

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

M5-023 Pemetaan Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Biodiesel Sawit-Jatropha: Berdasarkan Optimasi Waktu Injeksi (SIT) terhadap Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Rizqon Fajar¹, Siti Yubaidah¹ dan Bambang Sugiarto²

¹Laboratorium Motor Bakar & Propulsi, BTMP BPPT
Gedung 230 Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang 15314
Phone: 021-7560539, FAX: 021-7560538, E-mail: rizqon@btmp-bppt.net

¹Departemen Teknik Mesin, Universitas Indonesia
Universitas Indonesia Depok 16424, Indonesia

ABSTRAK

Biodiesel campuran sawit-jatropha (jarak pagar) merupakan bahan bakar alternatif yang optimum dari segi teknis dan ekonomis, khususnya untuk Indonesia. Stabilitas oksidasi biodiesel campuran sawit-jatropha dapat memenuhi spesifikasi internasional EN 14112, jika komposisi biodiesel jatropha adalah maksimum 40% dalam campuran. Paper ini menyajikan hasil pemetaan unjuk kerja mesin diesel terhadap biodiesel sawit-jatropha (60:40% v/v) dengan mengoptimasi waktu injeksi (SIT, static injection timing) terhadap konsumsi bahan bakar spesifik. Dengan optimasi SIT, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) biodiesel sawit-jatropha terutama dengan komposisi B-10, B-20 dan B-30 menjadi lebih rendah dibanding solar. Sedangkan biodiesel sawit-jatropha B-100 menunjukkan SFC yang sebanding atau sedikit lebih tinggi dibanding solar. Emisi gas buang Smoke dan Hidrokarbon dari biodiesel sawit-jatropha juga lebih rendah untuk semua kecepatan (1500 s/d 2500 rpm) pada kondisi SIT optimum. Emisi NO_x dari biodiesel sawit-jatropha seperti biodiesel yang lain adalah lebih tinggi dari minyak disel mineral (solar) untuk semua kecepatan (1500 s/d 2500 rpm). Secara umum unjuk kerja dan emisi gas buang biodiesel sawit-jatropha (60:40) terbukti sebanding atau hampir sama dengan biodiesel sawit yang telah dikomersialkan sebelumnya di Indonesia (JABOTABEK). Dengan demikian campuran biodiesel sawit-jatropha layak dijadikan biodiesel alternatif pada sektor transportasi.

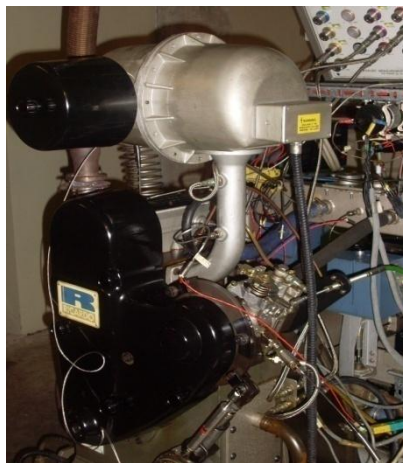
Kata kunci: stabilitas oksidasi, optimasi SIT, SFC dan emisi smoke

1. Pengantar

Biodiesel Indonesia yang saat ini menggunakan bahan baku utama sawit, masih harus dikembangkan dari segi kualitas maupun ke-ekonomiannya. Meskipun sawit unggul dalam segi stabilitas oksidasi namun karena kandungan asam lemak jenuh yang tinggi mengakibatkan biodiesel sawit memiliki sifat temperatur rendah yang buruk atau terlalu tinggi (titik tuang, titik kabut dan CFPP). Sementara itu minyak sawit memiliki nilai ekonomis yang lebih tinggi jika dijadikan sebagai bahan baku produk makanan dibandingkan sebagai bahan bakar biodiesel. Campuran biodiesel jarak pagar (*jatropha curcas*) kedalam biodiesel sawit diharapkan menjadi formulasi biodiesel yang optimum dari segi teknis/kualitas, harga dan ketersediaan bahan baku.

Biodiesel sawit telah diketahui memiliki stabilitas oksidasi terbaik dibandingkan biodiesel dari bahan lain seperti *jatropha*. Campuran biodiesel *jatropha* kedalam biodiesel sawit akan menurunkan stabilitas oksidasi namun dilain pihak akan meningkatkan kualitas sifat aliran pada temperature rendah [1]. Agar stabilitas oksidasi biodiesel campuran sawit-*jatropha* memenuhi kualitas standar (EN 14112) maka jumlah fraksi biodiesel *jatropha* terbatas. Menurut hasil penelitian yang dilakukan oleh Sarit et al [1], diperlukan maksimum 40% biodiesel *jatropha* kedalam biodiesel sawit agar stabilitas oksidasi memenuhi syarat EN 14112 (minimal 6 jam).

Paper ini memaparkan hasil studi mengenai pemetaan unjuk kerja biodiesel campuran sawit-*jatropha* (60:40, % v/v) pada mesin diesel silinder tunggal *Hydra* dengan optimasi parameter operasional mesin yaitu waktu injeksi. Pemetaan juga dilakukan terhadap campuran biodiesel-sawit-*jatropha* dengan minyak diesel mineral (solar). Sasaran dan tujuan utama studi ini adalah untuk mengevaluasi unjuk kerja mesin dari biodiesel campuran sawit-*jatropha* yang telah memenuhi standar stabilitas oksidasi. Selain itu dapat diperoleh korelasi atau efek dari variasi parameter operasional mesin terhadap unjuk kerja dan diperoleh daerah kerja mesin optimum dari biodiesel campuran sawit-*jatropha* dan campurannya dengan solar. Parameter yang menentukan unjuk kerja adalah konsumsi bahan bak spesifik, power/torsi dan emisi gas buang.



Gambar 1. Mesin diesel riset Hydra, silinder tunggal

2. Metodologi Pengujian

Prosedur uji untuk pemetaan unjuk kerja biodiesel campuran sawit-*jatropha* (60:40 % v/v) dapat diuraikan sebagai berikut:

- Pengujian dilakukan pada dua putaran mesin yaitu 1500 dan 2500 rpm.
- Pengujian dimulai dengan menggunakan bahan bakar solar dengan beban penuh (100%) dan nilai emisi smoke dibatasi, maksimum 5 FSN (*Filtered Smoke Number*)
- Pada saat pengujian dilakukan variasi waktu injeksi (SIT, *static injectio timing*), sehingga diperoleh nilai SIT terbaik dimana nilai konsumsi bahan bakar spesifik adalah terendah.

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

d. Setelah pengujian untuk solar (B-0) selesai maka baru dilakukan pengujian terhadap biodiesel sawit-jatropha dan campurannya dengan solar. Pada saat pengujian terhadap solar, daya maksimum atau torsi maksimum yang dihasilkan mesin dijadikan acuan dan diupayakan tetap sama ketika menggunakan menguji bahan bakar lainnya. Dengan demikian yang akan membedakan unjuk kerja dari berbagai jenis bahan bakar adalah konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang-nya.

Pengujian pada mesin diesel dilakukan pada Laboratorium Motor Bakar dan Propulsi BTMP BPPT, Kawasan Puspiptek Serpong. Spesifikasi mesin diesel yang digunakan dalam pengujian terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi mesin diesel Hydra, Direct Injection

<i>Bore</i>	93,67 mm
<i>Stroke</i>	46,4 mm
<i>Compression Ratio</i>	16,75
<i>Max. Speed</i>	4000 rev/min
<i>Fuel Injection Pump</i>	VE 1/9 F 2200 RV 12749
<i>Injector</i>	Bosch KBE 5854/4
<i>Nozzle</i>	Bosch DNOSD 297
<i>Nozzle Operating Pressure</i>	250 bar

Bahan bakar yang digunakan dalam pengujian ini adalah solar atau minyak diesel jenis *high speed* yang memenuhi spesifikasi dari Pertamina., biodiesel sawit-jatropha (60:40) dan campurannya dengan solar (B-10, B-20, B-30). Biodiesel sawit terbuat dari minyak goreng bekas (jelantah) dan biodiesel jatropha terbuat dari minyak jatropha segar. Tabel 2 memuat beberapa sifat kimia fisik yang penting dari bahan bakar yang diuji.

Tabel 2. Sifat kimia fisik bahan bakar uji

Propertie s	Solar	Biodie sel Sawit	Bodies el Jatroph a	Biodiesel Sawit- Jatropa
Viskosita s	1,6-5,8	4,169	4,160	4,165
Densitas	0,843	0,877	0,879	0,878*
Bil. Setana	min. 49	68*	55*	63*
Nilai Kalor	43	41*	41*	41*

*Hasil perhitungan dengan model [4] & [5]

Viskositas diukur pada suhu 40°C dengan satuan cSt, densitas diukur pada suhu 15°C dengan satuan g/cm³ dan nilai kalor dinyatakan dalam MJ/kg.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pemetaan unjuk kerja (SFC) dengan variasi SIT

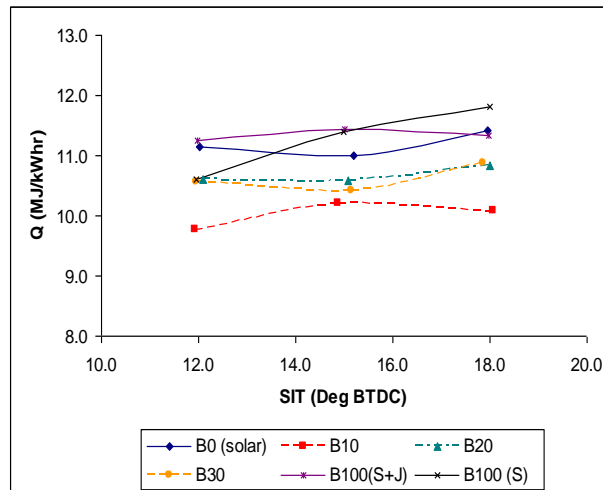
Tabel 3 menampilkan setting SIT waktu injeksi untuk semua jenis bahan bakar yang diuji, meliputi solar, biodiesel sawit-jatropha (B-100), dan campurannya dengan solar (B-10, B-20 & B-30). Daya yang dihasilkan oleh mesin dijaga konstan untuk setiap rpm, yaitu 2,8 kW pada 1500 rpm dan 4,7 kW pada 2500 rpm.

Tabel 3. waktu injeksi pada 1500 & 2500 rpm

SIT (deg BTDC)	Putaran (rpm)	Daya (kW)
12	1500	2.8
15	1500	2.8
18	1500	2.8
15	2500	4.7
18	2500	4.7
21	2500	4.7

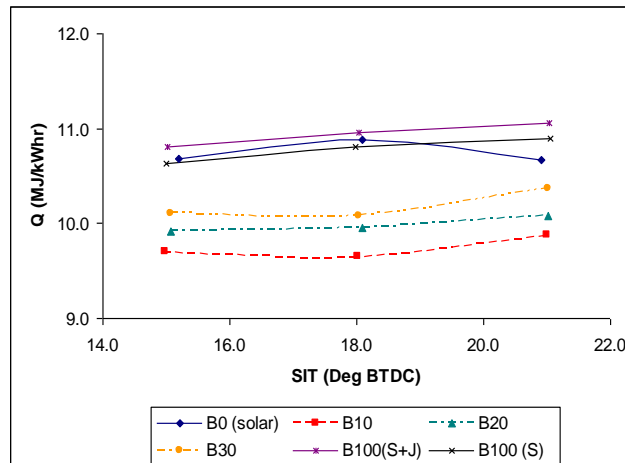
Gambar 2 menampilkan grafik konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) pada 1500 rpm dari berbagai komposisi bahan bakar yaitu solar (B-0), biodiesel sawit-jatropha (B-100) dan campurannya dengan solar (B-10, B-20, B-30). Pada gambar 2 juga ditampilkan SFC untuk biodiesel sawit (B-100). Unjuk kerja terbaik ditunjukkan dengan SFC terendah pada angka SIT tertentu.

Gambar 2. SFC berbagai komposisi bahan bakar dengan variasi SIT, pada kecepatan 1500 rpm



Campuran biodiesel sawit-jatropha dalam solar sebanyak 10% (B-10) menunjukkan SFC terendah dan ada kecenderungan bahwa semakin tinggi kandungan biodiesel SFC cenderung semakin tinggi. SFC tertinggi dicapai oleh biodiesel sawit-jatropha dan biodiesel sawit 100% atau B-100.

Gambar 3. SFC berbagai komposisi bahan bakar dengan variasi SIT, pada kecepatan 2500 rpm



Gambar 3 merupakan analogi dari gambar 2 yaitu SFC mesin diesel pada kecepatan 2500 rpm. Kondisi operasioanl mesin terbaik dicapai oleh biodiesel sawit-jatropha B-10, kemudian diikuti campuran B-20 dan B-30. Meskipun kandungan kalori biodiesel B-10, B-20 dan B-30 lebih rendah dari solar namun memiliki SFC yang lebih rendah (lebih baik) dibanding solar.

Seperti yang telah diprediksi, jika biodiesel sawit (68) maupun biodiesel sawit-jatropha (63) memiliki bilangan setana yang lebih tinggi dibanding solar (sekitar 50) maka pembakaran kedua jenis biodiesel tersebut akan memiliki pola yang berbeda (saat mulai terbakar, waktu pembakaran dll). Hal ini juga terlihat pada SIT optimum (tabel 4) dimana SFC dari pembakaran solar, biodiesel sawit dan biodiesel sawit-jatropha mencapai nilai terrendah-nya (terbaik-nya). Pada kecepatan 1500 rpm, SIT optimum untuk solar adalah 15 deg BTDC sedangkan untuk biodiesel sawit (B-100) dan biodiesel sawit-jatropha (B-100) adalah sama, yaitu 12 deg BTDC. Dan pada kecepatan 2500 rpm, SIT optimum untuk solar adalah 21 deg BTDC dan untuk biodiesel sawit dan biodiesel sawit-jatropha adalah 15 deg BTDC.

SIT optimum untuk campuran biodiesel sawit-jatropha dengan solar (B-10, B-20, B-30) adalah relatif sama dan berada diantara solar dan biodiesel murni (B-100). Pada kecepatan 1500 rpm, SIT optimum adalah 15 deg BTDC (kecuali B-10 yaitu 12 deg BTDC) dan pada kecepatan 2500 rpm untuk ketiga komposisi campuran adalah seragam yaitu 18 deg BTDC.

Tabel 4. SIT optimum berbagai komposisi bahan bakar dan rpm

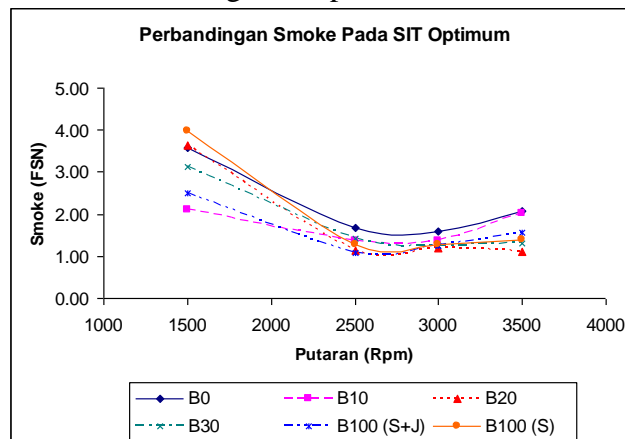
Bahan Bakar	Putaran (rpm)	SIT Optimum (deg BTDC)
Solar	1500	15
	2500	21
Biodiesel Sawit (B-100)	1500	12
	2500	15
Biodiesel Sawit-Jatropha 60:40 (B-100)	1500	12
	2500	15
Biodiesel Sawit-Jatropha 60:40 (B-10)	1500	12
	2500	18
Biodiesel Sawit-	1500	15

Jatropha 60:40 (B-20)	2500	18
Biodiesel Sawit-Jatropha 60:40 (B-30)	1500	15
	2500	18
Biodiesel Sawit-Jatropha 60:40(B-100)	1500	12
	2500	15

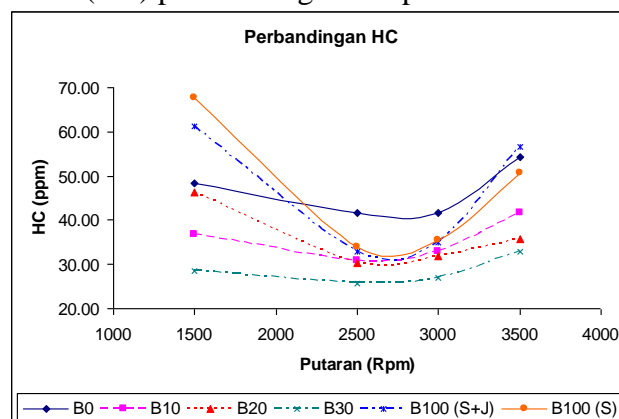
3.2 Efek komposisi biodiesel terhadap emisi

Emisi Smoke biodiesel sawit dan biodiesel sawit-jatropha beserta campurannya dengan solar lebih rendah pada hampir semua kecepatan (1500 s/d 3500 rpm). Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran biodiesel secara umum terjadi lebih efisien dibanding solar. Perbedaan terbesar dalam emisi Smoke antara solar dan biodiesel terjadi pada kecepatan 1500 rpm. Perbedaan menjadi semakin kecil ketika rpm meningkat dan akan menjadi relatif tetap ketika kecepatan 2500 rpm s/d 3500 rpm. Ada kecenderungan bahwa semakin tinggi kandungan biodiesel dalam campuran, emisi smoke-nya semakin rendah (kecuali pada B-10).

Gambar 4. Emisi Smoke berbagai komposisi biodiesel dan kecepatan mesin (rpm)

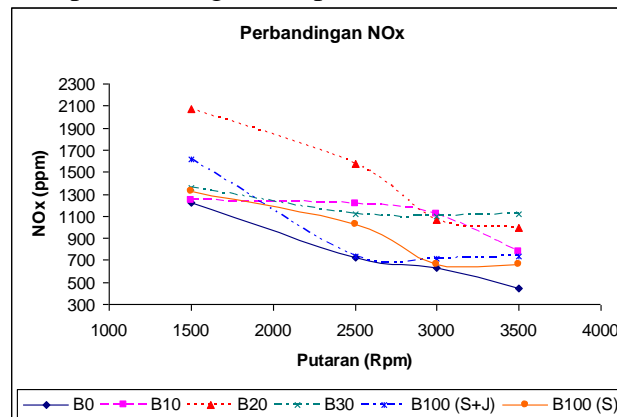


Gambar 5. Emisi Hidrokarbon (HC) pada berbagai komposisi biodiesel dan kecepatan mesin (rpm)



Trend yang mirip dengan emisi Smoke terjadi pada emisi hidrokarbon bahwa secara umum biodiesel beserta campurannya menghasilkan emisi HC yang lebih rendah untuk semua kecepatan, kecuali pada kecepatan 1500 rpm. Pembakaran biodiesel sawit dan sawit-jatropha (B-100) menghasilkan emisi HC lebih tinggi dibanding solar, yaitu sekitar 60 s/d 70 ppm. Hal ini perlu studi yang lebih lanjut karena pengaruh dari proses pengakabutan juga bisa menjadi faktor penentu, seperti tekanan dan temperatur injeksi. Oleh karena itu perlu dilakukan studi terhadap kualitas pengkabutan dan relasinya dengan tekanan, temperatur bahan bakar beserta sifat kimia fisik bahan bakar (terutama viskositas) dengan metode simulasi agar problem ini bisa lebih difahami.

Gambar 5. Emisi NO_x pada berbagai komposisi biodiesel dan kecepatan mesin (rpm)



Biodiesel memiliki kandungan oksigen yang lebih tinggi dari minyak diesel mineral (solar) sekityar 10% dan hal ini mengakibatkan emisi NO_x lebih tinggi dibanding seperti tampak pada gambar 5. Meskipun demikian, emisi NO_x dari biodiesel dapat dikontrol atau ditekan dengan menerapkan EGR (*Exhaust Gas Recirculation*) agar temperatur ruang bakar menjadi lebih rendah sehingga emisi NO_x dapat ditekan. Upaya lain adalah dengan mengubah desain ruang bakar (piston) sehingga dapat mengubah pola aliran dan pencampuran bahan bakar-udara.

4. Kesimpulan dan Rekomendasi

Dari hasil pemetaan unjuk kerja biodiesel sawit-jatropha (60:40% v/v) dan campurannya dengan solar maka dapat diambil beberapa kesimpulan berikut:

- SFC bahan bakar B-10, B-20 dan B-30 dari biodiesel sawit-jatropha lebih rendah dari solar baik pada kecepatan 1500 dan 2500 rpm. Namun demikian SFC untuk B-100 baik biodiesel sawit-jatropha dan biodiesel sawit lebih tinggi dari solar. Fenomena ini dipengaruhi oleh faktor efisiensi pembakaran dan kandungan kalori bahan bakar tersebut.
- SIT optimum untuk bahan baker B-10, B-20 dan B-30 adalah hampir sama yaitu 15 deg BTDC pada 1500 rpm dan 18 deg BTDC pada 2500 rpm. Sedangkan SIT optimum untuk biodiesel sawit-jatropha dan biodiesel sawit 100% adalah 12 deg BTDC pada 1500 rpm dan 15 deg BTDC pada 2500 rpm.
- Emisi Smoke dan Hidrokarbon dari biodiesel secara umum lebih rendah dibanding solar pada semua komposisi (kecuali B-100) pada semua kecepatan (1500 sd/ 3500 rpm). Sedangkan emisi NO_x dari biodiesel cenderung lebih tinggi pada semua komposisi dan kecepatan.
- Secara umum, unjuk kerja biodiesel sawit-jatropha sebanding dengan biodiesel sawit yang sat ini sudah dikomersialkan dan layak sebagai komponen campuran dengan solar.

Rekomendasi yang dapat diberikan untuk keperluan penelitian lanjut adalah sebagai berikut:

Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

- Perlu dilakukan simulasi terhadap proses pengkabutan dan pembakaran biodiesel sawit-jatropha dan campurannya, terutama pada kecepatan rendah (1500 rpm). Simulasi dapat dilakukan dengan software Fire atau Fluent dengan memvariasikan key-properties (viskositas & tegangan permukaan) dan parameter operasional (tekanan & temperature injeksi) dari biodiesel. Hal ini agar mekanisme pengkabutan dan pembakaran lebih dapat difahami.
- Perlu dilakukan analisa pembakaran terutama terkait dengan mekanisme pembakaran yang meliputi identifikasi terhadap ignition delay, peak pressure, heat release.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih kami ucapkan sebesar-besarnya kepada Dr. Ir. Prawoto MSAe sebagai Ka. BTMP sehingga penelitian ini dapat difasilitasi sebagaimana mestinya. Selain itu kepada Dr. Lukman Shalahudin sebagai Ka Lab. Motor Bakar & para stafnya, terutama Hari Sumartono ST, MT atas perhatian & bimbingan teknisnya terhadap penelitian ini sehingga dapat berjalan lancar. Tidak lupa kami berikan apresiasi yang tinggi kepada seluruh teknisi Lab Motor Bakar atas segala waktu dan bantuannya.

Daftar Pustaka

- [1] Rakesh Sarin et al, *Jatropha-Palm biodiesel blends: An Optimum mix for Asia*, Fuel 86 (2007) 1365-1371
- [2] P.K. Sahoo, L.M. Das, *Combustion analysis of Jatropha, Karanja and Polanga based biodiesel as fuel in a diesel engine*, Fuel 88 (2009) 994-999
- [3] M.K. Ghosal, D.K. Das, S.C. Pradhan and N. Sahoo, *Performance Study of Diesel Engine by using Mahua Methyl Ester (biodiesel) and its blends with diesel fuel*, Agricultural Engineering International Vol X, October, 2008
- [4] Ayhan Demirbas, *Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels*, Fuel 87 (2008) 1743-1748
- [5] A.I. Bamgboye and A.C. Hansen, *Prediction of cetane number of biodiesel fuel from the fatty acid methyl ester (FAME) composition*, Int. Agropysics, 2008, 22, 21-29
- [6] Yakup ICINGUR, Duran ALTIPARMAK, *Experimental Analysis of the Effect of Fuel Injection Pressure and Fuel Cetane Number on Direct Injection Diesel Engine Emission*, Turkish J. Eng. Env. Sci. 27 (2003), 291-297
-