

KAJI EKSPERIMENTAL PERBANDINGAN PRESTASI DAN EMISI GAS BUANG MOTOR BAKAR DIESEL MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR CAMPURAN SOLAR DENGAN BIODIESEL CPO, MINYAK JARAK DAN MINYAK KELAPA

Adly Havendri

Laboratorium Konversi Energi - Jurusan Teknik Mesin- Fakultas Teknik -
Universitas Andalas, Kampus Limau Manis Padang - 25163

Telp. 0751-72586 Fax. 0751-72566

email : adlyhave@ft.unand.ac.id

ABSTRAK

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang terbuat dari minyak nabati yang ramah lingkungan dan dapat menurunkan emisi gas buang pada motor bakar diesel. Biodiesel ini bersifat terbaharukan dan tidak mengorbankan unjuk kerja mesin, sehingga dapat digunakan sebagai solusi untuk mengatasi berkurangnya cadangan bahan bakar fosil dalam perut bumi dan tingkat polusi yang semakin tinggi akhir – akhir ini.

Biodiesel dari minyak tanaman dapat langsung dipergunakan sebagai bahan bakar mesin ataupun dicampur terlebih dahulu dengan solar sebelum digunakan. Biodiesel murni (tanpa campuran solar) biasa dikenal dengan istilah B-100. Biodiesel jenis ini dapat digunakan pada mesin setelah mesin dimodifikasi. Sedangkan biodiesel yang dicampur solar dengan kadar tertentu dapat dipergunakan langsung tanpa harus memodifikasi mesin. Penggunaan biodiesel juga dapat menurunkan keausan ruang piston karena sifat pelumasan bahan bakar yang bagus (kemampuan untuk melumasi mesin dan sistem bahan bakar).

Biodiesel dapat dihasilkan dari berbagai tanaman seperti kelapa, kelapa sawit, dan jarak pagar. Pada pengujian ini, dibandingkan prestasi dan emisi dari campuran solar dengan biodiesel dari ketiga tanaman tersebut, yaitu minyak kelapa, CPO dan minyak jarak. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa jika ditinjau dari prestasi dan emisi gas buangnya, maka biodiesel yang paling baik digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar adalah biodiesel minyak jarak, terutama dengan campuran biodiesel di bawah 30%.

I. PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang ini kebutuhan terhadap bahan bakar cair semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh pertambahan jumlah penduduk yang disertai dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat, yang tentunya berdampak pada makin meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi dan aktivitas industri. Sedangkan bahan bakar minyak bumi, yang merupakan sumber bahan bakar utama, semakin hari pengadaannya semakin terbatas. Karena minyak bumi merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, maka meningkatnya penggunaan bahan bakar ini akan mengakibatkan cadangan minyak bumi terus berkurang dan suatu saat pasti akan habis.

Indonesia yang saat ini dikenal sebagai salah satu negara pengekspor minyak bumi juga diperkirakan akan impor bahan bakar minyak pada 10 tahun mendatang, karena produksi dalam negeri tidak dapat lagi memenuhi permintaan pasar yang meningkat dengan cepat akibat pertumbuhan penduduk dan industri. Perkiraan ini terbukti dengan seringnya terjadi kelangkaan BBM di beberapa daerah di Indonesia pada saat ini.

Banyak upaya yang telah dilakukan untuk menghadapi krisis energi ini, diantaranya adalah dengan memanfaatkan sumber energi dari matahari, batubara dan nuklir. Cara lainnya adalah dengan melakukan berbagai penelitian untuk menemukan teknologi baru penghasil energi berbahan bakar alternatif yang terbaharui (*renewable energy*) dan ramah lingkungan. Salah satu bentuk energi ini adalah biodiesel yang merupakan bahan bakar pengganti solar (*Diesel Oil*) pada mesin diesel. Biodiesel dapat dibuat dari minyak nabati yang diperoleh dari tanaman seperti minyak sawit, jarak pagar, minyak kelapa, kacang kedelai, bunga matahari dan biji-bijian.

Biodiesel dikenal sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan karena bersifat dapat diperbaharui dan menghasilkan emisi gas buang relatif lebih bersih dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional yaitu minyak solar. Selain itu, biodiesel dikenal ramah lingkungan karena gas buang hasil pembakarannya yang dilepaskan ke atmosfer akan diserap kembali oleh tumbuhan untuk keperluan proses fotosintesis. Biodiesel akan mengurangi emisi gas buang tanpa mengorbankan unjuk kerja dan efisiensi dari mesin.

Hambatan terbesar mengenai aplikasi biodiesel adalah harganya yang masih mahal. Untuk penekanan harga biodiesel, pendekatan yang dilakukan adalah menggunakan bahan baku berkualitas rendah dalam proses pembuatannya, misalnya CPO berkualitas rendah, minyak goreng bekas dari pabrik pengolahan makanan, restaurant dsb. dan limbah dari pabrik pengolahan minyak goreng. Selain itu juga dapat digunakan minyak nabati lainnya seperti minyak kelapa dan minyak jarak.

Dalam aplikasinya pada motor bakar, pencampuran biodiesel dengan bahan bakar konvensional (solar) adalah cara yang praktis, cukup murah dan berdampak positif terhadap emisi buang (partikulat). Pada umumnya campuran minyak solar dan biodiesel juga memberikan unjuk kerja mesin yang lebih baik dari pada menggunakan biodiesel murni. Sebaliknya pemakaian biodiesel murni senantiasa menimbulkan masalah seperti kesulitan dalam start up, penyumbatan dalam filter dan masalah lain dalam saluran bahan bakar.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prestasi Motor Bakar Diesel

2.1.1 Brake Horse Power

Daya motor merupakan daya yang diberikan ke poros penggerak oleh motor dan biasanya dinyatakan dalam satuan daya kuda (HP). Besar daya motor dapat dinyatakan dengan menggunakan persamaan:

$$\text{BHP} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \text{Nd} \cdot R \cdot P}{60} \text{ Watt}$$

2.1.2 Torsi

Perhitungan Torsi Gesek

$$T = F_{ges} \cdot K \cdot R_m$$

2.1.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Be)

Pemakaian bahan bakar spesifik didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang terpakai perjam untuk menghasilkan setiap kW daya motor.

$$\text{Be} = \frac{\dot{m}_{bb}}{N_e}$$

2.1.4 Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar menyatakan ukuran pemakaian bahan bakar oleh suatu motor, pada umumnya dinyatakan dalam satuan massa bahan bakar per satuan waktu. Pemakaian bahan bakar dinyatakan dalam kg/ jam.

$$\dot{m}_{bb} = \frac{V}{\Delta t} \cdot \rho_{biodiesel} \left(\frac{3600}{1000} \right)$$

2.1.5 Efisiensi Thermis

Efisiensi thermis didefinisikan sebagai efisiensi pemanfaatan kalor dan bahan bakar untuk diubah menjadi energi mekanis. Efisiensi thermal menyatakan perbandingan antara daya yang dihasilkan terhadap jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk jangka waktu tertentu. Efisiensi thermal dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\eta_{th} = \frac{N_e}{\dot{m}_{bb} \times LHV} \times 100\%$$

2.2 Karakteristik Bahan Bakar

- Berat Jenis
Berat jenis adalah perbandingan berat dari bahan bakar minyak yang dimaksudkan dengan berat dari air dengan volume yang sama, dimana suhu dari bahan bakar minyak dan suhu air adalah sama tingginya, yaitu umumnya 60^o F.
- Viskositas
Viskositas adalah suatu ukuran dari besarnya perlawanan suatu bahan bakar cair untuk mengalir. Viskositas yang besar akan menyebabkan kerugian gesekan di dalam pipa, kerja pompa akan berat, sulit penyaringannya, dan kemungkinan kotoran ikut terendap dan sulit mengabutkan bahan bakar. Sedangkan viskositas yang terlalu rendah akan mengakibatkan bahan bakar dikabutkan terlalu halus, sehingga penetrasi ke ruang bakar rendah sehingga dapat merusak nozzle karena kurang pelumasan.
- Titik Nyala
Titik nyala adalah temperatur dimana uap bahan bakar tepat menyala jika berdekatan dengan api. Makin tinggi angka setananya maka makin rendah titik penyalanya. Titik nyala tidak memiliki efek pada unjuk kerja motor diesel. Titik nyala hanya diperlukan untuk pertimbangan keamanan dalam penyimpanan dari bahan bakar tersebut.
- Nilai Kalor
Nilai kalor dari bahan bakar yang dibakar adalah besarnya panas yang dihasilkan oleh bahan bakar dengan jumlah tertentu dalam satuan kcal/kg bahan bakar.
- Angka Setana
Angka setana pada motor bakar untuk motor diesel menunjukkan kualitas penyalan dari bahan bakar. Semakin tinggi angka setana, maka semakin pendek waktu penundaan penyalannya. Angka setana mempengaruhi penyalan saat dingin, proses pembakaran, akselerasi, dan jumlah asap.

2.3 Gas Buang Mesin

Di Indonesia, kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan oleh emisi gas buang mesin kendaraan bermotor (Tjahja, 2004). Gas buang mesin kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat

berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan. Pada kendaraan bermotor, bahan bakar merupakan salah satu faktor penyebab pencemaran tersebut. Komponen utama bahan bakar fosil ini adalah hidrogen (H) dan karbon (C). Bahan pencemar yang terutama terdapat di dalam gas buang kendaraan bermotor adalah karbon monoksida (CO), senyawa hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), sulfur (SO_x), dan partikulat debu termasuk timbal (Pb).

Tabel 2.1 Persentase Komponen Pencemar Udara dari Gas Buang Kendaraan

Komponen Pencemar	Persentase
CO	70,5
NO _x	8,89
SO _x	0,88
HC	18,34
Partikel	1,33
Total	100

Sumber: Wardhana, 2001.

Sumber pencemar udara menurut *environmental Protection Agency* (EPA) ada tiga, yaitu:

- Sumber tetap (*stationary source*), seperti pembangkit alat listrik dan pabrik atau industri.
- Sumber bergerak (*mobile source*), seperti alat-alat transportasi (mobil, pesawat, kereta api, dan lain-lain).
- Sumber alamiah (*natural source*), seperti letusan gunung berapi dan angin yang meniup debu dari tanah.

Klasifikasi pencemar udara dapat dibedakan berdasarkan sumber, komposisi kimia, dan bentuknya.

- Pencemar berdasarkan sumbernya
Berdasarkan sumbernya terdapat dua jenis pencemar udara yaitu: (Soedomo, 2001)
 - Polutan primer
Pencemar yang langsung diemisikan dari sumber dan berada di atmosfer dalam bentuk semula tanpa mengalami perubahan. Contoh: senyawa sulfur oksida (SO_x), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC).
 - Polutan sekunder
Pencemaran yang terbentuk di atmosfer sebagai hasil interaksi kimia antara pencemaran primer dan konstituen atmosferik. Contoh: ozon (O₃), *peroxyacetyl nitrate* (PAN) yang terbentuk karena reaksi fotokimia, hidrolisis atau oksidasi.
- Pencemar berdasarkan komposisi kimia
Berdasarkan komposisi kimia, polutan primer maupun sekunder dikelompokkan menjadi:
 - Polutan organik
Polutan yang mengandung sebagian besar karbon dan hidrogen.
 - Polutan anorganik
Polutan yang terdiri dari karbon monoksida (CO), karbondioksida (CO₂), karbonat, oksida

sulfur, oksida nitrogen, ozon, hidrogen sulfida, dan hidrogen klorida.

- Pencemar berdasarkan bentuknya
Berdasarkan bentuk atau keadaannya, pencemar diklasifikasikan menjadi: (Koestiyowati, 2001)
 - Partikulat
Partikulat adalah bentuk terdispersi dari padatan atau cairan dengan ukuran molekul tunggal lebih besar dari 0,002 μm tetapi lebih kecil dari 500 μm. Partikulat ini dapat berupa padatan yaitu: debu (*dust*), asap (*smoke*), *fume*, *fly-ash*, dan dalam bentuk cairan berupa *mist* (*spray*).
 - Pencemar dalam bentuk gas
Berupa cairan tak berbentuk, menempati ruang ditempat gas tersebut dilepaskan, berperilaku seperti udara, dan tidak mengendap di atmosfer. Contohnya: hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), oksida nitrogen, dan oksida sulfur.

2.4 Jenis Gas Buang

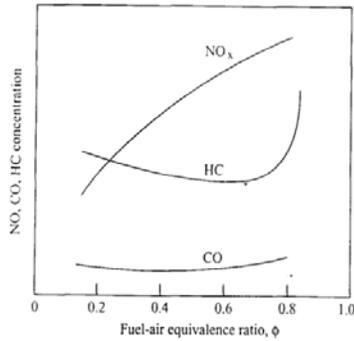
2.4.1.1 Partikulat

Polutan partikulat yang berasal dari buangan mesin umumnya merupakan fasa padat yang terdispersi dalam udara dan membentuk asap. Fasa padatan tersebut berasal dari pembakaran tak sempurna bahan bakar minyak yang berkomposisi senyawa organik hidrokarbon. Partikel asap mempunyai diameter berkisar 0.5 – 1 μm.

2.4.1.2 Hidrokarbon (HC)

Sesuai dengan namanya, komponen hidrokarbon hanya terdiri dari elemen hidrogen dan karbon. Pelepasan hidrokarbon dari gas buang mesin disebabkan oleh pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna akibat adanya bahan bakar yang tidak terbakar.

Salah satu faktor yang mempengaruhi munculnya hidrokarbon dalam buangan mesin adalah rasio udara-bahan bakar. Gambar di bawah ini menunjukkan pengaruh antara rasio ekuivalen udara-bahan bakar (ϕ) terhadap konsentrasi hidrokarbon yang dihasilkan pada mesin Diesel empat langkah. Dari gambar dapat dilihat bahwa emisi HC akan berkurang dengan bertambahnya ϕ . Tingginya ϕ akan meningkatkan temperatur di silinder yang akan mempermudah pembakaran campuran udara-bahan bakar over mixed (sangat miskin) dan under mixed (campuran kaya). Pada putaran tinggi, hidrokarbon akan meningkat kembali jika jumlah bahan bakar yang diinjeksikan terlalu banyak selama proses pembakaran.



Gambar 2.6 Emisi gas buang sebagai fungsi rasio ekuivalen udara-bahan bakar

2.4.1.3 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida adalah suatu komponen yang tak berwarna, tak berasa dan tak berbau. Karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses berikut:

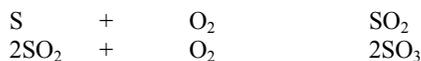
1. Pembakaran tidak lengkap dan sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
2. Reaksi antara CO₂ dan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.
3. Pada suhu tinggi CO₂ terurai menjadi CO dan

2.4.1.4 Sulfur Oksida (SOx)

Polusi oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen gas yang tidak berwarna yaitu, sulfur dioksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃), dan keduanya disebut sebagai SOx. Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak terbakar di udara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif.

Pembakaran bahan-bahan yang mengandung sulfur akan menghasilkan kedua bentuk sulfur oksida, tetapi jumlah relatif masing-masing tidak dipengaruhi oleh jumlah oksigen yang tersedia. Meskipun udara tersedia dalam jumlah cukup, SO₂ selalu terbentuk. Jumlah SO₃ yang terbentuk dipengaruhi oleh kondisi reaksi, terutama suhu, dan bervariasi 1 sampai 10% dari total SOx.

Mekanisme pembentukan SOx dapat dituliskan dalam dua tahap reaksi sebagai berikut:



2.4.1.5 Nitrogen Oksida (NOx)

Nitrogen oksida (NOx) adalah kelompok gas yang terdapat di atmosfer yang terdiri dari gas nitrik oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO₂). Umumnya oksida nitrogen berbentuk nitrogen monoksida (NO), dan sejumlah kecil nitrogen dioksida (NO₂).

Pembentukan NOx sangat bergantung pada temperatur, lamanya gas hasil pembakaran berada

pada suhu tersebut, dan jumlah oksigen berlebih yang tersedia. NOx timbul karena adanya reaksi nitrogen dan oksigen pada temperatur yang tinggi. Semakin tinggi suhu pembakaran, semakin tinggi pula konsentrasi NOx yang dihasilkan.

2.4.2 Gas Buang Pada Biodiesel

Penggunaan biodiesel pada mesin dapat mengurangi emisi tanpa mengorbankan unjuk kerja dan efisiensi dari mesin. Biodiesel pada campuran 20% dapat mengurangi partikulat sebanyak 30%, CO₂ sebanyak 21%, dan total hidrokarbon sebanyak 47%. Sedangkan penggunaan biodiesel 100% dapat: menurunkan emisi CO₂ sampai 100%, menurunkan emisi SO₂ sampai 100%, menurunkan emisi CO antara 10% sampai 50% dan menurunkan emisi HC antara 10% sampai 50%.

Penggunaan biodiesel tidak mengurangi emisi NOx. Nitrogen oksida pada gas buang mesin merupakan hasil pembakaran nitrogen. Hal ini terjadi dikarenakan biodiesel terbuat dari minyak tumbuhan yang banyak mengandung unsur nitrat. Semakin banyak penambahan biodiesel yang digunakan dalam campuran bahan bakar mesin maka konsentrasi NOx yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Walaupun penggunaan biodiesel 100% dapat mengurangi pembentukan gas buang, penggunaannya tidak disarankan karena dapat merusak saluran bahan bakar dan komponen mesin yang terbuat dari karet alami seperti seal.

III. METODOLOGI

3.1 Prosedur Pengujian

3.1.1 Prosedur Pengujian Prestasi Motor Diesel

1. Membuat campuran bahan bakar solar dengan biodiesel yang bervariasi yaitu B 10, B 20, B 30, B 40, dan B 50.

Keterangan :

- B 10 : Biodiesel 10 %, Solar 90 %
- B 20 : Biodiesel 20 %, Solar 80 %
- B 30 : Biodiesel 30 %, Solar 70 %
- B 40 : Biodiesel 40 %, Solar 60 %
- B 50 : Biodiesel 50 %, Solar 50 %

2. Menstater mesin
 - Buka katup bahan bakar dan katup pegas pada posisi terendah
 - Tekan katup dekompresi yang berada dikepala silinder
 - Putar poros engkol pada beberapa putaran dengan menggunakan engkol tangan, kemudian lepaskan dekompresi. Jika mesin telah hidup maka engkol tangan akan terlepas sendiri
3. Pengujian, dilakukan setelah mesin beroperasi 20 menit untuk :
 - Putaran bervariasi pada pembebanan maksimum.

4. Untuk berbagai kondisi operasi mesin, dilakukan pengamatan terhadap parameter – parameternya.
5. Data pengujian dihitung dan dibuat analisa terhadap hasil yang didapatkan



Gambar-3.2 Motor Bakar yang digunakan "Diesel Type Changchai SX 175".

3.1.2 Prosedur Pengujian Gas Buang

1. Panaskan mesin selama 15 menit
2. Set mesin pada putaran dan pembebanan konstan yang diinginkan
3. Hidupkan alat ukur "Quintox Flue Gas Analyzer". Biarkan alat melakukan kalibrasi otomatis agar sensor disetel ke nol
4. Setelah kalibrasi otomatis komplit, letakkan ujung probe yang runcing pada titik pengambilan sampling yaitu pada knalpot mesin
5. Setelah beberapa menit, baca dan catat hasil pengukuran yang didapatkan (lakukan tiga kali pembacaan untuk data yang sama)
6. Ulangi langkah-langkah pengujian diatas untuk variasi campuran biodiesel -solar yang berbeda

3.2 Alat Ukur

- Tachometer
Tachometer adalah alat ukur kecepatan putaran yang memiliki sensor berupa sinar inframerah. Tachometer yang digunakan adalah tachometer digital



Gambar 3.3 Tachometer

- Timbangan digital
Timbangan digital untuk menentukan kuantitas katalis. Neraca digital (*electronic balance*) yang digunakan pada pengujian adalah neraca digital yang mampu mengukur dengan akurasi mencapai 1/100 gr.



Gambar 3.4 Timbangan Digital

- Neraca Gaya
Adalah suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur berat massa.



Gambar 3.5 Neraca Gaya

- Thermometer
Thermometer yang digunakan untuk mengukur temperatur isap, kompresi, gas buang serta temperatur bahan bakar pada berbagai putaran yang dikombinasikan.



Gambar 3.6 Thermometer

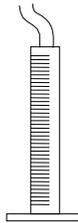
- Stopwatch
Digunakan untuk mencatat waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan volume bahan bakar yang ditentukan (lama konsumsi bahan bakar)



Gambar 3.7 Stopwatch

- Gelas Ukur
Untuk mengukur laju pemakaian bahan bakar yang digunakan saat pengujian adalah gelas

ukur, dengan mengitung berapa volume pemakaian bahan bakar persatuan waktu.



Gambar 3.8 Gelas Ukur

- Quintox Flue Gas Analyzer**
 Quintox Flue Gas Analyzer adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi gas buang yang dihasilkan oleh mesin. Alat ini menggunakan oksigen, saringan sulfur, dan saringan partikel untuk mendeteksi kandungan gas buang mesin. Alat ini dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi CO, CO₂, NO_x (NO dan NO₂), SO₂, O₂, dan HC. Gas analyzer dilengkapi dengan probe yang memiliki ujung yang runcing (depth stone cone) yang dapat dipakai dalam lubang-lubang yang berdiameter 8mm sampai 21mm. Hasil pengukuran yang didapatkan akan ditampilkan pada handset (remote monitor).



Gambar 3.9 Skema Quintox Flue Gas Analyzer

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

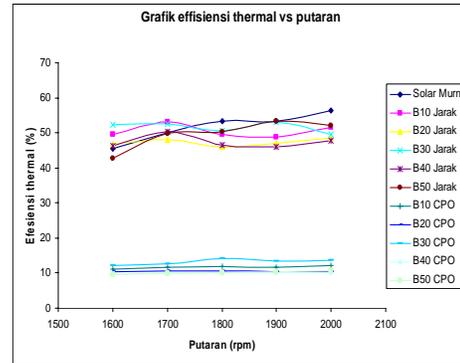
4.1.1 Analisa Perbandingan Prestasi

Dengan memvariasikan campuran biodiesel B10, B20, B30, B40, B50 dan solar 100% sebagai pembandingan standar, putaran digunakan naik konstan 100 rpm yang dimulai 1600 rpm sampai 2000 rpm, didapatkan beberapa hasil percobaan yang dituangkan ke dalam bentuk grafik perbandingan efisien thermal, daya poros dan konsumsi bahan bakar terhadap putaran mesin.

1. Grafik efisiensi termal η_t vs Putaran

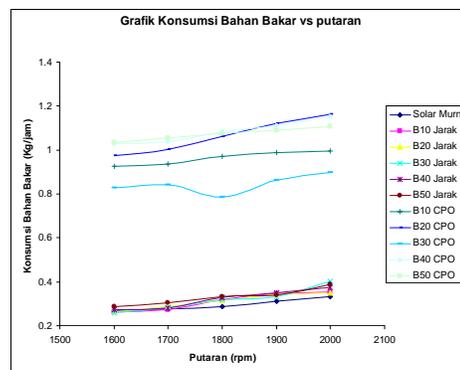
Pada pengujian bahan bakar solar 100 %, dapat dilihat bahwa efisiensi termal akan cenderung meningkat sebanding tingginya putaran. Semakin tinggi putaran maka semakin banyak langkah kerja yang dibutuhkan pada waktu yang sama. Pada

pengujian biodiesel minyak jarak, terlihat bahwa harga efisiensi thermal yang diperoleh berada di bawah solar murni. Untuk B10, B20, B30, B40 pada putaran 1600 dan 1700 rpm efisiensi thermalnya berada diatas solar 100%, Sedangkan untuk putaran 1800, 1900 dan 2000 rpm, harga efisiensi thermalnya berada dibawah solar 100%.



Pada gambar terlihat bahwa harga yang ditunjukkan tidak naik atau turun secara linear meskipun putaran yang diberikan sama. Sedangkan pada pengujian biodiesel CPO, untuk putaran 1800 rpm diperoleh efisiensi termal untuk campuran biodiesel solar rata-rata 10,37 %, dimana efisiensi minimum didapat pada campuran B40 dan B50 yaitu 10,1%, dan harga maksimum diperoleh 14,1% pada campuran B30. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa campuran bahan bakar solar dengan biodiesel yang mempunyai efisiensi yang paling baik adalah B30 minyak jarak, karena mempunyai efisiensi termal tertinggi pada putaran 1800 rpm, yaitu 50.47%.

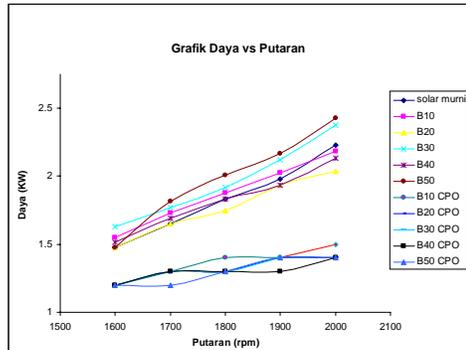
2. Grafik Konsumsi Bahan Bakar vs Putaran



Secara umum, baik pada biodiesel minyak jarak maupun CPO, konsumsi bahan bakar akan semakin meningkat dengan semakin besarnya putaran. Dari grafik dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh campuran solar dengan biodiesel minyak jarak jauh lebih sedikit dibanding campuran biodiesel CPO. Peningkatan konsumsi bahan bakar dipengaruhi oleh besarnya campuran karena semakin besar campuran maka viskositasnya juga meningkat, hal ini akan menyebabkan penguapan diruang bakar akan rendah. Untuk

kebutuhan produksi dan penghematan sangat dianjurkan memakai campuran biodiesel dibawah 30%, karena bahan bakar yang dibutuhkan lebih sedikit. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa campuran bahan bakar solar dengan biodiesel yang paling hemat bahan bakar adalah B20 minyak jarak, yang hanya membutuhkan 0.316 kg bahan bakar per jam pada putaran 1800 rpm. Sedangkan campuran biodiesel yang paling boros bahan bakar untuk putaran yang sama adalah B40 CPO yang membutuhkan 1,082 kg bahan bakar per jamnya.

3. Grafik Daya vs Putaran



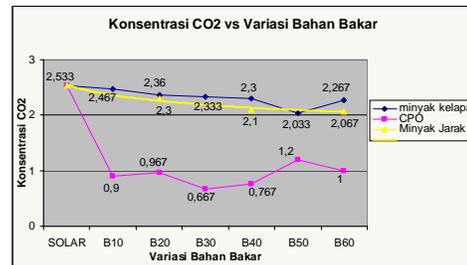
Dari grafik dapat dilihat bahwa daya poros yang dihasilkan oleh campuran biodiesel minyak jarak dengan solar lebih besar dibanding campuran biodiesel CPO. Hal ini terjadi karena pengaruh besarnya beban pengereman. Pada pengujian biodiesel minyak jarak, pengeremannya telah memakai sistem cakram sehingga hasil yang diperoleh lebih akurat, ini terbukti dari grafik daya yang diperoleh dari pengujian biodiesel minyak jarak. Dari grafik dapat terlihat bahwa daya semakin tinggi seiring dengan meningkatnya putaran. Hal tersebut telah sesuai dengan teori. Sedangkan pada grafik biodiesel CPO, daya yang diperoleh masih naik turun, sehingga didapatkan grafik yang berfluktuasi. Secara umum penyimpangan yang terjadi karena pembacaan alat ukur pengereman, jarum penunjuk alat ukur dipengaruhi oleh getar, serta kondisi mesin sendiri yang sudah tidak optimal lagi. Semakin besar campuran maka daya yang dihasilkan akan turun karena campuran akan meningkatkan viskositas bahan bakar, viskositas yang tinggi akan mempengaruhi penguapan bahan bakar diruang bakar. Penguapan yang rendah akan menurunkan keluaran daya maksimum dan menaikkan konsumsi bahan bakar. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa campuran solar dengan biodiesel yang mempunyai daya tertinggi untuk putaran 1800 rpm adalah B50 minyak jarak, yaitu sebesar 2,007 kW. Daya ini lebih tinggi dari solar murni yang hanya menghasilkan daya sebesar 1.833 kW. Bahkan B30 nya saja mampu menghasilkan sebesar 1.92 kW untuk putaran 1800 rpm. Sedangkan B20, B30, B40 dan B50 CPO berada pada titik terendah dengan hanya menghasilkan daya sebesar 1.3 kW. Jadi, untuk menghasilkan daya yang besar pada

putaran 1800 rpm, maka bahan bakar yang paling bagus adalah campuran solar dengan B50 minyak jarak.

4.2 Analisa Perbandingan Emisi

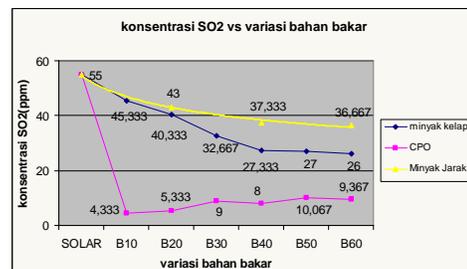
Dari hasil pengukuran yang didapatkan, dapat dibuat grafik yang memberikan hubungan antara jenis bahan bakar dengan konsentrasi dari gas buang yang dihasilkan oleh motor bakar Diesel yang terdiri dari NOx, SO₂, HC, CO, dan CO₂. Yang akan dibandingkan disini adalah gas buang yang dihasilkan oleh motor bakar Diesel dengan menggunakan campuran solar dengan biodiesel CPO, minyak kelapa dan minyak jarak. Semua pengujian dilakukan pada putaran 1800 rpm.

1. Grafik hasil pengukuran konsentrasi gas buang CO₂



Secara teoritis penggunaan biodiesel sebagai campuran bahan bakar mesin akan mengurangi timbulnya emisi CO₂, bahkan penggunaan 100% biodiesel dapat mengurangi hingga 100%. Dari grafik terlihat bahwa konsentrasi gas buang CO₂ dengan menggunakan campuran solar dengan biodiesel CPO lebih rendah dibandingkan dengan campuran biodiesel minyak kelapa. Konsentrasi CO₂ minimum didapat pada campuran B30 CPO yaitu 0,667%, sedangkan konsentrasi CO₂ maksimum terdapat pada campuran B10 minyak kelapa yaitu sebesar 2,467%. Ini artinya penggunaan bahan bakar dengan campuran solar dengan biodiesel CPO lebih ramah lingkungan daripada biodiesel minyak jarak dan minyak kelapa.

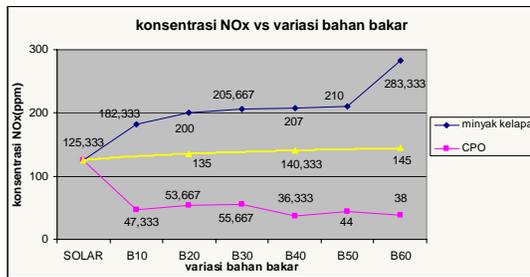
2. Grafik hasil pengukuran konsentrasi gas buang SO₂



Penggunaan biodiesel sebagai campuran bahan bakar mesin akan mengurangi timbulnya emisi SO₂. Karena biodiesel yang berasal dari minyak

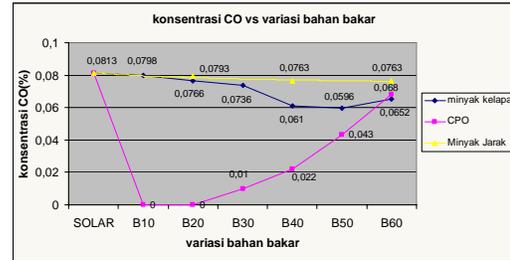
tumbuhan hampir bebas kandungan sulfur sehingga dengan penambahan biodiesel ke dalam bahan bakar akan dapat mengurangi kandungan sulfur dalam bahan bakar itu sendiri akibatnya nilai emisi SO₂ dari hasil pembakaran bahan bakar mesin akan berkurang juga. Pada grafik terlihat bahwa nilai konsentrasi gas buang maksimum untuk campuran solar dengan biodiesel adalah 45,333 ppm pada B10 minyak kelapa, sedangkan konsentrasi SO₂ minimum adalah 4,333 ppm. Jadi terdapat perbedaan konsentrasi gas buang SO₂ sebesar 41 ppm. Hal ini menunjukkan bahwa pemakaian biodiesel CPO masih lebih baik dan ramah lingkungan daripada biodiesel minyak kelapa. Secara umum, penggunaan campuran solar-biodiesel sebagai bahan bakar masih layak dan aman untuk digunakan karena nilai emisi SO₂ campuran solar-biodiesel tersebut masih berada dibawah standar emisi SO₂ maksimal yang dibolehkan yaitu 46 ppm.

3. Grafik hasil pengukuran konsentrasi gas buang NO_x



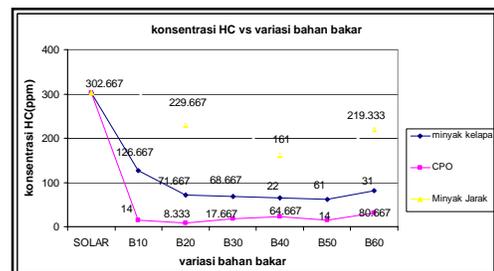
Jika kita bandingkan antara solar murni dengan campuran solar-biodiesel, terlihat dari grafik bahwa konsentrasi NO_x yang dihasilkan pada saat menggunakan campuran solar-biodiesel cenderung bertambah naik seiring dengan bertambahnya biodiesel tersebut. Secara teori, penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar tidak akan mengurangi emisi NO_x pada gas buang mesin tapi justru menaikkan konsentrasinya. Hal ini terjadi dikarenakan biodiesel terbuat dari minyak tumbuhan yang banyak mengandung unsur nitrat. Semakin banyak penambahan biodiesel yang digunakan dalam campuran bahan bakar mesin maka nilai emisi NO_x yang dihasilkan akan semakin tinggi. Dari grafik terlihat bahwa konsentrasi NO_x minimum untuk campuran biodiesel sebesar 36,333 ppm, yaitu pada B40 CPO, sedangkan konsentrasi NO_x maksimum sebesar 283,333 ppm pada campuran B60 minyak kelapa. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan biodiesel yang digunakan dalam campuran bahan bakar maka konsentrasi NO_x yang dihasilkan akan semakin tinggi.

4. Grafik hasil pengukuran konsentrasi gas buang CO



Grafik di atas menunjukkan pengaruh variasi bahan bakar terhadap konsentrasi CO dalam gas buang mesin sebagai hasil proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Menurut teori CO solar murni lebih besar dari CO biodiesel. Konsentrasi CO berasal dari pembakaran yang tidak sempurna bahan bakar pada ruang bakar. Penggunaan biodiesel yang berbeda juga mempengaruhi konsentrasi CO pada buangan mesin. CO mengalami penurunan pada rasio ekuivalen udara-bahan bakar selama suplai oksigen tersedia. Namun pada grafik biodiesel CPO, konsentrasi CO mengalami kenaikan seiring dengan penambahan campuran biodiesel. Hasil ini sangat berbeda dengan referensi yang ada bahwa penggunaan biodiesel akan menurunkan emisi CO. Hal ini terjadi kemungkinan disebabkan oleh jumlah oksigen yang tersedia dalam ruang bakar sedikit jumlahnya, lebih sedikit dari jumlah bahan bakar yang akan dibakar. Kekurangan oksigen ini mungkin timbul karena adanya kebocoran pada mesin akibat usia mesin yang sudah tua dan jarang di maintenance. Penggunaan komposisi biodiesel yang berbeda juga mempengaruhi konsentrasi CO pada buangan mesin. Sedangkan pada grafik biodiesel minyak kelapa, penggunaan B10 sampai B50 terlihat mengalami penurunan, sedangkan pada B60 terjadi kenaikan konsentrasi CO dimana diakibatkan oleh kondisi mesin sehingga untuk mencapai putaran konstan tidak mampu lagi. Pada penggunaan B10 dan B20 CPO tidak menghasilkan gas buang CO sama sekali, sedangkan campuran biodiesel yang menghasilkan konsentrasi CO tertinggi terdapat pada B10 minyak kelapa.

5. Grafik hasil pengukuran konsentrasi gas buang HC



Secara teori konsentrasi HC solar lebih besar dari konsentrasi HC biodiesel yang dipengaruhi oleh rasio ekuivalen udara-bahan bakar. Pada beban tinggi, HC meningkat karena konsumsi bahan bakar banyak. Batas maksimum konsentrasi HC yang diizinkan sebesar 240 ppm. Dari gambar terlihat bahwa konsentrasi HC menurun seiring dengan penambahan campuran biodiesel minyak kelapa, namun grafik untuk biodiesel CPO mengalami fluktuasi, hal ini disebabkan oleh pengaruh adanya deposit pada dinding silinder yang terbentuk akibat ikut terbakarnya oli pelumas saat proses pembakaran. Mengingat usia mesin pengujian yaitu mesin Diesel Chang Chai SX 175 yang cukup tua (oli mesin dan saringan bahan bakar sudah kotor), maka dapat dikatakan deposit yang terbentuk di dinding silinder sudah sangat tebal. Ditambah lagi kemampuan biodiesel untuk melarutkan kotoran sangat tinggi (saringan bahan bakar akan cepat kotor dan kotoran ikut masuk ke dalam ruang bakar), maka dipastikan ketebalan deposit dinding silinder akan bertambah dengan bertambahnya komposisi biodiesel yang digunakan dalam campuran bahan bakar. Namun secara keseluruhan, konsentrasi HC pada penggunaan biodiesel CPO tetap lebih sedikit dibandingkan dengan penggunaan biodiesel minyak kelapa dan minyak jarak. Konsentrasi HC minimum terdapat pada penggunaan campuran B20 CPO, yaitu 8,333 ppm. Sedangkan konsentrasi HC maksimum terdapat pada campuran B10 minyak jarak.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Ditinjau dari prestasi mesin, campuran solar biodiesel yang paling baik adalah biodiesel minyak jarak, terutama dengan menggunakan campuran biodiesel di bawah 30%, karena menghasilkan daya dan efisiensi thermal yang tinggi dan hemat bahan bakar.
- Ditinjau dari emisi gas buang, campuran solar biodiesel yang paling baik digunakan dan ramah lingkungan adalah biodiesel CPO.
- Dilihat dari prestasi dan emisi gas buangnya, maka biodiesel yang paling baik digunakan sebagai bahan bakar alternatif pengganti solar adalah biodiesel minyak jarak, terutama yang di bawah B30.

5.2 Saran

- Pada percobaan selanjutnya, untuk mendapatkan hasil yang lebih baik perlu dilakukan pembersihan ruang bakar. Hal ini bertujuan agar karbon pembakaran tidak banyak menempel di sekitar ruang bakar.
- Sebelum melakukan percobaan pastikan saluran bahan bakar bersih dan lancar seperti gelas ukur, pipa dan nosel bahan

bakar. Hal ini karena konsumsi bahan bakar sangat mempengaruhi prestasi mesin.

- Untuk pembacaan alat ukur yang lebih baik, usahakan getaran yang disebabkan oleh mesin sekecil mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Adly Havendri, *Kaji Eksperimental Performansi Motor Bakar Diesel Menggunakan Bahan Bakar Campuran Biodiesel CPO Sawit dan Solar*, Jurnal Teknik No. 28 Vol. 1 Thn. XIV, hal 7- 12, November 2007
2. Adly Havendri, *Kaji Eksperimental Emisi Gas Buang Motor Bakar Diesel Menggunakan Bahan Bakar Campuran Biodiesel CPO Sawit dan Solar*, Jurnal Teknik No. 28 Vol. 1 Thn. XIV, hal 1 - 6, November 2007
2. Trommelmans, J. 1993. *Mesin Diesel, Prinsip-Prinsip Mesin Diesel Untuk Otomotif*. PT. Rosda Jayaputra: Jakarta.
3. De Bruijn, L.A dan L. Muilwijk. 1985. *Motor Bakar*. PT. Bhratara Karya Aksara: Jakarta.
4. Keison. 1996. *KM9106 Operators Manual. Kane International Limited: United Kingdom*.
5. Fajar, Rizqon dan Taufik Suryantoro. *Efek Komposisi Biodiesel Terhadap Parameter Kualitas Bahan Bakar dan Unjuk Kerja Mesin*. Balai Termodinamika, Motor Dan Propulsi BPP Teknologi: Jakarta.
6. Fajar, Rizqon. *Prediksi Sifat Fisika Kimia Campuran Bahan Bakar Diesel dengan Model Sederhana*. Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi BPP Teknologi: Jakarta.
7. H. Soeradjaja, Tatang. 2005. *Dua Hal Utama dalam Pemanfaatan Bahan Bakar Alternatif dari Minyak Tumbuhan*. LIPI: Jakarta.

UCAPAN TERIMAKASIH :

Disampaikan kepada saudara Willimar Riyadi, asisten Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin FTUA yang telah membantu melakukan penelitian ini.