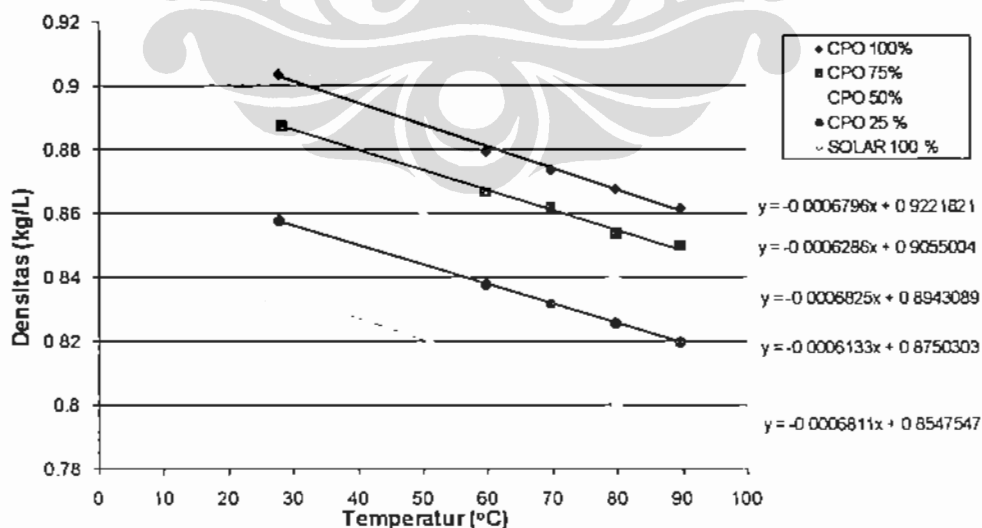


## BAB IV

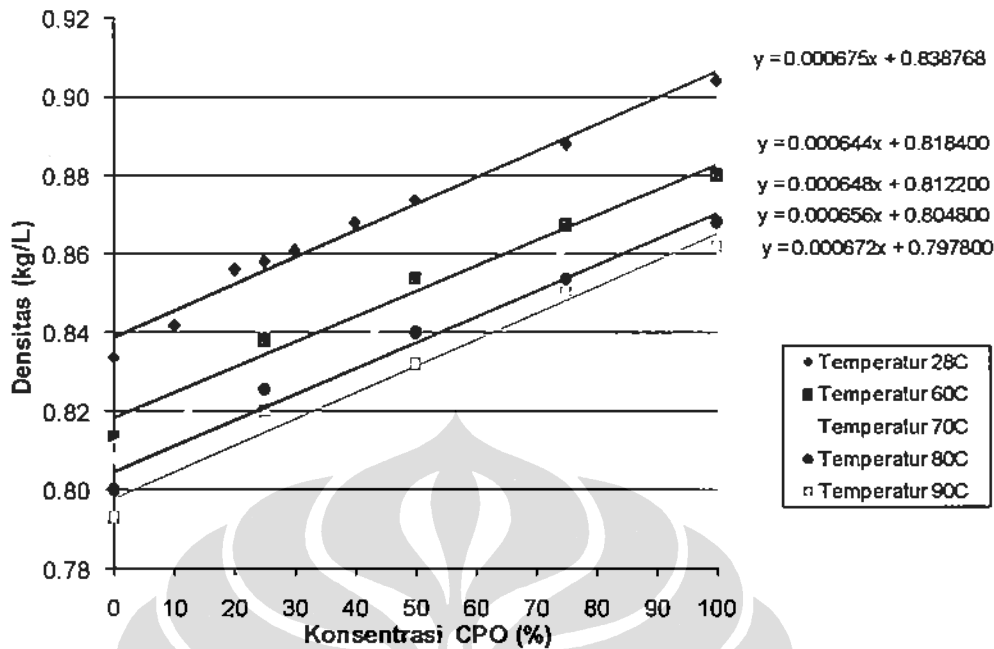
### HASIL DAN ANALISA DATA

#### 4.1. PENGARUH TEMPERATUR DAN PENCAMPURAN TERHADAP DENSITAS SERTA VISKOSITAS MINYAK KELAPA SAWIT

Densitas (*density*) dan viskositas (*viscosity*) minyak kelapa sawit (CPO) sangat dipengaruhi oleh perubahan temperatur serta perubahan konsentrasi/campuran minyak kelapa sawit dengan solar. Kenaikan temperatur akan mengakibatkan penurunan nilai densitas CPO maupun campuran CPO dengan solar. Peningkatan konsentrasi CPO pada campuran CPO dengan solar akan mengakibatkan peningkatan nilai densitas campuran. Hubungan antara kenaikan temperatur terhadap densitas CPO maupun campuran CPO dengan bahan bakar solar pada konsentrasi tertentu adalah linier. Hal yang sama juga terdapat hubungan yang linier antara perubahan konsentrasi campuran CPO dan bahan bakar solar dengan densitas pada temperatur tertentu. Grafik hasil pengujian hubungan antara densitas CPO dan campurannya dengan kenaikan temperatur dapat dilihat pada gambar 4.1. dan grafik hubungan antara densitas dengan kenaikan konsentrasi CPO dan campurannya pada temperatur tertentu dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.1. Grafik pengaruh temperatur terhadap densitas CPO dan campurannya



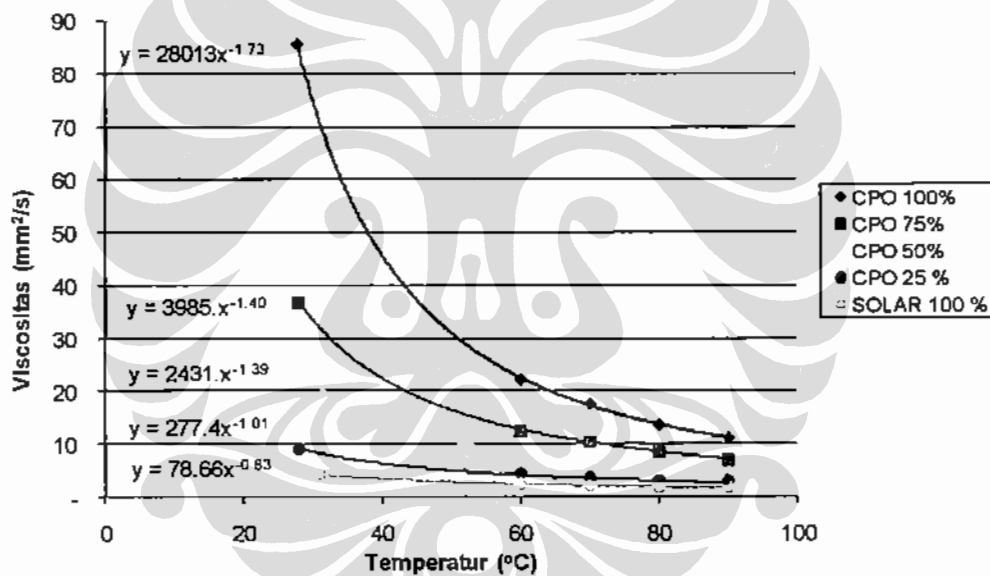
Gambar 4.2. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap densitas CPO dan campurannya

Densitas bahan bakar yang sejenis sangat berpengaruh terhadap jumlah energi persatuan volume yang terkandung didalam bahan bakar yang disemprotkan ke dalam ruang bakar. Semakin tinggi densitas bahan bakar maka jumlah energi persatuan volume yang terkandung didalam bahan bakar akan semakin besar.

Viskositas yang merupakan ukuran kemampuan mengalir fluida dalam hal ini bahan bakar didalam saluran akan semakin kecil seiring dengan peningkatan temperatur bahan bakar dan akan semakin besar dengan peningkatan konsentrasi CPO didalam campuran bahan bakar dengan solar. Penurunan nilai viskositas akan meningkatkan kemampuan mengalir bahan bakar sehingga jumlah bahan bakar persatuan volume yang dialirkan pada tekanan yang sama akan semakin besar. Viskositas yang terlalu tinggi akan menyebabkan masalah pada sistem suplai bahan bakar dan menyebabkan penyumbatan pada saringan bahan bakar. Semakin tinggi viskositas bahan bakar maka kerja pompa yang dibutuhkan akan semakin besar agar jumlah bahan bakar yang mengalir sesuai dengan kebutuhan mesin. Kekurangan suplai bahan bakar akan mengakibatkan kerja yang dihasilkan

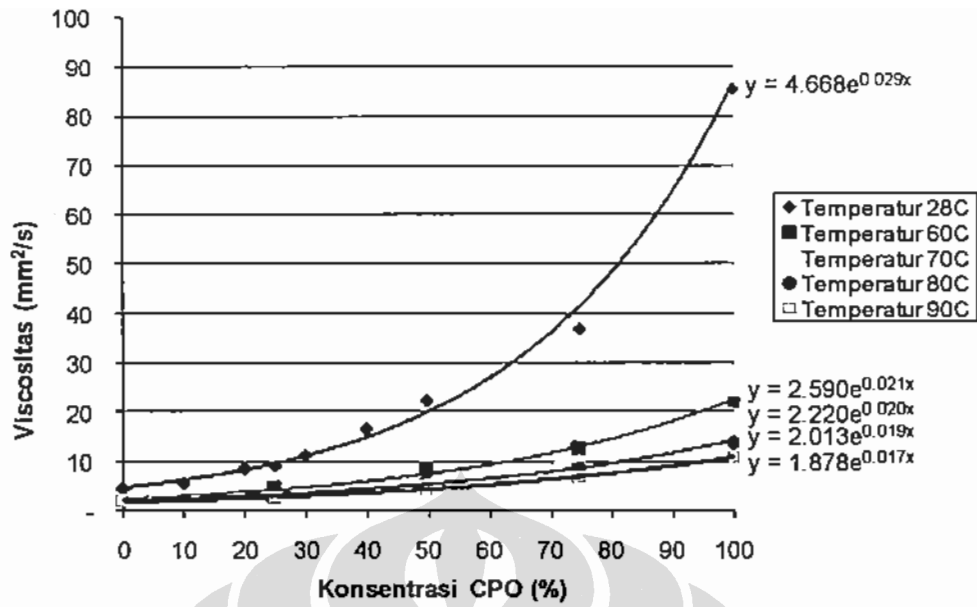
oleh mesin semakin kecil dan dapat menyebabkan putaran mesin tidak stabil yang pada akhirnya menyebabkan mesin berhenti beroperasi.

Viskositas CPO 100% pada temperatur 28 °C sebesar 85,57 mm<sup>2</sup>/s dan sebesar 22,26 mm<sup>2</sup>/s pada 60 °C, 17,68 mm<sup>2</sup>/s pada 70 °C, 13,75 mm<sup>2</sup>/s pada 80 °C serta 11,19 mm<sup>2</sup>/s pada 90 °C. Viskositas CPO 100% tersebut jauh lebih besar dibandingkan viskositas solar murni yang pada temperatur 28 °C sebesar 4,52 mm<sup>2</sup>/s dan sebesar 2,47 mm<sup>2</sup>/s pada 60 °C, 2,21 mm<sup>2</sup>/s pada 70 °C, 1,99 mm<sup>2</sup>/s pada 80 °C serta 1,89 mm<sup>2</sup>/s pada 90 °C. Viskositas campuran CPO dengan solar pada temperatur yang sama akan berada direntang antara viskositas CPO 100% dengan solar murni. Viskositas campuran ini juga akan menurun dengan kenaikan temperatur. Grafik hubungan antara viskositas CPO dan campurannya dengan kenaikan temperatur dapat dilihat pada gambar 4.3.

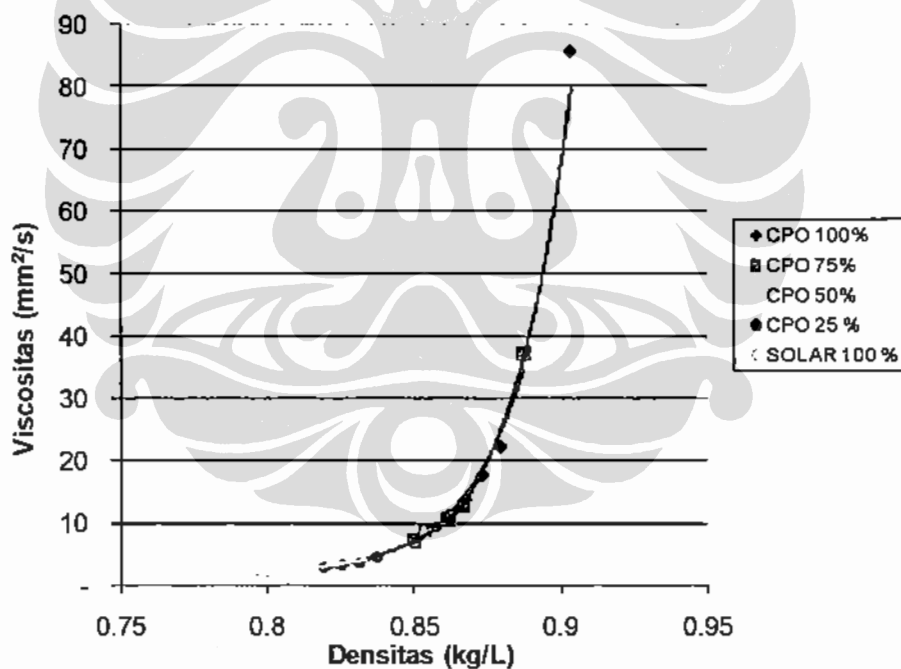


Gambar 4.3. Grafik pengaruh temperatur terhadap viskositas CPO dan campurannya

Viskositas campuran CPO dengan solar juga akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi CPO pada temperatur yang sama, dimana pada temperatur 28 °C untuk campuran CPO 75% sebesar 37,04 mm<sup>2</sup>/s dan campuran CPO 50% sebesar 22,42 mm<sup>2</sup>/s serta campuran CPO 25% sebesar 9,37 mm<sup>2</sup>/s. Grafik hubungan antara viskositas dengan kenaikan konsentrasi CPO diperlihatkan gambar 4.4.



Gambar 4.4. Grafik pengaruh konsentrasi terhadap viskositas CPO dan campurannya



Gambar 4.5. Grafik pengaruh densitas terhadap viskositas CPO dan campurannya

Viskositas CPO dan campurannya sangat berkaitan erat dengan densitasnya. Perubahan temperatur dan perubahan konsentrasi CPO dan campurannya akan mengakibatkan perubahan densitas yang pada akhirnya akan

mengubah viskositas dari CPO dan campurannya tersebut. Kenaikan densitas yang diakibatkan penurunan temperatur dan peningkatan konsentrasi campuran akan meningkatkan nilai viskositasnya. Hubungan antara kenaikan viskositas CPO dan campuran sebagai akibat perubahan densitas diperlihatkan pada gambar 4.5.

#### 4.2. PENGARUH KONSENTRASI CPO TERHADAP ANGKA SETANA

Angka Setana (*cetane number*/CN) merupakan ukuran kemampuan terbakar sendirinya (*auto ignition*) bahan bakar yang didapatkan dengan membandingkannya terhadap nilai bahan bakar referensi pada pengujian dengan mesin diesel standard. Peningkatan nilai angka setana pada bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang sama berakibat terhadap penurunan *ignition delay* sehingga langkah kerja menjadi lebih panjang dan akan meningkatkan kerja mesin yang pada akhirnya akan meningkatkan efisiensi thermal mesin tersebut.

Pengujian angka setana bahan bakar mengacu pada ASTM D613 *Standard Test Method for Cetane Number of Diesel Fuel Oil* yang dilakukan di Laboratorium Pengujian Cetane Number Lemigas. Pengujian dilakukan untuk sampel bahan bakar 100% solar, campuran 25 % CPO dengan 75% solar, campuran 50 % CPO dengan 50% solar, campuran 75 % CPO dengan 25% solar serta 100% CPO. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai angka setana bahan bakar solar murni sebesar 52,2, campuran 25 % CPO dengan 75% solar sebesar 53, campuran 50 % CPO dengan 50% solar sebesar 53,9 dan campuran 75 % CPO dengan 25% solar sebesar 52,2, sedangkan untuk 100% CPO angka setananya tidak terukur karena tidak terjadinya proses pembakaran. Peningkatan angka setana pada prosentase 25% CPO dan 50% CPO mengindikasikan bahwa sebenarnya angka setana CPO lebih tinggi dari angka setana solar. Tidak terdeteksinya angka setana untuk 100% CPO dan menurunnya angka setana pada 75% CPO dibandingkan angka setana pada konsentrasi CPO yang lebih rendah membuktikan bahwa standard pengujian ASTM D613 tidak sesuai untuk pengujian angka setana bahan bakar yang memiliki viskositas yang tinggi seperti CPO.

Pada ASTM D613 disebutkan bahwa standard ini kemungkinan dapat dipergunakan untuk bahan bakar sintetis, bahan bakar yang berasal dari tumbuh-tumbuhan (*vegetable oil*) dan bahan bakar lainnya. Salah satu persyaratan yang disebutkan pada standard uji tersebut yang tidak mungkin dapat dipenuhi oleh bahan bakar yang memiliki viskositas yang tinggi seperti CPO adalah bahwa laju aliran injeksi bahan bakar sebesar  $13,06 \pm 0,2$  mL/min pada tekanan injektor sebesar  $10,3 \pm 0,34$  Mpa. Laju aliran yang dipersyaratkan tersebut sebenarnya hanya dapat dipenuhi oleh bahan bakar yang memiliki viskositas yang cukup rendah seperti bahan bakar solar yang memiliki standard viskositas pada  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  sebesar minimum  $2\text{ mm}^2/\text{s}$  dan maksimum  $5\text{ mm}^2/\text{s}$  serta biodiesel dengan standard viskositas pada  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  sebesar minimum  $2,3\text{ mm}^2/\text{s}$  dan maksimum  $6\text{ mm}^2/\text{s}$ . Ketidakmampuan CPO memenuhi laju aliran yang dipersyaratkan oleh mesin uji standard yang tidak menggunakan pemanas bahan bakar tersebut mengakibatkan tidak terjadinya pembakaran pada saat pengujian angka setana untuk CPO 100% serta menurunnya angka setana untuk CPO 75%. Pencapaian *injection flow rate* yang dipersyaratkan tersebut pada konsentrasi CPO ini hanya akan dapat terpenuhi dengan penambahan peralatan pemanas bahan bakar pada keseluruhan sistem suplai bahan bakar atau meningkatkan tekanan injeksi bahan bakar. Peningkatan tekanan injeksi bahan bakar pada standar uji ini jelas sangat tidak diperbolehkan dan diharuskan bahwa tekanan injeksi bahan bakar berada pada kisaran  $10,3 \pm 0,34$  Mpa. Dengan demikian, pengujian angka setana CPO dan campurannya hanya akan menjadi layak jika mesin uji diperlengkapi dengan pemanas (*heater*) bahan bakar pada keseluruhan sistem suplai bahan bakar, mulai dari tabung penempatan sampel sampai posisi sebelum bahan bakar masuk ke ruang bakar.

Angka setana bahan bakar sebenarnya didapat dengan dua metode yaitu metode pengujian secara langsung dengan menggunakan mesin uji standard sesuai prosedur ASTM D613 dan metode perhitungan yang menggunakan pendekatan yang disebut dengan indeks cetana (*cetane index*). Perhitungan *cetane index* (CI) menggunakan rumusan sebagai berikut:

$$CI = -420.34 + 0.016 G^2 + 0.192 G \log M + 65.01 (\log M)^2 - 0.0001809 M^2$$

Dimana:

$G = \text{API Degrees pada } 60^\circ\text{F} = 141,5/\text{SG} - 131,5$

$Sg = \text{Specific gravity bahan bakar pada } 60^\circ\text{F}$

$M = \text{Temperature Destilasi bahan bakar pada } 50\% \text{ volume dalam } ^\circ\text{F}.$

Metode perhitungan ini pada dasarnya digunakan untuk produk yang berasal dari minyak bumi dikarenakan rumusan perhitungan cetane index diatas didapatkan dengan pendekatan karakteristik bahan bakar minyak bumi terhadap hasil pengujian cetane number pada mesin uji standard. Berdasarkan hal ini maka perlu penyesuaian untuk perhitungan cetane index untuk bahan bakar yang memiliki viskositas yang tinggi dengan pendekatan yang diselaraskan terhadap hasil pengujian pada mesin uji standard yang dilengkapi dengan sistem pemanas bahan bakar.

Pada *quality standard for rapeseed oil as a fuel* oleh Elsbett Company seperti yang terdapat pada [www.elsbett.com](http://www.elsbett.com) [6] disebutkan bahwa belum adanya metode yang sesuai untuk pengujian angka setana bagi *rapeseed oil*, karena metode untuk standard uji yang ada saat ini semuanya menggunakan *conventional diesel engine* dimana jika angka setana rapeseed oil diukur menggunakan metode konvensional maka hasil yang didapat lebih buruk, namun berdasarkan praktek terlihat bahwa *ignition delay* yang terjadi saat menggunakan rapeseed oil lebih pendek dibandingkan menggunakan bahan bakar diesel. Hal ini membuktikan bahwa sebenarnya angka setana rapeseed oil (*vegetable oil*) lebih tinggi dibandingkan angka setana bahan bakar diesel (solar). Ketidaksesuaian standard uji yang ada untuk pengukuran angka setana bahan bakar nabati mengakibatkan beragamnya pernyataan angka setana untuk minyak kelapa sawit dari kisaran angka 47 sampai 60.

Angka setana yang didefinisikan pada ASTM D613 merupakan persentase volume dari normal setana dengan angka setana 100 dalam campurannya dengan *heptamethyl nonane (HMN)* dengan angka setana 15. Rumusan penentuan angka setana adalah:

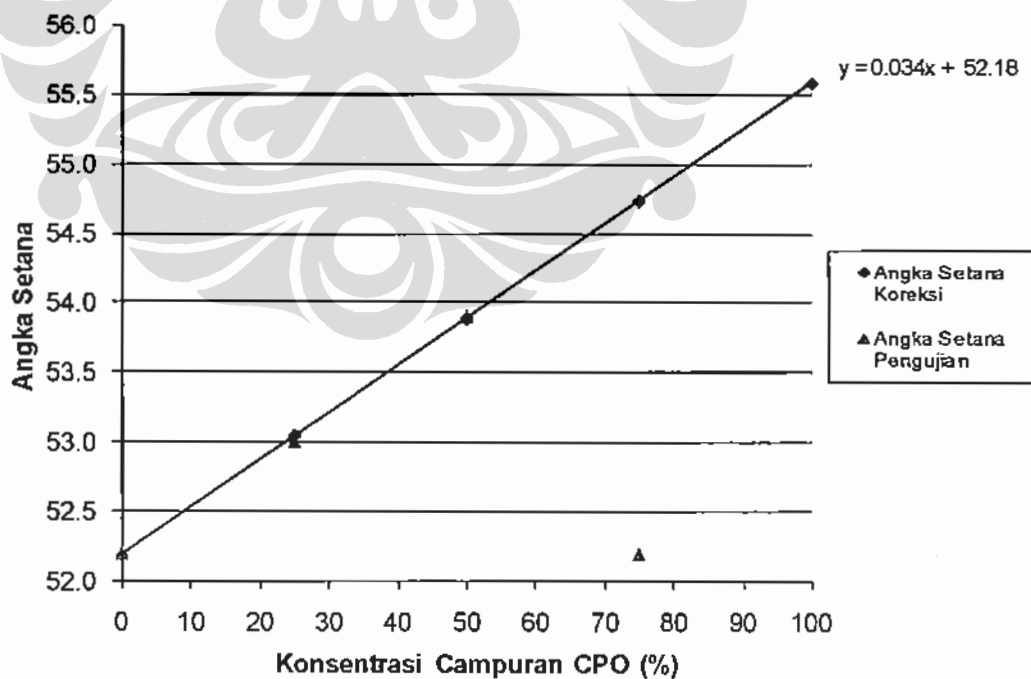
$\text{Cetane Number} = \% \text{ n-cetane} + 0.15 (\% \text{HMN}).$

Rumusan tersebut mengindikasikan bahwa hubungan antara kenaikan konsentrasi campuran terhadap angka setana adalah linier. Berdasarkan hubungan ini maka

hubungan antara angka setana dengan kenaikan konsentrasi CPO pada campurannya dengan solar juga memiliki hubungan yang linier. Hubungan yang linier tersebut digunakan untuk mendapatkan angka setana yang sesuai untuk konsentrasi CPO 75% dan 100% yang mengacu pada hasil pendekatan regresi linier dari kenaikan angka setana pada konsentrasi CPO 25% dan 50%. Secara lengkap hasil perhitungan angka setana untuk kenaikan konsentrasi CPO dapat dilihat pada tabel 4.1 dan hubungan antara kenaikan konsentrasi CPO pada campurannya dengan solar terhadap kenaikan angka setana diperlihatkan pada gambar 4.6.

Tabel 4.1. Hubungan konsentrasi CPO terhadap angka setana

Konsentrasi CPO (%)	Angka Setana Pengujian	Angka Setana Koreksi
0	52,2	52,2
25	53,0	53,0
50	53,9	53,9
75	52,2	54,7
100	Tidak terdeteksi	55,6



Gambar 4.6. Grafik hubungan konsentrasi CPO terhadap angka setana



### 4.3. PENGARUH KONSENTRASI CPO TANPA PEMANASAN TERHADAP UNJUK KERJA MESIN

Pada pengujian pengoperasian mesin diesel genset menggunakan bahan bakar campuran CPO tanpa pemanasan ditemukan bahwa pengoperasian dengan campuran CPO 75% menyebabkan mesin tidak dapat mencapai putaran yang diharapkan (*menggantung/hunting*) yang kemudian mati secara mendadak. Hal ini disebabkan tersumbatnya filter bahan bakar dan ketidakmampuan pompa bahan bakar yang terpasang pada mesin untuk mensuplai bahan bakar sesuai dengan laju aliran (*flow rate*) yang dibutuhkan oleh mesin. Kondisi ini juga merupakan gambaran bahwa viskositas yang sangat tinggi pada campuran CPO 75% pada temperatur ruang mengakibatkan masalah pada sistem suplai bahan bakar untuk spesifikasi mesin yang diuji. Berdasarkan kondisi tersebut maka pengujian unjuk kerja mesin yang dilakukan pada penggunaan campuran CPO tanpa pemanasan sebagai bahan bakar hanya untuk konsentrasi campuran CPO 10%, 20%, 25%, 30%, 40% dan 50%, hal mana pada konsentrasi campuran tersebut tidak terdapat hambatan selama pengoperasian mesin diesel genset.

Unjuk kerja mesin yang menjadi tinjauan pada pengujian penggunaan campuran CPO tanpa pemanasan sebagai bahan bakar mesin diesel genset adalah unjuk kerja *Specific Fuel Consumption (SFC)*, efisiensi thermal, opasitas dan temperatur gas buang.

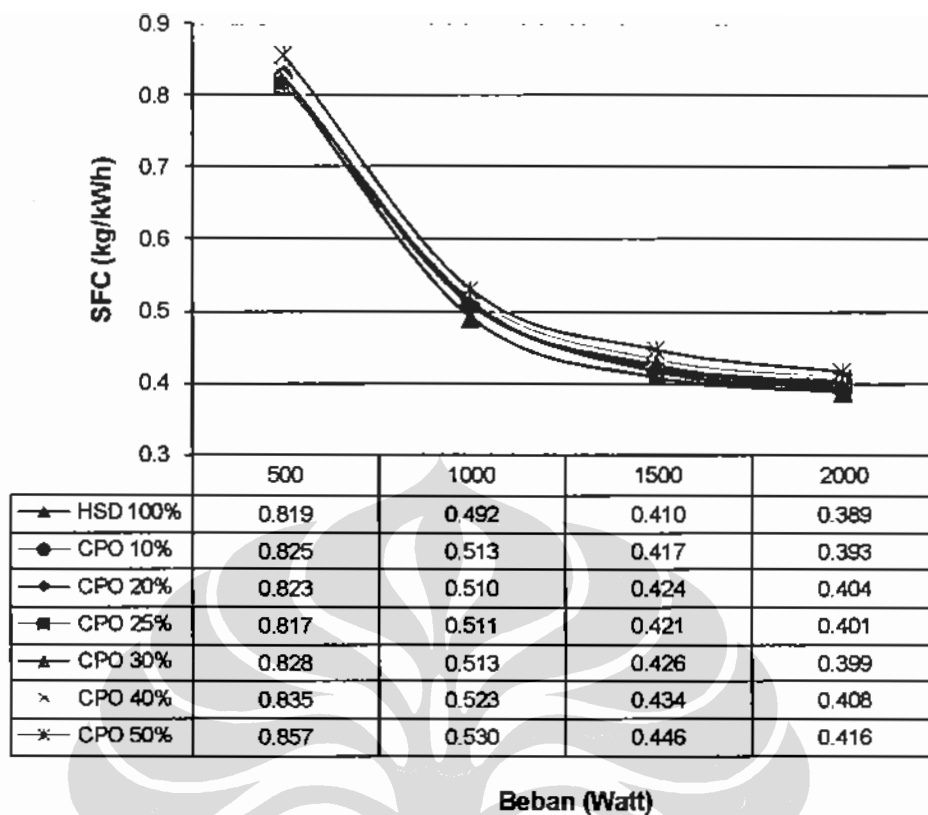
#### 4.3.1. Specific Fuel Consumption (SFC)

*Specific fuel consumption (SFC)* merupakan parameter yang sangat dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar. SFC akan semakin baik dengan meningkatnya nilai kalor bahan bakar yang dioperasikan pada efisiensi thermal mesin sama dan pada bahan bakar yang memiliki nilai kalor yang sama maka kenaikan efisiensi thermal akan berakibat menurunnya SFC. Nilai kalor bahan bakar solar sebesar 43.124 kJ/kg jauh lebih besar dibandingkan nilai kalor CPO dengan nilai kalor 36.711 kJ/kg. Perbedaan nilai kalor dari kedua bahan bakar tersebut mengakibatkan SFC untuk bahan bakar solar terlihat lebih rendah dari hampir keseluruhan SFC untuk penggunaan CPO sebagai bahan bakar. Kenaikan efisiensi thermal yang tidak begitu besar pada beberapa campuran CPO tanpa

pemanasan tidak dapat menutupi dampak dari perbedaan nilai kalor bahan bakar yang cukup besar yang mengakibatkan SFC untuk bahan bakar solar lebih rendah dari SFC campuran CPO.

Pencampuran CPO dengan solar akan merubah nilai kalor bahan bakar yang akan digunakan. Peningkatan konsentrasi CPO pada campuran CPO dengan solar mengakibatkan menurunnya nilai kalor campuran tersebut. Hal ini berakibat terhadap kecenderungan untuk peningkatan SFC dengan peningkatan konsentrasi CPO pada keseluruhan posisi beban. Hubungan antara SFC dengan variasi pembebanan 500W, 1000W, 1500W dan 2000W pada konsentrasi CPO sebesar 10%, 20%, 25%, 30%, 40% dan 50% diperlihatkan pada gambar 4.7.

Pada gambar 4.7 terlihat bahwa semakin meningkatnya beban yang diberikan (*output power*) akan menurunkan nilai SFC pada keseluruhan konsentrasi CPO. Menurunnya nilai SFC pada peningkatan beban untuk setiap konsentrasi CPO disebabkan karena pada kecepatan putaran mesin yang tetap maka kerugian gesekan (*friction losses*) yang terjadi adalah tetap [7] sehingga persentase *friction losses* menjadi menurun dibandingkan dengan persentase *output power* yang juga akan berdampak positif terhadap peningkatan efisiensi thermal dari sistem. Pada grafik ini juga terlihat bahwa peningkatan konsentrasi CPO juga akan mengakibatkan peningkatan SFC dibandingkan SFC pada pemakaian bahan bakar solar. Hal ini disebabkan semakin rendahnya nilai kalor yang terkandung pada bahan bakar seiring dengan peningkatan konsentrasi CPO. Dengan kata lain, dampak peningkatan efisiensi thermal yang terjadi pada peningkatan konsentrasi CPO tidak dapat menutupi efek dari selisih nilai kalor yang cukup besar antara nilai kalor CPO dengan solar yang menyebabkan SFC semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi campuran CPO.

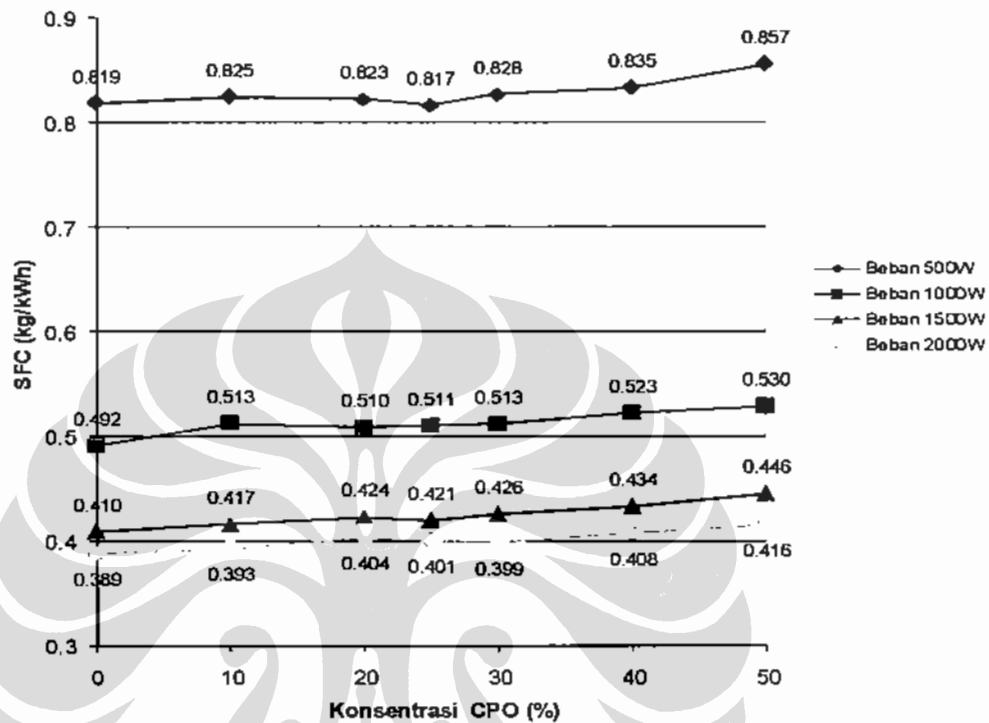


Gambar 4.7. Grafik hubungan SFC terhadap pembebanan pada variasi konsentrasi CPO

Pengaruh perubahan konsentrasi CPO pada bahan bakar terhadap besaran nilai SFC semakin jelas terlihat pada gambar 4.8 dan tabel 4.2:

- Secara umum dapat dikatakan bahwa peningkatan konsentrasi CPO akan mengakibatkan peningkatan SFC pada kondisi beban yang sama.
- Pada beban 500W, 1500W dan 2000W SFC campuran CPO 25% lebih kecil daripada SFC campuran CPO 20% serta pada beban 2000W juga terlihat bahwa SFC campuran CPO 30% lebih kecil daripada SFC campuran 25% dan 20%. Hal ini disebabkan karena efisiensi thermal pada kondisi beban 500W, 1500W dan 2000W untuk campuran CPO 25% lebih tinggi daripada efisiensi thermal campuran CPO 20% pada beban yang sama, begitu juga pada beban 2000W efisiensi thermal campuran CPO 30% lebih besar daripada efisiensi thermal campuran CPO 20% dan 25%.
- Persentase rata-rata kenaikan SFC dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 10% sebesar 2.04%.

campuran CPO 20% sebesar 2,86%, campuran CPO 25% sebesar 2,36%, campuran CPO 30% sebesar 2,98%, campuran CPO 40% sebesar 4,76% dan campuran CPO 50% sebesar 7,07%.



Gambar 4.8. Grafik hubungan SFC dengan konsentrasi CPO tanpa pemanasan

Tabel 4.2. Kenaikan SFC campuran CPO tanpa pemanasan

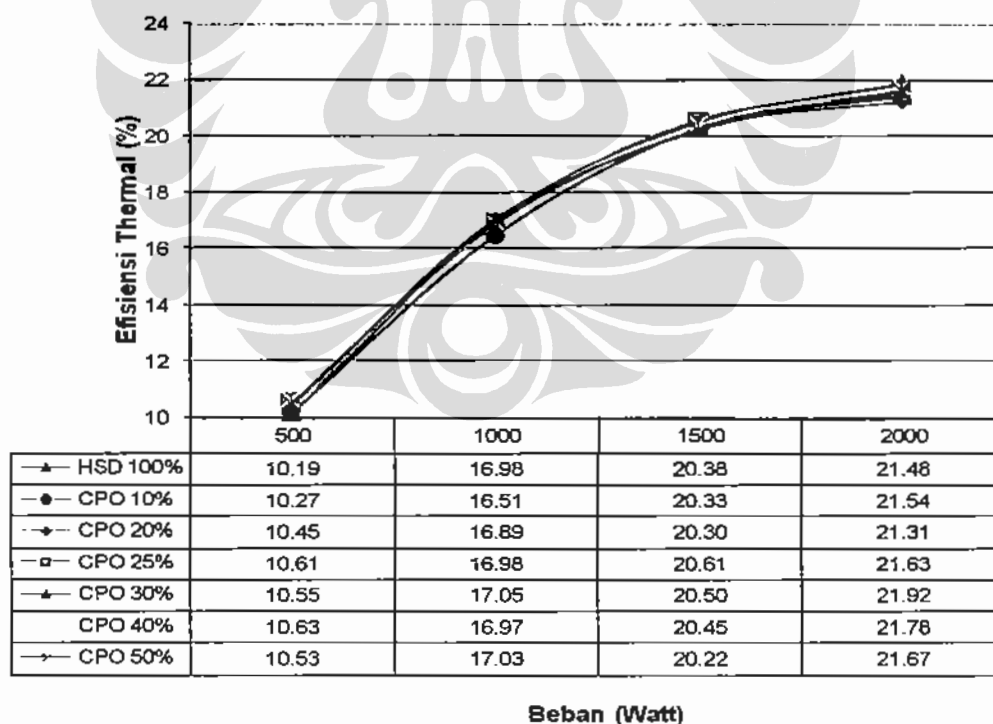
Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 10%	0.76	4.44	1.75	1.22	2.04
CPO 20%	0.46	3.65	3.45	3.88	2.86
CPO 25%	-0.25	3.89	2.67	3.15	2.36
CPO 30%	1.05	4.26	4.05	2.55	2.98
CPO 40%	1.87	6.37	5.94	4.84	4.76
CPO 50%	4.58	7.76	8.85	7.07	7.07

#### 4.3.2. Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal pada motor bakar sangat dipengaruhi oleh efisiensi pembakaran (*combustion efficiency*). Efisiensi pembakaran ini disebabkan karena tidak semua molekul bahan bakar akan bercampur dengan oksigen secara

sempurna sehingga ada sebagian kecil bahan bakar yang tidak terbakar. Efisiensi pembakaran akan semakin baik dengan meningkatnya cetane number bahan bakar. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Karn Romphol dan Kanit Wattanavichien [8] mengenai karakteristik pembakaran *spray* campuran minyak sawit dengan solar yang menyimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi minyak sawit akan menghasilkan *ignition delay* yang lebih pendek dan memperpendek periode pembakaran. Cetane number yang lebih tinggi pada CPO dibandingkan cetane number solar mengakibatkan peningkatan konsentrasi campuran CPO akan mempunyai kecenderungan yang lebih besar tercapainya efisiensi thermal yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan bahan bakar solar.

Pada gambar 4.9 terlihat bahwa peningkatan beban yang diberikan pada masing-masing konsentrasi campuran CPO dengan solar akan meningkatkan efisiensi thermal dari mesin genset. Dari grafik ini, efisiensi thermal yang dihasilkan terlihat berhimpit karena perbedaan efisiensi thermal yang terjadi sangat kecil dimana perbedaan yang terbesar hanya berkisar 0,5%. Perbedaan efisiensi thermal akan lebih jelas terlihat pada gambar 4.10.

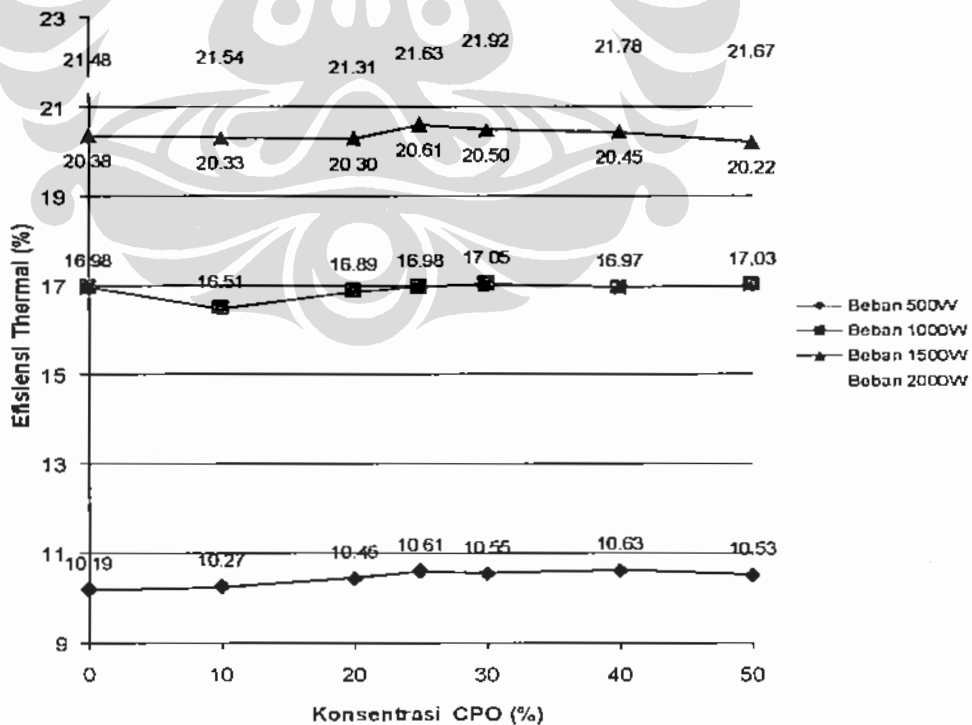


Gambar 4.9. Grafik hubungan efisiensi thermal terhadap pembebanan pada variasi konsentrasi CPO

Dari grafik hubungan antara efisiensi thermal dengan konsentrasi CPO pada gambar 4.10 dan tabel 4.3 terlihat beberapa hal:

- Pada beban 500W efisiensi thermal yang terjadi pada seluruh konsentrasi campuran CPO lebih tinggi dari pada solar.
- Pada beban 1000W, 1500W dan 2000W terlihat adanya kecenderungan penurunan efisiensi thermal untuk konsentrasi CPO 10% dan 20 % dan kembali meninggi pada konsentrasi campuran CPO 25%, 30% dan 40% dan cenderung menurun kembali pada konsentrasi campuran CPO 50%.
- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 10% sebesar -0,50%, campuran CPO 20% sebesar 0,22%, campuran CPO 25% sebesar 1,49%, campuran CPO 30% sebesar 1,66%, campuran CPO 40% sebesar 1,53% dan campuran CPO 50% sebesar 0,92%.

Berdasarkan kondisi diatas dapat dikatakan bahwa efisiensi thermal yang terbaik adalah pada konsentrasi campuran CPO 30% sehingga disarankan penggunaan campuran CPO tanpa pemanas bahan bakar adalah pada konsentrasi CPO 30% dengan solar 70%.



Gambar 4.10. Grafik hubungan efisiensi thermal dengan konsentrasi CPO

**Tabel 4.3. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO tanpa pemanasan**

Jenis BBIW	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (°%):				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 10%	0.75	-2.81	-0.24	0.28	-0.50
CPO 20%	2.59	-0.56	-0.37	-0.78	0.22
CPO 25%	4.14	-0.03	1.16	0.69	1.49
CPO 30%	3.58	0.40	0.60	2.06	1.66
CPO 40%	4.37	-0.04	0.36	1.41	1.53
CPO 50%	3.30	0.26	-0.75	0.89	0.92

### 4.3.3. Opasitas

Peralatan pengujian opasitas gas asap menggunakan metode pengukuran intensitas cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya yang dapat diterima oleh receiver pada laluan gas asap. Pada pengujian ini mesin diesel yang digunakan mempunyai spesifikasi 4-tak silinder tunggal. Hal ini mengakibatkan volume gas asap persatuan waktu selalu berubah-ubah dimana pada saat langkah buang volume gas asap besar sedangkan pada saat langkah hisap volume gas asap yang keluar dari saluran buang menjadi sangat kecil. Tidak kontinunya aliran gas asap mengakibatkan intensitas cahaya yang diterima oleh receiver berubah-ubah dan berdampak terhadap data hasil opasitas yang tercatat selalu berubah sangat cepat sehingga sulit untuk mendapatkan angka yang sesuai. Dengan kondisi ini maka data opasitas yang diambil berdasarkan angka opasitas tertinggi yang terlihat dimonitor komputer. Pencatatan memungkinkan terjadinya penyimpangan yang cukup besar dari data opasitas yang sebenarnya terjadi.

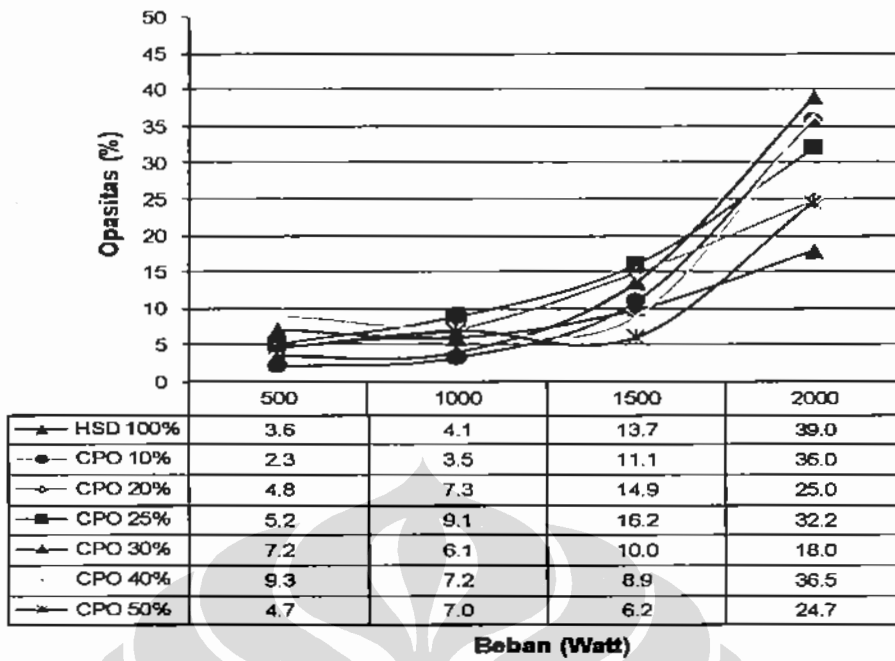
Ambang batas emisi gas buang mesin diesel yang diizinkan adalah ambang batas kondisi emisi gas buang maksimum. Sesuai Kepmen Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003 menyebutkan bahwa ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor adalah 40% untuk berat kendaraan bermotor sampai dengan 3,5 ton dan 50% untuk berat kendaraan bermotor lebih dari 3,5 ton.

Hasil pengujian pada gambar 4.11 dan 4.12 memperlihatkan:

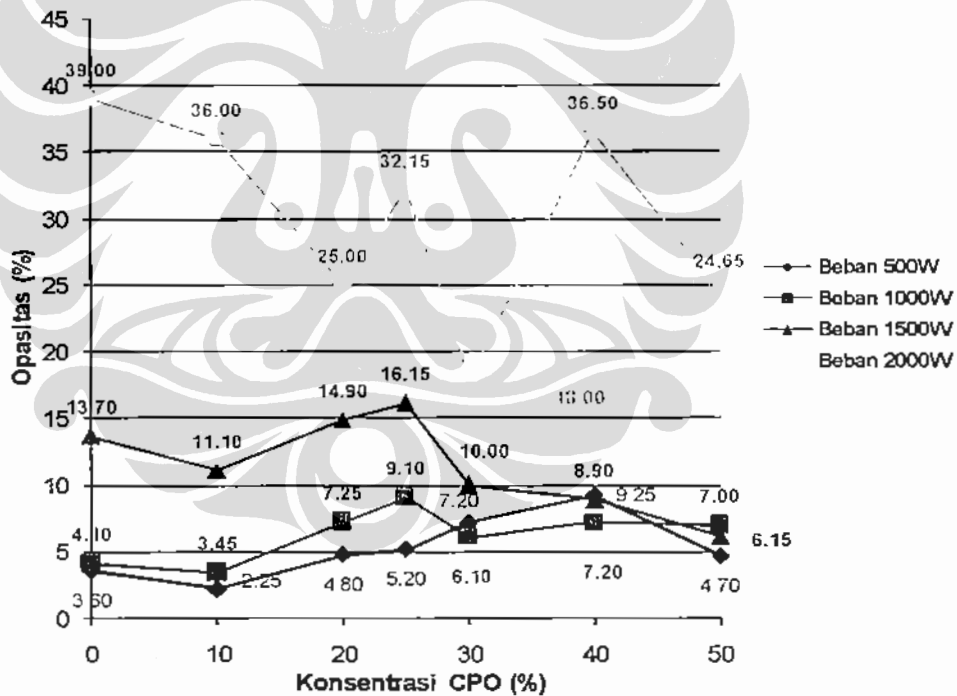
- Nilai opasitas penggunaan bahan bakar campuran CPO pada umumnya lebih tinggi dari opasitas solar pada beban 500W dan 1000W, hanya konsentrasi campuran CPO 10% yang memiliki nilai opasitas lebih rendah dibandingkan opasitas solar pada semua posisi beban.
- Pada beban 1500W, hampir keseluruhan campuran CPO memperlihatkan opasitas yang lebih baik dari solar dan hanya pada konsentrasi campuran CPO 20% dan 25% yang sedikit lebih tinggi dari opasitas solar.
- Pada beban 2000W, keseluruhan opasitas campuran CPO lebih kecil daripada opasitas solar.
- Secara keseluruhan opasitas rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada konsentrasi campuran CPO 30%, yang diikuti konsentrasi CPO 50%, 20%, 10%, dan 40%, sedangkan opasitas rata-rata terbesar terjadi pada konsentrasi campuran CPO 25%.
- Opasitas terbesar sebesar 36,5% pada beban 2000W konsentrasi CPO 40%. Opasitas maksimum yang terjadi masih dibawah ambang batas yang ditetapkan pemerintah.

Dengan kondisi diatas maka hasil pengujian opasitas gas buang untuk campuran bahan bakar CPO tanpa pemanasan pada konsentrasi 10%, 20%, 25%, 30%, 40% dan 50% menghasilkan emisi gas buang yang terbaik pada pengoperasian mesin diesel genset dengan campuran CPO 30%. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilaksanakan oleh Cahiril A. et al [9] yang menyatakan bahwa campuran biodiesel minyak kelapa sawit menghasilkan emisi terbaik adalah pada campuran B30.





Gambar 4.11. Grafik hubungan opasitas gas buang dengan beban



Gambar 4.12. Grafik hubungan opasitas gas buang dengan konsentrasi CPO

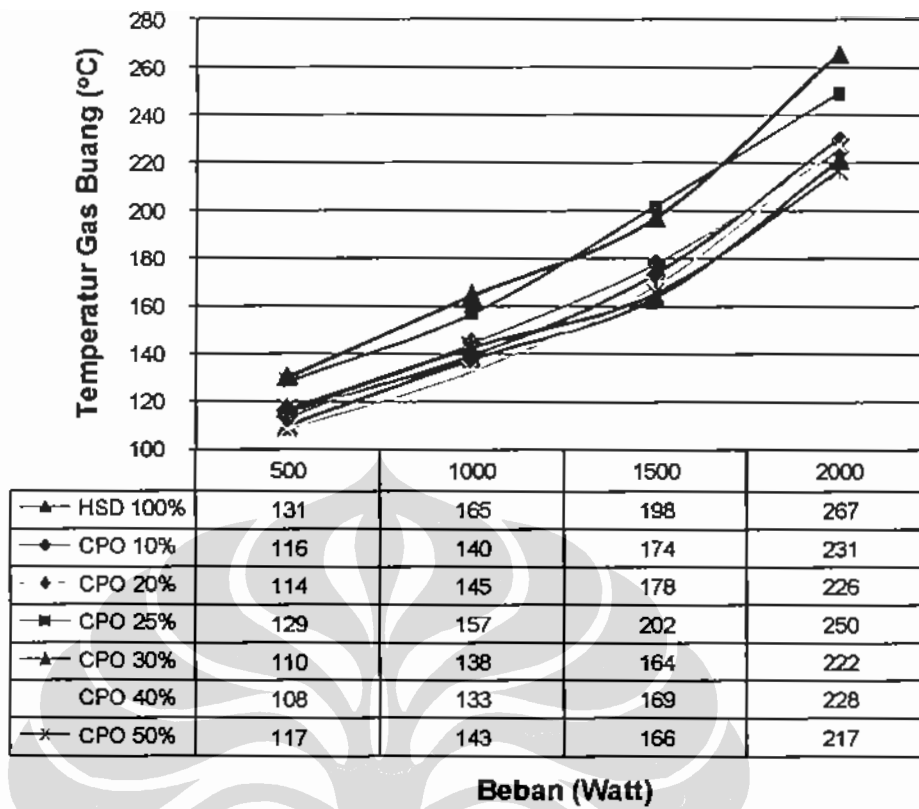
#### 4.3.4. Temperatur Gas Buang

Temperatur gas buang mengindikasikan efektifitas pemanfaatan energi yang terkandung pada bahan bakar. Tinggi rendahnya temperatur gas buang sangat tergantung pada nilai kalor bahan bakar dan efisiensi thermal mesin. Pada mesin yang menggunakan bahan bakar yang memiliki efisiensi thermal yang sama maka peningkatan nilai kalor akan menyebabkan meningkatnya temperatur gas buang. Peningkatan temperatur gas buang mengakibatkan menurunnya kemampuan menkonversikan energi yang terkandung pada bahan bakar menjadi kerja.

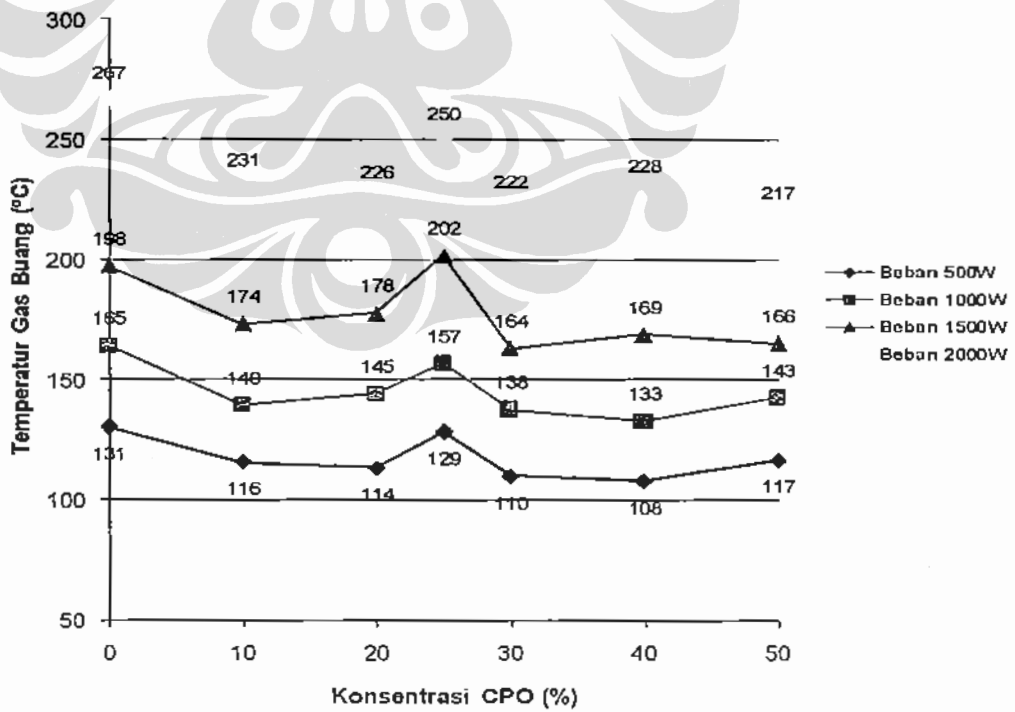
Pada gambar 4.13 dan 4.14 memperlihatkan hasil pengujian temperatur gas buang yang terjadi pada variasi pembebanan sebagai berikut:

- Pada keseluruhan jenis bahan bakar terlihat bahwa temperatur gas buang meningkat dengan meningkatnya beban. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan beban mengakibatkan meningkatnya energi yang terbuang melalui gas buang, tetapi persentase kenaikan jumlah energi yang terbuang jauh lebih kecil daripada persentase kenaikan kerja yang dihasilkan sehingga efisiensi thermal dengan kenaikan beban menjadi semakin besar dan SFC semakin baik.
- Grafik ini juga memperlihatkan temperatur gas buang pada hampir keseluruhan campuran CPO lebih rendah daripada solar. Kondisi ini disebabkan karena nilai kalor campuran CPO lebih rendah daripada nilai kalor bahan bakar solar.
- Pada posisi campuran CPO 30% temperatur gas buang rata-rata keseluruhan lebih rendah dari temperatur gas buang campuran CPO lainnya. Hal ini disebabkan karena efisiensi thermal campuran CPO 30% lebih baik daripada efisiensi thermal campuran CPO lainnya.

Dengan kondisi diatas maka hasil pengujian temperatur gas buang untuk campuran bahan bakar CPO tanpa pemanasan pada konsentrasi 10%, 20%, 25%, 30%, 40% dan 50% menghasilkan kerugian panas gas buang terkecil pada pengoperasian mesin diesel genset dengan campuran CPO 30%.



Gambar 4.13. Grafik hubungan temperatur gas buang dengan beban



Gambar 4.14. Grafik hubungan temperatur gas buang dengan konsentrasi CPO

#### 4.4. PENGARUH PEMANASAN CAMPURAN CPO TERHADAP UNJUK KERJA MESIN

Pengujian unjuk kerja mesin diesel genset menggunakan bahan bakar campuran CPO yang dipanaskan dilakukan untuk empat konsentrasi campuran CPO yaitu pada konsentrasi campuran CPO 25%, 50%, 75% dan 100%. Pada setiap konsentrasi tersebut diuji untuk variasi temperatur bahan bakar masuk ke mesin pada temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C.

Pemanasan bahan bakar akan mengakibatkan density bahan bakar menjadi lebih kecil yang juga akan berakibat terhadap penurunan viskositas bahan bakar tersebut. Density bahan bakar yang semakin kecil akan berdampak terhadap mengecilkan nilai kalor bahan bakar persatuan volume, sedangkan nilai kalor bahan bakar persatuan massa akan tetap. Pada sisi viskositas, dengan menurunnya nilai viskositas bahan bakar maka akan menyebabkan *ignition delay period* semakin pendek karena droplet yang terbentuk menjadi lebih kecil sehingga penguapan bahan bakar menjadi lebih cepat dan akan berdampak terhadap makin pendeknya jarak terbentuknya api sejak penyemprotan bahan bakar. Kondisi temperatur yang lebih tinggi pada bahan bakar yang memiliki viskositas yang sama juga akan mengakibatkan *ignition delay period* menjadi lebih pendek.

Pengaruh *ignition delay* yang semakin pendek sebagai akibat dari pemanasan dan meningkatnya angka setana bahan bakar karena meningkatnya konsentrasi bahan bakar campuran CPO akan sangat mempengaruhi efisiensi pembakaran. Penyetelan *injection timing* mesin diesel yang digunakan untuk pengujian menggunakan setting *injection timing* untuk bahan bakar solar, sehingga sangat dimungkinkan hasil pengujian unjuk kerja mesin untuk campuran CPO menjadi tidak maksimal. Hal ini terlihat pada temperatur gas buang mesin diesel yang terjadi pada konsentrasi campuran 50%, 75% dan 100% yang melebihi temperatur gas buang bahan bakar solar.

Unjuk kerja mesin yang menjadi tinjauan pada pengujian penggunaan campuran CPO dengan pemanasan sebagai bahan bakar mesin diesel genset sama dengan penggunaan campuran CPO tanpa pemanasan yaitu unjuk kerja *Specific Fuel Consumption (SFC)*, efisiensi thermal, opasitas dan temperatur gas buang.

#### 4.4.1. Specific Fuel Consumption (SFC)

##### 4.4.1.1. Pengaruh Temperatur Pada Konsentrasi Konstan

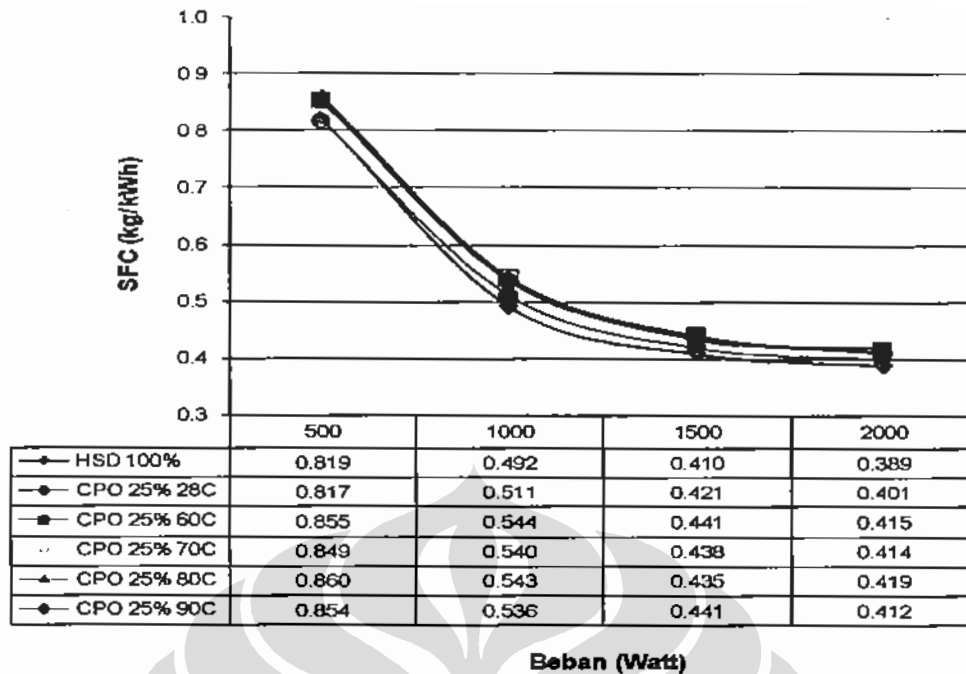
Hasil pengujian SFC pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk campuran CPO 25% yang terlihat pada gambar 4.15 dan tabel 4.4 adalah sebagai berikut:

- Pada keseluruhan level temperatur SFC campuran CPO 25% lebih besar dibandingkan SFC solar (High Speed Diesel/HSD). Hal ini disebabkan nilai kalor bahan bakar campuran CPO 25% lebih kecil dari nilai kalor bahan bakar solar.
- Pada kondisi temperatur 28 °C nilai SFC lebih kecil dibandingkan SFC pada temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C. Hal ini disebabkan karena nilai kalor persatuan volume bahan bakar lebih tinggi pada temperatur 28 °C dibandingkan temperatur bahan bakar campuran CPO lainnya. Dampak penambahan kalor yang diberikan melalui pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C tidak berakibat signifikan terhadap perubahan efisiensi thermalnya dibandingkan temperatur 28 °C.
- Persentase rata-rata kenaikan SFC dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 25% untuk temperatur 28 °C sebesar 2,36%, temperatur 60 °C sebesar 7,36%, temperatur 70 °C sebesar 6,73%, temperatur 80 °C sebesar 7,39% dan temperatur 90 °C sebesar 6,73%.

Melihat kondisi SFC tersebut diatas maka untuk campuran CPO 25% yang terbaik dilakukan adalah mengoperasikan mesin tanpa pemanasan bahan bakar.

Tabel 4.4. Kenaikan SFC campuran CPO 25%

Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 28°C	0,25	3,89	2,67	3,15	2,36
CPO 25% 60°C	4,37	10,70	7,67	6,73	7,36
CPO 25% 70°C	3,62	9,90	6,90	6,49	6,73
CPO 25% 80°C	3,02	10,55	6,12	7,67	7,39
CPO 25% 90°C	4,26	9,13	7,62	6,01	6,73



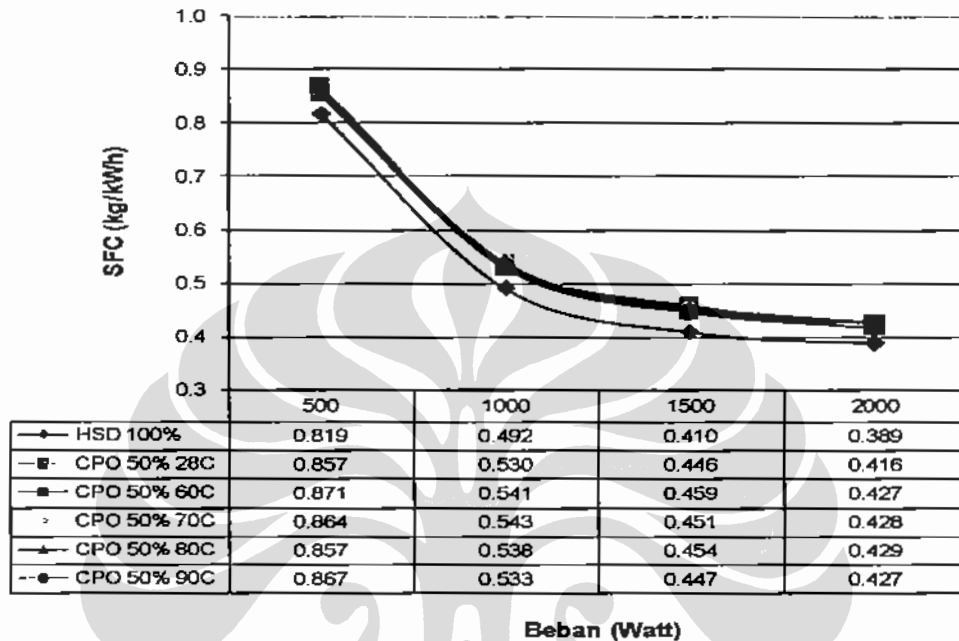
Gambar 4.15. Grafik Hubungan Beban dan SFC pada Variasi Temperatur Bahan Bakar Campuran CPO 25%

Hasil pengujian SFC pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk campuran CPO 50% yang terlihat pada gambar 4.16 dan tabel 4.5 adalah sebagai berikut:

- Pada keseluruhan level temperatur SFC campuran CPO 50% lebih besar dibandingkan SFC solar (High Speed Diesel/HSD). Hal ini disebabkan nilai kalor bahan bakar campuran CPO 50% lebih kecil dari nilai kalor bahan bakar solar.
- Pada kondisi temperatur 28 °C nilai SFC-nya mempunyai perbedaan yang sangat kecil dibandingkan SFC pada temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C, terlihat dari garis pada grafik yang saling berhimpit. Hal ini disebabkan karena dampak penambahan kalor yang diberikan melalui pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C hampir sama terhadap dampak pengurangan nilai kalor akibat penurunan densitas bahan bakar akibat pemanasan.
- Persentase rata-rata kenaikan SFC dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 50% untuk temperatur 28 °C sebesar 7.07%, temperatur 60 °C sebesar 9.56%, temperatur 70 °C

sebesar 8,99%, temperatur 80 °C sebesar 8,81% dan temperatur 90 °C sebesar 8,31%.

Melihat kondisi SFC tersebut diatas dapat dikatakan bahwa pengoperasian mesin untuk bahan bakar campuran CPO 50%, yang terbaik dilakukan adalah mengoperasikan mesin tanpa pemanasan bahan bakar.



Gambar 4.16. Grafik hubungan beban dan SFC pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 50%

Tabel 4.5. Kenaikan SFC campuran CPO 50%

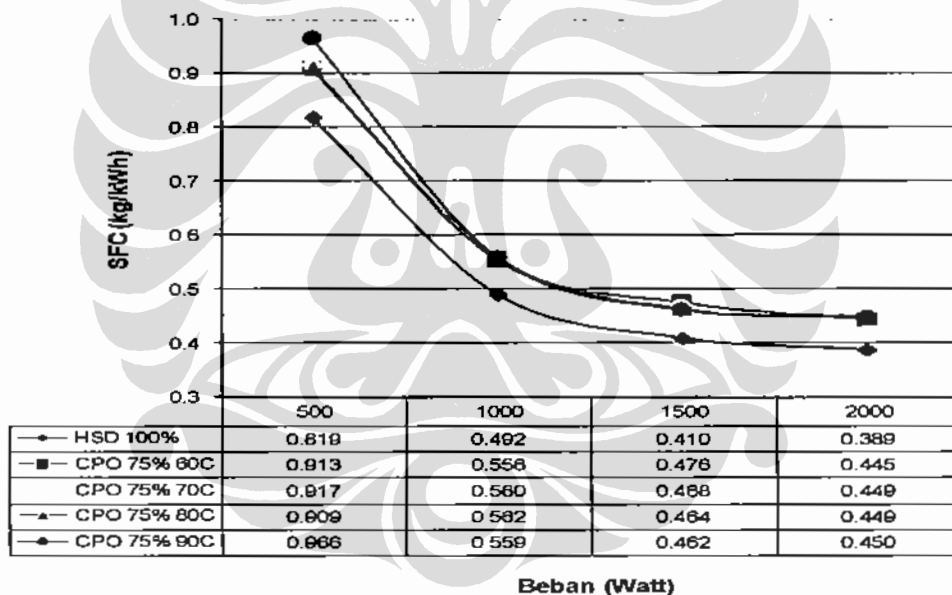
Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 50% 28°C	4.58	7.76	8.85	7.07	7.07
CPO 50% 60°C	6.36	9.95	12.08	9.85	9.56
CPO 50% 70°C	5.49	10.45	9.98	10.05	8.99
CPO 50% 80°C	4.62	9.54	10.84	10.26	8.81
CPO 50% 90°C	5.78	8.49	9.19	9.77	8.31

Pengoperasian mesin diesel genset dengan campuran CPO 75% pada temperatur 28 °C tidak dapat dilakukan dikarenakan densitas campuran yang tinggi yang menyebabkan tersumbatnya filter bahan bakar seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.4. Hasil pengujian SFC pada variasi beban dan variasi temperatur

bahan bakar untuk campuran CPO 75% yang terlihat pada gambar 4.17 dan tabel 4.6 adalah sebagai berikut:

- Pada keseluruhan level temperatur SFC campuran CPO 75% lebih besar dibandingkan SFC solar (High Speed Diesel/HSD). Hal ini disebabkan nilai kalor bahan bakar campuran CPO 75% jauh lebih kecil dari nilai kalor bahan bakar solar.
- Persentase rata-rata kenaikan SFC dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 75% untuk temperatur temperatur 60 °C sebesar 13,78%, temperatur 70 °C sebesar 13,91%, temperatur 80 °C sebesar 13,53% dan temperatur 90 °C sebesar 15,03%.

Melihat kondisi tersebut diatas dapat dikatakan bahwa pengoperasian mesin untuk bahan bakar campuran CPO 75%, sebaiknya dilakukan pemanasan bahan bakar pada temperatur 80 °C.



Gambar 4.17. Grafik hubungan beban dan SFC pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 75%



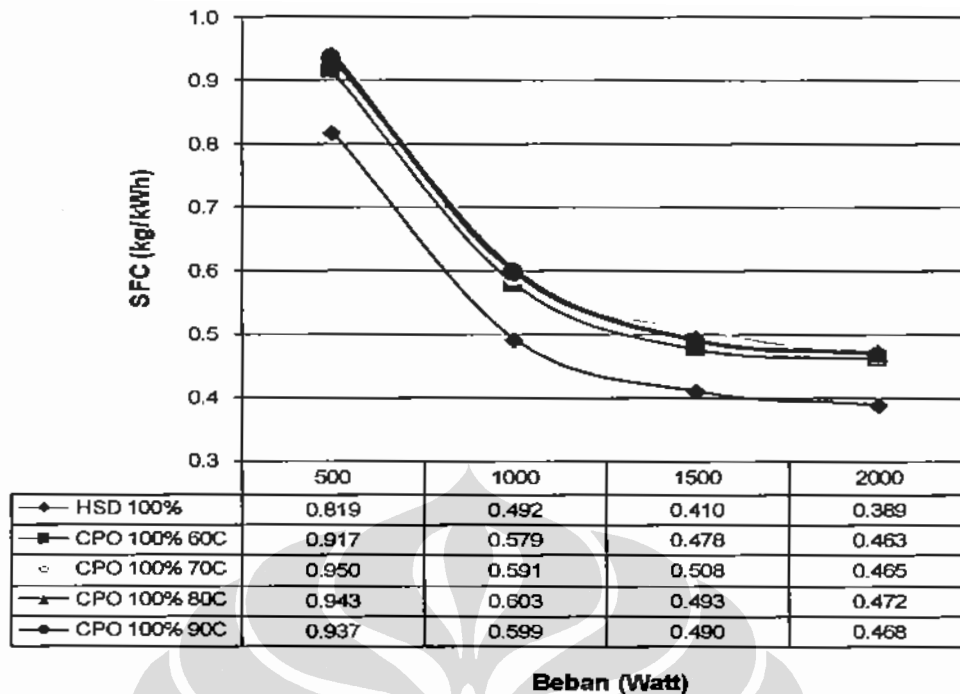
Tabel 4.6. Kenaikan SFC campuran CPO 75%

Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 75% 60°C	11.40	13.06	16.29	14.39	13.78
CPO 75% 70°C	11.93	13.87	14.36	15.50	13.91
CPO 75% 80°C	10.89	14.29	13.30	15.64	13.53
CPO 75% 90°C	17.89	13.76	12.77	15.71	15.03

Pengoperasian mesin diesel genset dengan campuran CPO 100% pada temperatur 28 °C (tanpa pemanasan) juga tidak dapat dilakukan dikarenakan densitas campuran yang tinggi yang menyebabkan tersumbatnya filter bahan bakar, kondisinya sama dengan pengoperasian mesin diesel menggunakan campuran CPO 75% tanpa pemanasan. Hasil pengujian SFC pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk campuran CPO 100% yang terlihat pada gambar 4.18 dan tabel 4.7 adalah sebagai berikut:

- Pada keseluruhan level temperatur SFC campuran CPO 100% lebih besar dibandingkan SFC solar (High Speed Diesel/HSD). Hal ini disebabkan nilai kalor bahan bakar campuran CPO 100% jauh lebih kecil dari nilai kalor bahan bakar solar.
- Persentase rata-rata kenaikan SFC dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 100% untuk temperatur temperatur 60 °C sebesar 16,39%, temperatur 70 °C sebesar 19,93%, temperatur 80 °C sebesar 19,88% dan temperatur 90 °C sebesar 19,05%.

Melihat kondisi SFC tersebut diatas dapat dikatakan bahwa pengoperasian mesin untuk bahan bakar campuran CPO 100%, sebaiknya dilakukan pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C. Hal ini sangat berbeda dengan hasil penelitian mengenai *Advance Combustion Research for Energy from Vegetable* [10] yang menyebutkan bahwa penggunaan vegetable oil akan menghasilkan pembakaran yang maksimal pada batasan temperatur 90 °C sampai dengan 130 °C. Hasil yang berbeda ini disebabkan karena pengujian yang dilakukan pada mesin yang menggunakan setelan injection timing untuk bahan bakar solar, sehingga kemungkinan tidak sesuai untuk penggunaan CPO 100% yang memiliki angka setana yang lebih besar.



Gambar 4.18. Grafik hubungan beban dan SFC pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 100%

Tabel 4.7. Kenaikan SFC campuran CPO 100%

Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 100% 60°C	11.88	17.77	16.75	19.17	16.39
CPO 100% 70°C	15.95	20.13	24.04	19.60	19.93
CPO 100% 80°C	15.16	22.62	20.39	21.36	19.88
CPO 100% 90°C	14.36	21.77	19.66	20.52	19.05

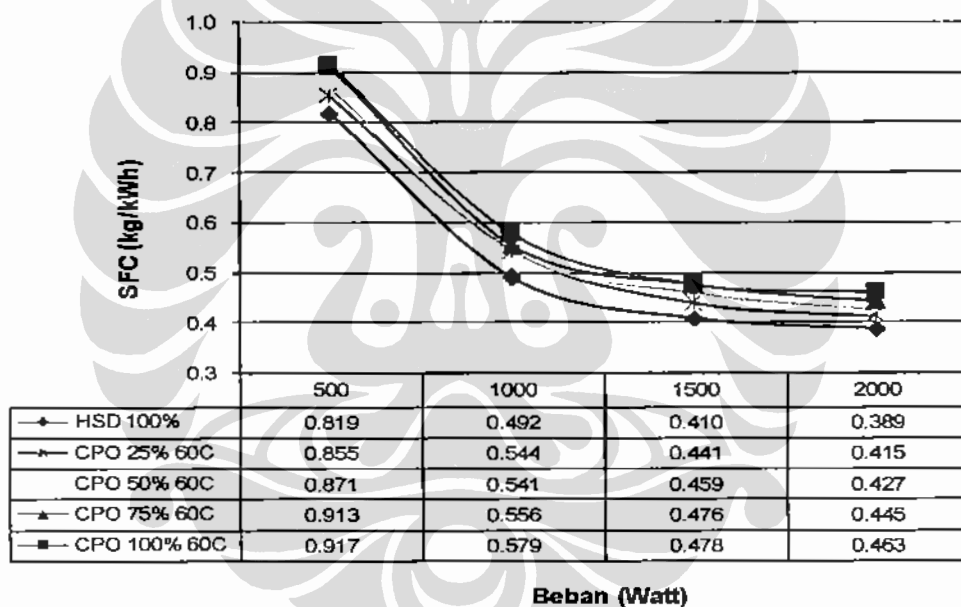
#### 4.4.1.2. Pengaruh Konsentrasi Pada Temperatur Konstan

Peningkatan konsentrasi pada temperatur konstan pada umumnya akan mengakibatkan SFC akan meningkat. Hal ini disebabkan nilai kalor bahan bakar akan menurun dengan meningkatnya konsentrasi campuran CPO pada bahan bakar. Kenaikan efisiensi thermal akibat kenaikan konsentrasi masih lebih kecil dampaknya terhadap selisih nilai kalor bahan bakar yang cukup besar antara bahan bakar CPO dengan solar.

Hasil pengujian SFC pada variasi beban dan variasi konsentrasi bahan bakar campuran CPO pada temperatur bahan bakar konstan 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C, SFC yang terjadi akibat kenaikan konsentrasi campuran CPO yang

terlihat pada gambar 4.19, 4.20, 4.21, 4.22 dan tabel 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 adalah sebagai berikut:

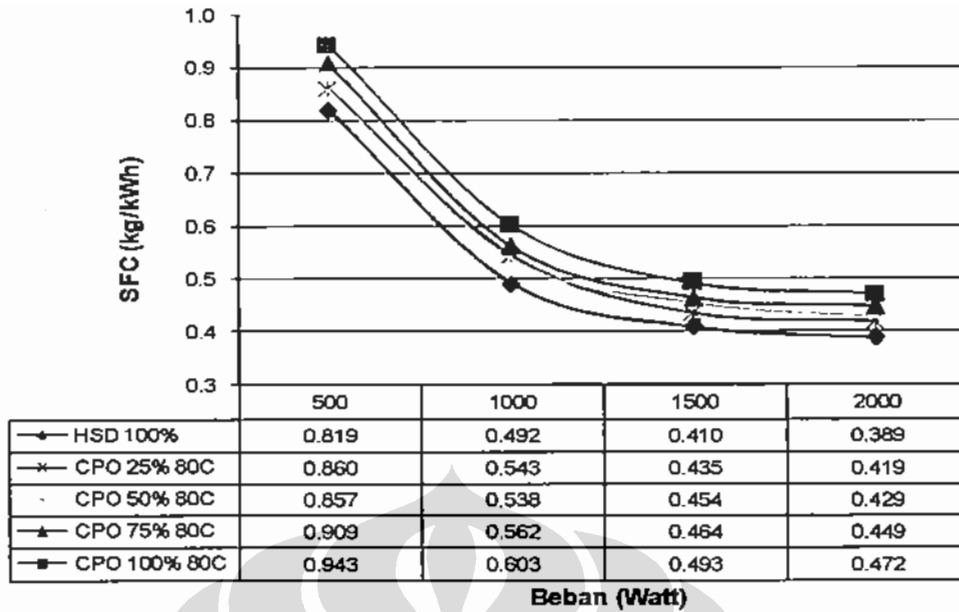
- Pada keseluruhan level konsentrasi campuran CPO, nilai SFC-nya lebih besar dibandingkan SFC solar (High Speed Diesel/HSD) pada keseluruhan beban. Hal ini disebabkan nilai kalor bahan bakar solar lebih tinggi dari nilai kalor bahan bakar campuran CPO.
- Kenaikan konsentrasi campuran CPO pada beban 500W, 1000W, 1500W dan 2000W mengakibatkan SFC meningkat, dimana SFC campuran CPO 25% merupakan SFC rata-rata yang terkecil, diikuti SFC campuran CPO 50%, campuran CPO 75% serta SFC CPO 100% memiliki SFC rata-rata terbesar. Hal ini disebabkan karena nilai kalor bahan bakar campuran CPO menurun dengan peningkatan konsentrasi campuran CPO.



Gambar 4.19. Grafik hubungan beban dan SFC pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 60 °C.

Tabel 4.8. Kenaikan SFC campuran CPO temperatur 60 °C

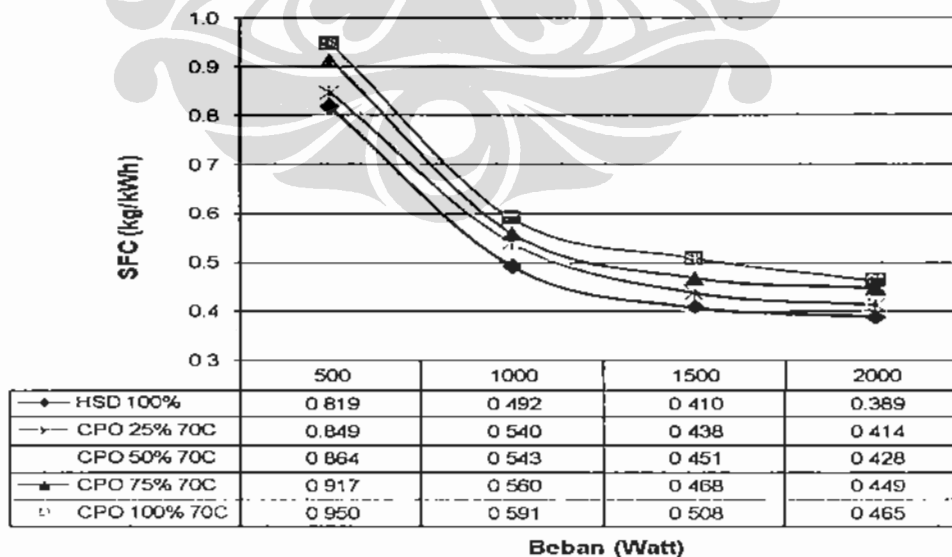
Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar [%]:				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25%, 60°C	4.37	10.70	7.67	6.73	7.36
CPO 50%, 60°C	6.36	9.95	12.66	9.85	9.66
CPO 75%, 60°C	11.40	13.66	16.29	14.39	13.78
CPO 100%, 60°C	11.86	17.77	16.73	19.17	16.39



Gambar 4.20. Grafik hubungan beban dan SFC pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 70 °C.

Tabel 4.9. Kenaikan SFC campuran CPO temperatur 70 °C

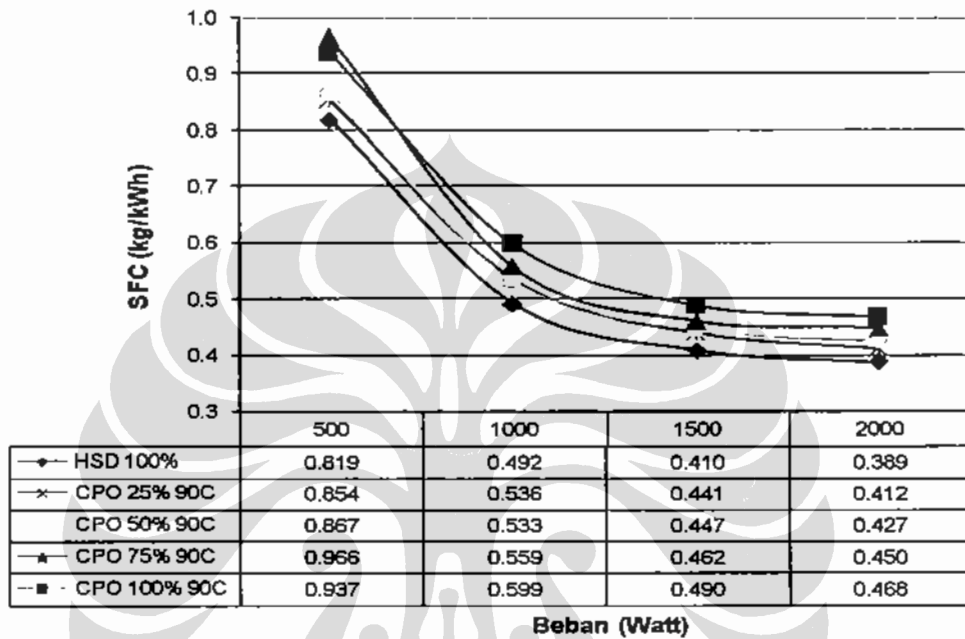
Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 70°C	3.62	9.90	6.90	6.49	6.73
CPO 50% 70°C	5.49	10.45	9.98	10.05	8.99
CPO 75% 70°C	11.93	13.87	14.36	15.50	13.91
CPO 100% 70°C	15.95	20.13	24.04	19.60	19.93



Gambar 4.21. Grafik hubungan beban dan SFC pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 80 °C.

Tabel 4.10. Kenaikan SFC campuran CPO temperatur 80 °C

Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 80°C	5.02	10.55	6.12	7.87	7.39
CPO 50% 80°C	4.62	9.54	10.84	10.26	8.81
CPO 75% 80°C	10.89	14.29	13.30	15.64	13.53
CPO 100% 80°C	15.16	22.62	20.39	21.36	19.88



Gambar 4.22. Grafik hubungan beban dan SFC pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 90 °C.

Tabel 4.11. Kenaikan SFC campuran CPO temperatur 90 °C

Jenis BBM	Persentase Kenaikan SFC Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 90°C	4.26	9.03	7.62	6.01	6.73
CPO 50% 90°C	5.73	8.49	9.19	9.77	8.31
CPO 75% 90°C	17.89	13.76	12.77	15.71	15.03
CPO 100% 90°C	14.36	21.77	19.56	20.52	19.05

#### 4.4.2. Efisiensi Thermal

Efisiensi pembakaran merupakan faktor yang sangat mempengaruhi efisiensi thermal sebagaimana yang telah dijelaskan pada sub bab 4.3.2 dan 4.4. Efisiensi pembakaran pada mesin diesel akan sangat tergantung pada beberapa faktor seperti disain mesin, kesesuaian penyetyelan *injection timing* dengan jenis

bahan bakar yang digunakan serta sifat fisik dan kimia bahan bakar yang digunakan. Kesesuaian penyetelan *injection timing* tergantung pada *ignition delay* dari bahan bakar. Pemanasan dan pencampuran bahan bakar solar dengan CPO akan mengakibatkan *ignition delay* yang lebih pendek seiring dengan peningkatan temperatur dan konsentrasi CPO.

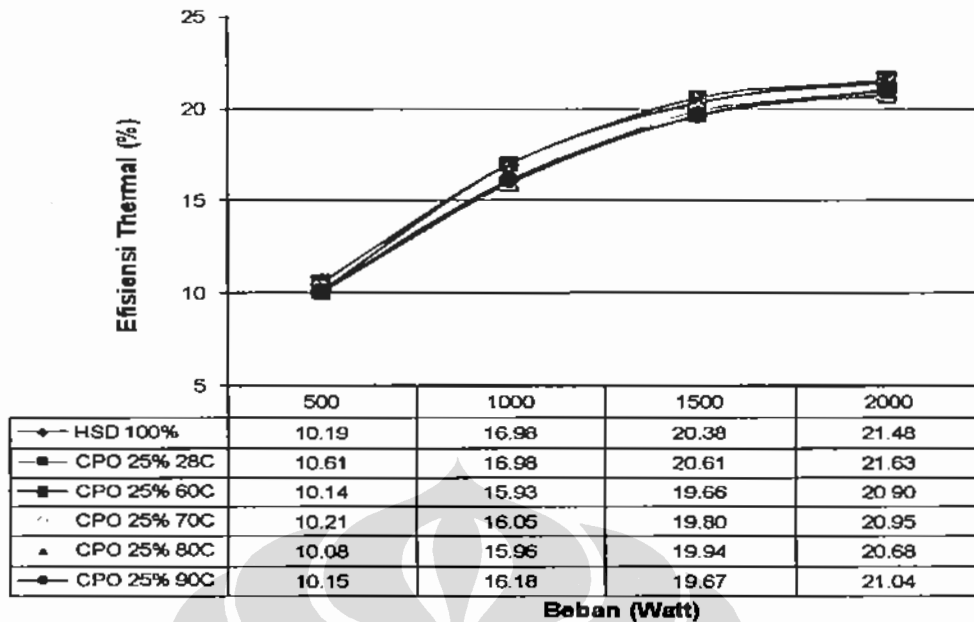
#### 4.4.2.1. Pengaruh Temperatur Pada Konsentrasi Yang Konstan

Pada keseluruhan level temperatur dan jenis bahan bakar terlihat bahwa dengan meningkatnya beban maka efisiensi thermal menjadi semakin besar. Hal ini disebabkan persentase kerugian gesek (*friction losses*) menjadi semakin kecil dibandingkan persentase kerja yang dihasilkan.

Hasil pengujian efisiensi thermal pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk campuran CPO 25% yang terlihat pada gambar 4.23 dan tabel 4.12 adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi temperatur 28 °C efisiensi thermal campuran CPO 25% lebih besar dibandingkan efisiensi thermal solar (High Speed Diesel/HSD) dan efisiensi thermal campuran CPO 25% pada temperatur lainnya.
- Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar solar lebih besar dibandingkan efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk campuran CPO 25% pada batasan temperatur 60 °C sampai 90 °C.
- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 25% untuk temperatur 28 °C sebesar 1,49%, temperatur 60 °C sebesar -3,22%, temperatur 70 °C sebesar -2,64%, temperatur 80 °C sebesar -3,25% dan temperatur 90 °C sebesar -2,66%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas maka untuk campuran CPO 25% yang terbaik dilakukan adalah mengoperasikan mesin tanpa pemanasan bahan bakar.



Gambar 4.23. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 25%

Tabel 4.12. Kenaikan SFC campuran CPO 25%

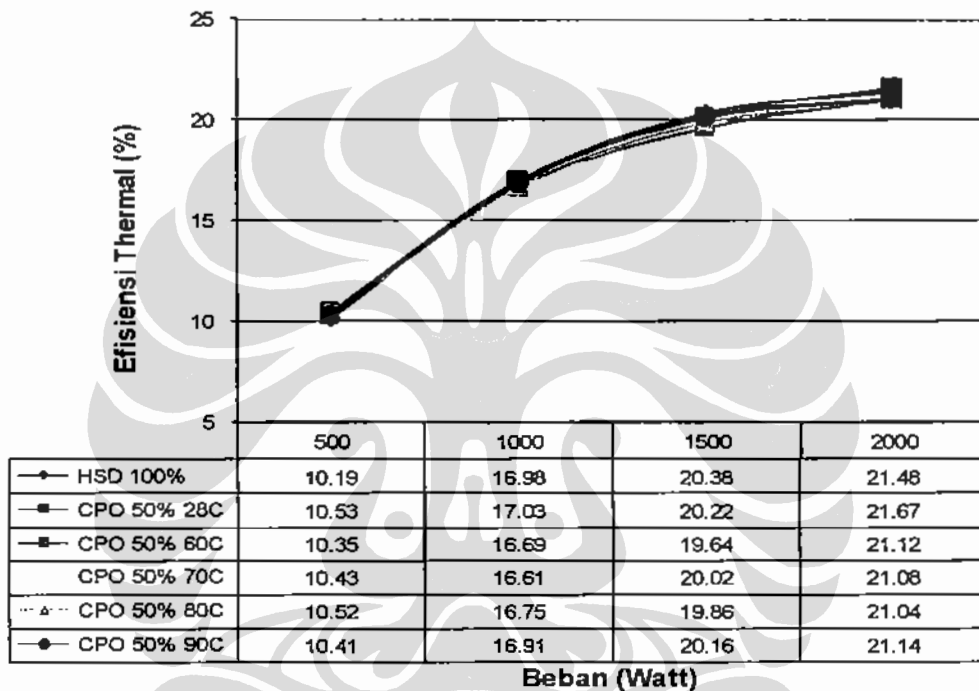
Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 28°C	4.14	-0.03	1.16	0.69	1.49
CPO 25% 60°C	-0.49	-6.17	-3.53	-2.69	-3.22
CPO 25% 70°C	0.23	-5.50	-2.64	-2.17	-2.64
CPO 25% 80°C	-1.10	-6.05	-2.13	-3.72	-3.25
CPO 25% 90°C	-0.38	-4.74	-3.49	-2.03	-2.66

Hasil pengujian efisiensi thermal pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk campuran CPO 50% yang terlihat pada gambar 4.24 dan tabel 4.13 adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi temperatur 28 °C efisiensi thermal campuran CPO 50% lebih besar dibandingkan efisiensi thermal solar (High Speed Diesel/HSD) dan efisiensi thermal campuran CPO 50% pada temperatur lainnya.
- Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar solar lebih besar dibandingkan efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk campuran CPO 50% pada batasan temperatur 60 °C sampai 90 °C.

- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 50% untuk temperatur 28 °C sebesar 0,92%, temperatur 60 °C sebesar -1,36%, temperatur 70 °C sebesar -0,85%, temperatur 80 °C sebesar -0,67% dan temperatur 90 °C sebesar -0,24%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas maka untuk campuran CPO 50% yang terbaik dilakukan adalah mengoperasikan mesin tanpa pemanasan bahan bakar.



Gambar 4.24. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 50%

Tabel 4.13. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO 50 %

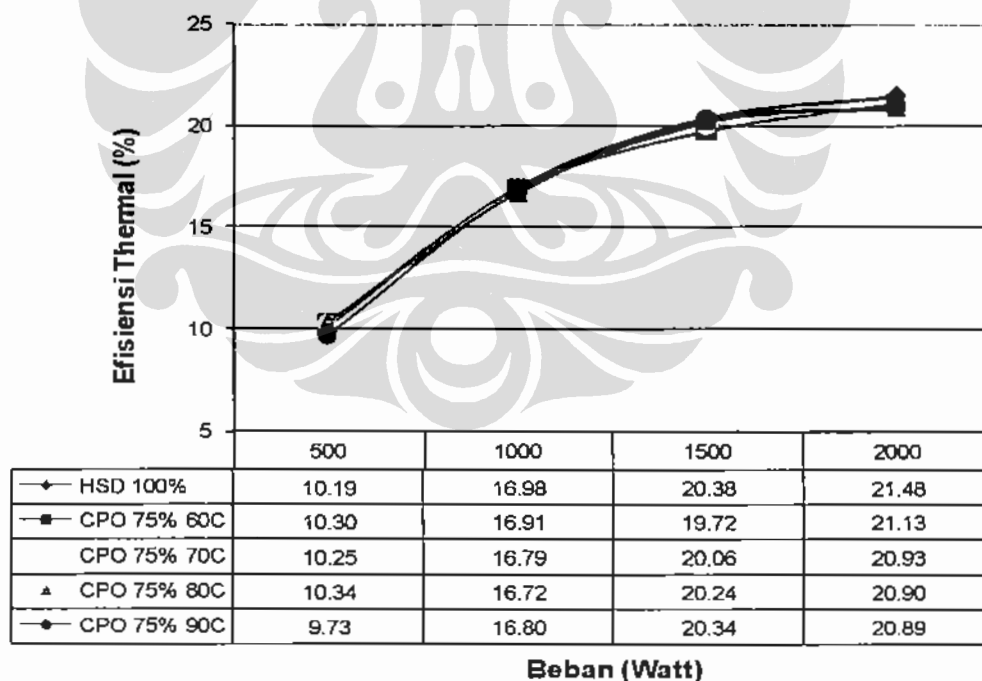
Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%):				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 50% 28°C	3.30	0.26	-0.75	0.89	0.92
CPO 50% 60°C	1.67	-1.75	-3.61	-1.66	-1.36
CPO 50% 70°C	2.41	-2.19	-1.77	-1.84	-0.85
CPO 50% 80°C	2.26	-1.37	-2.53	-2.02	-0.67
CPO 50% 90°C	2.10	-0.42	-1.68	-1.06	-0.24



Pengoperasian mesin diesel genset dengan campuran CPO 75% pada temperatur 28 °C tidak dapat dilakukan dikarenakan density campuran yang tinggi yang menyebabkan tersumbatnya filter bahan bakar seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.4. Hasil pengujian efisiensi thermal pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 75% yang terlihat pada gambar 4.25 dan tabel 4.14 adalah sebagai berikut:

- Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar solar lebih besar dibandingkan efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk campuran CPO 75% pada batasan temperatur 60 °C sampai 90 °C.
- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 75% untuk temperatur 60 °C sebesar -1,05%, temperatur 70 °C sebesar -1,18%, temperatur 80 °C sebesar -0,84% dan temperatur 90 °C sebesar -2,13%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas maka untuk campuran CPO 75% yang terbaik dilakukan adalah mengoperasikan mesin dengan pemanasan bahan bakar pada temperatur 80 °C.



Gambar 4.25. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 75%

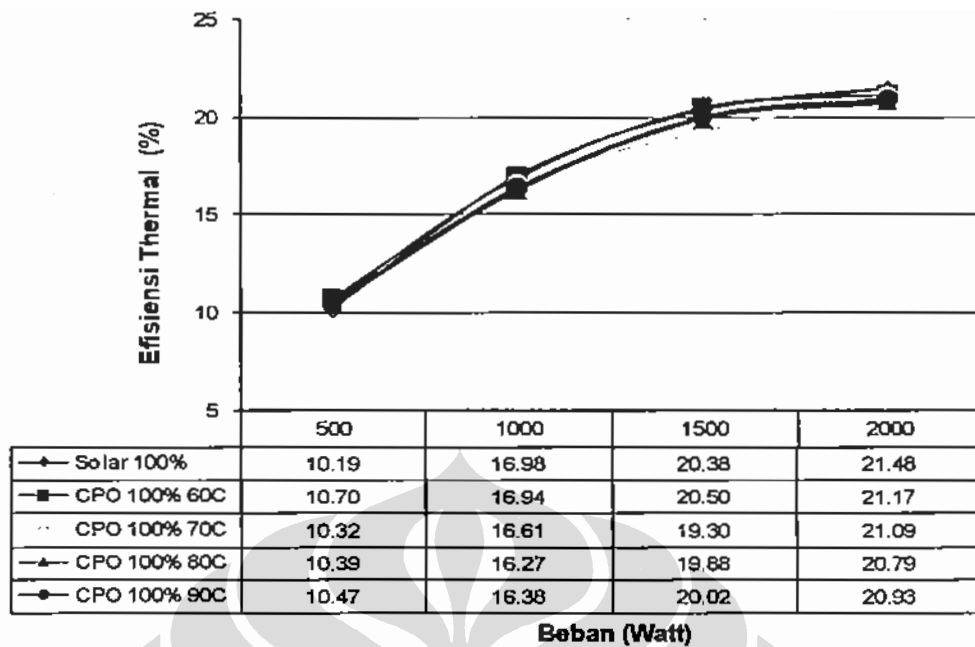
Tabel 4.14. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO 75 %

Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%):				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 75% 60°C	1.04	-0.45	-3.21	-1.60	-1.05
CPO 75% 70°C	0.56	-1.15	-1.58	-2.56	-1.18
CPO 75% 80°C	1.50	-1.52	-0.66	-2.67	-0.84
CPO 75% 90°C	-4.53	-1.06	-0.19	-2.72	-2.13

Pengoperasian mesin diesel genset dengan CPO 100% pada temperatur 28 °C tidak dapat dilakukan sama seperti pada campuran CPO 75%. Hasil pengujian efisiensi thermal pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk CPO 100% yang terlihat pada gambar 4.26 adalah sebagai berikut:

- Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar CPO 100% temperatur 60 °C lebih besar dibandingkan efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar solar serta campuran CPO 100% pada temperatur lainnya.
- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk konsentrasi campuran CPO 75% untuk temperatur 60 °C sebesar -1,05%, temperatur 70 °C sebesar -1,18%, temperatur 80 °C sebesar -0,84% dan temperatur 90 °C sebesar -2,13%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas dapat dikatakan bahwa pengoperasian mesin untuk bahan bakar campuran CPO 100%, akan menghasilkan efisiensi thermal yang terbesar jika dioperasikan dengan pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C. Hal ini sangat berbeda dengan hasil penelitian lainnya seperti yang dijelaskan pada sub bab 4.4.1 menyebutkan bahwa penggunaan vegetable oil akan menghasilkan pembakaran yang maksimal pada batasan temperatur 90 °C sampai dengan 130 °C. Hasil yang berbeda ini disebabkan karena pengujian yang dilakukan pada mesin yang menggunakan setelan *injection timing* untuk bahan bakar solar. sehingga kemungkinan tidak menunjukkan hasil yang maksimal untuk penggunaan CPO 100% yang memiliki angka setana yang lebih besar daripada solar.



Gambar 4.26. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 100%

Tabel 4.15. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO 100 %

Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 100% 60°C	4.99	-0.26	0.62	-1.42	0.98
CPO 100% 70°C	1.31	-2.22	-5.30	-1.79	-2.00
CPO 100% 80°C	2.01	-4.20	-2.43	-3.21	-1.96
CPO 100% 90°C	2.72	-3.53	-1.75	-2.54	-1.28

#### 4.4.2.2. Pengaruh Konsentrasi Pada Temperatur Yang Konstan

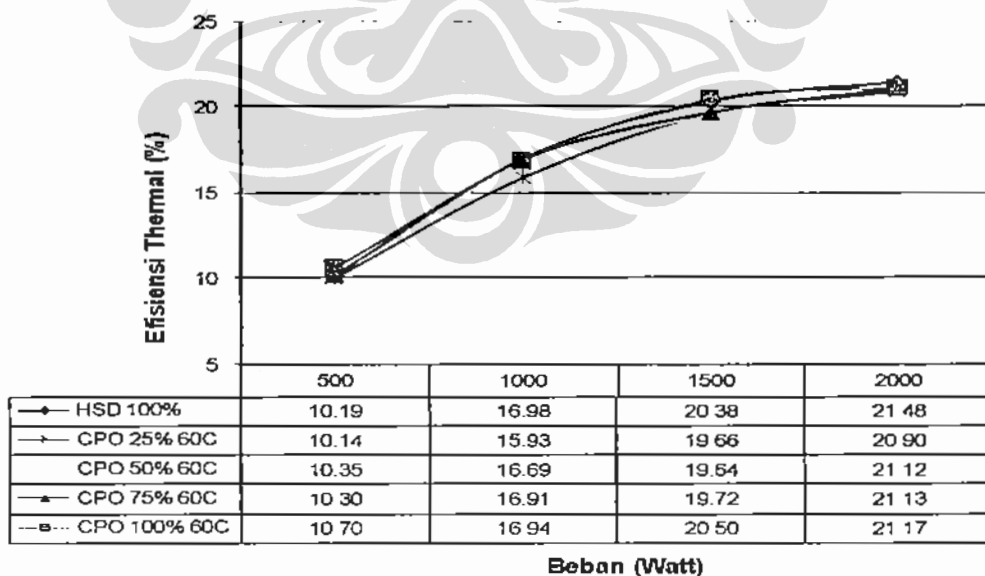
Peningkatan konsentrasi campuran CPO pada temperatur konstan akan mengakibatkan peningkatan angka setana yang berpengaruh pada makin pendeknya *ignition delay*. Disisi lain, peningkatan konsentrasi campuran menyebabkan densitas bahan bakar campuran CPO akan semakin besar sehingga viskositas bahan bakar semakin tinggi. Viskositas yang tinggi akan mengakibatkan terbentuknya droplet pada *spray* bahan bakar akan semakin besar sehingga *ignition delay* semakin panjang. Dengan demikian, untuk mendapatkan

efisiensi thermal yang optimal pada mesin uji maka diperlukan kondisi campuran CPO pada konsentrasi dan temperatur tertentu.

Pengaruh kenaikan konsentrasi campuran CPO pada temperatur yang konstan untuk kondisi temperatur 60 °C yang terlihat pada gambar 4.27 dan tabel 4.16 adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi konsentrasi 100% untuk beban 500W, 1000W dan 1500W efisiensi thermalnya lebih tinggi daripada efisiensi thermal solar (High Speed Diesel/HSD) tetapi pada beban 2000W efisiensi thermal campuran CPO 100% lebih rendah daripada solar. Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar CPO 100% lebih tinggi daripada efisiensi thermal rata-rata keseluruhan bahan bakar solar.
- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk temperatur konstan 60 °C pada konsentrasi campuran CPO 25% sebesar -3,22%, campuran CPO 50% sebesar -1,36%, campuran CPO 75% sebesar -1,05% dan campuran CPO 100% sebesar 0,98%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas maka untuk temperatur pemanasan 60 °C, pengoperasian mesin diesel yang penyetelan *injection timing* berdasarkan *injection timing* bahan bakar solar akan menghasilkan efisiensi thermal yang optimal jika menggunakan campuran CPO 100%.



Gambar 4.27. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 60 °C.

Tabel 4.16. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO temperatur 60 °C

Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 60°C	-0.49	-6.17	-3.53	-2.69	-3.22
CPO 50% 60°C	1.57	-1.75	-3.61	-1.66	-1.36
CPO 75% 60°C	1.04	-0.45	-3.21	-1.60	-1.05
CPO 100% 60°C	4.99	-0.26	0.62	-1.42	0.98

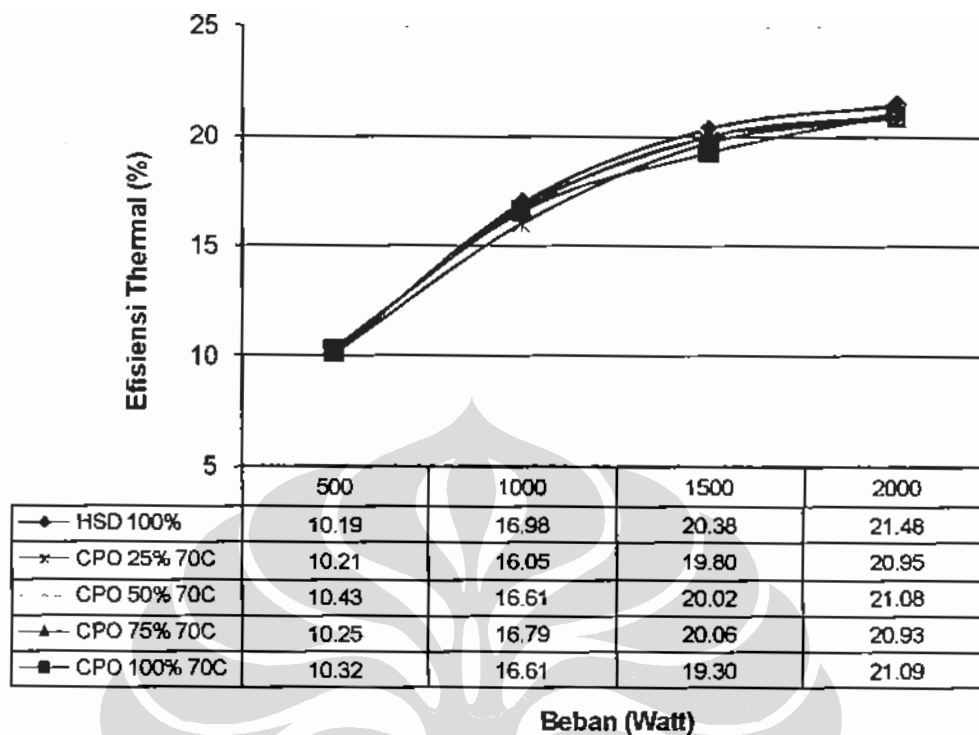
Pengaruh kenaikan konsentrasi campuran CPO pada temperatur yang konstan untuk kondisi temperatur 70 °C yang terlihat pada gambar 4.28 dan tabel 4.17 adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi konsentrasi 50% untuk beban 500W efisiensi thermalnya lebih tinggi daripada efisiensi thermal solar (High Speed Diesel/HSD) tetapi pada beban 1000W, 1500W dan 2000W efisiensi thermal campuran CPO 50% lebih rendah daripada solar. Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar solar lebih tinggi daripada efisiensi thermal rata-rata keseluruhan campuran CPO.
- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk temperatur konstan 60 °C pada konsentrasi campuran CPO 25% sebesar -2,64%, campuran CPO 50% sebesar -0,85%, campuran CPO 75% sebesar -1,18% dan campuran CPO 100% sebesar -2,0%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas maka untuk temperatur pemanasan 70 °C, pengoperasian mesin diesel yang penyetelan *injection timing* berdasarkan *injection timing* bahan bakar solar akan menghasilkan efisiensi thermal yang optimal jika menggunakan campuran CPO 50%.

Tabel 4.17. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO temperatur 70 °C

Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 70°C	0.23	-6.50	-2.84	-2.47	-2.64
CPO 50% 70°C	2.41	-0.13	-1.77	-1.84	-0.85
CPO 75% 70°C	0.38	-1.17	-1.33	-2.38	-1.13
CPO 100% 70°C	1.31	-2.22	-6.30	-1.73	-2.00

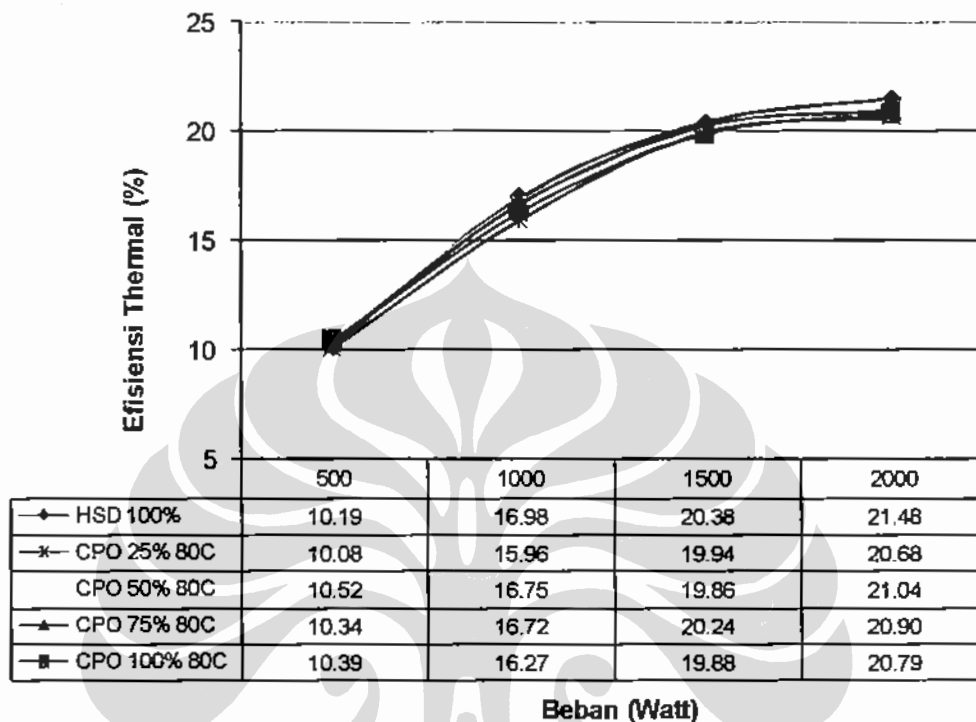


Gambar 4.28. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 70 °C.

Pengaruh kenaikan konsentrasi campuran CPO pada temperatur yang konstan untuk kondisi temperatur 80 °C yang terlihat pada gambar 4.29 dan tabel 4.18 adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi konsentrasi 50% untuk beban 500W efisiensi thermalnya lebih tinggi daripada efisiensi thermal solar (High Speed Diesel/HSD) tetapi pada beban 1000W, 1500W dan 2000W efisiensi thermal campuran CPO 50% lebih rendah daripada solar. Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar solar lebih tinggi daripada efisiensi thermal rata-rata keseluruhan campuran CPO.
- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk temperatur konstan 60 °C pada konsentrasi campuran CPO 25% sebesar -3.25%, campuran CPO 50% sebesar -0.67%, campuran CPO 75% sebesar -0.84% dan campuran CPO 100% sebesar -1.96%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas maka untuk temperatur pemanasan 80 °C, pengoperasian mesin diesel yang penyetelan *injection timing* berdasarkan *injection timing* bahan bakar solar akan menghasilkan efisiensi thermal yang optimal jika menggunakan campuran CPO 50%.



Gambar 4.29. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 80 °C.

Tabel 4.18. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO pada temperatur 80 °C

Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 80°C	-1.10	-6.05	-2.13	-3.72	-3.25
CPO 50% 80°C	3.26	-1.37	-2.53	-2.02	-0.67
CPO 75% 80°C	1.50	-1.52	-0.66	-2.67	-0.84
CPO 100% 80°C	2.01	-4.20	-2.43	-3.21	-1.96

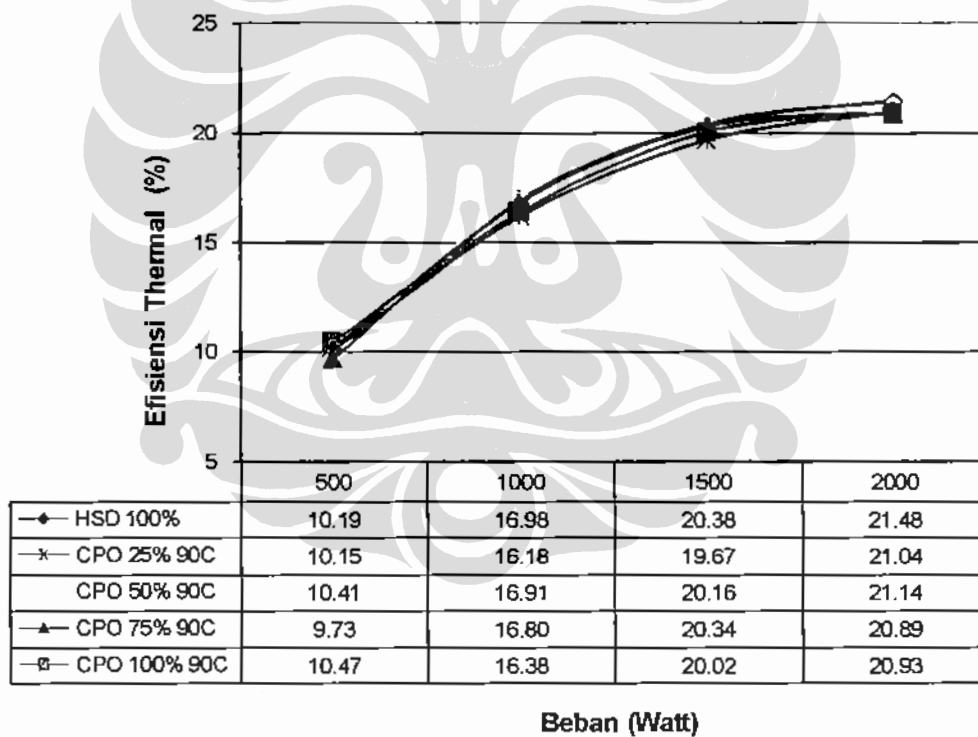
Pengaruh kenaikan konsentrasi campuran CPO pada temperatur yang konstan untuk kondisi temperatur 90 °C yang terlihat pada gambar 4.30 dan tabel 4.19 adalah sebagai berikut:

- Pada kondisi konsentrasi 50% untuk beban 500W efisiensi thermalnya lebih tinggi daripada efisiensi thermal solar (High Speed Diesel/HSD) tetapi pada

beban 1000W, 1500W dan 2000W efisiensi thermal campuran CPO 50% lebih rendah daripada solar. Efisiensi thermal rata-rata keseluruhan untuk bahan bakar solar lebih tinggi daripada efisiensi thermal rata-rata keseluruhan campuran CPO.

- Persentase rata-rata kenaikan efisiensi thermal dibandingkan dengan solar pada keseluruhan beban untuk temperatur konstan 90 °C pada konsentrasi campuran CPO 25% sebesar -2,66%, campuran CPO 50% sebesar -0,24%, campuran CPO 75% sebesar -2,13% dan campuran CPO 100% sebesar -1,28%.

Melihat kondisi efisiensi thermal tersebut diatas maka untuk temperatur pemanasan 90 °C, pengoperasian mesin diesel yang penyetulan *injection timing* berdasarkan *injection timing* bahan bakar solar akan menghasilkan efisiensi thermal yang optimal jika menggunakan campuran CPO 50%.



Gambar 4.30. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 90 °C.



Tabel 4.18. Kenaikan efisiensi thermal campuran CPO pada temperatur 90 °C

Jenis BBM	Persentase Kenaikan Efisiensi Thermal Campuran CPO Terhadap Solar (%)				
	500W	1000W	1500W	2000W	Rata-rata
CPO 25% 90°C	-0.38	-4.74	-3.49	-2.03	-2.66
CPO 50% 90°C	2.13	-0.42	-1.06	-1.58	-0.24
CPO 75% 90°C	-4.53	-1.06	-0.19	-2.72	-2.13
CPO 100% 90°C	2.72	-3.53	-1.75	-2.54	-1.28

#### 4.4.3. Opasitas

Pada saat pengujian opasitas gas buang untuk bahan bakar campuran CPO yang dipanaskan, terjadi hal yang sama dengan pengujian opasitas gas buang menggunakan bahan bakar campuran CPO yang tidak dipanaskan dimana ditemukan bahwa data yang timbul pada monitor komputer selalu berubah-ubah dengan sangat cepat yang disebabkan tidak kontinunya aliran gas asap yang keluar dari mesin yang mempunyai spesifikasi 4-tak silinder tunggal. Dengan kondisi ini maka data opasitas yang diambil berdasarkan angka opasitas tertinggi yang terlihat dimonitor komputer. Kondisi ini juga akan memungkinkan terjadinya penyimpangan yang cukup besar antara hasil yang tercatat dengan kondisi sebenarnya menjadi.

Sesuai Kepmen Lingkungan Hidup No. 141 tahun 2003 menyebutkan bahwa ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor adalah 40% untuk berat kendaraan bermotor sampai dengan 3,5 ton dan 50% untuk berat kendaraan bermotor lebih dari 3,5 ton. Berdasarkan hal ini maka opasitas gas buang yang menjadi tinjauan utama seharusnya adalah opasitas maksimumnya.

##### 4.4.3.1. Pengaruh Temperatur Terhadap Opasitas Gas Buang

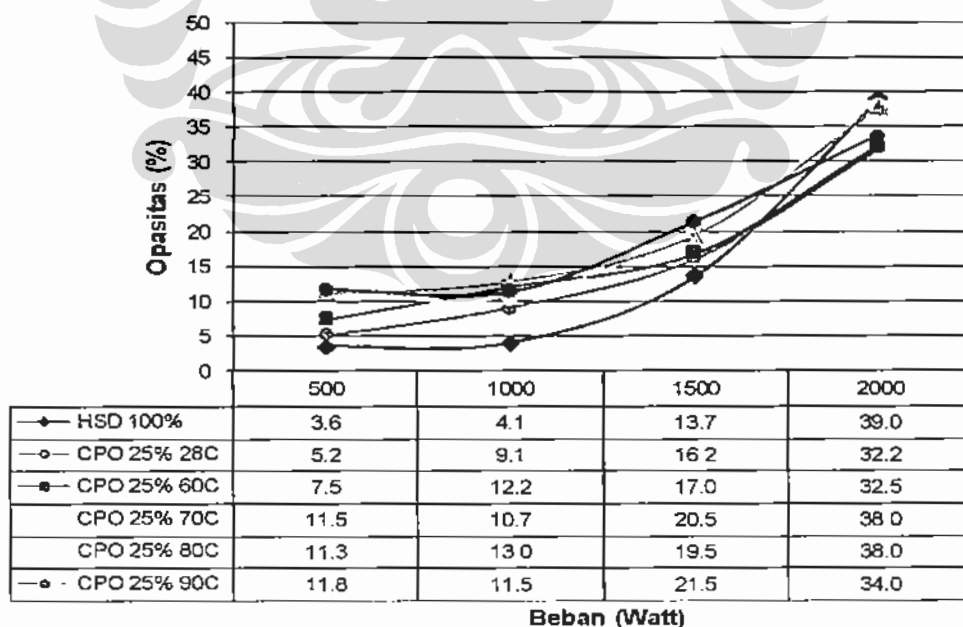
Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 25% yang terlihat pada gambar 4.31 adalah sebagai berikut:

- Pada beban 500W, 1000W dan 1500W terlihat opasitas gas buang bahan bakar solar lebih rendah dari seluruh campuran CPO 25% pada seluruh kondisi temperatur, sedangkan pada posisi beban 2000W opasitas gas buang bahan

bakar solar lebih tinggi dari opasitas gas buang bahan bakar campuran CPO 25% pada seluruh kondisi temperatur.

- Opasitas gas buang bahan bakar campuran CPO 25% tanpa pemanasan (28 °C) memiliki opasitas gas buang terendah pada keseluruhan beban dibandingkan opasitas gas buang bahan bakar campuran CPO 25% dengan pemanasan.
- Pada batasan temperatur bahan bakar 60 °C sampai dengan 90 °C, opasitas gas buang terendah untuk beban 500W, 1500W dan 2000W terdapat pada temperatur bahan bakar 60 °C, beban 1000W pada temperatur bahan bakar 70 °C. Secara keseluruhan opasitas gas buang rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada opasitas gas buang bahan bakar CPO 50% temperatur 60 °C, yang diikuti temperatur 90 °C, 70 °C, sedangkan opasitas gas buang rata-rata terbesar terjadi pada temperatur 80 °C. Opasitas gas buang terbesar sebesar 38% adalah pada beban 2000W pada temperatur bahan bakar 70 °C dan 80 °C.

Melihat kondisi opasitas gas buang tersebut diatas maka untuk pemanfaatan bahan bakar campuran CPO 25% yang terbaik adalah mengoperasikan mesin tanpa pemanasan bahan bakar.

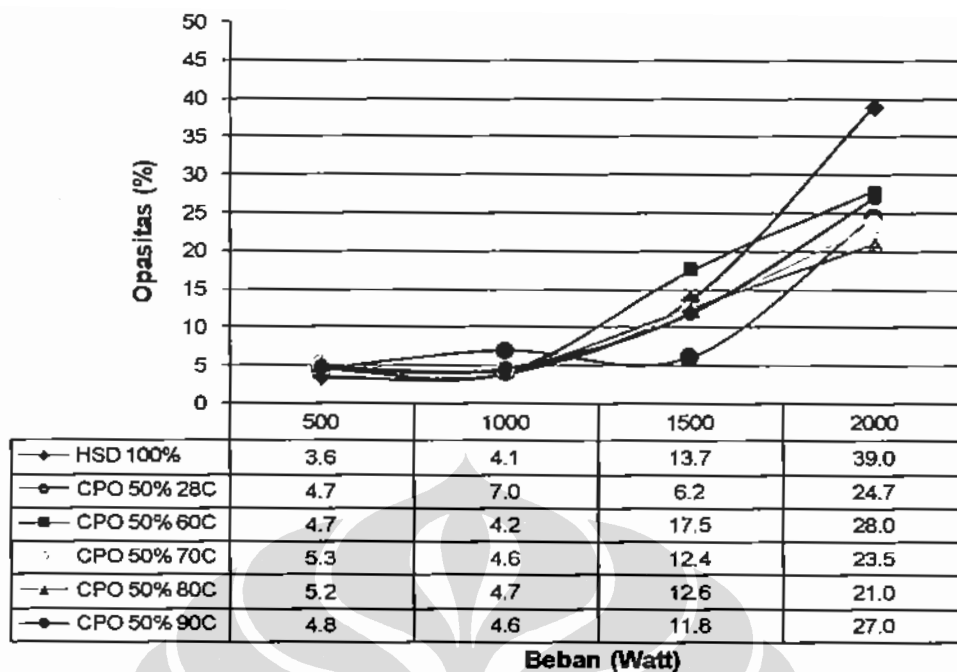


Gambar 4.31. Grafik hubungan beban dan opasitas pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 25%

Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 50% yang terlihat pada gambar 4.32 adalah sebagai berikut:

- Pada beban 500W dan 1000W terlihat opasitas gas buang bahan bakar solar lebih rendah dari seluruh opasitas gas buang bahan bakar campuran CPO 50% pada seluruh kondisi temperatur, sedangkan pada posisi beban 2000W opasitas gas buang bahan bakar solar lebih tinggi dari opasitas gas buang bahan bakar campuran CPO 50% pada seluruh kondisi temperatur.
- Opasitas gas buang bahan bakar campuran CPO 50% tanpa pemanasan (28 °C) memiliki opasitas gas buang rata-rata terendah dibandingkan opasitas gas buang bahan bakar campuran CPO 50% dengan pemanasan.
- Pada batasan temperatur bahan bakar 60 °C sampai dengan 90 °C, opasitas gas buang terendah untuk beban 500W dan 1000W terdapat pada temperatur bahan bakar 60 °C, beban 1500W pada temperatur bahan bakar 70 °C dan beban 2000W terdapat pada temperatur bahan bakar 80 °C. Secara keseluruhan opasitas gas buang rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada temperatur bahan bakar 80 °C, yang diikuti temperatur bahan bakar 70 °C, 90 °C sedangkan opasitas gas buang rata-rata terbesar terjadi pada temperatur bahan bakar 60 °C. Opasitas gas buang terbesar sebesar 28% adalah pada beban 2000W pada temperatur bahan bakar 60 °C.

Melihat kondisi opasitas gas buang tersebut diatas maka untuk campuran CPO 50% yang terbaik dilakukan adalah mengoperasikan mesin tanpa pemanasan bahan bakar.



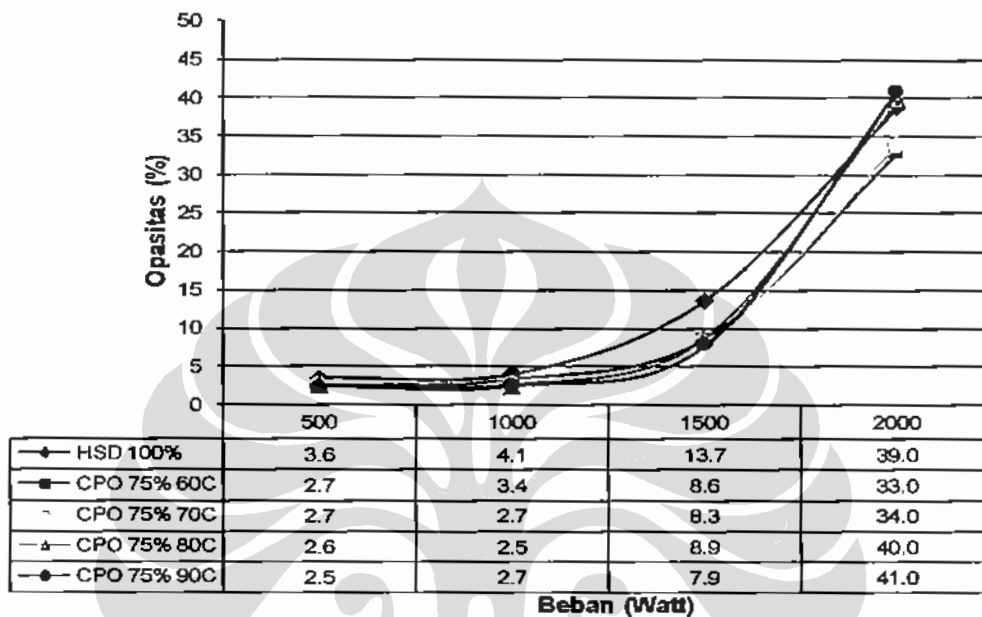
Gambar 4.32. Grafik hubungan beban dan opasitas pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 50%

Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 75% yang terlihat pada gambar 4.33 adalah sebagai berikut:

- Pada beban 500W, 1000W dan 1500W terlihat opasitas gas buang solar lebih tinggi dari seluruh campuran CPO 75% pada seluruh kondisi temperatur, sedangkan pada posisi beban 2000W opasitas solar lebih rendah dari opasitas gas buang campuran CPO 75% temperatur 80 °C dan 90 °C. Opasitas gas buang rata-rata untuk campuran CPO pada seluruh kondisi temperatur lebih rendah dari opasitas gas buang rata-rata bahan bakar solar.
- Pada batasan temperatur bahan bakar 60 °C sampai dengan 90 °C, opasitas terendah untuk beban 500W dan 1500W terdapat pada temperatur bahan bakar 90 °C, beban 1000W terdapat pada temperatur bahan bakar 80 °C dan beban 2000W terdapat pada temperatur bahan bakar 60 °C. Secara keseluruhan opasitas rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada temperatur bahan bakar 70 °C, yang diikuti temperatur bahan bakar 60 °C, 80 °C sedangkan opasitas rata-rata terbesar terjadi pada temperatur bahan bakar 90

°C. Opasitas terbesar sebesar 41% adalah pada beban 2000W pada temperatur bahan bakar 90 °C.

Melihat kondisi opasitas gas buang tersebut diatas maka pengoperasian mesin menggunakan bahan bakar CPO 75% akan memiliki dampak terkecil terhadap lingkungan pada temperatur bahan bakar masuk ke mesin sebesar 70 °C.



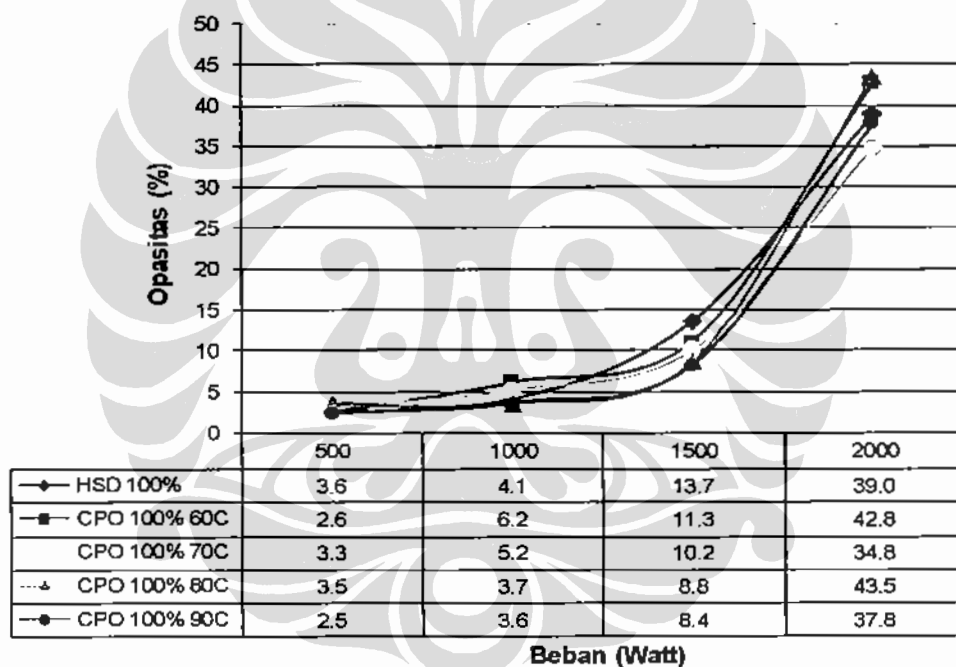
Gambar 4.33. Grafik hubungan beban dan opasitas pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 75%

Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 100% yang terlihat pada gambar 4.34 adalah sebagai berikut:

- Opasitas gas buang untuk bahan bakar CPO 100% temperatur 90 °C terlihat lebih kecil dari opasitas gas buang bahan bakar solar pada keseluruhan beban. Pada beban 1500W, opasitas gas buang solar lebih tinggi dari seluruh campuran CPO 100% pada seluruh kondisi temperatur, sedangkan pada posisi beban lainnya sangat bervariasi. Opasitas gas buang rata-rata bahan bakar CPO 100% pada temperatur 90 °C, 80 °C dan 70 °C lebih rendah dari opasitas gas buang rata-rata bahan bakar solar, sedangkan pada temperatur 60 °C opasitas gas buang rata-ratanya lebih tinggi dari opasitas gas buang bahan bakar solar.

- Pada temperatur bahan bakar 60 °C sampai dengan 90 °C, opasitas terendah untuk beban 500W, 1000W dan 1500W terdapat pada temperatur bahan bakar 90 °C, beban 2000W terdapat pada temperatur bahan bakar 70 °C. Secara keseluruhan opasitas rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada temperatur bahan bakar 90 °C, yang diikuti temperatur bahan bakar 70 °C dan 80 °C, sedangkan opasitas rata-rata terbesar terjadi pada temperatur bahan bakar 60 °C. Opasitas terbesar sebesar 43,5% adalah pada beban 2000W pada temperatur bahan bakar 80 °C.

Melihat kondisi opasitas gas buang tersebut diatas maka pengoperasian mesin menggunakan bahan bakar CPO 100% akan memiliki dampak terkecil terhadap lingkungan pada temperatur bahan bakar masuk ke mesin sebesar 90 °C.



Gambar 4.34. Grafik hubungan beban dan opasitas pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 100%

#### 4.4.3.2. Pengaruh Konsentrasi Campuran CPO Terhadap Opasitas Gas Buang

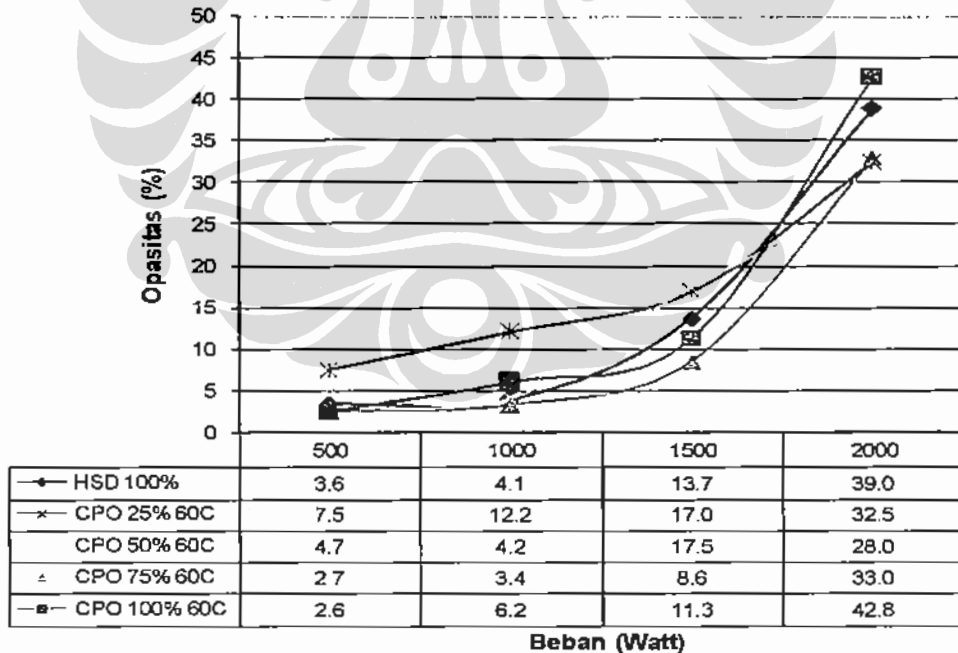
Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi konsentrasi bahan bakar campuran CPO untuk kondisi temperatur konstan 60 °C yang terlihat pada gambar 4.35 adalah sebagai berikut:

- Opasitas gas buang untuk bahan bakar CPO 75% terlihat lebih kecil dari opasitas gas buang bahan bakar solar pada keseluruhan beban. Pada beban

2000W, opasitas gas buang CPO 100% lebih tinggi dari opasitas gas buang solar, sedangkan pada posisi beban lainnya sangat bervariasi. Opasitas gas buang rata-rata bahan bakar CPO 100% dan CPO 25% lebih tinggi dari opasitas gas buang bahan bakar solar.

- Pada konsentrasi campuran CPO 25% sampai dengan 100%, opasitas terendah untuk beban 500W, 1000W dan 1500W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 75%, beban 2000W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 50%. Secara keseluruhan opasitas rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada konsentrasi campuran CPO 75%, yang diikuti konsentrasi campuran CPO 50% dan 100%, sedangkan opasitas rata-rata terbesar terjadi pada konsentrasi campuran CPO 25%. Opasitas terbesar sebesar 42,8% adalah pada beban 2000W pada konsentrasi campuran CPO 100%.

Melihat kondisi opasitas gas buang tersebut diatas maka pengoperasian mesin menggunakan bahan bakar CPO dengan pemanasan pada temperatur konstan 60 °C akan memiliki dampak terkecil terhadap lingkungan pada konsentrasi campuran CPO 75%.



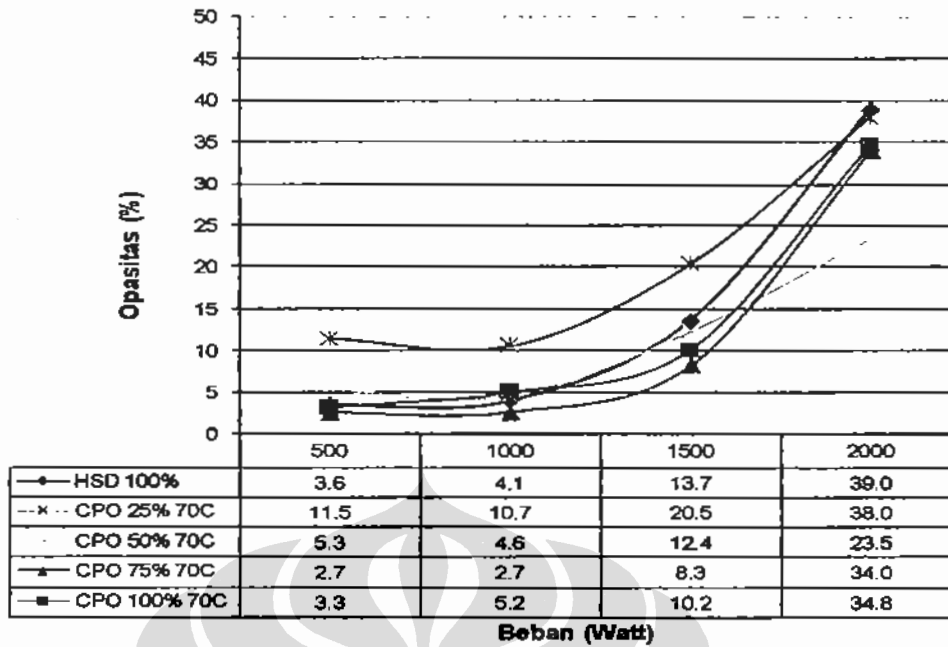
Gambar 4.35. Grafik hubungan beban dan opasitas gas buang pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 60 °C.

Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi konsentrasi bahan bakar campuran CPO untuk kondisi temperatur konstan 70 °C yang terlihat pada gambar 4.36 adalah sebagai berikut:

- Opasitas gas buang untuk bahan bakar CPO 75% terlihat lebih kecil dari opasitas gas buang bahan bakar solar pada keseluruhan beban. Pada beban 2000W, opasitas gas buang seluruh campuran CPO lebih rendah dari opasitas gas buang solar, sedangkan pada posisi beban lainnya sangat bervariasi. Opasitas gas buang rata-rata bahan bakar CPO 25% lebih tinggi dari opasitas gas buang bahan bakar solar.
- Pada konsentrasi campuran CPO 25% sampai dengan 100%, opasitas terendah untuk beban 500W, 1000W dan 1500W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 75%, beban 2000W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 50%. Secara keseluruhan opasitas rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada konsentrasi campuran CPO 50%, yang diikuti konsentrasi campuran CPO 75% dan 100%, sedangkan opasitas rata-rata terbesar terjadi pada konsentrasi campuran CPO 25%. Opasitas terbesar sebesar 38% adalah pada beban 2000W pada konsentrasi campuran CPO 25%.

Melihat kondisi opasitas gas buang tersebut diatas maka pengoperasian mesin menggunakan bahan bakar CPO dengan pemanasan pada temperatur konstan 70 °C akan memiliki dampak terkecil terhadap lingkungan pada konsentrasi campuran CPO 50%.





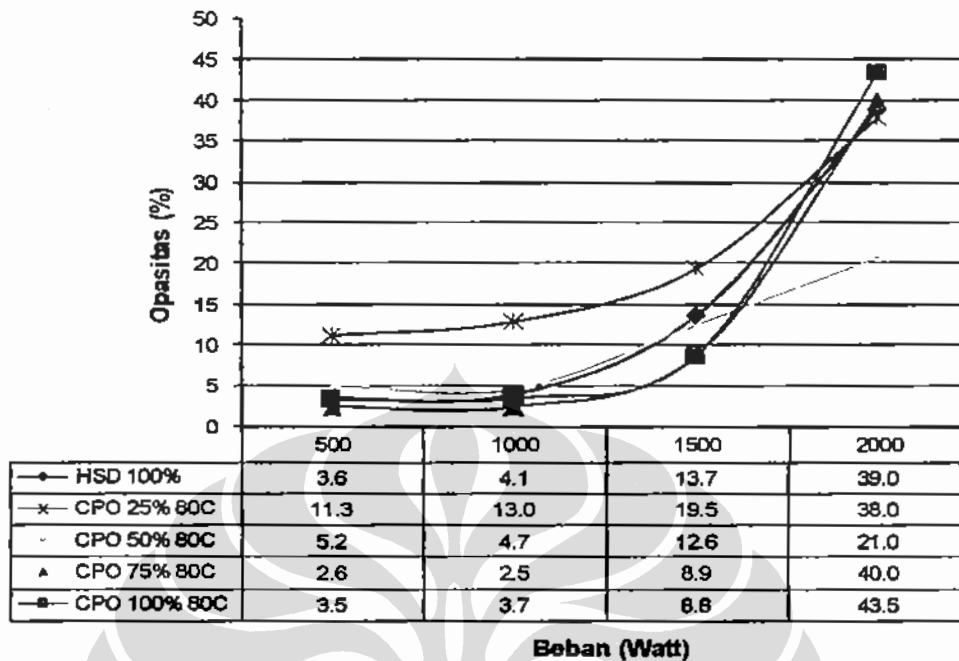
Gambar 4.36. Grafik hubungan beban dan opasitas gas buang pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 70 °C.

Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi konsentrasi bahan bakar campuran CPO untuk kondisi temperatur konstan 80 °C yang terlihat pada gambar 4.37 adalah sebagai berikut:

- Opasitas gas buang untuk bahan bakar CPO 75% dan CPO 100% terlihat lebih besar dari opasitas gas buang bahan bakar solar pada beban 2000W. Opasitas gas buang rata-rata bahan bakar CPO 25% lebih tinggi dari opasitas gas buang bahan bakar solar.
- Pada konsentrasi campuran CPO 25% sampai dengan 100%, opasitas terendah untuk beban 500W dan 1000W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 75%, beban 1500W terdapat pada konsentrasi CPO 100%, beban 2000W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 50%. Secara keseluruhan opasitas rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada konsentrasi campuran CPO 50%, yang diikuti konsentrasi campuran CPO 75% dan 100%, sedangkan opasitas rata-rata terbesar terjadi pada konsentrasi campuran CPO 25%. Opasitas terbesar sebesar 43,5% adalah pada beban 2000W pada konsentrasi CPO 100%.

Melihat kondisi opasitas gas buang tersebut diatas maka pengoperasian mesin menggunakan bahan bakar CPO dengan pemanasan pada temperatur

konstan 80 °C akan memiliki dampak terkecil terhadap lingkungan pada konsentrasi campuran CPO 50%.



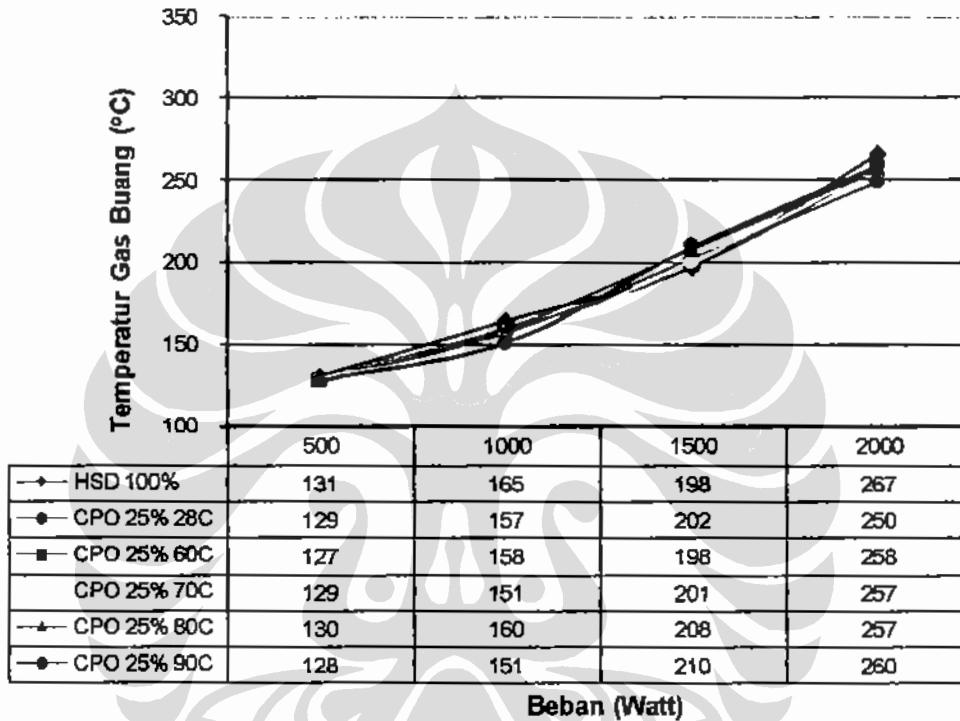
Gambar 4.37. Grafik hubungan beban dan opasitas gas buang pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 80 °C.

Hasil pengujian opasitas gas buang pada variasi beban dan variasi konsentrasi bahan bakar campuran CPO untuk kondisi temperatur konstan 90 °C yang terlihat pada gambar 4.38 adalah sebagai berikut:

- Opasitas gas buang untuk bahan bakar CPO 75% pada beban 2000W terlihat lebih besar dari opasitas gas buang bahan bakar solar. Opasitas gas buang rata-rata bahan bakar CPO 25% lebih tinggi dari opasitas gas buang bahan bakar solar.
- Pada konsentrasi campuran CPO 25% sampai dengan 100%, opasitas terendah untuk beban 500W, 1000W dan 1500W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 75%, beban 2000W terdapat pada konsentrasi campuran CPO 50%. Secara keseluruhan opasitas rata-rata terkecil pada keseluruhan beban adalah pada konsentrasi campuran CPO 50%, yang diikuti konsentrasi CPO 100% dan 75%, sedangkan opasitas rata-rata terbesar terjadi pada konsentrasi campuran CPO 25%. Opasitas terbesar sebesar 41% adalah pada beban 2000W pada konsentrasi CPO 75%.

#### 4.4.4.1. Pengaruh Temperatur Bahan Bakar Terhadap Temperatur Gas Buang

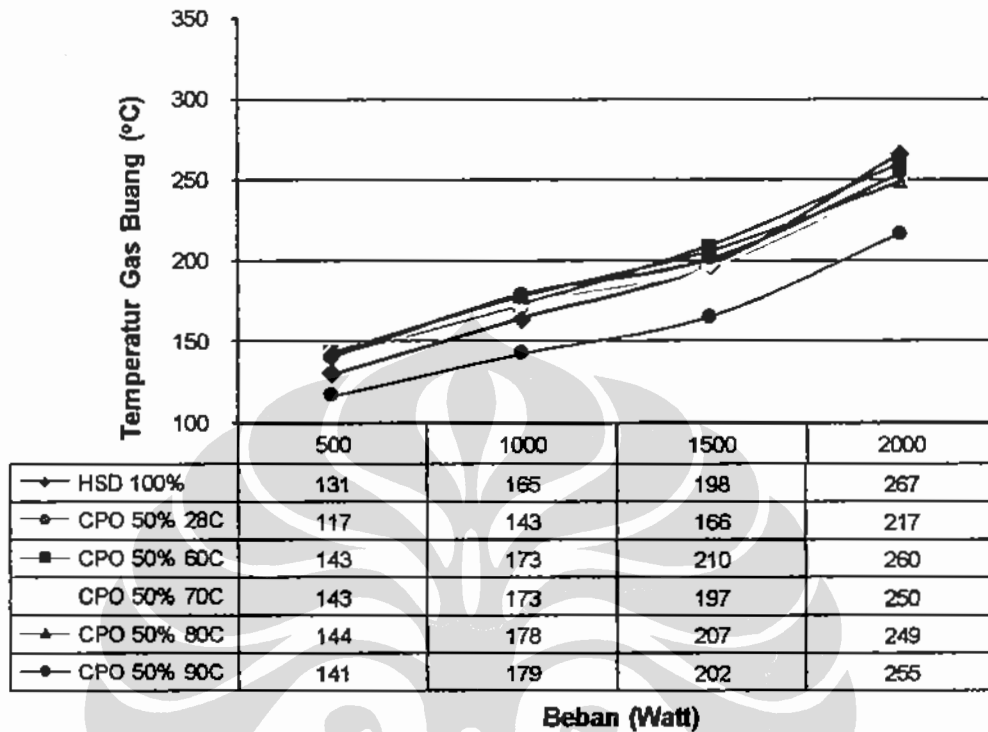
Hasil pengujian temperatur gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 25% memperlihatkan bahwa pada campuran CPO 25% pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C sampai dengan 90 °C menghasilkan temperatur gas buang yang hampir sama besarnya dengan temperatur gas buang campuran CPO 25% tanpa pemanasan (temperatur 28 °C). Hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 4.39.



Gambar 4.39. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 25%

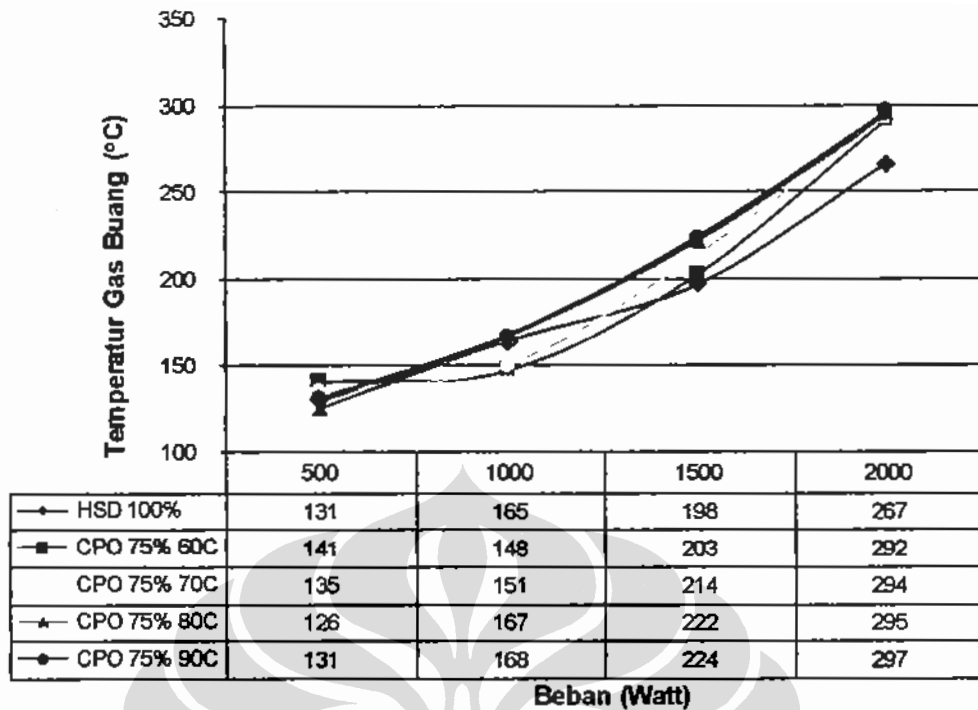
Hasil pengujian temperatur gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 50% memperlihatkan bahwa pada campuran CPO 50% dengan pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C sampai dengan 90 °C akan menghasilkan temperatur gas buang yang jauh lebih tinggi dibandingkan temperatur gas buang bahan bakar campuran CPO 50% tanpa pemanasan (temperatur 28 °C). Pada beban 500W, 1000W dan 1500 W temperatur gas buang bahan bakar CPO 50% dengan pemanasan bahan bakar terlihat lebih tinggi dari temperatur gas buang bahan bakar solar. Kondisi ini mengindikasikan bahwa dengan pemanasan bahan bakar untuk campuran CPO 50% mengakibatkan kerugian panas yang jauh lebih besar dibandingkan dengan

tanpa pemanasan bahan bakar. Pengoperasian mesin akan menghasilkan unjuk kerja terbaik dengan menggunakan bahan bakar campuran CPO 50% tanpa pemanasan. Hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 4.40.



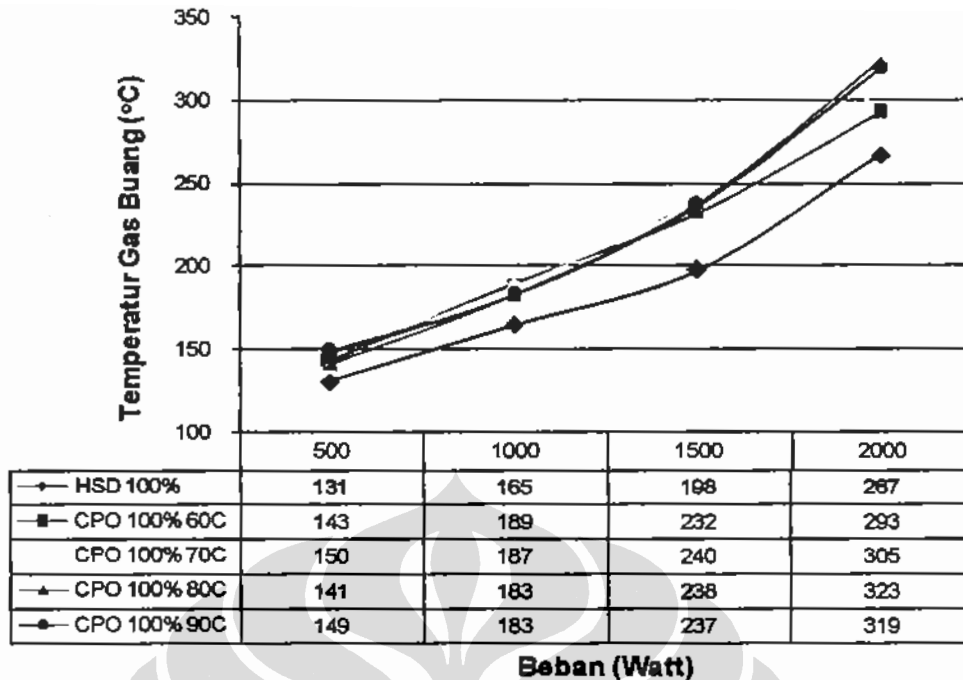
Gambar 4.40. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 50%.

Hasil pengujian temperatur gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 75% memperlihatkan bahwa pada campuran CPO 75% dengan pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C sampai dengan 90 °C akan menghasilkan temperatur gas buang yang jauh lebih tinggi dibandingkan temperatur gas buang bahan bakar solar terutama pada beban 1500 W dan 2000W. Kondisi ini mengindikasikan efisiensi pembakaran yang kurang baik pada pemanfaatan campuran CPO 75% dengan pemanasan sebagai bahan bakar pada mesin diesel yang setelah injection timingnya berbasis bahan bakar solar. Untuk pemanfaatan campuran CPO 75% dengan pemanasan diperlukan penyesuaian injection timing yang tepat. Hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 4.41.



Gambar 4.41. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 75%.

Hasil pengujian temperatur gas buang pada variasi beban dan variasi temperatur bahan bakar untuk kondisi campuran CPO 100% memperlihatkan bahwa pada campuran CPO 100% dengan pemanasan bahan bakar pada temperatur 60 °C sampai dengan 90 °C akan menghasilkan temperatur gas buang yang jauh lebih tinggi dibandingkan temperatur gas buang bahan bakar solar terutama pada keseluruhan beban. Kondisi ini mengindikasikan efisiensi pembakaran yang kurang baik pada pemanfaatan campuran CPO 100% dengan pemanasan sebagai bahan bakar pada mesin diesel yang setelah *injection timing*-nya berbasis bahan bakar solar. Untuk pemanfaatan campuran CPO 100% dengan pemanasan diperlukan penyesuaian *injection timing* yang tepat. Hasil pengujian diperlihatkan pada gambar 4.42.

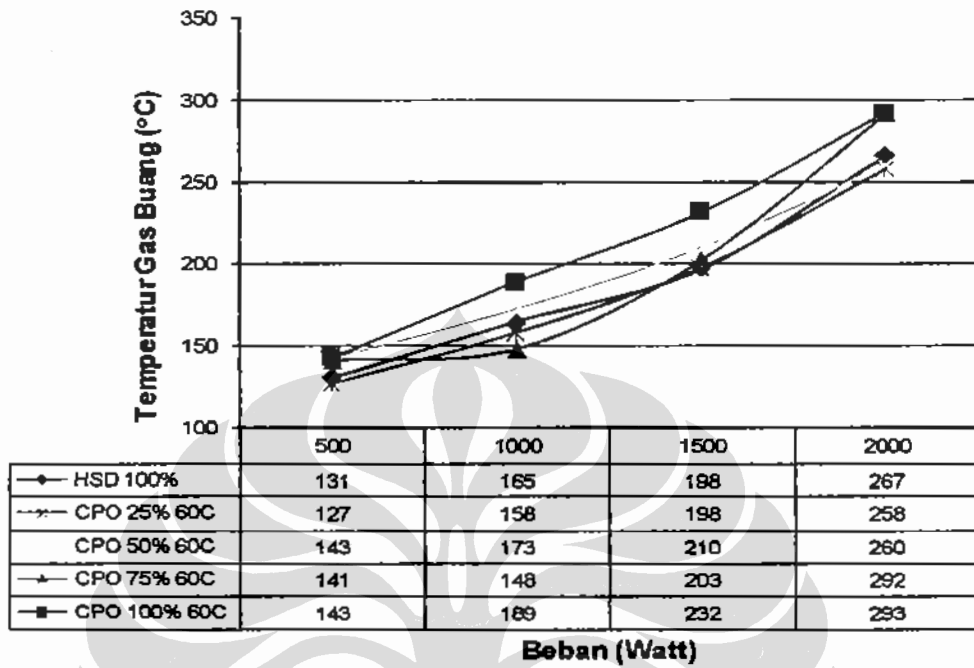


Gambar 4.42. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi temperatur bahan bakar campuran CPO 100%.

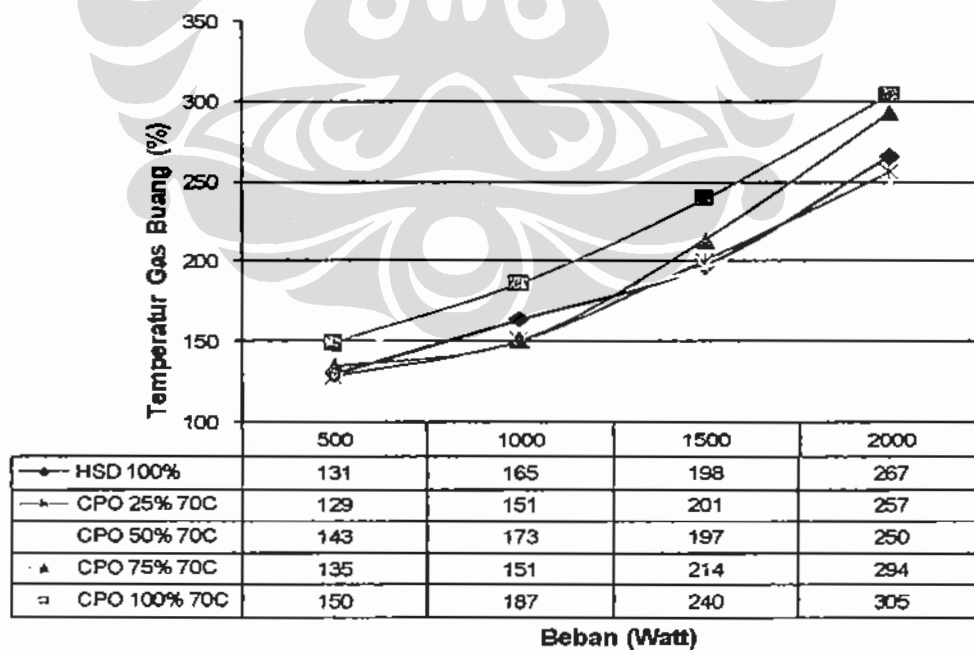
#### 4.4.4.2. Pengaruh Konsentrasi Bahan Bakar Campuran CPO Terhadap Temperatur Gas Buang

Pada keseluruhan hasil pengujian temperatur gas buang pada variasi beban dan variasi konsentrasi bahan bakar campuran CPO pada temperatur bahan bakar konstan 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C, temperatur Gas Buang yang terjadi akibat kenaikan konsentrasi campuran CPO yang terlihat pada gambar 4.43, 4.44, 4.45 dan 4.46 memperlihatkan bahwa kenaikan konsentrasi CPO mengakibatkan temperatur gas buang bahan bakar campuran CPO meningkat pada keseluruhan level temperatur bahan bakar masuk ke mesin. Pada konsentrasi 25% untuk keseluruhan level temperatur bahan bakar masuk ke mesin memperlihatkan temperatur gas buang rata-rata yang hampir sama dengan temperatur gas buang bahan bakar solar. Pada konsentrasi campuran 50%, 75%, 100%, temperatur gas buang rata-ratanya lebih tinggi dari temperatur gas buang bahan bakar solar dan selisih temperatur gas buang bahan bakar campuran CPO tersebut dengan temperatur gas buang bahan bakar solar akan semakin besar dengan meningkatnya konsentrasi campuran CPO. Peningkatan konsentrasi mengakibatkan semakin besarnya kerugian gas buang dan hal ini mengindikasikan bahwa untuk

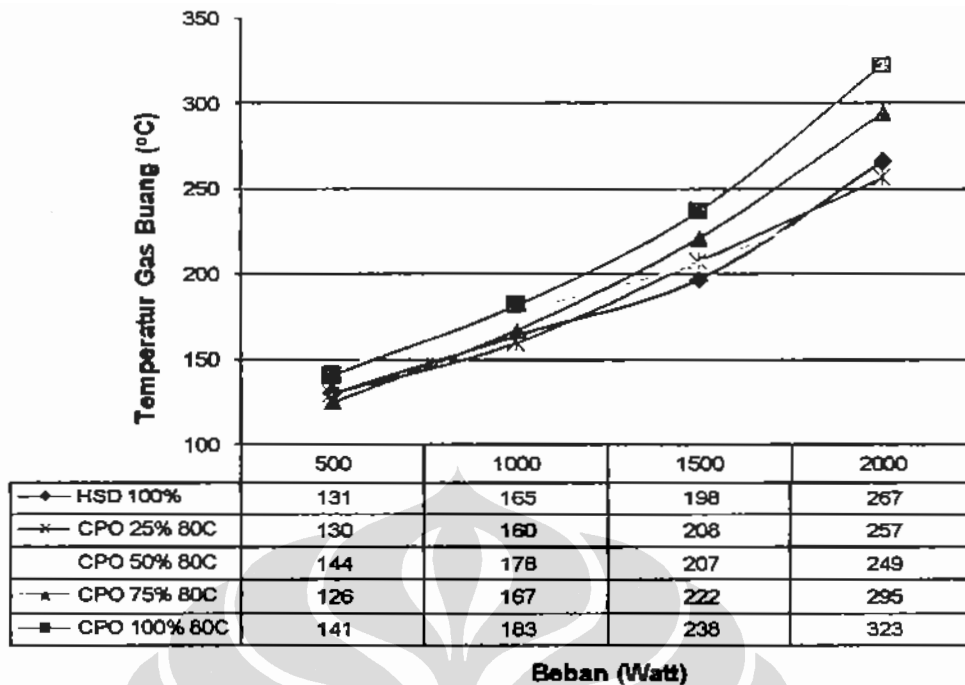
pengoperasian campuran CPO dengan pemanasan bahan bakar pada konsentrasi campuran CPO diatas 50% memerlukan penyetelan kembali *injection timing* yang sesuai.



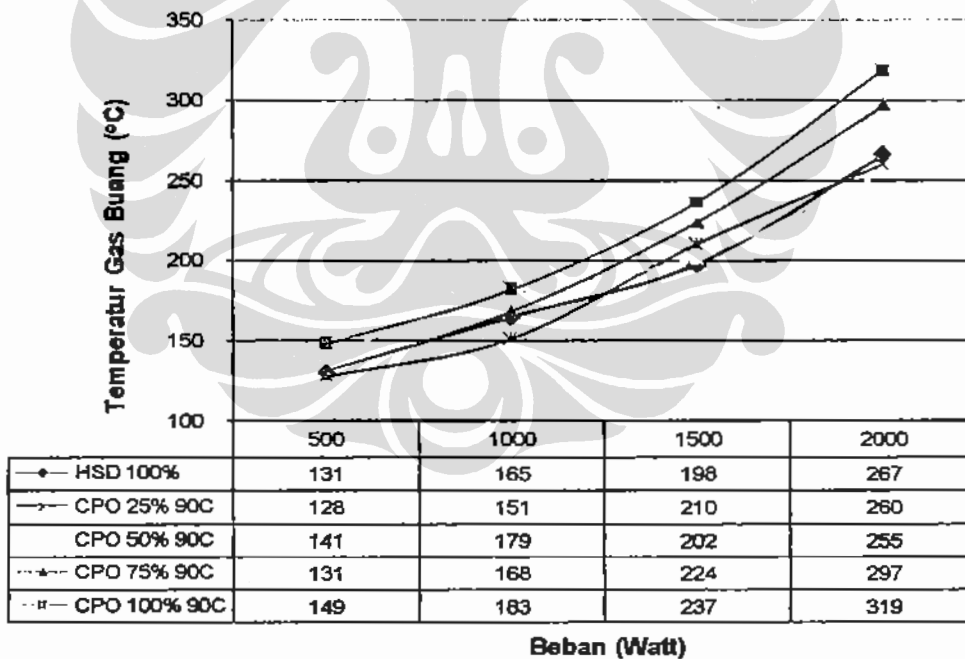
Gambar 4.43. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 60 °C



Gambar 4.44. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 70 °C



Gambar 4.45. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 80 °C.



Gambar 4.46. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada variasi konsentrasi campuran CPO untuk temperatur 90 °C.



#### **4.5. KOMPARASI TINGKAT KEANDALAN 110 JAM OPERASI**

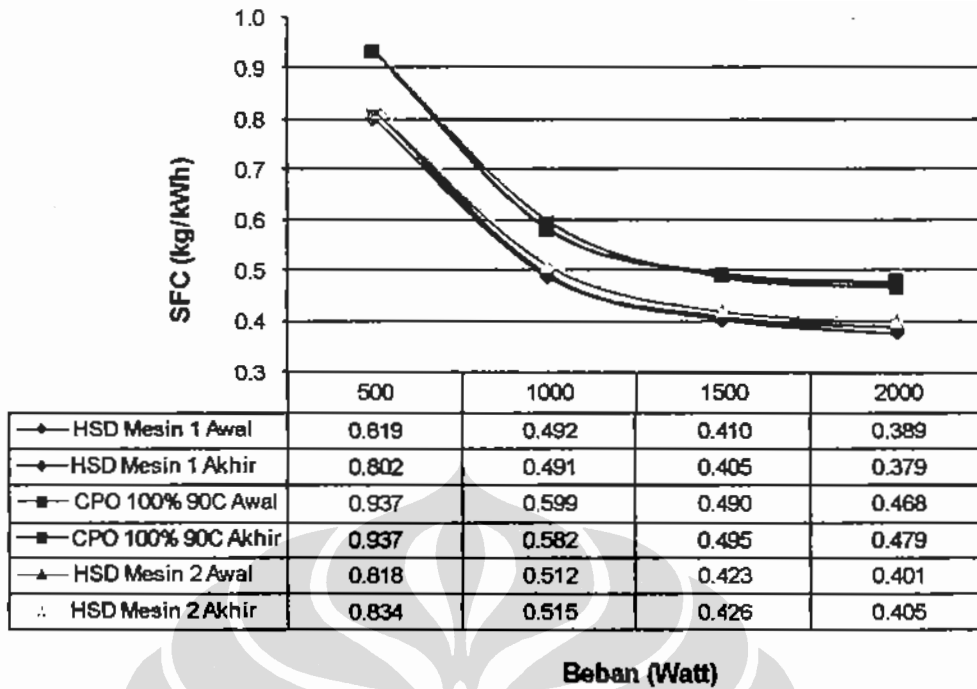
Sudah menjadi aturan yang umum bahwa bertambahnya jam operasi mesin akan mengakibatkan penurunan unjuk kerja mesin yang disebabkan oleh meningkatnya keausan pada bagian-bagian yang bergesekan dan meningkatnya deposit yang terjadi pada ruang bakar. Membandingkan unjuk kerja kedua mesin setelah beroperasi selama 110 jam akan dapat diprediksi dampak tingkat keausan atau kerusakan mesin dan pembentukan deposit yang ditimbulkan oleh pemakaian bahan bakar CPO dan campurannya dibandingkan dampak yang ditimbulkan oleh mesin sejenis yang beroperasi dengan bahan bakar solar. Penurunan unjuk kerja yang lebih besar mengindikasikan bahwa dampak kerusakan dan deposit yang ditimbulkan juga akan lebih besar.

Secara keseluruhan terlihat bahwa mesin yang beroperasi dengan bahan bakar CPO dan campurannya (mesin No.1) lebih andal dibandingkan mesin yang beroperasi dengan bahan bakar solar (mesin No.2). Hal ini terlihat pada penurunan unjuk kerja mesin yang lebih kecil, deposit yang terbentuk lebih sedikit dan tingkat keausan yang sama dengan mesin berbahan bakar solar. Berdasarkan hal ini dapat dikatakan bahwa penggunaan CPO maupun campuran CPO sebagai bahan bakar sangat layak dipandang dari sisi teknis.

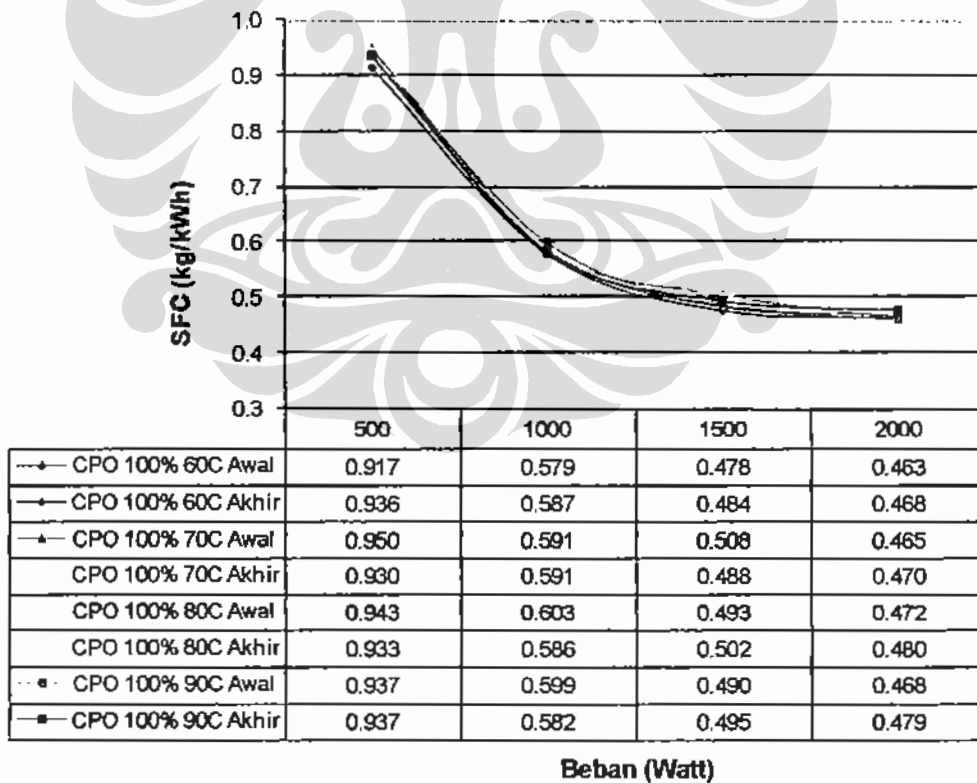
Keandalan yang lebih baik pada mesin yang menggunakan bahan bakar CPO dan campurannya disebabkan karena sifat bahan bakar CPO yang memiliki kemampuan pelumasan yang lebih baik dibandingkan bahan bakar solar dan angka setana yang lebih besar serta efek dari pemanasan bahan CPO yang mengakibatkan pembakaran didalam ruang bakar lebih baik dibandingkan bahan bakar solar.

##### **4.5.1. Komparasi Unjuk Kerja Mesin**

Unjuk kerja mesin yang menggunakan bahan bakar CPO dan campurannya setelah beroperasi selama 110 jam secara keseluruhan terlihat lebih baik dibandingkan unjuk kerja mesin yang menggunakan bahan bakar solar. Hal ini terlihat pada persentase peningkatan SFC, persentase penurunan efisiensi thermal, persentase peningkatan opasitas gas buang dan persentase kenaikan temperatur gas buang pada mesin yang beroperasi dengan bahan bakar CPO dan



Gambar 4.47. Grafik hubungan beban dan SFC pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.

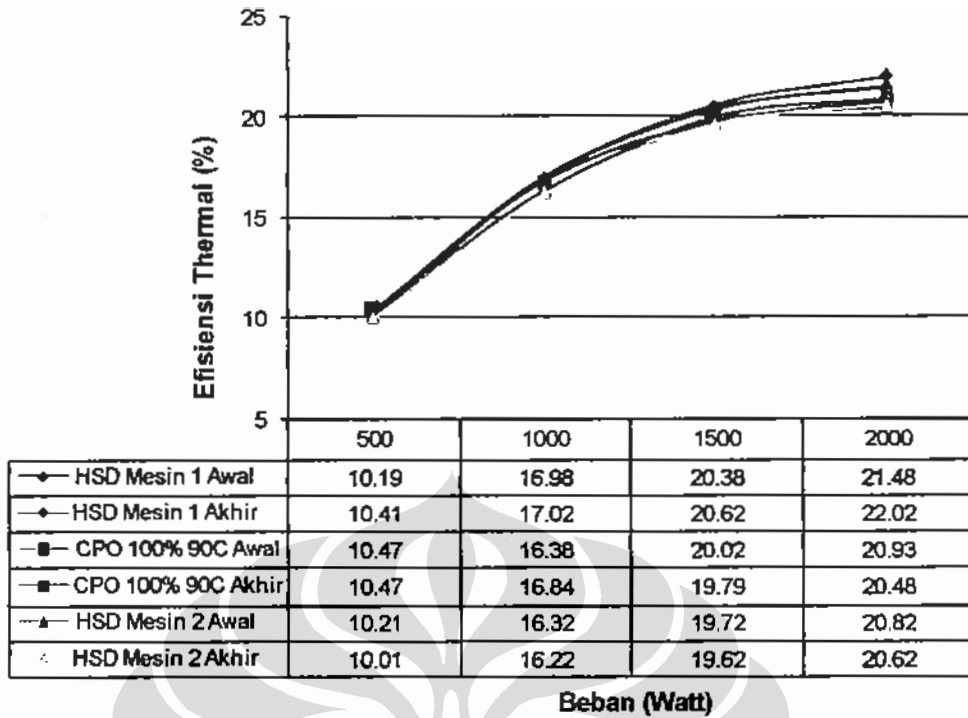


Gambar 4.48. Grafik hubungan beban dan SFC CPO 100% pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.

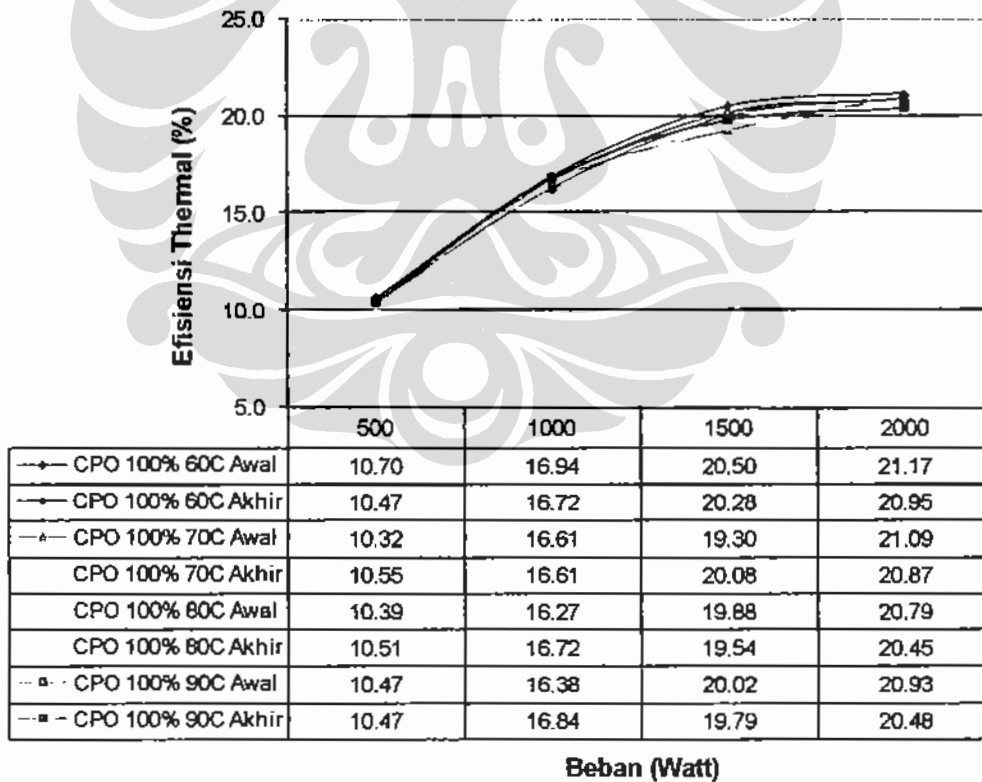
Berdasarkan hasil pengujian efisiensi thermal pada mesin No. 1 dan mesin No. 2 setelah 110 jam operasi, terlihat beberapa hal:

- Keseluruhan efisiensi thermal yang terjadi pada ke dua mesin memiliki perbedaan yang sangat kecil kecil, terlihat dari garis efisiensi thermal yang saling berhimpitan pada gambar 4.49.
- Efisiensi thermal mesin No. 1 pada saat diuji dengan bahan bakar solar terlihat bahwa tidak ada penurunan efisiensi thermal, sebaliknya efisiensi thermal yang dihasilkan pada saat 110 jam operasi terlihat lebih baik dari pada efisiensi thermal pada saat pengujian awal operasi, terdapat peningkatan efisiensi thermal sebesar 1,52% dari efisiensi thermal awal. Hal ini dimungkinkan hanya karena kualitas bahan bakar solar yang digunakan pada saat pengujian setelah 110 jam operasi lebih baik dari kualitas bahan bakar solar pada saat awal operasi.
- Efisiensi thermal mesin No. 1 menggunakan bahan bakar CPO 100% pada kondisi pemanasan 90 °C setelah 110 jam operasi mengalami penurunan efisiensi thermal rata-rata keseluruhan sebesar 0,13% terhadap efisiensi thermal awal. Pada keseluruhan kondisi bahan bakar CPO 100% untuk temperatur 60 °C, 70 °C, 80 °C dan 90 °C mengalami penurunan efisiensi thermal dengan rata-rata keseluruhan penurunan efisiensi thermal sebesar 0,02%, sesuai gambar 4.50.
- Efisiensi thermal mesin No. 2 yang menggunakan bahan bakar solar, setelah 110 jam operasi mengalami penurunan dengan persentase penurunan efisiensi thermal rata-rata keseluruhan sebesar 1.02% terhadap efisiensi thermal awal.

Dari sisi penurunan efisiensi thermal yang terjadi terlihat bahwa setelah 110 jam operasi, kondisi mesin yang beroperasi dengan bahan bakar CPO dan campurannya lebih baik dari kondisi mesin yang beroperasi dengan bahan bakar solar.



Gambar 4.49. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.

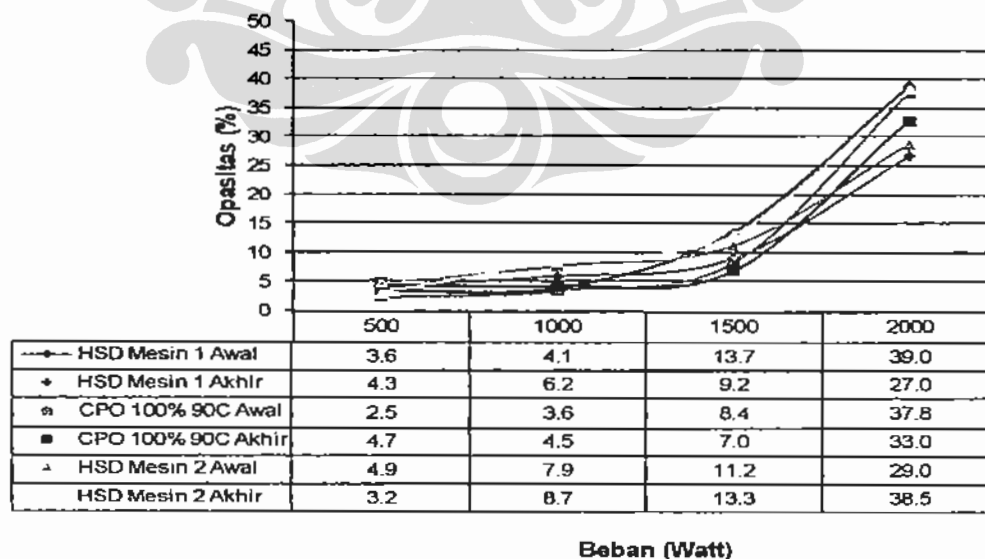


Gambar 4.50. Grafik hubungan beban dan efisiensi thermal 100% pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.

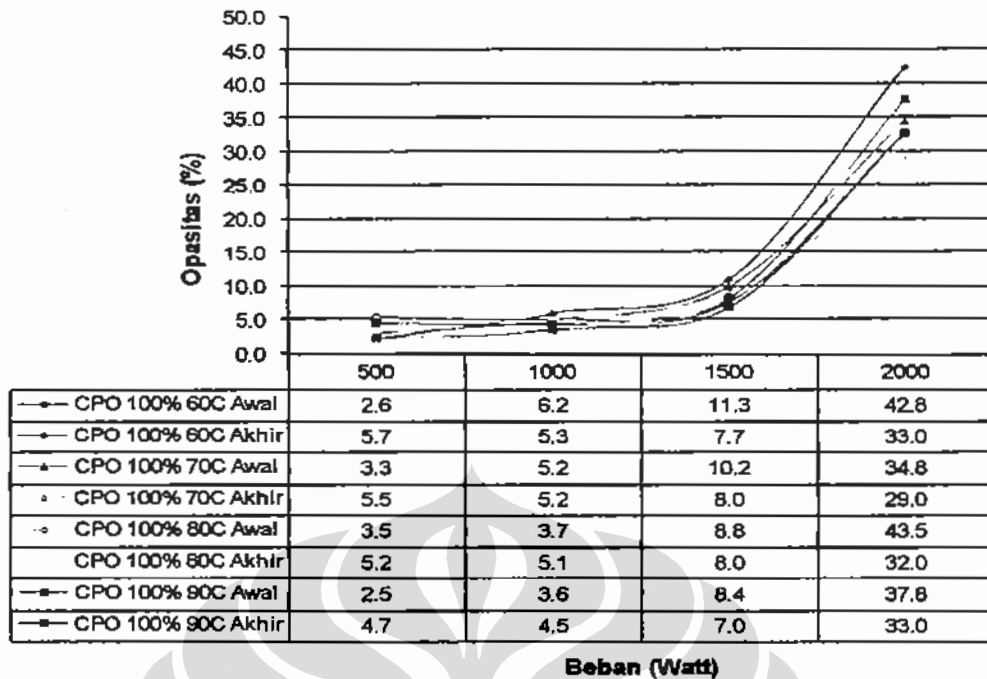
Berdasarkan hasil pengujian opasitas gas buang pada mesin No. 1 dan mesin No. 2 setelah 110 jam operasi, terlihat beberapa hal:

- Opasitas gas buang mesin No. 1 pada saat diuji dengan bahan bakar solar terlihat bahwa pada beban 2000W opasitasnya mengalami penurunan dari 39% pada kondisi awal menjadi 27% setelah 110 jam operasi.
- Opasitas gas buang mesin No. 1 pada saat diuji menggunakan bahan bakar CPO 100% dengan pemanasan 90 °C pada beban 2000W mengalami penurunan opasitas dari 37,8% pada kondisi awal menjadi 33% setelah 110 jam operasi. Pada beban 2000W untuk bahan bakar CPO 100% temperatur 60 °C mengalami penurunan opasitas dari 42% menjadi 33%, bahan bakar CPO 100% temperatur 70 °C mengalami penurunan opasitas dari 34,8% menjadi 29%, bahan bakar CPO 100% temperatur 80 °C mengalami penurunan opasitas dari 43,5% menjadi 32%, sesuai gambar 4.52.
- opasitas gas buang mesin No. 2 yang menggunakan bahan bakar solar setelah 110 jam operasi pada beban 2000W mengalami peningkatan dari 29% menjadi 38,5%.

Dari sisi penurunan opasitas gas buang yang terjadi terlihat bahwa setelah 110 jam operasi, kondisi mesin yang beroperasi dengan bahan bakar CPO dan campurannya lebih baik dari kondisi mesin yang beroperasi dengan bahan bakar solar.



Gambar 4.51. Grafik hubungan beban dan opasitas gas buang pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.

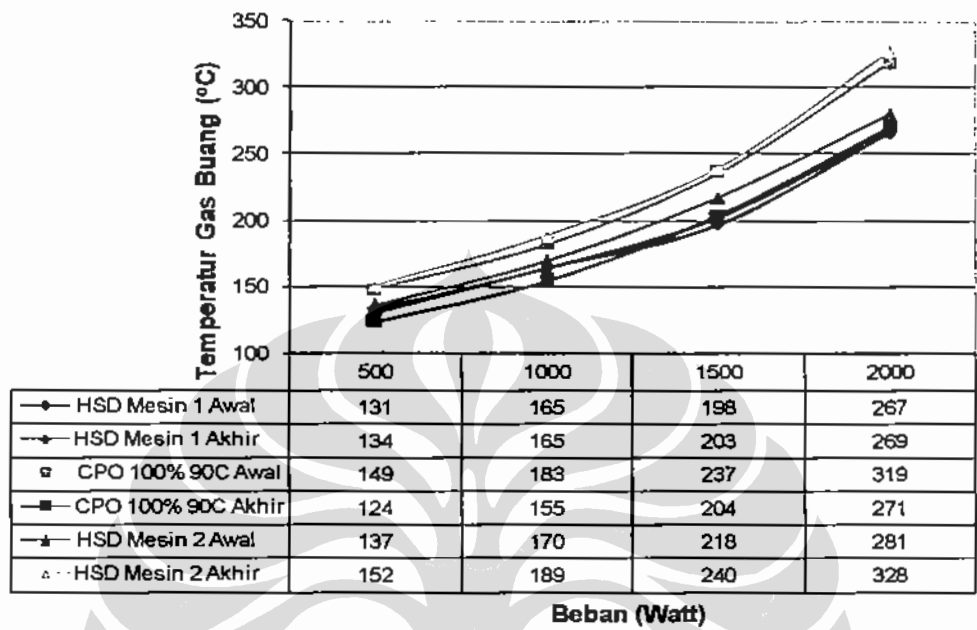


Gambar 4.52. Grafik hubungan beban dan opasitas gas buang CPO 100% pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.

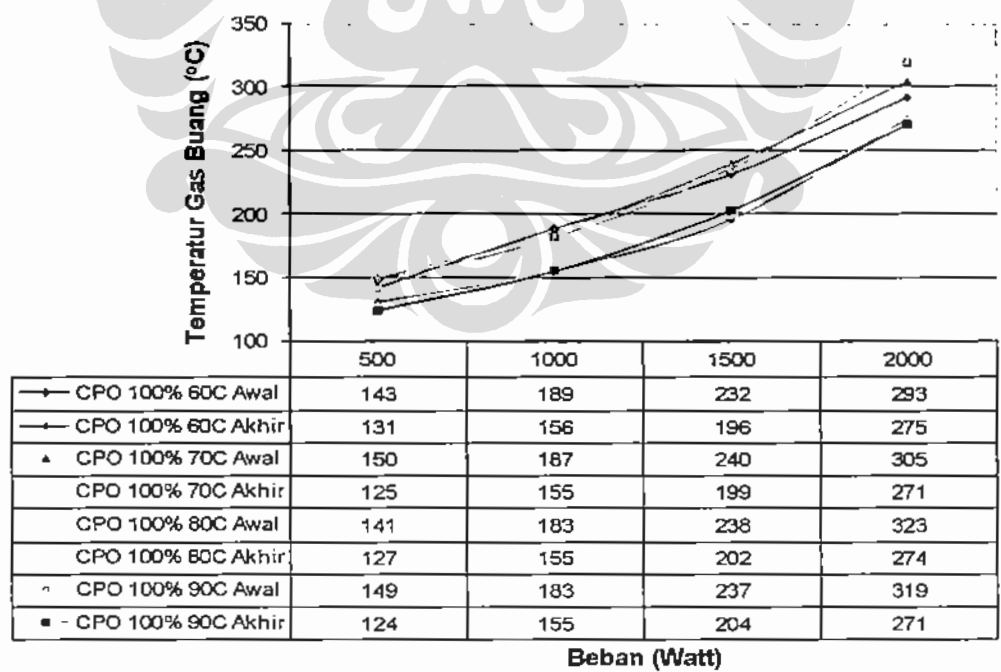
Berdasarkan hasil pengujian temperatur gas buang pada mesin No. 1 dan mesin No. 2 setelah 110 jam operasi, terlihat beberapa hal:

- Temperatur gas buang mesin No. 1 pada saat diuji dengan bahan bakar solar terlihat bahwa pada beban 2000W temperaturnya mengalami kenaikan temperatur dari 267 pada kondisi awal menjadi 269 setelah 110 jam operasi.
- Temperatur gas buang mesin No. 1 pada saat diuji menggunakan bahan bakar CPO 100% dengan pemanasan 90 °C pada beban 2000W mengalami penurunan temperatur dari 319 °C pada kondisi awal menjadi 271 °C setelah 110 jam operasi. Pada beban 2000W untuk bahan bakar CPO 100% temperatur 60 °C mengalami penurunan temperatur dari 293 °C menjadi 275 °C, bahan bakar CPO 100% temperatur 70 °C mengalami penurunan temperatur dari 305 °C menjadi 271 °C, bahan bakar CPO 100% temperatur 80 °C mengalami penurunan temperatur dari 323 °C menjadi 274 °C, sesuai gambar 4.54.
- temperatur gas buang mesin No. 2 yang menggunakan bahan bakar solar setelah 110 jam operasi, pada beban 2000W mengalami peningkatan dari 281 °C menjadi 326 °C .

Dari sisi penurunan temperatur gas buang yang terjadi terlihat bahwa setelah 110 jam operasi, kondisi mesin yang beroperasi dengan bahan bakar CPO dan campurannya lebih baik dari kondisi mesin yang beroperasi dengan bahan bakar solar.



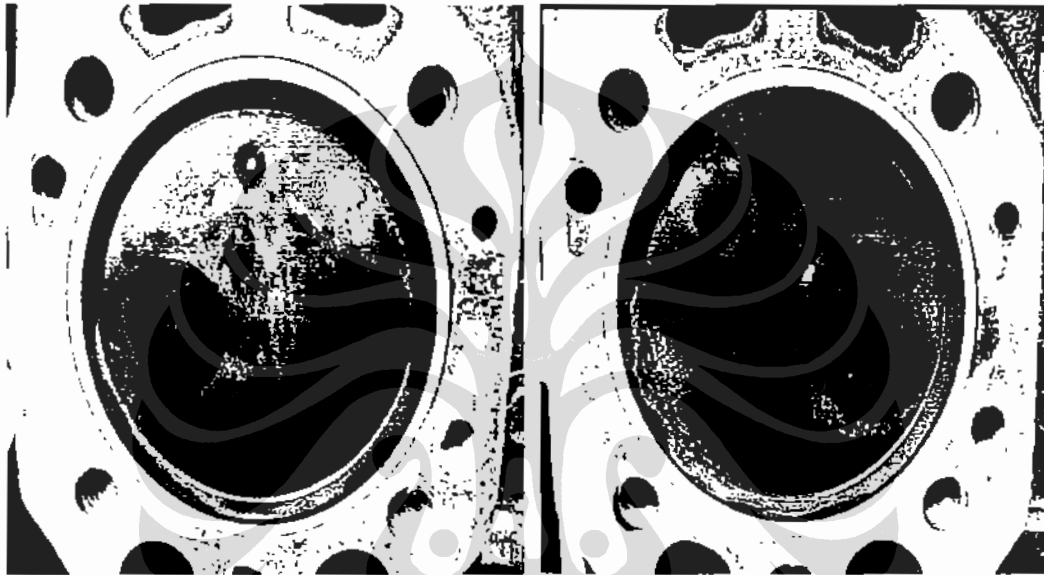
Gambar 4.53. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.



Gambar 4.54. Grafik hubungan beban dan temperatur gas buang CPO 100% pada awal operasi dan setelah 110 jam operasi.

#### 4.5.2. Komparasi Deposit Pada Ruang Bakar

Pengotoran yang terjadi pada permukaan piston dalam bentuk deposit karbon untuk mesin yang beroperasi dengan bahan bakar CPO dan campurannya lebih sedikit dibandingkan deposit yang terjadi pada permukaan piston yang beroperasi dengan bahan bakar solar. Kondisi ini menjadi pertanda bahwa proses pembakaran yang terjadi pada penggunaan bahan bakar CPO dan campurannya terlihat lebih baik dibandingkan menggunakan bahan bakar solar. Deposit yang terjadi pada permukaan piston diperlihatkan pada gambar 4.55.



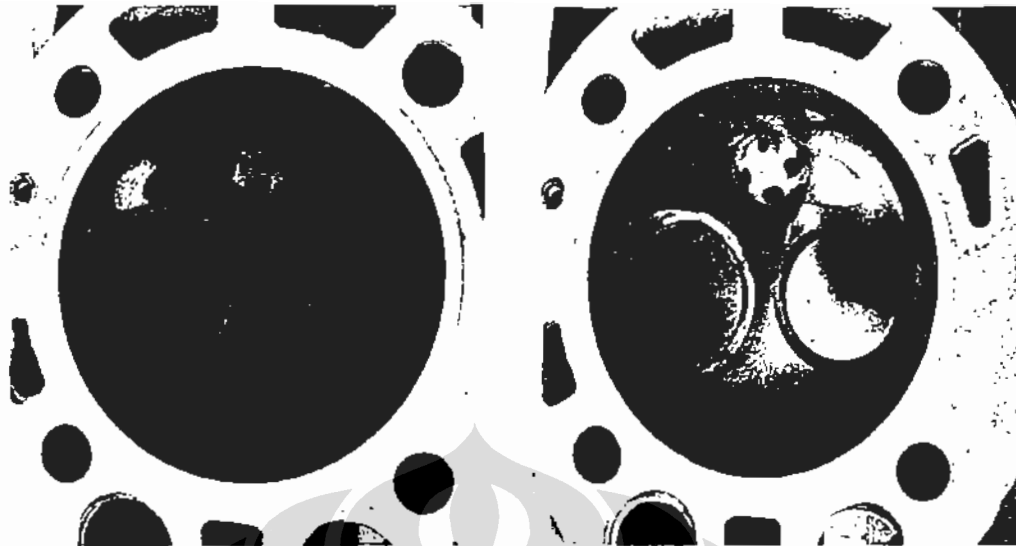
**Permukaan Piston Mesin CPO**

**Piston Mesin Solar**

Gambar 4.55. Deposit yang terjadi pada permukaan piston.

Pengotoran yang terjadi pada permukaan cylinder head untuk mesin yang beroperasi dengan bahan bakar CPO dan campurannya lebih sedikit dibandingkan deposit yang terjadi pada permukaan piston yang beroperasi dengan bahan bakar solar. Deposit yang terjadi pada permukaan cylinder head mesin yang menggunakan bahan bakar CPO dan campurannya hanya berbentuk deposit karbon, sedangkan pada mesin berbahan bakar solar selain terdapat deposit karbon pada permukaannya, juga terlihat adanya penumpukan deposit yang berwarna putih kekuning-kuningan pada celah intake valve. Deposit pada intake valve mesin berbahan bakar solar ini diperkirakan akibat adanya kandungan sulfur pada bahan bakar solar. Pengotoran yang terjadi pada kedua cylinder head dapat dilihat pada gambar 4.56.





**Cylinder Head Mesin CPO**

**Cylinder Head Mesin Solar**

Gambar 4.56. Deposit pada permukaan cylinder head.

Pada bagian samping piston khususnya bagian kepala piston diatas piston ring No. 1 dan pada celah piston ring untuk kedua mesin deposit yang terjadi masih sangat sedikit, seperti terlihat pada gambar 4.57.



**Piston Mesin CPO**

**Piston Mesin Solar**

Gambar 4.57. Deposit pada kepala piston.

#### 4.5.3. Komparasi Keausan Mesin

Untuk mengevaluasi tingkat kerusakan mesin, terutama pada posisi ruang bakar maka dilakukan pengukuran terhadap keausan piston, cylinder liner dan ring piston. Pengukuran dilakukan setelah jam operasi mesin No. 1 yang menggunakan bahan bakar CPO 100% dan campurannya serta mesin No. 2 yang

menggunakan bahan bakar solar mencapai 110 jam operasi. Berdasarkan hasil pengukuran terlihat bahwa keausan yang terjadi pada kedua mesin masih dalam batas toleransi sama seperti pada tabel 4.20. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan bahan bakar CPO 100% maupun campurannya tidak mengakibatkan keausan yang melebihi keausan normal.

Tabel 4.20. Hasil pengukuran keausan mesin

Uraian	Mesin Solar	Mesin CPO	Standard	Keterangan
Diameter piston (mm)	74,85	74,85	74,85 s/d 74,875	Memenuhi
Diameter lubang cylinder liner (mm)	75,10	75,10	75,07 s/d 75,10	Memenuhi
Celah ring piston no.1 (mm)	0,35	0,25	0,25 s/d 0,4	Memenuhi
Celah ring piston no.2 (mm)	0,35	0,35	0,25 s/d 0,4	Memenuhi
Celah ring piston no.3 (mm)	0,35	0,35	0,25 s/d 0,4	Memenuhi
Celah oil ring (mm)	0,4	0,4	0,25 s/d 0,4	Memenuhi