurna serta usaha dari governor untuk menambah tenaga dengan memberikan tambahan kuantitas bahan bakar. Meningkatnya kuantitas bahan bakar yang diinjeksikan akan mengakibatkan bertambahnya durasi penyebaran pembakaran sehingga akan terdapat bahan bakar yang tidak sempurna akibat kekurangan waktu pembakaran dan juga kekurangan oksigen.

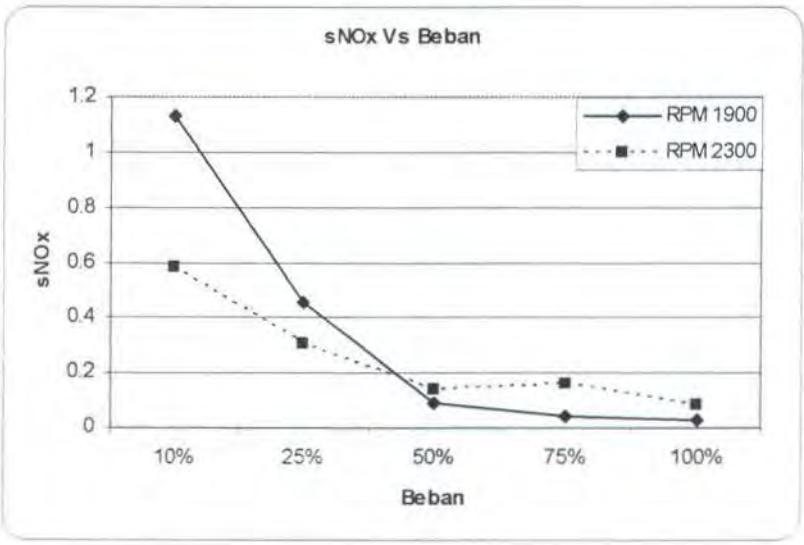
IV.2. Analisa Bahan Bakar Campuran 50:50 JME dan minyak solar.

Dari hasil pengujian komposisi bahan bakar 50% jelantah methyl esther (JME) dan 50% minyak solar didapatkan data yang telah ditabelkan sebagai berikut :

No	Rpm	Beban	Hasil Pengujian			
		(%)	NOx	sNOx	Smoke	Smoke
			(ppm)	(gr/kWh)	(mg/m3)	(gr/kWh)
1	idle	0	176.26	-	107	-
2	1900	10	204.17	1.13	83.6	0.40
3	1900	25	206.52	0.46	111.6	0.22
4	1900	50	83.23	0.09	125	0.12
5	1900	75	53.88	0.04	146.4	0.09
6	1900	100	49.51	0.03	101.2	0.05
7	idle	0	141.38	-	83	-
8	2300	10	104.16	0.59	75.6	0.36
9	2300	25	139.05	0.31	122	0.23
10	2300	50	127.42	0.14	117.36	0.11
11	2300	75	218.13	0.16	125	0.08
12	2300	100	150.68	0.08	111.6	0.05
13	idle	0	153	-	101	-

Tabel 4.2. Data Campuran JME dan minyak solar (50:50)

IV.2.1. Emisi Nox.

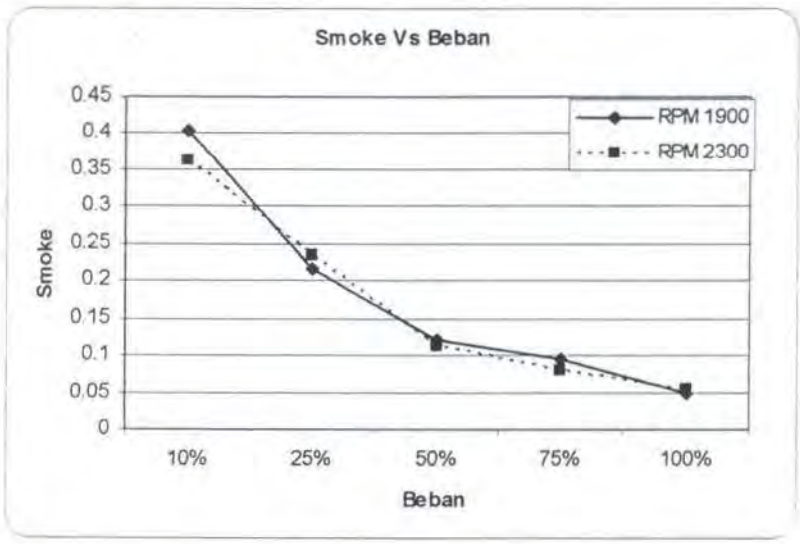


Grafik 4.3. sNOx Vs Beban Campuran JME dan minyak solar

Dari grafik 4.3. dapat terlihat bahwa emisi NOx spesifik terlihat paling rendah terjadi pada putaran motor 1900 rpm (torsi maksimum). Meskipun pada beban awal 10% dan 25%,putaran motor 2300 rpm menunjukkan penurunan emisi NOx, akan tetapi secara overall putaran motor 1900 rpm lebih signifikan dalam menunjukkan rendahnya emisi NOx spesifik. Dapat dijelaskan bahwa putaran motor pada kondisi maksimum load menyebabkan tingginya emisi NOx spesifik jika dibandingkan dengan putaran motor pada kondisi torsi maksimum.

Secara keseluruhan dapat ditarik kesimpulan bahwa pembebanan pada putaran motor konstan menyebabkan penurunan pada emisi NOx spesifik.

IV.2.2. Partikel Smoke.



Grafik 4.4. Partikel smoke Vs Beban campuran JME dan minyak solar

Dari Grafik 4.4. dapat terlihat jika partikel smoke spesifik pada putaran motor 2300 rpm (Load maksimum), kurvanya cenderung berada dibawah kurva putaran motor 1900 rpm (torsi maksimum). Kecuali pada kondisi pembebanan

25%. Meskipun tidak terlampau signifikan perbedaannya, tetapi hal ini dapat terjadi karena terjadinya pembakaran yang tidak sempurna di ruang bakar.

Dapat ditarik kesimpulan bahwa jika terjadi pembakaran yang sempurna, maka emisi partikel smoke pada putaran motor 2300 rpm (load maksimum), lebih kecil dibandingkan putaran motor pada kondisi 1900 rpm (torsi maksimum).

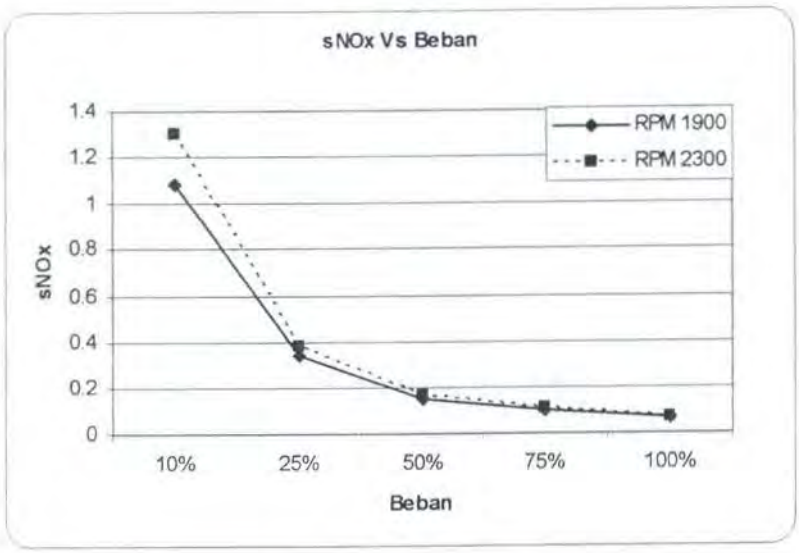
IV.3. Analisa minyak solar (bahan bakar pembanding).

Penulis juga melakukan pengujian untuk minyak solar sebagai bahan bakar pembanding. Dari hasil pengujian didapatkan data yang telah ditabelkan sebagai berikut :

No	Rpm	Beban	Hasil Pengujian			
		(%)	NOx	sNOx	Smoke	Smoke
			(ppm)	(gr/kWh)	(mg/m3)	(gr/kWh)
1	idle	0	173.21	-	136.7	-
2	1900	10	196.3	1.08	103.6	0.50
3	1900	25	155.03	0.34	161.6	0.31
4	1900	50	131.93	0.15	200	0.19
5	1900	75	127.52	0.10	196.4	0.13
6	1900	100	112.33	0.06	105.2	0.05
7	idle	0	154.32	-	99.3	-
8	2300	10	231	1.30	125.6	0.60
9	2300	25	171.42	0.38	209.4	0.40
10	2300	50	153.44	0.17	265.2	0.25
11	2300	75	149.75	0.11	200	0.13
12	2300	100	120.93	0.07	161.6	0.08
13	idle	0	118.4	-	142.8	-

Tabel 4.3. Data minyak solar murni

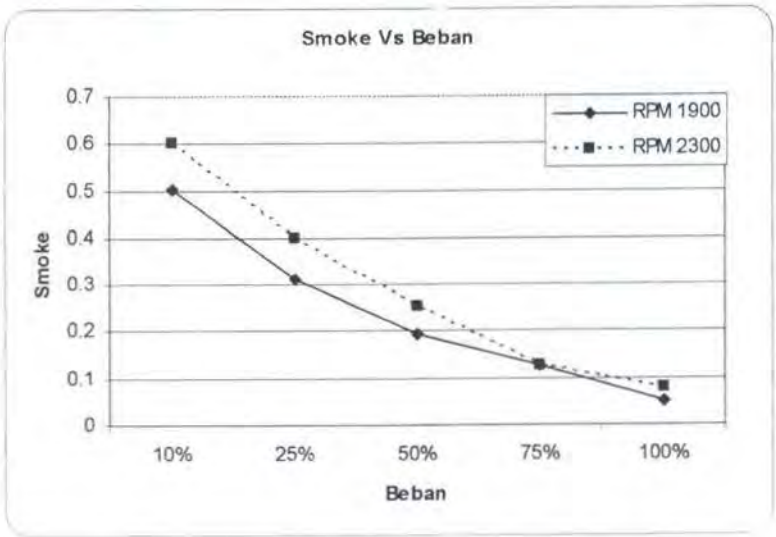
IV.3.1. Emisi NOx.



Grafik 4.5. sNOx Vs Beban minyak solar murni

Dari grafik 4.5. dapat dilihat bahwa emisi sNOx terendah terjadi pada titik beban 100% dan pada kondisi torsi maksimum (rpm 1900). Meskipun pada kondisi rpm 2300 dan beban maksimum 100% juga menunjukkan emisi terendah dari semua pembebanan, akan tetapi secara keseluruhan (average) emisi sNOx tereduksi pada kondisi torsi maksimum seperti ditunjukkan pada kurva rpm 1900.

IV.3.2. Partikel Smoke.

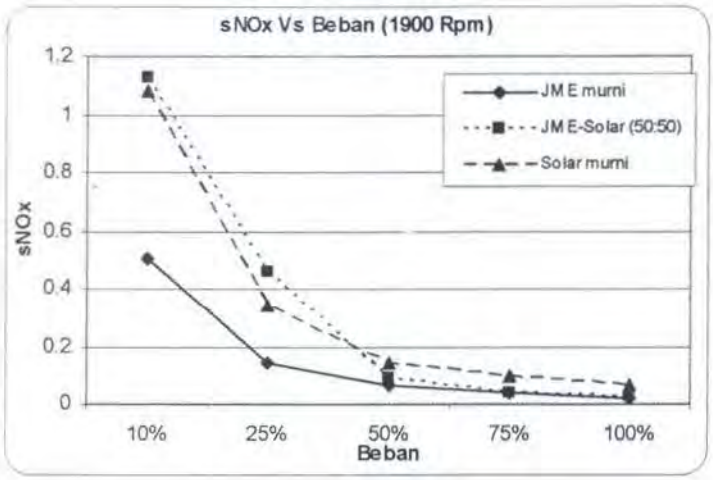


Grafik 4.6. Smoke Vs Beban minyak solar murni

Dari grafik 4.6. terlihat kurva putaran 1900 rpm dan putaran 2300 rpm sama-sama menunjukkan penurunan partikel smoke seiring dengan kenaikan beban. Kecuali pada beban 75%. Pada beban 75% tersebut, putaran 1900 rpm terlihat sedikit mengalami kenaikan smoke partikel dan hampir menyamai kadar smoke dari putaran 2300 rpm. Hal ini bisa terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari engine.

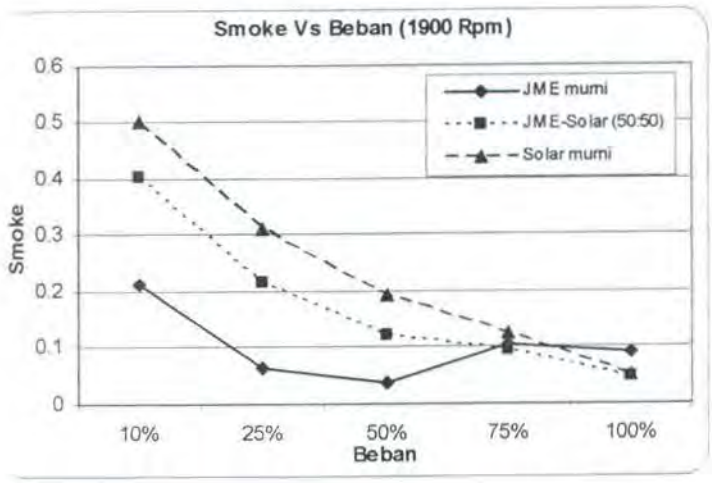
IV.4. Pengaruh JME terhadap terbentuknya NOx dan partikel smoke

IV.4.1. Putaran 1900 Rpm



Grafik 4.7. sNOx Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 1900)

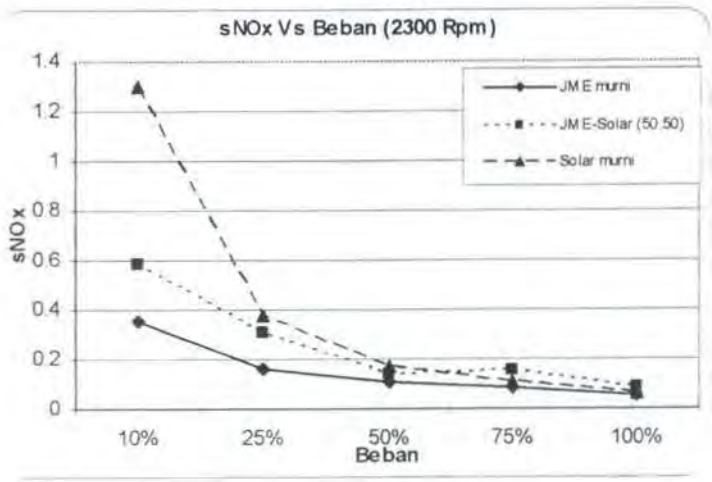
Dari grafik 4.7. dapat dianalisa bahwa bahan bakar JME murni menunjukkan penurunan emisi NOx yang signifikan pada beban rendah. Meskipun bahan bakar solar dan JME (50:50) sempat menunjukkan emisi NOx yang tinggi pada beban-beban awal, pada akhirnya menunjukkan penurunan pada beban-beban lebih berat. Secara keseluruhan, bahan bakar JME mampu mereduksi emisi NOx secara signifikan.



Grafik 4.8. Smoke Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 1900)

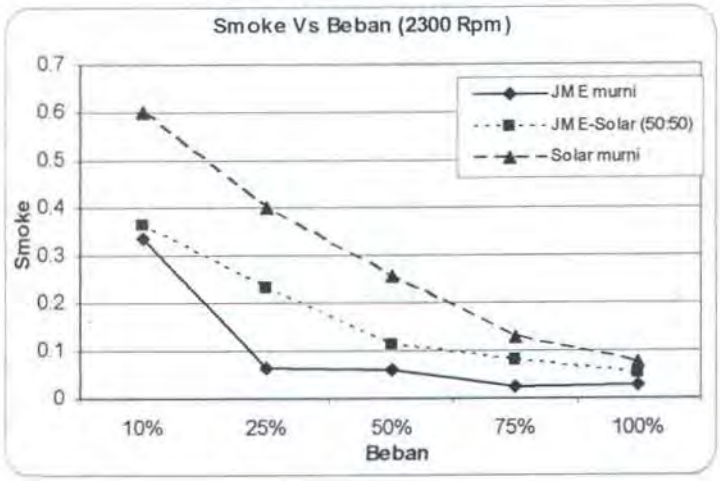
Dari grafik 4.8. terlihat kurva JME murni secara signifikan menunjukkan reduksi partikel smoke yang sangat besar dibandingkan bahan bakar lainnya. Akan tetapi pada beban 75% dan 100% menunjukkan peningkatan produksi partikel smoke. Hal ini dapat disebabkan tidak sempurnanya kinerja mesin diesel pada beban-beban lebih berat. Sedangkan untuk bahan bakar campuran solar dan JME (50:50), jika dibandingkan bahan bakar konvensional (minyak solar), juga menunjukkan reduksi partikel smoke meskipun tidak terlalu besar.

IV.4.2. Putaran 2300 Rpm



Grafik 4.9. sNOx Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 2300)

Untuk grafik 4.9. Kurva dari bahan bakar JME terlihat paling rendah jika dibandingkan dengan kurva dari bahan bakar bakar lainnya. Hal ini menunjukkan bahan bakar JME murni paling rendah produksi emisi NOx-nya jika dibandingkan dengan lainnya. Tetapi pada putaran motor ini (2300 rpm), reduksi emisi NOx tidak terlalu signifikan. Hal ini terlihat pada kurva ketika mesin dijalankan pada beban-beban lebih berat (50%,75% dan 100%). Kurva-kurva tersebut saling berhimpitan yang berarti produksi NOx hampir sebanding.

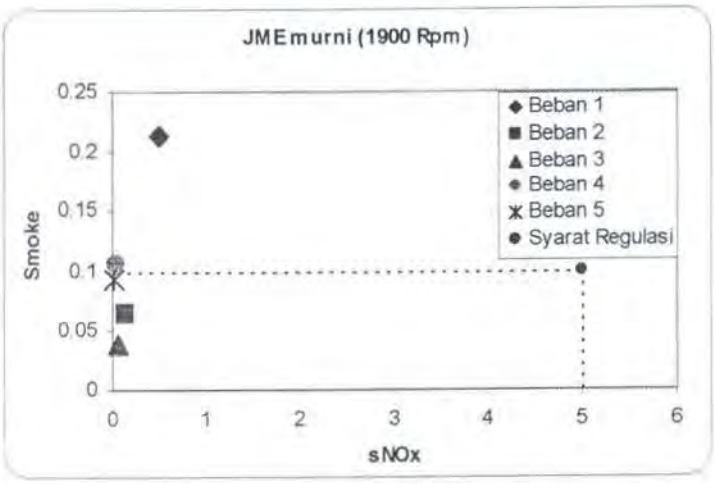


Grafik 4.10. Smoke Vs Beban dengan variasi bahan bakar (Rpm 2300)

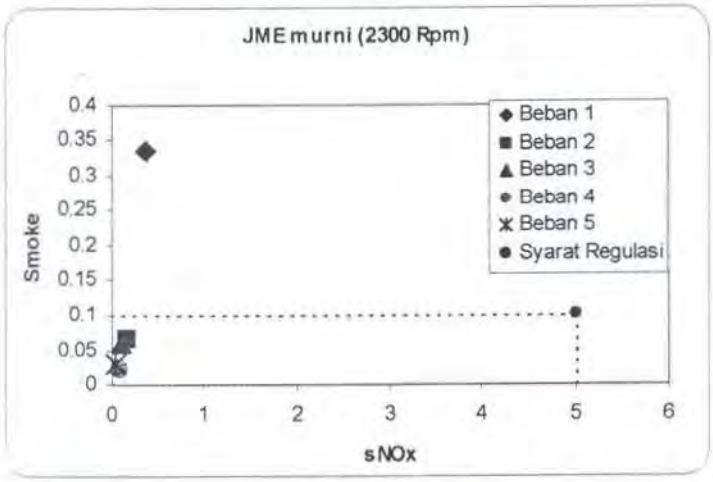
Dari Grafik 4.10. Dapat terlihat kurva dari JME murni paling rendah letaknya dibandingkan kurva yang lain. Akan tetapi pada beban 50% hingga 100%, kurva tersebut terlihat naik turun seakan tidak stabil pada produksi partikel smoke-nya. Hal ini berbeda dengan kurva campuran JME dan solar (50:50). Kurva tersebut terlihat stabil dengan menunjukkan penurunan produksi partikel smoke seiring dengan kenaikan beban.

IV.5. Batas Syarat Regulasi pada masing-masing bahan bakar

IV.5.1. Jelantah Methyl Esther Murni



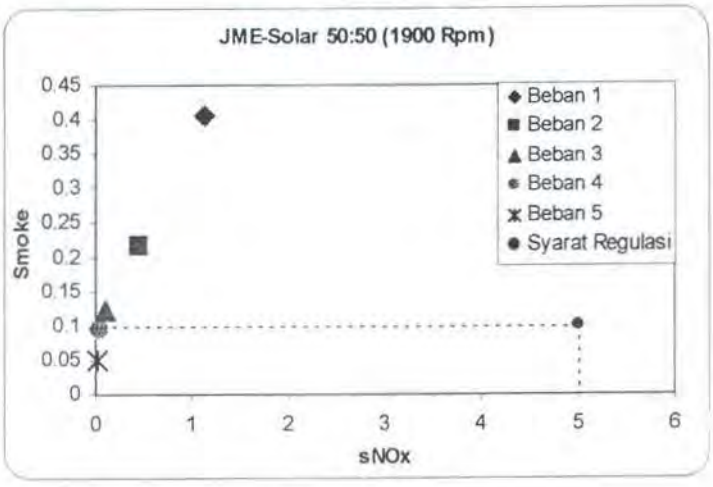
Grafik 4.11. Smoke Vs sNOx dengan JME murni pada 1900 Rpm



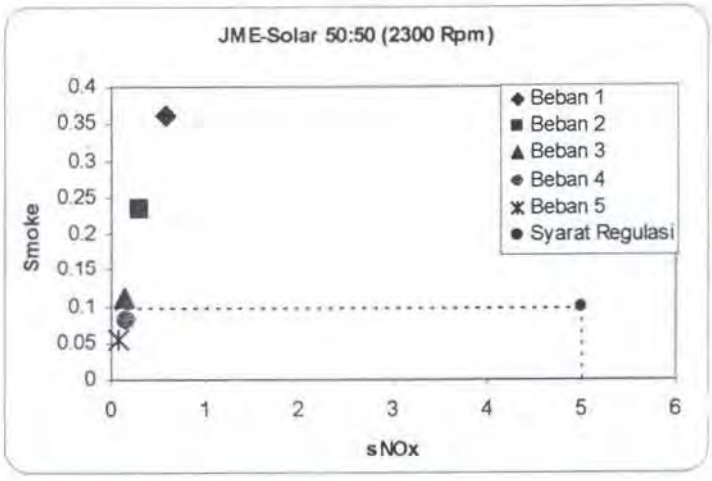
Grafik 4.12. Smoke Vs sNOx dengan JME murni pada 2300 Rpm

Untuk grafik 4.11. dan 4.12. dengan menggunakan bahan bakar JME murni, titik-titik sampel secara overall masih memenuhi regulasi yang diijinkan. Kecuali pada putaran 1900 rpm dengan beban 75% terlihat masih belum memenuhi regulasi. Untuk titik sampel beban 10% terlihat pada dua putaran yang berbeda masih belum memenuhi syarat. Hal ini karena belum sempurnanya pembakaran.

IV.5.2. Campuran JME dan minyak solar (50:50)



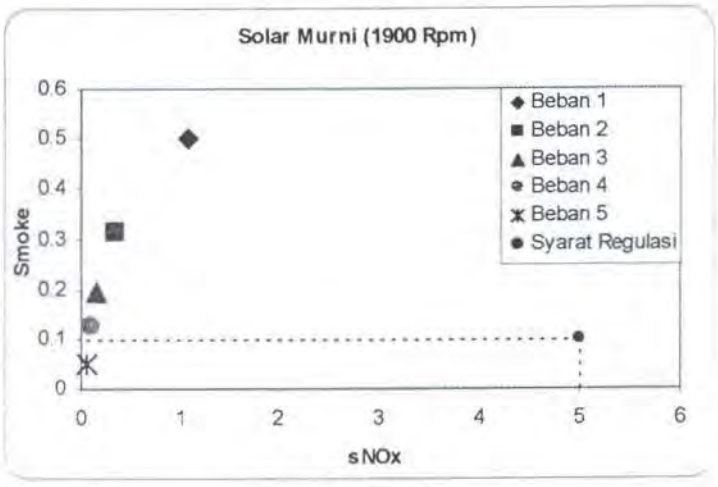
Grafik 4.13. Smoke Vs sNOx dengan JME-Solar (50:50) pada 1900 Rpm



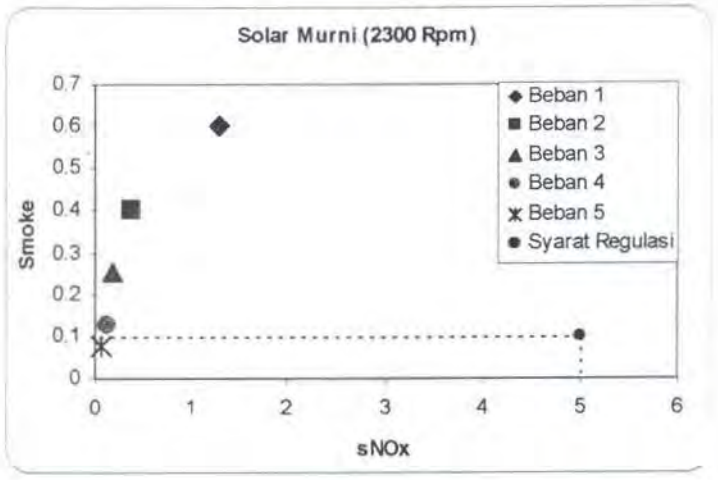
Grafik 4.14. Smoke Vs sNOx dengan JME-Solar (50:50) pada 2300 Rpm

Dari grafik 4.13. dan 4.14. terlihat bahwa untuk semua beban pada kondisi putaran 2300 rpm dan 1900 rpm, belum memenuhi syarat regulasi yang diijinkan. Kecuali untuk beban 100% dan 75%. Pada beban tersebut meskipun berada pada batas regulasi, tetapi masih memenuhi regulasi yang diijinkan. Dapat disimpulkan untuk kondisi beban full load 100%, bahan bakar campuran JME-solar (50:50) masih memenuhi regulasi yang diijinkan.

IV.5.3. Minyak Solar Murni



Grafik 4.15. Smoke Vs sNOx dengan minyak Solar pada 1900 Rpm



Grafik 4.16. Smoke Vs sNOx dengan minyak Solar pada 2300 Rpm

Sedangkan untuk grafik 4.15. dan 4.16. dengan menggunakan bahan bakar minyak solar murni, titik-titik sampel terlihat masih belum memenuhi regulasi yang ada. Kecuali untuk beban 100% pada dua putaran yang berbeda. Sebenarnya untuk regulasi NOx semua bahan bakar yang diujikan masih dalam batas yang diijinkan. Tetapi untuk regulasi partikel smoke, semua bahan bakar pengujian secara overall masih belum memenuhi batas yang diijinkan.

IV.6. Analisa Keseluruhan

- Untuk mencari Emisi NOx Spesifik (sNOx) secara overall dari variasi rpm dan pembebanan, data-data yang telah ditabelkan tersebut kemudian dicari rata-ratanya (average). Untuk sNOx dari JME murni, averagenya sekitar 0,15 gr/kWh. Sedangkan untuk komposisi campuran minyak solar dan JME (50:50), averagenya sekitar 0,3 gr/kWh. Dan average terbesar ada pada komposisi minyak solar murni,yaitu sekitar 0,37 gr/kWh. Dari beberapa average tersebut dapat disimpulkan bahwa emisi NOx spesifik paling rendah terjadi pada komposisi JME murni. Selain itu komposisi JME murni dan komposisi campuran solar dan JME, emisi NOx spesifiknya masih dibawah syarat batas yang dikeluarkan oleh IMO maupun Standar dari negara Eropa dan US yaitu 5 gr/kWh.

- Average untuk partikel smoke spesifik pada JME murni sekitar 0,1 gr/kWh. Sedangkan untuk campuran minyak solar dan JME (50:50), averagenya sekitar 0,17 gr/kWh. Terbesar averagenya ada pada minyak solar murni yaitu sekitar 0,26 gr/kWh. Sesuai dengan syarat batas regulasi yang berlaku untuk emisi partikel smoke yaitu sebesar 0,10 gr/kWh pada semua kondisi, bahan bakar JME murni meskipun masih diatas syarat batas tetapi masih bisa mendekati regulasi yang ditetapkan. Hal ini mungkin disebabkan pada pembuatan bahan bakar tersebut sendiri yang tidak sempurna. Terutama pada proses esterifikasi.

- Dari grafik 4.7; 4.8; 4.9; 4.10 dapat ditarik hasil kesimpulan sampai sejauh mana bahan bakar jelantah methyl esther (JME) mampu mereduksi kadar emisi NOx dan partikel smoke dengan memakai bahan bakar solar sebagai pembanding. Pada putaran engine 1900 rpm, kadar NOx tereduksi sebesar 57,2% dengan memakai bahan bakar jelantah methyl esther murni. Sedangkan untuk bahan bakar

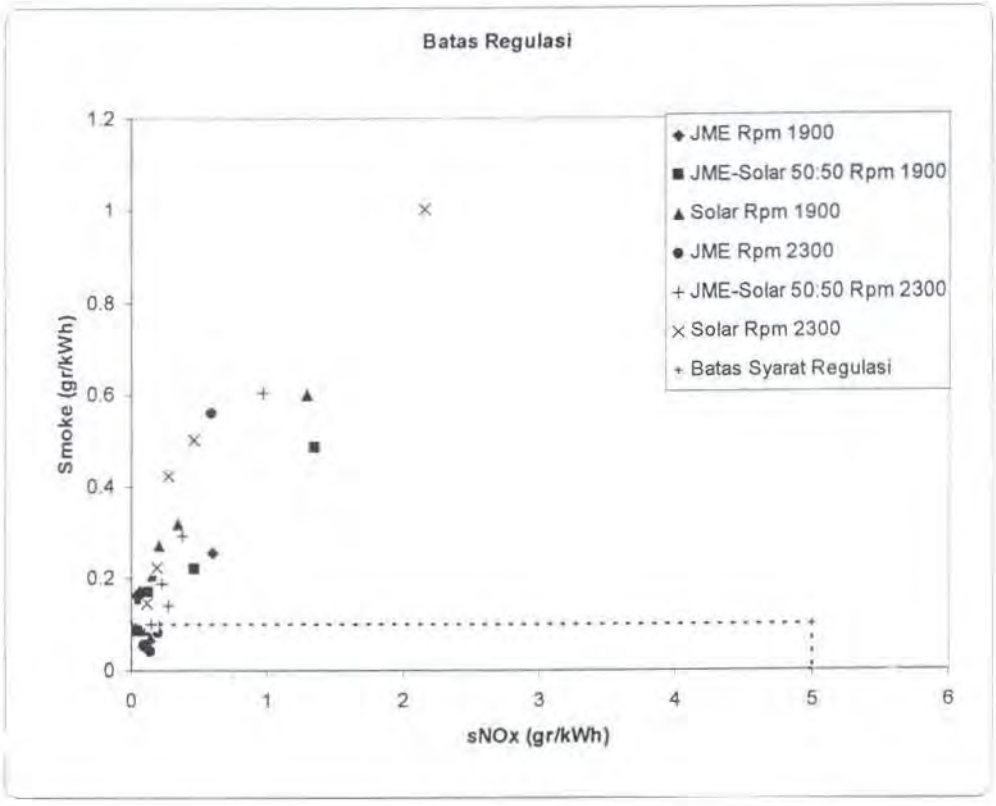
campuran solar dan jelantah methyl esther (50:50), kadar NOx berkurang 3,3%. Untuk partikel smoke, jelantah methyl esther murni mampu mereduksi smoke sebesar 58,4% dan sebesar 35% untuk bahan bakar campuran jelantah methyl esther dan solar (50:50).

Pada putaran engine 2300 rpm, kadar NOx berkurang sebesar 62,5% untuk bahan bakar jelantah methyl esther murni dan 37,5% untuk bahan bakar campuran. Sedangkan untuk partikel smoke, tereduksi sebesar 65,6% pada bahan bakar JME murni dan 41,4% pada bahan bakar campuran.

Secara average, JME murni mampu mengurangi kadar NOx sebesar 59,5% dan untuk bahan bakar campuran mampu mengurangi sebesar 19%. Sedangkan untuk kadar partikel smoke, JME murni mampu mengurangi sebesar 61,6% dan untuk bahan bakar campuran sebesar 34,7%.

- Terlihat pada grafik 4.17. Syarat batas regulasi emisi NOx dan partikel smoke menurut undang-undang di Eropa mulai 1 Oktober 1998 adalah sebesar 5,0 gr/kWh untuk NOx dan 0,10 gr/kWh untuk partikel smoke. Syarat batas menurut standar Amerika mulai tahun 1998 adalah sebesar 5,3 gr/kWh untuk NOx dan 0,10 gr/kWh untuk partikel smoke. Jika mengacu pada standar dari kedua kawasan tersebut maka titik-titik sampel bahan bakar JME murni yang digunakan, sebagian besar telah memenuhi syarat yang diijinkan oleh standar dari kedua kawasan tersebut. Sedangkan untuk titik-titik sampel dari bahan bakar campuran dan solar, sebagian besar masih belum sesuai dengan standar yang diijinkan. Akan tetapi secara keseluruhan, sampel-sampel tersebut telah sesuai dengan standar NOx yang diijinkan. Kecuali untuk sampel-sampel dari partikel smoke. Hal ini

mungkin disebabkan oleh kondisi engine yang kurang sempurna pada waktu pengambilan sampel.



Grafik 4.17. Batas syarat regulasi

IV.7. Pembahasan

Dari grafik 4.17. juga dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa produksi dari partikel smoke lebih tinggi jika dibandingkan dengan produksi NOx dari semua bahan bakar pengujian. Meskipun produksi NOx juga tinggi, tetapi masih dalam batas yang diijinkan. Tingginya produksi NOx dalam tiap daya yang dihasilkan terjadi karena sebagian besar bahan bakar dapat terbakar pada proses pembakaran sehingga tekanan dan temperatur yang dihasilkan pada pembakaran menjadi lebih tinggi. Keadaan semacam ini akan menyebabkan unsur pembentuk NOx yang

terdapat pada udara dan bahan bakar akan memiliki kondisi temperatur yang cukup untuk membentuk NOx. Sebaliknya, produksi partikel berkurang karena terjadinya penggumpalan dan hampir tidak ada bahan bakar yang hangus akibat atomisasi yang sempurna. Spesifik NOx yang rendah dapat terjadi karena kuantitas bahan bakar yang terbakar pada awal pembakaran (premixed combustion) cukup rendah sehingga terjadinya pembakaran lanjutan (controlled combustion) akan bergeser mundur kearah menjauhi titik mati atas. Pergeseran ini akan menyebabkan tekanan dan temperatur pembakaran yang tidak cukup untuk membakar bahan bakar dengan baik karena piston sudah terlalu jauh bergerak turun. Pada kasus seperti ini akan terjadi pembentukan partikel yang berjumlah besar *(Obert, 1973)*.

Selain itu dapat ditarik suatu pembahasan pula bahwa produksi partikel smoke ternyata lebih besar dari produksi NOx. Atau dengan kata lain tidak sebanding produksinya. Kenyataan ini terjadi karena adanya ketidak-benaran penyebaran bahan bakar di dalam ruang bakar sehingga daya yang dikeluarkan akibat pembakaran menjadi rendah dan produksi partikel smoke menjadi tinggi karena pembakaran yang tidak sempurna serta usaha dari governor untuk menambah tenaga dengan memberikan tambahan kuantitas bahan bakar. Meningkatnya kuantitas bahan bakar yang diinjeksikan akan mengakibatkan bertambahnya durasi penyebaran pembakaran sehingga akan terdapat bahan bakar yang tidak sempurna akibat kekurangan waktu pembakaran dan juga kekurangan oksigen. Bertambahnya smoke diakibatkan oleh keadaan campuran bahan bakar yang kaya pada temperatur yang tinggi selama proses penyebaran pembakaran dan pengurangan air/fuel ratio secara menyeluruh *(Stone, 1992)*.

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, dapat ditarik suatu kesimpulan bahwa kenaikan beban pada putaran konstan menyebabkan penurunan pada emisi NOx dan partikel smoke secara spesifik. Penambahan beban menyebabkan kenaikan pada suhu gas buang dan pada daya yang dihasilkan. Kenaikan pada suhu gas buang dapat dijadikan indikasi kenaikan pada suhu pembakaran yang menyebabkan peningkatan konsentrasi NOx dan partikel smoke yang dihasilkan. Delta kenaikan NOx lebih kecil bila dibandingkan delta kenaikan daya motor sehingga emisi NOx dan smoke partikel secara spesifik akan menurun seiring dengan bertambahnya pembebanan *(Brian, 1995)*.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1.Kesimpulan

Dari analisa yang telah diuraikan pada bab IV, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Kondisi pembebanan dan putaran sangat mempengaruhi produksi NOx dan partikel smoke pada ruang bakar motor. Seiring dengan bertambahnya beban pada putaran konstan, produksi NOx dan partikel smoke cenderung menunjukkan penurunan produksi. Komposisi bahan bakar yang dipakai sangat menentukan hasil produksi dari NOx dan partikel smoke. Perubahan yang terjadi sangat signifikan. Untuk pemakaian JME murni, Kadar NOx mampu turun sebesar 59,5%. Sedangkan untuk partikel smoke, mampu tereduksi sebesar 61,6%.

- Emisi NOx spesifik dari berbagai komposisi bahan bakar masih di bawah syarat batas yang dikeluarkan Standar dari negara Eropa dan US yaitu 5 gr/kWh. Emisi Partikel smoke spesifik dari berbagai komposisi bahan bakar berada diatas syarat batas tetapi masih mendekati regulasi yang ditetapkan oleh standar dari negara Eropa maupun US yaitu 0,1 gr/kWh.

MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

V.2. Saran

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari pengujian ini, penulis telah mengevaluasi kekurangan-kekurangan yang ada dan mencoba untuk memberikan saran-saran sebagai berikut :

- Komponen dari engine sebaiknya benar-benar bersih dan tidak terkontaminasi dengan bahan-bahan kimia lain.
- Untuk Menjamin hasil yang benar-benar akurat sebaiknya segel dari tes sampel benar-benar tertutup rapat
- Sebaiknya perlu dilakukan eksperimen dengan menggunakan lebih banyak komposisi bahan bakar.

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR PUSTAKA

Basuki,A [1998],"Analisis Emisi Nox Pada gas buang motor diesel dengan bahan bakar campuran Solar dan minyak kelapa", (Tugas Akhir-S1) JTSP-FTK,ITS.

Fara,T [2002],"Unjuk Kerja motor diesel menggunakan bahan bakar Jelantah Methyl Esther",(Tugas Akhir-S1) JTSP-FTK,ITS.

Heywood, John.B [1988],"Internal Combustion Engine Fundamental", Mc.Graw Hill, International Edition.

International Maritime Organization (IMO), Regulation 13, " ship engines should comply with NOx code from 1 January 2000", http://www.imo.org/Newsroom/mainframe.asp?topic_id=69&doc_id=560 , (4 Februari 2004).

Mathur M.L, Sharma R.P [1980],"Internal Combustion Engine",Dhanpat Ray and sons.

Milton, Brian.E [1995],"Thermodynamics,Combustion and Engine",Chapman & Hall, 2nd Edition, Society Automotive Engineers Inc.

Obert E.F [1973],"Internal Combustion Engine and Air Pollution",Harbert and Row.

Stone, Richard [1992],"Introduction to Internal combustion Engine",Mac Millan.

Setiono,L [2001],"Pengaruh Penggunaan Urea pada Catalytic Converter Sebagai Upaya Mereduksi Emisi pada gas Buang", (Tugas Akhir-S1),JTSP-FTK,ITS.

SAE Handbook J177 th 1982.

Zuhdi, A., Asianto, Tjoek, S., "Reduksi NOx dengan metode Perlambatan penginjeksian pada motor diesel putaran tinggi", Jurnal IPTEK-ITS Vol. 7 No.2 November 1996 Hal.164-173.

Zuhdi,A. ,Gerianto,I. ,Budiono,T.,"Produksi dan karakteristik biodiesel serta teknik pencampurannya dengan minyak solar (Gas Oil)" ,Seminar Nasional "Teori dan aplikasi teknologi kelautan 2002",FTK-ITS.

JELANTAH METHYL ESTHER 100%

Putaran	Load	Daya	t BB	Vol. BB	Massa jenis bahan bakar	Massa jenis Udara	Volume Displacement (Vd)	kecepatan massa bahan bakar (mf)	kecepatan udara hisap (ma)	kecepatan massa gas buang (me)	me	Konstanta	NOx	S Nox
rpm	%	kW	menit	m3	kg/m3	kg/m3	m3	kg/menit	kg/menit	kg/menit	gr/hour		ppm	g/kWh
700	0	0	1.9167	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.009462096	0.15568455	0.165146646	9908.798779	0.095	78.8803	0
1900	10	0.45	1.233	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.01470884	0.42257235	0.43728119	26236.87141	0.095	90.9747	0.503899318
1900	25	1.125	1.167	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.015540703	0.42257235	0.438113053	26286.78316	0.095	84.9252	0.144119193
1900	50	2.25	0.9	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.020151111	0.42257235	0.442723461	26563.40767	0.095	58.5523	0.063427143
1900	75	3.375	0.833	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.021771909	0.42257235	0.444344259	26660.65553	0.095	51.9006	0.038948706
1900	100	4.5	0.667	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.027190405	0.42257235	0.449762755	26985.76529	0.095	38.9338	0.022180566
700	0	0	1.9167	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.009462096	0.15568455	0.165146646	9908.798779	0.095	55.6219	0
2300	100	5.5	1.83	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.009910383	0.51153495	0.521445333	31286.71995	0.095	92.8354	0.050168898
2300	75	4.125	1.483	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.012229265	0.51153495	0.523764215	31425.8529	0.095	116.0937	0.084022457
2300	50	2.75	1.3	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.013950769	0.51153495	0.525485719	31529.14315	0.095	100.278	0.109221653
2300	25	1.375	0.85	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.021336471	0.51153495	0.532871421	31972.28524	0.095	72.368	0.159860496
2300	10	0.55	0.55	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.032974545	0.51153495	0.544509495	32670.56973	0.095	63.0646	0.355879744
700	0	0	1.9167	0.00002	906.8	1.1065	0.000402	0.009462096	0.15568455	0.165146646	9908.798779	0.095	60.7281	0

Rpm/2	Debit	Partikel Smoke	S Partikel
	m3/hour	mg/m3	g/kWh
350	8.442	23	0
950	22.914	44	0.2128456
950	22.914	33	0.06385368
950	22.914	39	0.03773172
950	22.914	163	0.105132827
950	22.914	191	0.09239434
350	8.442	33	0
1150	27.738	60	0.028746655
1150	27.738	36	0.022997324
1150	27.738	62	0.059409753
1150	27.738	34	0.065159084
1150	27.738	70	0.335377636
350	8.442	41	0

JELANTAH METHYL ESTHER 50%

Putaran	Load	Daya	t BB	Vol. BB	Massa jenis bahan bakar	Massa jenis Udara	Volume Displacement (Vd)	Aliran massa bahan bakar (mf)	Aliran udara hisap (ma)	Aliran massa gas buang (me)	me	Konstanta	NOx	S NOx
rpm	%	kW	menit	m3	kg/m3	kg/m3	m3	kg/menit	kg/menit	kg/menit	gr/hour		ppm	g/kWh
700	0	0	1.9167	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.008804716	0.15568455	0.164489266	9869.355986	0.095	176.2682	0
1900	10	0.45	1.233	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.013686942	0.42257235	0.436259292	26175.55755	0.095	204.1783	1.126279289
1900	25	1.125	1.167	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.014461011	0.42257235	0.437033361	26222.00167	0.095	206.521	0.457299938
1900	50	2.25	0.9	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.016751111	0.42257235	0.441323461	26479.40767	0.095	83.2347	0.093058012
1900	75	3.375	0.633	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.020259304	0.42257235	0.442831654	26569.89922	0.095	53.8879	0.040302408
1900	100	4.5	0.667	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.025301349	0.42257235	0.447873699	26872.42196	0.095	49.5153	0.028090361
700	0	0	1.9167	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.008804716	0.15568455	0.164489266	9869.355986	0.095	141.3807	0
2300	100	5.5	1.83	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.009221858	0.51153495	0.520756808	31245.40848	0.095	150.684	0.081323183
2300	75	4.125	1.483	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.011379636	0.51153495	0.522914586	31374.87515	0.095	218.133	0.157618991
2300	50	2.75	1.3	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.012981538	0.51153495	0.524516488	31470.98931	0.095	127.4256	0.138534517
2300	25	1.375	0.85	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.019854119	0.51153495	0.531389068	31883.34409	0.095	139.0546	0.306319759
2300	10	0.55	0.55	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.030683636	0.51153495	0.542218586	32533.11518	0.095	104.1673	0.585353169
700	0	0	1.9167	0.00002	843.8	1.1065	0.000402	0.008804716	0.15568455	0.164489266	9869.355986	0.095	153.0099	0

Rpm/2	Debit	Partikel Smoke	S Partikel
	m3/hour	mg/m3	g/kWh
350	8.442	107	0
950	22.914	83.6	0.40440664
950	22.914	111.6	0.215941536
950	22.914	125	0.120935
950	22.914	146.4	0.094426048
950	22.914	101.2	0.048954488
350	8.442	83.6	0
1150	27.738	111.6	0.053468777
1150	27.738	125	0.079851818
1150	27.738	117.36	0.112456913
1150	27.738	122	0.233806124
1150	27.738	75.6	0.392207847
350	8.442	101	0

MINYAK SOLAR 100 %

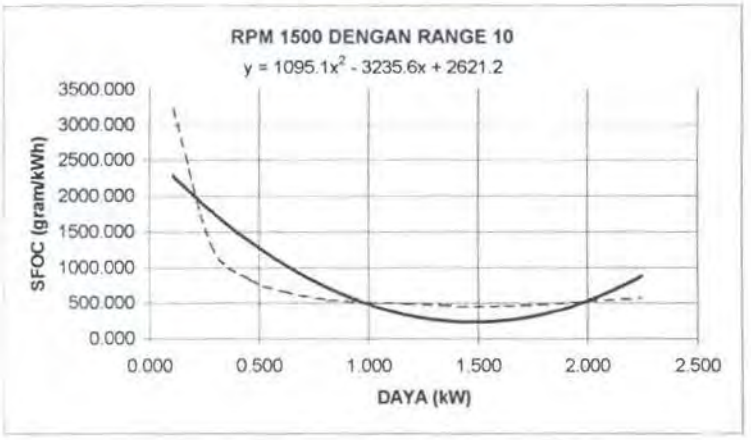
Putaran	Load	Daya	t BB	Vol BB	Massa jenis bahan bakar	Massa jenis Udara	Volume Displacement (Vd)	Aliran massa bahan bakar (mf)	Aliran udara hisap (ma)	Aliran massa gas buang (me)	me	Konstanta	NOx	S NOx
rpm	%	kW	menit	m3	kg/m3	kg/m3	m3	kg/menit	kg/menit	kg/menit	gr/hour		ppm	g/kWh
700	0	0	1.9167	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.008660719	0.15568455	0.164345269	9860.716137	0.095	119	0
1900	10	0.45	1.233	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.013463098	0.42257235	0.436035446	26162.12689	0.095	196.3	1.084187607
1900	25	1.125	1.167	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.014224507	0.42257235	0.436796857	26207.81144	0.095	155.03	0.343097525
1900	50	2.25	0.9	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.018444444	0.42257235	0.441016794	26461.00767	0.095	131.93	0.147387809
1900	75	3.375	0.833	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.019927971	0.42257235	0.442500321	26550.01927	0.095	127.52	0.095300018
1900	100	4.5	0.667	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.024887556	0.42257235	0.447459906	26847.59437	0.095	112.33	0.063666684
700	0	0	1.9167	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.008660719	0.15568455	0.164345269	9860.716137	0.095	99.63	0
2300	100	5.5	1.83	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.009071038	0.51153495	0.520605988	31236.3593	0.095	120.93	0.065246223
2300	75	4.125	1.483	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.011193527	0.51153495	0.522728477	31363.7088	0.095	149.75	0.108166778
2300	50	2.75	1.3	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.012769231	0.51153495	0.524304181	31458.25085	0.095	153.44	0.16674932
2300	25	1.375	0.85	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.019529412	0.51153495	0.531064362	31863.86171	0.095	171.42	0.377381674
2300	10	0.55	0.55	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.030181818	0.51153495	0.541716788	32503.00609	0.095	231	1.296869943
700	0	0	1.9167	0.00002	830	1.1065	0.000402	0.008660719	0.15568455	0.164345269	9860.716137	0.095	101.27	0

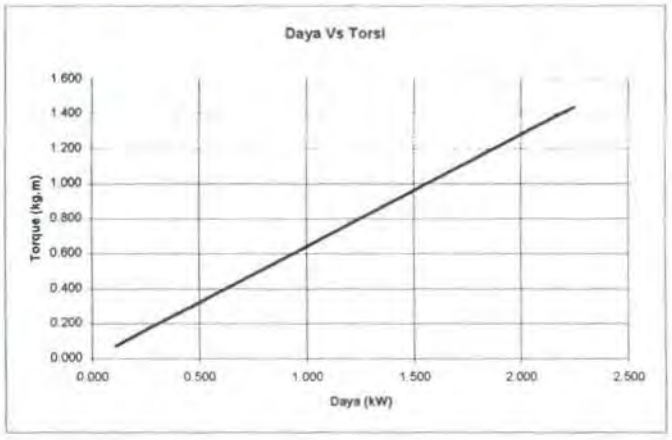
Rpm/2	Debit	Partikel Smoke	S Partikel
	m3/hour	mg/m3	g/kWh
350	8.442	154	0
950	22.914	103.6	0.50115484
950	22.914	161.6	0.312689536
950	22.914	200	0.193496
950	22.914	196.4	0.126675381
950	22.914	105.2	0.050889448
350	8.442	133.6	0
1150	27.738	161.6	0.077424323
1150	27.738	200	0.127762909
1150	27.738	265.2	0.254120426
1150	27.738	209.4	0.401303297
1150	27.738	125.6	0.601763302
350	8.442	154	0

RPM 1500 DENGAN RANGE 10

Diameter Polley Diesel (cm) 10
Diameter Polley Generator (cm) 10

BEBAN	RPM		RPM Genset	Slip	Tegangan	ARUS	t B.B	Vol B.B	pBB	mBB	FCR	Daya	SFOC	Torsi
(Watt)	Mesin	Genset	Perhitungan		(Volt)	(Ampere)	(sec)	(m3)	(Kg/m3)	Kg	(Kg/s)	(kW)	(gram/kWh)	Kg.m
0	1500	1500	1500	0	220	0	176	0.00002	830	0.0166	9.43E-05	0	0	0
250	1500	1500	1500	0	217	0.5	171	0.00002	830	0.0166	9.71E-05	0.109	3220.956	0.069
500	1500	1500	1500	0	218	1.3	162	0.00002	830	0.0166	1.02E-04	0.283	1301.655	0.181
750	1500	1500	1500	0	220	2.1	155	0.00002	830	0.0166	1.07E-04	0.462	834.520	0.296
1000	1500	1500	1500	0	219	2.8	146	0.00002	830	0.0166	1.14E-04	0.613	667.507	0.392
1250	1500	1500	1500	0	220	3.7	134	0.00002	830	0.0166	1.24E-04	0.814	547.875	0.521
1500	1500	1500	1500	0	220	4.5	119	0.00002	830	0.0166	1.39E-04	0.990	507.257	0.633
1750	1500	1500	1500	0	220	5.3	104	0.00002	830	0.0166	1.60E-04	1.166	492.809	0.746
2000	1500	1500	1500	0	218	6.1	95	0.00002	830	0.0166	1.75E-04	1.330	473.043	0.851
2500	1500	1500	1500	0	215	6.9	90	0.00002	830	0.0166	1.84E-04	1.484	447.590	0.949
2750	1500	1500	1500	0	213	7.6	81	0.00002	830	0.0166	2.05E-04	1.619	455.756	1.036
3000	1500	1500	1500	0	211	8.4	70	0.00002	830	0.0166	2.37E-04	1.772	481.671	1.134
3250	1500	1500	1500	0	210	9.2	61	0.00002	830	0.0166	2.72E-04	1.932	507.077	1.236
3500	1500	1500	1500	0	208	10	53	0.00002	830	0.0166	3.13E-04	2.080	542.090	1.331
3750	1500	1500	1500	0	210	10.7	46	0.00002	830	0.0166	3.61E-04	2.247	578.162	1.438

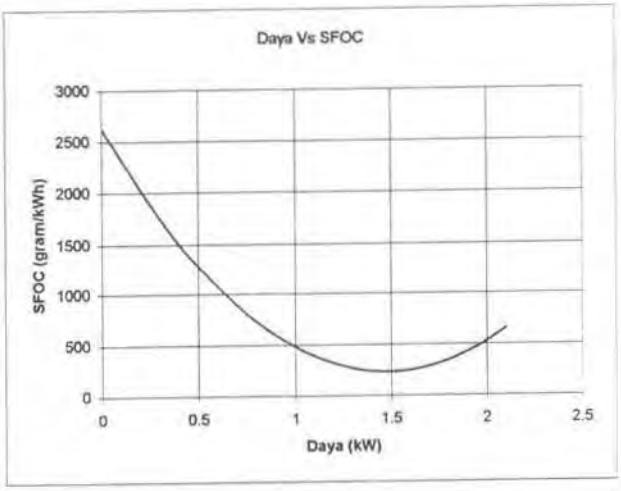




RPM 1500

y= 1095.1x2 - 3235.6x + 2621.2

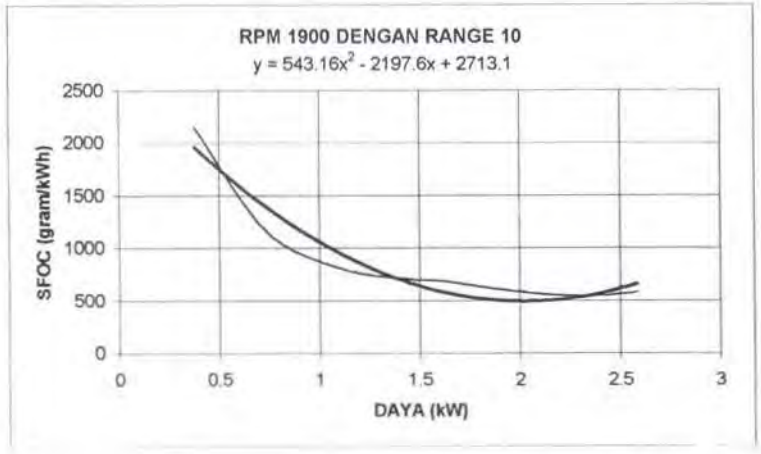
Daya (kW)	SFOC (gram/kWh)	Torsi Kg.m
0	2621.2	0
0.2	2017.8840	0.127961067
0.3	1749.0790	0.1919416
0.4	1502.1760	0.255922133
0.5	1277.1750	0.319902667
0.6	1074.0760	0.3838832
0.7	892.8790	0.447863733
0.8	733.5840	0.511844267
0.9	596.1910	0.5758248
1	480.7000	0.639805333
1.1	387.1110	0.703785867
1.2	315.4240	0.7677664
1.3	265.6390	0.831746933
1.4	237.7560	0.895727467
1.5	231.7750	0.959708
1.6	247.6960	1.023688533
1.7	285.5190	1.087669067
1.8	345.2440	1.1516496
1.9	426.8710	1.215630133
2	530.4000	1.279610667
2.1	655.8310	1.3435912
2.2	803.1640	1.407571733
2.3	972.3990	1.471552267
2.4	1163.5360	1.5355328
2.5	1376.5750	1.599513333
2.6	1611.5160	1.663493867
2.7	1868.3590	1.7274744
2.8	2147.1040	1.791454933
2.9	2447.7510	1.855435467
3	2770.3000	1.919416
3.1	3114.7510	1.983396533
3.2	3481.1040	2.047377067
3.3	3869.3590	2.1113576
3.4	4279.5160	2.175338133
3.5	4711.5750	2.239318667
3.6	5165.5360	2.3032992
3.7	5641.3990	2.367279733
3.8	6139.1640	2.431260267
3.9	6658.8310	2.4952408
4	7200.4000	2.559221333

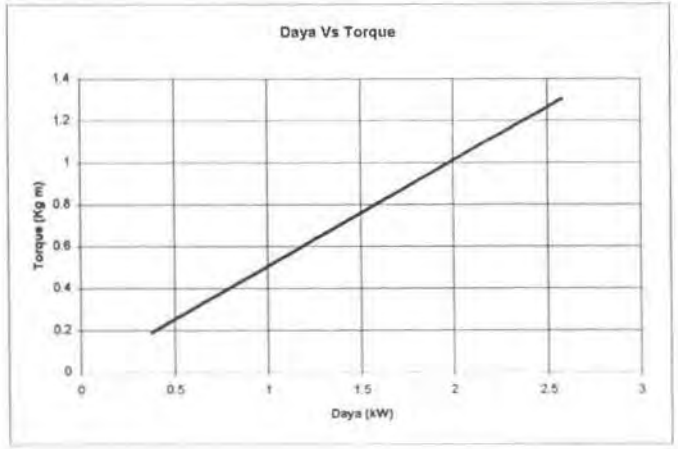


RPM 1900 DENGAN RANGE 10

Diameter Polley Motor Diesel (cm) 11.5
Diameter Polley Generator (cm) 14.5

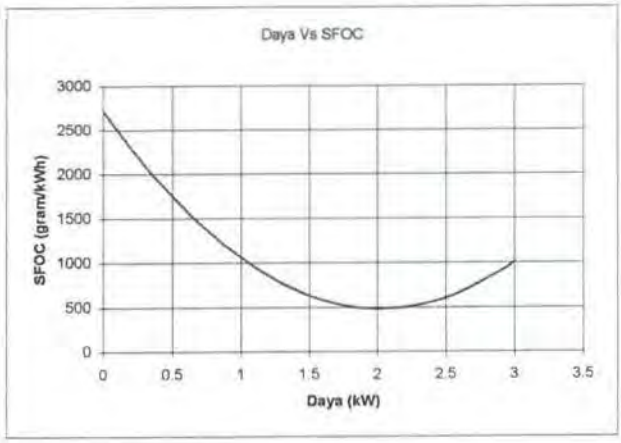
BEBAN	RPM		Rpm Genset	Slip	Tegangan	ARUS	t B.B	Vol B.B	pBB	mBB	FCR	Daya	SFOC	Torsi
(Watt)	Mesin	Genset	Perhitungan		(Volt)	(Ampere)	(sec)	(m3)	(Kg/m3)	Kg	(Kg/s)	(kW)	(gram/kWh)	Kg.m
0	1900	1501	1507	6	225	0	80	0.00002	830	0.0166	0.0002075	0	0	0
500	1900	1501	1507	6	235	1.6	74	0.00002	830	0.0166	0.000224324	0.376	2147.786084	0.1899212
1000	1900	1501	1507	6	230	3.2	70	0.00002	830	0.0166	0.000237143	0.736	1159.937888	0.3717606
1500	1900	1501	1507	6	225	4.9	67	0.00002	830	0.0166	0.000247761	1.1025	809.0161438	0.5568832
2000	1900	1501	1507	6	220	6.5	59	0.00002	830	0.0166	0.000281356	1.43	708.3086405	0.7223065
2500	1900	1501	1507	6	215	7.5	54	0.00002	830	0.0166	0.000307407	1.6125	686.3049096	0.814489
3000	1900	1501	1507	6	215	8.75	52	0.00002	830	0.0166	0.000319231	1.88125	610.8867876	0.9502372
3500	1900	1501	1507	6	210	10.3	50	0.00002	830	0.0166	0.000332	2.163	552.5658807	1.0925518
4000	1900	1501	1507	6	210	11.5	45	0.00002	830	0.0166	0.000368889	2.415	549.8964803	1.2196394
4500	1900	1501	1507	6	205	12.6	40	0.00002	830	0.0166	0.000415	2.583	578.3972125	1.3046978





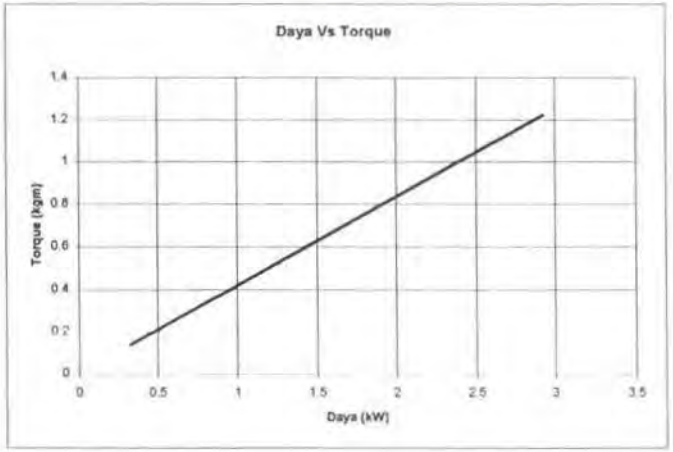
RPM 1900
y = 543.16x2 - 2197.6x + 2713.1

Daya (kW)	SFOC (gram/kWh)	Torsi Kg.m
0	2713.1	0
0.1	2498.7716	0.050510947
0.2	2295.3064	0.101021895
0.3	2102.7044	0.151532842
0.4	1920.9656	0.202043789
0.5	1750.09	0.252554737
0.6	1590.0776	0.303065684
0.7	1440.9284	0.353576632
0.8	1302.6424	0.404087579
0.9	1175.2196	0.454598526
1	1058.66	0.505109474
1.1	952.9636	0.555620421
1.2	858.1304	0.606131368
1.3	774.1604	0.656642316
1.4	701.0536	0.707153263
1.5	638.81	0.757664211
1.6	587.4296	0.808175158
1.7	546.9124	0.858686105
1.8	517.2584	0.909197053
1.9	498.4676	0.959708
2	490.54	1.010218947
2.1	493.4756	1.060729895
2.2	507.2744	1.111240842
2.3	531.9364	1.161751789
2.4	567.4616	1.212262737
2.5	613.85	1.262773684
2.6	671.1016	1.313284632
2.7	739.2164	1.363795579
2.8	818.1944	1.414306526
2.9	908.0356	1.464817474
3	1008.74	1.515328421
3.1	1120.3076	1.565839368
3.2	1242.7384	1.616350316
3.3	1376.0324	1.666861263
3.4	1520.1896	1.717372211
3.5	1675.21	1.767883158
3.6	1841.0936	1.818394105
3.7	2017.8404	1.868905053
3.8	2205.4504	1.919416
3.9	2403.9236	1.969926947
4	2613.26	2.020437895
4.1	2833.4596	2.070948842
4.2	3064.5224	2.121459789
4.3	3306.4484	2.171970737
4.4	3559.2376	2.222481684
4.5	3822.89	2.272992632

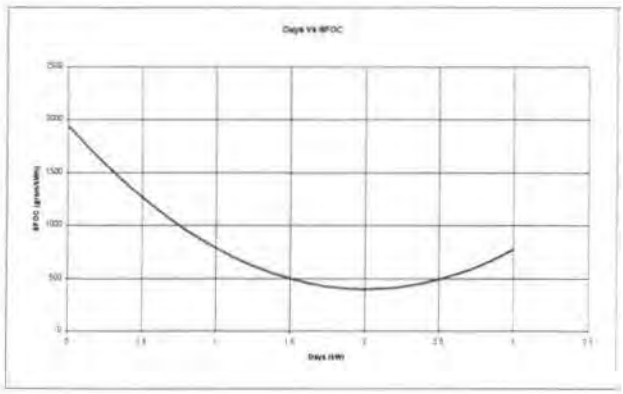


RPM 2300 DENGAN RANGE 10
Diameter Polley Mtr Diesel (cm) 10
Diameter Polley Generator (cm) 14.5

BEBAN	RPM		Rpm Genset	Slip	Tegangan	ARUS	t B.B	Vol B.B	pBB	mBB	FCR	Daya	SFOC	Torsi
(Watt)	Mesin	Genset	Perhitungan		(Volt)	(Ampere)	(sec)	(m3)	(Kg/m3)	Kg	(Kg/s)	(kW)	(gram/kWh)	Kg.m
0	2300	1501	1586	85	219	0	115	0.00002	830	0.0166	0.000144348	0	0	0
500	2300	1501	1586	85	220	1.5	110	0.00002	830	0.0166	0.000150909	0.33	1646.280992	0.1376972
1000	2300	1501	1586	85	220	3.2	99	0.00002	830	0.0166	0.000167677	0.704	857.4380165	0.2937541
1500	2300	1501	1586	85	220	5	89	0.00002	830	0.0166	0.000186517	1.1	610.4187947	0.4589908
2000	2300	1501	1586	85	218	6.4	82	0.00002	830	0.0166	0.000202439	1.3952	522.3484001	0.5821672
2500	2300	1501	1586	85	216	7	78	0.00002	830	0.0166	0.000212821	1.512	506.7155067	0.6309037
3000	2300	1501	1586	85	214	8.5	68	0.00002	830	0.0166	0.000244118	1.819	483.1355302	0.7590038
3500	2300	1501	1586	85	210	10.2	59	0.00002	830	0.0166	0.000281356	2.142	472.8671129	0.8937802
4000	2300	1501	1586	85	205	11.5	51	0.00002	830	0.0166	0.00032549	2.3575	497.0369908	0.9837007
4500	2300	1501	1586	85	200	12.8	42	0.00002	830	0.0166	0.000395238	2.56	555.8035714	1.0681967
5000	2300	1501	1586	85	198	14	35	0.00002	830	0.0166	0.000474286	2.772	615.9554731	1.1566568
5500	2300	1501	1586	85	195	15	33	0.00002	830	0.0166	0.00050303	2.925	619.1142191	1.2204982



RPM 2300

y = 383.56x2 - 1539.7x + 1942.5

Daya (kW)	SFOC (gram/kWh)	Torsi Kg.m
0	1942.5	0
0.1	1792.3656	0.041726435
0.2	1649.9024	0.08345287
0.3	1515.1104	0.125179304
0.4	1387.9896	0.166905739
0.5	1268.54	0.208632174
0.6	1156.7616	0.250358609
0.7	1052.6544	0.292085043
0.8	956.2184	0.333811478
0.9	867.4536	0.375537913
1	786.36	0.417264348
1.1	712.9376	0.458990783
1.2	647.1864	0.500717217
1.3	589.1064	0.542443652
1.4	538.6976	0.584170087
1.5	495.96	0.625896522
1.6	460.8936	0.667622957
1.7	433.4984	0.709349391
1.8	413.7744	0.751075826
1.9	401.7216	0.792802261
2	397.34	0.834528696
2.1	400.6296	0.87625513
2.2	411.5904	0.917981565
2.3	430.2224	0.959708
2.4	456.5256	1.001434435
2.5	490.5	1.04316087
2.6	532.1456	1.084887304
2.7	581.4624	1.126613739
2.8	638.4504	1.168340174
2.9	703.1096	1.210066609
3	775.44	1.251793043
3.1	855.4416	1.293519478
3.2	943.1144	1.335245913
3.3	1038.4584	1.376972348
3.4	1141.4736	1.418698783
3.5	1252.16	1.460425217
3.6	1370.5176	1.502151652
3.7	1496.5464	1.543878087
3.8	1630.2464	1.585604522
3.9	1771.6176	1.627330957
4	1920.66	1.669057391
4.1	2077.3736	1.710783826
4.2	2241.7584	1.752510261
4.3	2413.8144	1.794236696
4.4	2593.5416	1.83596313
4.5	2780.94	1.877689565
4.6	2976.0096	1.919416
4.7	3178.7504	1.961142435
4.8	3389.1624	2.00286887
4.9	3607.2456	2.044595304
5	3833	2.086321739
5.1	4066.4256	2.128048174
5.2	4307.5224	2.169774609
5.3	4556.2904	2.211501043
5.4	4812.7296	2.253227478
5.5	5076.84	2.294953913