

BAB I

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Engine, *biomass energy* (energi biomassa), *gas and fuel* (bahan bakar minyak dan gas), *renewable energy* (energi guna ulang), dan *air pollution* (pencemaran udara) merupakan topik-topik yang diprioritaskan sesuai dengan PUNAS RISTEK 1994. Penelitian ini mengedepankan permasalahan-permasalahan diatas yang dirangkum menjadi satu judul penelitian sehingga yang dapat memberikan rekomendasi kepada pemerintah tentang penggunaan bahan bakar biodiesel pada motor diesel.

Motor diesel banyak diaplikasikan pada berbagai area karena efisiensinya yang tinggi serta memiliki ketahanan (*durability*), kepercayaan (*reliability*) yang lebih baik bila dibandingkan dengan beberapa penggerak mula yang lain (Zuhdi dkk, 1996). Namun disisi lain, dengan berbagai keunggulannya, diesel engine yang memakai bahan bakar konvensional, juga dikenal sebagai penghasil polusi udara yang tinggi pula. Persediaan bahan bakar fosil sangat terbatas, dan lambat laun akan habis; Indonesia misalnya, cadangan minyak buminya akan diperkirakan habis hanya dalam beberapa dekade kedepan. Untuk itulah, mulai sekarang sudah seharusnya dimulai pemikiran untuk mencari bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar minyak bumi.

Masalah utama yang dihadapi dalam pengoperasian diesel engine adalah tingginya emisi NO_x, dan partikel asap (*smoke particle*). Untuk itu, maka bahan bakar yang baru harus dapat memenuhi persyaratan operasional diesel engine sebagaimana bahan bakar konvensional, sekaligus dapat 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 bahan bakar ini boleh dikatakan tak pernah habis. Istilah biodiesel ditujukan kepada jenis bahan bakar renewable yang dihasilkan melalui proses esterifikasi, (Gabroski dan McCormick, 1998; Culshaw, 1993); misalnya proses esterifikasi dari minyak nabati dengan metanol akan menghasilkan metil ester. 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 pada masa mendatang.

Pilihan motor diesel sebagai objek penelitian didasarkan pada keyakinan bahwa jenis motor ini masih memiliki daya saing yang baik dengan jenis penggerak mula lainnya secara komersial. Bahkan pada masa mendatang, motor diesel merupakan jenis penggerak yang perlu diperhitungkan. Dengan makin langkanya bahan bakar konvensional, maka perlu dipikirkan bahan bakar pengganti yang tepat sasaran.

Negara-negara dunia ketiga (terutama negara-negara yang tidak mempunyai sumber minyak bumi sendiri) mempunyai ketergantungan import bahan bakar yang sangat tinggi, akibatnya, harga pasarpun sangat tergantung pada negara-negara pengexport. Malaysia (*Masjuki dkk, 1996; Sapuan dkk, 1996*), dan India (*Nag dkk, 1995*), misalnya, sudah mulai merintis usaha pencarian bahan bakar alternatif untuk mengurangi ketergantungan ini. Di Eropa (Austria, Jerman, Perancis, Italy), bahkan telah menggunakan biodiesel sebagai penggerak motor diesel. Di Austria misalnya, 5% bahan bakar motor diesel telah menggunakan biodiesel secara komersial (*Culshaw, 1993*). Walaupun sekarang Indonesia masih dapat memenuhi kebutuhan bahan bakarnya sendiri, namun pada beberapa dekade mendatang sangatlah mungkin akan mengalami nasib serupa sebagai negara pengimport bahan bakar apabila sejak sekarang tidak dilakukan usaha mencari solusi bahan bakar alternatif.

Ada tiga hal yang harus diperhatikan dalam pengoperasian motor diesel, yaitu pencegahan akan munculnya *hard combustion*, *low specific fuel consumption*, dan regulasi tentang *air pollution* (*Kowalewich, 1984*). *Hard combustion* pada motor diesel yang menggunakan minyak nabati dapat dieliminir dengan mengubahnya menjadi ester (*biodiesel*). Dalam bentuk ester, karakteristik fisik dan kimia ester (*nilai kalor, density, cetane number, dll*) lebih mirip dengan bahan bakar fosil dari pada masih dalam bentuk minyak nabati mentah. Secara umum, dilihat dari emisi gas buang yang dihasilkan diesel engine yang memakai biodiesel, lebih ramah lingkungan (*Culshaw, 1993*). Walaupun secara umum lebih baik, tetapi emisi NO_x yang dihasilkan masih sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan diesel engine yang memakai bahan bakar fosil (*Gabroski dan McCormick, 1998*).

Untuk itu, pada penelitian ini akan diupayakan suatu solusi bagaimana emisi NOx ini dapat diturunkan sehingga memenuhi regulasi yang ada.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mempelajari unjuk kerja motor diesel yang menggunakan biodiesel. Target penelitian adalah terpenuhinya peraturan tentang polusi udara dengan memodifikasi sistem pembakaran pada motor diesel. Uji ketahanan (*durability*) juga dilakukan untuk mengetahui ketahanan dan dampak pemodifikasian motor. Uji ketahanan ini sangat penting karena tidak ada engine manufacture yang telah melakukannya dengan memakai bahan bakar biodiesel. Selain dari itu Engine manufacture association juga mensyaratkan uji ketahanan untuk jenis bahan bakar alternatif.

2. Perumusan Masalah.

Dengan dasar pemikiran semakin menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil di Indonesia dalam beberapa waktu mendatang, maka dipandang sangat urgen untuk mencari bahan bakar alternatif sebagai penggerak motor diesel. Secara teknik bahan bakar pengganti ini harus mempunyai kemampuan seperti halnya bahan bakar konvensional selama ini, namun di lain pihak juga diinginkan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Biodiesel akan dipromosikan sebagai pengganti bahan bakar fosil. Meskipun secara umum bahan bakar ini menghasilkan tingkat pencemaran udara yang lebih baik, tetapi tingkat produksi NOx-nya masih sedikit di atas bahan bakar fosil. Untuk itulah perlu dilakukan upaya penurunan tingkat emisi NOx pada penggunaan biodiesel.

Ada beberapa alasan mengapa perlu dilakukan pengurangan produksi NOx, yaitu karena motor diesel adalah penyumbang terbesar dimana NOx adalah produk beracun yang dicurigai dapat menyebabkan kanker, dan kelainan genetik pada makhluk hidup. Reaksi NOx dengan ozon di lapisan stratosfer akan menyebabkan penguraian O₃ (ozon) menjadi O₂ sehingga dapat mengurangi ketebalan lapisan ozon sebagai filter sinar ultraviolet dan radiasi matahari yang berlebih.

3. Pendekatan Masalah

Untuk menyelesaikan masalah tersebut, diperlukan tiga fase penelitian. Fase pertama adalah mempelajari produksi dan properties biodiesel. Selain mempelajari produksi dan properties biodiesel juga dipelajari properties dari campuran-

campuran yang dibentuk oleh bahan bakar yang digunakan (Castor methyl ester, palm methyl ester dan minyak solar). Disamping itu dalam pencampuran juga telah dipelajari teknik pencampuran agar castor methyl ester dapat larut sempurna kedalam minyak solar. Fase kedua mempelajari unjuk kerja dan karakteristik motor diesel dengan bahan bakar biodiesel, baik tanpa pemodifikasian mesin maupun dengan pemodifikasiannya. Kemudian membandingkan hasilnya dengan bahan bakar fosil. Upaya modifikasi motor diesel dengan harapan dapat menurunkan NO_x sehingga dapat memenuhi peraturan yang berkaitan dengan pencemaran udara. Fase ketiga digunakan untuk pengujian durability motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel lalu membandingkan hasilnya dengan bahan bakar konvensional. Dengan tiga fase pengujian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi tentang penggunaan biodiesel kepada pemerintah.

4. Hipotesa.

Bahan bakar fosil kurang bersahabat dengan lingkungan, minyak nabati memberikan harapan baru sebagai bahan bakar yang lebih baik ditinjau dari emisi gas buangnya selain bahan ini adalah renewable. Meskipun bahan bakar ini disinyalir memproduksi sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar fosil namun dapat diatasi hingga memenuhi persyaratan. Selain itu NO_x yang terbentuk dari bahan bakar biodiesel mudah didaur ulang (recycle) kekeadaan semula karena bahan bakar ini terbuat dari hasil bumi. Bahan baku biodiesel cukup banyak tersedia di Indonesia, bahkan apabila dibuka lahan baru maka harga dasar bahan baku dapat ditekan seminimal mungkin.

Apabila produksi NO_x masih terlalu tinggi maka kita bisa memodifikasi motor diesel. NO_x yang terlalu tinggi pada engine yang menggunakan biodiesel adalah akibat dari tingginya temperatur pembakaran dan overheating. Kedua hal tersebut disebabkan karena hard combustion. Hard combustion terjadi karena peningkatan delay atomisasi (*increase in delay in atomization*) serta panjangnya periode pembakaran (*long burning period*). Kedua hal ini berakibat akan meningkatkan *ignition delay*, sehingga proses pembakaran cepat (*rapid combustion*) yang diproduksi sangat besar dan akibatnya temperatur ruang bakar tinggi. Naiknya temperatur serta besarnya kuantitas *rapid combustion* akan

meningkatkan produksi NO_x dimana pada periode ini temperatur pembakaran sangat tinggi.

Peningkatan tekanan penginjeksian (injection pressure) dapat mengatasi proses atomisasi, dimana naiknya tekanan ini mengakibatkan atomisasi yang lebih halus (Stone, 1987). Diameter droplet yang lebih kecil akan mempercepat waktu evporasi sehingga *physical delay* dapat dipercepat. *Ignition delay* juga dapat dipersingkat dengan metode perlambatan waktu penginjeksian (*retarding injection timing*). Zuhdi dkk (1996) berhasil menurunkan NOX dengan metode perlambatan waktu penginjeksian. Oleh karena dilihat dari hasil penelitian menunjukkan hasil NOX yang relatif bagus maka modifikasi hanya dilihat pada perlambatan waktu penginjeksian bahan bakar.

5. Metode Riset

Karena besarnya permasalahan yang dihadapi maka penelitian ini dilakukan dengan secara long term dan dilakukan dengan 3 pase secara berturut-turut adalah mempelajari produksi dan karakteristik biodiesel, meneliti unjuk kerja motor diesel yang menggunakan biodiesel sebagai bahan bakar termasuk dengan kemungkinan modifikasinya. Pase terakhir adalah pengujian durability. Engine manufacture association mensyaratkan untuk uji durability apabila menggunakan bahan bakar alternetif. Ada dua cara untuk menguji ketahanan (*durability*), yaitu dengan metode EMA test cycle dan uji durability secara real di onroad. Oleh karena keterbatasan anggaran dan waktu (terutama waktu) maka pada penelitian ini dipilih uji durability onroad karena ingin mengetahui unjuk kerja secara real dalam aplikasi dijalan raya.

6. Arti Penting Riset

Persediaan bahan bakar fosil sudah menipis (terutama Indonesia), biodiesel merupakan alternatif yang paling menguntungkan pada masa yang akan datang. Sekalipun minyak bumi masih cukup tersedia dalam dekade ini, namun kalau tidak mulai sekarang dilakukan penelitian ada kemungkinan kalau minyak bumi di Indonesia benar-benar habis maka Indonesia menjadi mengimport bahan bakar. Ada dua hal penting yang dapat dicapai pada penelitian ini yaitu secara kusus dan umum. Secara kusus perlu mempelajari produksi dan karakteristik dari biodiesel

baik dari palm maupun dari castor, mempelajari teknik pencampuran serta memberikan rekomendasi tentang perlu tidaknya memodifikasi engine. Arti penting secara umum adalah hasil penelitian ini dapat memberi informasi kepada engine bulider dalam memproduksi engine baru, mencari alternatif pengganti minyak bumi, mengurangi polusi udara dan penyediaan bahan baku yang cukup besar akan menciptakan lapangan kerja baru.

BAB II

PAPER REVIEW

Untuk mempermudah penelusuran kepustakaan pada bab ini akan dibagi dalam sub bab dan dalam sub bab masih dibagi dalam sub-sub bab. Sub bab terdiri dari penelusuran paper yang berkaitan dengan *biodiesel*. Berkaitan dengan bahan baku yang ingin dipakai sebagai objek penelitian maka penelusuran minyak jarak juga direview pada sub bab tersendiri yaitu *Castor Oil*. Dua sub bab lainnya berkaitan dengan *Engine performance* dan *estriifikasi* yang masing-masing secara berturut-turut menelusuri paper-paper yang berkaitan dengan unjuk kerja engine serta cara membuat dan alat yang digunakan untuk membuat biodiesel. Pada penelitian ini diakhiri dengan uji ketahanan motor diesel (diesel engine durability test), oleh karena itu dalam akhir bab ini juga telah ditelusuri paper-paper yang berkaitan dengan uji ketahanan motor diesel.

2.1. Biodiesel Overview

Biodiesel merupakan nama yang diberikan untuk bahan bakar yang terdiri dari *mono-alkyl ester* yang dapat terbakar dengan bersih. Nama biodiesel juga telah disetujui oleh the Department of Energy (DOE), the Environmental Protection Agency (EPA) dan American Society of testing Materials (ASTM) sebagai industri energi alternative, berasal dari asam lemak yang sumbernya renewable lipid (Howell dkk, 1996). Biodiesel juga dapat ditulis sebagai **B100**. **B100** menunjukkan bahwa biodiesel tersebut murni 100 % terdiri atas mono-alkyl ester.

Campuran biodiesel (*biodiesel blend*) merupakan campuran biodiesel dengan bahan bakar fosil lainnya. Campuran ini ditulis sebagai **Bxx**, dimana **xx** menyatakan persen komposisi biodiesel dalam total campuran tersebut. Ada berbagai alasan mengapa orang mencampurkan biodiesel dengan bahan bakar fosil. Alasan ini akan dibicarakan dibelakang karena menyangkut sifat biodiesel dan pertimbangan lainnya.

Biodiesel sebagai bahan bakar alternatif, mulai diteliti sebagai akibat makin sadarnya manusia akan pencemaran yang ditimbulkan bahan bakar konvensional serta persediaan minyak bumi yang terus menipis. Sebagai bahan bakar yang dapat diperbaharui, biodiesel mempunyai keuntungan antara lain karena mudah digunakan (memerlukan hanya sedikit atau bahkan tidak memerlukan sama sekali modifikasi dari

diesel engine yang telah ada (*National Biodiesel Board*), dapat diurai oleh alam secara alamiah, dan dapat diproduksi secara domestik hasil agricultur.

Dibandingkan dengan diesel oil, biodiesel dapat menghasilkan jumlah power, dan torsi yang sama dengan diesel oil dalam jumlah yang sama. Hal ini dikarenakan umumnya biodiesel mempunyai nilai cetane yang lebih tinggi dari diesel oil. Selain itu bio diesel juga mempunyai efek pelumasan yang lebih baik dari pada diesel oil. Biodiesel juga sesuai dengan komponen dalam diesel engine yang menggunakan diesel oil.

Dalam penggunaannya pada diesel engine, emisi gas buang yang dihasilkan ternyata juga lebih baik dalam beberapa hal dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar konvensional. Hasil penelitian melaporkan tingkat emisi carbon monoksida, emisi partikel, smoke berkurang secara *significant*. Penurunan masing masing unsur bisa dilihat pada *National Biodiesel Board*. Namun diantara berbagai jenis emisi, hanya emisi NO_x lah yang meningkat. Dilaporkan bahwa penggunaan biodiesel murni dapat meningkatkan emisi NO_x sebesar 13 persen. (*National Biodiesel Board*)

Sebagai produk alam biodiesel diolah dengan bahan baku minyak atau lemak yang diperoleh dari berbagai hasil *agricultural*, dan peternakan. Pengolahan bahan baku menjadi factor penting untuk menghasilkan biodiesel yang berkualitas yang memenuhi standart. Untuk menghasilkan *methyl ester* dari minyak dan lemak ada tiga tahap yang dilakukan yaitu:

1. Katalisasi minyak dengan methanol dalam rangka transesterisasi.
2. Katalisasi asam minyak dengan methanol dalam rangka esterifikasi.
3. Mengubah minyak dari asam lemak menjadi *metil ester*.

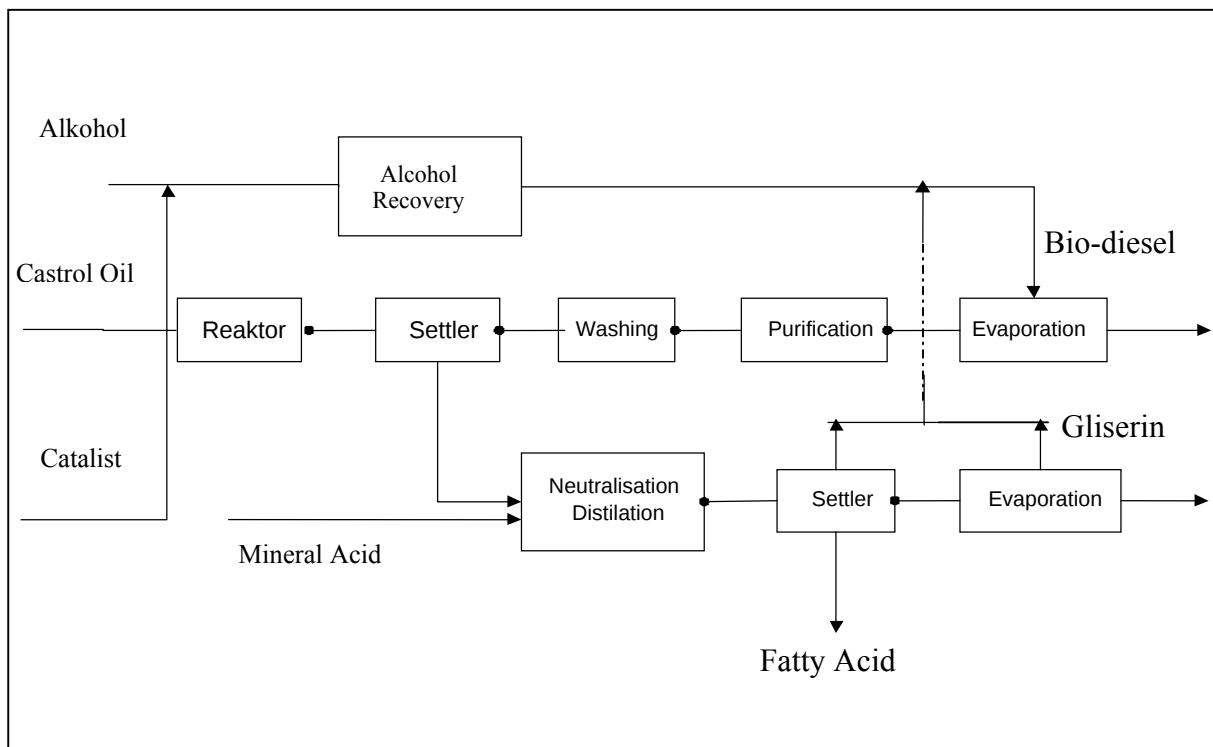
Pemrosesan ini secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut:

Pencampuran *methanol* dengan katalis. Katalis yang digunakan adalah *sodium hidroksid*. Campuran ini lalu ditambahkan pada minyak dan dimasukkan kedalam reactor untuk dipanaskan sampai suhu 150 derajat Fahrenheit selama 1 sampai 8 jam . Disini kelebihan methanol dikeluarkan.

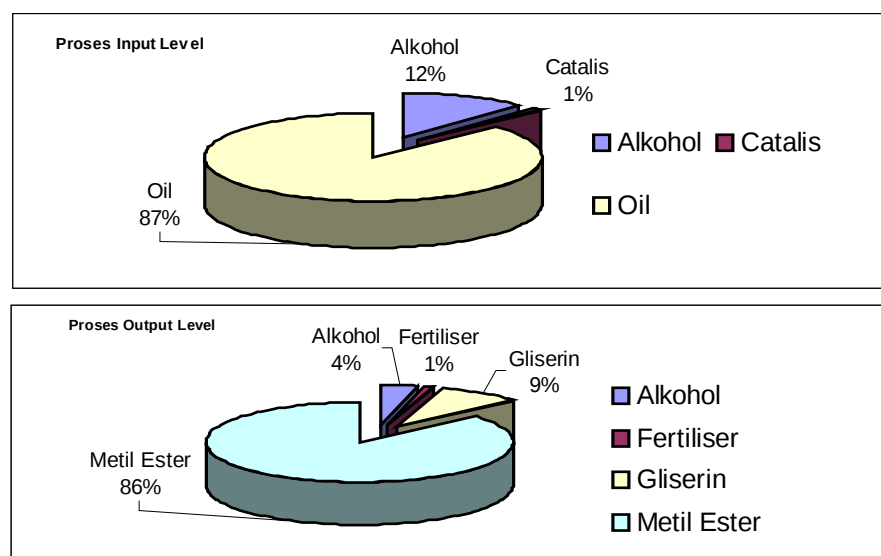
Dari campuran ini kita akan mendapatkan dua zat dengan berat jenis yang tidak sama, masing-masing *gliserin* dan *metil ester* sehingga dapat dipisahkan dengan proses pengendapan atau memakai sentrifugal. Beberapa system memisahkan methanol setelah campuran tadi terpisah.

Gliserin yang dihasilkan biasanya sudah berupa gliserin dengan tingkat kemurnian 80 – 88 %. Namun ada kalanya masih mengandung sisa katalis dan sabun. Untuk itu perlu dipisahkan dengan asam (misalnya *hidroklorik*).

Metil ester lalu dicuci dengan air hangat untuk membersihkannya dari sisa katalis atau sabun. Dari sini dapat dilihat bahwa tidak ada bahan yang terbuang dari pengolahan biodiesel (*National Biodiesel Board*)



Gambar 2.1 . Skema pemrosesan bio diesel dari minyak atau lemak



Gambar 2.2. Tidak ada bahan yang tersisa dari proses tersebut.
(*National Biodiesel Board*)

2.1.1. Properties Biodiesel.

Sebagai bahan bakar biodiesel harus memenuhi persyaratan yang ditetapkan ASTM. Ada beberapa literature yang mencantumkan properties biodiesel ini. Antara lain dalam laporan *Connemann & Fischer 1998*, dan *Steven A Howel, B.S.* Salah satu parameter yang penting dalam penentuan kualitas bahan bakar adalah cetane number. Cetane number merupakan ukuran yang dipakai untuk menyatakan kualitas pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar engine. Cetane number adalah fungsi dari banyaknya CH_3 dan CH_2 dalam komposisi bahan bakar.

Kisaran cetane number adalah 1 sampai 100. Bahan bakar dengan nilai 100 adalah cetane (*hexadeca*) sendiri. Bahan bakar dengan nilai Cetane number terendah adalah 2,2,4,4,6,8,8 heptametilnonane, dengan nilai cetane number 15 (*O'Conner, Forrester & Scurel, 1992*))

Penentuan cetane number didasarkan pada beberapa hal, dan terus menerus dikembangkan. Pertama kali cetane number dihubungkan dengan komposisi kimia bahan bakar oleh *Ricardo, 1930* Kemudian cetane number juga dirupakan sebagai fungsi aniline point, dan nilai API gravity. Aniline point bergantung pada jumlah komposisi hidrokarbon aromatik dan hidrokarbon tak jenuh, sedangkan API gravity ditentukan proporsional terhadap densitas bahan bakar. Cetane number juga dapat dihubungkan sebagai fungsi viskositas kinematik seperti yang dilaporkan *Henein, Fragoulis, 85*

Namun karena kualitas ignisasi bahan bakar sangat tergantung pada komposisi bahan yang terbakar, maka penentuan cetane number berdasarkan komposisi kimia bahan bakar dianggap lebih baik dari pada melalui sifat fisik bahan bakar tersebut. Untuk itu telah dirumuskan beberapa formula yang digeneralisasikan dari berbagai hasil percobaan, antara lain oleh *Gautier, 1998*. Ia mengajukan formulanya sebagai berikut:

$$\text{Cetane number} = -0.057 H_3 + 0.935 H_2 - 0.454 H_1 - 9.718 H_A + 0.102 H_D \dots\dots\dots(1)$$

Dimana H_3 adalah semua metil hydrogen kecuali yang terikat langsung pada gugus aromatik, H_2 adalah semua metilen dan hydrogen metilen kecuali yang terikat langsung pada gugus aromatik, H_1 adalah semua hydrocarbon atau gugus karbon yang terikat pada gugus aromatik, H_A adalah semua hydrogen mono aromatik, dan H_D adalah semua hydrogen poli aromatik. Hasil lain yang lebih mendekati adalah

seperti yang diajukan oleh *Conner, Forrester, Sculler, 1992* yang merupakan hasil regresi dari percobaan yang dilakukan pada berbagai bahan bakar. Ia menunjukkan bahwa ada hubungan yang erat antara ratio $\text{CH}_2 / \text{CH}_3$ yang dikandung bahan bakar dengan cetane number-nya. Formulanya dituliskan sebagai berikut:

$$\text{CN} = 2.34 + 35.4 (\text{CH}_2 / \text{CH}_3) \text{ ---regresi linier}$$

$$\text{CN} = 1.8 + 43.8 (\text{CH}_2 / \text{CH}_3) - 8.1 (\text{CH}_2 / \text{CH}_3)^2 + 0.69 (\text{CH}_2 / \text{CH}_3)^3 \text{ ---}$$

yang merupakan hasil regresi non linier. Dari perbandingannya dengan hasil percobaan didapat formula terakhir paling mendekati hasil percobaan.

2.1.2. Blending Rules For Formulating Biodiesel Fuel

Dewasa ini, sedang diusahakan untuk mengembangkan suatu spesifikasi biodiesel yang akan menjamin performance nya tanpa melihat dari mana sumber trigliserolnya. Selama ini properties dari suatu biodiesel selalu ditentukan berdasarkan percobaan kimiawi. Namun demikian dimungkinkan mendapatkan properties dari campuran biodiesel secara aljabar.

Clement (1996) berusaha menggunakan data properties dari berbagai biodiesel murni untuk mendapatkan formula optimasi dari campuran biodiesel-biodiesel tersebut. Hal ini sangat menguntungkan karena tidak perlu lagi harus mengadakan experiment kimiawi dengan prosedur yang rumit.

Estimasi ini dimungkinkan oleh sifat biodiesel dimana komposisi kimianya telah didefinisikan dengan pasti, yaitu asam lemak yang diturunkan dari sumber nabati atau hewani. (*Clement, 1996*)

Disini dikemukakan berbagai teknik estimasi sifat sifat biodiesel.

1. Densitas

Densitas hidrokarbon sebagai fungsi temperatur paling baik diestimasi dengan persamaan empiris yang didasari pada teori keadaan yang bersangkutan. Metode ini disebut dengan modifikasi *Rackett*. Persamaan ini dapat ditulis sebagai:

$$\rho_i = a_i t + b_i \text{ ,}$$

t adalah temperatur dalam Celcius, sedangkan a , dan b adalah konstanta yang tergantung pada jenis biodiesel. Sedangkan i mengacu pada masing masing bahan campuran. Perbedaannya dengan hasil percobaan adalah sekitar 0.15%

2. Viskositas

Persamaan untuk memperoleh viskositas dari campuran berbagai biodiesel adalah

$$\ln \eta_{\text{mix}} = \sum x_i \sqrt[3]{\ln \eta_i}$$

dimana $\ln \eta$ adalah viskositas masing masing biodiesel. Dibandingkan dengan viskositas hasil percobaan formula ini menghasilkan perbedaan yang cukup besar yaitu rata rata -108.8%

3. Cetane number

Persamaan untuk memperoleh cetane number dari campuran berbagai biodiesel adalah

$$P_{\text{mix}} = \sum x_i P_i$$

Dengan hasil perbedaan rata rata Persamaan untuk memperoleh viskositas dari campuran berbagai biodiesel adalah 6.633% kecuali untuk metyl tallowad sekitar -10.3%

4. Heating value

Rumus untuk mendapatkan heating value dari campuran biodiesel hampir sama dengan formula untuk memprediksi cetane number. Keduanya tergantung dari jumlah komposisi masing masing substansi dalam campuran serta nilai propertiesnya masingmasing.

5. Cloud point

Persamaan untuk memperoleh clouds point dari campuran berbagai biodiesel adalah

$$\ln(t + 10) = 2.2 - 1.57 \ln (\sum x_{\text{unsaturated}})$$

dengan perbedaan rata rata 0.7%

2.1.3. Performance Biodiesel

Ditinjau dari penggunaannya, Biodiesel mempunyai keuntungan-keuntungan . Sebuah studi dari National Biodiesel Board memberikan beberapa contoh keuntungan yang dihasilkan dari penggunaan biodiesel, antara lain:

- Biodiesel mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan diesel oil. Dengan demikian biodiesel dapat langsung digunakan pada engine engine yang sudah ada, dan peralatan injeksi bahan bakar dengan resiko kerusakan kecil. Secara umum biodiesel mempunyai cetane number lebih

tinggi dari diesel oil biasa. Hasil percobaan membuktikan bahwa selama 15.000.000 miles penggunaannya, biodiesel menawarkan konsumsi bahan bakar, HP, torsi yang hampir sama dengan diesel oil konvensional.

- Biodiesel memberikan efek pelumasan yang lebih baik daripada diesel oil konvensional. Penelitian membuktikan bahwa ada peningkatan yang cukup signifikan ketika biodiesel ditambahkan kedalam diesel oil konvensional . Bahkan 1 persen penambahan biodiesel dapat meningkatkan *feel* pelumasan hampir 30 persen.
- Biodiesel juga cocok terhadap komponen diesel engine. Secara umum biodiesel akan memperlunak dan menurunkan berbagai type elastomer dan karet alam setelah beberapa waktu pemakaian. Karena itu *engine manufacture* merekomendasikan agar tidak memakai campuran dari bahan tersebut, dan menggantinya dengan bahan yang lebih sesuai.
- Cuaca yang dingin dapat menyebabkan biodiesel membeku atau berubah menjadi gel. Penggunaan 20% campuran akan menurunkan sifat aliran seperti *cloud point*, *pour point*, dan *plugging point*). Solusi yang dapat ditawarkan adalah penggunaan heater untuk meningkatkan suhu bio diesel. Namun penggunaan heater pada biodiesel jauh lebih aman karena biodiesel mempunyai titik bakar relatif lebih tinggi dibanding dengan diesel oil.

2.2. Minyak Jarak.

Tanaman jarak merupakan jenis tanaman yang sudah sangat umum dikenal di Indonesia. Jarak dikenal masyarakat Indonesia sebagai salah satu tanaman yang dapat diolah menjadi minyak yang disebut dengan minyak.. Minyak ini biasanya digunakan sebagai minyak lampu. Dengan kemajuan teknologi pemanfaatan jarak kini mulai merambah ke dunia industri kosmetika, tekstil, plastik, dan industri lainnya.

Dipulau Jawa, jarak biasanya ditanam di tanah-tanah kering dan kurang subur. Dilihat dari segi pertumbuhannya, jarak dapat sangat adaptif tumbuh di tanah yang kering dan miskin hara. Ia dapat tumbuh dengan baik mulai dari tepi pantai sampai ketinggian 800 meter di atas permukaan laut. Jarak tidak membutuhkan perlakuan khusus dalam pemeliharaannya. Satu satunya hama yang menyerang hanyalah ulat yang menyerang daunnya.(*Jawa Pos*, 18 Oktober 1999)

Jarak dalam bahasa latinnya disebut *Riricus communis*. Tanaman mempunyai tinggi pohon rata rata 3 - 4.5 m. Daunnya berbentuk telapak tangan dengan gerigi disekelilingnya dan berwarna hijau kemerahan. Bunga jarak termasuk jenis bunga tunggal dengan bunga jantan terletak dibawah bunga betinanya. Keduanya duduk dalam satu kelopak. Buahnya berbentuk kendaga yang beruang tiga, masing masing berisi satu buah biji jarak yang berwarna kecoklatan dengan ukuran rata-rata 1-1.5 cm.

Minyak jarak termasuk dalam golongan minyak lemak atau fatty oil. Minyak ini merupakan trigliseril yang terpenting dari risinoleat, dan kadang disebut dengan trisinoleat. Minyak jarak merupakan cairan minyak yang kental, dimana dari semua jenis minyak yang diperoleh dari tumbuh-tumbuhan, minyak jaraklah yang paling kental dan memiliki rasa dan bau yang spesifik (*Effendi, 1982*).

Minyak jarak dihasilkan dari pemrosesan biji jarak yang telah kering dan dapat diperoleh dengan dua cara yaitu:

- Cara pengempaan atau penekanan (*pressing*)
- Cara ekstraksi dengan memakai pelarut.

Minyak yang dihasilkan dari *pressing* (penekanan) dinamakan minyak jarak mentah (*crude castrol oil*). Minyak ini masih keruh, bau, dan kandungan air cukup tinggi untuk ukuran minyak. Agar lebih dapat berguna minyak ini harus dinetralsir dengan alkali dan dihilangkan warnanya (*decolorisation*) menjadi RBCO (*Refined Bleached Castrol Oil*). Bau dari minyak mentah dihilangkan dengan jalan pemanasan pada suhu 190° C dengan tekanan udara 10 mmHg. RBCO yang telah dihilangkan warnanya disebut RBDO (*Refined Bleached Deodorized Oil*).

Biji jarak kurang lebih mengandung 47 sd 49 % minyak jarak. Kandungan ini tergantung dari jenis varietas jarak dan kondisi lingkungannya. Kandungan trigliseril dalam minyak jarak ini penting karena dari pengolahannya bisa didapatkan senyawa metil ester. Senyawa inilah yang diharapkan bisa menjadi biodiesel.

2.2.1. Sifat kimia dan fisika minyak jarak.

Minyak jarak umumnya tidak berwarna, namun sering dijumpai minyak jarak yang berwarna bening kekuningan. Sifat fisika dan kimia dari minyak jarak yang dihasilkan dengan cara pengepresan dapat dirangkum sebagai berikut (*Effendi, 1982*):

1. Berupa cairan pada suhu 270° Celcius.
2. Membeku pada suhu -10° Celcius.
3. Hampir tidak berbau.
4. Rasa sedikit asam.
5. Dapat dicampur dengan etanol, methanol, eter, khloroporm, dan asam cuka glacial.
6. Larut dalam pelarut organic polar.
7. Kurang daya larutnya dalam hidrokarbon-hidrokarbon alifatik.
8. Berbau tengik bila dibiarkan dalam udara terbuka.
9. Minyak jarak bila dihidrasi akan teruraimenjadi asam dan gliseril.
10. Campurannya dengan larutan basa akan menghasilkan gliseril dan sabun

Dari berbagai literature didapat sifat fisika minyak jarak sbb:

1. Berat jenis $0.951-0.969$ ($15.5^{\circ} / 15.5^{\circ}$)
2. Indek bias pada $25^{\circ} \text{ C} = 1.476 - 1.478$
3. Angka penyabunan $176 - 187$
4. Angka Iodium 80.91
5. Angka asetil $143 - 186$
6. Viskositas pada 25° C s/d 31° C $179 - 600 \text{ Cp}$
7. Angka asam $4-6$
8. Kandungan asam:
 - Asam rinoleat $80-95\%$
 - Asam oleat $1.3 - 9\%$
 - Asam linoleat $1.4 - 5 \%$
 - Asam dehidroksi stearat $0.6 - 1.8\%$
 - Asam lemak bebas $0.3 - 6\%$
9. Protein beracun

Dibawah ini disajikan berbagai sifat fisika minyak jarak yang diperoleh dari jalan extrasi dengan pelarut:

Tabel 2.1. Perbandingan sifat fisika minyak jarak dari cara perolehannya
(Effendi, Lembaran Lemigas, 1982)

Pemeriksaan	Cara pengepresan (nilai rata-rata)	Pelarut yang dipakai untuk ekstraksi					
		petroleum eter	selisih	etanol	selisih	benzena	selisih
Kadar minyak	49	49,61	0,61	57,81	8,81	54,54	5,54
Angka asam	5	4,19	-0,81	4,66	-0,34	5,03	0,03
Angka penyabunan	181,5	179,34	-2,16	181,41	-0,09	180,2	-1,3
Angka iodium	85,5	87,78	2,28	81,51	-3,99	80,13	-5,37
Berat jenis pada 31°C	-	0,9565	-	0,9555	-	0,9511	-
Viskositas pada 31°C	389,5	179,45	210,05	192,95	196,55	183,51	-205,99
Indeks bias pada 31°C	-	1,4878	-	1,4858	-	1,4882	-

2.2.2. Prospek minyak jarak sebagai biodiesel di Indonesia.

Seperti dikemukakan sebelumnya, bahwa minyak jarak (castrol oil) mempunyai prospek yang bagus sebagai bahan bio diesel. Mengingat keuntungan yang ditawarkan oleh tanaman jarak, maka pengadaan jarak sebagai bahan dasar bio diesel diharapkan juga bermasa depan yang baik. Sesuai sifat hidup, jarak yang boleh dianggap sebagai tanaman liar, maka pembudidayaan jarak akan sangat menguntungkan bagi masyarakat.

Jarak telah lama dikenal masyarakat Indonesia. Tanaman ini selama ini dianggap sebagai tanaman perdu yang tidak pernah dibudidayakan. Dalam sejarah kemerdekaan bangsa Indonesia, jarak pernah menjadi tanaman yang mempunyai arti penting, terutama pada saat pendudukan tentara Jepang pada tahun 1942 – 1945. Pada masa itu Jepang memaksa rakyat untuk menanam jarak dalam skala massal. Buah jarak kemudian dikumpulkan dari para petani dengan system kerja paksa.

Setelah Jepang kalah perang pada Perang Dunia II, Jepang menyerah tanpa syarat kepada sekutu. Seluruh tanah jajahan Jepang dikembalikan ke negara penguasa sebelumnya. Setelah Jepang pergi dari Indonesia, tanaman jarak kembali

dilupakan. Orang lebih menyukai tanaman produktif lainnya daripada menanam jarak yang sangat sulit pemasarannya.

Era pembangunan Indonesia sejak jaman Orde baru, telah menghasilkan kemajuan dengan dibukanya berbagai perusahaan dengan teknologi maju. Banyak perusahaan yang membutuhkan minyak jarak sebagai bahan bakunya, antara lain perusahaan kosmetika, tekstil, plastik, dan masih banyak lagi. Namun demikian, hal ini tidak menimbulkan rangsangan bagi masyarakat untuk melihat budidaya tanaman jarak sebagai peluang bisnis yang menguntungkan.

Akibatnya sampai tahun 1988, pemerintah memboroskan devisa sekitar \$70.000 untuk mengimpor minyak jarak.(*Shafaray, Sumarni, 1988*) Dengan semakin berkembangnya industri yang membutuhkan minyak jarak sebagai bahan bakunya, tentu hal ini akan sangat memberatkan APBN negara. Ironisnya, sangat sedikit pengusaha yang mau berinvestasi dalam pabrik pemrosesan minyak jarak.

Dilihat dari fisiologi tanaman jarak, sebenarnya tidak diperlukan banyak syarat untuk dapat mengembangkan jarak. Sifat jarak yang sangat adaptif, bahkan pada cuaca kering dan kadar hara tanah, memungkinkan jarak dapat ditanam pada tempat-tempat yang selama ini ditinggalkan karena tidak dianggap produktif bagi pertanian pangan atau perkebunan.

Daerah-daerah di Indonesia timur seperti Nusa Tenggara, Kepulauan Timor selama ini terkenal sebagai padang rumput yang tidak terlalu produktif. Kondisi cuaca lokal yang lebih kering, miskin hara, sangat cocok bila digunakan sebagai tempat budidaya jarak. Selain itu beberapa daerah di Jawa seperti di sepanjang pegunungan selatan Jawa, juga cocok untuk habitat jarak. Kondisi masyarakat daerah-daerah tersebut umumnya masih berada dibawah standar hidup layak tanpa menyadari adanya peluang besar yang sangat menjanjikan.

Di daerah-daerah perkotaan, lahan-lahan tidur yang selama ini dibiarkan terlantar adalah sasaran berikutnya yang juga potensial. Pembukaan lahan tidur untuk budidaya jarak akan menyerap tenaga kerja yang bermanfaat bagi masyarakat.

Untuk itu maka diperlukan niat dan dukungan dari pihak pemerintah dan swasta untuk dapat menggerakkan masyarakat. Suatu studi estimasi yang diterbitkan Jawa Pos pada tahun 1998 mengemukakan estimasi laba bersih petani selama satu musim tanam adalah Rp. 3.944.000 perhektar. Satu musim tanam dapat dipanen

hingga dua atau tiga kali. Dengan semakin tingginya kebutuhan minyak jarak, diharapkan harga biji jarak juga ikut terdongkrak. Dengan demikian maka kesejahteraan petani budidaya jarak meningkat.

Namun harus juga disadari, bahwa untuk menjamin pemasaran yang lancar dan harga jual yang tinggi, diperlukan biji jarak dengan kualitas prima. Standarisasi mutu biji jarak harus jelas dan disosialisasikan dengan baik pada para petani. Hal ini akan lebih menjamin mutu minyak jarak produksi kita. Dan dengan mampunya kita mengexport minyak jarak, hal itu juga berarti peningkatan devisa negara.

2.2.3. Masalah-masalah dengan penggunaan minyak jarak.

Dari sifat-sifat fisika maupun kimia minyak jarak, maka penggunaannya sebagai bahan bakar pada diesel engine akan menemui berbagai kesulitan. Hal ini karena diesel engine dalam pengoperasiannya, mensyaratkan beberapa kriteria penting terhadap pemakaian bahan bakarnya. Pemakaian bahan bakar yang tidak sesuai dengan spesifikasi ini akan menimbulkan turunnya performance diesel engine.

Masalah ini terutama disebabkan oleh sifat minyak jarak yang berkaitan dengan viskositasnya. Dari data sebelumnya diketahui bahwa dalam bentuk minyak, viskositas minyak jarak adalah lebih tinggi dari diesel oil. Bahan bakar dengan viskositas tinggi akan cenderung menimbulkan masalah pada fuel injection line (Baranescu, Lusco, 1997). Selain itu viskositas yang tinggi juga berpengaruh pada tekanan injeksi bahan bakar (Masjuki, Abdul Muin, Sii, 1996). Untuk menjamin bahan bakar dapat bercampur baik dengan udara dan selanjutnya siap terbakar, maka diperlukan proses atomisasi yang baik pula (Feldman, Peterson, 1997).

Masalah lain yang berkaitan dengan penggunaan minyak jarak adalah berkaitan dengan cetane number yang rendah (kebanyakan vegetable oil memiliki cetane number yang rendah (Puppung, 1985) dan tidak stabil bila dicampur dengan minyak solar (Puppung, 1985 dan 1986). Sebagai bahan bakar diesel engine, hal ini tentunya sangat tidak menguntungkan. Kualitas pembakaran adalah unsur penting dari performance diesel engine. Rendahnya cetane number akan menyebabkan terlalu lamanya ignition delay, sehingga pada saat terjadi autoignition, dalam ruang bakar tersedia terlalu banyak bahan bakar yang telah siap

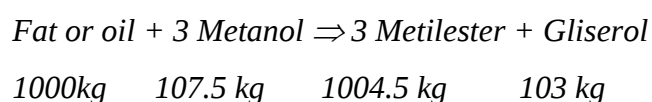
terbakar. Akibatnya suhu pembakaran akan terlalu tinggi, dan emisi NO_x –nya semakin tinggi pula.

Dari semua masalah tadi maka dicoba suatu metode untuk menurunkan viskositas dan menaikkan cetane number minyak jarak. Tingginya viskositas minyak jarak berhubungan dengan density minyak jarak yang juga cukup tinggi. Untuk itulah maka dicoba untuk mengubah komposisi trigliserol pada minyak jarak menjadi ester melalui proses transesterifikasi. Dengan demikian diharapkan masalah masalah yang timbul dapat diatasi, sehingga prospek minyak jarak sebagai bahan baku diesel engine menjadi cerah.

2.3. Esterifikasi

Alat untuk memproduksi biodiesel disebut dengan transesterifikasi. Ada dua jenis transesterifikasi yaitu sistem *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. Paterson dan Reece (1996) telah mempelajari fisibilitas proses memproduksi biodiesel. Wells 2001 menggunakan drum kapasitas 45 galon untuk memproduksi ester dengan heater terbuat dari pipa tembaga, sumber panas adalah dengan air panas.

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 hidroksida sebagai katalisator. Dalam kesetimbangan stokiometri, reaksi ini dapat ditulis sebagai



2.3.1. Esterifikasi Type Batch

Unit ini dirancang untuk keperluan penelitian di laboatorium. Reactor terdiri dari dua buah bejana dimana satu bejana diletakkan didalam bejana yang lain. Karena untuk keperluan laboratorium, maka kapasitas unit ini relatif lebih kecil. Dengan demikian maka biaya pembuatan biodiesel menjadi lebih mahal. Allen dan Watts(96)

telah mendesain suatu model reactor esterifikasi type batch dengan dimensi kurang lebih 250 mm x 300 mm dan kapasitas 1100 ml. Reactor ini dapat bekerja pada tekanan atmosfer ataupun dalam keadaan vakum. Untuk itu dipilih stainless steel sebagai bahan yang cocok untuk bejana reactor. Dengan pemakaian stainless steel diharapkan tidak terjadi reaksi antara reaktan dengan dinding bejana. Menurut Reece, pemakaian aluminium, steel, dan brass seharusnya dihindari karena dapat bereaksi dengan KOH. Selain itu juga digunakan glass agar proses yang terjadi dapat diamati dari luar.

2.3.2. Proses esterifikasi

Proses pembuatan ester telah banyak dikembangkan oleh berbagai expertis misalnya *Allen and Watts (1996)*, *Pelly (2000)* dan *Kac (2001)*. Allen dan Watts membuat prototype esterifikasi type batch, reactor ini dikembangkan dalam skala laboratorium. Dalam pembuatan biodiesel menggunakan nitrogen sehingga prosesnya menjadi mahal. Mike Pelly memberikan metode untuk membuat biodiesel untuk Waste Vegetable Oil (WVO). Meskipun metode ini dipergunakan untuk membuat biodiesel dari minyak jelantah namun dengan sedikit memodifikasi proses dapat diaplikasikan untuk membuat biodiesel dari minyak nabati yang masih murni. *Kac (2001)* mengadaptasikan metode Mike Pelly dengan memproses biodiesel dengan dua tingkat. Metode ini banyak diaplikasikan karena diperoleh kualitas hasilnya yang tinggi. *Pelly (2000)* memberikan prosedur mulai persiapan, esterifikasi, mencuci, mengeringkan dan mengecek hasil akhir. *Kac (2001)* mengembangkan metode ini dengan memproses pereaksian dua kali, dengan cara ini diperoleh hasil biodiesel yang lebih berkualitas. Selanjutnya *Kac (2001 b)* memperbaiki metode untuk membuat biodiesel. Dalam prosedur ini lebih menyederhanakan alat-alat yang dipergunakan dan juga menambahkan bagaimana cara melakukan troubleshooting. Pembuatan biodiesel adalah menurunkan viskositas minyak nabati dengan jalan mengeluarkan glyserinnya dengan jalan esterifikasi. Akibat dari pengambilan glyserin ini PH dari biodiesel menjadi sekitar 9-10 (*Kac, 2001*). Untuk mengembalikan ke kondisi normal perlu pencucian biodiesel. *Pelly (2000)* menawarkan dengan pencucian dengan menggunakan translucent PVC type container. Cara lain adalah dengan menggunakan bubble washing, technique ini dikembangkan di Idaho University, walaupun memerlukan waktu yang lama namun

tak memerlukan banyak water (*Pelly, 2000*). Bubble washing technique merupakan teknik pencucian yang paling ekonomis karena hanya menggunakan power yang kecil selain water (*Winne, 2001*)

2.4. Engine performance

Sebenarnya Engine performance telah banyak dibahas pada sup bab 2.1 yaitu biodiesel everview, karena sulit untuk memisahkan keduanya. Pada sup bab ini akan memberikan sedikit tambahan tentang performance yang sifatnya sedikit umum.

Semua engine, lebih spesifik lagi diesel engine harus diketahui karakteristik dan unjuk kerjanya. Karakteristik yang umum di tunjukkan adalah daya yang dihasilkan, torsi, kebutuhan bahan bakar spesifik dan gas buang yang diemisikan. Secara garis besar biodiesel dapat digunakan tanpa memodifikasi dan penambahan lat lain yang performanca tidak berubah jauh (*National Biodiesel Board*). Karakteristik bahan bakarnya pun juga mirip dengan minyak solar dengan kadar sulfur rendah. Biodiesel mempunyai kelebihan dibandingkan dengan minyak solar dimana daya lubrikasinya sangat signifikan sehingga dapat memperbaiki karakteristik minyak solar.

Telah banyak dibahas diatas tentang emisi gas buang yang diproduksi oleh biodiesel yang intisarinnya adalah secara umum emisinya lebih baik, kecuali NO_x yang hasilnya masih bermacam-macam. Beberapa peneliti melaporkan bahwa NO_x meningkat dan particulatnya menurun. *Fossen dkk (1995)* juga melaporkan hal yang sama dengan menggunakan “6V-92TA DDC Enginene exhaust emission test” menghasilkan penurunan Partikel dan meningkatkan NO_x . Laporan yang sama juga diperoleh dengan *Marshall dkk (1995)*

Disisi lain Peterson dkk, 1994 dari University of Idaho melaporkan bahwa NO_x menurun sangat konsisten. Peterson dkk menguji enginnya di test bed. Dari eksperimen yang dilakukannya dihasilkan penurunan NO_x sebesar 10% dan kenaikan PM 13.6%.

Howell dkk, 1996 melaporkan bahwa dengan menggunakan B20 dapat menurunkan smoke dan solid carbon particulate. NO_x menunjukkan kadang-kadang menurun dan kadang-2 naik. Nampaknya sangat tergantung dari konfigurasi engine dan pengetesan yang dipergunakan.

NO_x masih merupakan problem dalam menggunakan biodiesel, beberapa technique telah diupayakan untuk memperoleh NO_x yang dapat memenuhi regulasi. *Walker,*

1994 telah mengatur injection timing dan temperatur pengoperasian engine. Dengan technique seperti itu maka NO_x dapat diturunkan. *Marshall dkk 1995* dengan memperlambat waktu penginjeksian bahan bakar maka dapat menurunkan NO_x . Problem utama biodiesel adalah viskositasnya yang relatif lebih tinggi dibandingkan minyak solar. *Masjuki 1996* mengupayakan menurunkan viskositas dengan preheat bahan bakar dan udara pembakaran dan menghasilkan emisi yang lebih baik kecuali CO meningkat dengan peningkatan udara pembakaran. *Zuhdi dan Astari (1999)* mengupayakan peningkatan injection pressure yang hasilnya pada tekanan tertentu diperoleh NO_x dan PM yang memenuhi peratularan. Dengan peningkatan injection pressure ini diharapkan atomisasi yang lebih baik. Technique semacam ini kemungkinan lebih tepat untuk memperbaiki atomisasi dari biodiesel. Dengan mengkombinasikan preheat dan peningkatan injection pressure maka diharapkan diperoleh kompromi antara NO_x dan particulate mettertnya.

2.5. Durability

Setiap engine manufacture tidak mengetes ketahanan (durability) engine nya dengan bahan bakar alternatif, oleh sebab itu apabila ada bahan bakar alternatif maka perlu adanya pengujian ketahanan engine (uji durability). Ada dua cara yang lazim digunakan dalam pengujian ketahanan engine yaitu pengujian laboratory dengan menggunakan engine test bed atau chasis dynamometer. Pengujian semacam ini mengikuti prosedur yang diberikan oleh *Engine manufacrure association (EMA)*, peneliti yang memproduksi (membuat) bahan bakar alternatif dianjurkan untuk menguji ketahanan engine selama 200 jam dengan variasi dan waktu pembebanan yang telah ditentukan. Pengujian semacam ini telah dilakukan oleh *Baranescu and Lusco (1982)*, *Fort and Blumberg(1982)*, *Kaufman and Ziejewski (1984)*, *Ali et-al (1996)*, *Ali and Hanna (1997)*. Pengujian ketahanan yang lain adalah onroad durability test. Uji durability onroad bukan pengujian yang dilakukan oleh engine manufacture. Kelebihan dari pengujian semacam ini adalah kita dapat mengetahui ketahanan secara real dari engine. Uji durability semacam ini telah dilakukan oleh *Hanies and Evanoff (1998)*, *University of Idaho and Montana dept. of Environmental Qulaity (1999)*.

Baranescu and Lusco (1982) menggunakan engine type DT-436B direct injection, turbocharged 6 cylinder, dengan menggunakan bahan bakar 50/50 sunflower/diesel

fuel. Engine diteset selama 200 jam, pengetesan ini mengikuti alternative fuels committee of EMA yang terdiri dari 30 menit dioperasikan pada low idle, 30 menit pada high idle, 60 menit pada rated power speed dan 60 menit pada peak torque speed. Dalam pengetesannya telah dievaluasi ketahanan dan system injeksi bahan bakarnya, semua nozzle memperlihatkan heavy deposit pada permukaan tip kususny di daerah orifice.

Fort and Blumberg (1982) dengan menggunakan bahan bakar Cottonseed oil blends untuk mengoperasikan engine inline 6 cylinder turbocharged, direct injection diesel engine dengan rated speed 2000 rpm dan torque maximumnya kurang lebih 1800rpm. Dengan mengikuti prosedur EMA test dan waktu pengoperasian 15 jam kemudian diikuti dengan 8 jam shut down agar oli dapat didinginkan. Pemeriksaan mengikuti standard CRC diesel engine rating manual no.5, 1958. Semua part seperti liner, rings, piston dll telah diamati. Dalam pengetesannya setelah 189 jam, engine sangat bising ketika dioperasikan pada mode idle. Setelah diinspeksi ternyata semua permukaan top ring terdapat carbon deposit yang sangat berat, selain itu minyak pelumas mengalami peningkatan viskositas yang sangat signifikan.

Kaufman and Ziejewski (1984) dengan menggunakan sunflower metyl ester digunakan untuk mengoperasikan Allis Chalmers diesel engine 4331, turbocharged and intercooled 4 cylinder. Sama seperti peneliti yang lainnya menggunakan prosedur yang dianjurkan oleh EMA. Hasil pengetesan yang kurang menguntungkan adalah kesulitan terhadap engine start, konsumsi bahan bakar sedikit boros dan carbon deposit lebih banyak yang menempel pada piston nomer 3 dan 4.

Ali and Hanna (1997) dengan menggunakan Cummins N14-410 diesel engine dengan bahan bakar diesel fuel, methyl tallowate dan ethanol blend. Ketahanan engine diuji dengan prosedur EMA selama 200 jam seperti peneliti lainnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak ada perubahan power, torque dan bahan konsumsi bahan bakar. Emisi gas buang juga tidak mengalami perubahan. Pelumas juga tidak mengalami perubahan viskositas selama 100 jam. 3 macam injektor mengalami gangguan pada periode waktu yang berbeda.

Hanies and Evanoff (98) melakukan onroad durability test di kawasan Yellowstone National park (YNP) US sepanjang 160.000 km (100.000 miles). Dengan menggunakan Dodge ¾ ton 4X4 5.9 liter Cummins diesel engine tanpa dimodifikasi. Truk dioperasikan di kawasan Yellowstone National Park, dengan tanki kapasitas

112 liter (30 gallon) mampu menjelajahi antara 530- 820 km (330-500 miles). Dalam periode perjalanan tersebut tidak mengalami masalah yang berarti, penggantian spare part pada fuel system yang meliputi fuel filter, penggantian selang bahan bakar serta elbow bahan bakar yang terbuat dari karet. Bahan bakar REE 100% membuat bahan-bahan dari karet mudah rusak. Minyak pelumas diganti sesuai dengan periode waktu tertentu selama 9.654 km (6.000 miles) dan menghasilkan kandungan logam yang banyak dan viskositas yang sangat kental. Performance engine tak mengalami penurunan terhadap masalah driving kecuali kebutuhan bahan bakar yang sedikit boros sebanyak 6%.

University of Idaho and Dept of Enironmental Quality (1999) melaporkan yang sama seperti *Hanies and Evanoff (1998)* dengan menggunakan Cummins B series 5.9 liter, turbocharged and intercooler, direct injection diesel engine. Dalam laporannya selama 149.408 km (92.838 miles) tak mengalami pengaruh terhadap emissions. Dalam pengujian digunakan Canola Ethyl ester dan Rapeseed ethyl ester.

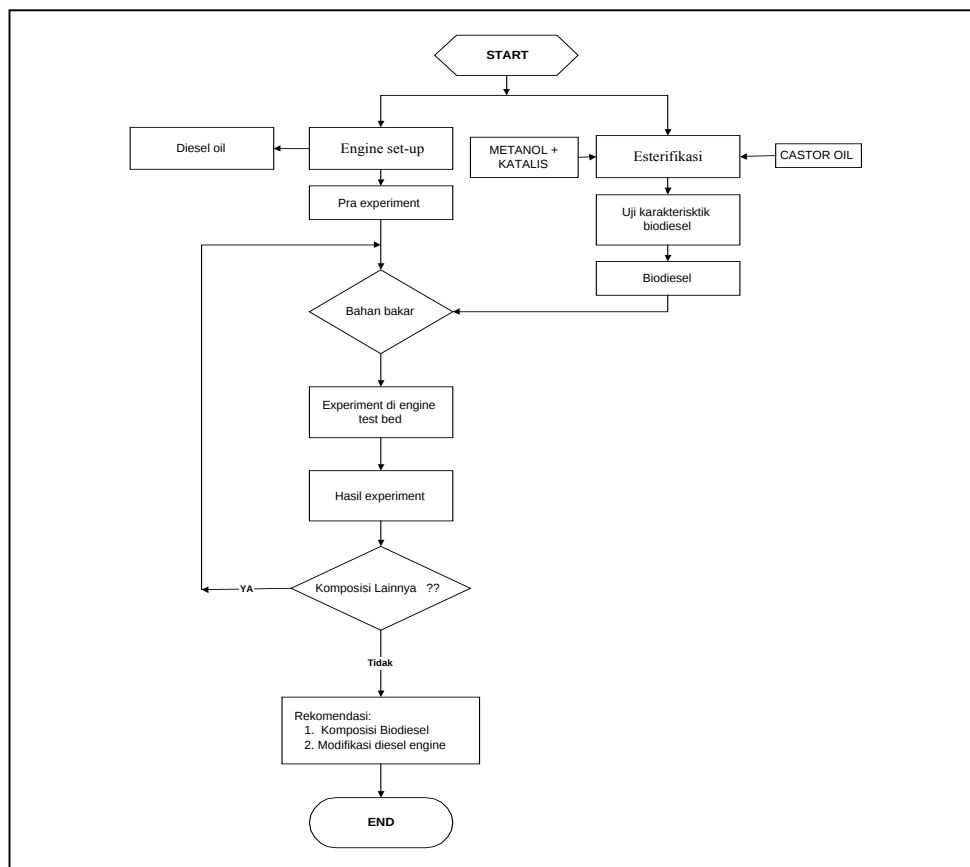
BAB III

METODOLOGI

Seperti yang telah disampaikan pada bab I penelitian ini dilakukan secara long term, dimana penelitian dilaksanakan dalam 3 (tiga) tahap. Tahap pertama adalah mempelajari tentang produksi dan karakteristik biodiesel yang dilanjutkan dengan mempelajari unjuk kerja motor diesel standard. Tahap kedua adalah mempelajari tentang unjuk kerja motor diesel yang dimodifikasi. Sedangkan pada tahap ketiga (tahap akhir) uji ketahanan (durability) motor diesel, uji ini sangat penting artinya untuk bahan bakar alternatif dimana tidak ada engine manufacturers yang melakukan pengujian produk enginenya dengan bahan bakar alternatif.

3.1. Metodologi pada tahap pertama.

Secara garis besar, pelaksanaan penelitian ini menggunakan metodologi yang dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1. Flowchart metodologi penelitian.

Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah menyediakan bahan bakar. Dalam hal ini bahan bakar yang perlu disediakan adalah biodiesel yang bahan bakunya dari minyak jarak (Castor Oil) dan minyak sawit (Palm oil). Untuk memproduksi biodiesel diperlukan beberapa langkah yaitu mulai desain alat (esterifikasi) kemudian dilanjutkan pembuatan prototype dan kemudian baru dilakukan pengujian prototype, setelah itu baru diakhiri dengan pemroduksian biodisel.

Setelah biodiesel dapat diproduksi maka perlu adanya pengujian karakteristik atau sering diuji properties dari biodiesel yang telah dihasilkan.

Setelah bahan bakar siap dilanjutkan dengan engine set-up, dalam mensetup engine perlu mengecek alat-alat yang digunakan, instrumen-instrumen dan pengkalibrasian alat-alat ukur yang digunakan. Setelah semua siap maka baru dilanjutkan dengan Pra-eksperimen. Pra-eksperimen ini perlu sekali dilakukan untuk mengetahui performance dari motor diesel yang diginakan. Engine yang digunakan ini sudah lama digunakan sehingga prestasinya sudah bergeser, sehingga perlu pengujian kusus. Apabila performancenya dapat diketahui maka kita dapat membandingkan dari bahan bakar yang dipergunakan dengan patokan yang jelas. Setelah semua diketahui maka baru eksperimen untuk mepelajari performance motor diesel dapat dimulai.

Untuk lebih jelasnya flow chart diatas akan dibrake down pada langkah-langkah sebagai berikut:

1. Estrifikasi:

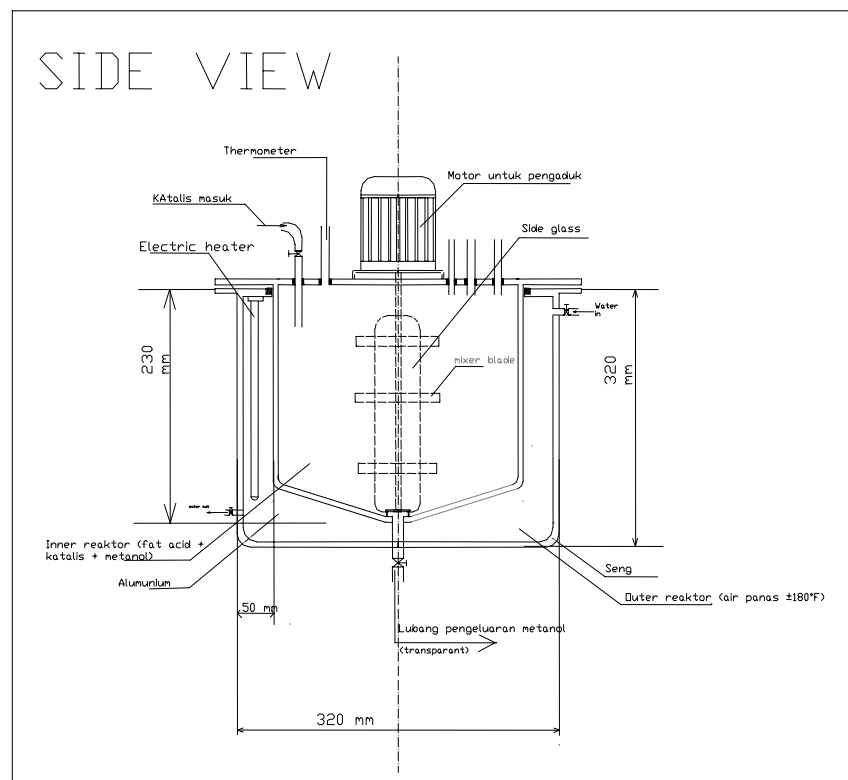
- i Desain unit esterifikasi

Dalam literatur disebutkan prinsip dasar proses esterifikasi yang digunakan untuk menghasilkan turunan ester dari minyak nabati. Demikan pula contoh desain alat yang telah dipakai beberapa peneliti sebelumnya. Namun demikian perlu dibuat suatu desain 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 disusun suatu unit esterifikasi yang baru seperti yang tampak pada gambar 1. reaktor ini lebih sederhana bila dibandingkan dengan desain *Allen dan Watt (1996)*. Dengan desain yang lebih sederhana, maka jumlah biaya awal serta biaya operasional akan lebih murah.

ii Pembuatan prototype

Setelah tahap penyusunan desain, maka desain itu dibuat menjadi sebuah prototipe nyata yang siap digunakan. Bentuk jadi prototipe ini sebelum digunakan sebagai pemroduksi biodiesel perlu diadakan kalibrasi alat. Kalibrasi alat ini dianggap perlu, karena alat ini tidak didisain sama seperti yang digunakan oleh *Allen dan Watts (1996)* melainkan pemodifikasian alat sehingga diperoleh disain yang lebih sederhana sehingga biaya produksinya lebih murah.



Gambar 3.2. Desain unit esterifikasi.

Untuk mendesain secara detail dari esterifikasi type batch dapat dilihat dalam lampiran I.

iii. Produksi biodiesel.

Proses transesterifikasi biodiesel secara umum yang dilakukan oleh *Graboski dan McCormick, 1998* juga akan dijadikan pedoman untuk memproduksi biodiesel pada penelitian ini. Dalam bentuk metil ester, menurut *Graboski dan McCormick* dari 1000kg minyak nabati yang direaksikan dengan 107.5 kg metanol akan dihasilkan 1004.5 kg metil ester dan 103 kg gliserol. Langkah-langkah proses akan dibicarakan dalam sub bab tersendiri dalam metodologi ini.

Proses pembuatan biodiesel dapat dilihat pada lampiran II

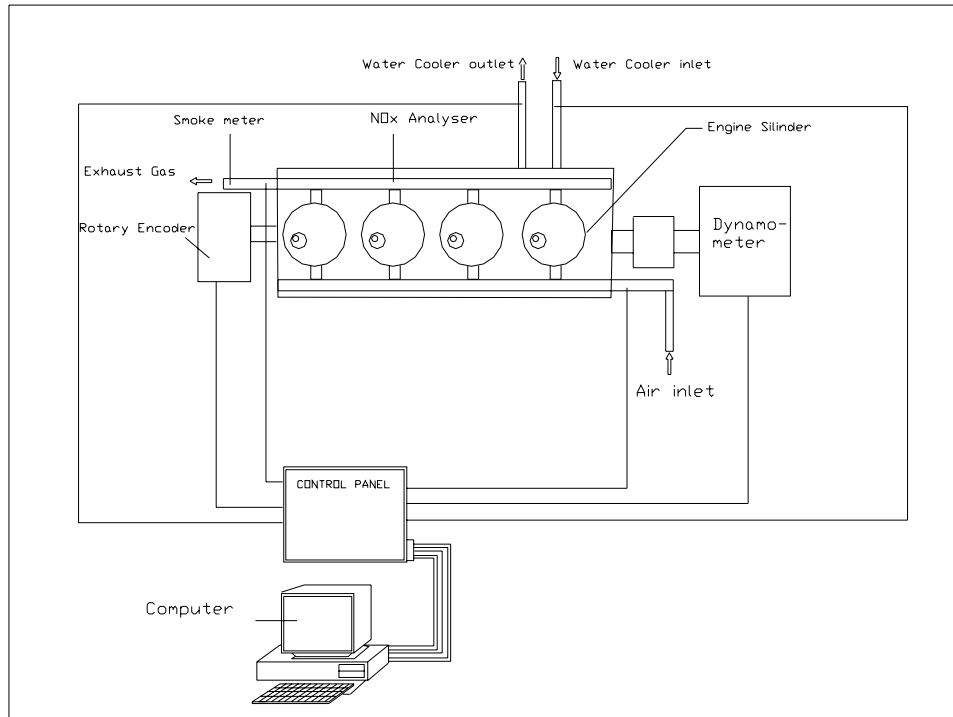
2. Uji karakteristik biodiesel.

Biodiesel yang dihasilkan melalui esterifikasi dengan prototipe yang telah dibuat kemudian diuji karakteristiknya. Pengujian ini mutlak perlu dilakukan untuk menguji keberhasilan proses esterifikasi, dan juga untuk keperluan analisa data yang akan dihasilkan dari percobaan motor diesel dengan menggunakan biodiesel. Uji karakteristik dilakukan dengan dua method yaitu dengan menggunakan eksperimen dan juga dikembangkan dengan menggunakan formula perhitungan, terutama hasil dari percampuran dari bahan bakar misalnya saja Bxx.

Formula untuk menghitung karakteristik biodiesel dapat dilihat pada lampiran III.

3. Engine set up.

Engine set up 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 empat silinder. Motor diesel dikopel pada sebuah water brake dynamometer untuk mengukur besarnya *brake power* dari engine. Prosedur pengujian mengikuti standart SAE, dengan skema pengujian motor diesel pada gambar dibawah ini.



Gambar 3.3. Skema Pengujian motor diesel.

Daya *brake*, putaran *engine*, temperatur air pendingin, baik pada saat masuk ataupun keluar *engine*, serta temperatur udara masuk dan temperatur gas buang semua diukur dan bisa dilihat pada kontrol panel. Partikel smoke dan kandungan emisi NOx diamati dengan analisa gas buang dan smoke meter.

Data-data yang dihasilkan dari percobaan ini digunakan sebagai data pembandingan dengan data lain yang dihasilkan dari percobaan berikutnya dengan memakai populasi varian yang telah ditentukan.

4. Pra eksperimen.

Pra eksperimen dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari motor diesel dengan menggunakan bahan bakar konvensional. Diharapkan data yang dihasilkan dari percobaan ini dapat digunakan sebagai data pembandingan dengan data yang dihasilkan pada eksperimen dengan memakai B100, dan Bxx.

5. Komposisi bahan bakar

Efek pemakaian biodiesel pada motor diesel, tidak hanya terbatas pada pemakaian biodiesel untuk menggantikan bahan bakar konvensional

secara total (B100), namun juga terhadap pencampuran biodiesel dengan bahan bakar konvensional pada berbagai variasi (Bxx). Dengan demikian perlu dilakukan pembuatan Bxx dengan mencampurkan biodiesel dengan diesel oil.

6. Eksperimen di engine test bed

Eksperimen ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja engine dengan pemakaian biodiesel sebagai bahan bakar dengan berbagai variasi bahan bakar yang digunakan. Percobaan dilakukan pada *variable speed*, dan *constant speed*. Data yang dihasilkan kemudian akan dicatat untuk dianalisa.

7. Unjuk kerja diesel

Unjuk kerja motor diesel yang hendak diteliti antara lain adalah daya, sfoc, dan tingkat emisi gas buang (BSNO_x, dan BSPM).

3.1.1 Analisa data

Data hasil yang ingin diketahui adalah sebagai berikut:

1. Produksi biodiesel
2. Karakteristik biodiesel dan Bxx
3. Unjuk kerja motor diesel dengan pemakaian biodiesel.

Secara rinci, penyajian masing-masing data dapat disampaikan seperti dibawah ini:

1. Produksi biodiesel

Karena keterbatasan volume biodiesel yang dapat dihasilkan dengan prototipe yang telah dibuat, maka untuk dapat memenuhi kebutuhan biodiesel selama percobaan, biodiesel diproduksi dalam beberapa tahap. Untuk itulah diperlukan suatu *sampling design* untuk membuat analisa statistik tentang biodiesel yang telah dibuat. Disini dipakai teknik fixed sampling desain dengan tipe unrestricted random sample dengan menggunakan objek sampel yang diambil secara random (Nasir, 1999; Surakhmad, 1998). Pemakaian teknik ini dilatar belakangi oleh alasan bahwa sampel biodiesel yang diambil akan selalu homogen, metodenya mudah, dan sederhana.

Data yang dihasilkan dari teknik ini kemudian disampaikan dalam bentuk diagram pie, dan dalam bentuk visual. Tiap tiap sampel dari berbagai

tahap produksi akan diukur komposisinya dan tiap kali pembuatan Bxx akan diamati pelarutannya secara visual.

2. Karakteristik B100 dan Bxx.

Pengujian karakteristik biodiesel, baik yang dilakukan didalam laboratorium maupun secara pemodelan matematika, dilakukan pada tiap sampel yang diambil dengan teknik *sampling design* yang sama. Sedangkan pengujian karakteristik untuk Bxx dilakukan melalui pemodelan matematika sesuai dengan referensi yang ada.

Data yang dihasilkan akan disampaikan dalam bentuk tabel yang akan menjelaskan karakteristik kimia, dan karakteristik fisika untuk masing-masing B100 dan Bxx.

3. Unjuk kerja motor diesel.

Pelaksanaan percobaan dengan memakai biodiesel dilaksanakan dengan asumsi bahwa biodiesel yang dihasilkan dari beberapa tahap produksi adalah homogen. Dengan demikian, karakteristik biodiesel yang dipakai adalah rata-rata dari karakteristik yang dihasilkan dari point 2 diatas. Disini akan diambil pengaruh pemakaian biodiesel (B100 dan Bxx) terhadap daya yang dihasilkan engine, sfoc (*specific fuel oil consumption*), BSNO_x, dan BSPM untuk percobaan *variable speed*, dan *constant speed*.

Data yang dihasilkan akan disampaikan dalam bentuk grafik dan tabel.

3.1.2 Mengambil kesimpulan dan diskusi yang dikembangkan.

Diskusi akan dikembangkan pada tiga hal yaitu produksi biodiesel, karakteristik biodiesel dan unjuk kerja motor diesel dalam keadaan standard tnpa memodifikasi engine). Dari ketiga hal ini akan memberikan beberapa rekomendasi berkenaan bahan bakar biodiesel terutama rekomendasi karakteristik bahan bakar dan komposisinya. Untuk unjuk kerja engine akan mempelajari karakteristiknya terutama daya yang dihasilkan, kebutuhan bahan bakar dan gas buang yang diemisikan (NO_x dan partikel smoke). Emisi gas buang ini juga akan menarik sebuah kesimpulan bahwa engine perlu atau tidak perlu dimodifikasi. Keterangan lebih spesifik dapat dibaca pada kisi-kisi dibawah.

1. Produksi biodiesel.

Pada bahasan ini akan dibicarakan mulai dari prinsip perolehan biodiesel dari minyak nabati, pemilihan minyak jarak sebagai bahan baku biodiesel, serta bagaimana prospek minyak jarak bila biodiesel yang dihasilkan nanti terbukti secara ilmiah bisa digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada motor diesel.

Diskusi akan dilanjutkan pada proses desain unit transesterifikasi, dan pembuatan prototipenya. Dari sini kemudian diskusi diarahkan pada pelaksanaan produksi biodiesel.

2. Pengujian karakteristik biodiesel.

Setelah biodiesel kita peroleh, lalu dibicarakan bagaimana pengujian karakteristik biodiesel tersebut. Pengujian ini dilakukan terhadap B100, dan Bxx pada berbagai variasi. Dari sini diskusi dikembangkan pada pendekatan yang digunakan untuk memperoleh karakteristik biodiesel tersebut. Untuk B100, karakteristik dapat ditentukan melalui eksperimen di laboratorium, sedangkan untuk campurannya, dilakukan pendekatan dengan model matematika sesuai literature yang ada.

3. Unjuk kerja engine.

Diskusi tentang unjuk kerja engine, akan diarahkan pada proses pelaksanaan eksperiment pada motor diesel dengan pemakaian berbagai variasi biodiesel. Pembicaraan ini juga mencakup teknik pengumpulan data, dan penyajian data sehingga bisa ditarik kesimpulan seperti yang diharapkan.

Kesimpulan yang diharapkan dari diskusi ini berupa suatu rekomendasi tentang karakteristik biodiesel, dan komposisi campurannya dengan bahan bakar konvensional yang dianggap paling baik. Kemudian dari diskusi unjuk kerja motor diesel, maka dapat ditentukan perlu atau tidaknya dilakukan modifikasi engine untuk memenuhi kekurangan yang timbul akibat pemakaian B100 atau Bxx.

3.2. Tahap kedua.

Pada tahap kedua (unjuk kerja engine yang dimodifikasi) ini langkah-langkahnya mirip-mirip dengan tahap pertama. Diagram alir pelaksanaan percobaan

dapat dilihat pada gambar 4. Perbedaan antara tahap pertama terletak pada analisa data dan kesimpulan yang ingin ditarik.

3.2.1. Analisa data tahap kedua

Data yang ingin diketahui adalah:

1. Modifikasi motor diesel dengan bahan bakar biodiesel
2. Performance motor diesel apabila dimodifikasi
3. Emisi gas buang

Secara rinci, penyajian masing-masing data dapat disampaikan seperti dibawah ini:

1. Modifikasi motor diesel dengan bahan bakar biodiesel

Dari hasil penelitian tahun pertama peningkatan injection pressure pada sistem bahan bakar akan memberikan dampak positive. Mengingat NO_x bukan masalah yang urgen, sebaliknya parikel metter merupakan masalah yang perlu diatasi, meskipun hasilnya lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar solar. Dalam penelitian ini juga akan dilihat dengan merobah injection timing, meskipun bukan pada tujuan utama.

2. Performance motor diesel apabila dimodifikasi

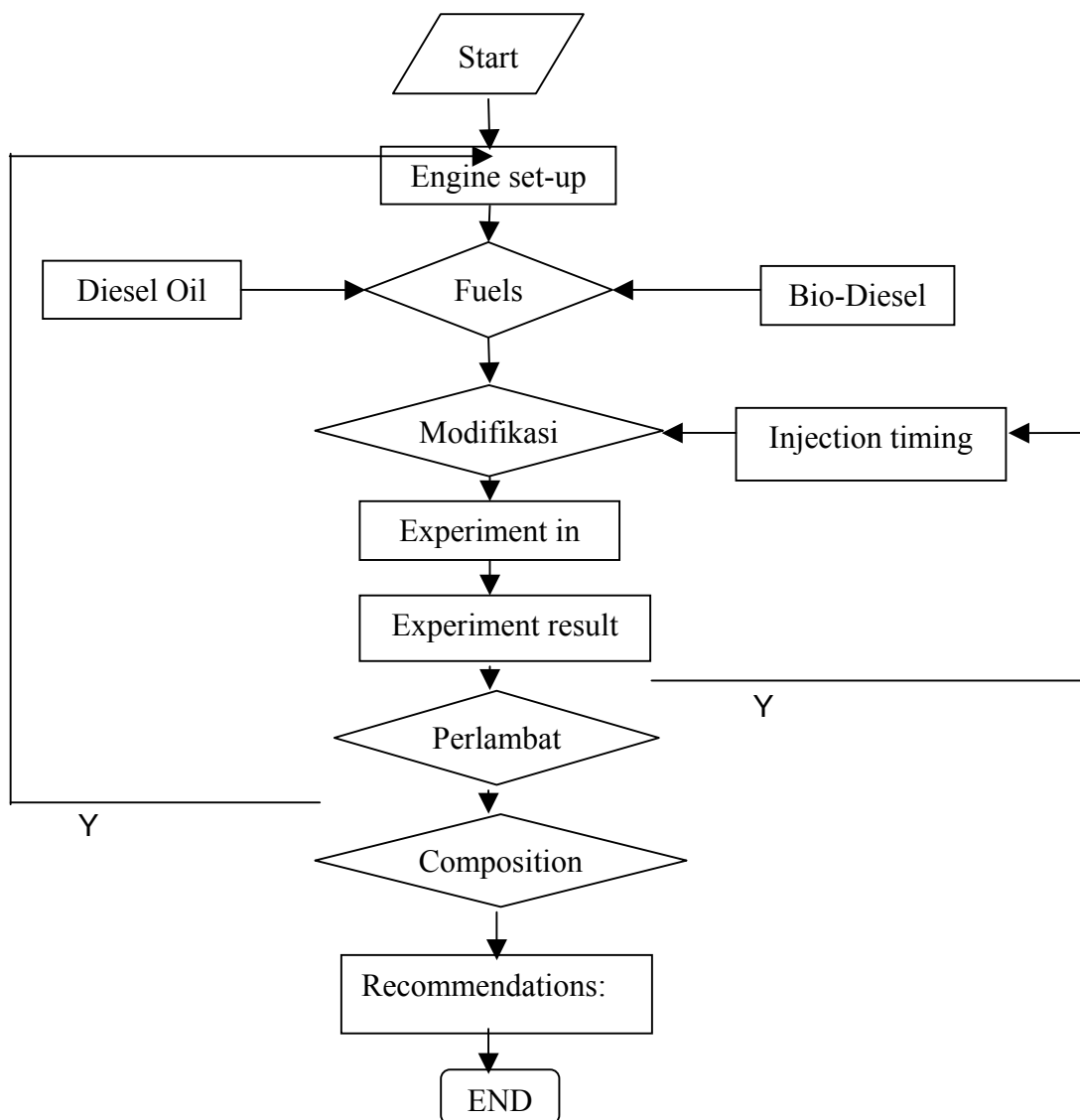
Pengujian Performance motor diesel akan divariasikan terhadap komposisi bahan bakar dan variabel injection pressure. Memperlambat penginjeksian juga akan dilihat dengan menggunakan engine yang lainnya, yaitu type indirect injection diesel engine. Dari hasil tahun pertama dengan menggunakan direct injection disimpulkan bahwa dengan memperlambat penginjeksian akan meingkatkan partikulate. Padahal kita sedang mengeliminir patikulate yang diproduksi. Hasil yang ingin dianalisa adalah pengaruh modifikasi motor terhadap Power output dan kebutuhan bahan bakar spesifiknya. Data yang dihasilkan akan disampaikan dalam bentuk tabel dan grafik

3. Emisi gas buang

Dua hal pokok yang di ambil dalam mengamati emisi gas buang yaitu NO_x dan Partikulate smoke. Kedua emisi ini diatur dalam regulasi baik nasional maupun Internasional. Dalam Penelitian ini akan diambil regulasi internasional. Data akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar mudah dalam penganalisaannya.

3.2.2. Mengambil kesimpulan dan diskusi yang dikembangkan pada tahap kedua.

Diskusi akan dikembangkan pada tiga hal yaitu Type pemodifikasian motor diesel, Performance motor diesel dan emisi gas buang. Dari ketiga hal ini akan memberikan beberapa rekomendasi berkenaan bahan bakar biodiesel apabila dimodifikasi. Hasil evaluasi tidak selalu mengarah kepada keharusan modifikasi tetapi akan dilaporkan keuntungan dan kerugian apabila memodifikasi motor diesel.



Gambar 3.4. Flow chart dari metode penelitian

3.3. Tahap ketiga

Tahap ketiga atau tahap akhir dari rangkaian penelitian ini adalah uji ketahanan motor diesel. Dalam pengujian ketahanan motor diesel ada dua metode yaitu metode standard yang dianjurkan oleh Engine Manufacturers Association (EMA), dan onroad durability test. EMA mensyaratkan pengujian dalam periode waktu dan periode pembebanan tertentu untuk penggunaan bahan bakar alternatif. Pengujian ini dilakukan di engine test bed atau chasis dynamometer. Onroad durability test sering dilakukan oleh peneliti dengan tujuan untuk lebih mengetahui ketahanan engine dalam keadaan real di jalan. Dalam perencanaan semula penelitian ini akan dilakukan dua metode tersebut, namun karena keterbatasan anggaran dan waktu (terutama terbatasnya waktu yang dialokasikan) maka dalam kesempatan ini dipilih metode onroad durability test.

Langkah-langkah persiapan pengujian sama seperti sebelumnya. Perbedaan terletak pada engine set-up, serangkaian pengujiannya serta engine check up. Data-data yang dikoleksi juga lebih bervariasi, mulai dari data visual hingga uji laboratorium secara fisika dan kimia. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada diagram alir pada gambar 5.

3.3.1 Analisa data tahap ketiga

Data-data yang ingin dikoleksi adalah:

1. Data visual
2. Data digital
3. Tingkat kerusakan komponen utama

Secara rinci penyajian pada masing-masing poin dapat dijelaskan sebagai berikut:

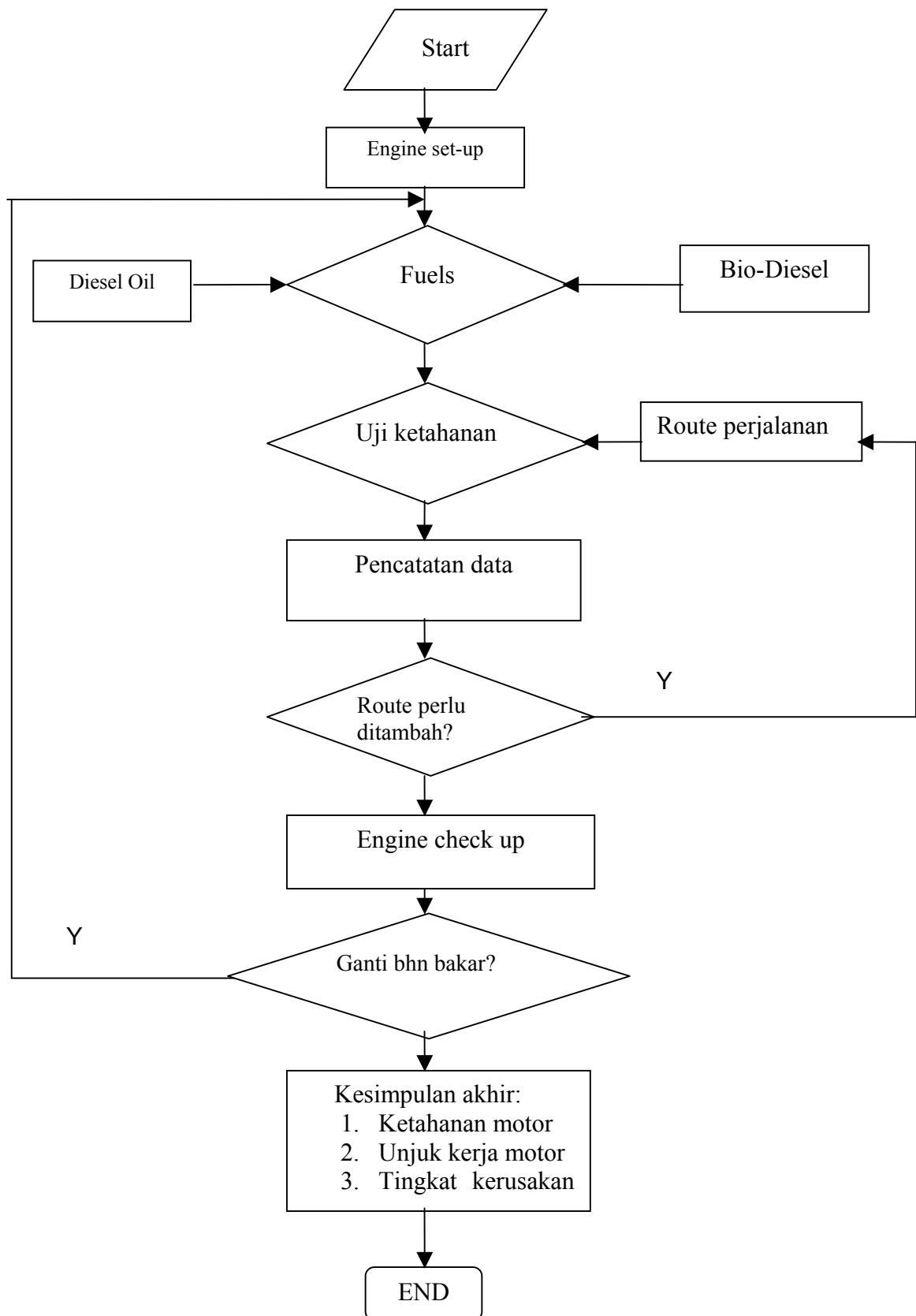
1. Data visual ini adalah data-data fotografi dari komponen-komponen utama ruang bakar pada saat pertamakali dan pada saat akhir pengujian dilakukan. Foto-foto ini digunakan untuk pengamatan pisik dari engine. Data-data utama yang diamati antara alain cylinder head, cylinder liner, piston crown, piston ring, intake valve, exhaust valve, nozzle, injector pump dan lain sebagainya.

2. Data data digital yang direcord pada onroad durability test ini adalah Trip perjalanan, komposisi bahan bakar, konsumsi bahan bakar dan data-data penting lainnya pada saat pengujian berlangsung. Route perjalanan pengujian dipilih medan yang bervariasi yang berlokasi di Jawa Tengah dan Jawa Timur mulai dari pantura, lintas selatan dan route tanjakan (Malang, Batu dll). Pantura untuk pengujian jalan datar, jalur selatan untuk medan yang bervariasi dan Malang dan Batu adalah medan tanjakan yang moderat (tidak terlampau tinggi dan tidak terlampau rendah medan tanjakannya). Medan-medan ini dipilih untuk mewakili secara umum medan-medan yang ditempuh oleh diesel engine. Bahan bakar yang digunakan untuk uji durability ini adalah minyak solar (MS) dan CME:PME:MS=5:5:90. Bahan bakar yang digunakan ini juga mengacu pada World wide oil charter 2002. Menurut hasil penelitian 10 dan 20% Biodisel direkomendasikan sebagai bahan bakar. Dengan mengkombinasikan antara World wide oil charter dan hasil penelitian maka komposisi bahan bakar diatas yang digunakan dalam pengujian onroad durability test ini.
3. Tingkat kerusakan komponen utama diamati secara visual dan juga dengan pengujian pisik serta kimia dari pelumas bekas motor diesel. Pada pengujian melalui pelumasan dilihat pada konsentrasi metal yang antara lain aluminium (Al), Iron (Fe), Chromium (Cr), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni), Copper (Cr), Vanadium (V), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), SiO₂ dan Zinc (Zn).

3.3.2. Kesimpulan dan diskusi yang dikembangkan pada tahap ketiga.

Tiga hal yang ingin ditarik kesimpulannya pada tahap ketiga ini yaitu:

1. Daya tahan motor diesel tidak mengalami penurunan yang signifikan.
2. Unjuk kerja motor diesel tidak berubah.
3. Perbandingan tingkat kerusakan motor.



Gambar 3.5. Flow chart dari metode penelitian step 3

BAB IV

PRODUK DAN KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR

Bahan bakar yang digunakan dalam eksperimen ini adalah minyak solar (gas oil), Minyak diesel (Diesel Oil) produk Pertamina, karakteristiknya seperti yang diterbitkan pada *edisi 1990*. Sedangkan Biodiesel diproduksi dari minyak jarak (Castor Oil) dan Minyak Sawit (Palm Oil). Bahan bakar yang berasal dari minyak bumi digunakan sebagai bahan pembanding karakteristiknya sehingga hasil yang diperoleh dalam esterifikasi akan diklasifikasi dalam kategori jenis minyak apa. Dalam karakteristik ini akan diamati sifat-sifat fisik dari biodiesel dan pencampurannya dengan minyak-minyak produksi Pertamina. Dua jenis Minyak Pertamina akan di-blending dengan dua jenis metil ester dari minyak jarak dan minyak sawit..

4.1. Produksi Biodiesel

Bahan utama dari biodiesel ini dipilih minyak jarak dan minyak sawit. Adapun jenis kedua bahan tersebut diperoleh dari pasaran lokal. Pemroduksian dilakukan dengan esterifikasi. Teknik esterifikasi telah disampaikan pada bab terdahulu (lihat juga pada lampiran IV). Dalam pemroduksian biodiesel pertama kali dilakukan percobaan pembuatan dalam skala kecil untuk memastikan komposisi kuantitas bahan pembuat ester seperti jumlah minyak nabati, methanol, katalis, bahan pencuci dan pengering dan lain-lainnya. Pembuatan skala kecil ini dimaksud apabila terjadi kegagalan dalam pemroduksiannya maka tidak akan mengalami kerugian. Setelah mencoba berulang kali dalam skala kecil dan diuji hasil produknya maka dihasilkan suatu produk biodiesel yang diinginkan.

Dalam memproduksi biodiesel tidak selalu memperoleh hasil produk yang sama, sesuai dengan metoda yang telah direncanakan bahwa hasil dari biodiesel akan bervariasi terhadap jumlah produksinya. Setiap memproduksi biodiesel komposisi hasil selalu dicatat dan hasilnya diamati dari segi produksi dan karakteristik fisik dan visualnya. Berdasarkan pengalaman warna dari ester yang terbentuk sangat erat kaitannya dengan densitas, viskositas dan jumlah glycerol yang dihasilkan .

Memproduksi biodiesel dari minyak sawit hasilnya mirip-mirip seperti yang diproduksi National Biodiesel Board. Seperti telah diungkapkan diparagraf terdahulu, komposisi keluarannya juga bervariasi, namun hasil rata-ratanya mendekati dengan

referensi. Sayang sekali *Masjuki dkk, 1996* dan *Graboski and McCormick, 1998* tidak melaporkan komposisi produk biodiesel yang bahan bakunya dari minyak sawit. Namun merujuk standard yang diberikan oleh *US National Biodiesel Board* maka Biodiesel masuk katagori yang diberikan. Pie diagram pada *gambar 4.1* adalah input dari proses pembuatan Palm metil ester. Pie diagram hasil rata-2 yang diproduksi dapat dilihat pada *gambar 4.2*. Produksi biodiesel berada dalam kisaran 83.3 – 84.4 %, sedangkan Glyserin yang dihasilkan adalah berkisar antara 8.75 – 10.1 %. Banyak dan sedikitnya Glyserol yang dapat diproduksi juga sangat erat kaitannya dengan karakteristik pisik yang dihasilkan. Warna juga dapat sebagai indicator keberhasilan dari pemrosesan biodiesel. Dengan kualitas bahan baku yang sama, apabila hasil glyserolnya sedikit dan warna ester yang cenderung gelap akan diperoleh viskositas yang tinggi.

Seperti halnya dengan minyak sawit, minyak jarak mempunyai kecenderungan karakteristik yang sama dengan minyak sawit. Hanya saja minyak jarak sangat sedikit glycerol yang dihasilkan. Pada minyak jarak hanya sekitar 5.1 – 6.1 % glyserol yang diproduksi. Sedangkan biodiesel yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan minyak sawit yaitu antara 84 - 92 %. *Gambar 4.3* adalah input dari pembuatan biodiesel dari castor metil ester, dan *gambar 4.4* menunjukkan diagram yang diperlihatkan pada minyak jarak sebagai ester. Kalau dilihat dari jumlah produknya castor methyl ester lebih banyak dibandingkan dengan biodiesel dari sawit (*palm methyl ester*). Namun kalau dibandingkan karakter pisiknya, biodiesel dari jarak kurang baik apabila digunakan untuk pengganti minyak solar produk Pertamina.

Dalam proses pencucian dan pengeringan minyak jarak sedikit berbeda dibandingkan dengan minyak sawit. Minyak sawit sama seperti yang dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, bahkan mirip benar dengan apa yang disampaikan oleh *Kac, 2001*. Tidak seperti halnya dengan memproduksi biodiesel dari minyak jarak. Formula *Kac, 2001* dan juga *Allen & Watts, 1996* apabila dipergunakan untuk mencuci dan mengeringkan Castor Methyl ester akan diperoleh PH yang relatif tinggi. Selain itu juga diperoleh kesulitan dalam pengeringan atau perolehan kembali biodiesel.

Proses pencucian sangat tergantung dengan jumlah asam yang dilarutkan, apabila zat asam yang dilarutkan kurang banyak akan muncul busa sabun yang akan

mengkacaukan pencucian. Pada minyak jarak tidak hanya kasus itu yang didapat tetapi juga akan muncul emulsi sebagian air kedalam minyak dan juga sebaliknya. Hasil pencucian ini sukar sekali untuk terpisahkan secara natural. Warna dari hasil pencucian menjadi seperti susu dan sukar membedakan antara air dan minyak.

Dari pengalaman trial and error untuk memperoleh kembali biodiesel yang telah jadi maka proses dilanjutkan dengan pengeringan. Dalam proses pengeringan akan terbagi menjadi dua tahapan. Tahap pertama adalah proses pemanasan, yaitu memanaskan material hingga 100 °C. Biasanya dalam proses pemanasan ini membutuhkan waktu sedikit lama. Setelah itu dilanjutkan dengan peningkatan temperatur hingga kira-kira 130°C. Hati-hati apabila dalam peningkatan temperatur ternyata banyak air yang terjebak dibawah sangat dianjurkan untuk dipisahkan terlebih dulu, Karena air pada temperatur diatas 100°C bisa membentuk gelembung yang sangat kuat dan meledak sehingga akan menimbulkan kerugian dan bahkan bisa menimbulkan kebakaran apabila kurang hati-hati dalam penanganannya. Foto 4.1 adalah hasil proses estrifikasi dari minyak jarak. Setelah dihasilkan biodiesel yang siap dicuci maka perlu dimasukkan sejumlah air dan zat asam. Setelah selesai pencucian maka terlihat seperti susu. Peristiwa ini bisa terjadi karena terjadi emulsi dari mixture. Apabila dikeringkan maka kita dapat pastikan bahwa air yang teremulsi sebanyak 8 – 15 %.

Menghindari pengemulsian dari air kedalam castor methyl ester, cobalah memberikan asam dari advice yang diberikan oleh Kac, 2001 yaitu dalam pencucian dengan bubble method. Apabila dalam proses terjadi banyak busa, berarti jumlah asam yang kita masukkan kurang banyak, tingkatkan lagi hingga busa dan emulsi air kedalam biodiesel ter-eliminir. Dalam trial and error, untuk mencuci castor methyl ester dengan menggunakan cuka yang cukup kuat (25%) sebanyak 7mL per liter jumlah mixture maka akan diperoleh pencucian yang lebih mudah untuk dipisahkan antara air dan minyaknya serta akan diperoleh PH sekitar 7. Foto 4.2. dan 4.3. adalah hasil pencucian dengan menggunakan bubble techniques. Foto 4.2 adalah hasil pencucian dengan menggunakan cuka dengan kadar 25% yang banyak dibeli dipasaran. Dalam pencucian ini banyak ester yang ter-emulsi dengan deswater. Apabila menemui kasus seperti ini maka diperlukan teknik pengeringan sedikit ekstra yaitu memanasi emulsion fuel dengan temperatur kira-kira 130°C. Foto 4.3 adalah

hasil pencucian dengan memperkuat kadar cuka, dengan menggunakan trial and error maka diperoleh jumlah cuka yang perlu dicampurkan sehingga optimum.

4.2. Karakteristik Biodiesel

Dua karakteristik yang berbeda dilaporkan dalam penelitian ini yaitu karakteristik dari biodiesel dari minyak jarak dan karakteristik biodiesel dari minyak sawit. Minyak sawit karakteristiknya mirip-mirip yang dilakukan oleh *Masjuki dkk, 1996* dan *Sapuan dkk, 1996*. Physical properties dari biodiesel yang diproduksi dari kelapa sawit ternyata tidak jauh berbeda dengan minyak solar produksi Pertamina. Sedangkan minyak solar produksi Pertamina ini juga mirip dengan standard ASTM D 975-81 pada jenis No.2-D. Atau kalau di padankan dengan spesifikasi standard British BS 2869 - 1983 untuk jenis non marine use mirip dengan Class A 2. Hanya saja sawit methyl ester mempunyai spesifik gravitasi lebih rendah dan juga viskositasnya sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar. Hasil yang sama juga diperoleh oleh *Masjuki dkk (1996)*. *Graboski dan McCormick, 1998* juga memberikan laporan yang sama untuk palm oil methyl ester. Hasil penelitian diperoleh dengan spesifik gravitasi rata-rata sebesar 0.88, sama persis dengan yang dilaporkan oleh *Pischinger dkk, 1982*. Sedangkan viskositas kinematik rata-ratanya adalah 4.88 cSt mirip hasil dari *Masjuki dkk, 1996* dengan tebaran hasil eksperimen antara 3.95 – 6.8 cSt. Munculnya tebaran viskositas ini kemungkinan disebabkan karena bahan baku yang tidak stabil atau juga karena dalam proses esterifikasi yang menghasilkan produk yang sedikit berbeda, walaupun material bahan bakunya sama. Besar kecilnya viskositas diperlihatkan pada jumlah glyserol yang diproduksi pada saat proses esterifikasi. Faktor ketelitian manusia juga menimbulkan hasil yang berbeda, misalkan dalam menimbang bahan-bahan yang digunakan dalam pemrosesan biodiesel. Secara visual dapat dilihat bahwasannya warna dari methylester yang diperoleh akan memberikan hasil viskositas yang berbeda, semakin gelap warna metyl ester maka viskositasnya semakin tinggi. Kecenderungan ini dapat dilihat juga dengan glyserol yang terbentuk, semakin gelap menunjukkan bahwa kandungan glyserol yang dapat dipisahkan tidak optimum sehingga berpengaruh pada densitas dan viskositasnya. Tabel 4.1 adalah hasil karakteristik lengkap dari beberapa bahan bakar serta hasil komposisi dengan minyak solar. Sedangkan tabel 4.2 adalah properties dari biodiesel dengan minyak diesel. Karakteristik yang tidak

kalah penting pada bahan bakar motor diesel ialah angka cetana. Menurut *Masjuki 1996*, Indeks cetana dari palm methyl ester lebih rendah. Namun menurut *Graboski dan McCormick, 1998* angka cetananya setara. Untuk Palm methyl ester adalah 50, sedangkan No. 2 diesel antara 40-52. *Pischinger dkk, 1982* melaporkan sebesar 62 dan *Masjuki dkk 1996* memberikan kisaran antara 50-52

Angka cetana dapat diukur dengan mengukur igniton delaynya, biodiesel tidak bisa diukur dengan menggunakan Index cetana (*Graboski and McCormick, 1998*). Index cetana diukur berdasarkan aromatisitas dari bahan bakar, sedangkan biodiesel tidak memiliki kompon aromatik. Sebenarnya ada formula lain seperti yang telah dilakukan oleh *O'Connor dkk, 1992*. namun dalam pemodelannya diperlukan komposisi kimia yang menyatakan perbandingan antara CH_2 dengan CH_3 . Dalam laporan ini belum dapat dilaporkan komposisi kimia dari methyl ester dari minyak sawit dan jarak sehingga pengukuran angka setana tidak dilaporkan.

Karakteristik castor methyl ester sedikit berbeda, terutama viskositas kinematiknya. Viskositas kinematik rata-2nya adalah 16.3 cSt, kisarannya antara 12 – 22 cSt. Viskositas ini diukur pada temperatur 40 ° C. Pengaruh temperatur bahan bakar terhadap viskositas telah diamati secara ekperimental dengan menggunakan viscometer model B, Tokimec.

4.3. Blending biodiesel dengan Minyak Solar dan Minyak Diesel

Blending dari biodiesel ini menjadi penting dibicarakan karena sudah banyak bahan baku biodiesel yang tidak sejenis. Sedangkan setiap bahan baku yang berbeda mempunyai karakteristik yang berbeda sehingga apabila kita ingin menyampur dua jenis biodiesel belum tentu cocok atau bahkan tidak dapat tercampur dengan baik. Cara yang baik untuk memepelajari karakteristik dari biodiesel adalah dengan eksperimen namun *Clements, 1996* telah mengembangkan suatu spesifikasi biodiesel yang akan menjamin performance nya tanpa melihat dari mana sumber trigliserolnya. Selama ini properties dari suatu biodiesel selalu ditentukan berdasarkan percobaan kimiawi. Namun demikian dimungkinkan mendapatkan properties dari campuran biodiesel secara aljabar.

Hampir semua literatur mengatakan bahwa biodiesel dapat larut kedalam minyak solar. Palm methyl ester dapat larut dengan baik tanpa terjadi separasi baik untuk B10 dan B20. Castor methyl ester juga dapat larut pada minyak solar, namun selalu

terjadi separasi setelah pengadukan. Percobaan dilakukan dengan mengemulsikan 20% castor methyl ester dengan minyak solar dengan menambahkan surfactant. Dalam pengemulsian digunakan Twin 80 dan Span 60. Meskipun percobaan dilakukan dengan menambahkan surfactant hingga 10 % namun tetap saja terjadi separasi. *Puppung, 1985 dan 1986* juga melaporkan bahwa minyak jarak tidak dapat larut dengan minyak solar.

Percobaan dilanjutkan dengan solution technique, dalam percobaan diperoleh hasil bahwa kedua bahan bakar dapat larut tanpa separasi apabila temperatur dipanaskan hingga 50° C. Castor methyl ester kurang baik apabila diblending dengan minyak solar, kemungkinan disebabkan perbedaan viskositas yang terlalu besar. Castor methyl ester dapat larut sempurna dengan MDO (*Marine Diesel Oil*) atau dalam produk Pertamina adalah minyak diesel. Didalam percobaan B20 Castor methyl ester tidak mengalami separasi, seperti halnya blending palm methyl ester dengan minyak solar.

Berkaitan dengan usaha *Clements, 1996* dalam penelitian ini dilakukan percobaan dengan melarutkan antara palm methyl ester dengan Castor methyl ester dan hasilnya sangat mengejutkan, bahwa kedua biodiesel tersebut dapat larut dengan baik. Dengan mencoba mencampur 50-50% biodiesel maka hasilnya tidak terjadi separasi. Percobaan terus dilanjutkan dengan mencampur komposisi 50-50 palm-castor methyl ester dengan minyak solar produksi Pertamina. Pertamkali dibuat 50-50 palm-castor methyl ester, hasil perpaduan dari kedua biodiesel tersebut kemudian di campur dengan minyak solar. Hasilnya adalah tidak terjadi separation, berarti penyebab utamanya adalah karena perbedaan viskositas yang terlalu tinggi. Dengan mencampur 50-50 palm-castor methyl ester diperoleh campuran yang dapat larut dengan baik, tentu saja hasil perpaduan ini akan membentuk larutan dengan viskositas baru yang lebih rendah dengan castor methyl ester. Hasil perpaduan ini memberikan dampak terhadap terwujudnya perpaduan antara castor methyl ester dengan minyak solar Pertamina.

Blending minyak nabati dan minyak bumi akan mempengaruhi viskositasnya. Viskositas kinematik pada temperatur 40° C untuk 20% palm methyl ester dihasilkan 2,88 cSt. Sedangkan 20% castor methyl ester menghasilkan viskositas kinematik 3.8 cSt, adapun MDO dengan 20% castor methyl ester diperoleh 6.85 cSt. Sedangkan 20% dari 50-50 Castor-palm methyl ester dicampur dengan minyak solar

menghasilkan viskositas kinematik sebesar 3.35 cSt. Dari percobaan ini maka dapat diambil kesimpulan bahwa semua jenis bahan bakar dapat dipergunakan untuk memutar diesel engine. Secara komersial castor methyl ester sangat bagus untuk menggantikan minyak diesel atau dipasaran digunakan istilah MDO sedangkan palm methyl ester menggantikan minyak solar.

BAB V

UNJUK KERJA MOTOR DIESEL STANDARD

Unjuk kerja motor diesel dipelajari setelah dilakukan pra-eksperimen, dalam pra-eksperimen ini telah dipelajari unjuk kerja motor diesel dengan menggunakan bahan bakar minyak solar. Cara mempelajarinya ialah dengan mengoperasikan engine secara menyeluruh. Hasil percobaan ini dapat menentukan performance engine, terutama letak beban penuh pada masing-masing putaran. Dari hasil evaluasi dipilih putaran engine dimana torsi maksimum dan putaran engine pada daya maksimum. Dalam hal ini telah dipilih putaran 1300 rpm untuk torsi maksimum dan Daya maksimum pada putaran 1400 rpm. Prestasi engine inilah yang digunakan untuk membandingkan dalam berbagai bahan bakar. Pelaksanaan percobaan secara detail dapat dibaca pada lampiran IV.

Dalam membandingkan prestasi engine, dititik beratkan pada emisi gas buang yaitu NO_x dan particulate. Pengukurannya dipergunakan 13-mode seperti yang dipergunakan pengukuran di Amerika, yang telah diadopsi juga di Eropa. Agar lebih lebih jelas baca juga pelaksanaan percobaan pada lampiran IV.

Seperti yang telah disampaikan dalam bab metodologi, performance yang dibandingkan adalah prestasi engine dalam perolehan daya, torsi, kebutuhan bahan bakar spesifik, BSNO_x dan BSPM pada putaran konstan. Karena dalam pra-eksperimen telah dipelajari unjuk kerja motor diesel yang digunakan, maka dalam membandingkan performance hanya digunakan titik-titik tertentu saja dimana dalam penentuannya mengacu pada 13-mode.

5.1. Daya Engine.

Daya engine diperoleh pada engine dengan putaran 1400 rpm. Dengan menggunakan bahan bakar konvensional (B00), power yang dicapai adalah 8.5 kW. Palm Methyl Ester 10% (PME B10) mengalami penurunan daya sebesar 5.88%, dimana daya maksimum yang dicapai adalah 8 kW. Gambar no 5.2 pada putaran 1400 rpm menunjukkan bahwa beban penuh terjadi pada 8 kW. Dari sini dapat ditentukan bahwa power pada PME B10 mengalami penurunan sebesar 5.88%. sangat berbeda dengan Palm methyl Ester 20% (PME B20). Daya pada beban penuh dicapai pada 9.5 kW, sehingga mengalami kenaikan sebesar 11.76%. Periksa pada putaran 1400 rpm pada gambar no 5.3. Pada Palm methyl ester 100%

(PME B100), power drop hingga 5.88%, sama seperti pada PME B10. Penurunannya dapat dilihat pada gambar no 5.4 dengan putaran 1400 rpm.

Berkebalikan dengan Palm Methyl Ester, Castor Methyl Ester pada 10% mengalami peningkatan daya, yaitu 9 kW pada beban penuh. Apabila dibandingkan dengan bahan bakar konvensional maka peningkatannya sebesar 5.88%. Adapun CME B20 yaitu 20% Castor Methyl Ester tidak mengalami perubahan prestasi. CME B100 mengalami peningkatan daya sebesar 11.76%. Beban penuh dicapai pada daya 9.5 kW. Gambar 5.6 dan gambar 5.7 berturut-turut prestasi CME B20 dan CME B100 pada putaran 1400 rpm.

Perbedaan daya-daya ini cukup dimaklumi, karena bergesernya prestasi engine sangat dipengaruhi oleh banyak faktor yaitu karakteristik bahan bakar, disain sistem bahan bakar dan bentuk ruang bakar. Beban engine juga turut mempengaruhi prestasi engine. Kesemua itu akan mempengaruhi proses pembakaran engine. Intisari dari prestasi ini adalah terletak pada ignition delay, dimana ignition delay ini sangat dipengaruhi oleh physical dan chemical delay. Physical delay dipengaruhi oleh proses atomisasi bahan bakar. Atomisasi ini dipengaruhi viskositas dan densitas bahan bakar. Diameter nozzle serta penetrasi injektor juga ikut berperan dalam mempercepat physical delay. Periksa juga *Zuhdi dkk 1995* dan *Stone 1992*.

Berdasarkan analisa seperti tersebut diatas maka PME B20 sangat cocok dengan engine standart. CME B100 juga diperoleh prestasi yang sangat menguntungkan. Dalam percobaannya CME B100 dilakukan preheater sebesar 50°C. Dari hasil eksperimen karakteristik bahan bakar castor methyl ester sangat dipengaruhi oleh temperatur. Densitas CME sangat mudah berkembang apabila temperatur ditingkatkan. Perubahan density ini sangat berpengaruh terhadap viskositas kinematik bahan bakar CME. Kemungkinan peningkatan prestasi dari castor methyl Ester akibat perlakuan pemanasan pada bahan bakar.

5.2 Torsi

Torsi maksimum diperoleh pada putaran engine 1300 rpm. Torsi maksimum ini ditetapkan pada saat pra-eksperimen. Dengan menggunakan bahan bakar konvensional (B00). 100% Torsi ditetapkan pada 36.6Nm, walaupun pada pra-eksperimen torsi dapat dicapai hingga 46.67 Nm, namun dalam penentuan 100%

load didasarkan pada torsi yang mempunyai konsumsi bahan bakar optimum. Karena dalam pengujian 13 mode, pengujian didasarkan pada saat 100% beban pada putaran dimana torsi mencapai maksimumnya dan putaran dimana daya juga mencaapai maksimum.

Penggunaan PME B10 torsi beban penuh dicapai sebesar 34.3 Nm dalam hal ini mengalami penurunan 6.22%. Adapun PME B20 lebih kecil lagi yaitu mencapai 32 Nm, yaitu mengalami penurunan sebesar 12.5 %. Sedangkan PME B100 torsinya mencapai 33.88 Nm yang dalam hal ini turun 7.5% dari bahan bakar konvensional.

Torsi tidak mengalami penurunan prestasi dengan menggunakan bahan bakar castor methyl ester. Prestasi dari semua komposisi mirip-mirip apabila dibandingkan dengan bahan bakar konvensional. Pada gambar 5.6, 5.7 dan 5.8 putaran 1300 rpm adalah prestasi CME. Pada kondisi optimum diperoleh harga torsi yang tidak mengalami perubahan apabila dibandingkan dengan bahan bakar konvensional..

Melihat trend diatas maka PME sangat rentan terhadap torsi. Sedangkan CME sama sekali tidak terpengaruh terhadap torsi. Semua komposisi bahan bakar sangat bagus dalam menghadapi torsi. Dengan memperhatikan hasil yang dicapai ini maka CME sangat handal untuk dipergunakan pada medan berat. Pada medan yang sangat berat dibutuhkan torsi yang besar dan CME memberikan prestasi yang bagus dalam prestasi torsinya. Dalam praktek torsi dipergunakan untuk meningkatkan kecepatan, untuk melawan hambatan-hambatan, untuk menerima beban yang berat dan lain sebagainya. Untuk melawan beban-beban semacam diatas diperlukan torsi yang besar.

5.3. Kebutuhan bahan Bakar Spesifik.

Gambar 5.1 adalah grafik spesifik bahan bakar pada bahan bakar konvensional. Bahan bakar pada beban penuh diperoleh dengan 360 g/kWh pada putaran 1300 rpm sedangkan pada putaran 1400 rpm diperoleh sfoc sebesar 400 g/kWh. Prestasi ini akan dipergunakan untuk membandingkan terhadap semua bahan bakar yang dipergunakan.

Semua PME mengalami penurunan prestasi sfoc. Prestasi terjelek dicapai pada B100. Pada putaran 1300 rpm prestasi menurun rata-rata sebesar 14.9%,

sedangkan pada putaran 1400 rpm mengalami penurunan rata-rata sebesar 24.57%. Prestasi yang paling dekat dengan bahan bakar konvensional adalah B10 perbedaan rata-ratanya 4.55% pada putaran 1300 rpm. Sedangkan putaran 1400 rpm mempunyai selisih rata-rata 7.33%.

CME B100 juga mempunyai penurunan yang signifikan. Sama seperti PME penurunannya cukup besar yaitu rata-rata 20.38% pada putaran 1300 rpm. Sedangkan untuk 1400 rpm menurun rata-rata sebesar 5.94%. B20 pada putaran 1400 rpm prestasi lebih baik dari bahan bakar konvensional dengan selisih rata-rata sebesar 1.59% lebih baik, meskipun pada putaran 1300 rpm masih lebih buruk yaitu perbedaan rata-ratanya 6.37%. CME B10 mempunyai prestasi yang lebih baik dibandingkan dengan B20. Pada putaran 1300 rpm selisih rata-ratanya sebesar 0.44% lebih buruk, sedangkan pada putaran 1400 rpm mempunyai perbedaan yang cukup signifikan. Prestasi yang dicapai adalah 4.44% lebih baik dibandingkan dengan bahan bakar konvensional. Agar lebih jelas dapat dilihat pada gambar 5.5 dan 5.10.

Prestasi CME B10 lebih baik, kemungkinan terjadinya karena pada komposisi ini karakteristiknya sesuai dengan desain sistem bahan bakar dan disain ruang bakar. Sehingga diperoleh karakteristik bahan bakar yang sangat menguntungkan. Dengan demikian maka kuantitas bahan bakar yang terinjeksi kedalam ruang bakar membentuk atomisasi yang paling baik. Dengan keadaan ini maka diperoleh pembakaran yang sempurna, artinya semua bahan bakar hampir terbakar semua sehingga diperoleh konsumsi bahan bakar yang semakin hemat. Peristiwa yang sama juga dialami oleh *Zuhdi dkk 1995*.

Pada B100 penurunannya sangat signifikan, penurunan ini diperkirakan oleh karakteristik bahan bakar. Dua karakteristik bahan bakar yang kurang menguntungkan apabila B100 digunakan pada diesel engine. Pertama adalah viskositas yang terlalu tinggi, sehingga proses atomisasi yang kurang bagus. Proses atomisasi yang kurang bagus ini akan menyebabkan unburn bahan bakar sehingga konsumsi bahan bakar naik (*Zuhdi dkk, 1996*). Kedua adalah Nilai kalor dari B100 yang lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar konvensional, apabila nilai kalornya kecil maka diperlukan kuantitas bahan bakar yang lebih banyak (*Graboski dan McCormick, 1998*). Cara mengatasi penurunan prestasi ini adalah dengan melakukan preheater. Prestasi CME lebih baik dibandingkan dengan PME. Hal ini

sangat mudah dianalisa karena pada B100 CME bahan bakarnya dipanasi dulu hingga 50°C. Atau diusahakan dengan blending seperti yang telah dilakukan pada eksperimen ini.

5.4. NO_x

Diesel engine standart dengan bahan bakar konvensional mempunyai karakteristik yang spesifik. NO_x menurun dengan peningkatan beban. Pada 10% beban diperoleh produksi NO_x tertinggi dan menurun hingga mencapai produk yang rendah pada 100% beban. Peningkatan putaran akan meningkatkan produksi NO_x. Putaran 1400 rpm memproduksi NO_x yang lebih besar dibandingkan 1300 rpm. Gambar 5.18 adalah prestasi dari diesel engine standart dengan bahan bakar konvensional (B00).

PME B100 mempunyai trend yang sama seperti minyak solar. Peningkatan beban menurunkan produksi NO_x. Peningkatan putaran juga menurunkan NO_x nya. Dibandingkan 1400 rpm, penurunan NO_x pada putaran 1300 rpm lebih tajam. CME B100 juga mempunyai trend yang mirip dengan PME B100. Keduanya mempunyai prestasi yang hampir sama. Agar lebih jelas perhatikan gambar 5.20 dan 5.22, berturut-turut prestasi dari PME B100 dan CME B100. Pada putaran dimana torsi mencapai maksimum produk NO_x sangat berbeda dengan putaran dimana daya mencapai maksimum. Gambar 5.32 adalah perbandingan B00 dengan CME B100 dan PMEB100. Pada putaran engine dimana torsi mencapai maksimum ini produksi NO_x pada beban rendah B00 lebih baik dibandingkan dengan B100, namun pada beban penuh hasilnya sangat berlawanan. Kedua jenis biodiesel yaitu CME dan PME mempunyai trend yang mirip walaupun PME trendnya sedikit lebih baik. Pada putaran engine dimana daya mencapai maksimum, perbedaan produksinya sangat menyolok. Cukup dimaklumi karena B00 meningkat produksinya sedangkan B100 menurun, sehingga produksinya sangat berbeda jauh. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 5.34. Pada putaran 1400 rpm ini NO_x yang diproduksi oleh bahan bakar konvensional sangat berbeda jauh. Kedua jenis biodiesel produknya sangat rendah dan perbedaannya lebih dari separuhnya.

CME B10 trendnya sama seperti jenis bahan bakar sebelumnya, perbedaannya hanya terletak pada besarnya produk. Peningkatan putaran tidak begitu berpengaruh, kecuali pada beban rendah saja. Pada beban tinggi besarnya perbedaan tidak begitu

nyata. PME B10 trendnya mirip benar dengan CME B10, untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 5.24 dan 5.26. Dari kedua gambar tersebut bisa ditunjukkan bahwa keduanya mempunyai trend yang benar-benar mirip. Barang kali yang membedakan diantara keduanya adalah besarnya produk saja. Apabila dibandingkan dengan B00, pada beban rendah perbedaannya tidak begitu nyata, namun semakin ditingkatkan beban maka perbedaannya semakin nyata. Gambar 5.40 adalah trend dari PME B10 dan CME B10 dibandingkan dengan B00, putaran enginernya 1300 rpm dimana pada keadaan ini torsi mencapai maksimum. Kalau kita memperhatikan gambar 5.42 prestasinya sedikit berbeda dengan putaran 1300 rpm. Pada putaran 1400 rpm daya engine mencapai maksimum. Perbedaan produksi NO_x sangat nyata, B00 produknya sanagt tinggi sedangkan B10 jauh dibawahnya. Dibandingkan dengan PME B10, CME B10 masih sedikit lebih besar pruksinya.

NO_x dari CME B20 dapat ditunjukkan pada gambar 5.28 sedangkan untuk PME B20 bisa dilihat pd gambar 5.30. Perbedaan antara putaran 1300 rpm dengan 1400 rpm pada CME B20 sangat besar. Peningkatan putaran akan menurunkan produksi NO_x nya. PME B20 sangat berbeda dengan CME B20, peningkatan putaran tidak memberikan perbedaan yang tajam, bahkan bisa dikatakan tidak meningkatkan produknya sama sekali. Kalau dibandingkan dengan B00 maka B20 masih lebih baik. Kedua putaran yaitu 1300 rpm dan 1400 rpm mempunyai perbedaan yang sangat signifikan. Gambar 5.36 dan 5.38 adalah perbandingan B20 dengan B00. Keduanya mempunyai perbedaan yang nyata, putaran 1400 rpm perbedaannya paling besar.

Komposisi juga mempengaruhi prestasi produktivitas NO_x nya. Pada eksperimen ini hanya di bandingkan pada komposisi B10, B20 dan B100. Baik CME maupun PME trendnya sama kecuali pada engine putaran 1400 rpm dengan bahan bakar CME. Pada putaran 1300 rpm, produk tertinggi dicapai oleh B100 kemudian B10 kemudian B20 memproduksi NO_x terendah. Sedangkan pada putaran 1400 rpm patrennya berbeda, produk NO_x tertinggi dihasilkan oleh B10 kemudian B100 dan B20 merupakan produk terendah. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 5.44 dan 5.46. PME putaran 1300 rpm sama trendnya dengan CME putaran 1300 rpm yang mana berturut-turut B100, B10 dan B20 memproduksi NO_x yang semakin menurun. Pada putaran 1400 rpm PME dan CME urutannya berbeda,

PME prestasinya sama seperti pada putaran 1300 rpm. Pada putaran 1400 rpm ini perbedaannya tidak begitu besar, bahkan pada beban rendah perbedaannya tidak signifikan. Prestasi dari pengaruh komposisi dari PME dapat dilihat pada gambar 4.48 dan 4.50.

5.5. SPM

Suspendate particulate matter (SPM) merupakan produk emisi yang diperundangkan dalam peraturan pemerintah di setiap negara baik negara maju maupun berkembang, dan organisasi internasional juga memberlakukan peraturan emisi gas buang yang diperkenankan. Gambar 5.19 adalah SPM yang diproduksi diesel engine dengan bahan bakar konvensional (B00). Penambahan beban akan meningkatkan produk dari partikelnya. 10% beban memproduksi SPM terendah sedangkan produk tertinggi pada beban 100%. SPM dari minyak solar ini akan digunakan sebagai bahan pembanding untuk menilai karakteristik biodiesel.

PME B100 putaran 1300 rpm trendnya berbeda dengan putaran 1400 rpm. Peningkatan beban pada putaran 1300 rpm akan menurunkan produk SPM. Pada putaran 1400 rpm kebalikannya, dimana produknya meningkat dengan semakin tinggi beban yang diberikan. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 5.21. CME B100 mempunyai produk PSM yang berbeda dengan PME B100. SPM putaran 1300 rpm mula-mula meningkat setelah 50% beban produknya menurun kembali. Sedangkan pada putaran 1400 rpm produknya menurun seiring dengan peningkatan beban yang diterimanya. Gambar 5.23 adalah prestasi dari CME B100. Apabila dibandingkan dengan B00 maka kedua putaran mempunyai trend yang sangat berbeda. Kedua putaran ini trendnya tidak sistematis. Pada putaran 1300 rpm misalnya, B00 semakin meningkat produk SPMnya seiring dengan peningkatan beban. CME B100 sangat tidak beraturan, mula-mula meningkat setelah 50% beban menurun. Sedangkan PME B100 produknya menurun dengan peningkatan beban. Pada putaran 1400 rpm hanya CME B100 yang produknya menurun dengan penambahan beban, sedangkan PME B100 dan B00 kebalikan dari CME B100. gambar 5.33 dan 5.35 adalah perbandingan prestasi engine dalam memproduksi SPM.

SPM dari CME B10 dapat dilihat pada gambar 5.25. Pada gambar tersebut tidak nampak nyata perubahan produk SPM dengan peningkatan beban. Kedua

putaran sedikit terjadi peningkatan produksi SPM walaupun tidak terlalu besar. Gambar 5.27 adalah produksi SPM dari PME B10. Pada 1300 rpm produksinya tidak terlalu nampak perbedaannya dengan menambah beban. Namun pada putaran 1400 rpm pada 100% beban peningkatannya sangat jauh lebih besar. Pada putaran 1300 rpm, apabila kita bandingkan dengan B00 maka baik CME dan PME B10 mempunyai prestasi yang lebih baik. Prestasi terbaik dicapai oleh CME B10, kemudian PME B10, baru kemudian B00. Prestasi ini dapat dilihat pada gambar 5.41. Putaran 1400 rpm, prestasi terbaik dicapai oleh CME B10 juga. Adapun PME B10 dengan B00 trendnya sama yaitu pada beban 100% perobahan SPMnya sangat tinggi. Gambar 5.41 adalah prestasi pada putaran 1400 rpm.

Baik putaran 1300 rpm maupun 1400 rpm CME B20 produk SPM nya meningkat dengan peningkatan beban. PME B20 dengan putaran 1300 rpm juga meningkat produk SPM nya dengan bertambahnya beban. Namun pada putaran 1400 rpm peningkatannya sangat tipis, sehingga peningkatannya kurang signifikan. Perbedaan antara putaran 1300 rpm dengan 1400 rpm sangat jauh. Gambar 5.29 adalah prestasi dari CME B20 dan gambar 5.31 adalah prestasi dari PME B20. Dengan putaran 1300 rpm, apa bila kita bandingkan dengan B00 maka prestasi CME B20 paling baik kemudian diikuti PME B20 dan B00 prestasinya paling buruk. Prestasi ini dapat dilihat pada gambar 5.37. Sedangkan pada putaran 1400 rpm dapat dilihat dari gambar 5.39. PME B20 prestasinya paling baik kemudian diikuti dengan CME B20. Kedua biodiesel ini perbedaan prestasinya tidak begitu jauh, namun apabila dibandingkan dengan B00, pada beban 100% perbedaannya sangat jauh sekali.

Pengaruh komposisi CME terhadap prestasi produksi SPM dapat dilihat pada gambar 5.45 dan 5.47. B100 prestasinya sangat buruk sedangkan B10 dan B20 perbedaannya tidak begitu jauh. Dari kedua gambar dapat disaksikan perbedaannya. Putaran engine agaknya tidak berpengaruh banyak terhadap produksi SPM. Penambahan beban juga tidak terjadi perobahan produksi yang signifikan. SPM dari komposisi PME sedikit berbeda dengan CME. Pada putaran 1300 rpm, PME B100 berbeda dengan B10 dan B20. B100 menurun produknya dengan penambahan beban sedangkan B10 dan B20 meningkat sedikit demi sedikit dengan penambahan beban. Pada putaran 1400 rpm B10 mempunyai prestasi

terburuk. Pada beban penuh produk SPMnya sangat tinggi. Prestasi pengaruh komposisi PME dapat dilihat pada gambar 5.49 dan 5.51.

5.6. BSNO_x DAN BSPM

BSNO_x dan BSPM merupakan persyaratan dari motor diesel yang harus dipenuhi. Semua negara mengeluarkan standart US Standart, Eropa Barat, Jepang bahkan international organization seperti IMO (International Maritime Organization) juga mengeluarkan standart. American standard memberikan produk BSNO_x maksimum 5g/kWh dan BSPM maksimum adalah 0.1 g/kWh. Pada penelitian ini kita akan evaluasi emisi gas buang berdasarkan peraturan yang memberikan seperti diatas. Standard seperti diatas adalah peraturannya di Eropa barat, US dan Jepang.

BSNO_x tidak menjadikan masalah pada diesel engine dengan bahan bakar konvensional. Meskipun rata-rata masih relative lebih tinggi namun masih memenuhi persyaratan emisi gas buang kecuali pada putaran 1400 rpm pada beban 10% yang memproduksi sebesar 5.3 g/kWh. Hampir BSPM tidak dapat memenuhi persyaratan peraturan. Bahkan hanya dapat dipenuhi oleh prestasi 75% beban dari putaran 1400 rpm. Yang lainnya masih belum memenuhi persyaratan. Rata-rata BSPM yang diproduksi kurang dari 0.2 g/kWh jadi hanya perlu sedikit modifikasi engine apa bila kita ingin memperoleh BSPM yang dapat memenuhi persyaratan. Prestasi BSNO_x dan BSPM dapat dilihat pada gambar 5.52 dan 5.53.

BSNO_x dan BSPM dari PME B100 dapat dilihat pada gambar 5.54 dan 5.55. BSNO_x tidak ada masalah dengan peraturan, namun BSPM masih ada beberapa beban yang tidak dapat memenuhi persyaratan. Permasalahan hanya pada beban rendah yaitu pada beban 10 dan 25 % saja. CME B100 juga tidak ada masalah dengan BSNO_x justru BSPM pada semua titik masih cukup tinggi, apabila kita ingin mempergunakan sebagai bahan bakar perlu penanganan yang cukup serius. Prestasi BSNO_x dan BSPM dapat dilihat pada gambar 5.56 dan 5.57. Apabila kita bandingkan dengan B00 BSNO_x masih jauh lebih baik, masalahnya adalah terletak pada BSPM terutama pada beban rendah perlu perlakuan khusus. Gambar 5.66, 5.67, 5.68 dan 5.69 adalah prestasi dari semua bahan bakar yang murni yaitu B00 dan B100.

BSNO_x dari CME B10 juga tidak ada permasalahan, BSPM hanya pada beban rendah aja yang menjadi pusat perhatian karena pada beban yang tinggi rata-rata sudah memenuhi persyaratan. Gambar 5.58 dan 5.59 merupakan produksi yang dihasilkan oleh CME B10. PME B10 juga tidak ada permasalahan pada BSNO_x, akan tetapi masih banyak permasalahan di BSPMnya. BSPM yang memenuhi persyaratan hanya ada pada putaran 1300 rpm dengan beban 75 dan 100% beban saja. Prestasi dari PME B10 dapat dilihat pada gambar 5.60 dan 5.61. Kalau dibandingkan dengan B00 maka BSPM merupakan problem yang perlu diperhatikan, meskipun rata-rata lebih baik apabila dibandingkan dengan B00 namun masih perlu penurunan BSPM agar persyaratannya terpenuhi. Hasil dari BSNO_x dan BSPM dari CME B10 serta PME B10 dapat dilihat pada gambar 5.74, 5.75, 5.76 dan 5.77.

BSNO_x dan BSPM dari CME B20 dapat dilihat pada gambar 5.63 dan 5.64. Gambar 5.65 dan 5.66 adalah BSNO_x dan BSPM dari PME B20. Seperti komposisi yang lainnya permasalahannya adalah terletak pada particulate matter. Pada beban besar yaitu diatas 50% beban tidak ada masalah. Problem yang muncul adalah BSPM pada beban rendah yaitu terletak pada beban 10 dan 25% beban. BSPM dari PME B20 dengan putaran engine 1300 rpm merupakan problem yang cukup serius, karena pada semua beban tidak ada yang memenuhi persyaratan. Meskipun penurunannya tidak terlalu tinggi namun perlu penanganan tersendiri. Apabila dibandingkan dengan B00, permasalahannya terletak pada penurunan BSPM. Pada putaran 1300 rpm beban rendah B20 masih lebih buruk dibandingkan dengan B00 namun sebaliknya B20 masih lebih baik dibandingkan B00. Gambar 5.70, 5.71, 5.72 dan 5.73 adalah perbandingan BSNO_x dan BSPM dari CME B20 dan PME B20.

Komposisi CME dan PME juga mempengaruhi performance BSNO_x dan BSPM. BSNO_x dari CME B100 lebih rendah dibanding dengan B10 dan B20. Namun BSPMnya jauh lebih buruk dari B10 dan B20, terutama pada beban rendah BSPMnya sangat tinggi dan perbedaannya semakin menyempit dengan penambahan beban. Gambar 5.78 dan 5.80 adalah BSNO_x dari pengaruh komposisi dari CME. Gambar 5.79 dan 5.81 adalah BSPM dari pengaruh komposisi CME. PME B20 juga tidak ada masalah dengan BSNO_x yang diproduksi. Masalah besar terletak pada BSPM dari putaran engine 1300 rpm,

sedangkan pada putaran 1400 rpm hanya pada beban rendah saja. Lihat juga gambar 5.83 dan 5.85. PME B100 perlu perhatian yang lebih khusus apabila dibandingkan dengan B10 dan B20 . Gambar 5.82 dan 5.84 adalah produksi BSNO_x yang sama dengan yang lainnya tak merupakan masalah terhadap peraturan setelah tahun 2000

5.7. Pembahasan

Produk dari biodiesel diperoleh dengan esterifikasi, dalam proses esterifikasi dipergunakan dengan esterifikasitype batch. Prototype dari esterifikasi type batch ini dapat dilihat pada gambar 4.4. Kapasitas dari prototype ini tidakterlalu besar, apabila dalam proses pembuatan biodiesel dilakukan pencucian langsung dengan menggunakan Allen and watts (96) technique maka produksi dari biodiesel hanya 6 liter maksimum per prosesnya. Namun apabila menggunakan bubble techniques makan dalam setiap pemrosesan menghasilkan duakali lebih besar. Hasil dari pemrosesan ini dimungkinkan karena apabila kita menggunakan Allen dan watts technique maka kita perlu menambahkan deswater sebesar 1:1. Oleh karena kapasitas reactor hanya kurang lebih 12 liter maka produk dari biodiesel yang dimungkinkan hanya 6 liter maksimum. Prototype ini dirancang dalam kapasitas riset dalam skala laboratorium sehingga produksinya tidak terlampau besar.

Reaktor esterifikasi dewasa ini sudah tidak asing lagi, bahkan sudah banyak yang menggunakan sebagai keperluan pribadi untuk memproduksi ester sendiri untuk keperluan motor dieselnya dirumah-rumah mereka. Diskusi di biodiesel@yahoo.groups banyak secara pribadi yang telah menggunakan minyak bekas (minyak jelantah) sebagai bahan bakar sehari-hari untuk menggerakkan motor diesel mereka. Mereka juga membuat reaktor dengan cara mereka masing-masing. Kembali pada masalah reaktor yang dibuat prototypenya, apabila digunakan dengan bubble techniques seperti yang dilakukan oleh Kac, 2001 dan Pelly, 2000 maka produksinya bisa 12 liter/proses.

Produksi minyak sawit (Palm Methyl Ester) tidak terlalu rumit seperti minyak jarak (Castor Methyl Ester). Minyak jarak mempunyai karakteristik bahan baku yang sedikit berbeda dibandingkan dengan sawit. Viskositasnya sangat tinggi sehingga apabila dibuat biodiesel yang direaksikan dengan methanol diperlukan volum yang lebih besar. Karena dalam pembuatan methyl ester diperlukan 15-20%

persatuan berat dari methanol. Densitas dari minyak jarak lebih tinggi sehingga komposisinya sedikit berbeda. Walaupun pembuatan biodiesel dari castor oil telah sukses namun perlu dikembangkan lagi agar diperoleh karakteristik yang lebih baik. Hasil akhir dalam pembuatan castor methyl ester hanya dapat mengambil glyseror sebesar 5.1-6.1 %. Walaupun jumlah glyseror yang diambil lebih sedikit namun penurunan viskositanya sangat banyak. Viskositas kinematik yang dicapai nya adalah 12-22 cS. Keuntungan yang diperoleh adalah produksi biodieselnnya lebih besar yaitu 84-92% dari bahan baku yang disediakan. Cek juga pada pie diagram ang diperlihatkan pada gambar 4.3 dan 4.3.

Kualitas Palm methyl ester yang diproduksi sangat mirip dengan yang distandardkan National Biodiesel Board. Namun begitu perlu juga dikembangkan pemrosesan yang lebih ekonomis. Masalah yang dihadapi dari palm methyl ester (PME) adalah tidak stabilnya viskositas. Kadang-kadang diperoleh viskositas yang rendah kadang-kadang diperoleh viskositas yang tinggi. Walaupun semua viskositas yang dihasilkan masih masuk dalam ring yang distandardkan oleh National Biodiesel Board namun diperlukan dicari solusi agar ringnya bisa diperkecil. Diperkirakan hasil ini dikarenakan ketidak stabilan dalam proses atau juga factor ketelitian komposisi serta waktu pemrosesan yang semuanya sangat berpengaruh dalam menghasilkan kualitas biodiesel.

Kualitas Castor Methyl Ester (CME) juga masih bervariasi, kualitas bahan baku diperkirakan penyebab utama. Teknik pemrosesan untuk membuat Castor Methyl Ester telah dikembangkan namun sampai tahap pertama ini dilakukan hasil yang diperoleh seperti yang dilihat pada table 4.1 dan table 4.2. Permasalahannya adalah jumlah glycerol yang bisa diambil hanya sekitar 5.1-6.1% saja sehingga viskositasnya masih lebih besar. Apabila menilik ring viskositas dihasilkan maka castor Methyl Ester mirip-mirip dengan minyak diesel produk Pertamina. Karakteristik yang kurang menguntungkan adalah teretak pada viskositas bahan bakarnya. Sedangkan karakteristik yang lainnya sangat bagus, titik tuang yang sangat rendah sangat menguntungkan dimana biodieselnnya tidak beku pada temperatur yang rendah dimana Palm Methyl Ester dapat membeku. Kelebihan lainnya adalah kepekaannya terhadap temperatur memberikan keuntungan dalam proses pembakaran. Castor Methyl Ester mudah berkembang sehingga densitasnya drop apabila dipanaskan.

Palm Methyl Ester mudah larut dengan minyak solar dan tidak menjadi masalah apa bila dicampur dengan bahan bakar ini dengan perbandingan komposisi berapapun, karena dapat larut sempurna. PME direkomendasikan untuk digunakakan sebagai supelemen sebagai penggerak motor diesel putaran tinggi. Sangat berbeda dengan Castor Methyl Ester (CME). Biodiesel ini tidak dapat larut sempurna dengan minyak solar. Sekalipun diemulsikan dengan menggunakan surfactant yaitu twin 80 dan span 60 dalam jumlah yang cukup besar tidak mampu untuk mengikat dua jenis bahan bakar ini. CME bias larut sempurna dengan minyak diesel produk pertamina. Kemungkinan masalah viskositas yang membuat kedua bahan bakar bisa larut dengan baik.

Umumnya biodiesel dapat larut dengan minyak solar perkecualian dengan dengan Castor Methyl Ester. Idea dari *Clements, 1996* yang memberikan informasi bahwa pada masa yang akan datang bahan baku biodiesel sangat bervariasi sehingga perlu untuk memodelkan karakteristik biodiesel. Idea ini mendorong untuk mencoba secara eksperimen mencampur kedua jenis biodiesel yaitu PME dan CME dalam dalam sebuah komposisi. Hasil dari eksperimen dapat larut sempurna dan tak terjadiseparation. Percamputan kedua jenis biodesel ini membentuk karakteristik biodiesel yang baru. Setidaknya dua kelebihan dari blending kedua jenis bahan bakar ini yaitu viskositasnya menjadi lebih moderat sedangkan titik tuangnya pun akan berdampak baik terhadap PME. PME yang dulunya mudah membeku pada temperatur rendah maka dengan percampuran ini titik tuangnya bisa diturunkan.

Keberhasilan memproduksi PME dan CME blend memberikan kesempatan dalam upaya untuk mempertemukan CME dengan minyak solar agar dapat larut sempurna. 50-50 PME dan CME blend ternyata dapat larut sempurna dengan minyak solar. Keberhasilan ini adalah kelebihan dari percampuran biodiesel. Dari hasil percampuran inilah CME dapat dilarutkan dengan solar dengan menggunakan PME sebagai surfactantnya. Dengan technique inilah permasalahan penggunaan CME dengan solar dapat diselesaikan dengan tanpa penambahan pengemulsi seperti Twin 80 dan span 60 yang akan menambah besar biaya.

Pada bab IV telah dipelajari karakteristik biodiesel hingga percampurannya. Dalam mempelajari telah dikembangkan secara eksperimen dan juga dengan menggunakan pemodelan. Tabel 4.1 dan 4.2 adalah hasil dari pemodelan untuk

bahan bakar yang di campur dalam komposisi 10 dan 20 %. Viskositas yang dihasilkan secara eksperimen sedikit berbeda apabila di bandingkan dengan pemodelan. Hal ini disebabkan dengan viskositas Pertamina yang bervariasi. Standard Pertamina memberikan viskositas kinematik sebesar 4.5. Angka ini yang dipergunakan untuk pemodelan secara matematik, sedangkan eksperimen digunakan minyak solar produk Pertamina yang beredar di Surabaya. Kemungkinan viskositas yang beredar lebih kecil dari standard yang diberikan sehingga hasil perhiyungan dan eksperimen sedikit berbeda hasilnya. Untuk lebih jelasnya lihat kembali besarnya viskositas secara eksperimen dan bandingkan dengan tabel 4.1 dan 4.2.

Dengan menggunakan 100% biodiesel tidak memberikan performance yang bagus. Konsumsi bahan bakar merupakan penurunan performance yang cukup memberika dampak. PME pada putaran dimana torsi mencapai maksimum meningkatkan konsumsi bahan bakar hingga 14.9% sedangkan pada mana daya mencapai maksimum terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar yang lebih besar yaitu 24.57%. CME 100% juga terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar untuk putaran dimana torsi mencapai maksimum memberikan peningkatan konsumsi sebesar 20.38% sedangkan pada putaran dimana daya mencapai maksimum sebanyak 5.93%. Meningkatnya konsumsi ini diperkirakan banyaknya unburn dari bahan bakar. Viskositas yang terlalu tinggi memberikan ketidak sempurnaan dalam proses atomisasi dan juga evaporasi. Kedua proses ini akan memperpanjang perobahan physis dari bahan bakar sehingga physical delaynya panjang. Ketidak sempurnaan dalam pembakaran juga menurunkan temperatur pembakaran sehingga untuk melawan beban yang dihadapi diperlukan bahan bakar yang lebih banyak. Hal ini ditunjukkan dengan temperatur gas buang yang lebih rendah dari B100. Disamping itu Particulate metter yang cenderung meningkat juga menandakan bahwa unburn dari bahan bakar lebih besar sehingga jumlah particulatenya lebih besar. Peningkatan particulate dari B100 lebih dari duakali lipat dibanding dengan menggunakan B00. kecenderungan ini menandakan bahwa banyak bahan bakar yang tidak sempat terbakar. Secara teoritis apabila biodiesel terbakar sempurna maka particulate metternya akan lebih kecil. Sepertinya untuk mengoperasikan diesel engine dengan 100% biodiesel kurang menguntungkan secara teknis dan ekonomis.

Penggunaan blending PME lebih memberikan keuntungan dibandingkan dengan 100% biodiesel. Dari segi konsumsi bahan bakar B20 masih lebih banyak dibandingkan dengan B00. besarnya penambahan konsumsi bahan bakar sekitar 12.76 –12.85%. B10 masih lebih baik dibandingkan dengan B20 dimana konsumsi bahan bakarnya mingkat antara 4.55-7.33 %. Penalti ini masih lebih baik dibandingkan dengan B100 dan B20. Sepertinya konsumsi bahan bakar akan meningkat dengan penambahan komposisi dari PME. Hala yang sangat menjanjikan adalah BSNO_x nya yang menurun sangat besar. Prestasisnya sangat baik sekali B20 dapat menurunkan BSNO_x rata-rata sebesar 59.18-70.06% dan 51.88-53.99 % rata-rata untuk B10. Permasalahan besar adalah terletak pada BSPMnya. BSPM yang masih lebih baik dari B00 adalah B20 dengan putaran engine 1400 rpm dimana BSPMnya lebih baik 26.16% selebihnya pada pengoperasian yang lainnya lebih buruk. B10 mengalami peningkatan BSPM sebesar 14.42- 22.33% sedangkan pada putaran 1300 rpm B20 meningkat sebesar rata-rata 30.18%. Dari ring beban yang diberikan 13 mode maka particulate matter masih belum bisa dipenuhi. Hasil ini sama seperti yang disampaikan oleh Graboski dan McCormic, 98. Dalam hal ini perlu upaya untuk menurunkan particulate tanpa mengalami kenaikan NO_x yang berarti.

CME B10 dan CME B20 merupakan performance yang lebih menjanjikan. Meskipun ditinjau dari karakteristik bahan bakarnya lebih menguntungkan apabila digunakan sebagai pengganti minyak solar atau dalam dunia international dikenal dengan Marine Diesel Oil (MDO) namun kenyataan memberikan performance lebih baik dibandingkan dengan PME secara umum. Keuntungannya adalah apabila dibandingkan dengan B00 secara rata-rata lebih baik. Hanya sebagian kecil saja dalam pengoperasiannya mempunyai performance yang lebih buruk dibandingkan dengan minyak solar (B00). Pada putaran engine 1300 rpm dimana torsi mencapai maksimum konsumsi bahan bakarnya lebih buruk sedikit yaitu 0.44% untuk B10 dan 6.37% untuk B20. Selebihnya adalah lebih baik. Pada putaran 1400 rpm dimana daya mencapai maksimum konsumsi bahan bakarnya menuru hingga 4.44% pada B10 dan 1.59% untuk B20. BSNO_x juga menurun antara 9.04-30.49% untuk B10 dan dua kali lipat untuk B20. BSPM juga mengalami penurunan sebesar 4.97-21.88 untuk B10 dan 8.64-14.74 untuk B20. Jadi secara umum CME B10 dan CME B20 mempunyai performance yang lebih menguntungkan dari semua bahan bakar

yang dipergunakan. Meskipun prestasinya paling baik masih perlu upaya menurunkan BSPMnya agar memenuhi peraturan yang berlaku. Tidak terlalu sulit untuk menurunkan hingga memenuhi peraturan karena hanya pada beban rendah serta tidak terlalu besar sehingga kemungkinan dampak terhadap BSNO_x tidak terlalu besar. Kasus yang dihadapi juga persis seperti yang dihadapi oleh *Graboski dan McCormick*,⁹⁸.

CME B10 mempunyai performance yang paling menguntungkan apabila ditinjau dari semua aspek performancinya. Satu-satunya performance yang lebih jelek adalah konsumsi bahan bakar pada putaran engine 1300 rpm saja dengan selisih yang tidak terlalu besar yaitu 0.44% saja, selebihnya prestasinya lebih baik. Perbedaan rata-ratanya tidak terlalu besar namun perbedaan yang merata merupakan performance yang sangat menguntungkan. CME B20 juga bagus namun ditinjau dari konsumsi bahan bakarnya yang tipis sekali perbedaannya dibandingkan dengan B00, bahkan kurang bagus untuk putaran 1300 rpm factor yang memberikan nilai kurang dari B20 ini. memang kalau dilihat dari emisinya baik BSNO_x maupun BSPM lebih baik dibandingkan dengan B10 namun selisih rata-rata yang merata ini membuat B10 memberikan keuntungan performance yang lebih menguntungkan.

BAB VI

UNJUK KERJA MOTOR DIESEL DENGAN MODIFIKASI

Unjuk kerja motor diesel dengan modifikasi sederhana telah dipelajari, oleh karena engine terdahulu telah mengalami kerusakan fatal maka tidak bisa digunakan lagi sebagai perbandingan. Dalam mempelajari unjuk kerja motor diesel yang dimodifikasi telah digunakan engine merk YANMAR-3ESDL, 4 langkah, indirect injection engine. Originalnya engine ini adalah aspirated namun dalam eksperimen dilakukan dengan menggunakan supercharged bertekanan 20 kpa. Sedangkan modifikasi sederhana dilakukan dengan memperlambat waktu penginjeksian dari keadaan standard BTDC 10° CA menjadi 8° CA. Hasil percobaan disampaikan terhadap dua masalah utama yaitu kinerja motor dan gas buang. Sekalipun unjuk kerja secara menyeluruh telah dipelajari namun konsentrasi analisis terletak pada NO_x dan partikel smoke, karena tujuan utama dari memodifikasi engine adalah pada emisi gas buang.

6.1. Unjuk Kerja Motor Diesel.

Combustion pressure dipengaruhi oleh pembebanan dan juga perubahan komposisi bahan bakar. Dengan memperlambat waktu penginjeksian bahan bakar juga berpengaruh pada combustion pressure. Penambahan beban meningkatkan tekanan pembakaran pada ruang bakar, namun kenaikannya tidak terlalu tinggi. Kalau kita melihat trend yang dialami maka proses pembakaran terkendalinya semakin besar. Komposisi bahan bakar sedikit sekali pengaruhnya terhadap kenaikan pembakaran pada ruang bakar, sehingga komposisi bahan bakar tidak signifikan berpengaruh pada motor diesel tipe indirect injection. Pada injection timing BTDC 10°CA perbedaannya hampir tidak nampak, untuk BTDC 8°CA walaupun perbedaannya sedikit namun kita dapat membedakannya. Penambahan komposisi bio-diesel akan meningkatkan proses pembakaran cepat. Gambar 6.1 hingga 6.6 adalah Combustion pressure dari berbagai bahan bakar pada beban penuh. Gambar 6.9 sampai 6.12 adalah perbedaan tekanan pembakaran pada proses pembakaran di ruang bakar. Gambar-gambar tersebut adalah tekanan injeksi pada full load. Dengan memperlambat waktu penginjeksian maka tekanan pembakaran akan menurun. Gambar 6.10 adalah karakteristik tekanan pembakaran pada diesel engine yang menggunakan 10/90 % volume dari bio-diesel dan minyak solar (selanjutnya disebut

sebagai BDF 10%). Sekalipun tekanan maksimumnya tidak sama pada masing-masing jenis bahan bakar namun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Pada injection timing -10 (BTDC 10 ° CA) tak nampak perbedaannya sama sekali kecuali penggunaan minyak solar (Gas Oil).

Efisiensi termal juga sedikit mengalami penurunan. Penambahan komposisi BDF juga menurunkan efisiensi termalnya. Pada penggunaan injection timing standard (BTDC 10°C A) BDF 10% menurunkan efisiensi rata-rata sebesar 2.03 %. Untuk BDF 20% sebesar rata-rata 1.85% dan BDF 50% sebesar rata-rata 3.9%. Memperlambat penginjeksian juga menurunkan efisiensi termal. Kalau di hitung berdasarkan minyak solar maka BDF 10 % mengalami penurunan sebesar 1.07 % pada injection timing BTDC 8°C A. BDF 20% menurun rata-rata sebesar 1.25, BDF 20% sebesar 1.05% dan untuk BDF 50% sebesar 1.98%. Gambar 6.25 adalah contoh efisiensi termal dari diesel engine dengan variabel bahan bakar pada waktu penginjeksian BTDC 10°C A. Sedangkan gambar 6.26 adalah efisiensi termal untuk BTDC 8°C A.

6.2. Emisi Gas Buang

Emisi gas buang memberikan hasil yang cukup signifikan untuk mereduksi NO_x dan Smoke partikel. Penggunaan bio-diesel sebagai komplement minyak solar dapat menurunkan secara baik, bahkan dengan memperlambat penginjeksian juga dapat menurunkan NO_x secara bagus. Dengan menggunakan BDF 10% dapat menurunkan NO_x rata-rata sebesar 10.12% sedangkan BDF 20% penurunan rata-ratanya adalah 9.9% dan BDF 50% dapat menurunkan NO_x sebesar 10.45. Memperlambat waktu penginjeksian juga memberikan hasil yang cukup signifikan. BDF 10% dapat menurunkan NO_x rata-rata sebesar 32.66% dan BDF 20% penurunan rata-ratanya adalah 28.36%, sedangkan BDF 50% dapat menurunkan rata-rata sebesar 31.6%. %. Gambar 6.13, 6.17, 6.19, 6.21 dan 6.23 adalah grafik-grafik NO_x dengan berbagai penampilan.

Partikel smoke juga tidak merupakan problem pada penggunaan bahan bakar bio-diesel. Perlambatan penginjeksian juga tidak mempengaruhi secara signifikan terhadap produk partikel smoke. Dengan menggunakan bahan bakar solar, partikel smoke semakin buruk sebesar rata-rata 52.44%, sebaliknya dengan menggunakan bio-diesel partikel smoke masih lebih baik berturut-turut 53.66%, 41.46% dan

32.9% untuk BDF10%, BDF 20% dan BDF 50%. Meskipun apabila dengan penggunaan injection timing standard sedikit lebih buruk namun apabila dibandingkan dengan minyak solar masih jauh lebih baik. Gambar 6.16 adalah grafik dari partikel smoke pada waktu penginjeksian BTDC 8°C. Nampak sekali perbedaannya antara penggunaan bahan bakar solar dengan bio-diesel.

Emisi gas buang baik NO_x maupun partikel smoke pada motor diesel jenis indirect injection tak merupakan masalah apabila menggunakan bahan bakar biodiesel. Dalam keadaan standard bahan bakar biodiesel dapat menurunkan emisi gas buang secara signifikan. Jumlah komposisi biodiesel kedalam minyak solar tidak secara signifikan merubah emisinya. Seperti yang terlihat pada grafik-grafik NO_x, perbedaan nyata antara penggunaan minyak solar dan penggunaan biodiesel dalam berbagai komposisinya. Partikel smoke juga sama seperti yang terjadi dengan NO_x, namun penambahan komposisi akan semakin menurunkan partikel smokenya.

Memperlambat waktu penginjeksian secara signifikan dapat mereduksi NO_x namun konsekuensinya penurunan NO_x ini diikuti dengan naiknya partikel smoke, hanya 10% biodiesel saja yang mengalami penurunan partikel smokenya. Gambar 6.20 adalah grafik perbedaan partikel smoke antara motor diesel standard dengan perlambatan waktu penginjeksian bahan bakar. Jadi untuk memenuhi regulasi kita bisa mengatur waktu penginjeksian bahan bakar.

BAB VII

UJI DURABILITY MOTOR DIESEL

Seperti pada eksperimen sebelumnya dalam uji ketahanan motor diesel ini juga membandingkan antara penggunaan bahan bakar minyak solar dengan biodiesel. Tiga hal utama yang ingin didiskusikan pada bab ini yaitu ketahanan motor, kinerja motor dan kerusakan yang dialami oleh motor selama periode waktu pengujian berlangsung. Telah disampaikan pada bab metodologi (BAB III) dalam pengujiannya dipilih onroad karena dalam pengujiannya lebih real pada praktek salah satu pengoperasian motor diesel. Dalam mempelajari ketahanan motor diesel terhadap penggunaan biodiesel telah digunakan Chevrolet **LUV-MTV-I 1951 CC** tahun 1986. Kendaraan ini digerakkan dengan motor diesel merk Isuzu-PKD-26 type indirect injection.

Bahan bakar Biodiesel tidak digunakan dalam 100% murni (B100), melainkan mencampur dengan komposisi tertentu. Biodiesel sendiri juga dipilih komposisi tertentu yaitu **50:50 CME/PME** (pencampuran 50% castor methyl ester dengan 50% palm methyl ester). Bahan bakar ini akan dicampurkan dalam minyak solar. Besarnya komposisi biodiesel kedalam minyak solar mengacu pada World-wide fuel charter desember 2002. Menurut aturannya dalam penambahan **FAME** (fatty acid methyl ester) bahan bakar ini tergolong category IV, namun hasil uji laboratorium untuk viskositasnya masuk dalam category I,II &III, namun dalam category ini **FAME** yang disyaratkan maksimum 5% saja. Dalam uji durability ini digunakan biodiesel 50:50 CME/PME sebanyak 10% untuk dicampur kedalam 90% minyak solar.

Dua jenis bahan bakar yang digunakan pada uji durability ini adalah minyak solar (MS) dan komposisi bahan bakar **CME:PME:MS= 5/5/90**. Sifat-sifat fisika dan kimia kedua jenis bahan bakar dapat dilihat pada table 7.1. Sifat-sifat fisika dan kimia bahan bakar CME:PME:MS telah diuji laboratorium. Besar nilai kalor atas tidak diuji laboratorium, tetapi dilakukan dengan cara kalkulasi berdasarkan prosentase dan nilai kalor pada masing-masing bahan bakar yang digunakan. Dari uji laboratorium ini diperoleh hasil yang lebih bagus terutama pada angka setana indeks dan titik tuangnya. Kedua sifat ini sangat penting sekali dalam penggunaan bahan bakar pada motor diesel. Angka setana berfungsi sebagai pengukur parameter pada unjuk kerja proses pembakaran motor diesel; titik tuang sangat penting terutama untuk jenis biodiesel dimana umumnya minyak nabati sering sekali membeku pada temperature rendah, sedangkan hasil uji laboratorium

menyatakan bahwa titik tuang dari komposisi yang digunakan adalah -1°C . Sebelum dilakukan uji durability dengan bahan bakar komposisi CME:PME:MS telah dipelajari pula teknik pencampurannya agar dapat larut sempurna dengan mudah tanpa menggunakan teknik kusus sehingga dapat mengisi bahan bakar dimana saja tanpa adanya kendala.

Minyak pelumas mesin yang digunakan adalah minyak pelumas mesin diesel dengan performansi sangat tinggi (*super high performance diesel engine oil*) produk **PERTAMINA** dengan merk dagang **MEDITRAN SX**, multigrade **SAE 15W-40**. Minyak pelumas ini bagus dipakai untuk motor diesel putaran tinggi dengan beban berat, motor diesel sebagai alat transportasi dan lainsebagainya. Adapun standard pelumas ini telah memenuhi performance level dari API Service CH-4, API Service CG-4/CF-4/CF/SJ, ACEA E3/B3/A3-98 dan standard mutu level-level lainnya. Penggunaan minyak pelumas ini sangat penting karena dalam pengujian nanti pelumas ini digunakan sebagai pengukur perusakan logam-logam yang ikut larut didalam pelumasan.

7.1. Kinerja Motor diesel selama uji durability

Kinerja motor diuji pada route-route yang telah dipilih yaitu kawasan pantura jawa timur, jalur selatan jawa timur dan jawa tengah, serta jalur menyilang utara selatan (Surabaya-Malang dan Surabaya–Cuban Rondo). Jalur-jalur ini dipilih untuk mewakili medan-medan secara umum yang moderat mulai datar hingga tanjakan. Jalur menyilang utara-selatan untuk mempelajari medan tanjakan yang lintasannya moderat tidak terlampau terjal dan juga tidak datar, jalur ini menanjak terus namun sudut kemiringan tanjakannya tidak kelihatan terjal. Pengujian dilakukan dengan jarak pendek yaitu 3000 km, jarak moderat ini mengambil patokan umum bahwa penggantian minyak pelumas mesin dilakukan kurang lebih sekitar kilometer tersebut. Dalam pelaksanaannya pada uji dengan bahan bakar solar menempuh jarak 3028 km sedangkan yang menggunakan bahan bakar CME:PME:MS dengan jarak 3072 km. Sekalipun route telah kita rencanakan sebelumnya, namun sangat sulit untuk mengatur jarak sama persis. Namun oleh karena dalam analisisnya kita menghitung nilai rata-ratanya maka hasilnya cukup signifikan.

Dalam membandingkan unjuk kerja motor antara dua jenis bahan bakar ini telah diamati secara langsung, visual dan dengan koleksi data. Pengujian diawali dengan start dingin, uji ini penting sekali dalam pengujiannya karena permasalahan yang dihadapi oleh peneliti terdahulu adalah start awal oleh karena itu pengujian diawali

dari permasalahan ini. Tidak ada masalah terhadap start dingin, seperti biasanya diesel engine type indirect injection selalu diawali dengan pemanasan (heater), setelah dilakukan pemanasan engine distart. Selama pengujian berlangsung tak ada masalah start dingin sama sekali. Penggunaan biodiesel cenderung lebih mudah dalam melakukan start dinginnya, bahkan untuk meningkatkan kecepatan putar engine pun tak ada masalah dalam keadaan dingin. Lebih mudahnya engine distart disebabkan sifat-sifat fisik dan kimia bahan bakar lebih bagus (lihat table 7.1). Angka setana indeksnya lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar, dari sini memberikan hasil semakin mudahnya untuk start dingin. Dalam keadaan engine hangat, engine dapat dengan mudah distart tanpa menggunakan heater.

Pengaruh acceleration engine terhadap perobahan bahan bakar yang digunakan juga telah diamati. Tidak ada masalah dengan penggunaan biodiesel terhadap acceleration engine, pada lintasan datar dan tanjakan engine mampu beroperasi dengan baik. Engine juga tetap mampu melaju dengan kecepatan tinggi dan juga mampu melampaui medan tanjakan seperti dengan bahan bakar minyak solar, bahkan lebih enak dalam mendahului kendaraan lain. Dijalan bebas hambatan acceleration engine dapat beroperasi dengan maksimal seperti pada umumnya kendaraan baru. Pada suasana jalan macetpun tak ada masalah terhadap kenaikan temperature pendinginan, sekalipun temperature pendinginannya naik namun masih dalam batas normal (masih dalam keadaan normal, sesuai dengan indikator yang diberikan pada engine manufacturer). Dalam 38.57% pengujiaannya, engine dioperasikan pada kondisi jalan terpadadat yaitu suasana lebaran dimana kondisi jalan-jalan dalam keadaan paling sibuk, namun sama sekali tak ada masalah terhadap unjuk kerja motor. Satu-satunya hal yang mempengaruhinya adalah sedikit borosnya bahan bakar yang dikonsumsi.

Kebutuhan konsumsi bahan bakar sekalipun dalam pengujiannya dilaksanakan pada lintasan yang traffics nya paling tinggi tidak terlalu signifikan mempengaruhi kebutuhan bahan bakar yang dikonsumsi. Lintas utara-selatan (Surabaya-malang pp) merupakan lintasan yang paling banyak membutuhkan bahan bakar. Dengan bahan bakar solar dapat menempuh 8,98 km/liter, sedangkan dengan menggunakan CME:PME:MS 5:5:90 dapat menempuh 8.96 km/liter. Untuk lebih jelas bias dilihat pada table 7.2 dan 7.3, table-tabel tersebut memuat tentang hasil uji durability terhadap jarak jelajah dan kebutuhan bahan bakar yang dikonsumsi. Sekalipun

ada perbedaan tidak terlalu signifikan terhadap perubahan konsumsi bahan bakar. Lintasan pantai utara jawa timur dan jalur selatan jawa timur dan jawa tengah memberikan hasil yang rata-rata lebih baik. Jalur-jalur datar dan jalan lebar memberikan kecenderungan lebih menghemat terhadap kebutuhan bahan bakar. Kecepatan pengoperasian juga berpengaruh terhadap kebutuhan bahan bakar, sekalipun dengan lintasan datar kalau kecepatan kendaraan dikendalikan diatas 80 km/jam (90-100 km/jam) cenderung lebih boros. Namun apabila kendaraan melaju antara 60-80 km/jam akan diperoleh hasil yang lebih bagus. Hasil rata-rata dari berbagai pengoperasian kendaraan untuk bahan bakar minyak solar (MS) dalam jarak jelajah 3028 km diperlukan bahan bakar sebanyak 297.70 liter. Sehingga rata-rata kebutuhan bahan bakarnya menjadi 10.17 km/liter. Uji ketahanan dengan bahan bakar CME:PME:MS 5:5:90 telah menempuh jarak 3072 km dan dalam perjalanannya diperlukan bahan bakar sebanyak 306.60 liter. Dari jarak jelajah dan bahan bakar yang dikonsumsi maka rata-ratanya adalah 10.02 km/liter. Kalau kita bandingkan perbedaannya maka kebutuhan bahan bakarnya semakin boros. Perbedaan diantara kedua jenis bahan bakar ini hanya 1% saja. Agar lebih jelas periksa lagi table 7.2 dan 7.3. Sekalipun lebih boros namun perbedaan ini tidak terlalu signifikan, apa lagi dalam 38.57% dari jarak yang ditempuh pada saat pengujiannya jalurnya sangat sibuk (*kendaraan diuji pada H-2 sampai H+2 hari raya Idul Fitri 2003*). Diambilnya waktu tersebut dalam pengujian karena sudah tidak bisa digesernya jadwal pengetesan kendaraan. Kalau jadwal digeser-geser terus berakibat tidak selesainya pelaksanaan penelitian secara menyeluruh dengan batas waktu yang diberikan.

7.2. Ketahanan Motor Diesel

Dalam melaporkan ketahanan motor diesel ini dilakukan dengan memberikan catatan-catatan selama perjalanan pengujian. Medan-medan yang telah dipilih sudah dilampaui dengan baik dan tidak ada masalah sama sekali. Secara konsep medan-medan tersebut adalah medan yang moderat mulai jalan lebar, jalan sempit, jalan datar dan jalan tanjakan. Jalur-jalur mulai jalan bebas hambatan hingga jalur yang rawan macet, bahkan dalam kondisi kusus jalur yang sangat padatpun telah ikut menguji ketahanan engine dengan bahan bakar biodiesel. Cuaca juga telah ikut pula menguji ketangguhan engine, cuaca ekstra panas dengan cuaca hujan lebat diikuti jalan banjir juga telah dilampaui dengan baik.

Ketahanan engine terhadap mengatasi medan tanjakan telah dilakukan pada jalur utara-selatan. Surabaya-malang dan Surabaya-Cuban Rondo merupakan medan tanjakan yang cukup bagus. Lintasan ini mulai dari Gempol hingga Malang ataupun sampai Cuban Rondo jalannya selalu menanjak. Kemampuan engine dalam menempuh medan tanjakan tidak ada sesuatu yang dihadapi. Engine dioperasikan sepanjang siang dan malam dalam cuaca hujan lebat bahkan dalam perjalanan Surabaya-Malang engine mampu berjalan dengan baik tanpa ada masalah. Bahkan medan diantara pandaan hingga kota malang diikuti dengan suasana banjir, kondisi terparah adalah kota Lawang hingga menjelang masuk kota malang. Jalan tergenang dengan air yang relative cukup tinggi, oleh karena cuaca yang betul-betul buruk volume kendaraan semakin menumpuk oleh karena semua kendaraan berjalan pelan-pelan. Sekalipun jalan cukup berbahaya engine dengan bahan bakar biodiesel tidak mengalami masalah sama sekali. Sepanjang pengujiannya engine dioperasikan pada kondisi beban yang maksimum (terutama malam hari), engine selalu dioperasikan dengan full air conditioning, lighting, radio informasi perjalanan dan lain sebagainya. Pada siang hari saja yang tidak mengoperasikan lampu.

Cuaca panas yang relative tinggi juga telah bisa diatasi dengan tanpa mengalami kenaikan panasnya engine. Tanda ini dapat dilihat dengan melihat temperature air pendinginan. Surabaya-Tuban telah menguji engine dengan medan yang cuacanya cukup panas terutama saat kendaraan melaju di jalur bebas hambatan. Jalur Surabaya-Tuban ini dilakukan dengan melalui dua jalur yaitu jalur yang menelusuri pantai (lewat tanjung Kodok dan brondong) yang medannya bervariasi dan jalannya relative sempit. Sedang jalur lainnya adalah melalui lamongan yang jalannya cukup lebar dan cenderung datar, kecuali dari babat ke tuban selain jalannya sempit juga bergelombang. Selama pengujian di jalur ini terutama pada saat cuaca panas yang sangat tinggi engine tetap bekerja dengan baik. Engine sempat dihentikan bukan karena ada kendala namun disebabkan karena driver yang tidak bisa melawan udara kantuk dan kelelahan.

Engine dapat beroperasi dalam berbagai kecepatan dengan sempurna tanpa mengalami perubahan unjuk kerja. Pada jalan bebas hambatan kecepatan dengan cepat bisa ditingkatkan menjadi kecepatan diatas 100 km/jam, sekalipun kurang nyaman dioperasikan karena konstruksi kendaraan yang sudah relative tua. Pada medan tanjakan yang penuh liku-liku dan sempit, seperti medan di antara kota batu

ke Cuban Rondo juga melaju dengan baik dengan kecepatan rendah sampai sedang. Accelerasi pada medan yang berbelak belok dan menanjak dan sempit tidak bisa lincah seperti jenis engine yang lainnya. Semua itu sekalipun ada pengaruh dari bahan bakar biodiesel namun kenyataannya ketahanan engine dapat mengatasi medan yang relative terhadap medan menanjak, penuh dengan tikungan tanpa mengalami kendala sedikitpun.

Motor diesel telah diuji dalam berbagai variasi kondisi mulai dari cuaca, lintasan datar, lintasan tanjakan, lintasan yang banyak tikungan dan lain sebagainya. Kecepatan yang bervariasi serta acceleration yg relative cepat juga telah dilakukan. Berdasarkan hasil pengamatan driver dan hasil akhir pengujian, penggunaan bahan bakar biodiesel sebagai kompelemen minyak solar tidak didapati pengaruh buruk. Engine juga tak pernah mengalami masalah sepanjang pengujian hingga selesai pengujian.

7.3. Tingkat Kerusakan Motor diesel.

Untuk mengevaluasi tingkat kerusakan motor diesel, telah diamati dengan secara visual serta uji laboratorium. Engine check up dilakukan dengan pembongkaran mesin dan memeriksa komponen-komponen utama pada system ruang bakar termasuk juga pada system bahan bakarnya. Data-data visual, komponen-komponen utama, dan komposit karbon yang menempel pada piston, cylinder head, intake dan exhaust valve serta nozel telah pula dibandingkan. Dari sini kita dapat melihat perbedaannya. Pelumasan juga merupakan pembanding dalam menguji tingkat kerusakan mesin dengan melihat sifat fisika dan kimianya serta unsur-unsur logam yang terkandung dalam pelumasan maka kita bisa membandingkan tingkat kerusakan mesin.

Setelah dilakukan check up dari komponen, pada waktu uji durability dengan bahan bakar biodiesel memberikan sedikit permasalahan pada komponen dari karet, yaitu oil seal dari exhaust port valve pada cylinder nomer 2 dan 4. Kerusakan bahan dari karet juga pernah dialami oleh *Schumacher dkk,(1997)* dan *Barnanesceu and Lusco (1982)*. *Schumacher dkk (1997)* mengalami kerusakan pada lintasan system bahan bakar. Sedangkan *Barnanesceu and Lusco (1982)* terjadi kerusakan fatal pada system bahan bakarnya. Satu-satunya kerusakan yang terjadi pada uji ketahanan ini hanya terletak pada oil seal pada exhaust port, kerusakan inipun belum tentu akibat

langsung dari penggunaan bahan bakar biodiesel karena komponen ini telah lama digunakan sebelum dilakukan pada pengujian dengan menggunakan bahan bakar biodiesel.

Pemeriksaan injection system juga dilakukan dan semuanya dalam keadaan baik, sekalipun pada nozzle ada penumpukan deposit karbon namun tidak mengalami kerusakan pada nozzlenya. *Ali and Hanna (1996)* misalnya dalam uji durability dengan menggunakan tallowate methyl ester telah mengalami kerusakan tiga injector pada jam ke148, 159 dan 197. *Ali and Hanna* dalam uji ketahanan dengan teknik pengujian standard 200 jam Engine Manufacturers Association (EMA).

Deposit karbon juga menjadi ukuran sebagai kerusakan komponen sekalipun komposit karbon ini dapat dibersihkan dalam periode waktu tertentu. Penumpukan karbon ini telah diperiksa pada nozzle, piston, cylinder head, serta inlet dan exhaust valve. Table 7.4 adalah komposit karbon yang dihasilkan kedua jenis bahan bakar. Kolom MS adalah deposit karbon yang dihasilkan pada saat motor menggunakan bahan bakar minyak solar (MS), sedangkan CME:PME:MS adalah saat menggunakan bahan bakar biodiesel dengan kadar campuran 5:5:90. Kadar deposit sekalipun ada perubahannya namun tak terlalu signifikan. Deposit karbon ini juga diamati secara visual, foto-foto dari deposit di cylinder head, piston, nozzle, intake dan exhaust valve dapat dilihat pada lampiran 10. Dari table 7.4 dapat dilihat bahwa deposit karbon lebih banyak diproduksi oleh bahan bakar CME:PME:MS. Deposit total yang diproduksinya sebanyak 2200 mg, sedangkan untuk bahan bakar minyak solar (MS) sebanyak 1875 mg. Perbedaan deposit ini terletak pada karbon yang menempel pada intake valve 2 dan 4, cylinder head dan piston 1,2 dan 3. Agar lebih jelas dapat diperiksa juga secara visual pada foto-foto di lampiran 10.

Kerusakan motor juga dapat dilihat dari unsur-unsur logam yang aus. Keausan ini bisa disebabkan karena keausan adhesif, keausan karena korosif dan keausan karena debu (keausan gesekan) (*Sunarto dan Furuhamu, 1985*). Keausan adhesif disebabkan oleh lapisan minyak pelumas, keausan korosif disebabkan deposit karbon, uap air dan asam, sedangkan partikel debu menyebabkan keausan gesekan. Dalam kasus penelitian yang dikembangkan ini kerusakan logam akibat lapisan pelumasan sekalipun ada tetapi tidak perlu dibandingkan, karena kedua eksperimen menggunakan jenis pelumas yang sama (variabelnya dijaga tetap). Kemunduran kualitas motor (terutama pada ruang bakar yaitu cylinder liner, piston, piston ring,

cylinder head, valve dll) yang bisa dibedakan adalah akibat korosif dan gesekan. Kedua jenis kerusakan ini bisa diakibatkan karena karakteristik bahan bakar dan proses pembakarannya.

Unsur-unsur logam yang terkandung dalam minyak pelumas dapat dilihat pada table 7.5. Secara umum unsur-unsur logam yang terkandung dalam pelumasan dari bahan bakar yang mengandung biodiesel menghasilkan angka yang lebih kecil. Satu-satunya logam yang lebih besar adalah chromium (Cr), pada bahan bakar minyak solar didapati unsur Cr sebesar 14.97 ppm dan bahan bakar yang mengandung biodiesel terdapat unsure Cr sebesar 24.04 ppm. Deposit karbon yang perbedaannya sangat signifikan memberikan (lihat table 7.4), deposit karbon ini menyusup dicelah-celah antara cylinder liner dan celah-celah lain. Akibat gesekan device yang bergerak ini menyebabkan keausan akibat korosif dan keausan karena gesekan deposit karbon itu sendiri. Dari kondisi yang ada keausan karena gesekan karbon deposit lebih dominant dibandingkan akibat korosif sekalipun ada namun kurang dominan. Kalaupun ada, keausan akibat korosif lebih signifikan diakibatkan uap yang ikut menyusup pada celah-celah antara piston ring dan cylinder liner, dugaan ini diperkuat dengan adanya kandungan air yang lebih besar pada minyak pelumas pada motor dieselnnya menggunakan campuran biodiesel sebagai bahan bakarnya. Pada table 7.5 dapat dilihat kandungan airnya sebesar 0.43%. Selain kandungan air, abu sulfat yang lebih tinggi juga mempengaruhi keausan akibat korosif.

Dalam penggunaan bahan bakar CME:PME:MS didapati adanya kerusakan pada oilseal exhaust valve pada cylinder no 2 dan 4, kerusakan ini cenderung pada lembeknya unsure karet. Penggunaan biodiesel membawa dapat mudah rusaknya material yang mengandung unsur karet dan oilseal valve ini ada kandungan karetanya. Sekalipun kecepatan perusakannya belum diketahui, karena oilseal ini dipasang baru pada saat menggunakan minyak solar namun karena rusaknya pada saat menggunakan bahan bakar biodiesel maka bahan bakar ini diduga kuat merusak unsure karet. Dugaan ini diperkuat dengan peneliti-peneliti sebelumnya seperti *Schumacher et-tal (1997)* dan juga *Grabowski (1998)*

BAB VIII

PEMBAHASAN

Ada tiga hal utama yang perlu didiskusikan pada bab pembahasan ini yaitu bahan bakar biodiesel (produksi dan karakteristiknya), Performance Diesel engine, dan ketahanan (durability) engine. Ketiga hal ini perlu didiskusikan lebih dalam karena pada penelitian ini mempunyai target memberikan rekomendasi tentang karakteristik bahan bakar dan komposisinya. Sedangkan rekomendasi yang kedua adalah perlu dan tidaknya memodifikasi engine agar persyaratan emisi gas buang terpenuhi. Uji durability merupakan persyaratan dari engine manufacture, bahwasannya penggunaan jenis bahan bakar baru harus diuji terhadap daya tahan engine.

8.1. Pembahasan Produksi Bahan Bakar

Produk dari biodiesel diperoleh dengan esterifikasi, dalam proses esterifikasi dipergunakan dengan esterifikasi type batch. Prototype dari esterifikasi type batch ini dapat dilihat pada gambar 4.4. Kapasitas dari prototype ini tidak terlalu besar, apabila dalam proses pembuatan biodiesel dilakukan pencucian langsung dengan menggunakan *Allen and watts (96) technique* maka produksi dari biodiesel hanya 6 liter maksimum per prosesnya. Namun apabila menggunakan bubble techniques maka dalam setiap pemrosesan menghasilkan duakali lebih besar. Hasil dari pemrosesan ini dimungkinkan karena apabila kita menggunakan Allen dan watts technique maka kita perlu menambahkan deswater sebesar 1:1. Oleh karena kapasitas reactor hanya kurang lebih 12 liter maka produk dari biodiesel yang dimungkinkan hanya 6 liter maksimum. Prototype ini dirancang dalam kapasitas riset dalam skala laboratorium sehingga produksinya tidak terlampau besar.

Reaktor esterifikasi dewasa ini sudah tidak asing lagi, bahkan sudah banyak yang menggunakan sebagai keperluan pribadi untuk memproduksi ester sendiri untuk keperluan motor dieselnya dirumah-rumah mereka. Diskusi di biodiesel@yahoo.groups banyak secara pribadi yang telah menggunakan minyak bekas (minyak jelantah) sebagai bahan bakar sehari-hari untuk menggerakkan motor diesel mereka. Mereka juga membuat reaktor dengan cara mereka masing-masing. Kembali pada masalah reaktor yang dibuat prototypenya, apabila digunakan dengan

bubble techniques seperti yang dilakukan oleh *Kac, 2001 dan Pelly, 200* maka produksinya bisa 12 liter/proses.

Produksi minyak sawit (Palm methyl Ester) tidak terlalu rumit seperti minyak jarak (Castor Methyl Ester). Minyak jarak mempunyai karakteristik bahan baku yang sedikit berbeda dibandingkan dengan sawit. Viskositasnya sangat tinggi sehingga apabila dibuat biodiesel yang direaksikan dengan methanol diperlukan volume yang lebih besar. Karena dalam pembuatan methyl ester diperlukan 15-20% persatuan berat dari methanol. Densitas dari minyak jarak lebih tinggi sehingga komposisinya sedikit berbeda. Walaupun pembuatan biodiesel dari castor oil telah sukses namun perlu dikembangkan lagi agar diperoleh karakteristik yang lebih baik. Hasil akhir dalam pembuatan castor methyl ester hanya dapat mengambil glyserol sebesar 5.1-6.1 %. Walaupun jumlah glyserol yang diambil lebih sedikit namun penurunan viskositasnya sangat banyak. Viskositas kinematik yang dicapai nya adalah 12-22 cS. Keuntungan yang diperoleh adalah produksi biodieselnnya lebih besar yaitu 84-92% dari bahan baku yang disediakan. Cek juga pada pie diagram yang diperlihatkan pada gambar 4.3 dan 4.3.

8.2. Pembahasan Karakteristik Biodiesel

Kualitas Palm methyl ester yang diproduksi sangat mirip dengan yang distandardkan National Biodiesel Board. Namun begitu perlu juga dikembangkan pemrosesan yang lebih ekonomis. Masalah yang dihadapi dari palm methyl ester (PME) adalah tidak stabilnya viskositas. Kadang-kadang diperoleh viskositas yang rendah kadang-kadang diperoleh viskositas yang tinggi. Walaupun semua viskositas yang dihasilkan masih masuk dalam ring yang distandardkan oleh National Biodiesel Board namun diperlukan dicari solusi agar ringnya bias diperkecil. Diperkirakan hasil ini dikarenakan ketidak stabilan dalam proses atau juga factor ketelitian komposisi serta waktu pemrosesan yang semuanya sangat berpengaruh dalam menghasilkan kualitas biodiesel.

Kualitas Castor Methyl Ester (CME) juga masih bervariasi, kualitas bahan baku diperkirakan penyebab utama. Teknik pemrosesan untuk membuat Castor Methyl Ester telah dikembangkan namun sampai tahap pertama ini dilakukan hasil yang diperoleh seperti yang dilihat pada table 4.1 dan table 4.2. Permasalahannya adalah jumlah glycerol yang bisa diambil hanya sekitar 5.1-6.1% saja sehingga

viskositasnya masih lebih besar. Apabila menilik ring viskositas dihasilkan maka castor Methyl Ester mirip-mirip dengan minyak diesel produk Pertamina. Karakteristik yang kurang menguntungkan adalah terletak pada viskositas bahan bakarnya. Sedangkan karakteristik yang lainnya sangat bagus, titik tuang yang sangat rendah sangat menguntungkan dimana biodieselnnya tidak beku pada temperatur yang rendah dimana Palm Methyl Ester dapat membeku. Kelebihan lainnya adalah kepekaannya terhadap temperatur memberikan keuntungan dalam proses pembakaran. Castor Methyl Ester mudah berkembang sehingga densitasnya drop apabila dipanaskan.

Palm Methyl Ester mudah larut dengan minyak solar dan tidak menjadi masalah apa bila dicampur dengan bahan bakar ini dengan perbandingan komposisi berapapun, karena dapat larut sempurna. PME direkomendasikan untuk digunakan sebagai suplemen sebagai penggerak motor diesel putaran tinggi. Sangat berbeda dengan Castor Methyl Ester (CME). Biodiesel ini tidak dapat larut sempurna dengan minyak solar. Sekalipun diemulsikan dengan menggunakan surfactant yaitu twin 80 dan span 60 dalam jumlah yang cukup besar tidak mampu untuk mengikat dua jenis bahan bakar ini. CME bisa larut sempurna dengan minyak diesel produk Pertamina. Kemungkinan masalah viskositas yang membuat kedua bahan bakar bisa larut dengan baik.

Umumnya biodiesel dapat larut dengan minyak solar perkecualian dengan dengan Castor Methyl Ester. Ide dari *Clements, 1996* yang memberikan informasi bahwa pada masa yang akan datang bahan baku biodiesel sangat bervariasi sehingga perlu untuk memodelkan karakteristik biodiesel. Ide ini mendorong untuk mencoba secara eksperimen mencampur kedua jenis biodiesel yaitu PME dan CME dalam sebuah komposisi. Hasil dari eksperimen dapat larut sempurna dan tak terjadi separation. Percampuran kedua jenis biodiesel ini membentuk karakteristik biodiesel yang baru. Setidaknya dua kelebihan dari blending kedua jenis bahan bakar ini yaitu viskositasnya menjadi lebih moderat sedangkan titik tuangnya pun akan berdampak baik terhadap PME. PME yang dulunya mudah membeku pada temperatur rendah maka dengan percampuran ini titik tuangnya bisa diturunkan.

Keberhasilan memproduksi PME dan CME blend memberikan kesempatan dalam upaya untuk mempertemukan CME dengan minyak solar agar dapat larut sempurna. 50-50 PME dan CME blend ternyata dapat larut sempurna dengan minyak

solar. Keberhasilan ini adalah kelebihan dari percampuran biodiesel. Dari hasil percampuran inilah CME dapat dilarutkan dengan solar dengan menggunakan PME sebagai surfactantnya. Dengan technique inilah permasalahan penggunaan CME dengan solar dapat diselesaikan dengan tanpa penambahan pengemulsi seperti Twin 80 dan span 60 yang akan menambah besar biaya.

Pada bab IV telah dipelajari karakteristik biodiesel hingga percampurannya. Dalam mempelajari telah dikembangkan secara eksperimen dan juga dengan menggunakan pemodelan. Tabel 4.1 dan 4.2 adalah hasil dari pemodelan untuk bahan bakar yang di campur dalam komposisi 10 dan 20 %. Viskositas yang dihasilkan secara eksperimen sedikit berbeda apabila di bandingkan dengan pemodelan. Hal ini disebabkan dengan viskositas Pertamina yang bervariasi. Standard Pertamina memberikan viskositas kinematik sebesar 4.5. Angka ini yang dipergunakan untuk pemodelan secara matematik, sedangkan eksperimen digunakan minyak solar produk Pertamina yang beredar di Surabaya. Kemungkinan viskositas yang beredar lebih kecil dari standard yang diberikan sehingga hasil perhitungan dan eksperimen sedikit berbeda hasilnya. Untuk lebih jelasnya lihat kembali besarnya viskositas secara eksperimen dan bandingkan dengan tabel 4.1 dan 4.2.

8.3. Pembahasan Unjuk Kerja Diesel Engine

Dengan menggunakan 100% biodiesel tidak memberikan performance yang bagus. Konsumsi bahan bakar merupakan penurunan performance yang cukup memberikan dampak. PME pada putaran dimana torsi mencapai maksimum meningkatkan konsumsi bahan bakar hingga 14.9% sedangkan pada mana daya mencapai maksimum terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar yang lebih besar yaitu 24.57%. CME 100% juga terjadi peningkatan konsumsi bahan bakar untuk putaran dimana torsi mencapai maksimum memberikan peningkatan konsumsi sebesar 20.38% sedangkan pada putaran dimana daya mencapai maksimum sebanyak 5.93%. Meningkatnya konsumsi ini diperkirakan banyaknya unburn dari bahan bakar. Viskositas yang terlalu tinggi memberikan ketidak sempurnaan dalam proses atomisasi dan juga evaporasi. Kedua proses ini akan memperpanjang perobahan physic dari bahan bakar sehingga physical delaynya panjang. Ketidak sempurnaan dalam pembakaran juga menurunkan temperatur pembakaran sehingga untuk melawan beban yang dihadapi diperlukan bahan bakar yang lebih banyak. Hal ini

ditunjukkan dengan temperatur gas buang yang lebih rendah dari B100. Disamping itu Particulate matter yang cenderung meningkat juga menandakan bahwa unbuern dari bahan bakar lebih besar sehingga jumlah particulatenya lebih besar. Peningkatan particulate dari B100 lebih dari duakali lipat dibanding dengan menggunakan B00. kecenderungan ini menandakan bahwa banyak bahan bakar yang tidak sempat terbakar. Secara teoritis apabila biodiesel terbakar sempurna maka particulate metternya akan lebih kecil. Sepertinya untuk mengoperasikan diesel engine dengan 100% biodiesel kurang menguntungkan secara teknis dan ekonomis.

Penggunaan blending PME lebih memberikan keuntungan dibandingkan dengan 100% biodiesel. Dari segi konsumsi bahan bakar B20 masih lebih banyak dibandingkan dengan B00. besarnya penambahan konsumsi bahan bakar sekitar 12.76 –12.85%. B10 masih lebih baik dibandingkan dengan B20 dimana konsumsi bahan bakarnya meningkat antara 4.55-7.33 %. Penalti ini masih lebih baik dibandingkan dengan B100 dan B20. Sepertinya konsumsi bahan bakar akan meningkat dengan penambahan komposisi dari PME. Hal yang sangat menjanjikan adalah BSNO_x nya yang menurun sangat besar. Prestasinya sangat baik sekali B20 dapat menurunkan BSNO_x rata-rata sebesar 59.18-70.06% dan 51.88-53.99 % rata-rata untuk B10. Permasalahan besar adalah terletak pada BSPMnya. BSPM yang masih lebih baik dari B00 adalah B20 dengan putaran engine 1400 rpm, dimana BSPMnya lebih baik 26.16% selebihnya pada pengoperasian yang lain lebih buruk. B10 mengalami peningkatan BSPM sebesar 14.42-22.33% sedangkan pada putaran 1300 rpm B20 meningkat sebesar rata-rata 30.18%. Dari ring beban yang diberikan 13 mode maka particulate matter masih belum bisa dipenuhi. Hasil ini sama seperti yang disampaikan oleh *Graboski dan McCormic*, 98. Dalam hal ini perlu upaya untuk menurunkan particulate tetapi tanpa mengalami kenaikan NO_x yang berarti.

CME B10 dan CME B20 merupakan performance yang lebih menjanjikan. Meskipun ditinjau dari karakteristik bahan bakarnya lebih menguntungkan apabila digunakan sebagai pengganti minyak solar atau dalam dunia international dikenal dengan Marine Diesel Oil (MDO) namun kenyataan memberikan performance lebih baik dibandingkan dengan PME secara umum. Keuntungannya adalah apabila dibandingkan dengan B00 secara rata-rata lebih baik. Hanya sebagian kecil saja dalam pengoperasiannya mempunyai performance yang lebih buruk dibandingkan dengan minyak solar (B00). Pada putaran engine 1300 rpm dimana torsi mencapai

maksimum konsumsi bahan bakarnya lebih buruk sedikit yaitu 0.44% untuk B10 dan 6.37% untuk B20. Selebihnya adalah lebih baik. Pada putaran 1400 rpm dimana daya mencapai maksimum konsumsi bahan bakarnya menurun hingga 4.44% pada B10 dan 1.59% untuk B20. BSNO_x juga menurun antara 9.04-30.49% untuk B10 dan dua kali lipat untuk B20. BSPM juga mengalami penurunan sebesar 4.97-21.88 untuk B10 dan 8.64-14.74 untuk B20. Jadi secara umum CME B10 dan CME B20 mempunyai performance yang lebih menguntungkan dari semua bahan bakar yang dipergunakan. Meskipun prestasinya paling baik masih perlu upaya menurunkan BSPMnya agar memenuhi peraturan yang berlaku. Tidak terlalu sulit untuk menurunkan hingga memenuhi peraturan karena hanya pada beban rendah serta tidak terlalu besar sehingga kemungkinan dampak terhadap BSNO_x tidak terlalu besar. Kasus yang dihadapi juga persis seperti yang dihadapi oleh *Graboski dan McCormick*,⁹⁸.

CME B10 mempunyai performance yang paling menguntungkan apabila ditinjau dari semua aspek performancinya. Satu-satunya performance yang lebih jelek adalah konsumsi bahan bakar pada putaran engine 1300 rpm saja dengan selisih yang tidak terlalu besar yaitu 0.44% saja, selebihnya prestasinya lebih baik. Perbedaan rata-ratanya tidak terlalu besar namun perbedaan yang merata merupakan performance yang sangat menguntungkan. CME B20 juga bagus namun ditinjau dari konsumsi bahan bakarnya yang tipis sekali perbedaannya dibandingkan dengan B00, bahkan kurang bagus untuk putaran 1300 rpm factor yang memberikan nilai kurang dari B20 ini. memang kalau dilihat dari emisinya baik BSNO_x maupun BSPM lebih baik dibandingkan dengan B10 namun selisih rata-rata yang merata ini membuat B10 memberikan keuntungan performance yang lebih menguntungkan.

8.4. Pembahasan Pengaruh Modifikasi Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel

Modifikasi motor diesel bertujuan untuk memperbaiki unjuk kerjanya, biasanya perbaikan unjuk kerja ini dilakukan untuk memenuhi regulasi, terutama regulasi tentang emisi gas buang baik sifatnya local, regional maupun standard international. Standard yang cukup populer adalah standard California, Eropa, USA, Japan dan IMO. Konsep modifikasi motor diesel biasanya dilakukan secara masal oleh engine manufacture, dan perseorangan yang mengoperasikan motor diesel yang cukup berumur namun masih baik didalam kerja operasinya.

Banyak cara dalam memodifikasi motor diesel agar dapat memenuhi regulasi-regulasi yang dikeluarkan oleh pemerintah maupun asosiasi-asosiasi tertentu. Setiap jenis engine mempunyai unjuk kerja yang khusus, sehingga untuk memodifikasi perlu analisa dalam menentukan teknik modifikasi agar dapat optimum. Setiap teknik modifikasi membawa dampak unjuk kerja lainnya. Unjuk kerja motor diesel jenis direct injection, seperti yang telah dilaksanakan pada tahun pertama, telah dilakukan uji eksperimen unjuk kerja motor diesel standard motor diesel 4 langkah merk Energo. Dari hasil eksperimen, modifikasi motor yang direkomendasikan terutama adalah meningkatkan injection pressure, karena partikel smokenya tidak memenuhi regulasi. Sudah lazimnya engine ini tidak dapat memenuhi regulasi tahun 2000, karena engine ini diproduksi tahun 60-an. Dengan tidak direncanakan, bahwa engine ini mengalami kerusakan fatal akibat perlakuan eksperimen yang salah oleh salah seorang mahasiswa sehingga penggunaan eksperimen berikutnya menggunakan engine lain (YANMAR 3ESDL) yaitu engine 4 cycle, type indirect injection, 3 cylinder. Compression ratio engine 17.5, sebuah rasio kompresi yang cukup tinggi untuk type indirect injection. Originalnya engine ini adalah aspirated namun dalam eksperimen dioperasikan dengan supercharged 20 kPa. Modifikasi yang lainnya adalah dengan memperlambat waktu penginjeksian dari 10° BTDC crank angle menjadi 8° BTDC crank angle.

Tidak seperti type direct injection, motor diesel type indirect injection menghasilkan emisi gas buang yang lebih rendah. NO_x dan Partikel smoke yang dihasilkan juga rendah. Apabila menggunakan minyak solar (Gas Oil) waktu penginjeksian bahan bakar mempengaruhi produksi partikel smoke, namun apabila menggunakan biodiesel, baik komposisi 10%, 20% maupun 50% partikel smokenya mengalami penurunan. Penurunan kedua jenis emisi ini kemungkinan adanya supercharged dari motor diesel disamping kompresi rasionya juga sudah cukup tinggi sehingga diperoleh atomisasi yang bagus.

Dari hasil ini modifikasi engine belum tentu diperlukan, hanya motor diesel yang tidak memenuhi regulasi saja perlu adanya modifikasi. Engine-engine yang telah memenuhi regulasi perlu adanya sedikit pemodifikasian.

8.5. Pembahasan terhadap uji durability.

Uji durability ini dilakukan pada engine standard, dengan menggunakan bahan bakar CME:PME:MS dengan komposisi 5:5:90 dalam % volume. Sebelum dilakukan pengujian teknik pencampuran juga telah dipelajari. Dari hasil percobaan teknik mencampur bahan bakar tidak menjadikan masalah lagi. Teknik pencampuran telah dikembangkan oleh Zuhdi dkk (2002a) dan Zuhdi dkk (2002b) mula-mula dibuat komposisi 50:50 % vol CME/PME. Komposisi ini akan saling memperbaiki kekurangan masing-masing. CME yang kurang menguntungkan dari segi viskositasnya dan daya larutnya yang rendah terhadap solar juga dapat diperbaiki dengan pencampuran PME. Sebaliknya titik tuang yang rendah pada PME dapat diperbaiki dengan titik tuang CME yang sangat rendah. Komposisi 50/50% vol CME/PME ini sebanyak 10% dicampur dengan 90% vol minyak solar (MS). Dalam prakteknya kita bisa membuat biodiesel 50/50% CME/PME, bahan bakar ini dapat larut sempurna dengan pencampuran natural. Kita dapat melakukan di SPBU-SPBU yang tersebar di Indonesia. Mula-mula kita masukkan sejumlah 50/50% CME/PME dalam satuan volume, kemudian baru kita tambahkan minyak solar (MS) kedalam tanki bahan bakar sesuai dengan perbandingan yang kita inginkan.

System start engine juga tidak mengalami perubahan sama seperti standard gude book yang diberikan pada engine. Pada start dingin dihidupkan heater, kemudian engine di start dengan mudah tanpa mengalami kesulitan. Prestasi ini sangat berbeda dengan apa yang dialami oleh *Baranescu and Lusco (1982)*, dan *Kaufman and Ziejewski (1984)*. Mereka mendapatkan permasalahan terhadap start dingin, kedua peneliti tersebut menggunakan sunflower sebagai pembuat methyl esternya. Sunflower methyl ester mempunyai angka setana index yang lebih rendah dibandingkan dengan minyak solar (*Kaufman and Ziejewski, 1984*). Sedangkan bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah CME:PME:MS dengan angka setana indeks yang relative tinggi dimana besarnya adalah 56.3 (lihat table 7.1 pada lampiran X)

Daya tahan engine sangat bagus, engine dapat durable pada kondisi berbagai macam. Dalam cuaca yang cukup panas dan cuaca hujan lebat engine dapat bekerja dengan baik. Pada kondisi jalan macet temperatur pendinginan masih bekerja dengan bagus, sebaliknya pada jalan sepi dan datar acceleration engine dapat ditingkatkan dengan cepat dan melaju dengan kecepatan tinggi. Kebutuhan bahan bakar sekalipun

ada penurunan prestasi namun tidak terlalu signifikan karena perbedaannya hanya 1 % saja. Perbedaan inipun kemungkinan karena sekitar 40% pengujiannya pada kondisi rawan macet. Dari hasil pengujian daya tahan engine tak mengalami penurunan dalam segala bentuk kondisi.

Tingkat kerusakan komponen pada system ruang bakar dan system bahan bakar juga telah diamati. Komponen karet memang merupakan sisi yang kurang menguntungkan untuk penggunaan biodiesel. Satu-satunya kerusakan terjadi pada oilseal exhaust valve. Lembeknya bahan dari karet membuat seal pada exhaust valve ini rusak dan perlu diganti. Kerusakan yang paling nyata adalah pada cylinder nomer 2, pada cylinder nomer 4 juga rusak namun tak terlalu parah. Sekalipun kerusakan hanya pada 2 tempat itu penggantianannya adalah semua oilseal sebanyak 8 buah (4 buah intake dan 4 buah exhaust). Keausan unsur logam yang lebih buruk hanya pada Cr (chromium). Unsur-unsur lainnya masih lebih baik. Kemungkinan keausan korosif yang mengakibatkan besarnya unsur Cr. Adanya gesekan akibat deposit karbon dan banyaknya uap air yang terkondensasi apalagi abu sulfat yang bersifat asam membuat laju korosi Cr semakin cepat.

BAB IX

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian biodiesel sebagai alternative pengganti bahan bakar fosil pada motor diesel telah dilaksanakan selama long term. Hasil-hasil penelitian dalam tiga tahap dapat disarikan pada poin-poin berikut ini

1. Produksi biodiesel telah dipelajari dengan baik dan sukses, penggunaan castor methyl ester dan palm methyle ester sebagai bahan bakar motor diesel sangat bagus. Palm methyl ester mempunyai properties mirip-mirip dengan jenis biodiesel yang lainnya dan telah sesuai dengan yang telah distandardkan pada DIN V 51606 dan ASTM.
2. Dilihat dari viskositasnya castor methyl ester masih terlalu tinggi karena viskositas dari bahan bakunya sudah cukup tinggi, sehingga viskositas antara 12-22 cSt merupakan hasil yang paling optimum. Secara komersial diusulkan sebagai kompelemen dari minyak diesel atau dipasaran lebih dikenal dengan marine diesel oil (MDO)
3. Blending antara castor methyl ester dengan palm methyl ester akan saling memberikan kelebihan untuk menutup kekurangan properties pada masing-masing jenis biodiesel. Kelemahan temperatur dari pour point pada palm methyl ester dapat diperbaiki dengan penambahan castor methyl ester, sebaliknya tingginya viskositas dan rendahnya daya larut terhadap minyak solar dari castor methyl ester dapat dieliminir dengan komponen palm methyl ester.
4. Castor methyl ester dan palm methyl ester dapat digunakan untuk menggerakkan motor diesel standard baik dalam 100% maupun sebagai kompelemen yang di blending dengan minyak solar ataupun minyak diesel(marine diesel oil).
5. Sekalipun motor diesel dapat beroperasi dengan baik pada keadaan standard, penggunaan 100% castor methyl ester, atau palm methyl ester tidak direkomendasikan.
6. Penggunaan 10% dan 20% dari castor methyl ester, palm methyl ester atau blending dari keduanya direkomendasikan sebagai kompelemen dari minyak solar.
7. Penggunaan castor methyl ester dan palm methyl ester dapat menurunkan emisi gas buang terutama NO_x dan partikel smoke.

8. Modifikasi motor diesel hanya perlu untuk motor diesel produksi lama saja, untuk motor diesel yang baru tidak perlu dilakukan. Atau untuk memperoleh unjuk kerja yang lebih baik, motor diesel perlu dimodifikasi sedikit apabila ingin menggunakan biodiesel 100%.
9. Dalam uji ketahanan (durability) unjuk kerja motor diesel tidak mengalami penurunan prestasi. Daya tahan motor juga tidak mengalami perubahan.
10. Perbedaan deposit karbon sangat signifikan apabila dibandingkan dengan menggunakan minyak solar. Diperkirakan dengan banyaknya deposit dari karbon ini mempercepat keausan dari material dari cromium (Cr).
11. Dalam penggunaan biodiesel sebagai kompelemen minyak solar juga mempercepat rusaknya material dari karet, misalnya saja oilseal exhaust valve.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali Y, Hanna M A., and Borg J E., [1998] "*Effect Of Alternatives Diesel Fuels On Heat Release Curves For Cummins N14-410 Diesel Engine*", Journal series number 11128 of the University of Nebraska Agricultural Research
- Ali Y, Hanna M A., and Borg J E., [1996]"*In Cylinder Pressure Characteristics of a CI Engine Using Bleds of Diesel Fuel and Mathyl Ester of Beef Tallow*", Transaction of the ASAE
- Ali Y, and Hanna MA., [1997] "*Durability Test of a Diesel Fuel, Methyl Tallowate and Ethanol Blend in a Cummins N14-410 Diesel Engine*" Journal series number 11086 of the University of Nebraska Agricultural Research
- Allen C A W, dan Watt K.C.,[1996] "*A Batch Type For Methyl And Ethyl Biodiesel Fuels*"., CSAE 96-404.
- Anwar dan Ilham,[1999] "*Meraup Jutaan Rupiah Dari Lahan Kering*"., Jawa Pos, Senin 18 Oktober 1999
- Baranescu R A., dan Lusco J J.,[1997] "*Performance, Durability, And Low Temperature Evaluation Of Sun Flower Oil As Diesel Fuel Extender*"., American Society of Agricultural Engineer Publication, pp.312-328
- Clement D.,[1996] "*Blending Rules Formulating Biodiesel Fuel*"., American Society of Agricultural Engineer Publication
- Culshaw, FA.,[1993] "*The Potential Of Biodiesel From Oilseed Rape*", Journal Of Power And Energy, Proc. Instn. Mech. Engrs. Vol 207 pp:173-17
- Degobert Paul [1995] "*Automobiles and Pollution*", Society of Automotive Engineers, Inc
- Effendi H.,[1982] "*Kemungkinan Minyak Jarak (Castor Oil) Sebagai Minyak Pelumas Mesin*"., Lembaran Publikasi PPTMG-Lemigas, No.1 Tahun XVI 1982 pp.21-23
- Feldman, dan Peterson, [1997] "*Fuel Injector Timing And Pressure Optimization On A DI Diesel Engine*"., American Society of Agricultural Engineer Publication, pp111-123
- Fort E F., dan Blumberg. P M., [1997] "*Performance And Durability Of A Turbocharged Diesel Fuelled With Cottonseed Oil Blend*"., American Society of Agricultural Engineer Publication
- Grabosky M S., dan McCormick R L., [1996] Soc. Automotive Eng. Technical Paper No 961166.

Grabosky MS., dan McCormick R L., [1998]“*Combustion Of Fats And Vegetable Oil Derived Fuels In Diesel Engine*”, Prog. Energy Comb. Sci. Vol 24 pp.125-164

Haines HE., and Efavoff J., [1998]”*Environmental and Regulatory Benefits Derived From the Truck in the Park Biodiesel Emissions Testing and Demonstration in Yellowstone National park*” BioEnergy 98: Expanding BioEnergy partnerships

Howell S A., dan Weber J A., “U.S Biodiesel Overview”, National Biodiesel Board

Kaufman K.R., dan Ziejewski.M., [1984]”*Sunflower Methyl Ester for Dierect Injection Engine*” Transaction of the ASAE

Kac, A., [2000] “*The Two-stage Adaptation of Mike Pelly’s Biodiesel recipe*”, Journey to Forever

Kac, A, [2001] “*The Foolproof Way to Make Biodiesel*” Journey to Forever.

Kowalewich, A. [1984],”*Combustion System of High Speed Piston I. C. Engines*”, Wydawnictwa Konwnikceji I Laczonsei, Copyright 1984

La Puppung P., [1985] “Beberapa Minyak Nabati Yang Memiliki Potensi Sebagai Bahan Bakar Aternatif Untuk Motor Diesel”, *Lembaran Publikasi Lemigas No.4/1985 pp.34-46*

La Puppung P., [1986] “*Minyak Jarak Memiliki Potensi Sebagai Bahan Dasar Minyak Pelumas*”, Lembaran Publikasi Lemigas No.4/1986 pp.55-64

Lingga L, Shafarai B, dan Sumarni, [1998] “Dicari Biji Jarak Dalam Jumlah Tak Terbatas”, *Sisipan Trubus No. 218-Th.XIX-1Januari 1998*

Marshall .W., Schoumacher L.G., Howell S., [1995],”*Engine Exhaust Emissions Evaluation of a Cummins L10E When Fueled with a Biodiesel Blend*” Society of Automotive Engineers, SAE Paper 952363

Masjuki HH, Abdul Muin MZ, dan Sii HS.,[1996], “*Investigation On Preheat Palm Oil Methyl Ester In The Diesel Engine*”, Proch Instn Mech Engines Vol 210, A00195 ©ImechE 1996

McDonald, J., Purcell D L., dan McClure.,[1995] “*Emission Characteristics Of Soy Methyl Ester Fuel In An Indirect Injection Compression Ignition Engines*”, US Bureau of Mines

Nag, A.,Bhattacharya, S, dan De, K. B.,[1995] “*New Utilization of Vegetable Oil*”, JAOCs Vol. 72, No.12 pp:1591-1593

National Biodiesel Board ,[1998] “*Commonly Asked Questions*”.

National Biodiesel Board, “*Biodiesel Performance*”

National Biodiesel Board, “ *Biodiesel Usage Checklist*”.

National Biodiesel Board, [1998] "*B20-How Much Fuel Can It Displaced*"., July, 1998

National Biodiesel Board, "*Biodiesel Emission*".

National Biodiesel Board, "*Biodiesel Production Technology Overview*"

National Biodiesel Board, "*Biodiesel Production*".

National Biodiesel Board, "*Environmental And Safety Information*".

National Biodiesel Board, "*Specification For Biodiesel B100*".

National Biodiesel Board, "*Uses For Methyl Esters, Glycerol*"

Nishida O, Suita Y, Min HC, Fujita H, Harano W, Yasukawa T and Okamoto T. [2002] "*The Application and Problem of BDF for Diesel engine*" Journal of the JIME Vol 37 no 9 pp54-60

O'Connor CT, dan Forrester R D., dan Seurrell MS.,[1992] "*Cetane Number Determination Of Synthetic Diesel Fuel*"., FUEL, Vol 71, novembre 1992

Peterson CL and Reece D., [1994] "*Toxiology, Biodegedability and Environmental Benefits of Biodiesel*", Department of Agricultural engineering, University of Idaho

Pelly M, [2000], "*Mike Pelly's Biodiesel method*" Journey to Forever

Rahman M,[1995] "*Biodiesel, Alternatif Subsitusi Solar Yang Menjanjikan Di Indonesia*"., Lembaran Publikasi Lemigas No.1/95 pp33-95

Sapuan SM, Masjuki HH, dan Azlan A.,[1996] "*The Use Of Palm Oil As Diesel Fuel Substitute*"., Proch Instn Mech Engines Vol 210, A00195 ©ImechE 1996

Schumacher L,G., et-al [1995] "*6V-92TA DDC Engine Exhaust Emission Test Usingmethyl Ester [Biodiesel]*", Department of Agricultural Engineering, University of Missouri

Sharp. S A.,[1998] "*Exhaust Emission And Performance Of Diesel Engines With Biodiesel*"., Soutwest Research Institute

Soedradjat Setyo [1999] "*Dunia Minyak Memasuki Paska 2000*" Lembaran Publikasi Lemigas Vol. 32 No.2 98/99

Soenarto N dan Furuhamas S., [1985] "*Motor Serbaguna*" The Association for International Technical Promotion, PT Pradnya paramita, Jakarta

Stone R, [1993] "*Intrduction to Internal Combustion Engines*".2nd Ed., SAE

Tabersky J S, dan Peterson C L,[1998] "*Dynamometer Emission Test Comparison On A Direct Injection Diesel Powered Pick Up*"., BioEnergy '98: Expanding BioEnergy Patnership pp982-991.

University of Idaho and Montana Dept. of Environmental Quality, [1999] "*Truck-in-the-Park,Biodiesel with Yellowstone National Park*".

- Van Gerpen J,[1998] *“Cetane Number Testing Of Biodiesel”*., Iowa State University, September 1996
- Van Gerven. J., [1996] *“Comparison Of The Engine Performance And Emission Characteristics Of Vegetable Oil Based Or Animal Fat Based Biodiesel”*., Iowa State University
- Varde K.S.,[1997] *“Some Correlation Of Diesel Engine Performance With Injection Characteristics Using Vegetable Oil As Fuel”*., American Society of Agricultural Engineer Publication, Pp303-311
- Walker K, [1994] *“Biodiesel From Rapeseed”* Journal of The Royal Agricultural Society of England, Vol 155, Pp 43-44
- Wells, S., [2001], *” Simon’s Guide to Building a Biodiesel Mixer ”*, Journey to Forever
- Winne T.D., [2001], *“Bubble Washing”*, Journey to Forever
- Yamane K, Ueta A and Shimamoto Y [2001] *“ Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuels on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a direct injection compression ignition engine”* Int J Engine Research vol 2 No 4 pp249-261
- Zuhdi, A.,[1995] *“Unjuk Kerja dan Proses Pembakaran Mesin Diesel Tipe Indirect Injection Berbahan Bakar Komposisi Etanol-Diesel Oil”*., LEMLIT-ITS , Laporan Penelitian
- Zuhdi, A., Asianto, Tjoek, S.,[1996] *“Reduksi NOx dengan Metode Perlambatan Penginjeksian pada Motor Diesel Putaran Tinggi”*., Jurnal IPTEK-ITS Vol.7 No.2 November 1996 Hal. 164-173
- Zuhdi MFA., Gerianto I., Budiono T. [2002] *“ Produksi dan Karakteristik Bio-Diesel Serta Teknik Pencampurannya dengan Minyak Solar (Gas Oil)”* Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2002, 29 Oktober 2002, Fakultas teknologi Kelautan ITS Suraabaya
- Zuhdi Aguk MF [2002] *“Aplikasi Penggunaan Waste Methyl Ester Pada High Speed Marine Diesel Engine”* Prosiding Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2002, 29 Oktober 2002, Fakultas teknologi Kelautan ITS Surabaya
- Zuhdi MFA, Gerianto I, Hashimoto M, Dan T [2002] *“ The Characteristics of Castor Oil as a Bio-diesel Fuel and Its Effects on the Diesel Engines Performance”* Proceeding the 68th Annuaal Meeting of Japan Institutions of Marine Engineering, November 19-22, 2002

LAMPIRAN I

DESAIN UNIT TRANSESTERIFIKASI TYPE BATCH

Perencanaan dari unit ini dirancang untuk keperluan penelitian di laboratorium. Untuk itu type *batch* adalah lebih cocok. Direncanakan *reactor* dapat bekerja dalam kondisi tekanan atmosfer ataupun dalam keadaan *vaccum*.

Reactor terdiri dari dua buah bejana, dimana satu bejana diletakkan dalam bejana yang lain. Bejana bagian dalam digunakan untuk tempat berlangsungnya proses transesterifikasi. Bejana bagian luar digunakan untuk menampung air pemanas karena reaksi ini membutuhkan sejumlah panas untuk dapat berlangsung sempurna.

Keduanya dibuat dari bahan *stain less steel* untuk mencegah karat dan mencegah adanya reaksi antara reaktan dengan bagian dalam dinding bejana. Untuk dapat melihat jalannya reaksi didalam bejana *reactor*, maka pada kedua bejana dilubangi dari atas kebawah sampai dasar bejana dan dipasang transparan glass. *Transparan glass* digunakan untuk mengamati reaksi yang sedang berjalan didalam tabung.

Bagian dasar dari bejana dalam dibuat kerucut sehingga dapat menampung gliserol yang dihasilkan. Selain itu bentuk *conical* ini akan membantu pengumpulan gliserol sehingga mudah dikeluarkan. Pada bagian dasar konikal dipasang *drain pipe* yang transparan agar dapat dilihat bahwa gliserol dalam reactor sudah habis dikeluarkan.

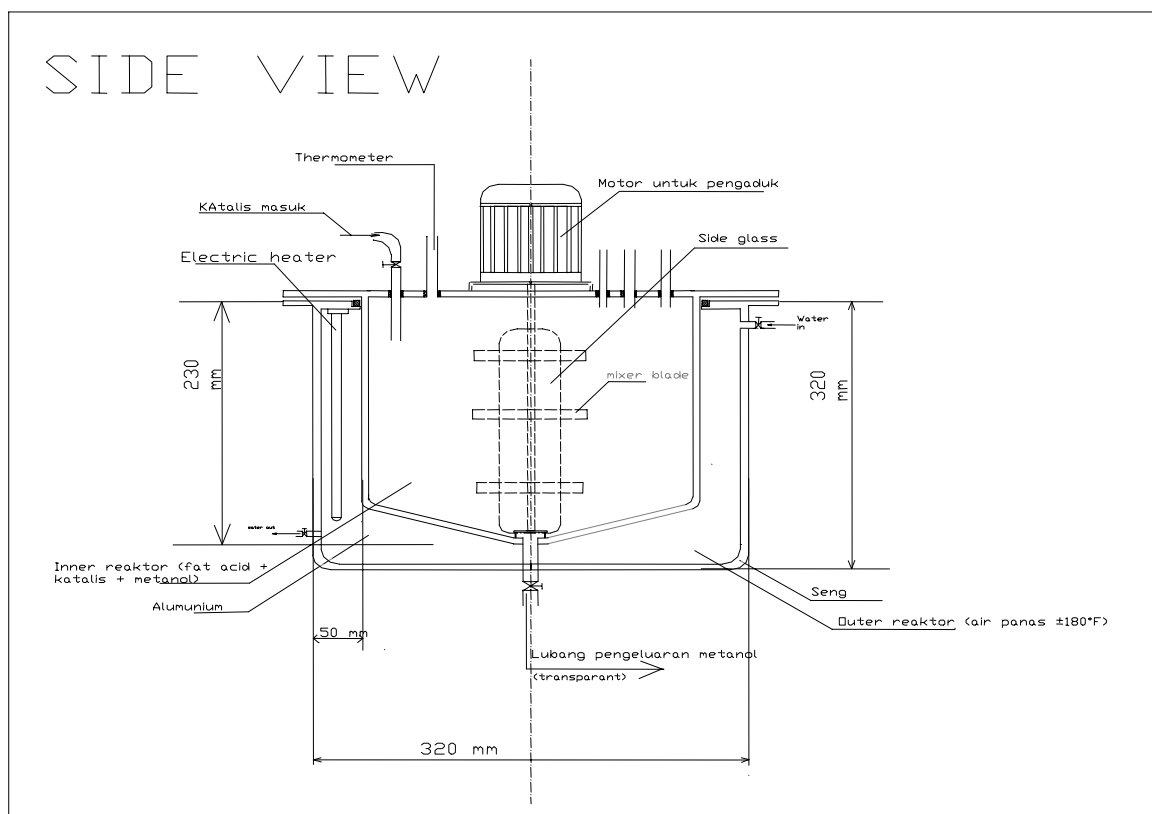
Untuk mengaduk larutan dalam reaktan, kita memasang *mixer* dengan tiga *blade* masing masing untuk bagian atas, tengah, dan bawah *reactor*. Hal ini diharapkan agar terjadi campuran yang benar-benar homogen dalam *reactor*. Agar kecepatan putaran dapat diatur, maka dipakai motor dengan kecepatan yang dapat diatur pula. Pada bagian dalam dari dinding *reactor* dipasang sekat sekat untuk lebih mendistribusikan putaran larutan oleh *mixer*.

Untuk proses pemanasan dan pendinginan, maka volume dan aliran air dalam bejana luar harus dapat diatur sedemikian rupa dengan menggunakan beberapa katup secara manual. Untuk memanaskan air pemanas didalam bejana luar digunakan tiga *electric heater*. Heater ini dihubungkan dengan sebuah termostat yang dihubungkan ke dalam *reactor* dalam. Termostat akan mematikan heater begitu suhu yang telah diset sebelumnya terlampaui.

Untuk mencegah, adanya reaksi oksidasi selama proses transesterifikasi, maka atmosfer didalam *reactor* dibuat vakum, dan diisi dengan nitrogen yang dimasukkan kedalam reactor. Nitrogen dimasukkan dari sebuah lubang yang dibenamkan sampai dasar reactor. Aliran nitrogen ini diatur secara manual dengan sebuah katup yang dipasang diluar unit.

Kemungkinan akan terbentuknya gas beracun harus diantisipasi dengan menjamin bahwa keseluruhan reactor kedap dari udara luar, dan segala asap yang mungkin timbul ditampung dan dialirkan keluar melalui sebuah pipa yang dihubungkan ke kondensor. Kondensor akan mengembunkan uap menjadi cair. Cairan ini kemudian ditampung dalam wadah khusus. Selama proses berlangsung, pH akan selalu diamati.

Dibawah ini disajikan bagan *reactor* tersebut:



Gambar 4.1. Skema unit transesterifikasi

LAMPIRAN II

PROSES PEMBUATAN METIL ESTER DENGAN UNIT TRANSESTERIFIKASI TYPE BATCH

Proses untuk mengubah minyak nabati menjadi ester disebut transesterifikasi. Esterifikasi dipakai sebagai istilah untuk menjelaskan suatu proses dimana asam lemak diubah menjadi ester. Ada dua tipe alat yang bisa dipakai yaitu:

1. *Batch type*
2. *Continues*

dimana untuk keperluan laboratorium, *type batch* lebih cocok dipakai.

Perubahan trigliserid menjadi metil ester akan menghasilkan gliserol sebagai produk samping. Hal ini akan berakibat penurunan viskositas ester dari 40 – 60 mPas menjadi 3-9 mPa tergantung pada jenis asam lemaknya. Hal ini dapat membantu untuk atomisasi yang lebih baik untuk menghasilkan kualitas pembakaran yang lebih baik.

Proses ini membutuhkan suatu kontrol temperature, atmosfer, pH, dan agitasi selama penambahan dan pengeluaran alkohol, alkalis, dan *wash water*. Jika karena suatu hal, proses ini tidak sempurna, maka beberapa katalis akan tertinggal diprodukannya, sehingga mempengaruhi viskositas dan tegangan permukaan biodiesel yang dihasilkan.

Dibawah ini dijelaskan prosedur transesterifikasi :

Proses ini membutuhkan bahan-bahan minyak nabati 80 % volume, Alkohol 20 % ditambah Katalis yang digunakan adalah metil alkohol, KOH atau Na OH. Jumlah katalis yang digunakan adalah sekitar 0.5% sampai 4% dari berat minyak.

Esterifikasi ini memerlukan dua step (tahap), tahap pertama proses ini dimulai dengan memanaskan minyak sampai pada suhu 35⁰C pada udara nitrogen atau bisa juga dengan udara biasa (pada pembuatan biodiesel ini tidak dipergunakan nitrogen), pastikan lemak-lemak beku mencair semua. Kemudian sejumlah metil alkohol 0.08 liter/liter minyak nabati (8 % volume) campurkan kedalam minyak yang telah dipanaskan, aduk selama selama 5 menit. Untuk menghentikan reaksi yang terjadi tambahkan 1 mililiter sulfuric acid (H₂SO₄) pada setiap liter minyak. Gunakan pippet rata-rata dalam mengendalikan konsumsi sulfuric acid. Pengadukan pelan-pelan tetap dilakukan selama 1 jam (60 menit) dengan tetap mempertahankan temperatur pada 35⁰ C.

Setelah 1 jam (60 menit) pengadukan pada suhu 35 °C, hentikan pemanasan tetapi pengadukan tetap dilakukan selama 1 jam (60 menit). Kemudian hentikan dan biarkan minimum 8 jam (menginap lebih baik).

Siapkan *SODIUM METHOXIDE*, ukur (0,12 % volume) dan 3,1 gram atau 3,5 gram kalau kualitasnya jelek (1% KOH atau dua kalinya untuk Castor Oil untuk melarutkannya) dan *SODIUM LYE* (*SODIUM HYDROXIDE*, **Na OH**) atau **K OH** per liter minyak nabati. Campurkan ke dalam alkohol (jumlah alkohol diusahakan lebih besar dari perbandingan 6:1 molar), aduk-aduk hingga semuanya larut sempurna. (**Hati-hati berbahaya !!!!!**).

Setelah didiamkan 8 (delapan) jam atau sok harinya, tuangkan separo (50 %) methoxide ke dalam mixture yang belum dipanasi, dan aduk selama 5 menit.

Tahap kedua dimulai dengan memanaskan mixture hingga mencapai suhu 57 °C. Tambahkan separo (50 %) *SODIUM METHOXIDE* ke dalam mixture panas dan diaduk pelan-pelan. Pada proses yang kedua ini dilakukan untuk memisahkan glyserol yang sulit terpisahkan dari minyak. Aduk-aduk hingga Glyserine mengendap dibawah (biasanya 1,5 – 2,5 jam). Setelah terlihat terjadi endapan glyserine diamkan. Proses ini merupakan pendeaktivasi katalis, alkohol diuapkan sampai tidak ada lagi alkohol yang keluar dari kondensor (hal ini membutuhkan waktu kira kira 1 jam atau 60 menit). Reaktan lalu didinginkan sampai suhu 40 °C sementara gliserol yang terkumpul dikeluarkan dari lubang dibawah reaktor.

Setelah ini hanya ada lapisan ester yang tersisa dalam reaktor. Lapisan ini lalu dicuci dengan *destilated water*. Selama pencucian ini biasanya terbentuk emulsi. Untuk itu digunakan 2% sodium sulfat untuk mengatasi emulsi ini. Pengaduk hanya diputar pada putaran rendah untuk mencegah pembentukan emulsi. Cara yang lain adalah dengan metode bubble, metode ini pertama kali diperkenalkan di university of Idaho

Untuk menggantikan sodium sulfat kita bisa juga dengan menggunakan asam cuka. Gunakan cuka yang cukup kuat, untuk cuka 25% kita bisa campurkan dengan komposisi 7 mL dalam komposisi dest water. Kadang-kadang dalam penambahan asam ini tidak kita peroleh PH normal, dianjurkan untuk mencoba sebagian kecil dari biodiesel yang telah dipisahkan dari glyserolnya. Tanda-tanda yang paling mudah diamati adalah, apabila terjadi emulsi pada biodiesel berarti kekurangan asam berarti kita perlu menambahkan asam. Sebaliknya apabila dest water anda jernih sekali itu menandakan kebanyakan asam yang

dilarutkan. Untuk meyakinkan kita bisa menggunakan kertas lakmus untuk mengukur Ph-nya.

Lapisan ester kemudian dikeringkan selama satu jam dengan cara memanaskan sampai mencapai suhu 130 °C, dan ester yang tersisa disimpan dibotol untuk dilakukan pengujian. Untuk membersihkan tangki reaktor, digunakan *acetone* setiap kali hendak memulai proses yang baru.

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 ₂ SO ₄		X							
Pengadukan pelan-pelan.		XXX	XXX X	XXX X		XXXX			
Penambahan Methoxide I			X			X			
Pendinginan					XXX X		XXX X		
Pengeluaran Glyserol					X		X		
Pembubblan								XXXX	
Penambahan Air dan Asam								X	
Pengeringan									XXX
Temperatur minyak	35°C	35°C	35°C			57°C			130 °C
Ph								6-7	

LAMPIRAN III

FORMULA UNTUK MENGHITUNG KARAKTERISTIK B_{xx}

MENURUT CLEMENT

Sekarang sedang diusahakan untuk mengembangkan suatu spesifikasi biodiesel yang akan menjamin unjuk kerja nya tanpa melihat dari mana sumber trigliserolnya. Selama ini properties dari suatu biodiesel selalu ditentukan berdasarkan percobaan kimiawi. Namun demikian dimungkinkan mendapatkan properties dari campuran biodiesel secara aljabar.

Clement berusaha menggunakan data properties dari berbagai biodiesel murni untuk mendapatkan formula optimasi dari campuran biodiesel-biodiesel tersebut. Hal ini sangat menguntungkan karena tidak perlu lagi harus mengadakan experiment kimiawi dengan prosedur yang rumit.

Estimasi ini dimungkinkan oleh sifat biodiesel dimana komposisi kimianya telah didefinisikan dengan pasti, yaitu asam lemak yang diturunkan dari sumber nabati atau hewani.

Disini dikemukakan berbagai teknik estimasi sifat sifat biodiesel.

6. Density

Density hidrokarbon sebagai fungsi temperatur paling baik diestimasi dengan persamaan empiris yang didasari pada teori keadaan yang bersangkutan. Metode ini disebut dengan modifikasi Rackett. Persamaan ini dapat ditulis sebagai:

$$\rho_I = a_i t + b_i \text{ ,}$$

t adalah temperatur Celcius, sedangkan a, dan b adalah konstanta yang tergantung pada jenis biodiesel. I mengacu pada masing masing bahan campuran. Perbedaannya dengan hasil percobaan adalah sekitar 0.15%

7. Viskositas

Persamaan untuk memperoleh viskositas dari campuran berbagai biodiesel adalah

$$\ln \eta_{\text{mix}} = \sum x_i \sqrt[3]{\ln \eta_i}$$

dimana $\ln \eta$ adalah viskositas masing masing biodiesel. Dibandingkan dengan viskositas hasil percobaan formula ini menghasilkan perbedaan yang cukup besar yaitu rata rata -108.8%

8. Angka Setana

Persamaan untuk memperoleh cetane number dari campuran berbagai biodiesel adalah

$$P_{\text{mix}} = \sum x_i P_i$$

Dengan hasil perbedaan rata rata Persamaan untuk memperoleh viskositas dari campuran berbagai biodiesel adalah 6.633% kecuali untuk metyl tallowad sekitar – 10.3%

9. Heating value

Rumus untuk mendapatkan *heating value* dari campuran biodiesel hampir sama dengan formula untuk memprediksi *cetane number*. Keduanya tergantung dari jumlah komposisi masing masing substansi dalam campuran serta nilai propertiesnya masingmasing.

10. Cloud point

Persamaan untuk memperoleh *cloud point* dari campuran berbagai biodiesel adalah

$$\text{Ln}(t + 10) = 2.2 - 1.57 \ln (\sum x_{\text{unsaturated}})$$

dengan perbedaan rata rata dengan hasil percobaan sebesar 0.7%

LAMPIRAN IV

PELAKSANAAN PERCOBAAN

Engine set-up telah ditunjukkan pada bab metodologi penelitian, berikut ini akan disampaikan pelaksanaan percobaan pada engine test bed. Spesifikasi mesin dan dinamometer dapat dilihat sebagai berikut:

Spesifikasi Mesin Diesel:

Merek	: Energo Machexport
Type	: 2 D 4 OT 2
Daya	: 24 HP
Putaran	: 1500 rpm
Konstruksi Motor	: inline, 4 silinder
Jumlah langkah	: 4 langkah
Diamater silinder	: 85 mm
Langkah Piston	: 109 mm
Volume displacement	: 618520.7 mm ³

Spesifikasi Dinamometer:

Merk	: HOFMAN
Type	: AFA 16
Torsi maksimum	: 6207 Nm
Daya maksimum	: 900 kW
Putaran maksimum	: 5000 rpm
Panjang lengan	: 0,359 m

Spesifikasi Bahan bakar.

Ada 4 jenis bahan baku yang digunakan pada penelitian ini, yaitu minyak solar dan minyak diesel produksi Pertamina yang ada dipasaran Indonesia. Sifat-sifat kedua jenis minyak ini dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3.1 Karakteristik Bahan Bakar Minyak Pertamina

Tests		Minyak Solar	Minyak Diesel
Strong Acid Number	mg KOH/g	Nil	Nil
Flash Pont PM cc	° C	75	85
Pour Point	° C	2	5
Sediment	%wt	Nil	0.008
Specific Gravity	15/15 ° C	0.8373	0.8646
Sulpur Content	%wt	0.40	1.30
Viscosity Kin./100 ° F	cS	4.50	-
Water Content	% Vol	Nil	0.02
Calorific Value, Gross	kcal/ltr	9063	9270
Visco. Redwood I, 100 ° F	Second	-	38.67

Dua jenis minyak nabati yang dipergunakan dalam penelitian ini yaitu Minyak kelapa sawit (palm oil) yang telah dijual dipasaran, merek Bimoli. Adapun jenis yang lainnya adalah minyak jarak (Castor Oil) minyak yang dipergunakan adalah minyak yang dipasarkan di toko kima, dalam percobaan ini digunakan minyak jarak yang dipasarkan melalui Brataco. Kedua minyak nabati tersebut direaksikan dengan methanol dengan derajat kemurnian 99,9%. Untuk membuat biodiesel, pada awalnya dalam skala kecil, yaitu dalam ukuran sekitar 1 liter larutan. Proses pembuatan dipelajari berkali-kali hingga diperoleh hasil yang paling baik. Pembuatan biodiesel dari minyak sawit, tidak begitu banyak hambatan, karena banyak referensi yang bisa membantu, walaupun tidak sama persis bahan bakunya namun sifat-sifat fisiknya mirip-mirip. Namun untuk minyak jarak masih jarang yang menggunakan jadi perlu pembuatan komposisi yang tepat. Pencucian dan pengeringan merupakan problem yang perlu dicoba berkali-kali hingga diperoleh hasil yang baik. Penambahan asam merupakan percobaan yang tidak bisa dilakukan sekali jadi, dengan mencoba dan salah maka diperoleh formula penambahan asam yang dapat digunakan untuk digunakan pegangan sehingga diperoleh PH normal. Karakteristik Biodiesel dari palm methyl ester dan castor methyl ester dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3.2. Karakteristik Bahan Bakar Biodiesel

Tests		Palm Methyl Ester	Castor Methyl Ester
Strong Acid Number	mg KOH/g	1.8	2.68
Flash Pont PM cc	°C	175	200
Pour Point	°C	8	< -10
Sediment	%wt	0.08	0.21
Specific Gravity	25/25 °C	0.8848	0.9450
Sulpur Content	%wt	-	-
Viscosity Kin./40 °C	cS	3.95	12
Water Content	% Vol	0.64	Nil
Calorific Value, Gross	kcal/ltr	9438.4	9799.3

Langkah-langkah Percobaan:

Untuk mengetahui performance diesel engine dengan menggunakan biodiesel maka perlu dilakukan langkah-langkah percobaan. Percobaan dengan menggunakan 4 jenis bahan bakar yang dikombinasikan berdasarkan sekenario yang telah diberikan pada metodologi penelitian.

Langkah-langkah percobaan Pra-eksperimen:

a. Tahap persiapan.

1. Memeriksa instalasi engine test bed (tanki bahan bakar, minyak pelumas, system bahan bakar, system pendingin, tandon air, cooling tower, instrumen-instrume yang digunakan, baut-baut pengikat dll).
2. Menghidupkan kontrol panel.
3. Menghidupkan semua system pendinginan dengan menyalaka pompa.
4. Menstart engine
5. Memanaskan engine hingga siap kira-kira 30 menit pada putaran idle dan tanpa beban

b. Tahap Pengukuran.

1. Menyiapkan bahan bakar kedalam gelas ukur sehingga dapat diamati pemakaianbahan bakarnya.

2. Putaran motor ditingkatkan hingga mencapai putaran 1300 rpm dan dijaga tetap konstan .
3. Beban diatur pada beban pertama (70 N)
4. Dilakukan pengukuran yang meliputi: gaya rem, pemakaian bahan bakar, suhu dan gas buang, suhu air pendingin, suhu minyak pelumas dan volume air pendingin.
5. Percobaan diulangi lagi, dimulai dari no1 sampai dengan langkah no 4 dengan meningkatkan beban yang lebih tinggi sampai beban tidak dapat ditingkatkan.
6. Tahap pengukuran dengan meobah putaran engine ke 1400 rpm dengan urutan mulai no 1 sampai no 4

Setelah selesai, hasil pengukuran dilakukan perhitungan dan ditabelkan. Hasil dari pra-eksperimen ini dapat digunakan untuk menentukan beban-beban yang perlu diamati sebagai perbandingan dengan semua variable bahan bakar (Bxx).

Hasil percobaan Pra-eksperimen dapat dilihat pada table berikut:

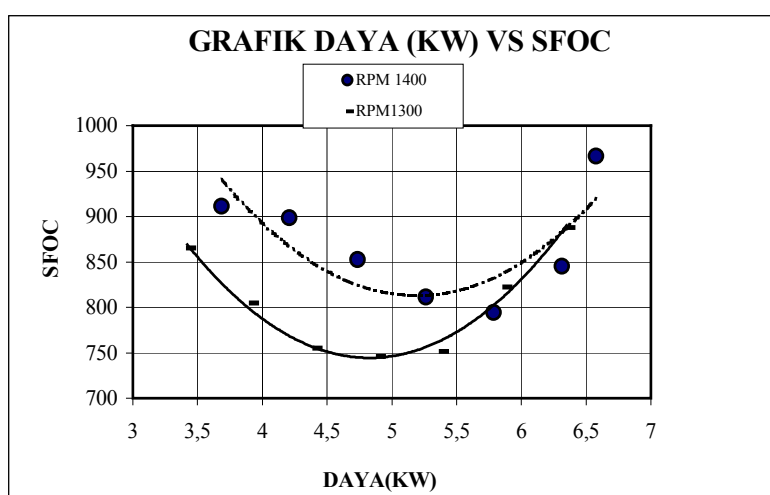
Tabel 3.3. Data hasil percobaan Pra-eksperimen

N (rpm)	F (N)	t sec/100mL	Tw_i °C	Tw_o °C	Tex °C	V_w M³/min
1300	70	101	38	42	150	30.7
	80	95	46	54	180	30.7
	90	90	52	58	190	30.7
	100	82	54	60	205	30.7
	110	74	58	62	220	30.7
	120	62	60	68	260	30.7
	130	53	64	74	280	30.7
1400	70	89	64	68	160	30.7
	80	79	68	74	200	30.7
	90	74	68	76	210	30.7
	100	70	70	77	220	30.7
	110	65	70	78	240	30.7
	120	56	72	78	270	30.7
	125	47	74	81	290	30.7

Hasil percobaan Pra-eksperimen dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3.4. Perhitungan hasil percobaan Pra-eksperimen

N (rpm)	F (N)	t sec/ 100mL	Mp	BHP	Bmep	sfoc
1300	70	101	25.13	3.4193553	8505.041327	865.19696
	80	95	28.72	3.9078347	9720.047231	804.86086
	90	90	32.31	4.396314	10935.05313	755.17809
	100	82	35.9	4.8847933	12150.05904	745.9686
	110	74	39.49	5.3732727	13365.06494	751.46714
	120	62	43.08	5.861752	14580.07085	822.16969
	130	53	46.67	6.3502313	15795.07675	887.80007
1400	70	89	25.13	3.6823827	9159.275275	911.72039
	80	79	28.72	4.2084373	10467.74317	898.73703
	90	74	32.31	4.734492	11776.21107	852.85556
	100	70	35.9	5.2605467	13084.67896	811.43115
	110	65	39.49	5.7866013	14393.14686	794.40812
	120	56	43.08	6.312656	15701.61476	845.24078
	125	47	44.875	6.5756833	16355.84871	966.81158



Grafik 3.1. Daya Vs sfoc hasil pra-eksperimen

hasil perhitungan diatas maka dibuat grafik, sehingga dapat ditentukan beban 100% pada masing-masing putaran. Dengan berpatokan dari pra-eksperimen ini maka dapat dibandingkan semua bahan bakar yang telah kita uji.

Prosedur Pengujian engine:

Untuk memperoleh data-data, prosedur pengujian engine sama seperti pada saat melakukan pra-eksperimen. Namun pada saat melakukan pencatatan dilakukan pengukuran emisi gas buang kurang lebih selama 5 menit. Dalam menentukan beban pada pengukuran emisi gas buang ini digunakan system US 13-mode cycle. Siklus ini dirancang untuk mengukur polutan motor diesel pada engine test bed. Sistem pengukuran semacam ini pertamakali diperkenalkan di California pada tahun 1973 (*Degobert, 1995*). Pengukuran semacam ini juga telah di adopsi pada SAE dan juga EEC. Adapun 13 mode pengujian tersebut adalah terbagi dalam beban-beban pada putaran dimana torsi maksimum dan putaran pada daya maksimum.

Pada engine yang dipergunakan ini dalam eksperimen telah dipelajari, bahwa torsi maksimum diperoleh pada 1300 rpm, sedangkan daya maksimum diperoleh pada putaran 1400rpm. Sedangkan pembebanan diberikan dengan idling, 10, 25, 50, 75 dan 100% beban. Hasil pengujian pra-eksperimen menunjukkan bahwa untuk 100% beban diberikan pada gaya pengereman 115 N. Dengan menentukan 100% beban maka pada beban-beban yang lain dapat disesuaikan. Kalau melihat trend grafik pra-eksperimen maka nampak bahwa pemberian beban pada engine terlalu tinggi yaitu memberikan beban terbesar adalah 130 N. Dengan penentuan beban yang telah dievaluasi ini akan diperoleh performance engine yang dimiliki pada saat sekarang. Jumlah komposisi bahan bakar adalah B00, B10, B20 dan B100.

LAMPIRAN V
RANGE SPESIFIKASI KARAKTERISTIK BIODIESEL (B100)
(Hasil Pengujian Mengacu Pada Prosedure Astm)

Bio diesel didefinisikan sebagai senyawa ester dengan satu gugus alkil dari satu rantai asam lemak yang diturunkan dari lemak alami yang digunakan sebagai bahan bakar untuk *diesel engines*.

Spesifikasi dari Biodiesel murni dipaparkan sebagai berikut:

Tabel 3.5. Spesifikasi dari Biodiesel murni

No	Properti	Metode ASTM yang dipakai sebagai prosedur pengujian	Range	Satuan
1	Flash Point	D93	100 (min)	Derajat C
2	Water and Sediment content	D2709	0.050 (max)	% Volume
3	Kinematic Viscosity	D445	1.9 – 6.0	mm ² / sec
4	Sulfate ash	D874	0.020 (max)	% massa
5	Sulfur	D2622	0.05 (max)	% massa
6	Copper Strip Corrosion	D130	No. 3 max	
7	Cetane number	D613	40 (min)	
8	Cloud Point	D2500	Report to customer	Derajat C
9	Carbon Residu 100% sample	D4530***	0.050 (max)	% massa
10	Angka Asam	D664	0.80(max)	mg KOH/gm
11	Free Glycerin	GC ***	0.020 (max)	% massa
12	Total Glycerin	GC ***	0.240 (max)	% massa

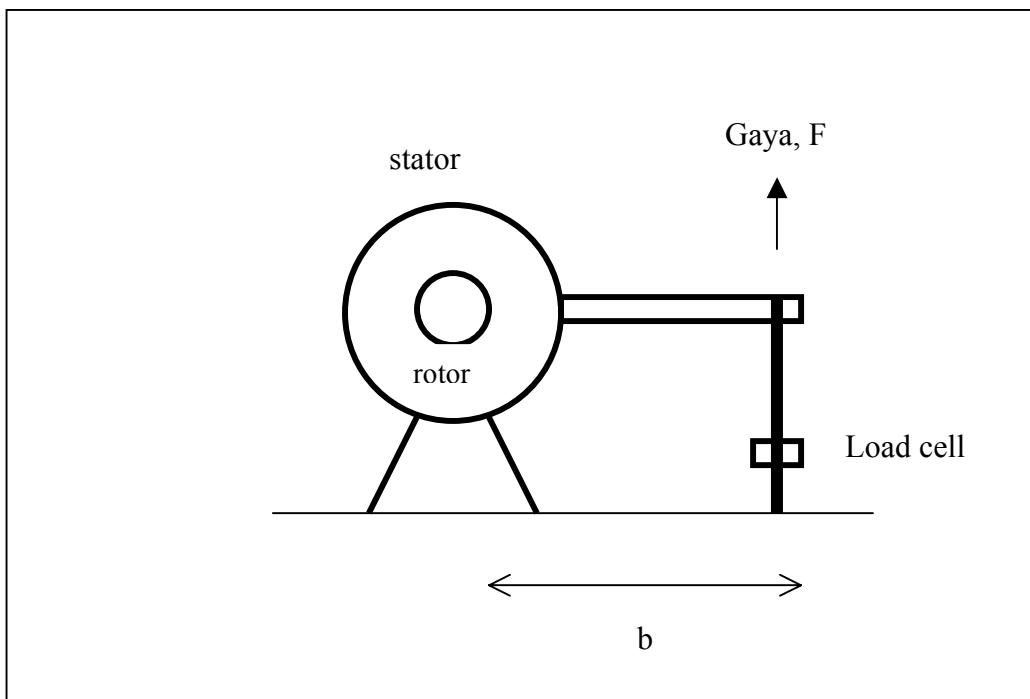
LAMPIRAN VI

PENGOLAHAN DATA

Data-data yang diperoleh melalui percobaan diolah untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan dianalisa yang meliputi, daya, kebutuhan bahan bakar spesifik, BSNO_x dan BSPM. Data-data yang diolah disini adalah pada beban-beban tertentu saja dimana hasil evaluasi dilakukan pada saat pra-eksperimen. Dalam eksperimen ini digunakan 13 mode yaitu pada putaran dimana Torsi mencapai maksimum dan putaran dimana daya mencapai maksimum.

1. Daya

Daya (P) merupakan fungsi dari putaran dan torsi (T). Adapun torsi merupakan fungsi dari gaya rem (F) dan panjang lengan dynamometer (b) Lihat gambar berikut:



$$T = F b$$

$$P = 2 \pi N T$$

Specific Fuel Consumption

Volume pemakaian bahan bakar dapat dihitung dengan mengetahui waktu untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar yang ada pada gelas pengukur. Apabila densitas bahan bakar diketahui maka akan dapat dihitung massa bahan bakar. Sedangkan daya telah dapat di hitung dengan menggunakan formula sebelumnya, sehingga apabila massa bahan bakar dibagi dengan daya yang diproduksi maka akan diperoleh Specific Fuel Consumption. Adapun formulanya dapat dilihat pada persamaan dibeawah:

$$L_{mbb} = \rho_{bb} V_{bb} / t_{bb}$$

$$S_{fc} = \frac{L_{mbb}}{P}$$

BSNO_x (Brake specific NO_x) dan BSPM (Brake specific Particulate mater):

NO_x adalah emisi yang terpenting pada motor diesel, karena NO_x diatur dalam regulasi disamping NO_x adalah racun. Konsentrasi NO_x pada motor diesel biasanya dinyatakan parts permillion (ppm). Dalam regulasi selalu dikaitkan dengan power output dari engine, dan biasanya dinyatakan dalam bentuk NO_x specific. Besaran ini menyatakan sebagai laju kecepatan massa polutan per satuan daya output engine. Dengan mengikuti SAE J1003 JUN tahun 1990 formula yang dipergunakan untuk menghitung BSNO_x adalah sebagai berikut:

$$NO_{x\ mass}[g/h] = 0.0952 NO_x [ppm] \text{ exh. Mass flow}[kg/min]$$

$$kW = \text{rpm toeque [Nm]} / 5949.3$$

$$BS\ NO_x [g/kWh] = NO_{x\ mass} / kW$$

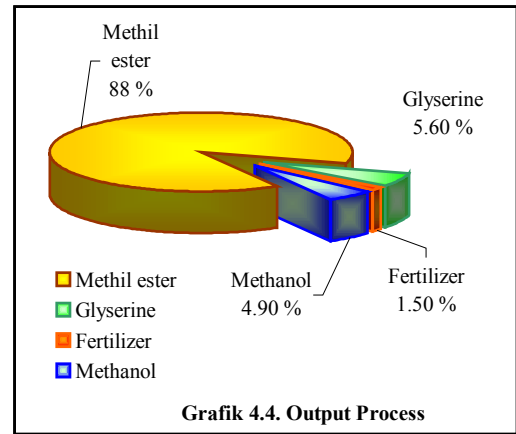
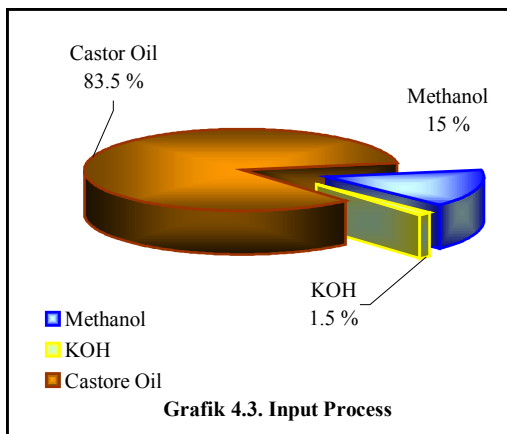
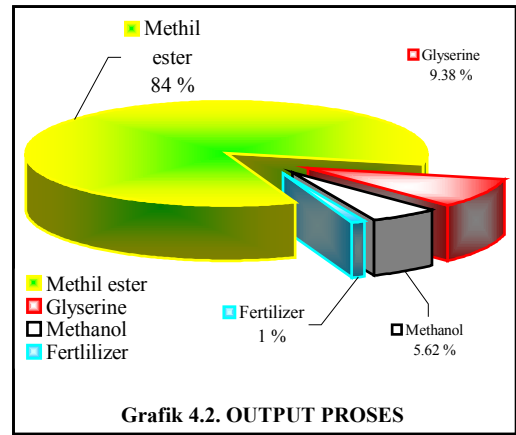
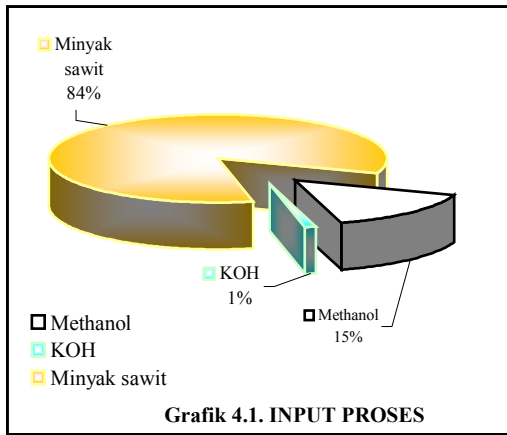
Sedangkan BSPM dihitung berdasarkan prosedur yang diatur dengan SAE J35 SEP 88. Dalam pengukurannya dipergunakan High Volume Air Sampler (HVS) model SIBATA-500, kapasitas 500liter/menit with an automatic constant flow rate. Dengan menggunakan pompa vacuum yang berkapasita 1.8 CFM- free flow maka sample dapat di koleksi dalam satuan mg/m³. Dengan mengukur volume aliran gas

buang maka kita dapat menghitung massa partikel dalam satuan berat dalam satuan waktu. Apabila beban kW telah kita ukur maka BSPM dapat diketahui sebesar [g/kWh]. Untuk lebih jelasnya lihat formula dibawah:

$$BPM [g/kWh] = SPM [g/m^3] V [m^3/h] / kW$$

LAMPIRAN VII

PROSES ESTERIFIKASI TYPE BATCH





Gambar 4.2. Tahapan proses esterifikasi



Gambar 4.3. Bio-diesel sebelum dicuci



Gambar 4.4. Bio-diesel sesudah dicuci



Gambar 4.5. Prototype unit esterifikasi type batch

**Tabel 4.1. Karakteristik bahan bakar solar dan pencampurannya
dengan CME dan PME**

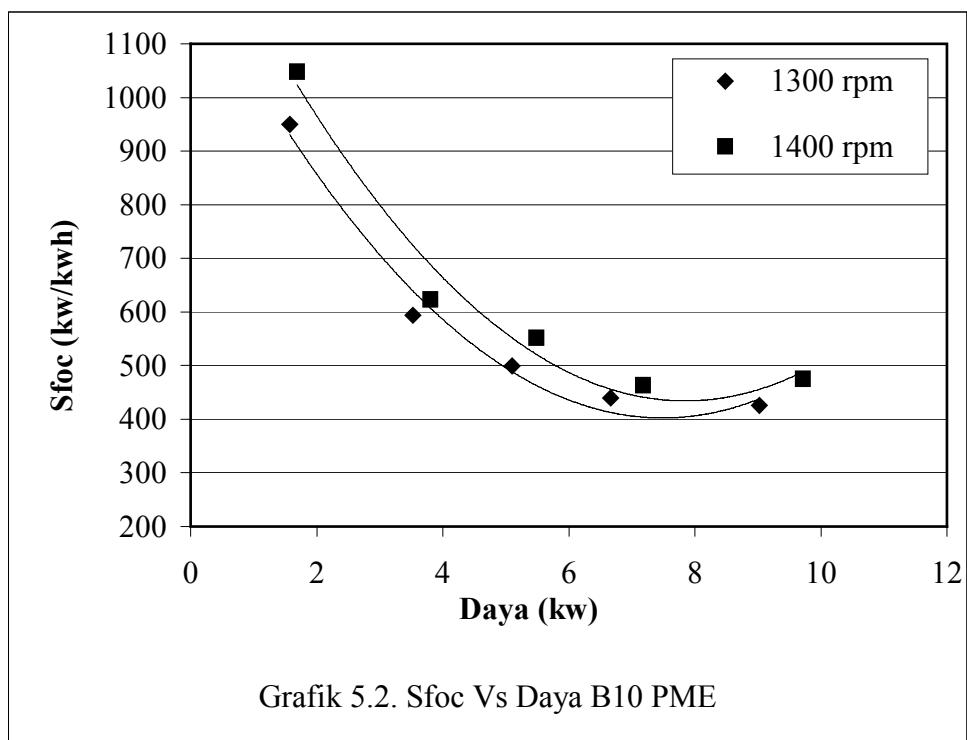
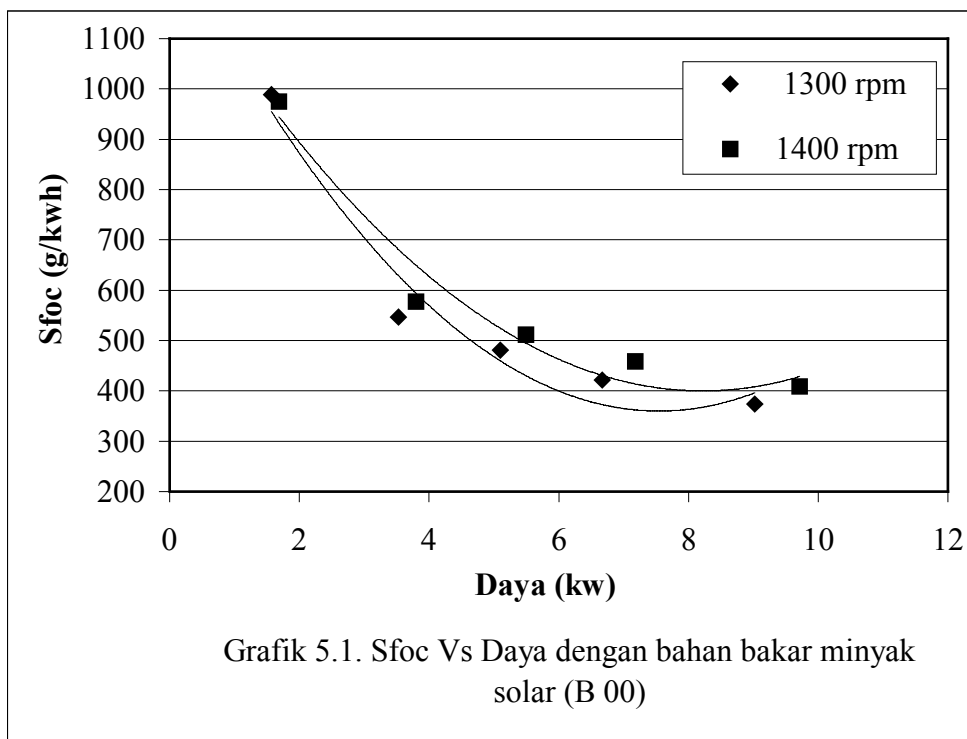
Tests	Unit	Solar	10 % CME	10 % PME	20 % CME	20 % PME	100 % CME	100 % PME
Strong Acid Number	mg KOH/g	Nil	0.268	0.18	0.536	0.36	2.68	1.8
Flash Pont PM cc	o C	75	87.5	85	100	95	200	175
Pour Point	o C	2	0.8	2.6	-0.4	3.2	-10	8
Sediment	% wt	Nil	0.021	0.008	0.042	0.016	0.21	0.08
Spesific Gravity	25/25 oC	0.8373	0.84807	0.84205	0.85884	0.8468	0.945	0.8848
Sulphur Content	% wt	0.4	0.36	0.36	0.32	0.32	-	-
Viscosity Kin./40 oC	cSt	4.5	5.25	4.445	6	4.39	12	3.95
Water Content	% vol	Nil	Nil	0.064	Nil	0.128	Nil	0.64
Caloric Value, Gross	kcal/ltr	9063	9136.63	9100.54	9210.26	9138.08	9799.3	9438.4

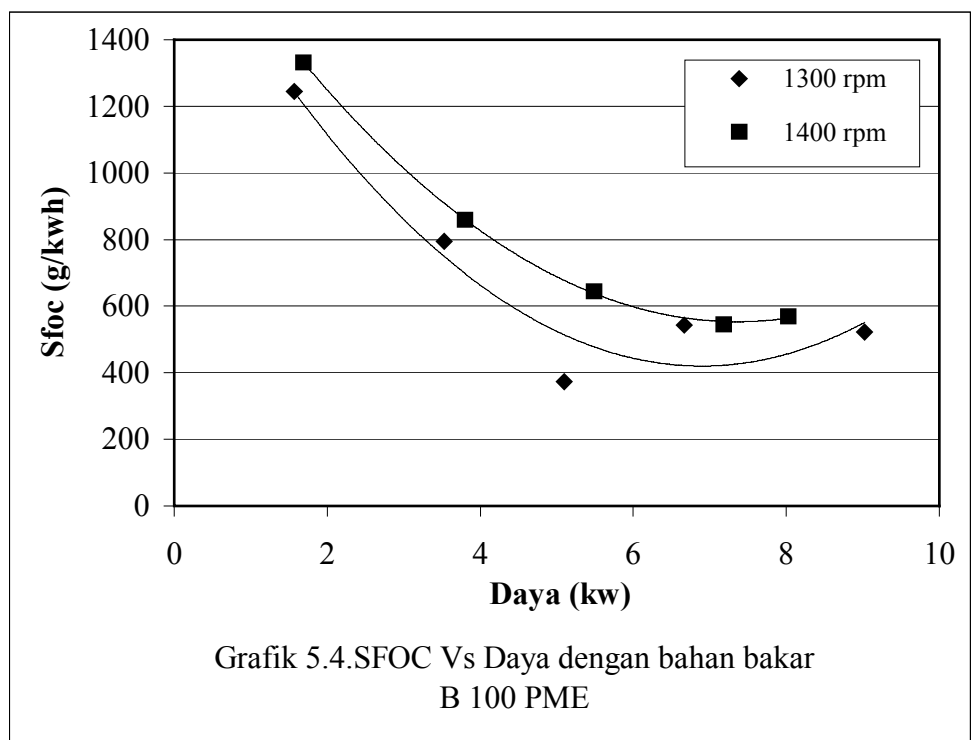
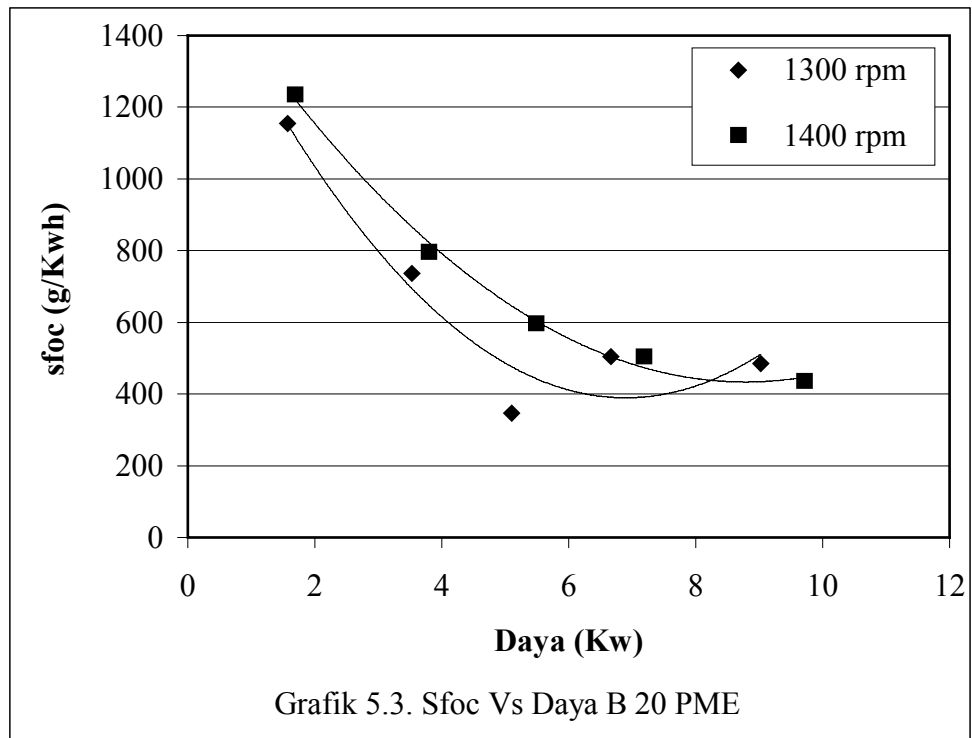
**Tabel 4.2. Karakteristik bahan bakar minyak diesel dan pencampurannya
dengan CME dan PME**

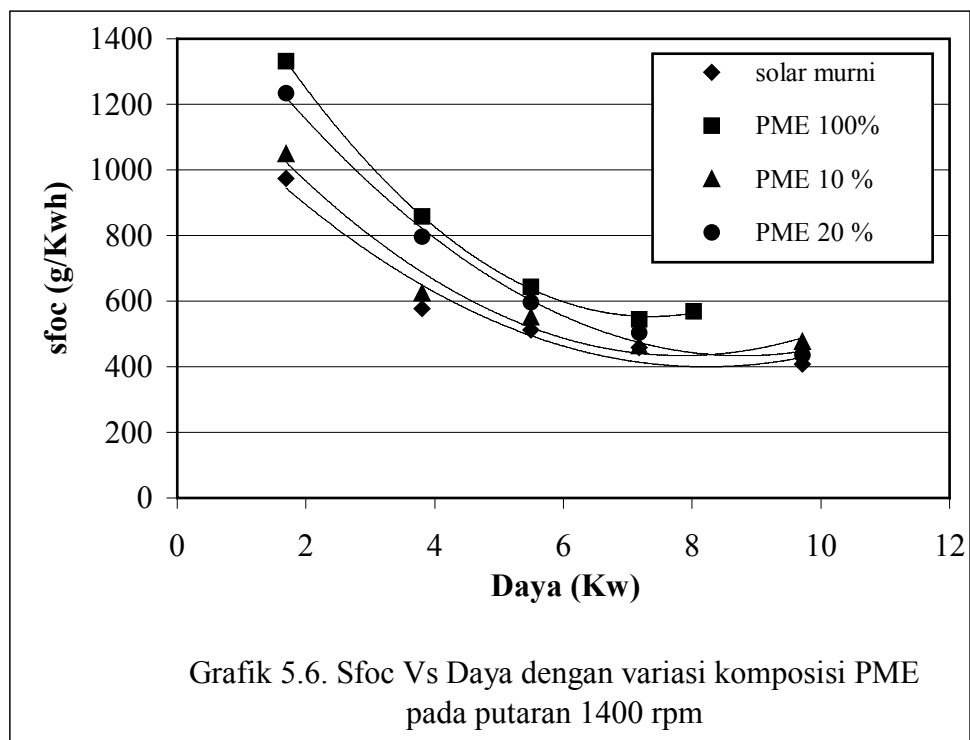
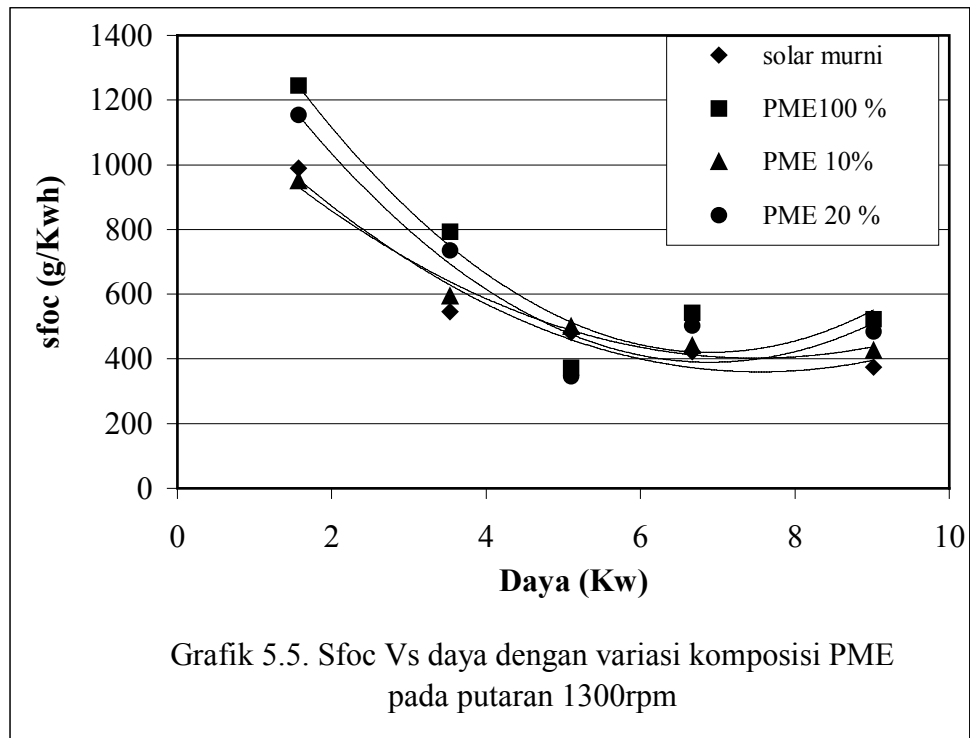
Tests	Unit	Minyak Diesel	10 % CME	10 % PME	20 % CME	20 % PME	100 % CME	100 % PME
Strong Acid Number	mg KOH/g	Nil	0.268	0.18	0.536	0.36	2.68	1.8
Flash Pont PM cc	o C	85	96.5	94	108	103	200	175
Pour Point	o C	5	3.5	5.3	2	5.6	-10	8
Sediment	% wt	0.008	0.0282	0.0152	0.0484	0.0224	0.21	0.08
Spesific Gravity	25/25 oC	0.8646	0.87264	0.86662	0.88068	0.86864	0.945	0.8848
Sulphur Content	% wt	1.3	1.17	1.17	1.04	1.04	-	-
Viscosity Kin./40 oC	cSt	-	1.2	0.395	2.4	0.79	12	3.95
Water Content	% vol	0.02	0.018	0.082	0.016	0.144	Nil	0.64
Caloric Value, Gross	kcal/ltr	9270	9322.93	9286.84	9375.86	9303.68	9799.3	9438.4
Visco. Redwood I, 100 oF second	cSt	38.67	34.803	34.803	30.936	30.936	-	-

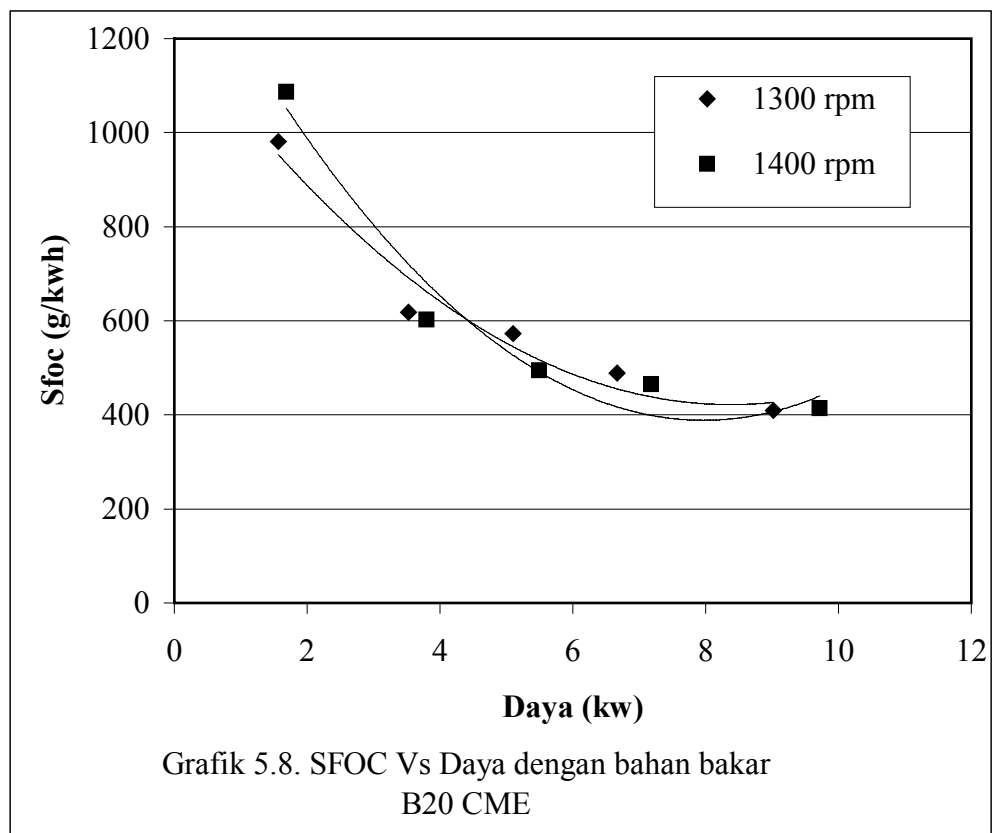
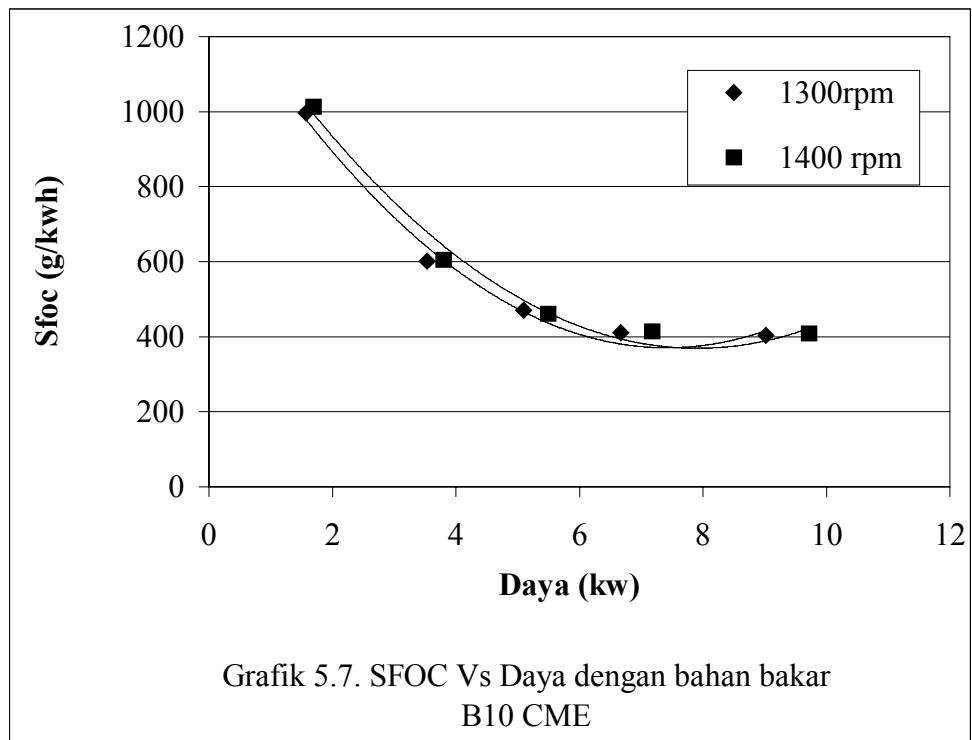
LAMPIRAN VIII

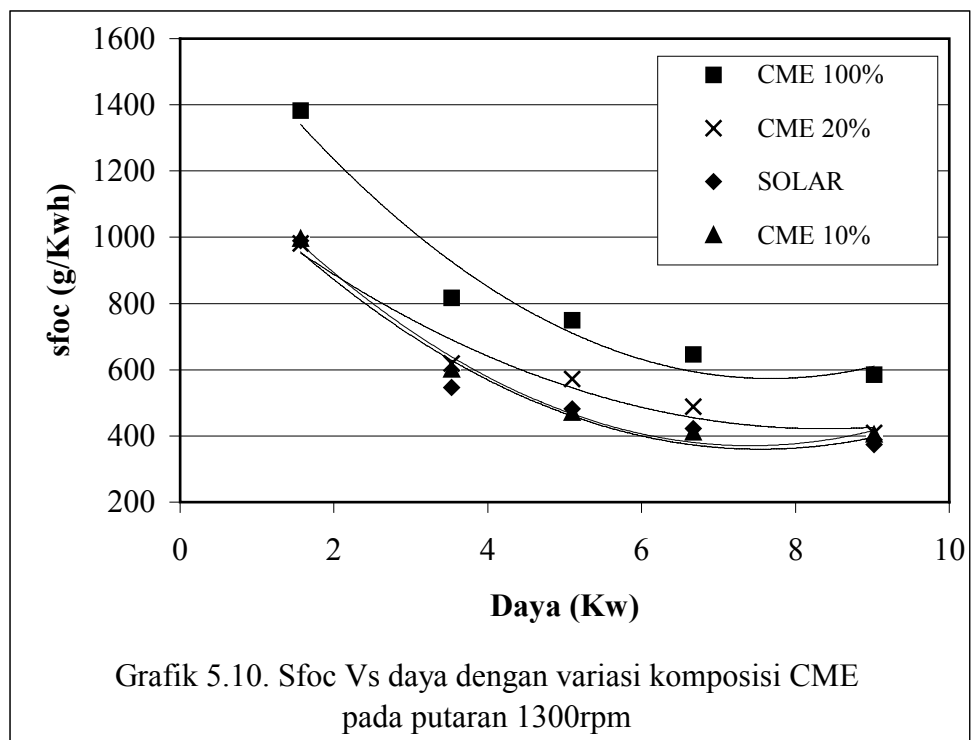
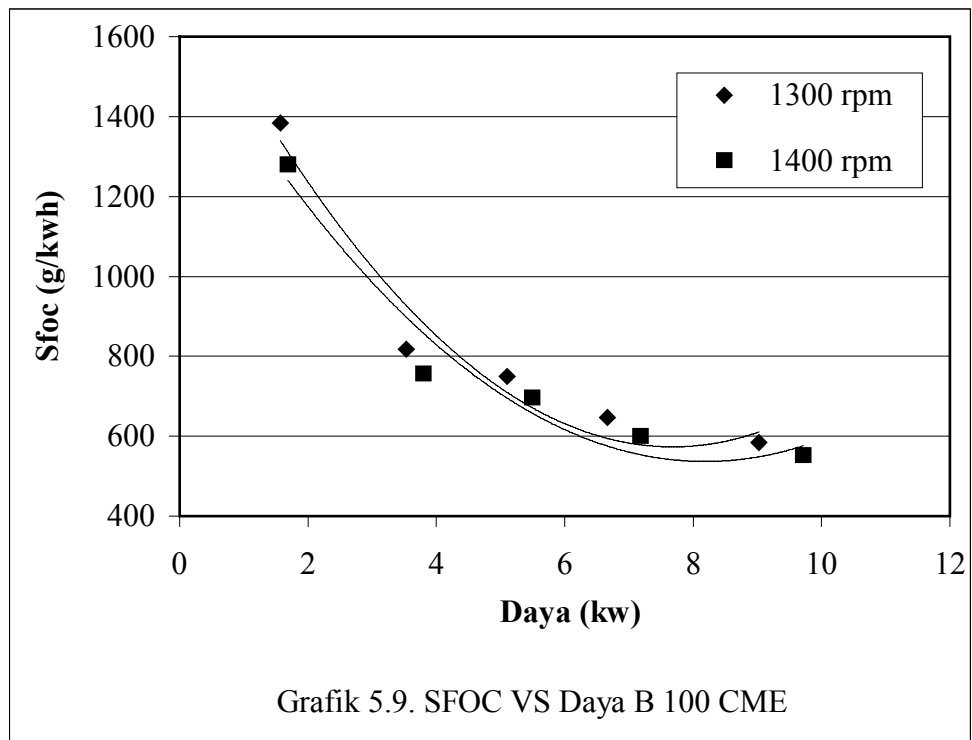
HASIL UNJUK KERJA

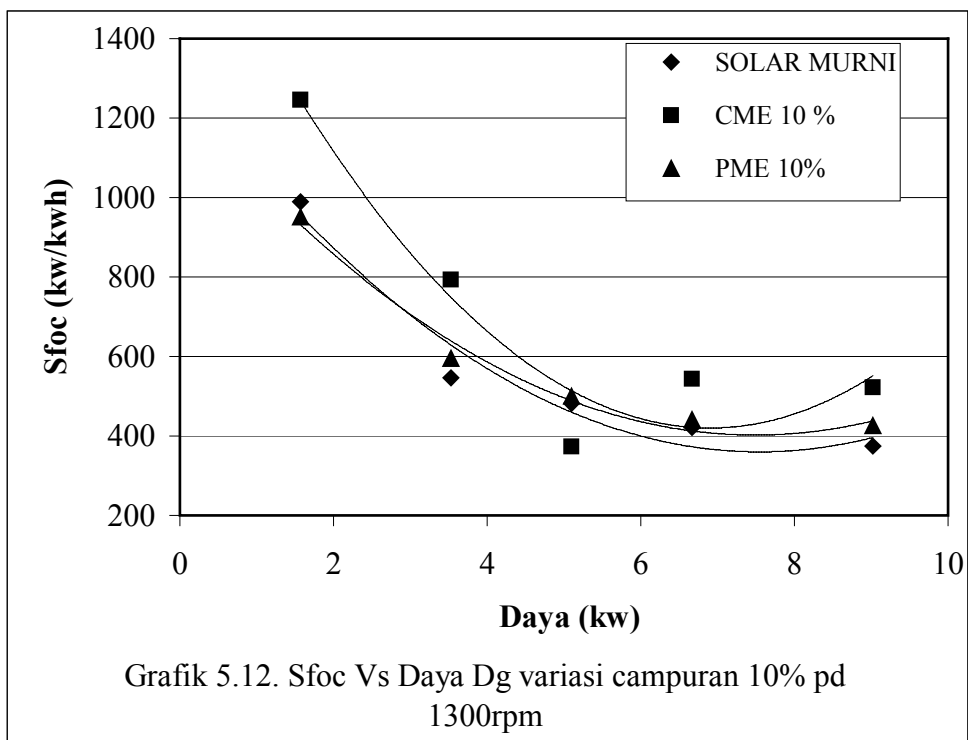
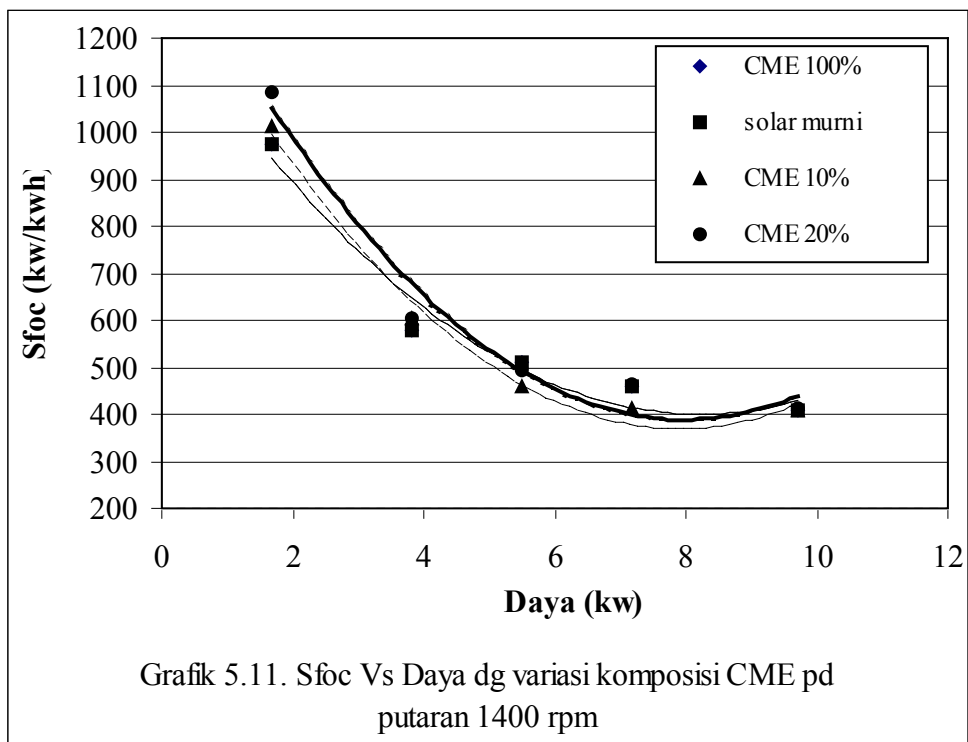


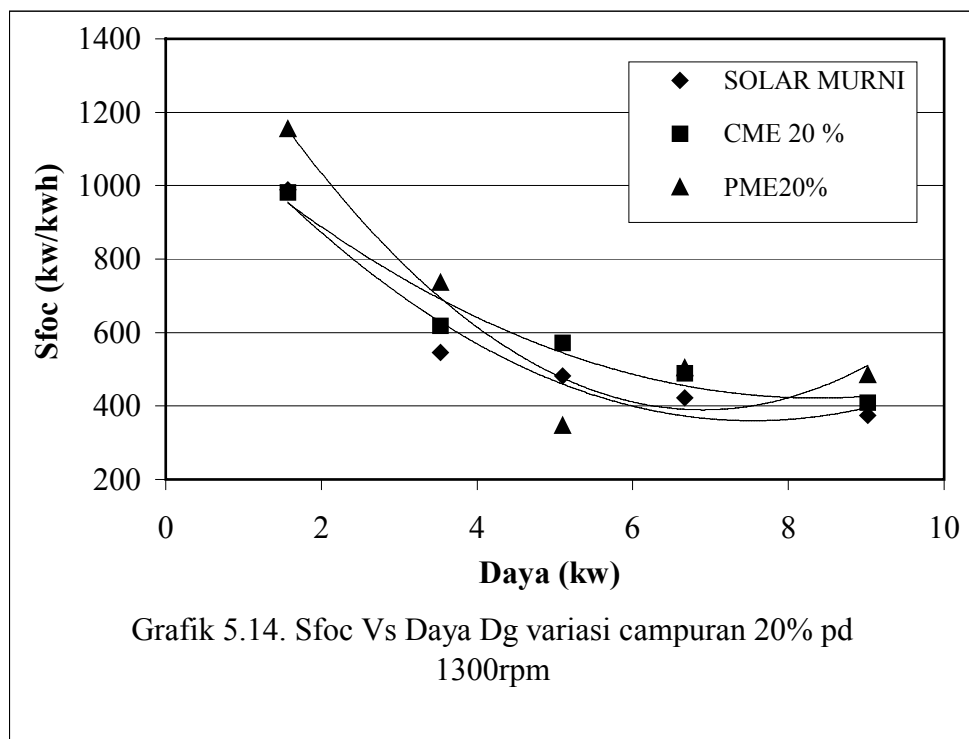
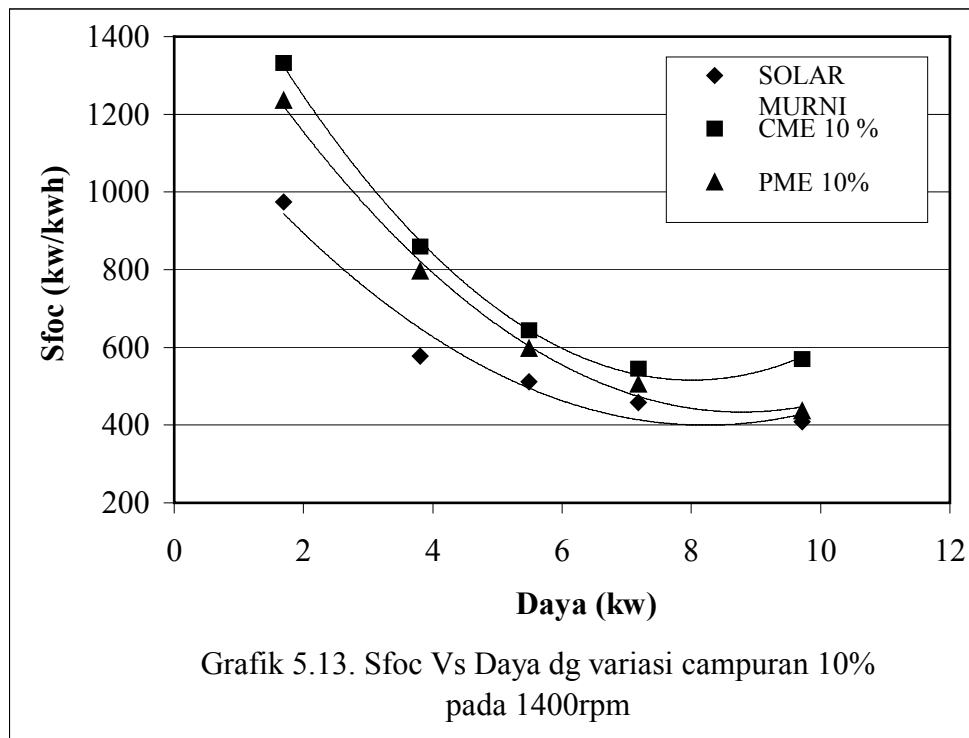


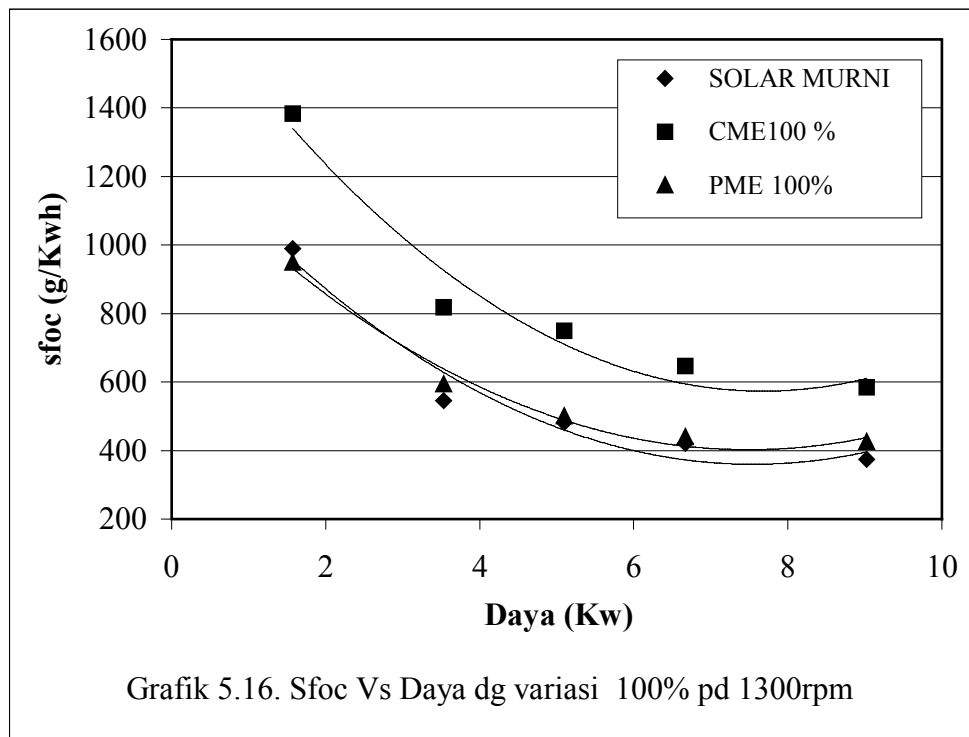
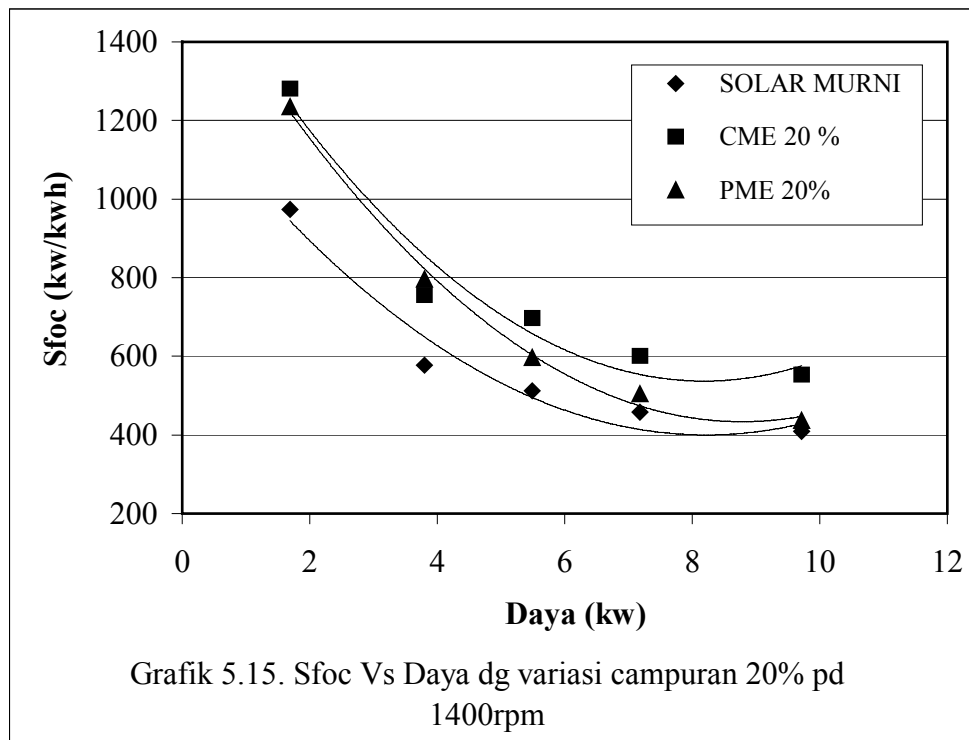


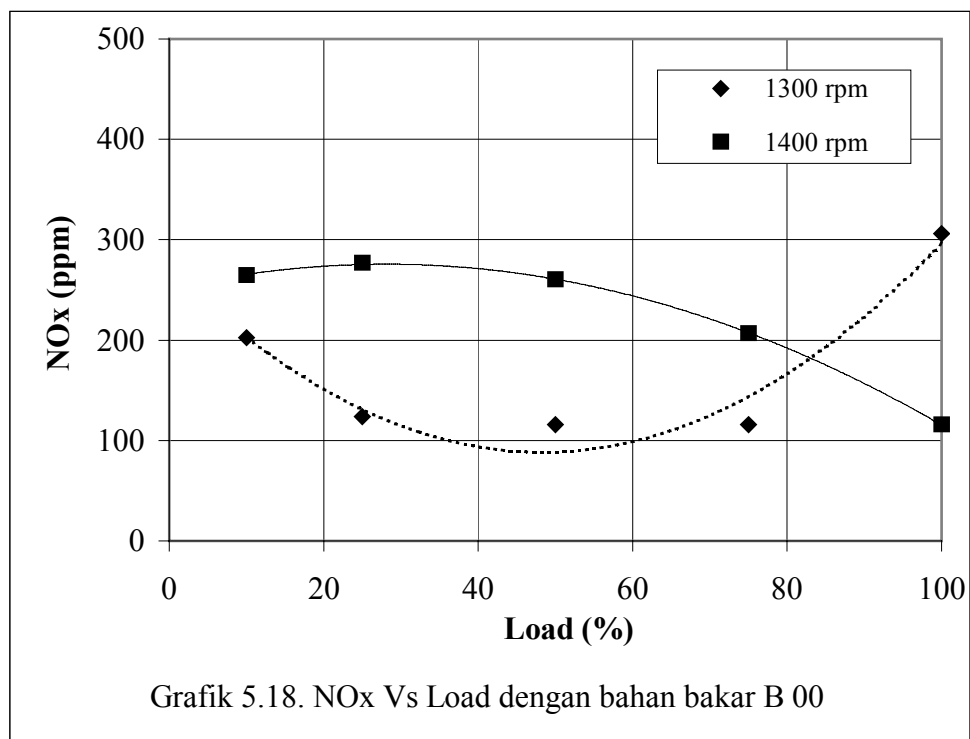
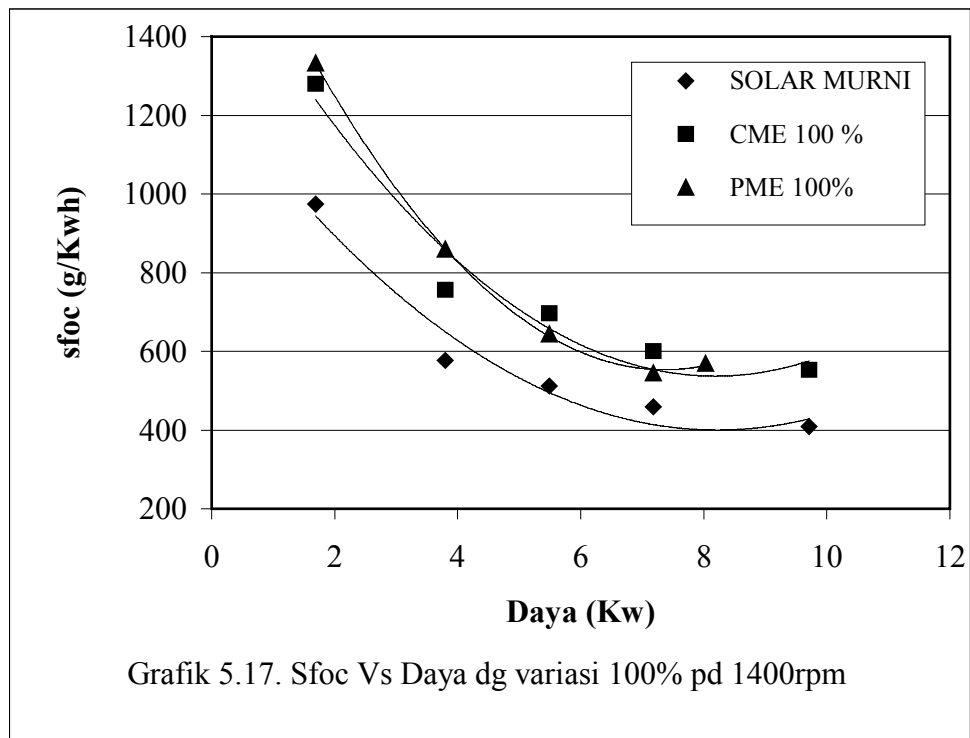


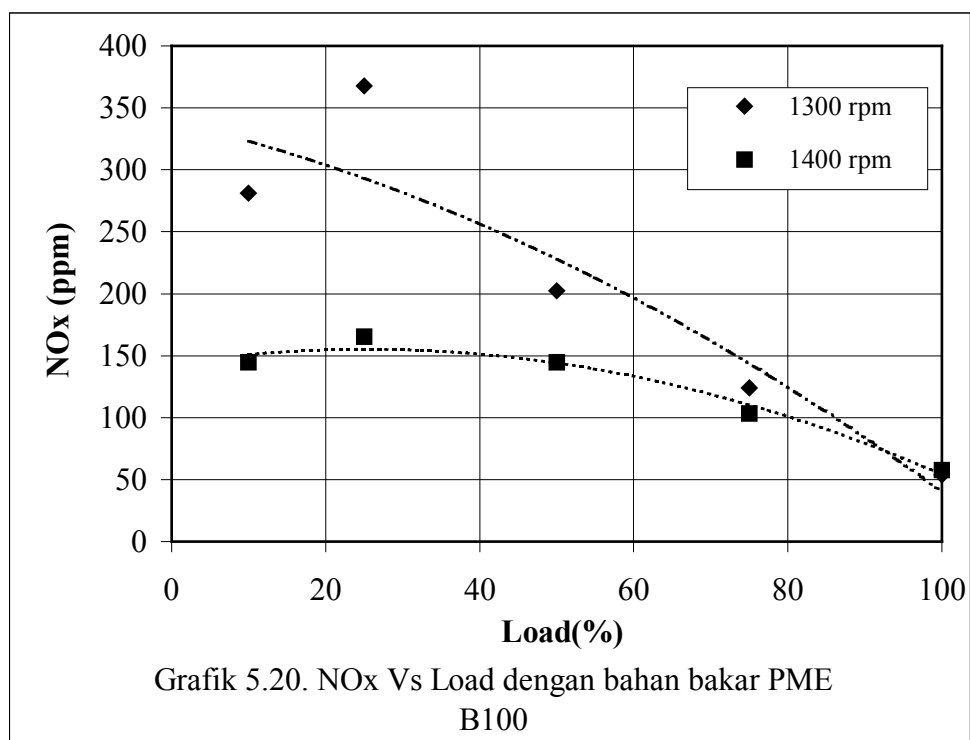
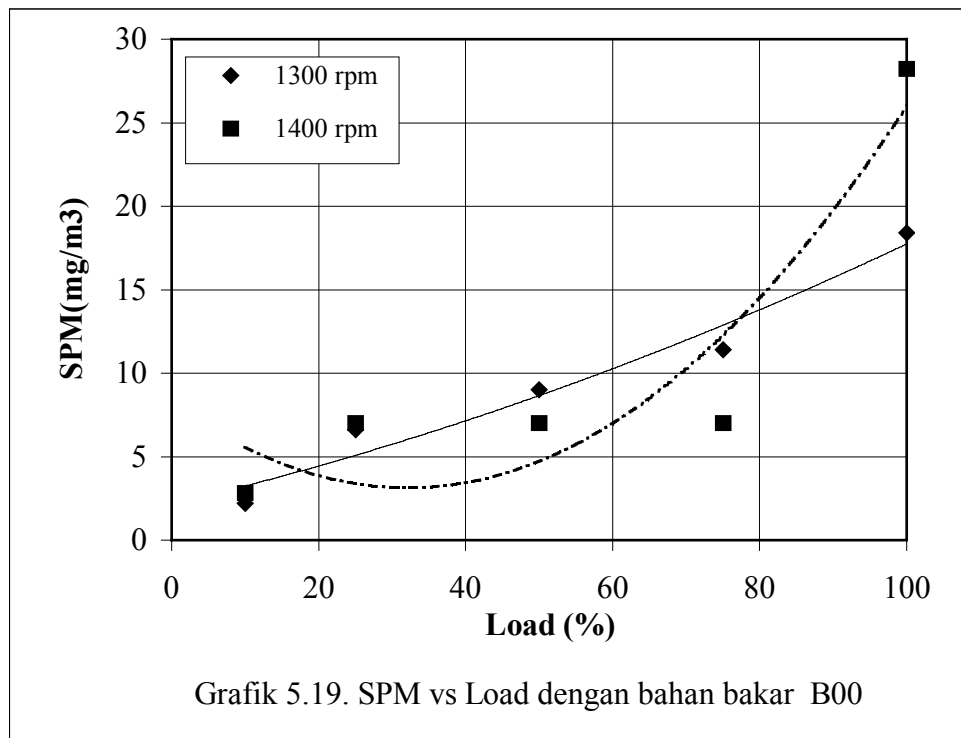


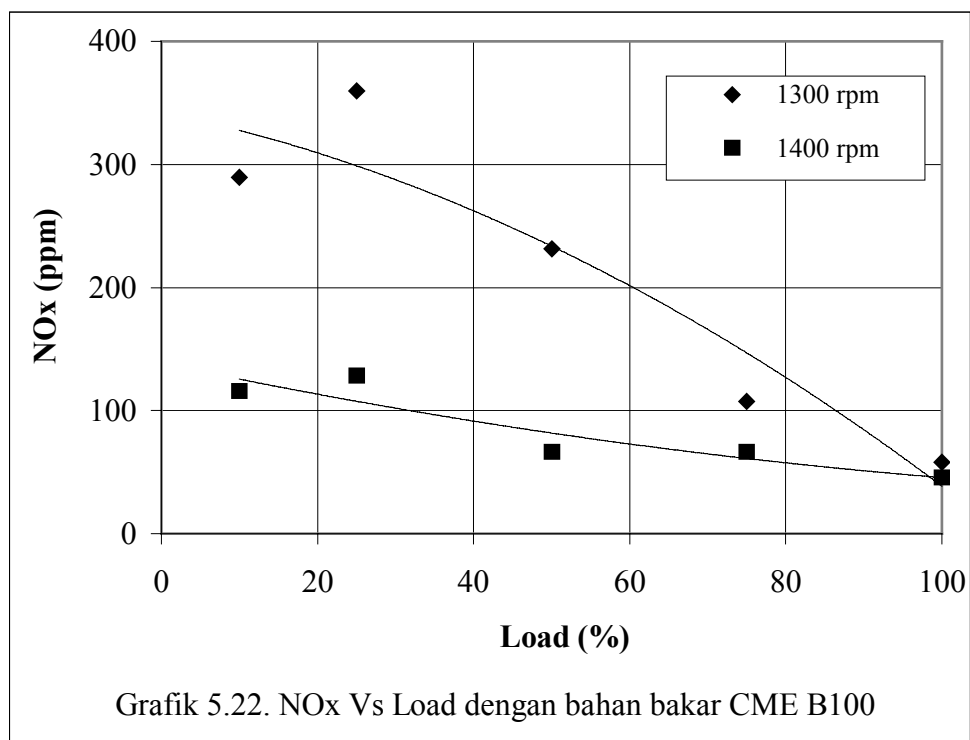
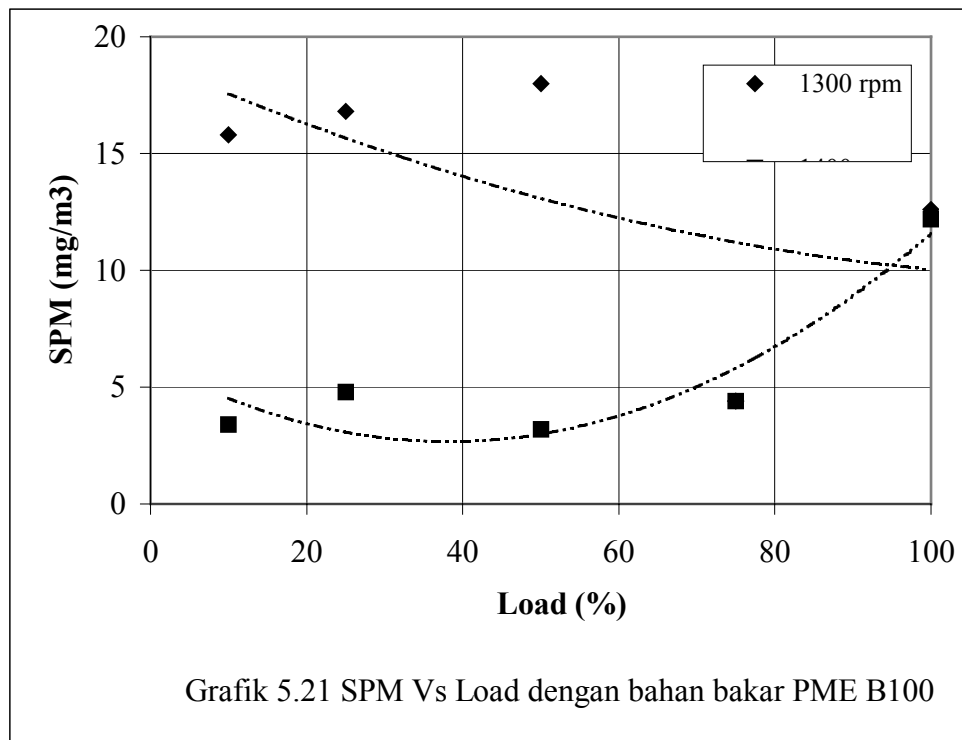


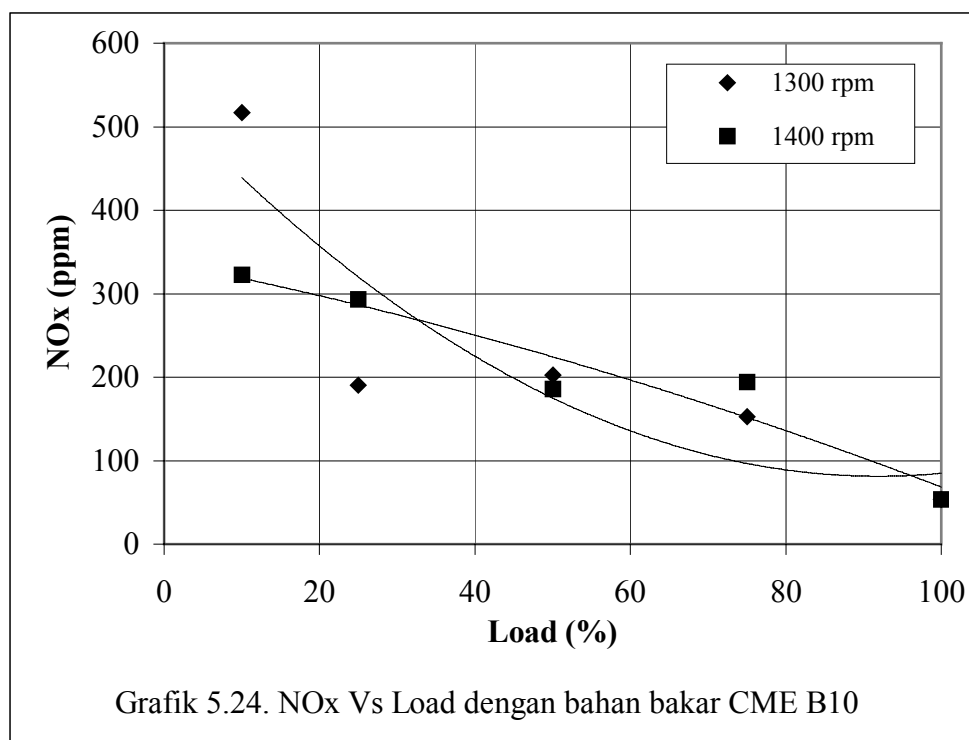
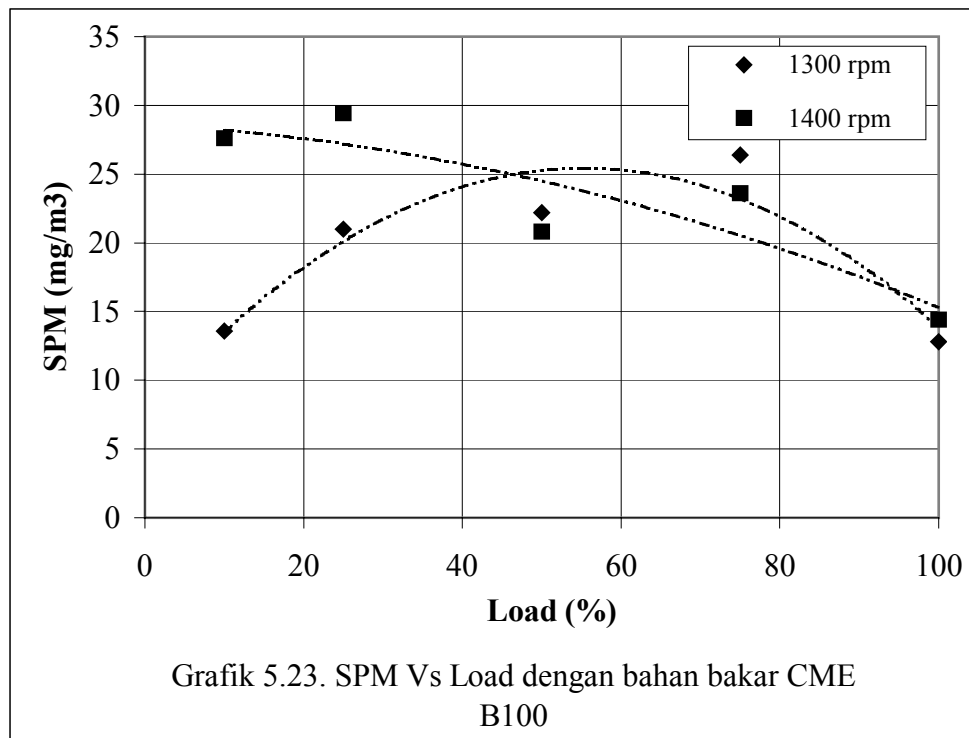


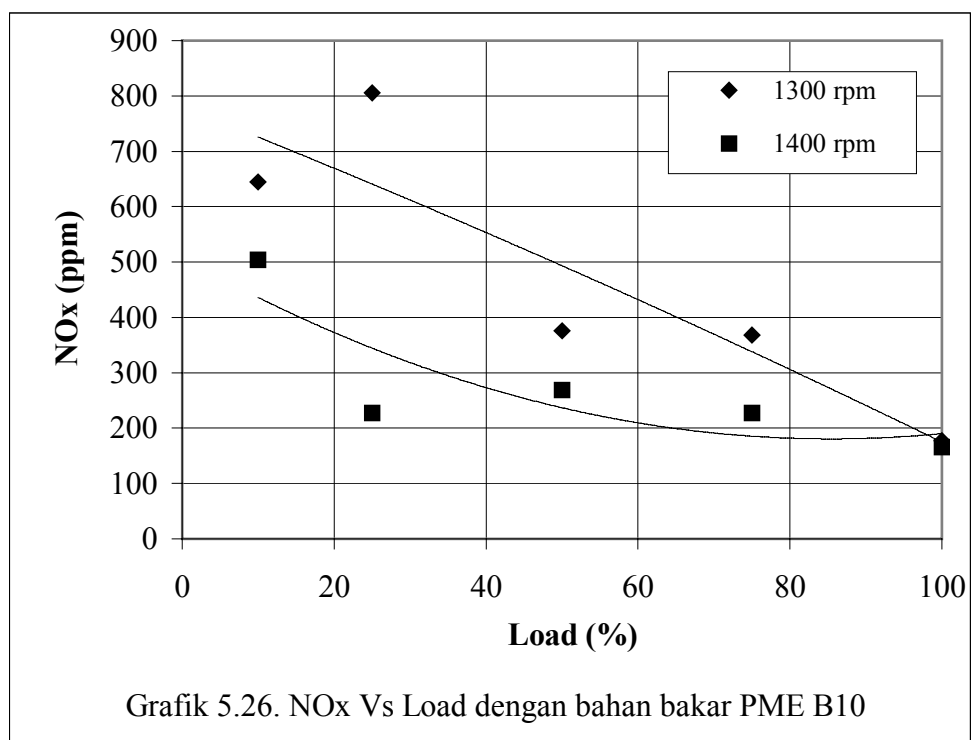
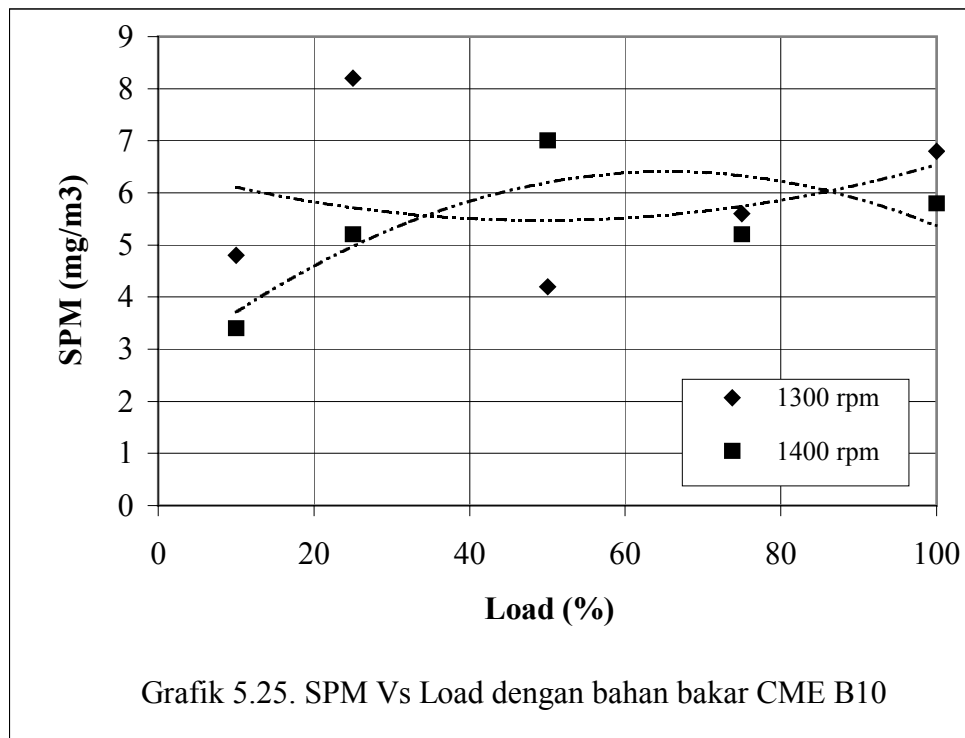


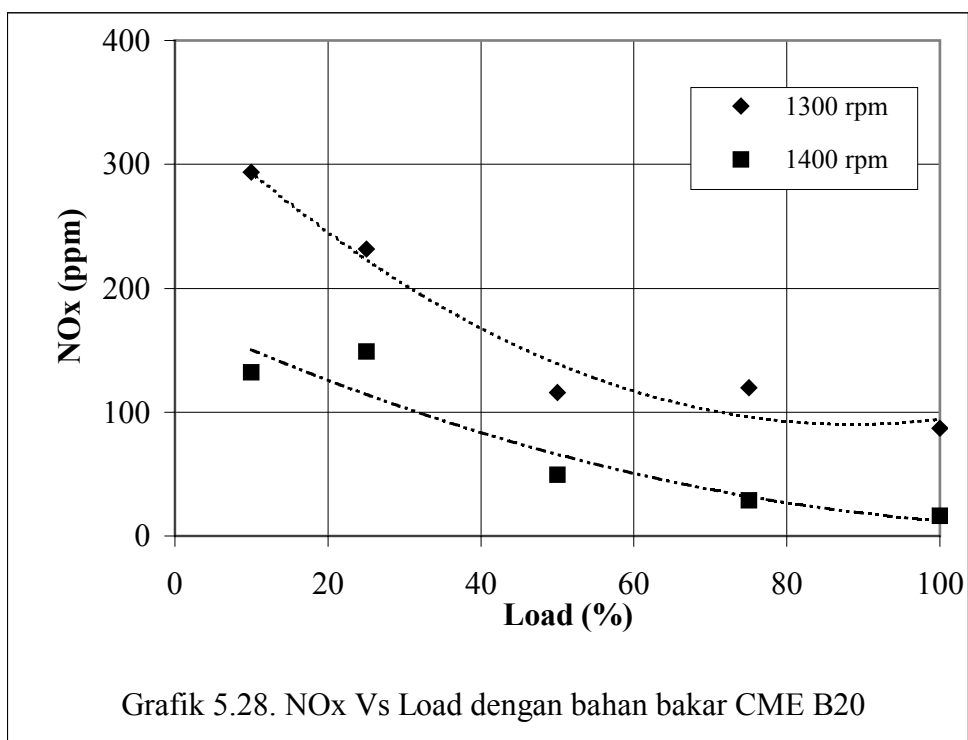
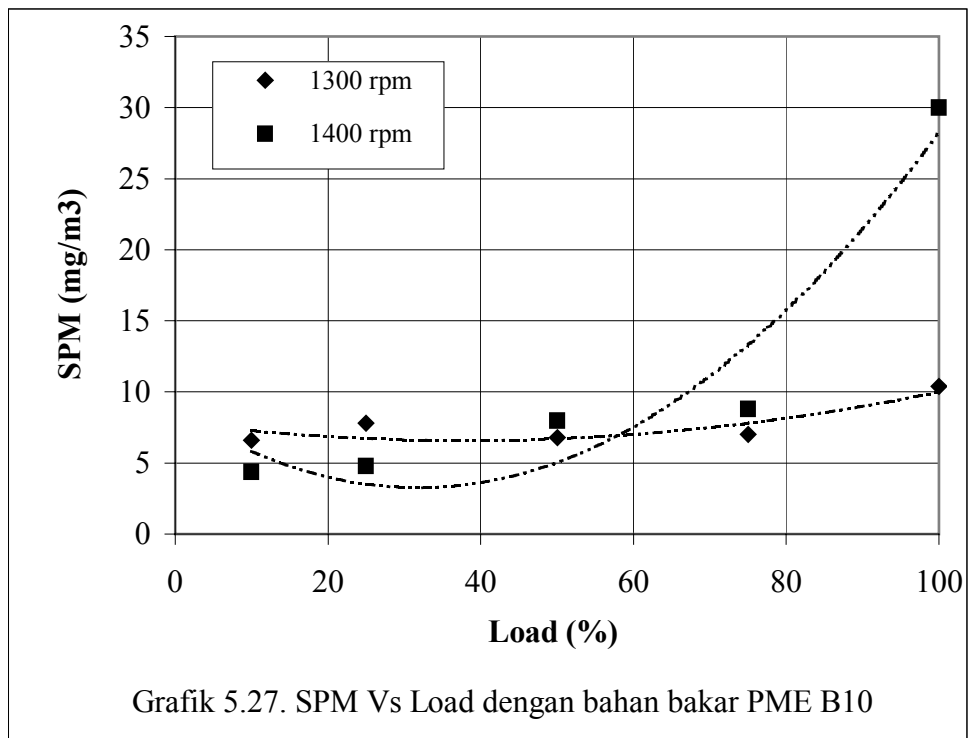


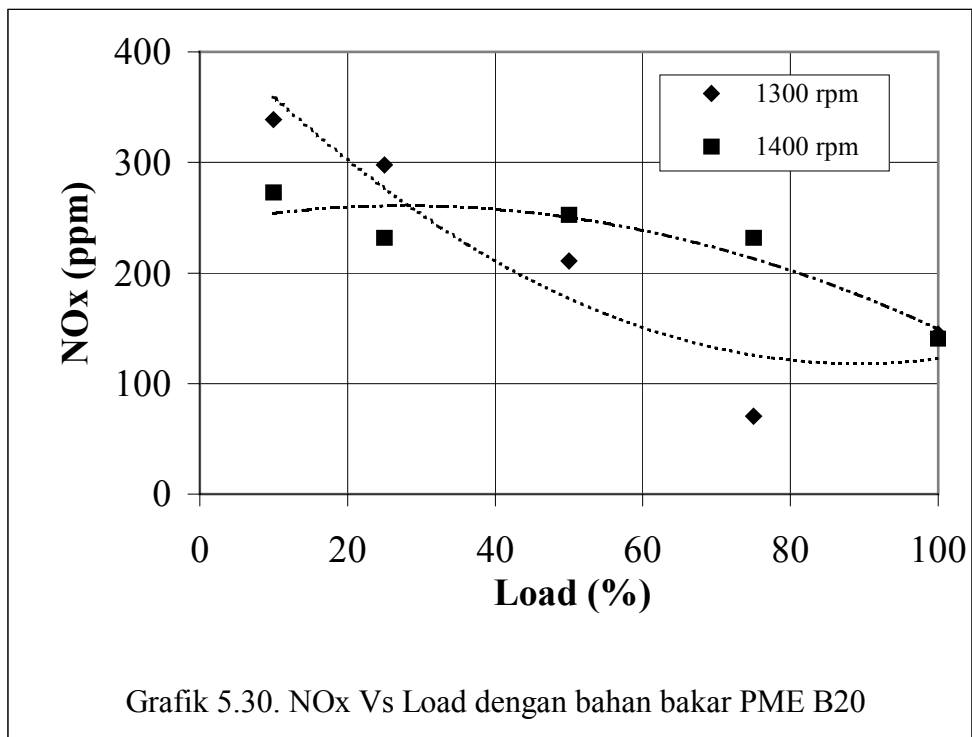
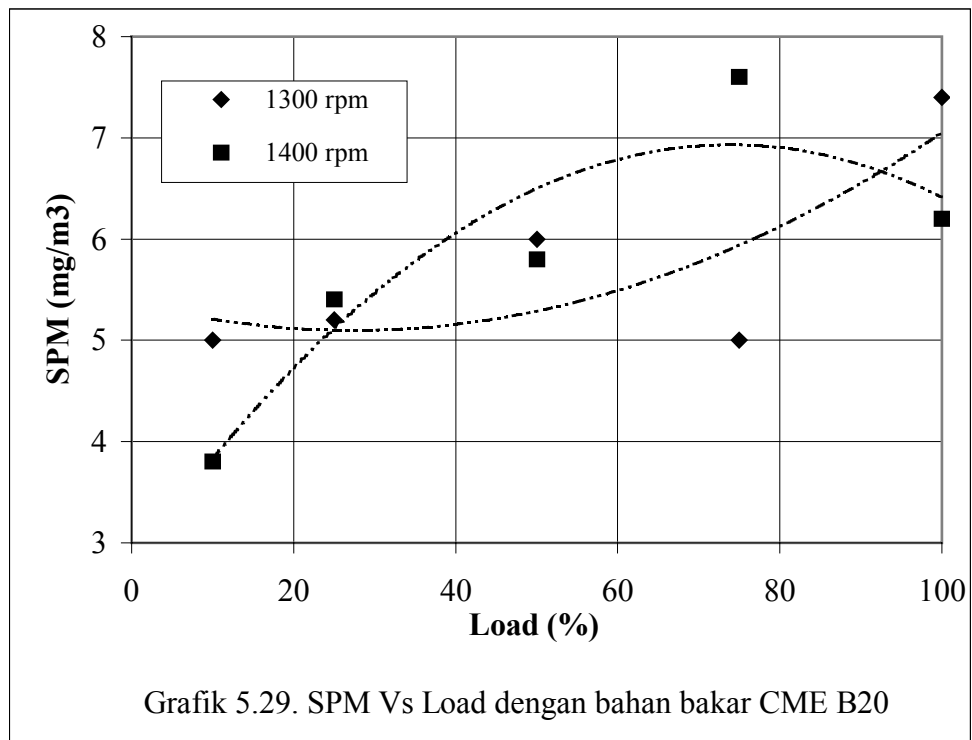


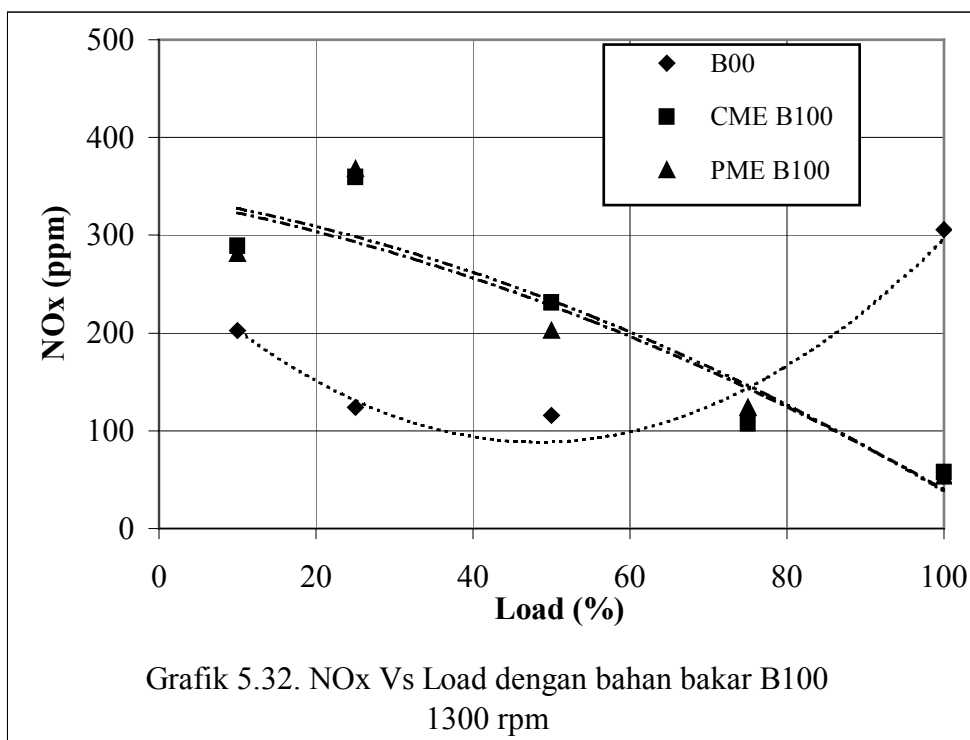
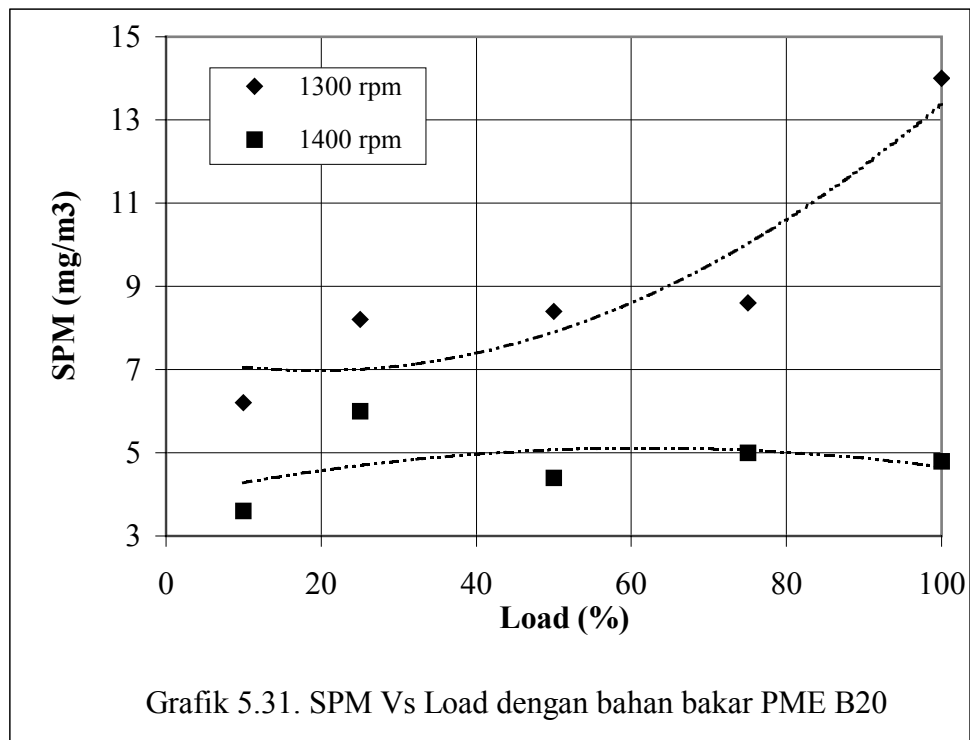


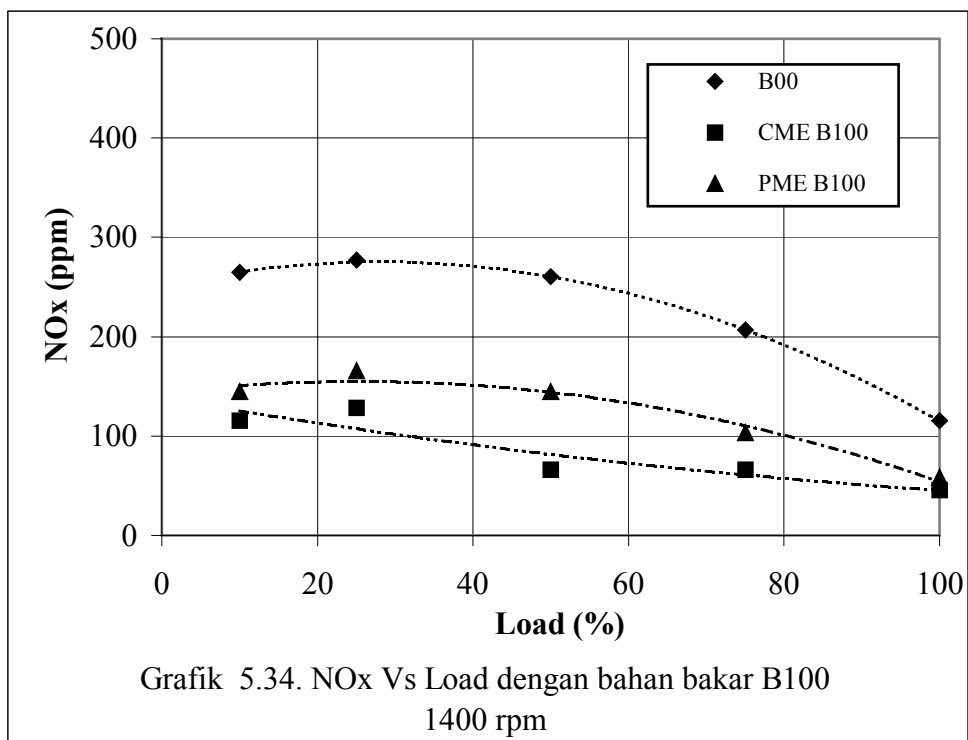
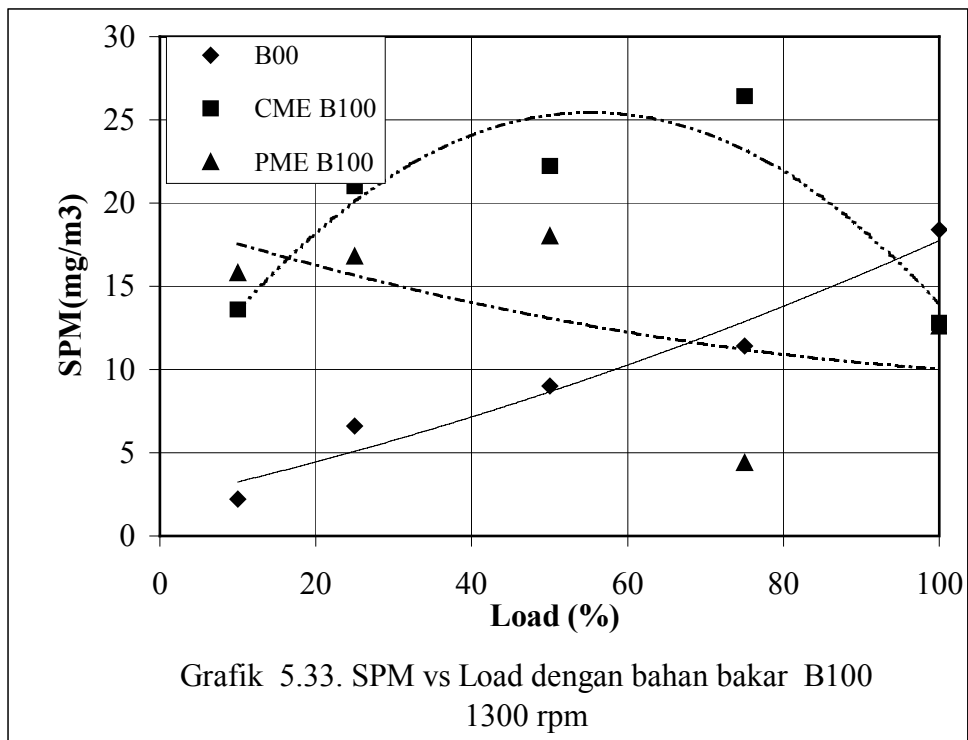


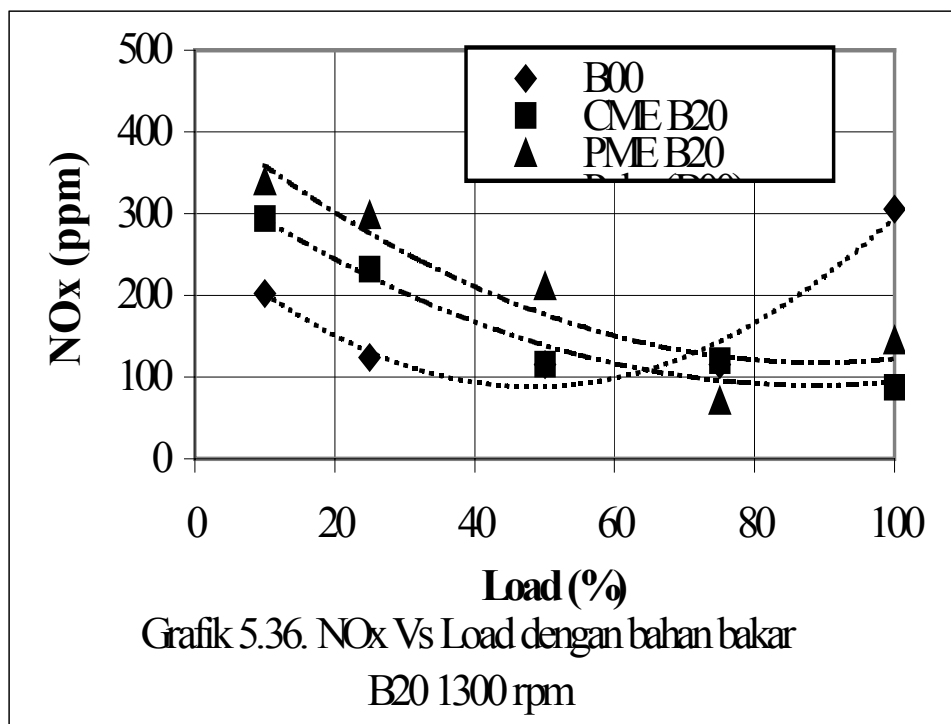
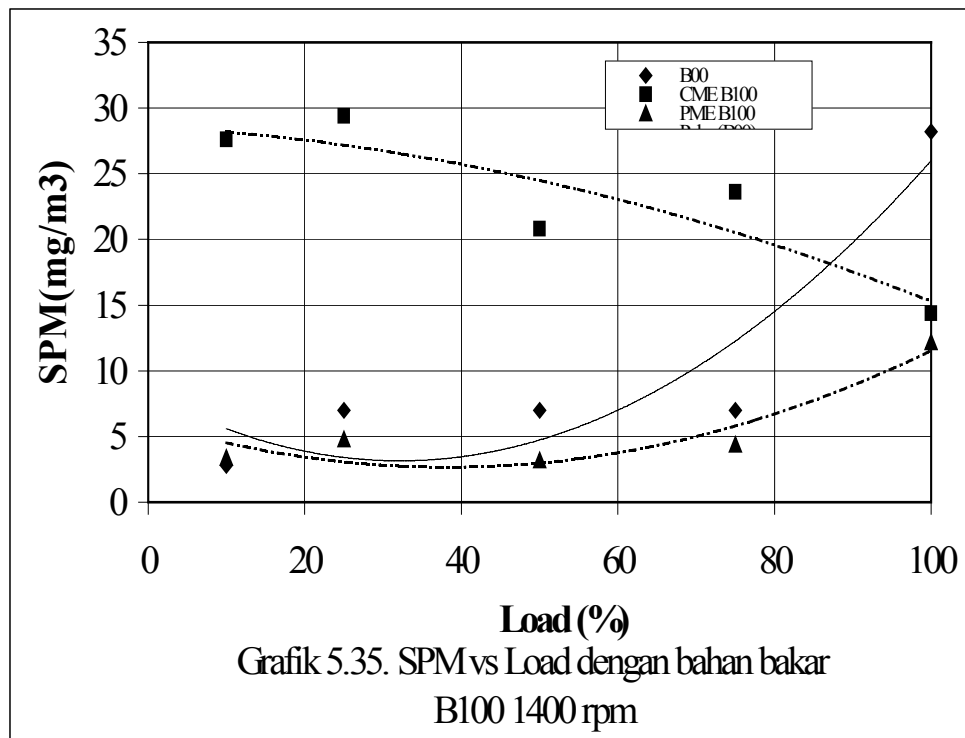


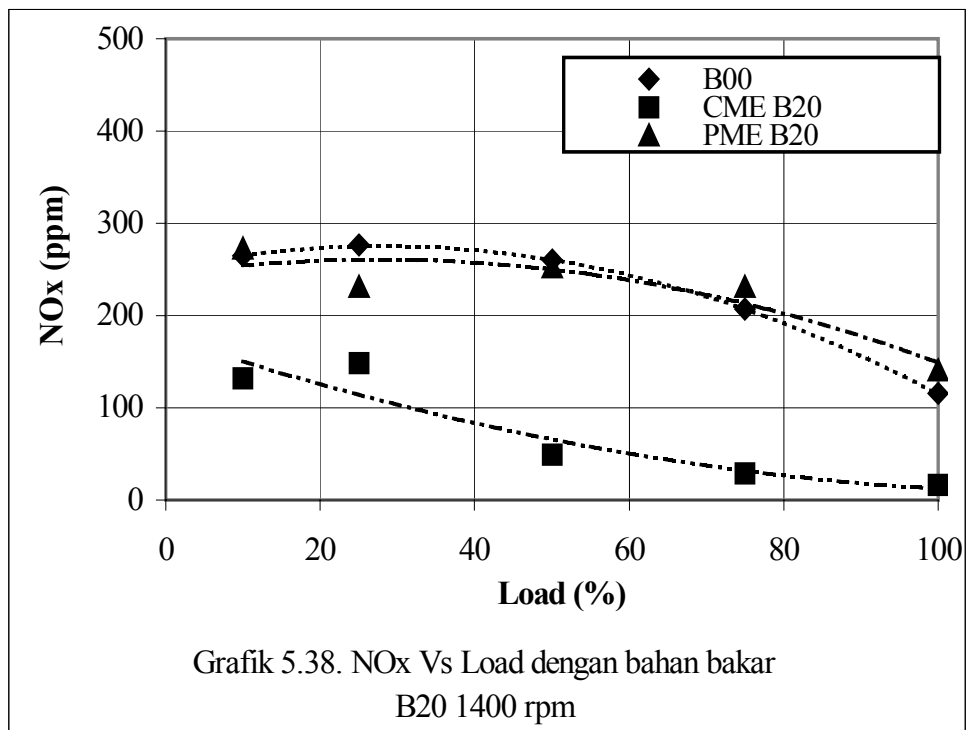
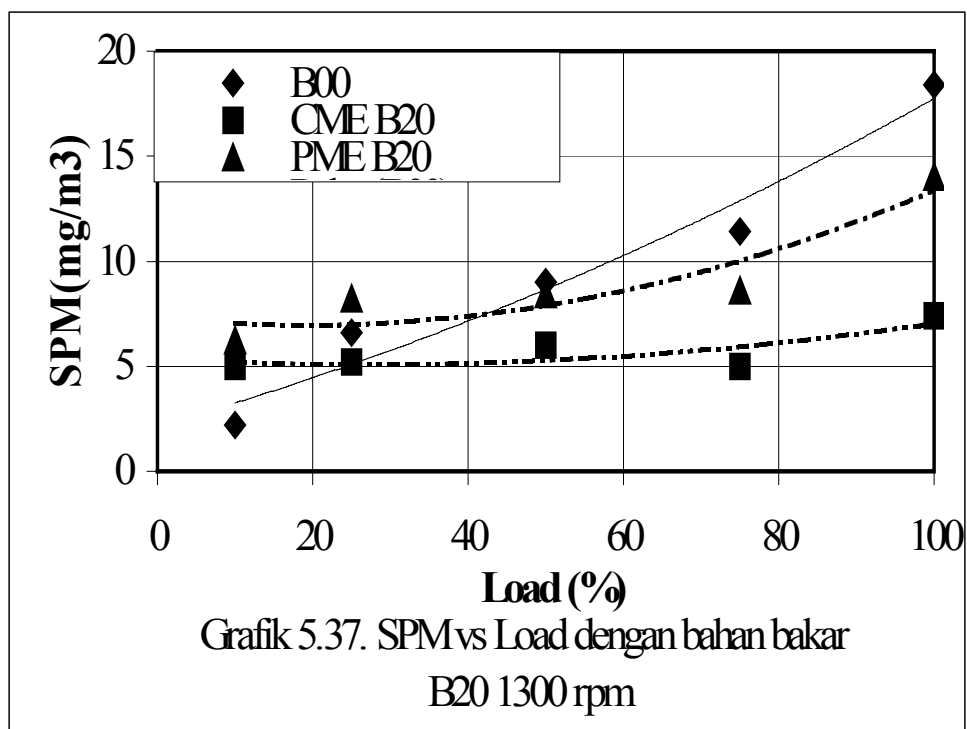


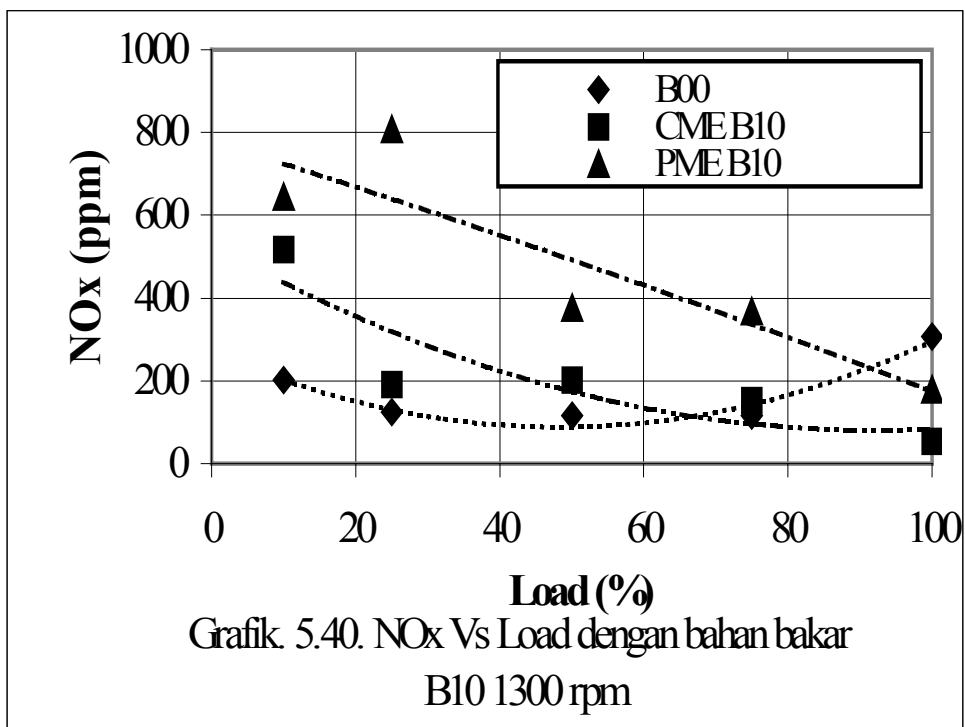
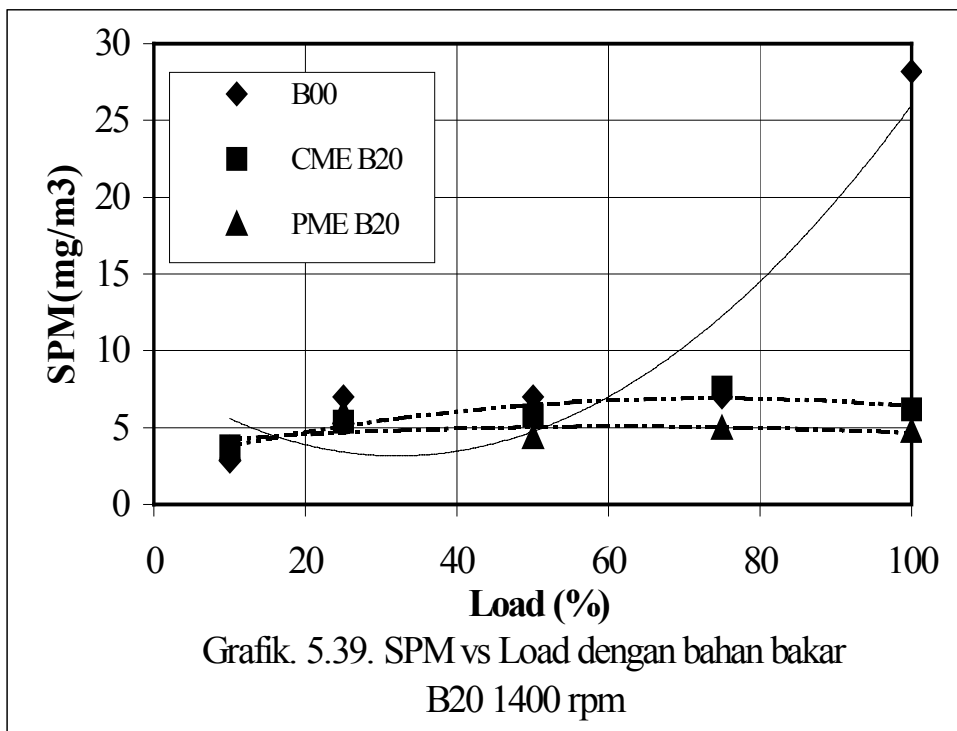


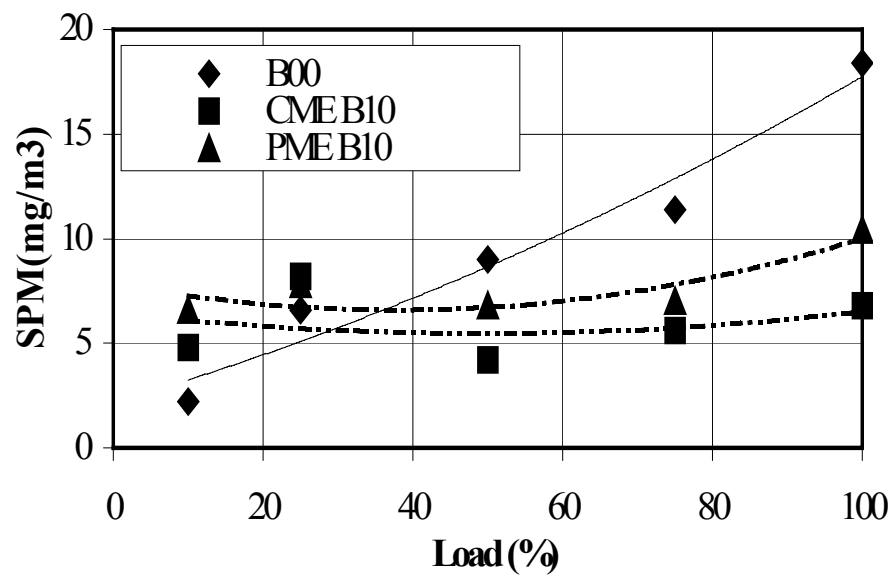




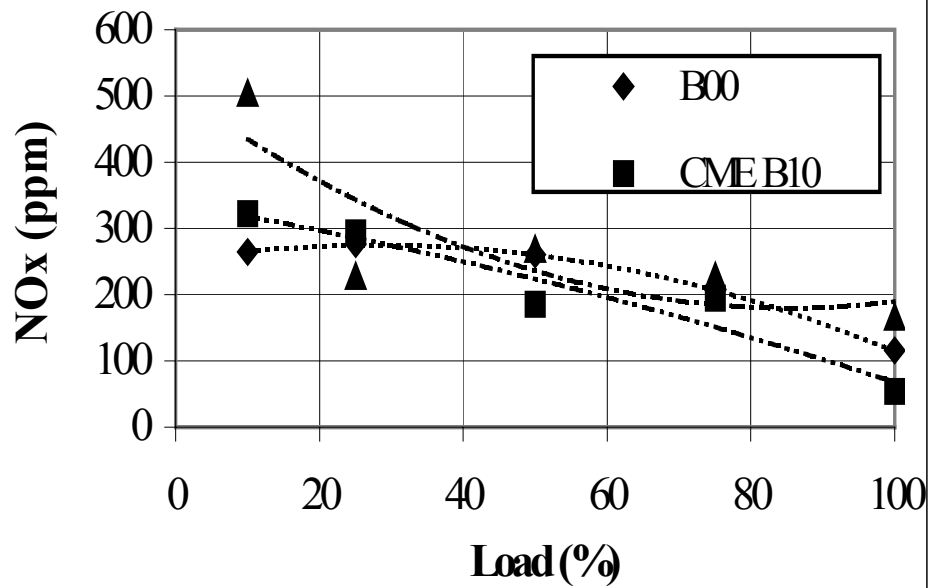




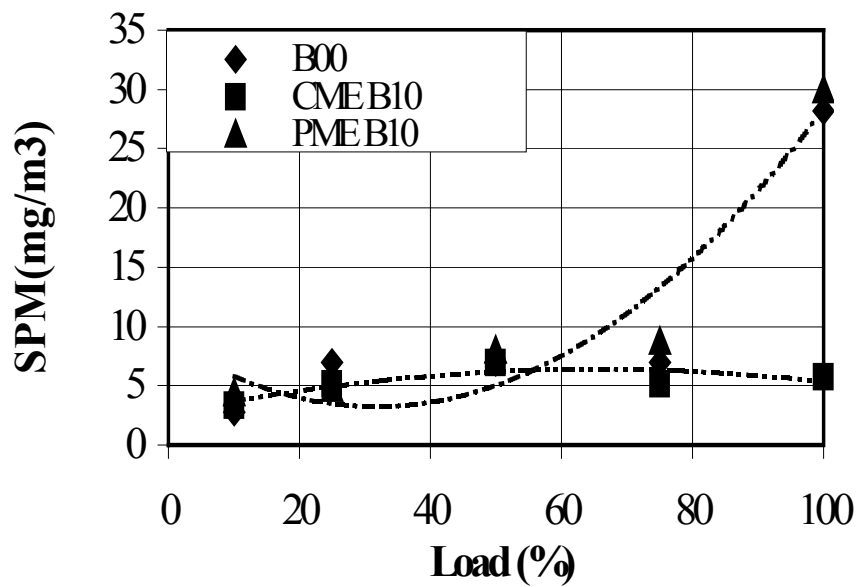




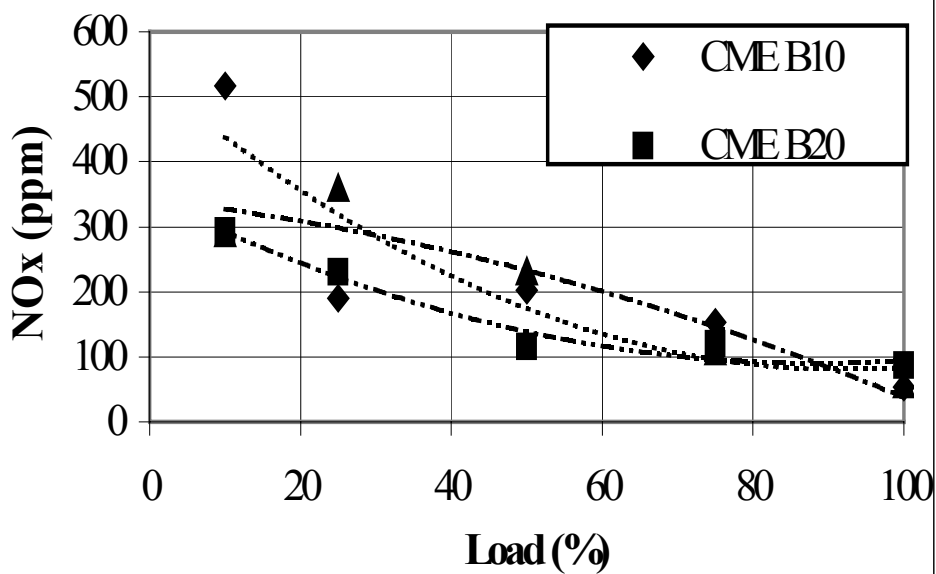
Grafik 5.41. SPM vs Load dengan bahan bakar
B10 1300 rpm



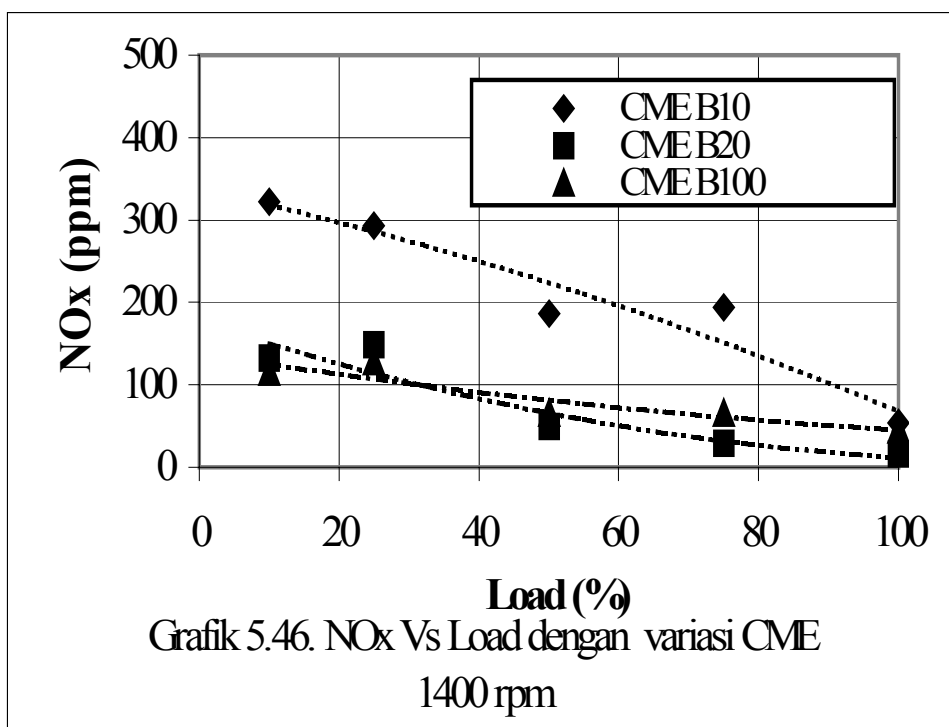
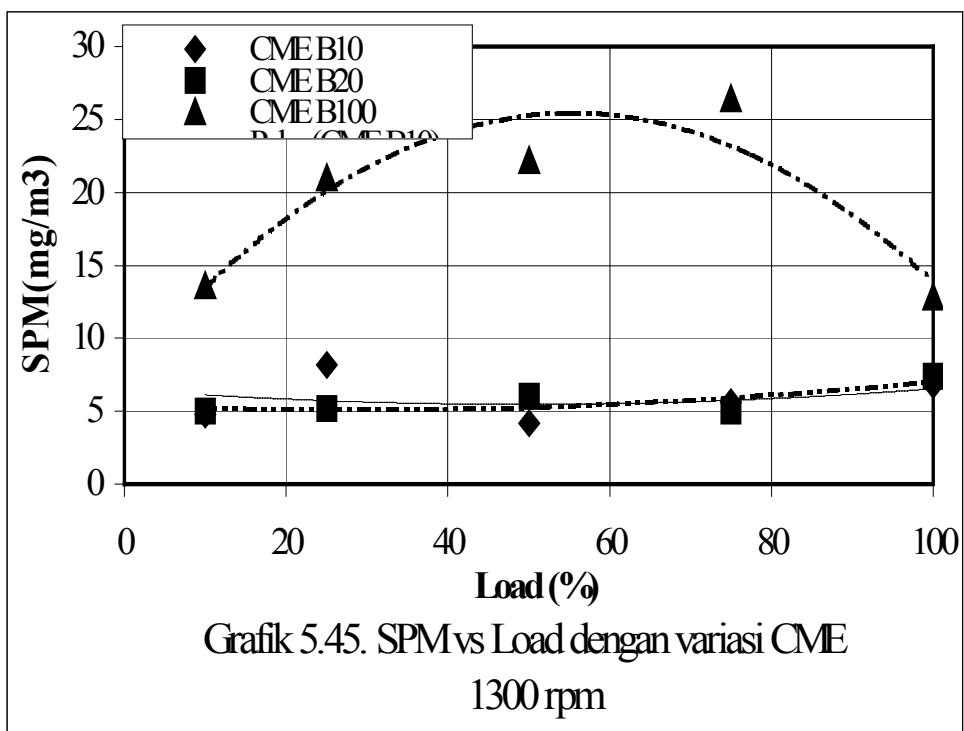
Grafik 5.42. NOx Vs Load dengan bahan bakar
B10 1400 rpm

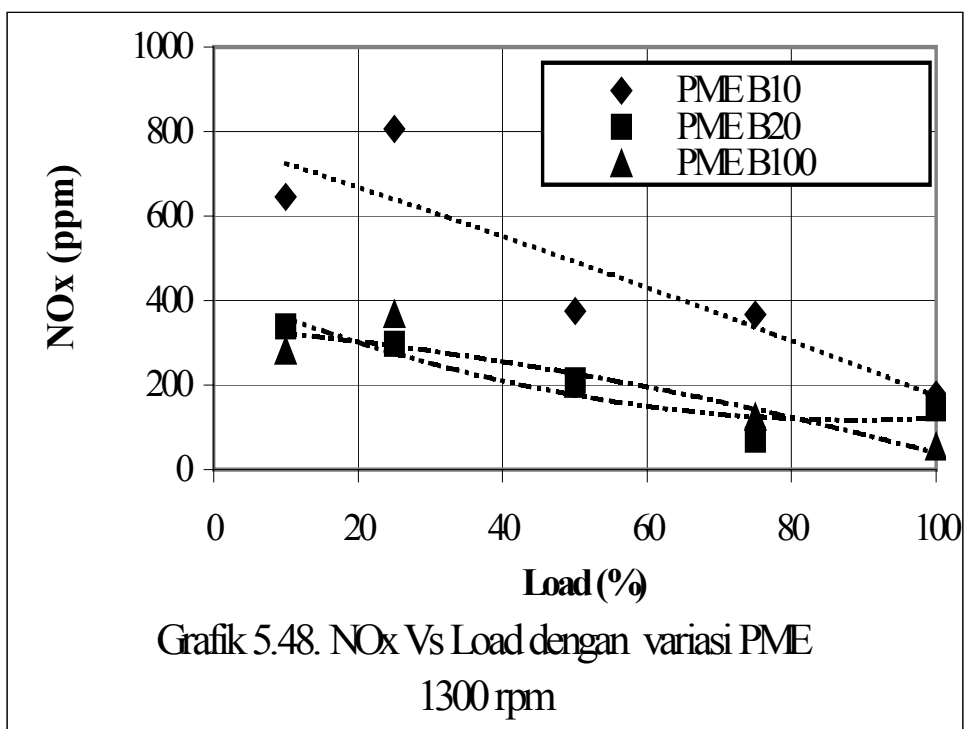
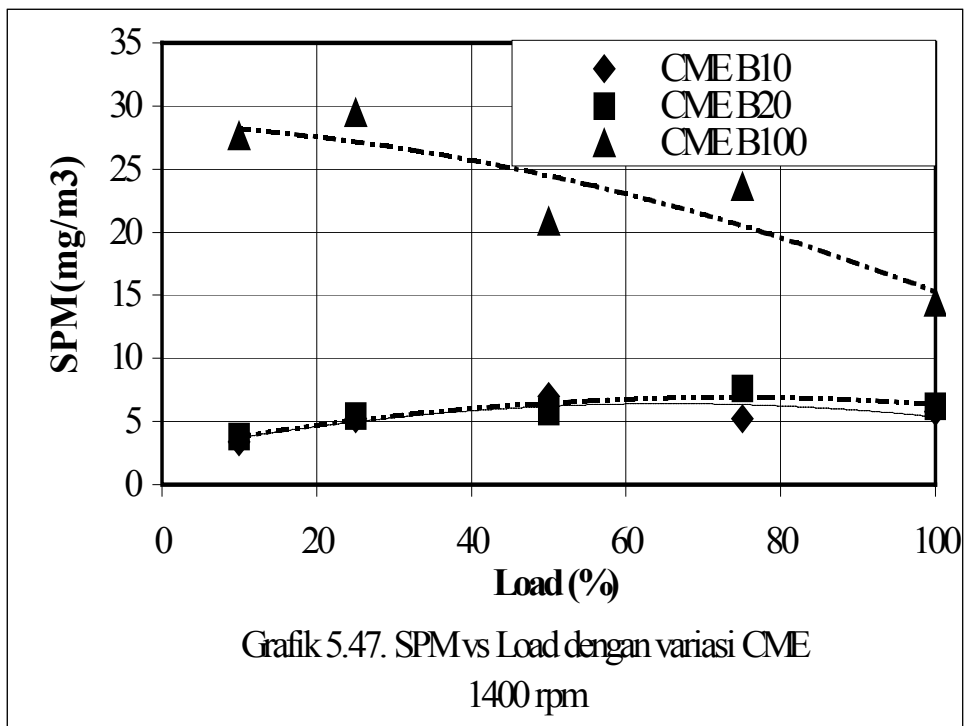


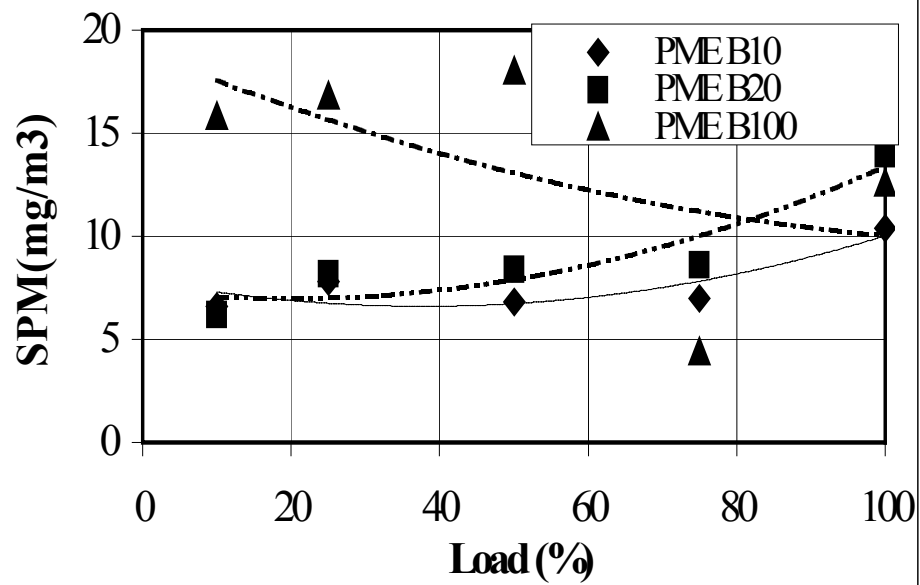
Grafik 5.43. SPM vs Load dengan bahan bakar
B10 1400 rpm



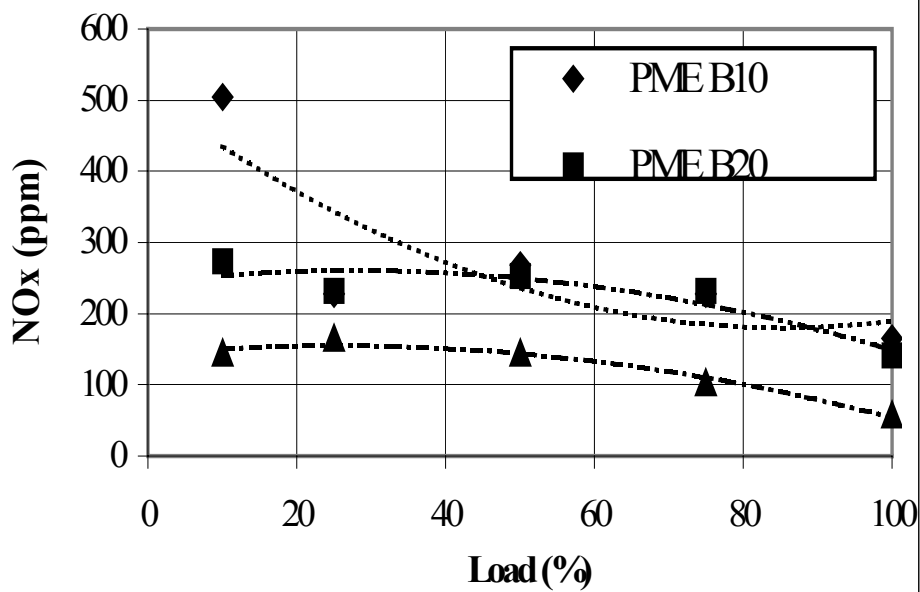
Grafik 5.44. NOx Vs Load dengan variasi CME
1300 rpm



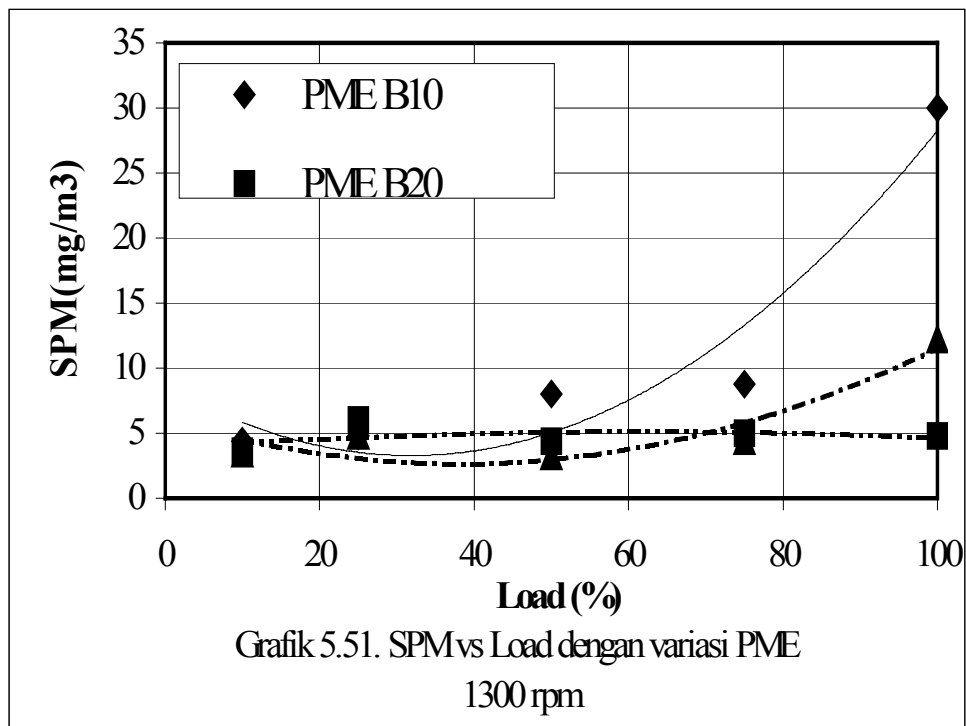




Grafik 5.49. SPM vs Load dengan variasi PME
1300 rpm



Grafik 5.50. NOx Vs Load dengan variasi PME
1400 rpm



Tabel 5.1. Solar Murni (B00) 1300 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.56892	989.0371131	3.5258983	0.12170737
2	3.53008	546.3252625	1.9547747	0.16227649
3	5.099	481.377504	1.7311644	0.15319808
4	6.66793	421.7952394	1.5221233	0.14839187
5	9.02131	374.1140384	1.3573508	0.1770289

Tabel 5.2. Solar murni (B00) 1400 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.68961	974.3910931	2.4595461	0.15490028
2	3.80162	577.4169441	1.4647313	0.17211143
3	5.49123	512.1799336	1.306452	0.11915406
4	7.18084	458.536985	1.1746398	0.09111781
5	9.71526	408.6960084	1.0532765	0.27131602

Tabel 5.3. CME 10 % 1300 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.56892	983.3854725	15.262539	0.26554334
2	3.53008	592.9111376	2.8518423	0.20161624
3	5.099	464.4870653	2.1025727	0.07149244
4	6.66793	404.9234298	0.7734769	0.07289425
5	9.02131	399.0549743	0.4500647	0.06542372

Tabel 5.4. CME 10 % 1400 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.68961	998.7508705	9.7544313	0.1880932
2	3.80162	596.825917	3.6848659	0.1278542
3	5.49123	455.2710521	1.9170698	0.11915406
4	7.18084	408.6960084	0.971641	0.06768752
5	9.71526	402.7728778	0.3235885	0.05580259

Tabel 5.5. CME 20 % 1300 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.56892	956.0692093	8.3215379	0.27660765
2	3.53008	602.2483208	2.8346823	0.1278542
3	5.099	557.3844783	1.4203464	0.10213206
4	6.66793	476.3805057	0.8148275	0.06508415
5	9.02131	399.0549743	0.2742057	0.0711964

Tabel 5.6. CME 20 % 1400 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.68961	1058.279068	4.8018095	0.21022181
2	3.80162	586.9610258	2.1603654	0.13277167
3	5.49123	482.0517022	1.0090677	0.09872765
4	7.18084	453.012443	0.406831	0.09892791
5	9.71526	402.7728778	0.1406811	0.05965104

Tabel 5.7. CME 100 % 1300 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.56892	1220.513884	3.2623232	0.75237281
2	3.53008	721.5616674	2.010232	0.51633428
3	5.099	661.894068	0.993088	0.3778886
4	6.66793	570.3146899	0.5092371	0.34364433
5	9.02131	516.0193634	0.2485523	0.12315054

Tabel 5.8. CME 100 % 1400 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.68961	1129.329606	1.6684962	1.52687422
2	3.80162	666.8759073	0.6392559	0.72286799
3	5.49123	614.6159203	0.2229482	0.35405779
4	7.18084	529.5779263	0.3327179	0.3071972
5	9.71526	487.5671679	0.1416942	0.13854435

Tabel 5.9. PME 10 % 1300 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.56892	940.3959436	0.4436378	0.3651221
2	3.53008	588.3502827	0.2791823	0.1917813
3	5.099	494.8740695	0.2358403	0.11574966
4	6.66793	435.4015375	0.2082568	0.09111781
5	9.02131	421.5369447	0.2033658	0.10005981

Tabel 5.10. PME 10 % 1400 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.68961	1037.663242	0.4790295	0.24341473
2	3.80162	617.5850793	0.2866328	0.11801926
3	5.49123	546.3252625	0.2550436	0.13617607
4	7.18084	458.536985	0.2146199	0.11454811
5	9.71526	471.0394673	0.2229896	0.28863407

Tabel 5.11. PME 20 % 1300 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.56892	1132.187222	0.2613051	0.34299348
2	3.53008	721.5616674	0.1677794	0.20161624
3	5.099	339.4328554	0.0783054	0.14298488
4	6.66793	493.8090608	0.115646	0.11194474
5	9.02131	475.0654456	0.1123127	0.1346959

Tabel 5.12. PME 20 % 1400 rpm

No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.68961	1210.607116	0.2831831	0.19915751
2	3.80162	780.4646607	0.1840787	0.14752408
3	5.49123	585.3484955	0.1383636	0.07489684
4	7.18084	494.7372733	0.1172974	0.06508415
5	9.71526	427.5589011	0.1019111	0.04618145

Tabel 5.13. PME 100 % 1300 rpm

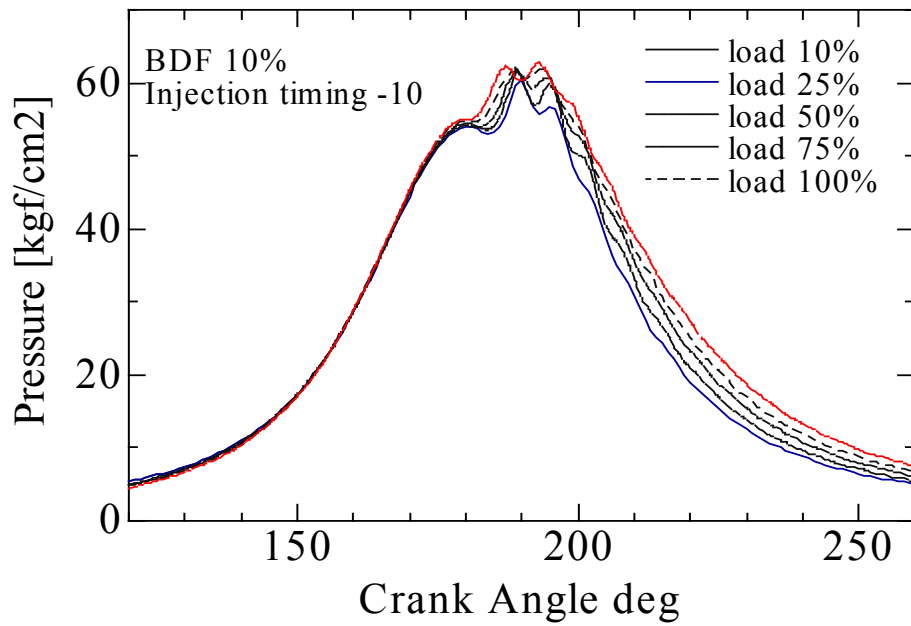
No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.56892	1132.187222	3.4962036	0.87408017
2	3.53008	721.5616674	1.8501768	0.41306742
3	5.099	339.4328554	0.9774735	0.30639617
4	6.66793	493.8090608	0.5596	0.05727405
5	9.02131	475.0654456	0.1627734	0.12122631

Tabel 5.14. PME 100 % 1400 rpm

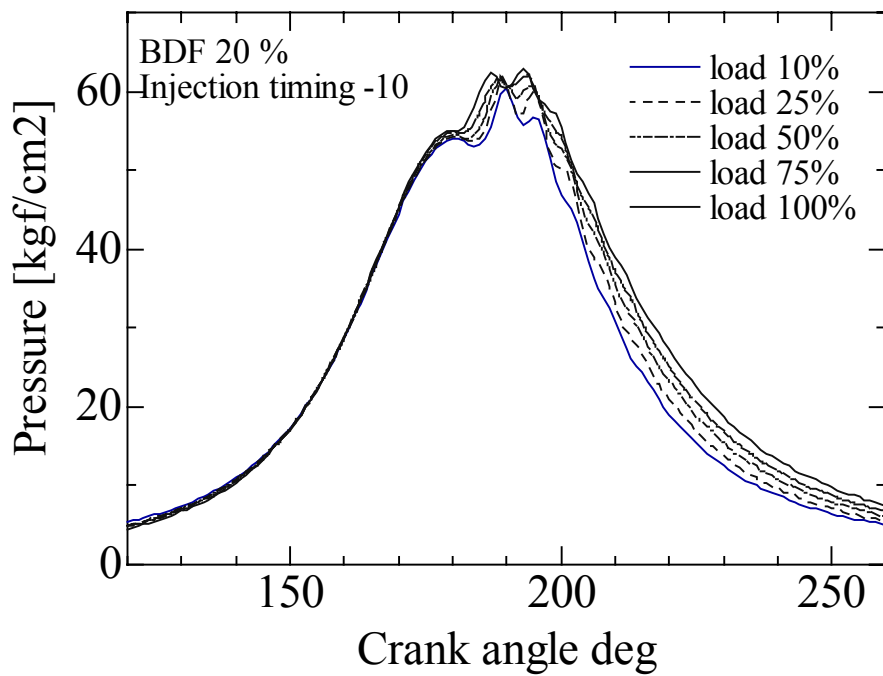
No	Daya	sfoc (g/kwh)	BsNox	SPM (g/KWh)
1	1.68961	1210.607116	1.5513663	0.1880932
2	3.80162	780.4646607	0.8021667	0.11801926
3	5.49123	585.3484955	0.469999	0.05447043
4	7.18084	494.7372733	0.2432221	0.05727405
5	8.02565	517.5713013	0.1535924	0.14208898

LAMPIRAN IX

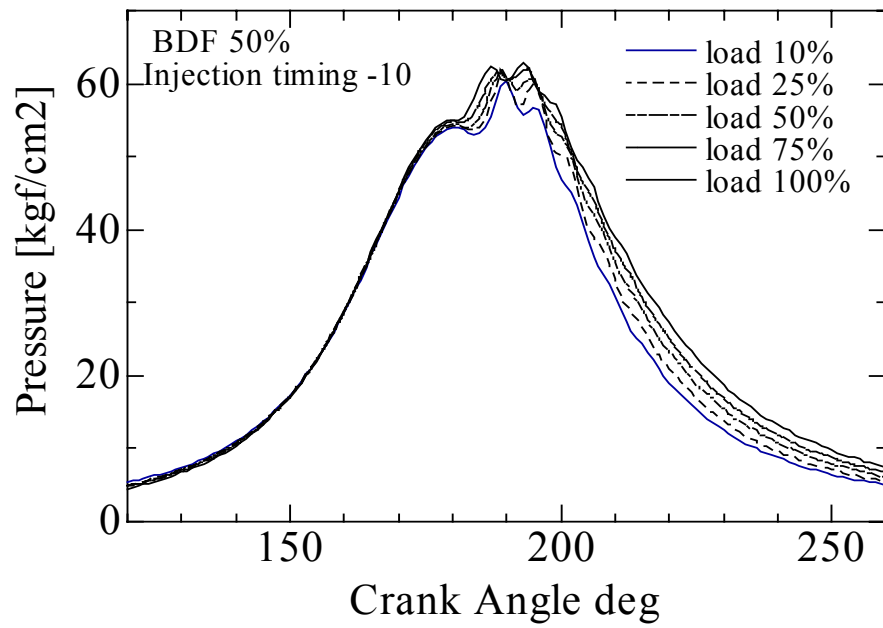
HASIL MODIFIKASI ENGINE



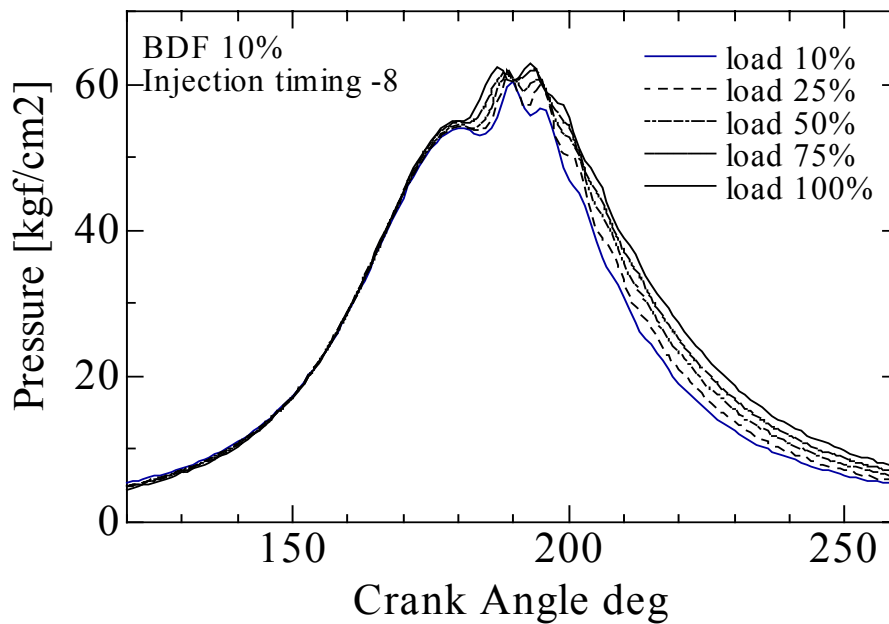
Grafik 6.1. Tekanan ruang bakar dari BDF 10% dengan variasi pembebanan pada injection timing -10.



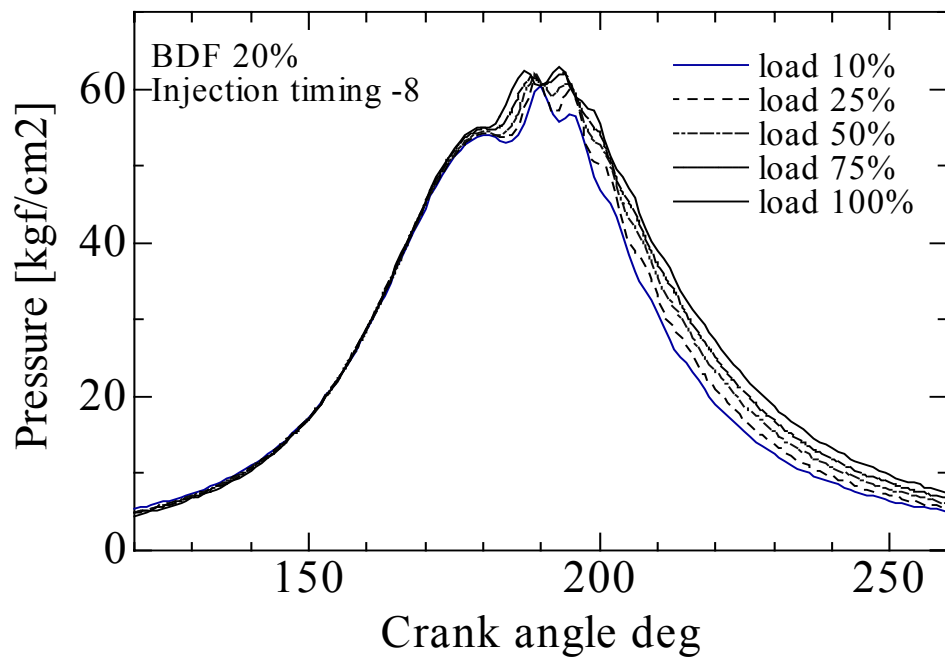
Grafik 6.2. Tekanan ruang bakar dari BDF 20% dengan variasi pembebanan pada injection timing -10.



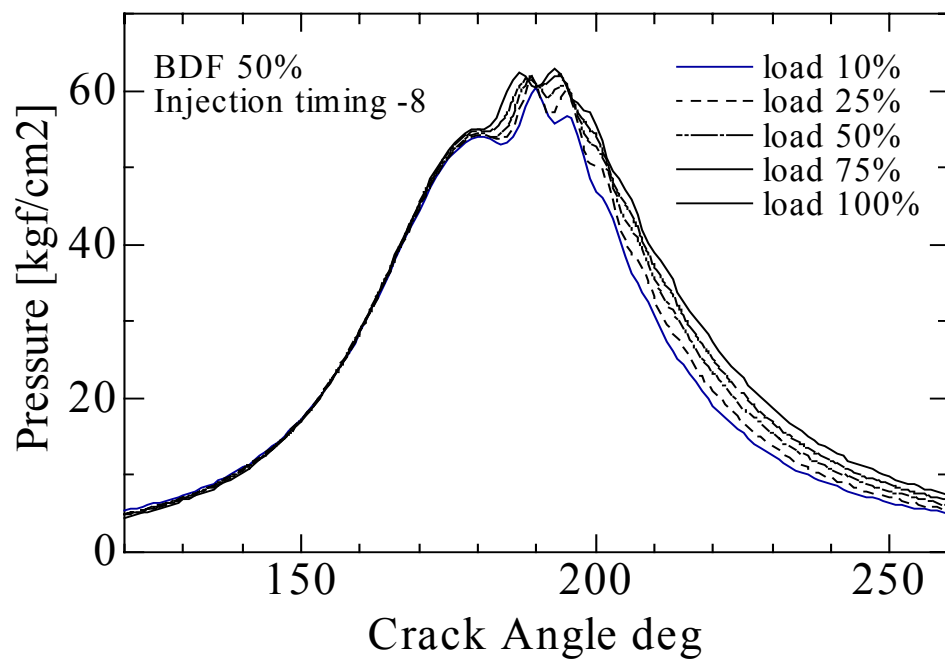
Grafik 6.3. Tekanan ruang bakar dari BDF 50% dengan variasi pembebanan pada injection timing -10.



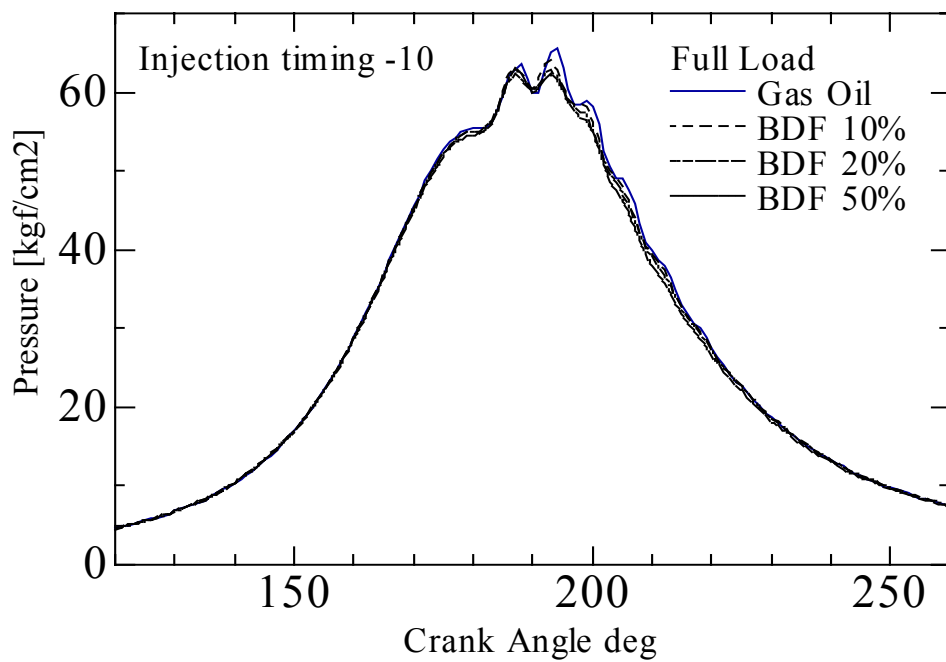
Grafik 6.4. Tekanan ruang bakar dari BDF 10% dengan variasi pembebanan pada injection timing -8.



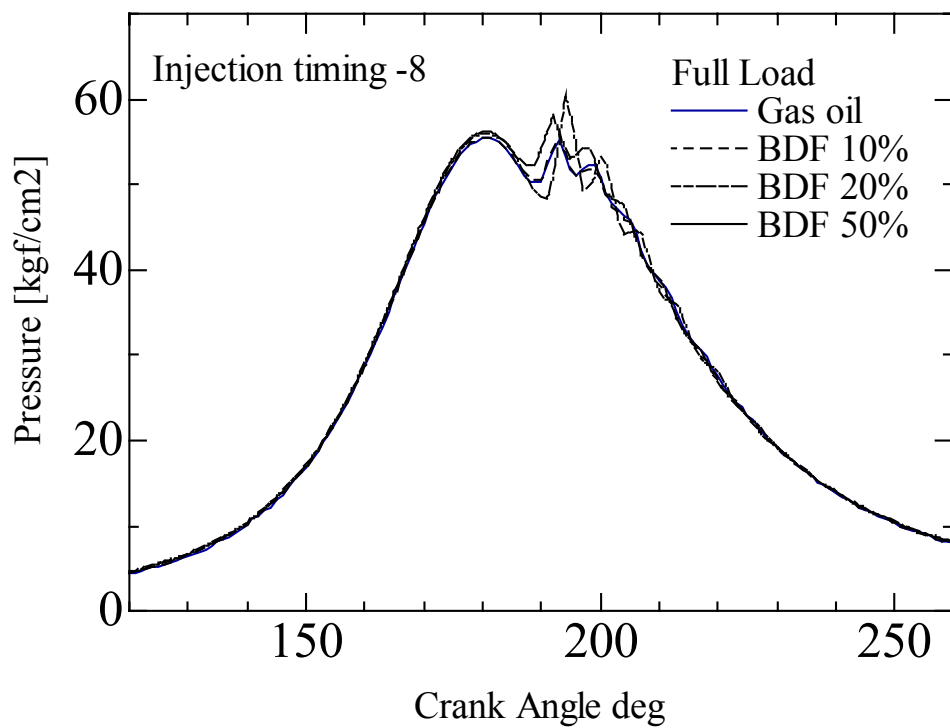
Grafik 6.5. Tekanan ruang bakar dari BDF 20% dengan variasi pembebanan pada injection timing -8.



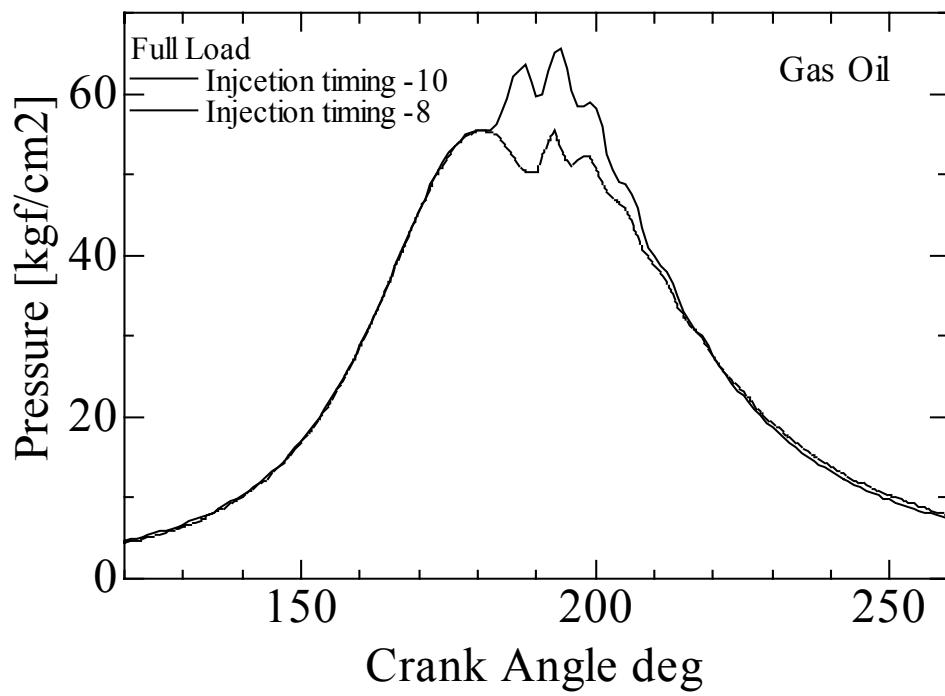
Grafik 6.6. Tekanan ruang bakar dari BDF 50% dengan variasi pembebanan pada injection timing -8.



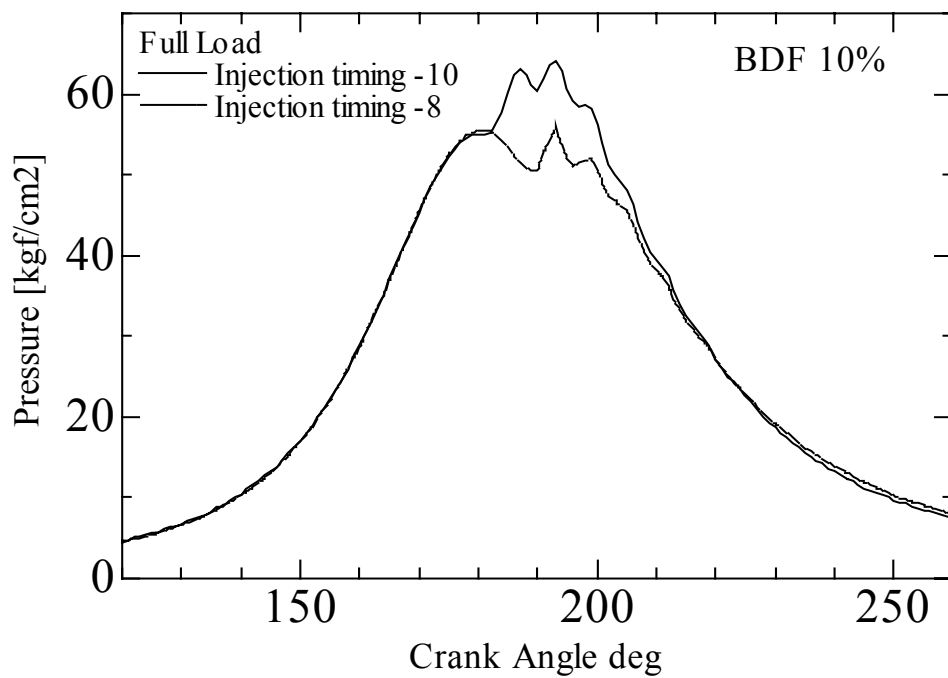
Grafik 6.7. Tekanan ruang bakar pada injection timing –10 dengan variasi bahan bakar.



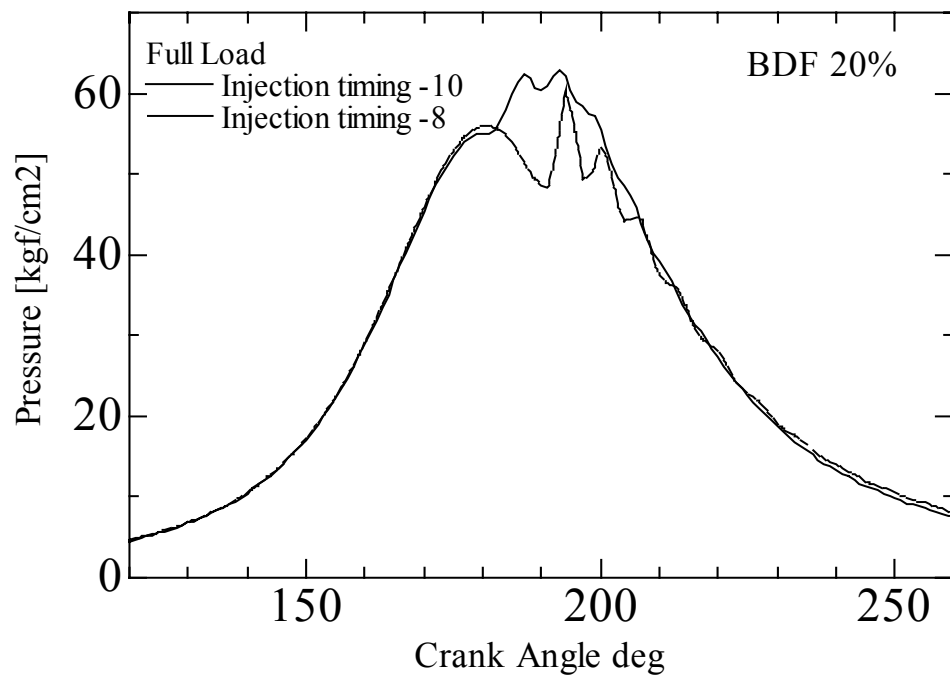
Grafik 6.8. Tekanan ruang bakar pada injection timing –8 dengan variasi bahan bakar.



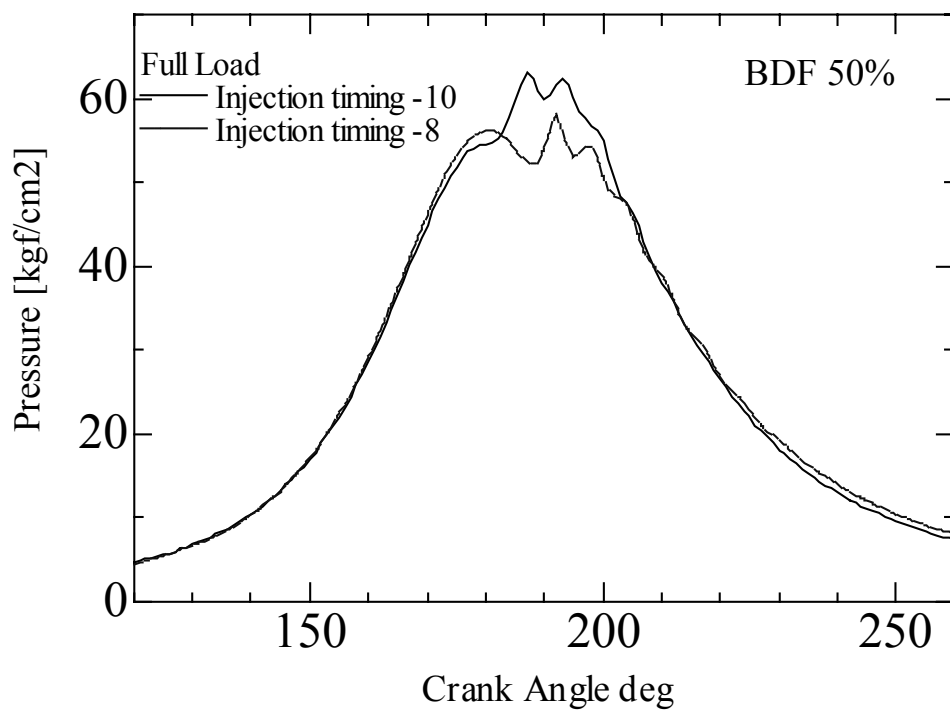
Grafik 6.9. Tekanan ruang bakar dari Gas Oil dengan variasi injection timing.



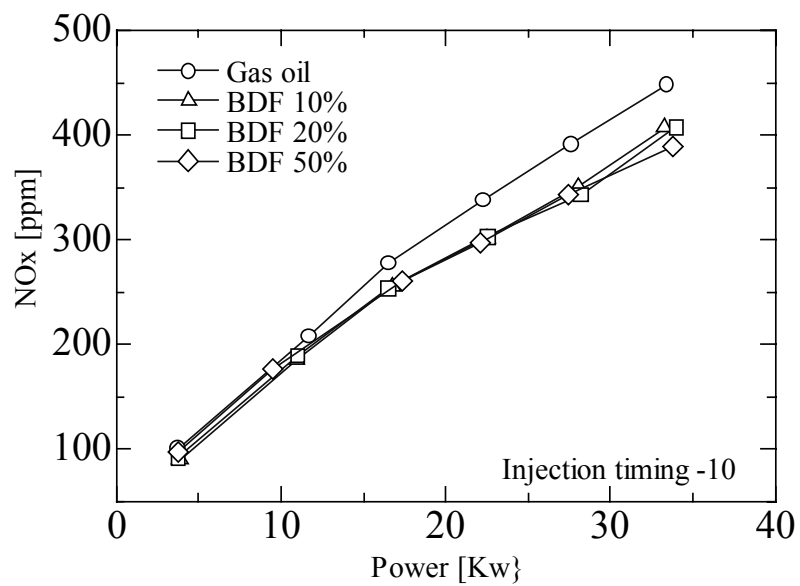
Grafik 6.10. Tekanan ruang bakar dari BDF 10 % dengan variasi injection timing.



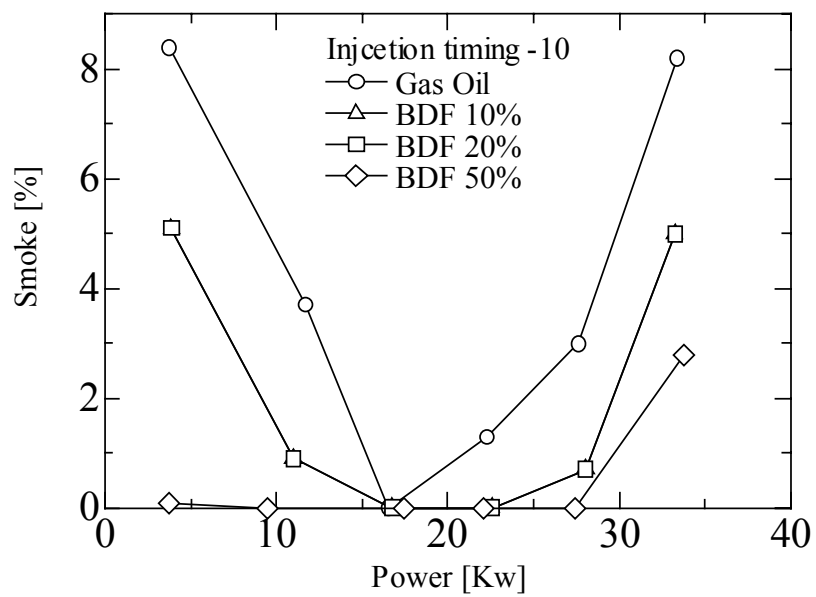
Grafik 6.11. Tekanan ruang bakar dari BDF 20% dengan variasi injection timing.



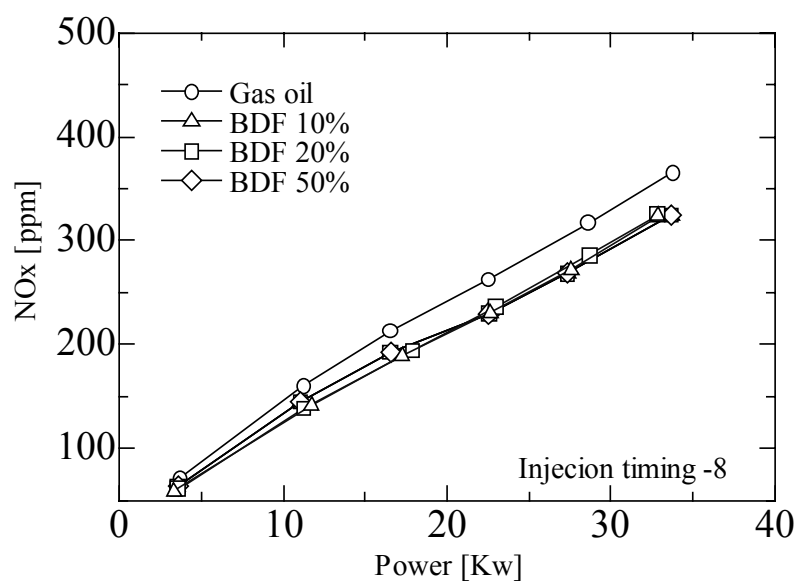
Grafik 6.12. Tekanan ruang bakar dari BDF 50% dengan variasi injection timing.



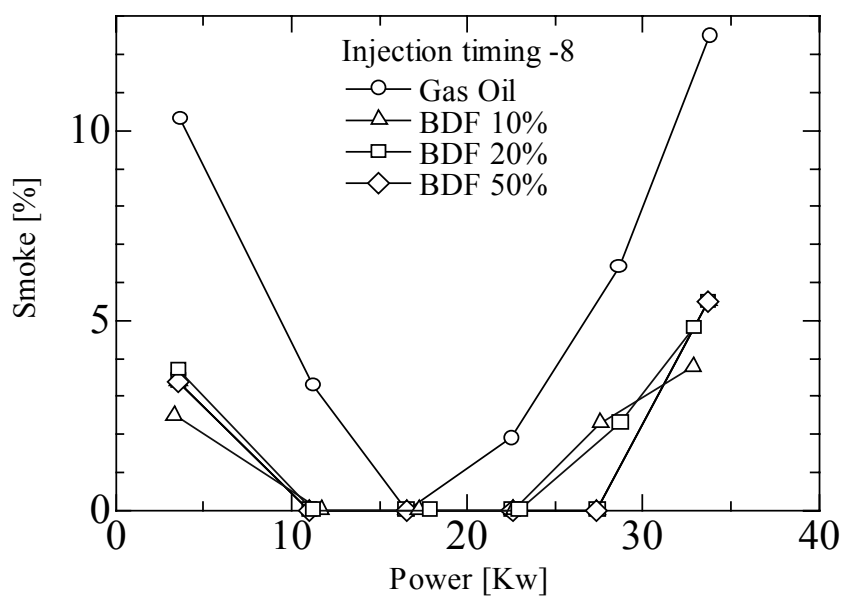
Grafik 6.13. NO_x emission vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing -10.



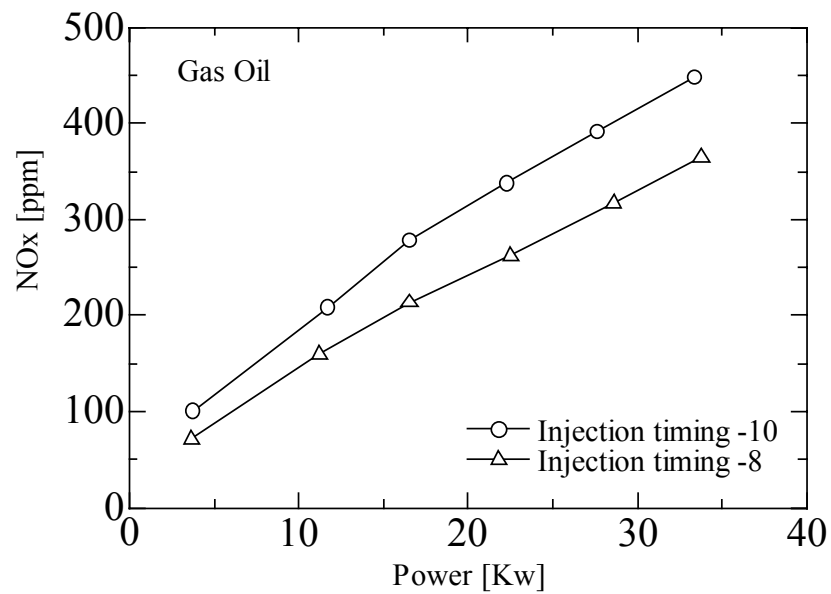
Grafik 6.14. Partikel Smoke vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing -10.



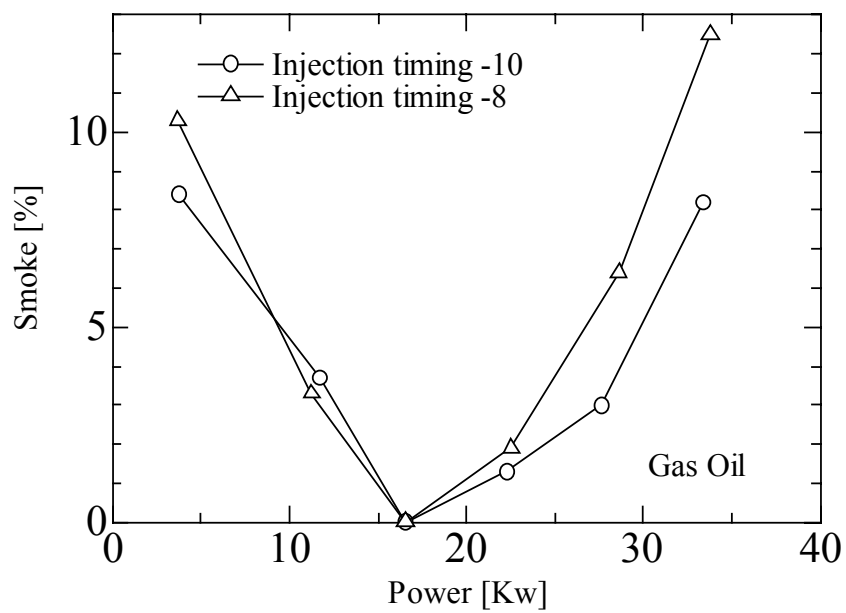
Grafik 6.15. NO_x emission vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing -8.



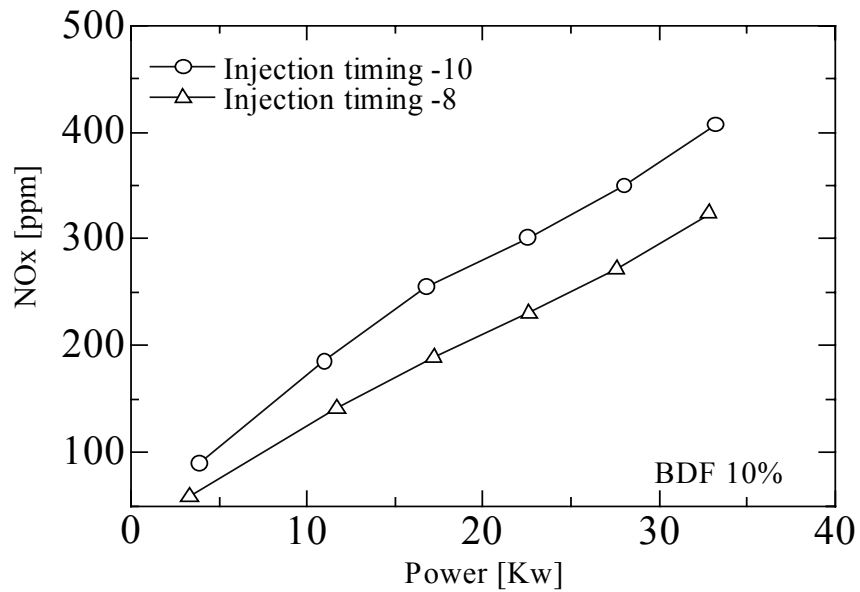
Grafik 6.16. Partikel Smoke vs Load dengan variasi bahan bakar pada injection timing -8



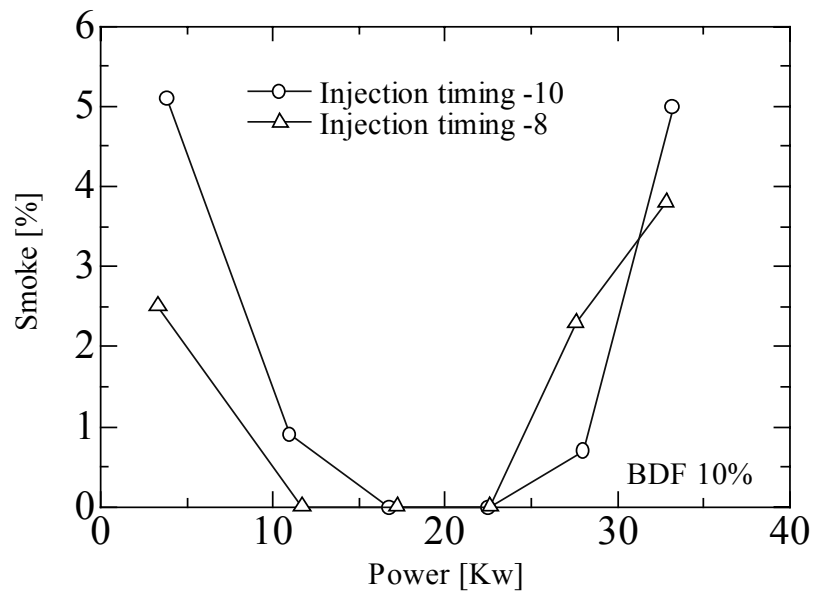
Grafik 6.17. NO_x emission vs Load pada Gas oil dengan variasi injection timing.



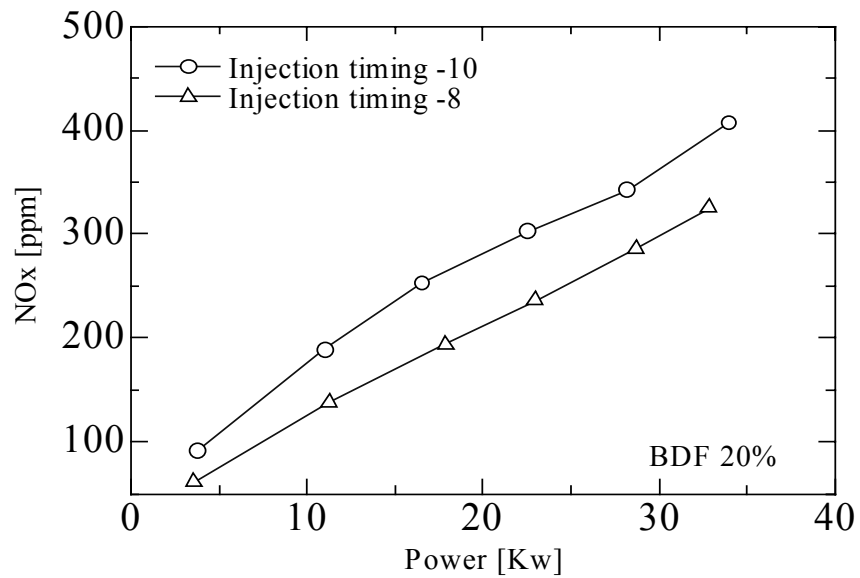
Grafik 6.18. Partikel Smoke vs Load pada Gas oil dengan variasi injection timing.



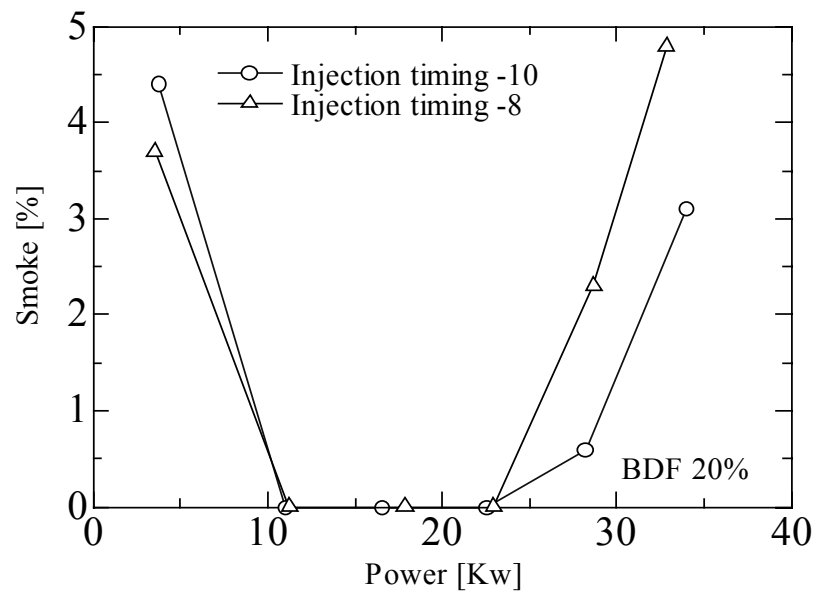
Grafik 6.19. NO_x emission vs Load pada BDF 10% dengan variasi injection timing.



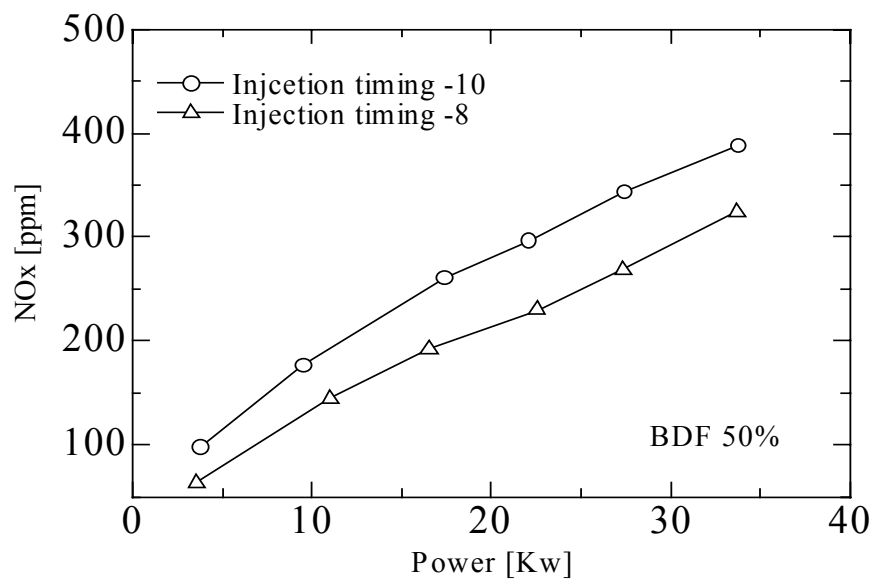
Grafik 6.20. Partikel Smoke vs Load pada BDF 10% dengan variasi injection timing.



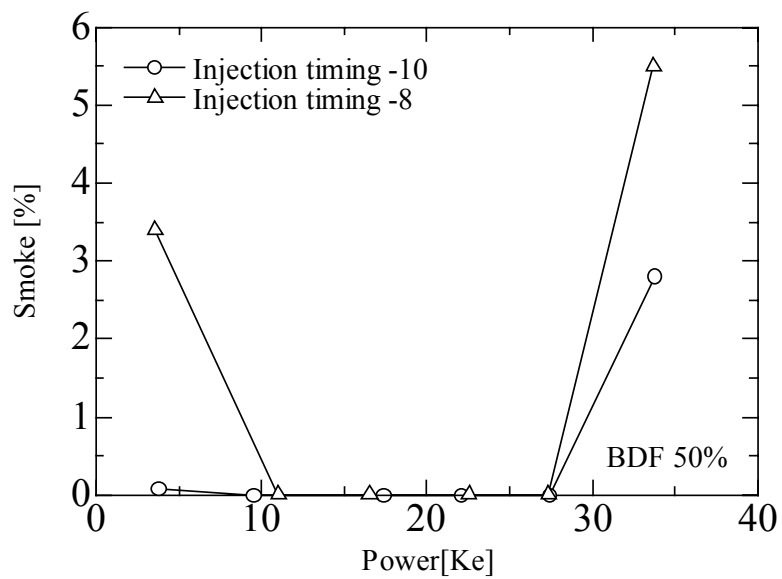
Grafik 6.21. NO_x emission vs Load pada BDF 20% dengan variasi injection timing.



Grafik 6.22. Partikel Smoke vs Load pada BDF 20% dengan variasi injection timing.

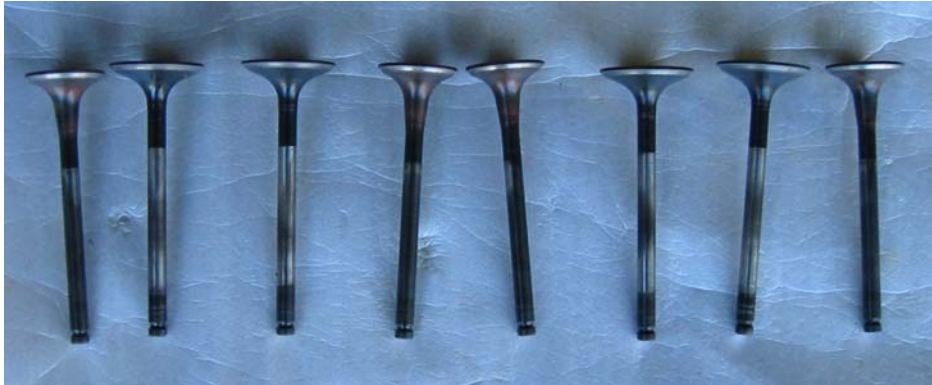


Grafik 6.23. NO_x emission vs Load pada BDF 50% dengan variasi injection timing.



Grafik 6.24. Partikel Smoke vs Load pada BDF 50% dengan variasi injection timing.

LAMPIRAN X
UJI DURABILITY



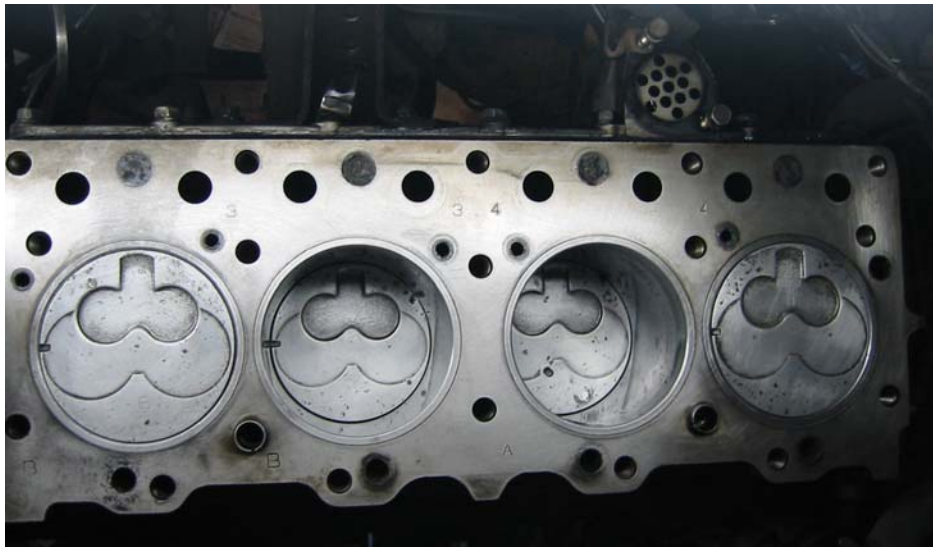
Gambar 7.1. Kondisi klep pada saat awal sebelum dipakai pengujian



Gambar 7.2. Kondisi klep pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar



Gambar 7.3. Kondisi klep pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar CME:PME:MS



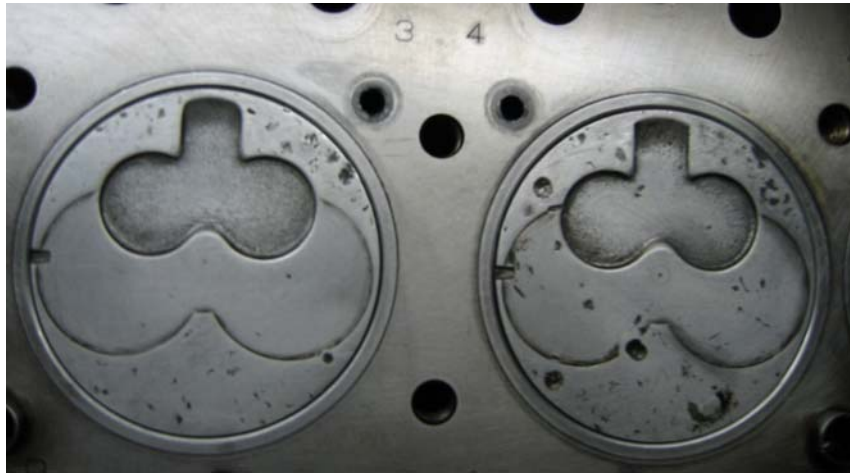
Gambar 7.4. Kondisi cylinder liner pada saat awal sebelum dipakai pengujian



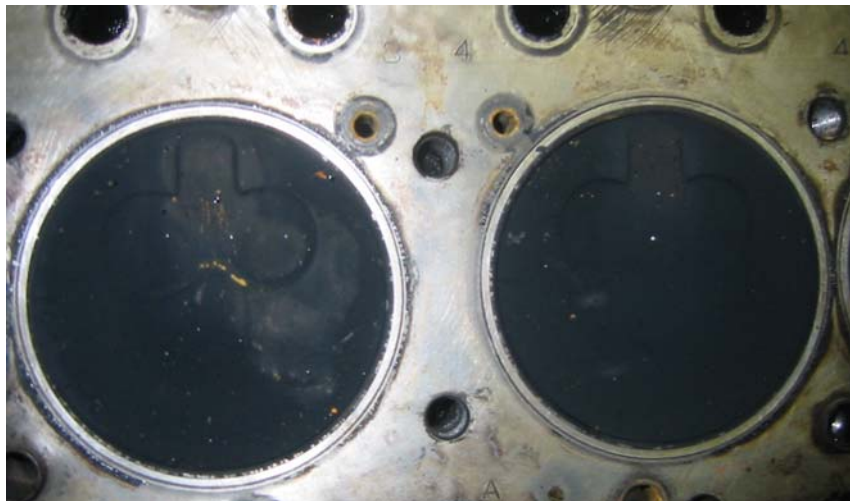
Gambar 7.5. Kondisi cylinder liner pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar



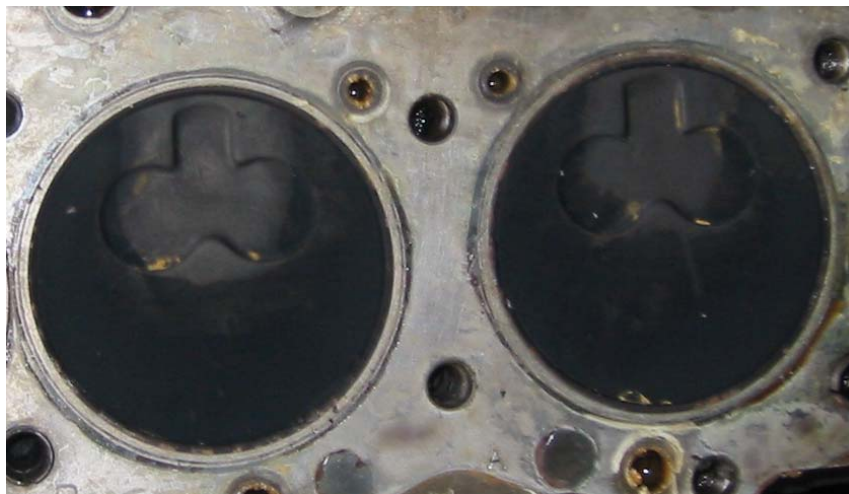
Gambar 7.6. Kondisi cylinder liner pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar CME:PME:MS



Gambar 7.7. Kondisi permukaan piston pada saat awal sebelum dipakai pengujian



Gambar 7.8. Kondisi permukaan piston pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar



Gambar 7.9. Kondisi permukaan piston pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar CME:PME:MS



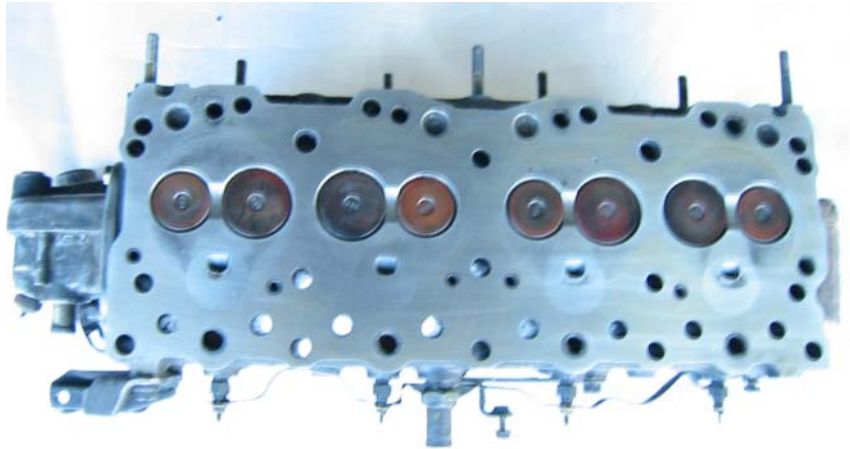
Gambar 7.10. Kondisi nozzle pada saat awal sebelum dipakai pengujian



Gambar 7.11. Kondisi nozzle pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar



Gambar 7.12. Kondisi nozzle pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar CME:PME:MS



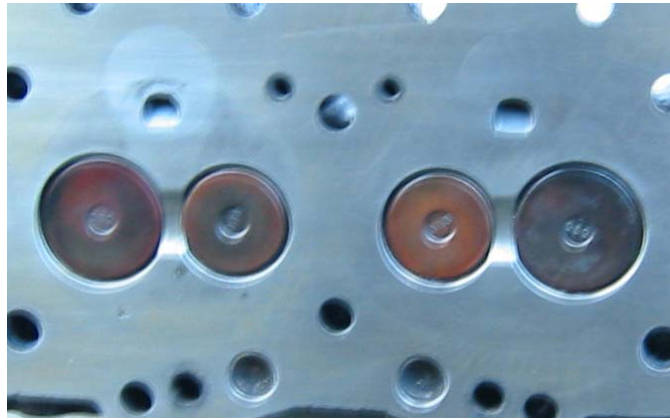
Gambar 7.13. Kondisi cylinder head pada saat awal sebelum dipakai pengujian



Gambar 7.14. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar



Gambar 7.15. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika Menggunakan bahan bakar CME:PME:MS



Gambar 7.16. Kondisi cylinder head pada saat awal sebelum dipakai pengujian



Gambar 7.17. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika menggunakan bahan bakar solar



Gambar 7.18. Kondisi cylinder head pada saat sesudah dipakai ketika Menggunakan bahan bakar CME:PME:MS



Gambar 7.19. Kondisi oil seal pada piston no.1



Gambar 7.20. Kondisi oil seal pada piston no.2



Gambar 7.21. Kondisi oil seal pada piston no.3



Gambar 7.22. Kondisi oil seal pada piston no.4

Tabel 7.1. Sifat-sifat kimia dan fisika minyak solar dan campuran dari CME:PME:MS

Karakteristik	Unit	Campuran 5:5:90	MS	Spesifikasi MS		Metode Tes
				Min.	Maks.	
Angka setana	-	56,3	54,3	48		ASTMD976
Warna	-	3	3		3	ASTMD500
Residu Karbon Konradson (pd 10% dasar)	%	0,47	0,05		0,1	ASTMD89
Korosi bilah tembaga (3jam/100 ^o C)	No	1 b	1a		1	ASTMD130
Distilasi recovery pada 300 ^o C	MI	45	50,5	40		ASTMD86
Titik Nyala PMCC	^o C	75	82	65,5		ASTMD93
Titik Tuang	^o C	-1	11,7		18,3	ASTMD976
Kandungan Abu	%	0,003	Nil		0,01	ASTMD482
Kandungan Air	%	0,05	0,028		0,05	ASTMD4377
Viskositas kinematik pada 100 ^o F	cst	4,4	4,19	1,6	5,8	ASTMD445
Sedimen	%	0,24	Nil		0,01	ASTMD4377
Gravitasi spesifik pada 60/60 ^o C	-	0,8429	0,858	0,858	0,87	ASTMD1298
Bilangan asam kuat	mg KOH/g	Nil	Nil			ASTMD974

Kandungan sulfur	% wt	0,06	0,37		0,5	ASTMD1552
Nilai kalor atas	KJ/kg	44.051	44,722			ASTMD240

Tabel 7.2. Hasil durability dengan bahan bakar minyak solar

No	Trip	KM awal	KM akhir	Jarak Jelajah (KM)	Bahan bakar (LITER)	BBM Rata-rata (KM/LIT ER)
1	Surabaya-Malang pp	294430	294702	272	30,30	8,98
2	Surabaya-Magelang	294702	295058	356	35,90	9,92
3	Magelang-Surabaya	295058	295417	359	32,70	10,98
4	Surabaya-Malang-Tuban pp	295417	295734	317	30,30	10,46
5	Tuban-Surabaya-Ngawi	295734	296041	307	32,50	9,45
6	Ngawi-Solo-Surabaya	296041	296392	351	34,50	10,17
7	Surabaya-Cubanrondo pp	296392	296716	324	32,50	9,97
8	Surabaya-Keliling-Seragen	296716	297092	376	36,50	10,30
9	Seragen-Jogja-Surabaya	297092	297458	366	32,50	11,26
	TOTAL			3028	297,70	10,17

Tabel 7.3. Hasil durability dengan bahan bakar CME:PME:MS = 5:5:90

No	Trip	KM awal	KM akhir	Jarak Jelajah (KM)	Bahan bakar (LITER)	BBM Ratarata (KM/LIT ER)
1	Surabaya-Malang pp	297561	297854	293	32,70	8,96
2	Surabaya-Tuban pp	297854	298100	246	24,30	10,12
3	Surabaya-Magelang	298100	298458	358	36,70	9,75
4	Magelang-Ponorogo-Sby	298458	298945	487	46,00	10,59
5	Surabaya-Tulungagung pp	298945	299285	340	33,40	10,18
6	Surabaya-Cuban Rondo pp	299285	299611	326	32,40	10,06
7	Surabaya-Tuban pp	299611	299917	306	30,50	10,03
8	Surabaya-Kediri pp	299917	300247	330	32,80	10,06
9	Sby-keliling-cubanrondo pp	300247	300633	386	37,80	10,21

	TOTAL			3072	306,60	10,02
--	--------------	--	--	-------------	---------------	--------------

Tabel 7.4. Deposit karbon pada bagian-bagian ruang bakar dengan bahan bakar minyak solar dan campuran dari CME:PME:MS

No	Part	Cylinder 1		Cylinder 2		Cylinder 3		Cylinder 4	
		MS (mg)	CME:PME:MS (mg)	MS (mg)	CME:PME:MS (mg)	MS (mg)	CME:PME:MS (mg)	MS (mg)	CME:PME:MS (mg)
1	Nozzle	100	50	50	50	25	50	75	50
2	Intake valve	75	50	100	200	100	50	75	200
3	Exhaust valve	50	50	50	50	50	25	50	75
4	Cylinder Head	185	200	150	200	60	250	230	100
5	Piston	140	150	150	200	40	150	120	50
TOTAL		550	500	500	700	275	525	550	475

Tabel 7.5. Sifat-sifat fisika dan kimia dari minyak pelumas bekas

Parameter	Unit	MS	CME:PME:MS	Metode
Titik Nyala COC	°C	220	224	ASTMD 92-2000
Titik tuang	°C	1	-6	ASTMD97
Viskositas Kinematik pada 100° C	cSt	11.48	11.80	ASTM445
Viskositas Kinematik pada 40°C	cSt	94.27	89.90	ASTM445
Abu Sulfat	%	0.21	1.28	ASTM874
Bilangan asam total	Mg KOH/g	11.15	10.84	ASTMD2896-2000
Kandungan air dengan Karl Fischer	%	0.18	0.43	ASTMD4377
Alumunium (Al)	ppm	11.34	3.88	AAS
Iron (Fe)	ppm	32.21	30.96	AAS
Chromium (Cr)	ppm	14.97	24.02	AAS
Molybdenum (Mo)	ppm	2.08	0.59	AAS
Copper (Cu)	ppm	7.93	7.31	AAS
Nickel (Ni)	ppm	0.90	0.45	AAS
Vanadium (V)	ppm	<0.01	<0.01	AAS
Calcium (Ca)	%	0.32	0.23	AAS
Magnesium (Mg)	%	0.21	0.08	AAS
SiO ₂	%	0.07	0.02	Gravimetric

Zinc (Zn)	%	0.15	0.13	AAS
-----------	---	------	------	-----