

# Efek PAH dalam Minyak Solar terhadap Kinerja dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel Injeksi Langsung

Oleh: **Djainuddin Semar**

Peneliti Madya pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 9 November 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 15 Desember 2010

Disetujui terbit tanggal: 31 Desember 2010

## S A R I

Kandungan hidrokarbon poliaromatik (PAH) dalam minyak Solar 48 Indonesia harus dibatasi, karena PAH bersifat karsinogen dan berpengaruh terhadap kinerja mesin dan kadar emisi gas buang (nitrogen oksida dan opasitas). Spesifikasi bahan bakar diesel Jepang (JIS K 2204), India (SIAM), Eropa (EURO) masing-masing menetapkan batasan kandungan PAH maksimum 11 % volume.

Penelitian dilaksanakan menggunakan tiga formula minyak solar masing-masing diberi kode MS-0, MS-1, MS-2 dan komposisi kandungan PAH setiap percontoh diatur bervariasi.

Pengaruh beberapa variasi kandungan PAH dalam minyak solar terhadap sifat-sifat fisika kimia dan kinerja mesin akan diuraikan dalam makalah ini.

**Kata kunci:** Kandungan PAH, mesin diesel, kinerja

## ABSTRACT

*Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in Indonesia diesel fuels 48 CN (Solar48) should be restricted due to its influences to the engine performance and emission of nitrogen oxide and opacity.*

*According to specification of diesel fuels in Japan (JIS K 2204), India (SIAM) and Europe (EURO), maximum PAH content is 11% volume.*

*The study was conducted by using three kinds of diesel fuels such as MS-0, MS-1 and MS-2 with each has a different PAH content. Those three samples is tested for their physico-chemical characteristics on multicylinder test bench.*

*Effect of several volume varieties of PAH content in diesel fuel against physical chemical test result and engine performance test result will be discussed in this paper.*

**Keyword:** PAH content, diesel fuel, performance.

## I. PENDAHULUAN

Kandungan hidrokarbon poliaromatik (*polyaromatic hydrocarbon*, PAH) dalam minyak solar dapat meningkatkan emisi gas buang. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health Organization*, WHO), hidrokarbon poliaromatik adalah karsinogen. PAH dapat merusak perkembangan dari janin, dan merugikan sistem reproduksi.

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah untuk mengamati pengaruh kandungan PAH dalam minyak

solar pada mesin diesel injeksi langsung terhadap torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang.

Kegiatan penelitian meliputi: tinjauan literatur, pembuatan formula minyak solar modifikasi, pengujian sifat fisika/kimia dan uji kinerja (*performance*) pada mesin diesel injeksi langsung.

Pada saat ini pemakaian mesin diesel untuk kendaraan bermotor di Indonesia lebih banyak menggunakan mesin diesel sistem injeksi langsung (*direct injection*, DI). Dengan demikian penelitian

ini dilaksanakan dengan menggunakan mesin diesel sistem injeksi langsung. Mesin diesel injeksi langsung yang digunakan tersebut adalah mesin Isuzu 4JA1 di atas bangku uji multisilinder.

## II. TINJAUAN LITERATUR

### A. Minyak Solar

Beberapa karakteristik minyak solar yang penting dan dapat berpengaruh terhadap kinerja motor diesel antara lain adalah angka setana, viskositas, nilai kalori, kandungan PAH.

#### 1. Angka Setana

Angka setana bahan bakar diesel menunjukkan kualitas penyalaan bahan bakar tersebut. Angka setana bahan bakar yang lebih rendah dari kebutuhan mesin memerlukan suhu yang lebih tinggi untuk penyalaan. Sebaliknya angka setana yang lebih tinggi memerlukan titik penyalaan sendiri (*autoignition point*) yang lebih rendah atau suhu yang diperlukan untuk penyalaan bahan bakar lebih rendah, periode penundaan penyalaan lebih pendek sehingga lonjakan tekanan pembakaran rendah. Dengan demikian minyak diesel yang mempunyai angka setana yang lebih tinggi, tendensi akan terjadinya detonasi (*detonation*) di dalam motor akan berkurang. Untuk menghidupkan mesin (*starting*) pada suhu atmosfer yang rendah diperlukan bahan bakar dengan angka setana yang lebih tinggi.

#### 2. Viskositas

Bahan bakar yang digunakan pada suatu motor diesel harus mempunyai viskositas yang relatif rendah, dengan demikian ia dapat mengalir dengan mudah melalui sistem pompa dan injeksi yang memasukkan bahan bakar ke dalam silinder motor. Penyemprotan dan atomisasi bahan bakar dapat terlaksana dengan mudah pada saat diinjeksikan ke dalam silinder. Jika terlalu kental, bahan bakar tidak akan terbakar dalam waktu yang cukup singkat dan kinerja mesin akan menurun, hal ini dapat mengakibatkan konsumsi bahan bakar meningkat.

#### 3. Nilai Kalor

Kinerja motor berhubungan langsung dengan jumlah kalor yang diberikan oleh bahan bakar selama pembakaran, yaitu nilai kalor dari pembakaran bahan bakar. Untuk bahan bakar yang mempunyai nilai kalor yang lebih rendah, dibutuhkan bahan bakar yang lebih

banyak untuk menghasilkan tenaga sebesar satu daya kuda dibandingkan dengan bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang lebih tinggi. Dengan kata lain bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang lebih rendah konsumsi bahan bakarnya akan lebih tinggi dari pada bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang tinggi.

### 4. Hidrokarbon Poliaromatik

Hasil penelitian efek kandungan PAH minyak solar yang diuji pada mesin diesel injeksi langsung yang dilakukan di Queensland of University tahun 2005 menyatakan bahwa emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), emisi partikulat dan deposit di ruang bakar meningkat bila kandungan PAH dalam minyak solar meningkat.

Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (*World Health Organization*, WHO), PAH adalah karsinogen. PAH dapat merusak perkembangan janin, merugikan sistem reproduksi.

Kandungan PAH dari beberapa spesifikasi bahan bakar diesel adalah sebagai berikut:

- WWFC tahun 2006 kategori 2, 3 dan 4 masing-masing 5% volume, 3% volume dan 2% volume.
- Eropa, EURO 2, 3 dan 4 masing-masing 11% volume.
- Jepang JIS 2204: Summer No. 1, Winter No. 1 dan Northern Part masing-masing 11% volume.
- Indonesia: minyak Solar 48 dan minyak Solar 51 tidak menetapkan batasan kandungan PAH.

### B. Mesin Diesel

Pembagian mesin diesel dapat dilakukan menurut jumlah dan susunan silinder, kecepatan, jumlah langkah, sistem pendingin, sistem pemasukan udara dan lain-lain.

- Menurut sistem injeksi bahan bakar ke dalam silinder mesin, maka mesin diesel dapat dibagi atas dua bagian, yaitu mesin diesel injeksi tidak langsung dan mesin diesel injeksi langsung.
- Menurut kecepatannya mesin diesel dapat dibagi menjadi tiga kelas, yaitu mesin diesel putaran rendah dari 500 rpm, putaran sedang untuk mesin diesel yang mempunyai putaran antara 500 - 1000 rpm dan putaran tinggi untuk mesin diesel yang mempunyai putaran 1000 rpm ke atas.
- Pada akhir tahun 1980-an di Indonesia diperkenalkan kendaraan mesin diesel dengan sistem injeksi langsung (DI). Pada mesin diesel

injeksi langsung ini ruang bakar tidak terbagi-bagi seperti pada mesin diesel injeksi tidak langsung, ruang bakar ini berada pada ruangan antara kepala silinder, dinding silinder dan puncak piston. Sedangkan sistem injeksi langsung bahan bakar langsung diinjeksikan ke dalam ruang bakar utama, sehingga disebut injeksi langsung. Ruang bakar pada motor diesel injeksi langsung juga disebut ruang bakar terbuka. Pada motor diesel jenis ini puncak piston dibuat berongga untuk mendapatkan pusaran udara.

- Pada Gambar 1a dapat dilihat tata letak ruang bakar pada suatu motor diesel injeksi langsung, pada Gambar 1b adalah panel mesin diesel pada bangku uji Multisilinder dan Gambar 1c adalah mesin diesel di atas bangku uji Multisilinder.

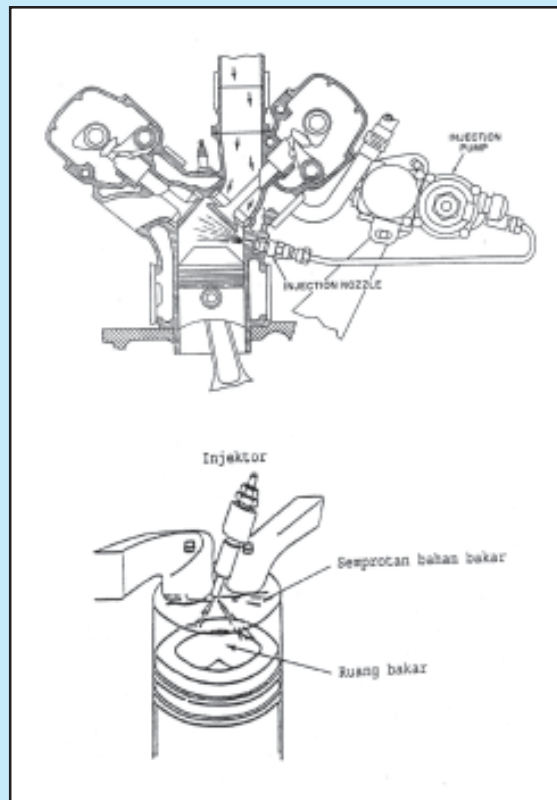
Keuntungan pada pemakaian mesin diesel sistem injeksi langsung, yaitu:

- Bentuk ruang bakar sederhana, efisiensi termis lebih tinggi dari pada sistem injeksi tak langsung dan pemakaian bahan bakar lebih hemat.
- Start dapat dilakukan dengan mudah tanpa alat pemanas (*glow plug*) meskipun dengan perbandingan kompresi rendah sekitar 15:1.
- Cocok untuk mesin-mesin yang membutuhkan tenaga yang tinggi karena kerugian panas lebih kecil dibanding mesin jenis *pre-combustion chamber*.

### III. PELAKSANAAN PENELITIAN

#### A. Metodologi

- Analisis sifat-sifat fisika/kimia minyak solar dilaksanakan dengan menggunakan metode uji baku ASTM atau metode uji lainnya yang digunakan untuk analisis minyak bumi dan produknya.
- Formulasi minyak solar menghasilkan tiga jenis percontoh minyak solar, yaitu minyak solar referensi (MS-0) digunakan sebagai bahan bakar pembanding dan dua percontoh minyak solar modifikasi yaitu minyak solar uji 1 (MS-1), minyak solar uji 2 (MS-2).
- Pengujian kinerja terbatas setiap percontoh (MS-0, MS-1, MS-2) dilakukan uji pada tiga kategori beban, yaitu: beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, beban  $\frac{3}{4}$  maksimum dan beban maksimum dan dilakukan pengamatan terhadap torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang.



Gambar 1a  
Tata Letak Ruang Bakar Mesin Diesel  
Injeksi Langsung



Gambar 1b  
Panel Kontrol Bangku Uji Multisilinder

- Evaluasi hasil-hasil uji fisika/ kimia dilakukan dengan cara membandingkannya dengan spesifikasi minyak Solar 48 yang ditetapkan Pemerintah, sedangkan evaluasi kinerja percontoh MS-1,MS-2 dilakukan dengan membandingkannya dengan kinerja MS-0.

## B. Bahan

Minyak solar yang diuji pada penelitian ini terdiri dari tiga percontoh dan identitas setiap percontoh minyak solar tersebut diuraikan pada Tabel 1.

## C. Pengujian kinerja

Pengujian kinerja terbatas pada mesin diesel injeksi langsung dilakukan uji pada tiga kategori beban, yaitu: beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, beban  $\frac{3}{4}$  maksimum, beban maksimum. Bahan bakar yang diuji ada tiga percontoh yaitu MS-0, MS-1, MS-2 dan dilakukan pengamatan terhadap torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi gas buang.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil uji sifat-sifat fisika kimia

Hasil-hasil uji sifat-sifat fisika/kimia meliputi: angka setana, viskositas kinematik, berat jenis pada 15oC, kandungan sulfur, distilasi pada T90, titik nyala, titik tuang, CCR, kandungan air, korosi bilah tembaga, kandungan abu, kandungan sedimen, bilangan asam kuat, bilangan asam total, warna percontoh minyak solar uji MS-1, MS-2 dibandingkan dengan minyak solar referensi (MS-0) seperti disajikan pada Tabel 2.

Hasil-hasil uji semua sifat-sifat fisika kimia percontoh minyak solar MS-0, MS-1, MS-2 pada Tabel 2 dibandingkan dengan spesifikasi minyak Solar 48 adalah memenuhi spesifikasi minyak solar yang ditetapkan Pemerintah melalui Surat Keputusan Dirjen Migas No. 3675.K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006.

### B. Hasil uji kinerja

Hasil-hasil uji kinerja meliputi torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik, emisi gas buang nitrogen oksida dan opasitas, diuraikan di bawah ini.

#### 1. Torsi

Hasil uji torsi pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, percontoh  $\frac{3}{4}$  maksimum dan beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan torsi percontoh MS-0 rata-rata masing-masing disajikan pada Tabel 3. Kecenderungan perubahan torsi pada setiap beban disajikan pada Gambar 2.

- Hasil uji torsi pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan torsi percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 2,46% dan 5,67%.



Gambar 1c  
Bangku Uji Isuzu 4JA1

Tabel 1  
Hasil Formulasi minyak Solar Tipikal

Kode Percontoh	Identitas Percontoh	Poliaromatik (PAH), % volumen
MS-0	Minyak solar referensi	12,69
MS-1	Minyak solar uji 1	11,12
MS-2	Minyak solar uji 2	8,21

- Hasil uji torsi pada beban  $\frac{3}{4}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan torsi percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 1,92% dan 5,75%.
- Hasil uji torsi pada beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan torsi percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 3,31% dan 6,07%.

Rekapitulasi efek torsi minyak solar MS-1 rata-rata, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan torsi minyak solar referensi (MS-0) pada 3 kategori beban adalah masing-masing lebih rendah 2,57% dan 5,83%.

Kecenderungan perubahan torsi mesin minyak solar MS-0, MS-1 dan MS-2 terhadap putaran mesin pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, beban  $\frac{3}{4}$  maksimum dan beban maksimum disajikan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 terlihat bahwa percontoh minyak solar MS-0, MS-1, MS-2 masing-masing mencapai torsi maksimum pada putaran 2000 rpm.



**Tabel 2**  
**Hasil Uji Percontoh Minyak Solar MS-0, MS-1, MS-2 Dibandingkan dengan Spesifikasi Minyak Solar 48**

No	Karakteristik	Unit	MS-0	MS-1	MS-2	Batasan *)		Metode Uji ASTM/Lain
						Min.	Maks.	
1	Kandungan Total Aromatik	% w	22,5	28,8	36,33	-	-	D 5186
2	Kandungan PAH	% w	8,21	11,12	12,69	-	-	D 2425
3	Angka Setana	-	52,5	50,5	48,5	48	-	D 613
4	Indeks Setana		48	47,2	45	45	-	D 4737
5	Berat jenis pada 15 °C	kg/m <sup>3</sup>	8496	8479	8378	815	870	D 1298/D 4052
6	Viskositas pada 40 °C	mm <sup>2</sup> /s	4,12	3,41	3,16	2.0	5.0	D 445
7	Kandungan sulfur	% m/m	0,025	0,025	0,026	-	0.35 <sup>*)</sup>	D 2622
8	Distilasi:	-	-	-	-	-	-	D 86
	- T90	°C	366	363	365	-	-	-
	- T95	°C	-	-	-	-	370	-
9	Titik Nyala	°C	70	72	78	60	-	D 93
10	Korosi Bilah Tembaga	merit	1a	1a	1a	-	kelas 1	D 130
11	Kandungan Air	mg/kg	Nil	Nil	Ni	-	500	D 1744
12	Kandungan Abu	% m/m	< 0,01	< ,01	<0,01	-	0.01	D 482
13	Kandungan Sedimen	% m/m	< 0,01	<0,01	<0,01	-	0.01	D 473
14	Bilangan Asam Kuat	mg KOH/g	Nil	Nil	Nil	-	0	D 664
15	Bilangan Asam Total	mg KOH/g	-	-	-	-	0.6	D 664
16	Warna	No. ASTM	1,5	1,5	1,5	-	3.0	D 1500
17	Nilar kalor	Mj/kg	43,77	42,8	41,2	-	-	D 240

**Keterangan:**

\*) Spesifikasi minyak solar 48 menurut Surat Keputusan Dirjen Migas No. 3675.K/24/ DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006

\*\*) MS-0: minyak solar referensi, MS-1: minyak solar uji 1 dan MS-2: minyak solar uji 2.

## 2. Daya

Hasil uji daya pada beban ½ maksimum, percontoh ¾ maksimum dan beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan daya percontoh MS-0 rata-rata masing-masing disajikan pada Tabel 4. Kecenderungan perubahan daya pada setiap beban disajikan pada Gambar 3.

- Hasil uji daya pada beban ½ maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan daya percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 2,46% dan 5,67%.

- Hasil uji daya pada beban ¾ maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan daya percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 1,92% dan 5,75%.
- Hasil uji daya pada beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan daya percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 3,31% dan 6,07%.

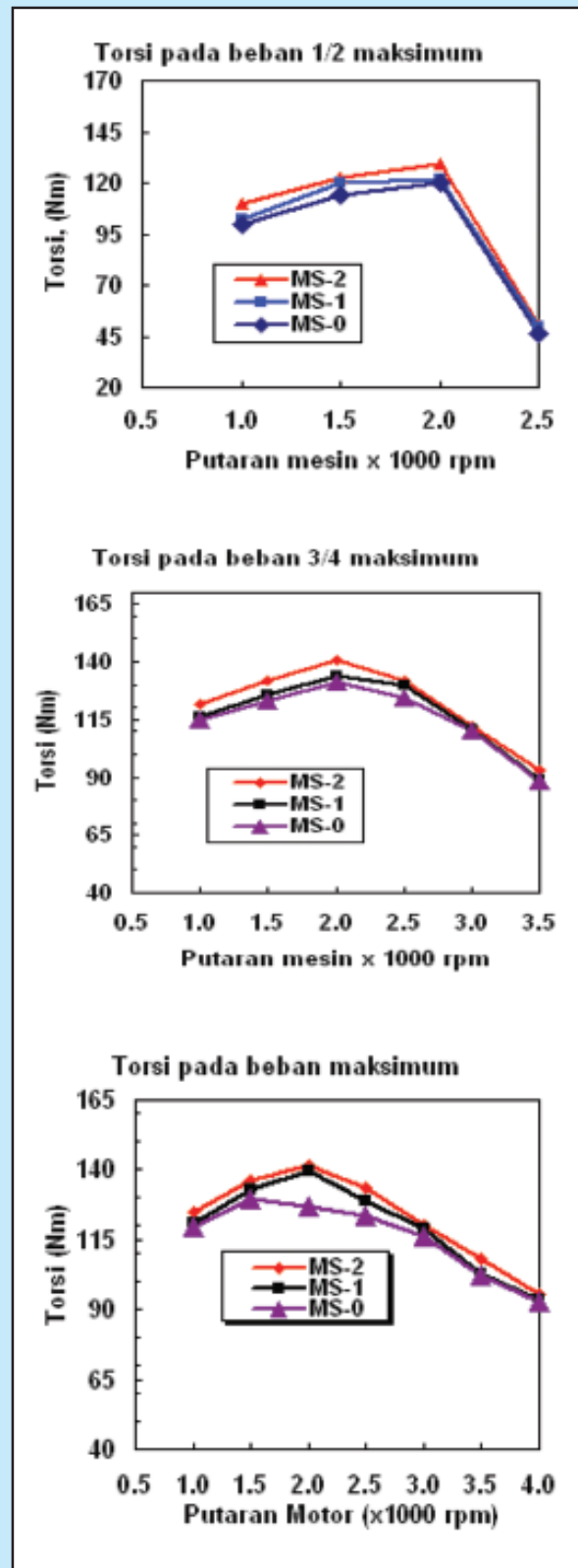
Rekapitulasi efek daya minyak solar MS-1 rata-rata, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan daya minyak solar referensi (MS-0) pada 3 kategori beban adalah masing-masing lebih rendah 2,57% dan 5,83%.

**Tabel 3**  
Hasil Uji Torsi MS-2, MS-1 dan MS-0

Torsi beban 1/2mMaksimum pada setiap putaran mesin			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	109.9	102.0	100.0
1.5	122.6	119.7	114.2
2.0	128.9	121.8	119.8
2.5	50.5	49.7	46.6

Torsi beban 3/4 maksimum pada setiap putaran mesin			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	121.5	115.9	114.6
1.5	131.7	125.8	123.1
2.0	140.8	133.8	131.5
2.5	131.9	129.8	124.1
3.0	112.0	110.5	109.8
3.5	93.0	88.8	88.2

Torsi pada beban maksimum pada setiap putaran mesin			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	124.8	121.2	119.5
1.5	136.4	132.6	129.8
2.0	141.9	139.7	126.8
2.5	133.6	128.8	123.5
3.0	120.0	118.8	115.9
3.5	108	103	102.5
4.0	95.3	93.5	92.8



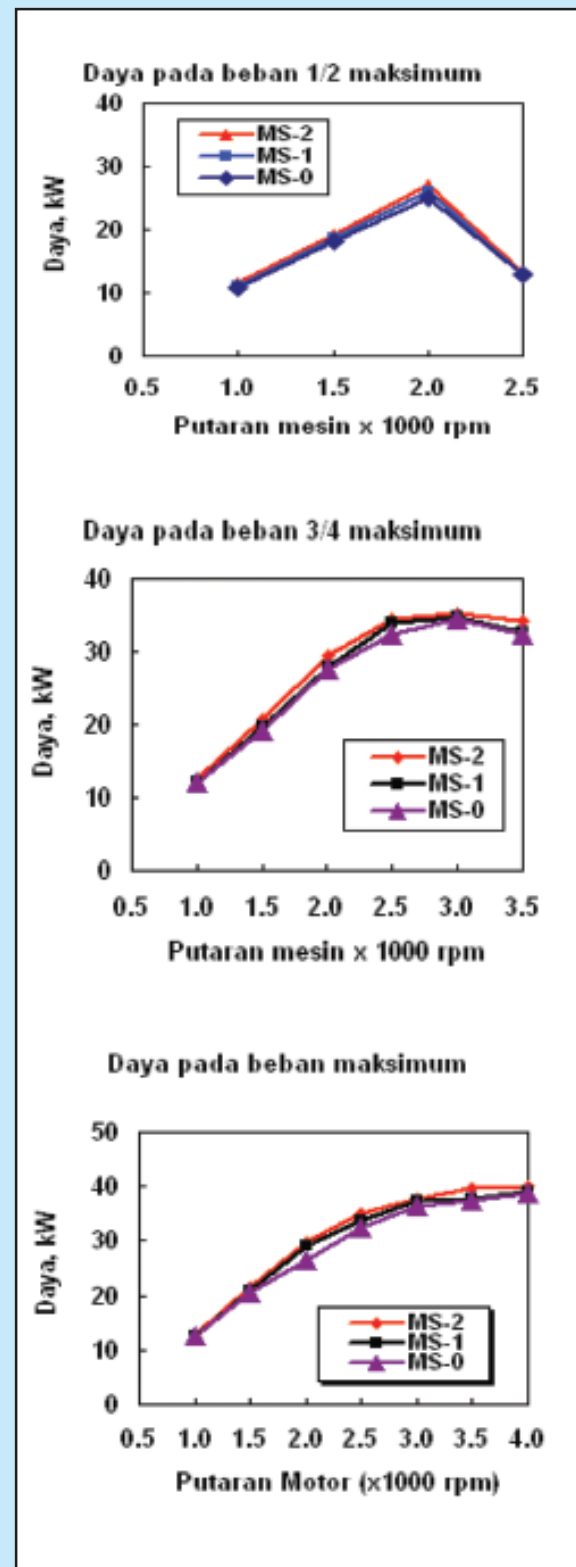
**Gambar 2**  
Putaran mesin Vs Torsi bahan bakar percontohh MS-1, MS-2 dan MS-0

**Tabel 4**  
**Hasil Uji Daya MS-0, MS-1 dan MS-2**

Daya pada beban 1/2 maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	11.5	11.0	10.9
1.5	19.3	18.8	18.3
2.0	27.0	26.1	25.1
2.5	13.2	13.0	13.0

Daya pada beban 3/4 maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	12.7	12.1	12.0
1.5	20.7	19.8	19.3
2.0	29.5	28.0	27.5
2.5	34.5	34.0	32.5
3.0	35.2	34.7	34.5
3.5	34.1	32.5	32.3

Daya beban maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	13.1	12.7	12.5
1.5	21.4	20.8	20.4
2.0	29.7	29.3	26.6
2.5	35.0	33.7	32.3
3.0	37.7	37.3	36.4
3.5	39.6	37.8	37.6
4.0	39.9	39.2	38.9



**Gambar 3**  
**Putaran mesin Vs Daya bahan bakar percontohh MS-1, MS-2 dan MS-0**



### 3. Konsumsi bahan bakar spesifik

Hasil uji konsumsi bahan bahan bakar spesifik (SFC) pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, percontoh beban  $\frac{3}{4}$  maksimum dan beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan konsumsi bahan bakar spesifik percontoh MS-0 rata-rata masing-masing disajikan pada Tabel 5. Kecenderungan perubahan konsumsi bahan bahan bakar spesifik pada setiap beban disajikan pada Gambar 4.

- Hasil uji konsumsi bahan bahan bakar spesifik pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan konsumsi bahan bahan bakar spesifik percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 1,77% dan 4,68%.
- Hasil uji konsumsi bahan bahan bakar spesifik pada beban  $\frac{3}{4}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan konsumsi bahan bahan bakar spesifik percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 2,44% dan 4,27%.
- Hasil uji konsumsi bahan bahan bakar spesifik pada beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan konsumsi bahan bahan bakar spesifik percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 2,75% dan 5,11%.

Rekapitulasi efek konsumsi bahan bahan bakar spesifik minyak solar MS-1 rata-rata, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan konsumsi bahan bahan bakar spesifik minyak solar referensi (MS-0) rata-rata pada 3 kategori beban adalah masing-masing lebih rendah 2,31% dan 4,69%.

### 4. Emisi nitrogen oksida

Hasil uji emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, percontoh  $\frac{3}{4}$  maksimum dan beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) percontoh MS-0 rata-rata masing-masing disajikan pada Tabel 6. Kecenderungan perubahan emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) pada setiap beban disajikan pada Gambar 5.

- Hasil uji emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah

lebih tinggi 4,70% dan 7,22%.

- Hasil uji emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) pada Beban  $\frac{3}{4}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan konsumsi bahan bahan bakar spesifik percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) lebih tinggi 3,76% dan 7,17%.
- Hasil uji emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) pada beban maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) percontoh MS-0 rata-rata masing-masing adalah lebih tinggi 3,83% dan 7,96%.

Rekapitulasi efek nitrogen oksida minyak solar MS-1 rata-rata, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan nitrogen oksida minyak solar referensi (MS-0) pada 3 kategori beban adalah masing-masing lebih rendah 3,99% dan 7,53%.

### 5. Opasitas

Hasil uji opasitas terhadap putaran mesin yang menggunakan tiga percontoh minyak solar MS-0, MS-1 dan MS-2 pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, beban  $\frac{3}{4}$  maksimum dan beban maksimum disajikan pada Tabel 7. Kecenderungan perubahan opasitas mesin minyak solar MS-0, MS-1 dan MS-2 terhadap putaran mesin pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum, beban  $\frac{3}{4}$  maksimum dan beban maksimum disajikan pada Gambar 5.

- Hasil uji opasitas pada beban  $\frac{1}{2}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan opasitas percontoh MS-0 rata-rata masing-masing lebih rendah 1,82% dan 5,82%.
- Pengaruh opasitas pada beban  $\frac{3}{4}$  maksimum percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan opasitas percontoh MS-0 rata-rata masing-masing lebih rendah 3,85% dan 6,66%.
- Pengaruh opasitas percontoh MS-1, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan opasitas percontoh MS-0 rata-rata masing-masing lebih rendah 4,61% dan 9,72%.

Rekapitulasi efek opasitas minyak solar MS-1 rata-rata, MS-2 rata-rata dibandingkan dengan opasitas minyak solar referensi (MS-0) pada 3 kategori beban adalah masing-masing lebih rendah 3,42% dan 7,40%.

Dari hasil-hasil uji torsi rata-rata, daya rata-rata, konsumsi bahan bakar, emisi gas buang dapat dinyatakan/diambil kesimpulan bahwa bertambah besar kandungan PAH dalam minyak solar dan

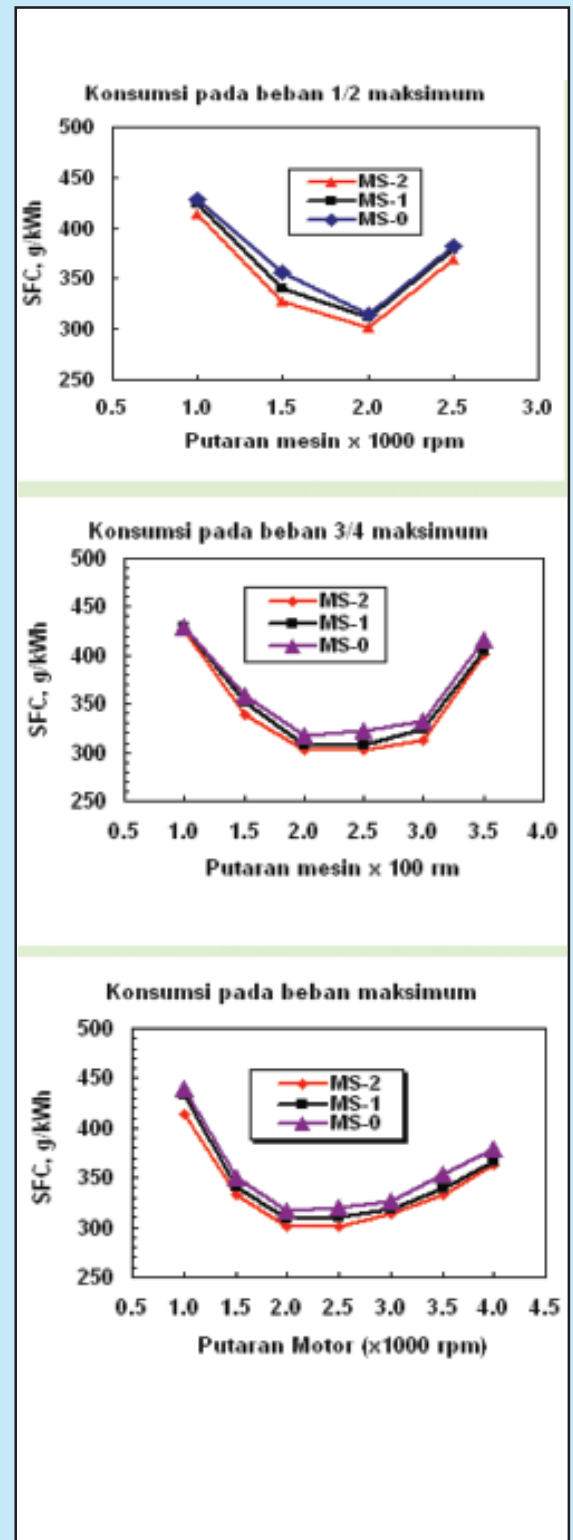


**Tabel 5**  
Hasil uji konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) percontohh MS-2, MS-1 dan MS-0

Konsumsi pada beban 1/2 maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	414.2	423.5	428.20
1.5	327.6	341.1	356.70
2.0	301.5	311.2	314.80
2.5	369.3	379.9	382.30

Konsumsi pada beban 3/4 maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	426.60	429.8	430.00
1.5	338.40	352.6	359.20
2.0	303.00	307.5	316.90
2.5	303.30	306.8	322.70
3.0	312.20	324	332.50
3.5	401.20	404	416.50

Konsumsi pada beban maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	413.60	433.2	439.70
1.5	333.40	340.1	350.10
2.0	301.60	308.3	316.30
2.5	301.40	310.7	319.60
3.0	313.30	319.1	326.50
3.5	332.20	338.7	354.00
4.0	362.60	366.5	378.80



**Gambar 4**  
Putaran mesin Vs konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) percontohh MS-1, MS-2 dan MS-0

**Tabel 6**  
Hasil Uji kadar emisi NOx  
percontohh MS-2, MS-1 dan MS-0

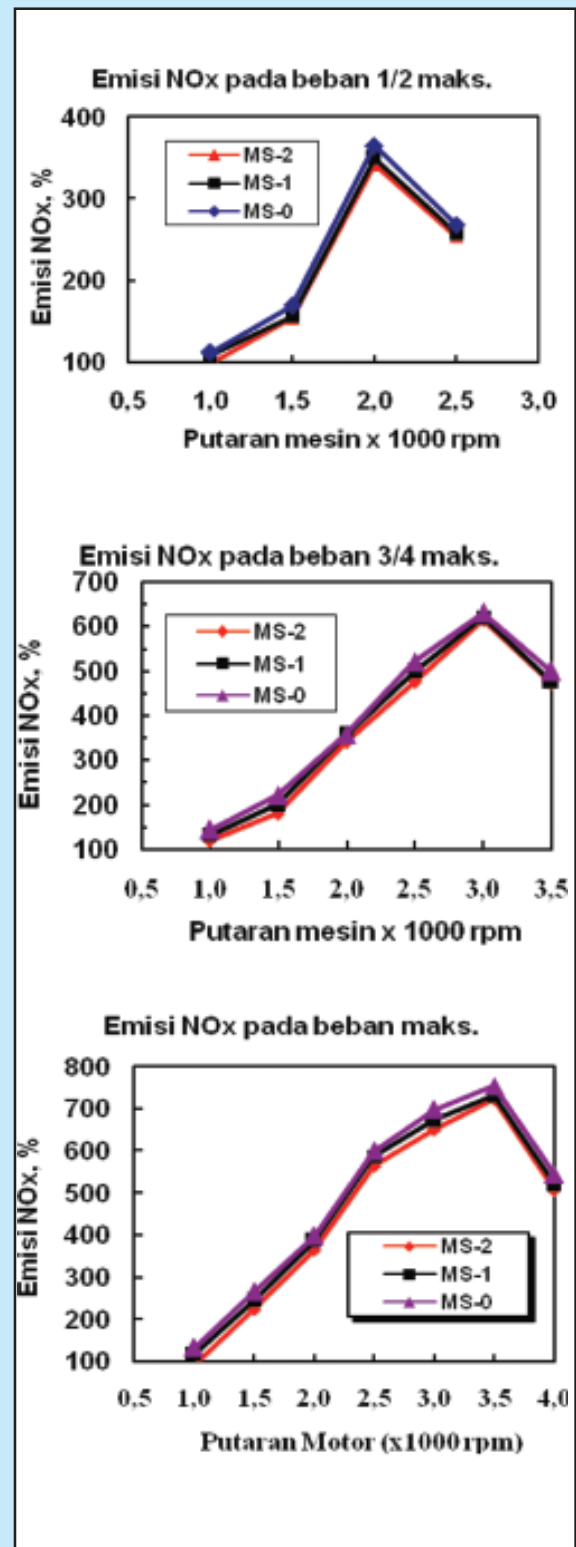
Emisi NOx pada beban 1/2 maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	99	108	112
1.5	154	156	169
2.0	341	349	365
2.5	254	258	268

Emisi NOx pada beban 3/4 maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	119	132	143
1.5	180	200	220
2.0	340	356	358
2.5	475	498	521
3.0	614	620	630
3.5	472	475	498

Emisi NOx pada beban maksimum pada setiap putaran mesin (rpm)			
RPM	MS-2	MS-1	MS-0
1.0	90	118	132
1.5	223	245	265
2.0	365	386	398
2.5	564	587	600
3.0	651	673	698
3.5	722	731	755
4.0	506	521	543



**Gambar 5**  
Emisi bahan bakar MS-1, MS-2 dan MS-0  
pada setiap putaran mesin

Tabel 7  
Hasil uji opasitas percontohh MS-0, MS-1 dan MS-2

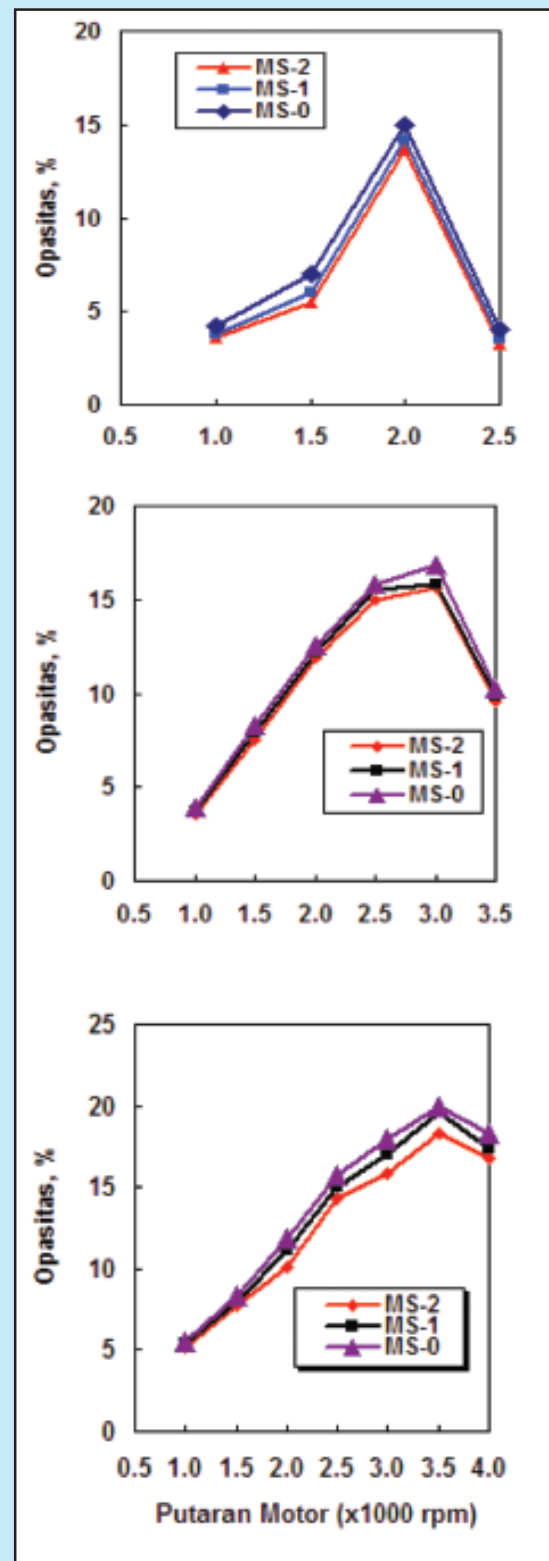
<b>Beban 1/2 Maksimum</b>			
Putaran mesin	Hasil Uji Percontoh, %		
	MS-2	MS-1	MS-0
1000	3.6	3.8	4.2
1500	5.5	6.0	7.0
2000	13.6	14.2	15.0
2500	3.2	3.5	4.0

<b>Beban 3/4 maksimum</b>			
Putaran mesin	Hasil Uji Percontoh, %		
	MS-2	MS-1	MS-0
1000	3.5	3.7	3.9
1500	7.5	7.9	8.3
2000	11.9	12.2	12.6
2500	15.0	15.5	15.8
3000	15.6	15.8	16.8
3500	9.6	9.9	10.2

<b>Beban Maksimum</b>			
Putaran mesin	Hasil Uji Percontoh, %		
	MS-2	MS-1	MS-0
1000	5.2	5.4	5.5
1500	7.7	8.0	8.3
2000	10.1	11.2	11.9
2500	14.3	15.0	15.7
3000	15.8	17.0	18.0
3500	18.3	19.6	20.0
4000	16.8	17.4	18.3



Gambar 6  
Opasitas percontohh MS-0, MS-1 dan MS-2

bertambah kecil nilai kalor percontoh minyak solar sehingga bertambah kecil kinerja dan bertambah tinggi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buangnya.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Hasil Uji Sifat Fisika Kimia

Peralatan uji kandungan aromatik dalam minyak solar telah tersedia di PPPTMGB "LEMIGAS" oleh sebab itu maka kandungan poliaromatik hidrokarbon (PAH) dalam minyak solar perlu ditetapkan dengan memperhatikan perkembangan teknologi mesin otomotif, spesifikasi bahan bakar diesel internasional dan kemampuan kilang dalam negeri.

Secara keseluruhan hasil-hasil uji sifat fisika kimia percontoh MS-0, MS-1, MS-2 masing-masing memenuhi spesifikasi minyak Solar 48 yang ditetapkan Pemerintah menurut SK Dirjen Migas No. 3675 K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006.

### B. Hasil Uji Kinerja

Hasil-hasil pengujian kinerja percontoh minyak solar uji rata-rata MS-1 (8,21% PAH dan 22,5% volume total aromatik), MS-2 (11,12% PAH dan 28,80% volume, total aromatik) dibandingkan dengan kinerja minyak solar referensi MS-0 (12,69% PAH dan 36,33% volume total aromatik) diuraikan sebagai berikut:

- Torsi lebih tinggi 2,57% dan 5,83%
- Daya lebih tinggi 2,57% dan 5,83%
- Konsumsi bahan bakar spesifik lebih rendah 2,31% dan 4,69%
- Opasitas lebih rendah 3,42% dan 7,40%
- Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>) lebih rendah 3,99% dan 7,53%.

### C. Saran

Pembatasan kandungan aromatik (PAH dan total aromatik) dalam minyak solar Indonesia disarankan mempertimbangkan kandungan aromatik dalam spesifikasi minyak solar internasional dan kemampuan kilang dalam negeri.

## KEPUSTAKAAN

1. ACEA, Alliance, EMA, JAMA, September 2006, "World-wide Fuel Charter"
2. Fetzer, J. C., 2000, "The Chemistry and Analysis of the Large Polycyclic Aromatic Hydrocarbons". Polycyclic Aromatic Compounds (New York: Wiley) 27: 143.
3. Luch, A. (2005). The Carcinogenic Effects of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. London: Imperial College Press. ISBN 1-86094-417-5.
4. Lin Y.C., Lee W.J. Hou H.C., 2006, " PAH emissions and energy efficiency of palm biodiesel blends fueled on diesel generator. Atmospheric Environment, 40, 3930-3940.
5. Mi HH, Lee WJ, Chen CB, Yang HH, Wu SJ, 2009 "Effect of fuel aromatic content on PAH emission from a heavy-duty diesel engine", Department of Environmental Engineering and Health, Chia-Nan College of Pharmacy and Science, Tainan, Taiwan, ROC. Chien et al., Aerosol and Air Quality Research, Vol. 9, No. 1, pp. 18-31, 2009.
6. Petroleum Association of Japan, 1999, "Petroleum Toward Harmonization with Environment", PAJ, Tokyo.
7. Robert Bosch GmbH, Stuttgart, Automotive Hand Book 3rd Edition, Jerman.
8. Shu-Mei Chien, Yuh-Jeen Huang, Shunn-Cheng Chuang, Hsi-Hsien Yang, 2005, "Effects of Biodiesel Blending on Particulate and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Emissions in Nano/Ultrafine/Fine/Coarse Ranges from Diesel Engine". Department of Biomedical Engineering & Environmental Sciences, National Tsing Hua University, Hsinchu 300, Taiwan,
9. Yuan-Chung Lin & Wen-Jhy Lee & Chung-Bang Chen, 2006 " Characterization of polycyclic aromatic hydrocarbons from the diesel engine by adding light cycle oil to premium diesel fuel", Journal of the Air & Waste Management Association - June, 2006 .