

**PENGARUH PENCAMPURAN MINYAK SAWIT
DAN MINYAK SOLAR SEBAGAI
PENGANTI MINYAK SOLAR TERHADAP KINERJA MESIN**

*(The Effect Of Mixing Palm Oil And Diesel Oil As Diesel Substitutes
Against Engine Performances)*

Chairil Anwar

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan

Telepon: +62-21-7394422, Fax.: +62-21-7246150

email: chairila@lemigas.esdm.go.id

Teregistrasi tanggal 16 Maret 2015; Diterima tanggal 20 April 2015; Disetujui terbit tanggal 29 Juni 2015.

ABSTRAK

Telah dilakukan evaluasi mutu pengaruh pencampuran minyak sawit dan minyak solar melalui uji lubrisitas dari berbagai campuran (05/95, 10/90, 15/85 dan 20/80) %v/v menggunakan metode ASTM D 6079 dan kinerja terbatas dari campuran sawit dengan minyak solar pada pencampuran (20/80) %v/v. Evaluasi lubrisitas dari berbagai campuran menunjukkan hasil yang lebih baik dari minyak solar 100%, pada campuran (20/80) %v/v lubrisitas meningkat sampai 20,52%. Pengamatan selang uji kinerja terbatas menunjukkan bahwa operasi mesin berjalan normal, tidak ada perbedaan yang cukup berarti dibandingkan dengan menggunakan minyak solar 100%. Penurunan torsi dan daya masing masing sebesar 4,25%, konsumsi bahan bakar spesifik naik sebesar 7,37%. Opasitas gas buang campuran (20/80) %v/v lebih baik 33,33% dibandingkan dengan kepekatan gas buang 100% minyak solar. Dari analisis dan evaluasi mutu pencampuran pada penelitian ini, dari unjuk kinerja minyak sawit potensial sebagai pensubstitusi minyak solar sampai 20% volume.

Kata Kunci: minyak solar, minyak sawit, lubrisitas, daya mesin, torsi mesin, konsumsi bahan bakar spesifik, opasitas.

ABSTRACT

Evaluation of engine performance on mixture of palm oil and diesel oil has been carried out through the test lubricity of various mixtures (05/95, 10/90, 15/85 and 20/80) % v/v using ASTM method D 6079 and limited performance of a mix of palm oil diesel blending (20/80) %v/v. Evaluation lubricity of various mixtures show better results than 100% diesel oil, the mixture (20/80) %v/v lubricity increased to 20.52%. Observations as long as limited performance test showed that the normal operation of the machine running, no significant differences compared to using 100% diesel fuel. Decrease in torque and power respectively at 4.25%, specific fuel consumption increased by 7,37%. Opacity of the exhaust gas mixture (20/80) % v / v better 33,33% compared with 100% concentration of the exhaust gas of diesel oil. Analysis and evaluation of the quality of mixing in this study, the performance shows

Keywords: diesel oil, palm oil, lubricity, engine power, engine torque, specific fuel consumption, opacity.

I. PENDAHULUAN

Para peneliti telah menyimpulkan bahwa minyak nabati cukup menjanjikan sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel (Leung et al. 2010), minyak nabati dapat digunakan untuk menggantikan minyak diesel di mesin internal combustion (CI) (Russo et al. 2013, Hossain and Davies 2010). Ekstraksi secara mekanik menggunakan screw press adalah proses produksi yang paling umum mengeluarkan minyak dari biji (Atabani et al. 2013). Kelayakan sebagai bahan bakar diesel alternatif harus secara teknis dapat diterima, ekonomis dan ramah lingkungan. Minyak nabati disukai sebagai bahan bakar terbarukan karena tidak menambahkan gas karbon dioksida ekstra ke atmosfer, sebaliknya bahan bakar fosil, penyebab penambahan karbon dioksida di atmosfer (Mulimani et al. 2012, Dhakad et al. 2013). Minyak ini meskipun dari jenis yang sama, namun dari daerah tumbuh yang berbeda akan menghasilkan minyak dengan sifat yang berbeda. Treese et al. (2010), Zhang et al. (2011) meneliti tumbuhan jarak pagar, lingkungan geografis memiliki faktor ekologi yang berbeda mengarah ke diferensiasi genetik antara tanaman dari berbagai daerah berbeda. Emil et al. (2010) membandingkan minyak biji jarak dari Malaysia, Indonesia dan Thailand yang dibuat dengan cara yang sama menggunakan fasilitas yang sama, dan menemukan bahwa karakteristik fisika-kimia minyak yang dihasilkan sangat berbeda. Minyak nabati telah langsung digunakan dalam mesin internal combustion (CI) karena memiliki angka setana tinggi dan nilai kalori yang sangat dekat dengan bahan bakar diesel. Secara umum, nilai kalor (atau panas pembakaran) dari minyak nabati adalah kurang dari diesel fosil karena adanya ikatan C-O dan C-C (Romulo et al. 2011). Nilai kalor minyak nabati lebih rendah dari solar karena kandungan oksigen yang memiliki nilai kalor yang lebih kecil dan menempati sekitar 10% dari total volume. Nilai kalor minyak nabati sekitar 38,2 kJ sampai 39,3 kJ/kg dan untuk diesel 47 kJ/kg. Untuk menguji performa mesin, variabel seperti beban mesin, kecepatan, bahan baku, dan jenis injeksi (langsung atau tidak langsung), akan mempengaruhi hasil (Hazar and Aydin 2010).

Minyak nabati dan turunannya sebagai bahan bakar mesin diesel secara substansial menyebabkan pengurangan kandungan sulfur, karbon monoksida, hidrokarbon aromatik polisiklik, asap dan emisi partikulat. Sejumlah minyak nabati seperti minyak karanja (karanja oil) minyak rapeseed (rapeseed oil), minyak dedak beras (rice bran oil), minyak biji kapas

(cottonseed oil), minyak bunga matahari (sunflower oil) dan minyak jarak pagar (jatropha oil) telah diteliti sebagai bahan bakar dalam mesin diesel (Antony et al. 2012). Hasil penelitian menunjukkan bahwa selang jangka waktu singkat, tampil memuaskan di mesin diesel tanpa dimodifikasi. Namun, penggunaan minyak nabati murni untuk mesin diesel bermasalah karena viskositas tinggi dan volatilitas yang rendah yang dapat menyebabkan deposit yang parah pada mesin, injector clogging dan pelekatan cincin piston (piston ring sticking) (Balusamy et al. 2010, Leung et al. 2010). Kinerja yang lebih rendah karena atomisasi miskin dikaitkan dengan densitas tinggi dan viskositas kinematik campuran (Sharma 2013). Viskositas tinggi minyak nabati dikarenakan memiliki berat molekul besar dan struktur molekul besar (Anastopoulos et al. 2009). Viskositas bahan bakar cair mempengaruhi sifat alir dingin serta semprotan atomisasi, penguapan, dan pembentukan campuran udara/bahan bakar. Mengganti bahan bakar diesel dengan trigliserida berhubungan erat dengan viskositas tinggi, volatilitas rendah dan karakter ikatan tak jenuh ganda. Sehubungan dengan ini kurang cocok sebagai bahan bakar untuk mesin diesel, karena itu sifat minyak nabati murni harus diubah. Sifat pembakarannya harus diarahkan lebih dekat dengan diesel mineral. Perlakuan pemanasan (pirolisis), pengenceran atau pencampuran, mikro-emulsifikasi dan transesterifikasi adalah teknik terkenal yang handal untuk mengatasi masalah untuk menggunakan minyak nabati dalam mesin diesel dan untuk membuat mereka kompatibel dengan bahan bakar diesel berbasis hidrokarbon (Bello 2015). Minyak sawit sebagai minyak nabati (bio-oil) merupakan sumber daya alam terbarukan, sehingga mendukung pelestarian lingkungan. Pemakaian minyak sawit akan memberikan beberapa keunggulan, antara lain: terbarukan, memiliki efek pelumasan yang baik dan ramah lingkungan. Berdasarkan keunggulan ini, telah dilakukan pengujian sifat fisika kimia dalam beberapa perbandingan dengan pencampuran (5, 10, 15, 20)% volume/volume minyak sawit ke dalam minyak solar, parameter uji mengacu pada spesifikasi bahan bakar minyak jenis minyak solar 48 (DJ Migas 2013). Sifat fisika-kimia pencampuran tersebut sampai maksimal penambahan 20% volume masih berada dalam kisaran spesifikasi bahan bakar minyak jenis minyak solar 48 (Anwar 2015).

Tujuan penelitian ini melakukan evaluasi pengaruh pencampuran terhadap kinerja terbatas mesin menggunakan campuran Sw dengan minyak solar dalam komposisi Sw (20/80) %v/v, untuk mengamati perbedaan kinerja antara pemakaian

campuran minyak sawit dengan minyak solar dengan perbandingan 20:80 dibandingkan dengan minyak solar 100 %. Lingkup penelitian mencakup evaluasi semi unjuk kerja (lubrisitas) dan kinerja terbatas: daya, torsi, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Pengujian semi kinerja dilakukan sebagai filter tahapan lanjut ke pengujian kinerja terbatas. Jika pemakaian campuran ini pada pengujian kinerja terbatas memberikan kinerja yang tidak jauh berbeda dengan pemakaian minyak solar, maka akan berpotensi mengurangi konsumsi minyak solar fosil sebesar 20%, hal ini merupakan suatu pengurangan jumlah pemakaian minyak solar yang sangat berarti. Sebagai salah satu antisipasi untuk mengatasi masalah penipisan cadangan minyak bumi, ketahanan energi di Indonesia dan isu pemanasan global, diperlukan bahan bakar alternatif terbarukan, diantaranya minyak sawit yang merupakan bahan terbarukan. Penelitian ini sejalan dan mendukung kebijakan pemerintah untuk menggunakan minyak nabati murni sesuai Peraturan Menteri ESDM Republik Indonesia No.12 Tahun 2015.

II. BAHAN DAN METODE

Bahan

- Dalam kegiatan ini digunakan dua jenis bahan utama yaitu minyak solar (bahan tidak terbarukan) dan Sw (bahan terbarukan) yang diperoleh dari pasaran. Bahan lainnya adalah berupa bahan kimia yang digunakan untuk setiap metode uji.
- Campuran Sw dalam minyak solar dengan konsentrasi Sw dari 5-20% volume dan solar murni sebagai pembanding.
- Kode yang digunakan,
MS: minyak solar; Sw: minyak sawit; Sw(a/b)%v/v: Campuran a %v minyak sawit dengan b %v minyak solar.

Metode Uji

- Pengujian semi unjuk kerja (Pengujian lubrisitas)
Pengujian ini mulai dipersyaratkan pada spesifikasi bahan bakar minyak jenis minyak solar 48 pada Surat Keputusan DJ Migas (2013). Pengujian lubrisitas menggunakan metode uji ASTM D 6079, High Frequency Reciprocating Rig (HFRR). Lubrisitas merupakan suatu sifat yang sangat penting untuk bahan bakar diesel. Lubrisitas merepresentasikan kekuatan lapisan film yang menunjukkan kemampuan suatu campuran untuk melumasi bagian yang

Tabel 1.
Metode Analisis Pengujian Lubrisitas

No	Parameter	Satuan	Metode
1	Lubrisitas	μm	ASTM D 6079

bergesekan. Dalam hal ini, pada pompa injeksi bahan bakar motor diesel tidak terdapat sistem pelumasan, sehingga yang berfungsi sebagai pelumas adalah bahan bakar yang dipompakan. Fungsi pelumasan ini dapat berfungsi dengan baik bila bahan yang dipompakan mempunyai sifat lubrisitas yang baik.

Pengujian lubrisitas dilakukan terhadap percontoh 100% vol MS, 100% Sw dan percontoh campurannya Sw(5/95 s/d 20/80) %v/v.

Pengujian kinerja terbatas

Untuk pengujian kinerja terbatas hanya akan dilakukan untuk percontoh 100% vol MS dan percontoh campurannya Sw(20/80) %v/v. Campuran tersebut merupakan konsentrasi tertinggi dari campuran sesuai pengujian sebelumnya (Anwar 2015).

Pengujian kinerja terbatas Sw(20/80) %v/v dilakukan pada motor diesel putaran tinggi untuk otomotif, empat langkah, bersilinder empat, volume langkah 2.238 cc dengan perbandingan kompresi 21:1. Motor diesel ini mempunyai ruang bakar pusran, injeksi tidak langsung (indirect injection, IDI) dengan pemasukan udara secara alamiah (naturally aspirated). Pada pelaksanaan pengujian tidak dilakukan penyetelan khusus, sehingga kondisi operasi motor diesel pada saat pengujian sama seperti motor diesel yang beroperasi sehari-hari (Lemigas In-house Test Method). Pada pengujian ini digunakan tiga kategori beban, yaitu beban $\frac{1}{2}$ maksimum, beban $\frac{3}{4}$ maksimum dan beban maksimum. Pada ketiga kategori beban tersebut dilakukan pengamatan terhadap daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik dan kepekatan gas buang. Pengujian ini merupakan pengujian kinerja terbatas karena hanya mengamati parameter seperti tersebut di atas, dalam hal ini tidak dilakukan uji ketahanan mesin yang akan mengevaluasi kondisi-kondisi mesin selama uji ketahanan dan bagian-bagian mesin yang berhubungan dengan bahan bakar dan hasil pembakarannya.

Tabel 2.
Metode Pengujian Kinerja Terbatas

No.	Parameter	Satuan	Metode
1	Torsi	Nm	Lemigas in house test method
2	Daya	kW	Lemigas in house test method
3	Konsumsi bahan bakar	g/kWh	Lemigas in house test method
4	Emisi gas buang	Opasitas	Lemigas in house test method

III. HASIL DAN DISKUSI

Bahan apa pun yang dapat dibakar dan menghasilkan energi panas disebut bahan bakar. Pembakaran merupakan reaksi kimia di mana bahan bakar dioksidasi dan sejumlah besar energi dilepaskan. Proses pembakaran berlangsung secara terkendali. Pengoksidasi yang paling sering digunakan dalam proses pembakaran adalah udara karena ketersediaannya yang berlimpah di alam. Bahan bakar harus dikondisikan diatas suhu pengapian untuk memulai pembakaran dengan rasio bahan bakar dan udara harus berada dalam kisaran yang tepat agar pembakaran dapat diinisiasi. Seperti telah diketahui pada proses motor bakar, hasil pembakaran bahan bakar dengan oksigen merupakan medium termodinamika yang akan memberikan gaya pada piston motor yang bergerak. Gaya ini diteruskan ke batang penghubung dan selanjutnya dengan lengan poros engkol gaya pada batang penghubung diubah menjadi torsi yang akan memutar poros engkol sehingga motor berjalan.

Pengujian Semi Unjuk Kerja (Pengujian Lubrisitas)

Pengujian lubrisitas sangat relevan pada aplikasinya di mesin diesel, karena bahan bakar sekaligus berfungsi untuk melumasi bagian-bagian yang bergerak dan metal yang bergesekan pada pompa injeksi bahan bakar. Hasil pengukuran lubrisitas MS

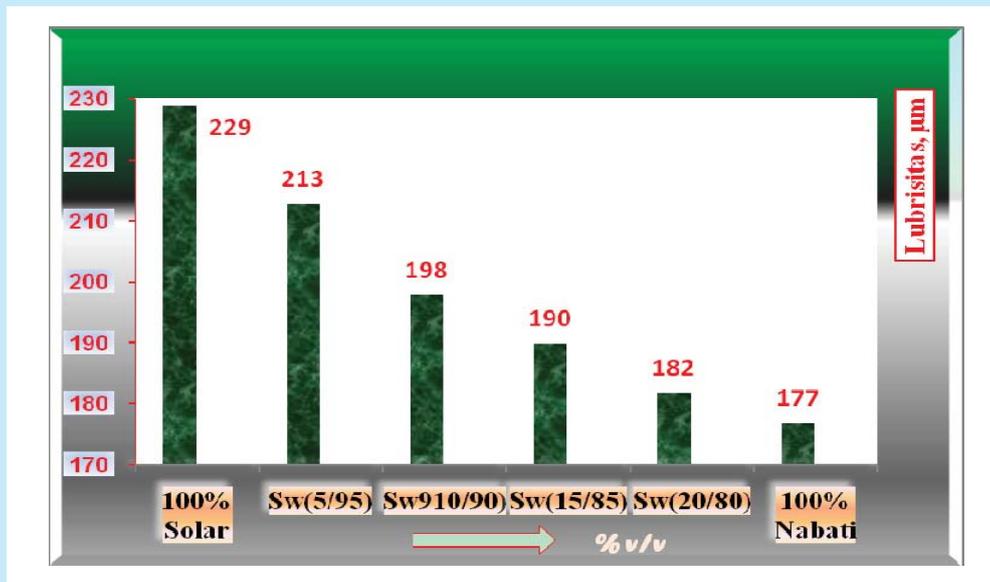
100% vol, dan campurannya Sw(5/95, 10/20, 15/85 dan 20/80) %v/v disajikan dalam Tabel 3.

Fungsi Pelumasan diperlukan karena pompa bahan bakar diesel tidak mempunyai sistem pelumasan eksternal. Lubrisitas pompa yang tidak memadai akan menyebabkan keausan yang berlebihan pada pompa, bahkan pada beberapa kasus menyebabkan kegagalan katastropik (catastrophic failure) pompa bahan bakar (Semar 2010). Dari Tabel 3 terlihat MS 100% mempunyai scar diameter 229 μm dan Sw100% mempunyai scar diameter 177 μm , ini menunjukkan Sw mempunyai lubrisitas yang lebih baik dari pada MS sebesar 52 μm (22.71%). Scar diameter yang lebih rendah mengindikasikan lubrisitas yang lebih baik. Spesifikasi bahan bakar minyak solar 48 DJ Migas (2013) membatasi nilai maksimum lubrisitas sebesar 460 μm , dibandingkan dengan nilai sebesar 182 μm dari Sw(20/80) %v/v, lubrisitasnya 39,57% dari batasan maksimum yang diperbolehkan. Pada Gambar 1 ditampilkan perubahan lubrisitas terhadap variasi volume pencampuran minyak sawit, dapat ditunjukkan lubrisitas minyak solar 100% meningkat dengan penambahan volume pencampuran (Sw).

Gambar 1 juga merepresentasikan kecenderungan penurunan lubrisitas MS 100% pada pencampurannya Sw(5/95, 10/20, 15/85 dan 20/80) %v/v dari 229 μm sampai 182 μm . Hal sebaliknya terjadi terhadap Lubrisitas Sw 100%, kecenderungan naik dari 177

Tabel 3.
Hasil Pengukuran Lubrisitas Minyak Solar, Minyak Sawit dan Campurannya

Bahan Bakar	MS (μm)	Sw (μm)	Perbedaan (μm)	(%)
MS 100% vs Sw100%	229	177	52	22.71
MS 100% vs Sw(5/95)%v/v	229	213	16	6.99
MS 100% vs Sw(10/90)%v/v	229	198	31	13.54
MS 100% vs Sw(15/85)%v/v	229	190	39	17.03
MS 100% vs Sw(20/80)%v/v	229	182	47	20.52



Gambar 1. Perubahan Lubrisitas Fungsi Sw

µm sampai 223 µm. Lubrisitas campuran Sw dengan MS juga lebih baik dari pada lubrisitas MS dan semakin tinggi konsentrasi Sw dalam MS makin tinggi perbedaan lubrisitasnya. Hal ini dapat ditunjukkan pada Sw(20/80) %v/v dengan perbedaan lubrisitas 20,52%. Lubrisitas Sw(20/80) %v/v merupakan lubrisitas terendah dari campuran dengan volume pencampuran Sw ke dalam MS adalah tertinggi. Dari penelitian sebelumnya (Anwar 2015) sifat fisika kimia campuran Sw(20/80) %v/v paling mendekati Sw 100% dibandingkan campuran lainnya, dan masih berada dalam batasan spesifikasi bahan bakar minyak jenis solar 48. Dengan demikian pada pengujian lanjut kinerja terbatas campuran ini digunakan sebagai bahan uji.

Uji Kinerja Terbatas pada Motor Diesel

Untuk mengetahui kekuatan suatu motor, maka torsi diubah menjadi kerja persatuan waktu, yang disebut sebagai daya motor. Secara keseluruhan proses ini dapat disebut proses konversi energi panas yang terkandung dalam bahan bakar menjadi energi mekanis pada poros engkol motor. Beberapa sifat fisika dan kimia bahan bakar diesel yang berpengaruh terhadap kinerja motor diesel antara lain adalah: viskositas, angka setana atau indeks setana kalkulasi, distilasi dan nilai kalornya. Viskositas dianggap paling penting dari sifat ini karena efek langsung dan efek yang timbul ketika nilai-nilai parameter ini tidak cocok dapat terlihat. Nilai kalor menunjukkan energi yang tersedia dalam bahan bakar tersebut. Oleh karena itu merupakan parameter penting untuk

membandingkan konsumsi Sw dengan diesel fosil. Parameter lain yang penting adalah angka setana, yang menunjukkan kualitas pengapian bahan bakar diesel. Angka setana tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar akan terbakar lebih cepat dibandingkan dengan nilai yang lebih rendah.

Parameter-parameter kinerja yang dipengaruhi seperti: torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang yang merupakan akibat dari konversi energi panas yang terdapat dalam bahan bakar menjadi energi mekanis yang keluar pada poros motor diesel. Untuk mengamati seberapa besar perbedaan kinerja antara pemakaian campuran Sw(20/80) %v/v dibandingkan dengan MS. Kinerja motor diukur pada beberapa putaran tetap dan pada tiga kategori beban yang telah ditentukan, yaitu beban maksimum, $\frac{3}{4}$ beban maksimum dan $\frac{1}{2}$ beban maksimum. Hal ini didasarkan pada kenyataan pengoperasian kendaraan di jalan raya, mode pengoperasian tidak terpaku pada satu kategori beban dan kecepatan, tetapi berubah-ubah dari beban dan kecepatan rendah sampai maksimum sesuai dengan kondisi jalan dan kepadatan lalu lintas.

- Torsi Motor

Torsi adalah indikator yang baik dari kinerja mesin dan merupakan fungsi dari kecepatan mesin (Pulkrabek 2004). Torsi mesin diukur pada beberapa putaran tetap (1000 sampai 4200 rpm) dan pada tiga kategori beban yang telah ditentukan, yaitu beban maksimum, $\frac{3}{4}$ beban maksimum dan $\frac{1}{2}$ beban maksimum. Pada dinamometer terbaca berapa besar energi mekanis atau torsi yang dihasilkan

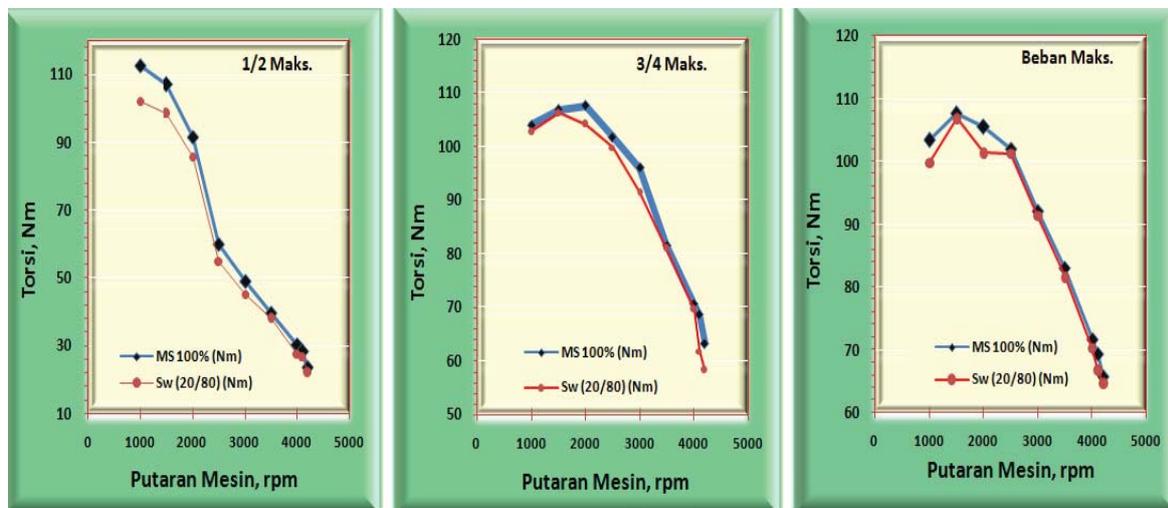
Tabel 4
Hasil Pengukuran Torsi Mesin MS 100 %v dan Sw (20/80 %v/v).

Putaran Mesin (rpm)	Torsi (Nm)								
	Beban ½ Maksimum			Beban ¾ Maksimum			Beban Maksimum		
	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)
1000	112,45	101,91	9,37	103,99	102,65	1,29	103,32	99,8	3,41
1500	106,83	98,36	7,93	106,82	106,12	0,66	107,53	106,83	0,65
2000	91,37	85,75	6,15	107,53	104,04	3,25	105,42	101,37	3,84
2500	59,74	54,81	8,25	101,72	99,8	1,89	101,91	101,21	0,69
3000	48,89	45,1	7,75	95,87	91,35	4,71	92,07	91,37	0,76
3500	39,45	37,95	3,80	81,53	80,83	0,86	82,93	81,53	1,69
4000	30,22	27,65	8,50	70,59	69,57	1,44	71,69	70,28	1,97
4100	28,11	26,71	4,98	68,57	61,84	9,81	69,36	66,77	3,73
4200	23,76	21,96	7,58	63,25	58,16	8,05	65,73	64,66	1,63
	Perbedaan rata-rata		7,15	Perbedaan rata-rata		3,55	Perbedaan rata-rata		2,04
	Perbedaan rata-rata total (%) :						4,25		

oleh pembakaran bahan bakar di dalam silinder mesin diesel. Hasil-hasil uji torsi motor MS 100% vol dengan Sw(20/80) %v/v disajikan dalam Tabel 4. Dari tabel tersebut terlihat torsi yang dihasilkan Sw(20/80) %v/v lebih rendah dari pada torsi yang dihasilkan dengan menggunakan MS 100% vol untuk semua kategori beban, rata-rata 4,25%. Pada Gambar 2 ditampilkan pengukuran torsi terhadap putaran mesin pada beban maksimum, ¾ beban maksimum dan ½ beban maksimum. Variasi putaran mesin dari putaran rendah 1000 rpm sampai dengan 4200 rpm. Dari Gambar 2, dapat ditunjukkan

bahwa pada putaran rendah 1000 rpm untuk beban ½ maksimum, selisih torsi antara MS dan Sw lebih besar, baik dibandingkan dengan beban ¾ maksimum maupun pada beban maksimum. Torsi menurun dengan cepat pada putaran mesin semakin tinggi untuk ketiga jenis beban.

Torsi maksimum MS dan Sw pada beban ½ maksimum pada putaran 1000 rpm berturut-turut dengan besaran torsi 112,45 Nm dan 101,91 Nm dengan selisih torsi 9,7%. Rata-rata pada beban ½ maksimum selisih torsi MS dan Sw 7,15%. Pada beban ¾ beban maksimum pada putaran mesin 1500



Gambar 2
Torsi Versus Putaran Mesin Pada Beban (½, ¾) dan Beban Maksimum.

Tabel 5
Hasil Pengukuran Daya Mesin MS 100% dan Sw(20/80) %v/v.

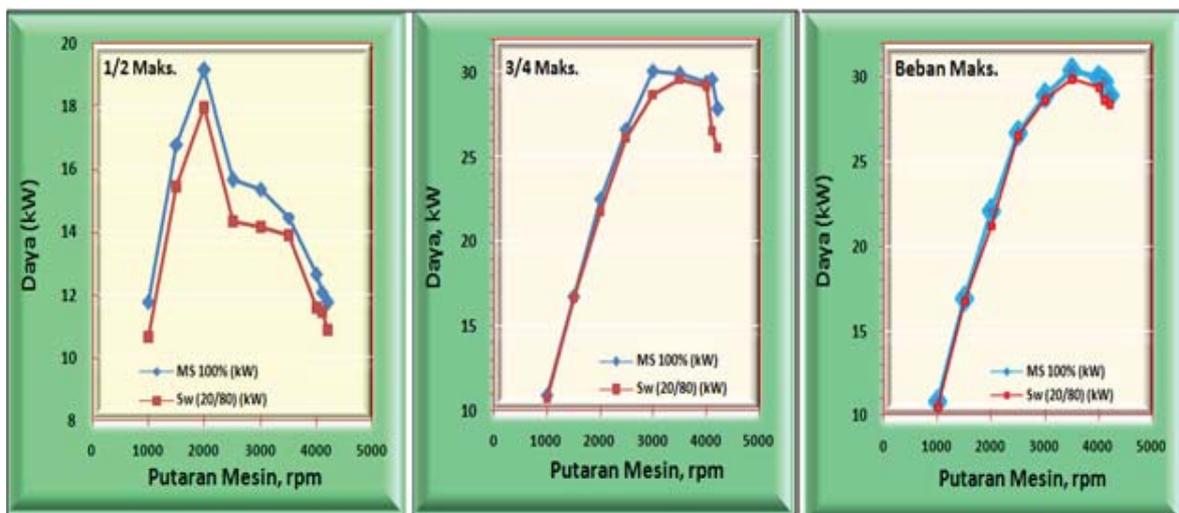
Putaran Mesin (rpm)	Daya (kW)								
	Beban 1/2 Maksimum			Beban ¾ Maksimum			Beban Maksimum		
	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)
1000	11,78	10,67	9,42	10,89	10,75	1,29	10,82	10,45	3,42
1500	16,78	15,45	7,93	16,78	16,67	0,66	16,89	16,78	0,65
2000	19,14	17,96	6,17	22,52	21,79	3,24	22,08	21,23	3,85
2500	15,64	14,35	8,25	26,63	26,13	1,88	26,68	26,5	0,67
3000	15,36	14,17	7,75	30,12	28,7	4,71	28,92	28,7	0,76
3500	14,46	13,91	3,80	29,88	29,62	0,87	30,4	29,88	1,71
4000	12,66	11,58	8,53	29,44	29,14	1,02	30,03	29,44	1,96
4100	12,07	11,47	4,97	29,57	26,55	10,21	29,78	28,67	3,73
4200	11,75	10,86	7,57	27,82	25,58	8,05	28,91	28,44	1,63
	Perbedaan rata-rata		7.15	Perbedaan rata-rata		3.55	Perbedaan rata-rata		2.04
	Perbedaan rata-rata total (%) :						4,25		

rpm besar torsi maksimum MS dan Sw besaran torsiya hampir sama 106,82 Nm dan 106,12 Nm.

Torsi maksimum untuk beban ¾ maksimum dan beban maksimum pada putaran 1500 rpm relatif sama. Pada beban ¾ beban maksimum selisih torsi MS dan Sw 3,55%. Penurunan torsi ini terutama disebabkan oleh nilai kalor campuran Sw(20/80) %v/v lebih rendah dari pada 100% vol MS dan sifat-sifat fisika dan kimia yang berbeda seperti viskositas. Hasil penelitian yang sama terkait pencampuran minyak nabati dengan minyak solar (diesel) dengan output torsi campuran lebih rendah dari torsi mesin 100% vol MS didapatkan juga oleh Bello et al. (2011).

- Daya Motor

Hasil-hasil uji daya motor dengan menggunakan campuran Sw(20/80) %v/v dan menggunakan MS 100% vol disarikan dalam Tabel 5. Pengujian daya motor dilakukan pada tiga kategori beban, yaitu beban maksimum, ¾ beban maksimum dan ½ beban maksimum sebagai fungsi dari kecepatan motor diesel. Dari tabel tersebut terlihat daya yang dihasilkan dengan menggunakan campuran Sw(20/80) %v/v lebih rendah dari pada daya yang dihasilkan dengan menggunakan MS 100% vol untuk semua kategori beban, sebesar rata-rata 4,25%. Penurunan daya ini terutama disebabkan oleh nilai



Gambar 3
Daya Versus Putaran Mesin Pada Beban (½, ¾) dan Beban Maksimum.

kalor campuran Sw(20/80) %v/v yang lebih rendah dari pada nilai kalor MS 100% vol. Pada Gambar 3 ditampilkan pengukuran daya terhadap putaran mesin pada beban $\frac{1}{2}$ beban maksimum, $\frac{3}{4}$ beban maksimum dan beban maksimum. Variasi putaran mesin dari putaran rendah 1000 rpm sampai dengan 4200 rpm.

Dari Gambar 3, lebih mudah dilihat bahwa pada putaran rendah 1000 rpm untuk beban $\frac{1}{2}$ maksimum, selisih torsi antara MS dan Sw lebih besar. Daya untuk beban $\frac{3}{4}$ maksimum dan pada beban maksimum pada putaran rendah selisih daya MS dan Sw lebih kecil dibandingkan dengan pengujian beban $\frac{1}{2}$ maksimum. Daya maksimum pada pengujian beban $\frac{1}{2}$ maksimum dicapai pada putaran mesin 2000 rpm, sedangkan untuk beban $\frac{3}{4}$ maksimum dan beban maksimum pada putaran lebih tinggi berturut-turut pada 3000 rpm dan 4000 rpm. Pada putaran ini selisih daya antara MS dan Sw relatif lebih kecil dari pada putaran mesin lainnya dan daya tidak menurun dengan cepat pada putaran mesin semakin tinggi. Daya maksimum MS dan Sw pada beban $\frac{1}{2}$ maksimum pada putaran 2000 rpm berturut-turut dengan besaran daya 19,14 kW dan 17,96 kW dengan selisih daya 6,17%. Rata-rata pada beban $\frac{1}{2}$ maksimum selisih daya MS dan Sw 7,15%. Pengukuran pada beban $\frac{3}{4}$ beban maksimum pada putaran mesin 3000 rpm daya maksimum. MS dan Sw memiliki daya 30,12 kW dan 28,7 kW dengan perbedaan daya 4,71%. Selisih daya menggunakan Sw(20/80) %v/v dan MS 100% volume pada pengujian beban $\frac{1}{2}$ maksimum beban $\frac{3}{4}$ maksimum dan beban maksimum pada putaran

1000 sampai 4000 rpm adalah 7,15%, 3,55% dan 2,04%. Pada beban $\frac{3}{4}$ beban maksimum selisih torsi MS dan Sw 3,55%.

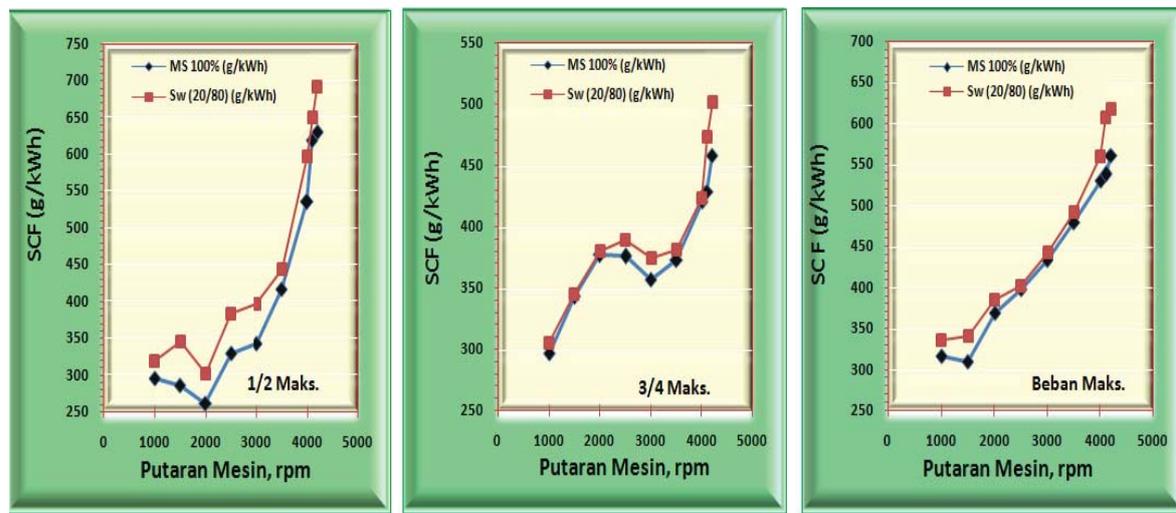
- Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Hasil pengukuran konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) campuran Sw dengan MS dan MS dalam Tabel 6 dapat dilihat konsumsi bahan bakar spesifik sebagai fungsi dari kecepatan putar motor. Konsumsi bahan bakar spesifik motor diesel merupakan ukuran keekonomian motor diesel tersebut. Pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan dengan mengukur lamanya waktu yang diperlukan untuk menghabiskan sejumlah tertentu bahan bakar pada torsi, kecepatan putar dan beban tertentu. Dari tabel tersebut terlihat konsumsi bahan bakar spesifik mengalami kenaikan rata-rata sebesar 7,37% ketika memakai campuran Sw(20/80) %v/v dibandingkan dengan ketika 100% vol MS. Perbedaan nilai kalor campuran Sw(20/80) %v/v dan 100% vol MS merupakan salah satu penyebab kenaikan konsumsi bahan bakar spesifik, nilai kalor campuran 20/80 %v/v lebih rendah dari pada nilai kalor 100% vol MS dan sifat-sifat fisika dan kimia yang berbeda.

Pada Gambar 4 ditampilkan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran mesin dari putaran rendah 1000 rpm sampai dengan 4200 rpm pada beban $\frac{1}{2}$ beban maksimum, $\frac{3}{4}$ beban maksimum dan beban maksimum. Lebih lanjut dapat dilihat bahwa pada putaran rendah 1500 rpm untuk beban $\frac{1}{2}$ maksimum, selisih torsi antara MS dan Sw 20,63%. Perbedaan ini terjadi ketika SFC dari MS

Tabel 6
Hasil Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Mesin Sw (20/80) %v/v dan Minyak Solar 100%.

Putaran Mesin (rpm)	Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (g/kWh)								
	Beban 1/2 Maksimum			Beban $\frac{3}{4}$ Maksimum			Beban Maksimum		
	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)	MS 100%	Sw (20/80)	Perbedaan (%)
1000	295	318	-7,80	297	305	-2,69	316	336	-6,33
1500	286	345	-20,63	343	345	-0,58	310	341	-10,00
2000	261	302	-15,71	377	380	-0,80	369	385	-4,34
2500	329	384	-16,72	376	389	-3,46	398	402	-1,01
3000	343	396	-15,45	357	375	-5,04	433	443	-2,31
3500	417	443	-6,24	373	382	-2,41	480	492	-2,50
4000	535	598	-11,78	421	423	-0,48	530	560	-5,66
4100	619	650	-5,01	429	473	-10,26	538	607	-12,83
4200	631	691	-9,51	458	502	-9,61	561	617	-9,98
	Perbedaan rata-rata		-12,09	Perbedaan rata-rata		-3,92	Perbedaan rata-rata		-6,11
	Perbedaan rata-rata total (%) :						-7,37		



Gambar 4
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) Versus Putaran Mesin pada Beban (1/2, 3/4) dan Beban Maksimum.

turun terjadi hal yang sebaliknya pada campuran. Rendahnya nya nilai kalor Sw dikompensasi dengan konsumsi bahan bakar yang lebih tinggi untuk mempertahankan tren daya yang sama. Pada putaran rendah SFC untuk beban 3/4 maksimum dan beban maksimum, selisih SFC dari MS dan Sw lebih kecil dibandingkan dengan pengujian beban 1/2 maksimum. Konsumsi (SFC) paling rendah pada pengujian beban 1/2 maksimum dicapai pada putaran mesin 2000 rpm, sedangkan untuk beban 3/4 maksimum dan beban maksimum pada putaran lebih tinggi cenderung naik. Pada putaran mesin yang lebih tinggi sampai 4200 rpm, kecendrungan SFC naik. Dalam keadaan ini SFC campuran selalu lebih tinggi dibandingkan dengan MS. Konsumsi (SFC) pada putaran tinggi lebih dari 4000 rpm SFC campuran cenderung lebih tinggi, sementara itu perbedaan SFC MS dan Sw juga lebih besar. Perbedaan SFC MS dan Sw pada beban 1/2 beban maksimum rata-rata 12,09%, untuk 3/4 beban maksimum sebesar 3,92%, sementara itu pada beban maksimum 6,11%.

Dari pengukuran tiga kategori beban yang digunakan rata-rata kenaikan SFC 7,37%.

Penggunaan Sw(20/80) %v/v sebagai bahan bakar lebih boros sebesar 7,37% dibandingkan 100% vol MS.

- Emisi Gas Buang

Seperti diketahui pembakaran bahan bakar di dalam ruang bakar motor diesel akan dihasilkan beberapa komponen dan asap gas buang. Emisi dari pembakaran bahan bakar ini terdiri dari karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), hidrokarbon yang tidak terbakar, nitrogen oksida (NO_x), partikulat, sulfur dioksida (SO₂) dan senyawa beracun lainnya. Jumlah dan jenis emisi disebabkan pembakaran bahan bakar sangat tergantung pada jenis bahan bakar yang dibakar (Paul 2014). Pengukuran emisi gas buang mencakup pengukuran komponen-komponen CO, NO_x, HC, SO₂ dan kepekatan (opasitas) gas buang. Pada pengujian ini hanya dilakukan pengukuran kepekatan gas buang seperti disajikan dalam Tabel 7.

Dari hasil-hasil pengukuran tersebut terlihat kepekatan gas buang Sw(20/80) %v/v lebih rendah dari pada kepekatan gas buang 100% vol MS.

Tabel 7
Hasil Pengukuran Opasitas Gas Buang.

Kondisi Operasi	Opasitas (%)		
	MS 100% vol	Sw(20/80) % vol/vol	Perbedaan (%)
Idle/800 rpm	0.30	0.20	33.33

Perbedaan kepekatan gas buangnya lebih rendah 33,33% dibandingkan dengan kepekatan gas buang 100% vol MS. Reksowardojo et al. 2009, melaporkan pengujian campuran Sw dengan MS (50/50) %vol/vol dengan viskositas masih tiga kali lebih tinggi dari pembandingan memberikan opasitas lebih tinggi. Pengaruh viskositas yang tidak sesuai menyebabkan pembakaran miskin dan hidrokarbon yang tidak terbakar terdeteksi sebagai opasitas. Pada penelitian ini campuran Sw(20/80) %v/v dengan viskositas yang masih sesuai yang dipersyaratkan memberikan opasitas yang sebaliknya. Viskositas (20/80) %vol/vol dan batasan maksimal pada spesifikasi bahan bakar minyak jenis minyak solar 48 DJ Migas (2013) berturut-turut adalah 4.382 cSt dan 4.5 cSt, jadi viskositas Sw(20/80) %vol/vol masih lebih rendah. Peneliti lain (Jinlin et al. 2011) melakukan analisis terhadap pembakaran minyak rapeseed murni, ditemukan penundaan pengapian lebih pendek dari minyak rapeseed dan campurannya bila dibandingkan dengan diesel standar.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari serangkaian penelitian yang telah dilakukan, evaluasi dari sifat lubrisitas berbagai campuran (05/95, 10/90, 15/85 dan 20/80) %v/v menggunakan metode ASTM D 6079, menunjukkan hasil yang lebih baik dari pada lubrisitas minyak solar 100%. Pada campuran (20/80) %v/v lubrisitas lebih baik 20,52%. Pengamatan selama uji kinerja terbatas berlangsung menunjukkan bahwa operasi mesin berjalan normal, tidak ada perbedaan yang cukup berarti dibandingkan dengan menggunakan minyak solar 100%. Penurunan torsi dan daya masing masing sebesar 4,25%, konsumsi bahan bakar spesifik naik sebesar 7.37% atau lebih boros merupakan konsekuensi dari perbedaan nilai kalori, dalam hal mana minyak solar memiliki nilai kalori yang lebih tinggi dari minyak sawit. Opasitas gas buang campuran (20/80) %v/v lebih baik 33,33% dibandingkan dengan kepekatan gas buang 100% minyak solar. Secara teknis substitusi terhadap minyak solar sebesar 20% dengan minyak sawit masih dapat dilakukan dan menguntungkan dalam hal ketahanan energi jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya haturkan kepada Rekan-rekan sekerja di Kelompok BBMG dan Laboratorium Unjuk Kerja BBMG KPPP Aplikasi Produk LEMIGAS atas diskusi dan sarannya selama penulisan makalah ini.

KEPUSTAKAAN

- Anastopoulos, G.; Zannikou, Y.; Stournas, S.; Kalligeros, S, (2009).** Transesterification of vegetable oils with ethanol and characterization of the key fuel properties of ethyl esters. *Energies* 2, 362–376.
- Antony Raja, S D. Robinson smart; and C.Lindon Robert Lee, 2012.** Biodiesel production from jatropha oil and its characterization. *Research journal of chemical sciences* vol.1 pp. 81-87.
- Anwar Chairil, 2015.** Modifikasi minyak sawit sebagai pen substitusi minyak solar, *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi*. Vol. 49 No.1 pp. 81-90.
- Atabani AE, Silitonga AS, Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH, Badruddin IA, 2013.** Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 18:211-45.
- Balusamy, Marappan K, 2010.** Comparative study of Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled by Emulsified Biodiesel/ Diethyl Ether Blended Biodiesel, *International Conference on Emerging trends in Engineering and Technology*, 35, 678–685.)
- Bello, E. I. and Agge M, 2011.** Production, Characterization and Evaluation of Castor oil Biodiesel as Alternative Fuel for Diesel Engines. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)* 2(3):525-30.
- Bello E. I., Oguntuase B., Osasona A., Mohammed T. I., 2015.** Characterization And Engine Testing Of Palm Kernel Oil Biodiesel, *European Journal of Engineering and Technology* Vol. 3 No. 3, ISSN 2056-5860.
- Dhakad Sachindra, Upendra Parashar, Devendra singh Dandotiya, Vivek Dhakad, Jogendra singh Gurjar, 2013.** Practical Performance of Internal Combustion Engine Using Jatropha Oil as A Bio-Fuel. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, Website: www.ijetae.com (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 10, October) 647.
- Dirjen Migas, 2013.** Keputusan Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi No. 978.K/10/DJM.S/2013.
- Emil A, Yaakob Z, Satheesh Kumar M, Jahim J,**

- Salimon J., 2010.** Comparative evaluation of physicochemical properties of jatropha seed oil from Malaysia, Indonesia and Thailand. *J Am Oil Chem Soc.* 87(6):689–695. [http:// dx.doi.org/10.1007/s11746-009-1537-6](http://dx.doi.org/10.1007/s11746-009-1537-6).
- Hazar H and H. Aydin, 2010.** “Performance and emission evaluation of a CI engine fueled with preheated raw rapeseed oil (RRO)–diesel blends,” *Applied Energy*, vol. 87, no. 3, pp. 786-790.
- Hossain A. K. and Davies P. A., 2010.** “Plant oils as fuels for compression ignition engines: A technical review and life-cycle analysis,” *Renewable Energy*, vol. 35, no. 1, pp. 1-13, Jan. 2010.
- Jinlin Xue, Toni E. Grift, Alan C. Hansen, 2011.** Effect Of Biodiesel On Engine Performances And Emissions, *Renewable And Sustainable Energy Reviews* Volume 15, Issue 2, February, Pages 1098–1116
- Leung, D.Y.C.; Xuan, W.; Leung, M.K.H, Energy 2010.** A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. *Appl*, 87, 1083–1095.
- Mulimani, H.; Hebbal, O. D.; Navindgi, M. C., 2012.** Extraction of Biodiesel from Vegetable Oils and their Comparisons. *International Journal of Advanced Scientific Research And Technology*, 2(2), 242-250.
- Paul Maina, 2014.** Engine emissions and combustion analysis of biodiesel from East African countries, *South African Journal of Science* Volume 110 | Number 3/4 March/April, [http:// www.sajs.co.za](http://www.sajs.co.za).
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia 2015.** No.12.
- Pulkrabek W. W., 2004,** “Engineering Fundamentals of the In-ternal Combustion Engine,” 2nd edition, Pearson Prentice- Hall, Upper Saddle River.
- Reksowardojo, I. K., Brodjonegoro, T. P, Soerawidjaja, Arismunandar T. H., 2009.** Comparison of Diesel Engine Characteristic Using Pure Coconut Oil, Pure Palm Oil, and Pure Jatropha Oil as Fuel, *Jurnal Teknik Mesin* Vol. 11, No. 1, 34–40.
- Romulo DA, Andrade, Elaine A, Faria, Amaury M, Silva, Wandallas C, Araujo, Gustavo C, Jaime, Kenia PC, Alexandre GS, Prado., 2011.** Heat of combustion of biofuels mixed with fossil diesel oil. *J. Therm.Anal. Calorim*, Springer: s10973-011-1408-x. <http://www.springerlink.com/content/j30165672m014128/fulltext.pdf>
- Russo D, Dassisti M, Lawlor V and Olabi A. G., 2012.** State Of The Art Of Biofuels From Pure Plant Oil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 16, Issue 6, August Pages 4056–4070; doi:10.1016/j.rser.2012.02.024
- Sharma Gaurav, 2013,** Experimental Investigation of Performance Parameters of Single Cylinder IC Engine using Mustard Oil, M. Tech. Dissertation report SRCEM, Morena.
- Semar Djainuddin, 2010.** Kajian Spesifikasi Minyak Solar Ramah Lingkungan, *Lembaran Publikasi Lemigas*, Agust. Vol.44. No. 2.
- Treese JV, Paper M, Li Y, Wang Q, Moore K., 2010.** Jatropha curcas cultivation and use as a biodiesel feedstock. Florida: University of Florida.
- Zhang Z, Guo X, Liu B, Tang L, Chen F., 2011.** Genetic diversity and genetic relationship of Jatropha curcas between China and Southeast Asian revealed by amplified fragment length polymorphisms. *Afr J Biotechnol.*10(15):2825–2832.

