

BAB IV

HASIL DAN ANALISA

4.1 Perhitungan konsumsi bahan bakar dengan bensin murni

Percobaan pertama dilakukan pada motor bakar dengan bensin murni, untuk mengetahui seberapa besar laju konsumsi BBM yang dibutuhkan motor bakar dalam kondisi tanpa penambahan gas hasil elektrolisa air.

Untuk mengetahui *fuel consumption* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$FC = \frac{V_f \times 3600}{t \times 1000} \text{ [L/h].}$$

Dimana:

FC = *Fuel Consumption* (L/h)

V_f = Volume konsumsi (mL)

t = Waktu konsumsi [s].

misalkan pada putaran 2500 rpm untuk volume premium 10 ml dengan rata-rata waktu yang dibutuhkan 95.64 s maka *fuel consumption*-nya adalah :

$$\begin{aligned} FC &= \frac{10ml \times 3600}{95.64s \times 1000} \text{ [L/h].} \\ &= 0.38 \text{ L/h} \end{aligned}$$

Berikut adalah data hasil percobaan yang dilakukan, dalam bentuk tabel :

Tabel 4.1 konsumsi BBM (bensin murni)
tanpa injeksi gas elektrolisa air pada rpm 2500.

Beban (watt)	Vbb (ml)	t1 (s)	t2 (s)	t3 (s)	t rata-rata (s)	FC (L/h)
0	10	96.78	94.71	95.44	95.64	0.38
100	10	91.51	92.92	92.7	92.38	0.39
200	10	86.34	88.63	86.61	87.19	0.41

Vbb = Volume bahan bakar (ml)

t1 , t2 , t3 = durasi 1, 2 dan 3 (s)

t rata- rata = $(t1 + t2 + t3) / 3$ (s)

FC = *Fuel Consumption* (L/h)

Pengambilan data konsumsi BBM tanpa penambahan gas elektrolisa air pada putaran 2500 rpm hanya dilakukan dengan pembebanan hingga 200 watt. Hal dikarenakan pada pembebanan 300 watt, motor bakar sudah tidak mampu berputar stabil.

Tabel konsumsi BBM bensin murni, rpm 2750 sampai dengan 3500 kami sajikan pada lampiran.

4.2 Perhitungan konsumsi bahan bakar dengan penambahan gas hasil elektrolisa.

Selanjutnya dilakukan percobaan dengan penambahan gas hasil elektrolisa air. Berikut adalah tabel hasil percobaan, selisih berat tabung reaktor elektrolisa air pada berbagi variasi beban dan putaran.

Tabel 4.2 Selisih berat tabung reaktor elektrolisa air (gr) pada berbagai variasi beban dan putaran, dengan posisi injeksi sebelum karburator.

n (rpm)	2500	2750	3000	3250	3500
Beban (watt)					
0	0.11	0.07	0.08	0.06	0.04
100	0.06	0.04	0.06	0.04	0.07
200	0.07	0.06	0.03	0.06	0.04
300	0.14	0.1	0.07	0.11	0.08
400		0.05	0.05	0.07	0.04
500		0.07	0.04	0.03	0.05

Selisih berat tabung reaktor elektrolisa air pada percobaan ini nilainya berubah-ubah. Hal ini dikarenakan proses elektrolisa air pada reaktor berlangsung tidak stabil. Selain dari pada itu sistem injeksi yang masih sederhana, dengan memasukan gas hasil elektrolisa air langsung ke mulut venturi karburator, jumlah laju aliran gas hasil elektrolisa air tidak dapat dikendalikan dengan stabil.

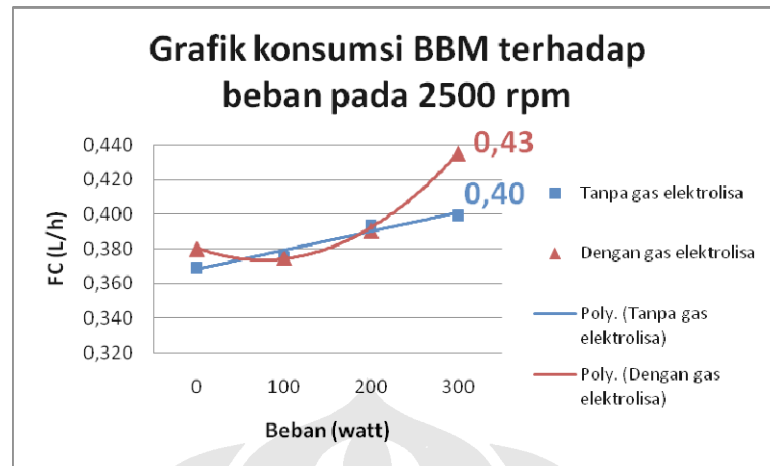
Berikut adalah data hasil percobaan, konsumsi BBM dengan penambahan gas hasil elektrolisa air yang diinjeksikan setelah karburator :

Tabel 4.3 Konsumsi BBM dengan penambahan gas elektrolisa air pada rpm 2500.

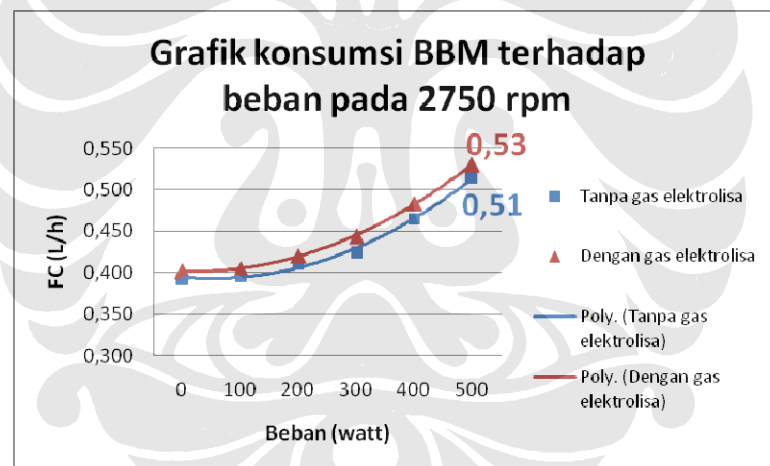
beban (watt)	Vbb (ml)	t (s)	FC (L/h)
0	10	94.73	0.38
100	10	95.98	0.38
200	10	92.16	0.39
300	10	82.79	0.43

Tabel konsumsi BBM dengan penambahan gas elektrolisa air, rpm 2750 sampai dengan 3500 kami sajikan pada lampiran.

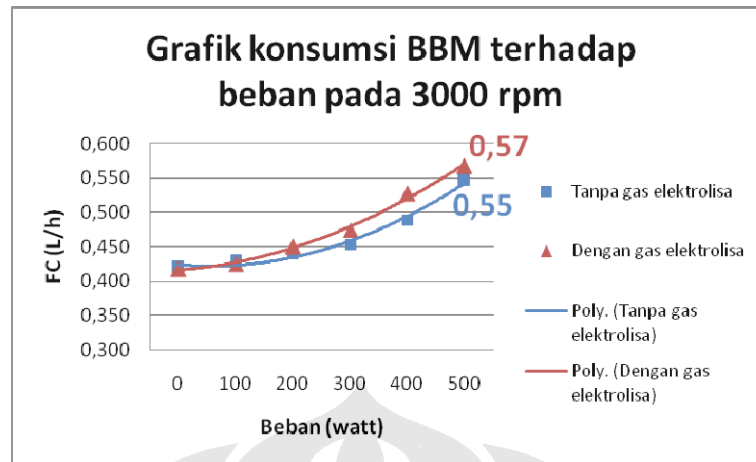
Untuk mempermudah proses analisa, data perbandingan antara konsumsi BBM pada motor bakar, tanpa dan dengan penambahan gas elektrolisa air, kami buat dalam bentuk grafik.



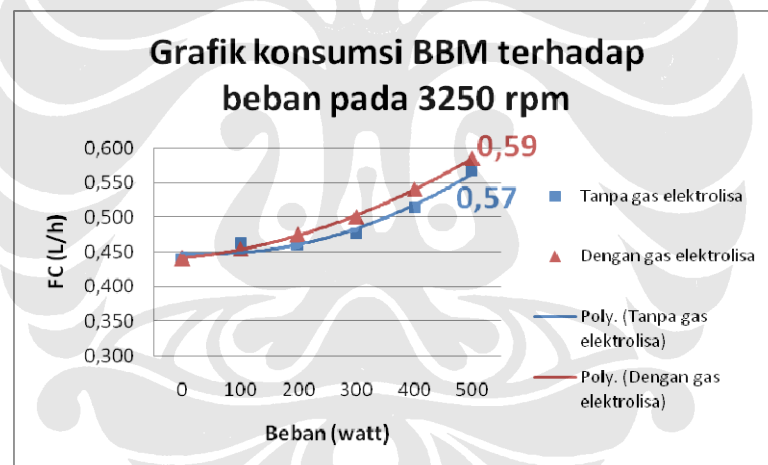
Gbr 4.1 Grafik konsumsi BBM terhadap beban pada putaran 2500 rpm.



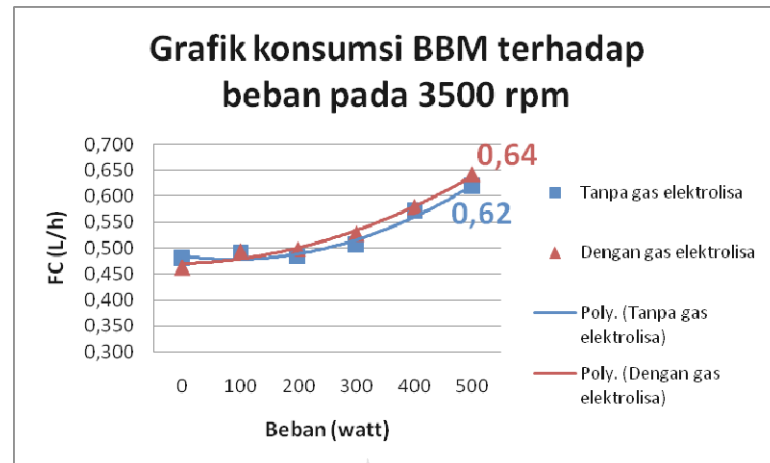
Gbr 4.2 Grafik konsumsi BBM terhadap beban pada putaran 2750 rpm.



Gbr 4.3 Grafik konsumsi BBM terhadap beban pada putaran 3000 rpm.



Gbr 4.4 Grafik konsumsi BBM terhadap beban pada putaran 3250 rpm.



Gbr 4.5 Grafik konsumsi BBM terhadap beban pada putaran 3500 rpm.

Dari grafik perbandingan terlihat, konsumsi bahan bakar memiliki kecenderungan yang berbeda untuk tiap rpm nya. Untuk mendapatkan tingkat penghematan BBM pada setiap rpm nya maka dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$\Delta FC \text{ (L/h)} = FC \text{ bensin murni} - FC \text{ dengan injeksi HHO}$$

$$\text{Penghematan BBM (\%)} = \frac{\Delta FC}{FC_{\text{bensin_murni}}} \times 100\%$$

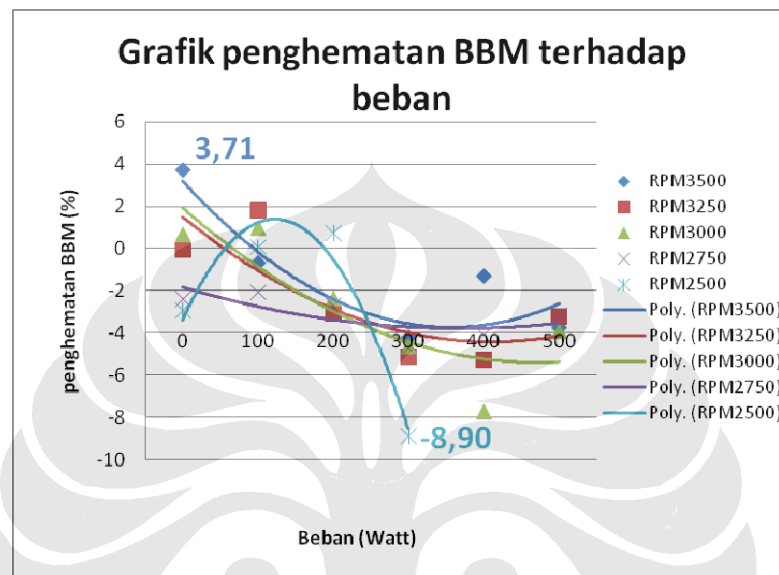
Berikut adalah data hasil perhitungan penghematan BBM dalam bentuk tabel :

Tabel 4.4 Penghematan BBM pada rpm 2500.

Beban (Watt)	FC tanpa (L/h)	FC dengan (L/h)	Δfc (L/h)	hemat(%)
0	0,369	0,38	-0,01	-2,95
100	0,375	0,38	0,00	0,05
200	0,393	0,39	0,00	0,72
300	0,399	0,43	-0,04	-8,90

Tabel penghematan BBM, rpm 2750 sampai dengan 3500 kami sajikan pada lampiran.

Untuk melihat tingkat penghematannya maka kami buat dalam bentuk grafik.

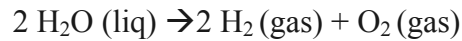


Gbr4.6 Grafik penghematan BBM terhadap beban.

Terlihat bahwa penghematan terjadi pada rpm 2500, 3000, 3250 dan 3500 pada kondisi tanpa beban dan beban 100 Watt saja, sedangkan pada beban 200 Watt sampai 500 Watt konsumsi BBM menjadi semakin boros, terlihat dengan posisi penghematan ada di bawah nilai 0. Penghematan maksimum diperoleh pada rpm 3500 kondisi tanpa beban ada pada nilai 3,71%.

4.3 Perhitungan kesetimbangan Energi dan Efisiensi.

Dikarenakan reaksi redox yang terjadi adalah :



Maka secara teoritis 2/3 dari volume gas yang keluar adalah gas Hidrogen, apabila dikonversi ke berat menjadi, hidrogen 0,88 bagian dan oksigen 0,12 bagian. Maka kemudian dapat ditemukan berapa besar *nilai kandungan kalor yang dimiliki hidrogen*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya penghitungan menggunakan metoda bubble growth, tidak seluruhnya selisih berat berubah menjadi gas hidrogen dan oksigen, diakibatkan terjadinya penguapan. Penguapan yang terjadi berdasarkan data penelitian sebelumnya adalah 4,65 %.

Diambil contoh perhitungan pada data dengan rpm 3000, beban 300 watt.

Selisih berat reaktor yang pada kondisi ini adalah :

$$\Delta W \text{ (g)} = 0,07 \text{ g}$$

$$\text{LHV H}_2 = 119,96 \text{ MJ/kg}$$

$$\text{Tingkat Penguapan} = 4,65 \%$$

$$\text{Berat H}_2 \text{ yang terbentuk} = 0,12 \text{ bagian} \times 0,07 \text{ g} \times (100\% - 4,65\%) = 0,008 \text{ g}$$

$$\text{Kandungan energi H}_2 \text{ (Joule)} = (0,008/1000)\text{kg} \times (119,96 \times 10^6)\text{J/kg} = 960,808 \text{ J}$$

4.3.1 Efisiensi Elektrolisa Air.

Efisiensi dapat dihitung setelah energi yang dihasilkan dari proses dan energi yang diperlukan guna proses telah diketahui, dikarenakan energi yang dihasilkan telah diketahui (energi yang dikandung H₂), maka data yang dicari hanyalah tinggal energi listrik yang diperlukan;

$$\text{Energi Listrik yang digunakan} = V \cdot I \cdot t$$

$$V = 12 \text{ V}$$

$$I = 6 \text{ A}$$

$$t = 75,91 \text{ s}$$

$$E \text{ listrik} = 12 \times 6 \times 75,91 = 5465,520 \text{ Joule}$$

Sehingga :

$$\eta \text{ (efisiensi)} = \frac{\text{Energi H}_2}{\text{Energi Listrik}} = \frac{960,808}{5465,520} = 17,58 \%$$

Tabel 4.5 Efisiensi Elektrolisa Air pada rpm 3000.

beban (watt)	Vbb (ml)	t (s)	FC (L/h)	ΔW (g)	ΔW_1 (g)	H ₂ (g)	O ₂ (g)	E H ₂ (J)	E Reaktor (J)	η (%)
0	10	86,31	0,42	0,080	0,076	0,009	0,067	1098,066	6214,320	17,67
100	10	84,76	0,42	0,060	0,057	0,007	0,050	823,549	6102,720	13,49
200	10	79,99	0,45	0,030	0,029	0,003	0,025	411,775	5759,280	7,15
300	10	75,91	0,47	0,070	0,067	0,008	0,059	960,808	5465,520	17,58
400	10	68,37	0,53	0,050	0,048	0,006	0,042	686,291	4922,640	13,94
500	10	63,45	0,57	0,040	0,038	0,005	0,034	549,033	4568,400	12,02

Beban (watt) = Besar pembebanan yang diberikan pada generator.

Vbb (ml) = Volume bahan bakar

t (s) = Waktu pengambilan data

FC (L/h) = Konsumsi Bahan Bakar

ΔW (g) = Selisih berat gas elektrolisa yang terbentuk

ΔW_1 (g) = Selisih berat gas elektrolisa yang terbentuk setelah penguapan

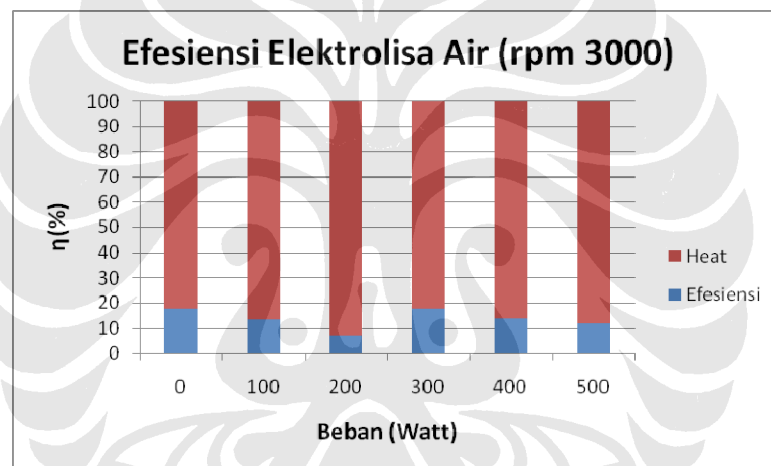
H_2 (g) = Berat hidrogen yang terbentuk

O_2 (g) = Berat oksigen yang terbentuk

E_{H_2} (J) = Kandungan energi (LHV) yang dimiliki hidrogen

$E_{Reaktor}$ (J) = Energi listrik yang digunakan pada reaktor elektrolisa

η (%) = Efisiensi energi proses elektrolisis, (energi hasil / energi pakai) x 100%



Gbr4.7 Efisiensi Elektrolisa Air pada rpm 3000.

4.3.1 Efisiensi Hidrogen pada mesin generator.

Diambil contoh perhitungan pada data dengan rpm 3000, beban 300 watt.

$$t_{\text{tanpa}} = 79,43 \text{ (det).} \Rightarrow f_{\text{tanpa}} = 0,453 \text{ (L/h)}$$

$$t_{\text{dengan}} = 75,91 \text{ (det).} \Rightarrow f_{\text{dengan}} = 0,474 \text{ (L/h)}$$

V_{bb} (ml) : Volume bahan bakar dibuat konstan 10 (ml).

Untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang digunakan dengan kondisi tanpa penambahan gas hasil elektrolisa, dilakukan perhitungan sbb :

Durasi waktu yang digunakan $t_{\text{tanpa}} = 79,43$ (det), dan laju konsumsi yang digunakan $f_{\text{dengan}} = 0,474$ (L/h) maka.

Selisih vbb = vbb dengan gas elektrolisa – vbb tanpa gas elektrolisa

Vbb dengan (ml) = $0,474$ (L/h) x $(79,43 / 3600)$ (h) = $1,045 \times 10^{-2}$ (L) = 10,45 (mL).

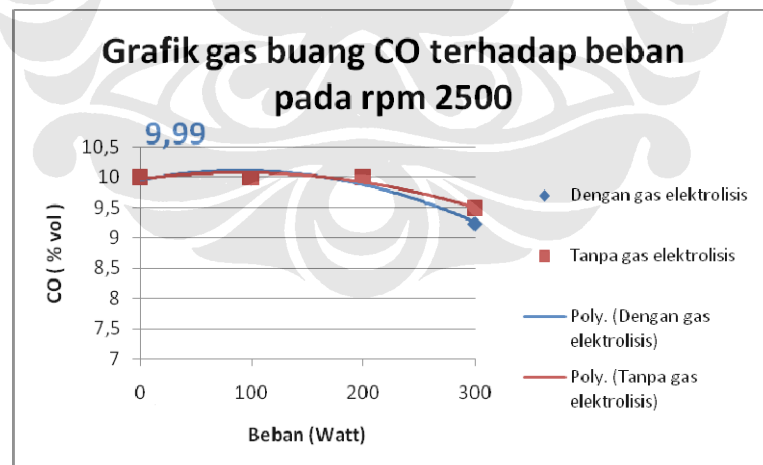
Selisih vbb = 10 (mL) – 10,45 (mL) = - 0,45 (mL)

Dengan penambahan gas hasil elektrolisa, bahan bakar yang digunakan dengan durasi waktu yang sama lebih banyak 0,45 (mL).

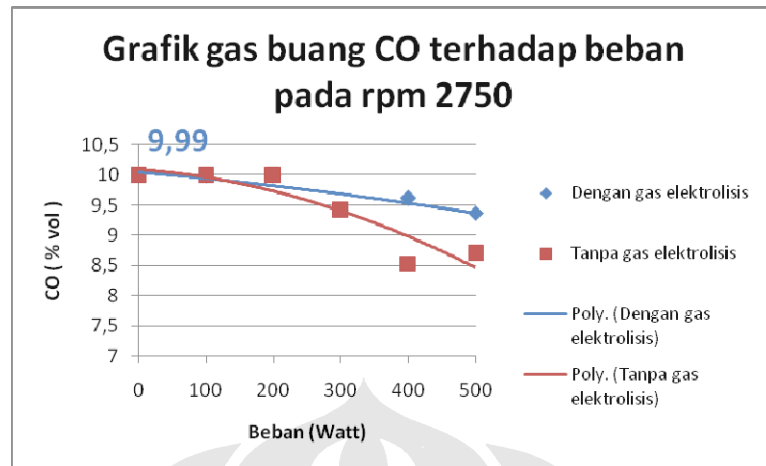
Dikarenakan volume bahan bakar yang digunakan lebih boros maka tidak ada efisiensi yang terjadi, maka perlu dianalisa lebih lanjut mengapa fenomena ini terjadi.

4.3 Analisa emisi gas buang

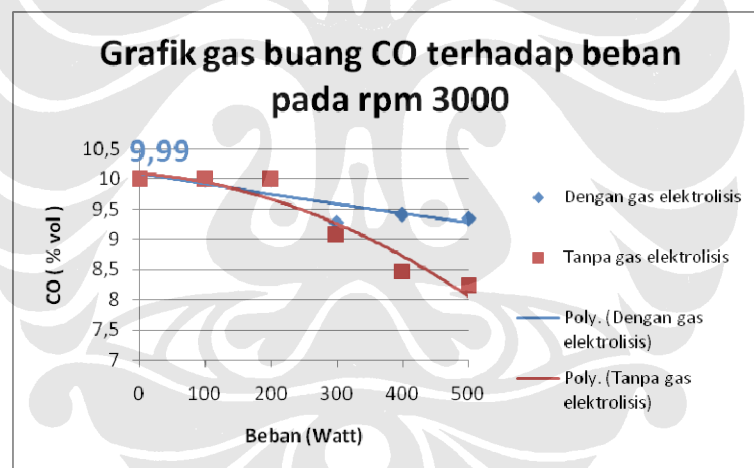
4.3.1 Analisa emisi gas buang CO



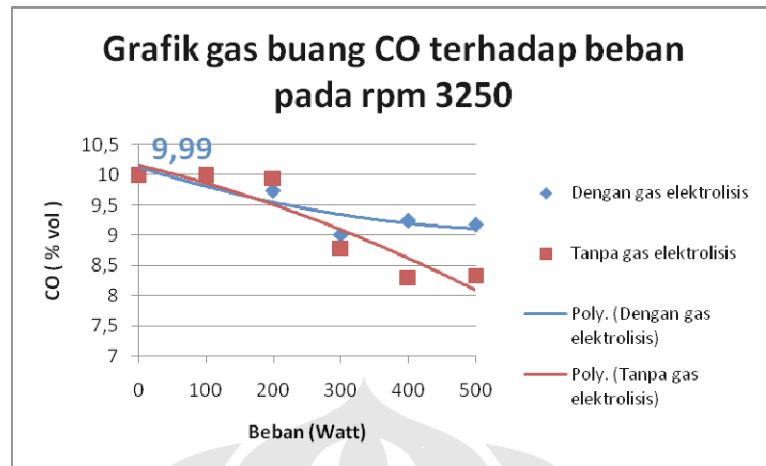
Gbr 4.8 Grafik gas buang CO terhadap beban pada putaran 2500 rpm.



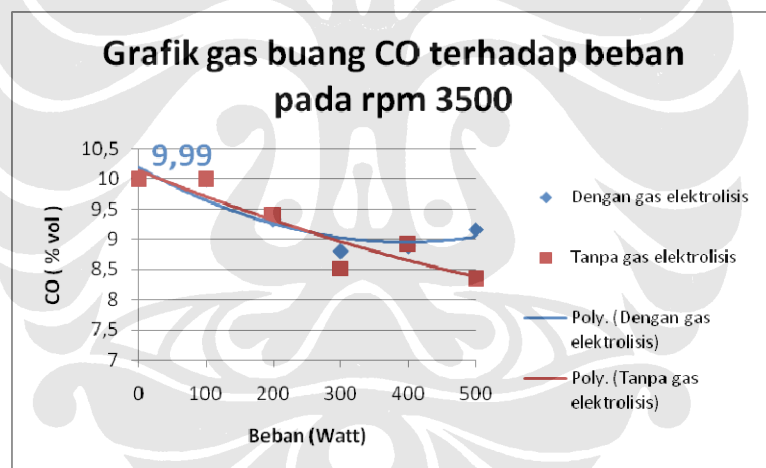
Gbr 4.9 Grafik gas buang CO terhadap beban pada putaran 2750 rpm.



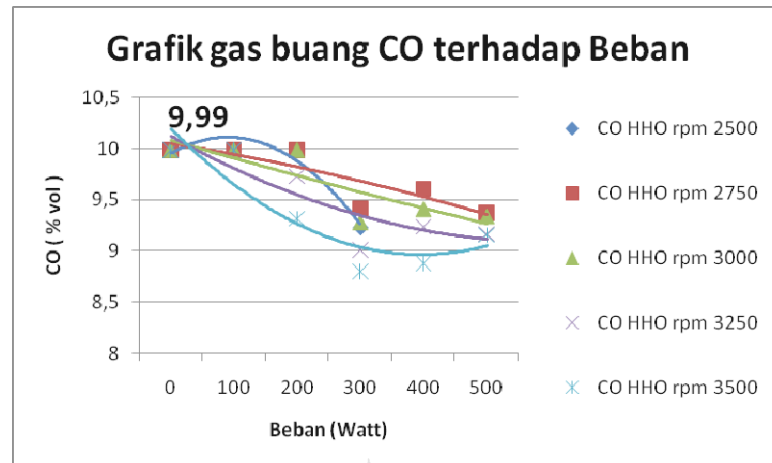
Gbr 4.10 Grafik gas buang CO terhadap beban pada putaran 3000 rpm.



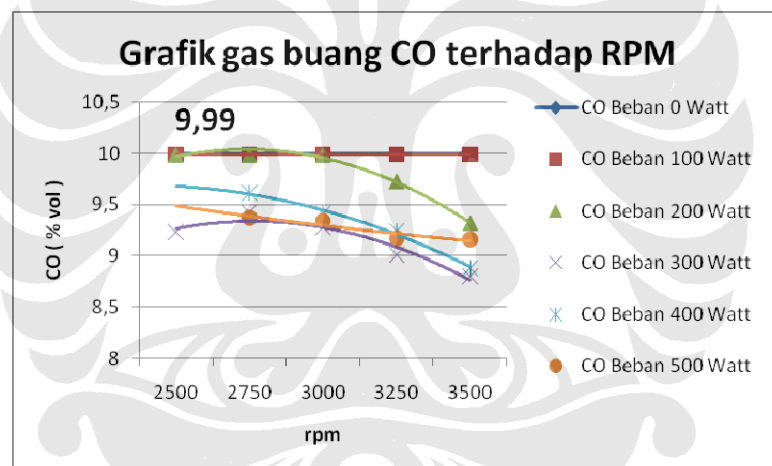
Gbr 4.11 Grafik gas buang CO terhadap beban pada putaran 3250 rpm.



Gbr 4.12 Grafik gas buang CO terhadap beban pada putaran 3500 rpm.



Gbr 4.13 Grafik gas buang CO dengan penambahan gas elektrolisis terhadap berbagai variasi beban.

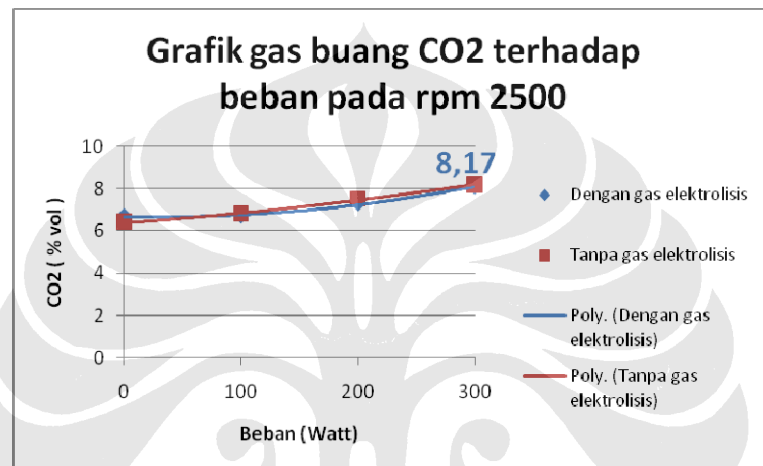


Gbr 4.14 Grafik gas buang CO dengan penambahan gas elektrolisis terhadap berbagai variasi putaran.

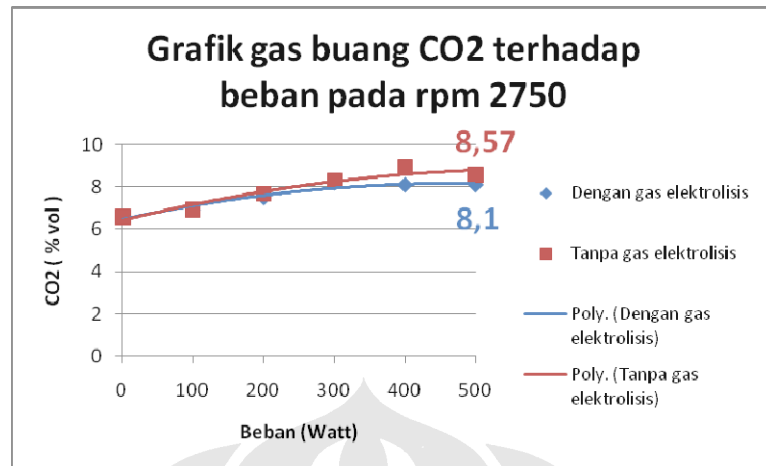
Karbon monoksida CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR). Keseluruhan nilai CO tanpa penambahan gas elektrolisis ada diatas nilai normal 4(% vol), menandakan campuran kaya dan dengan penambahan gas elektrolisis nilai kadar CO semakin meningkat, (bahan bakar terlalu banyak). Tetapi memiliki indikasi menurun dengan bertambahnya beban dan putaran mesin, nilai CO paling kecil dicapai pada rpm 3500 dengan beban 300 watt,

dengan nilai 8,8(% vol) masih dua kali lipat nilai normal. Kemungkinannya adalah setelan karburator tidak tepat dan kompresi yang lemah.

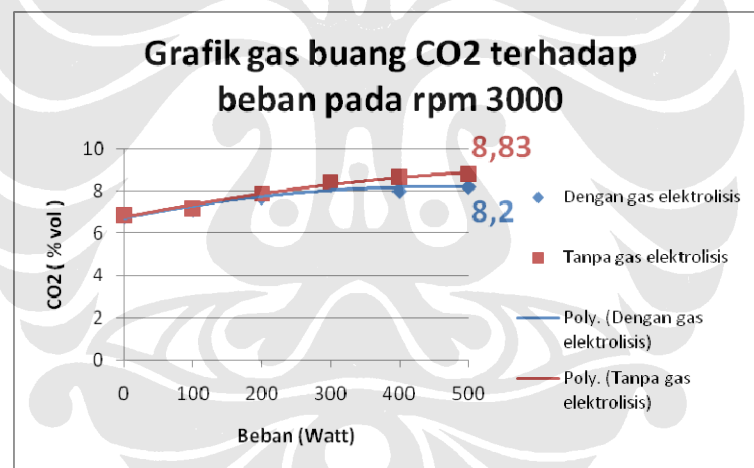
4.3.2 Analisa emisi gas buang CO2



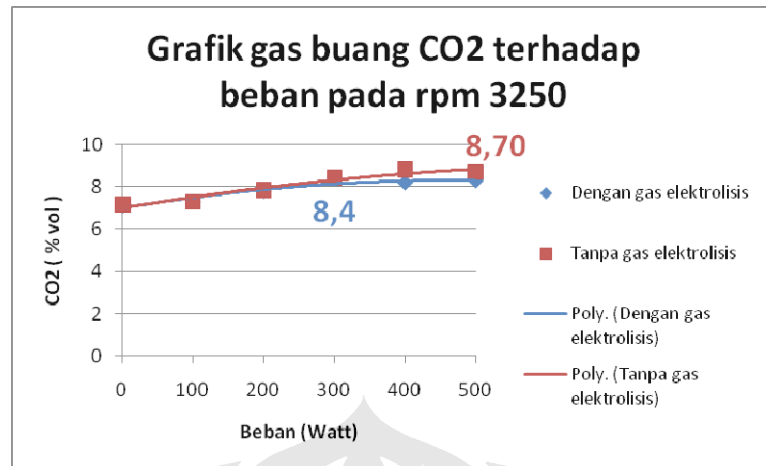
Gbr 4.15 Grafik gas buang CO2 terhadap beban pada putaran 2500 rpm.



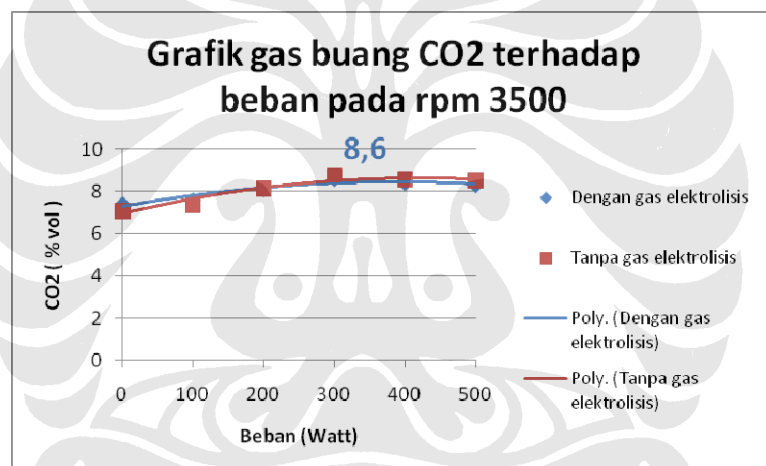
Gbr 4.16 Grafik gas buang CO2 terhadap beban pada putaran 2750 rpm.



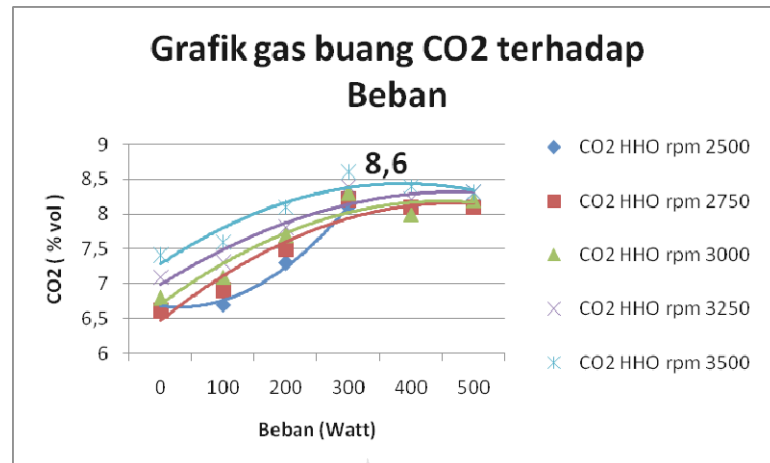
Gbr 4.17 Grafik gas buang CO2 terhadap beban pada putaran 3000 rpm.



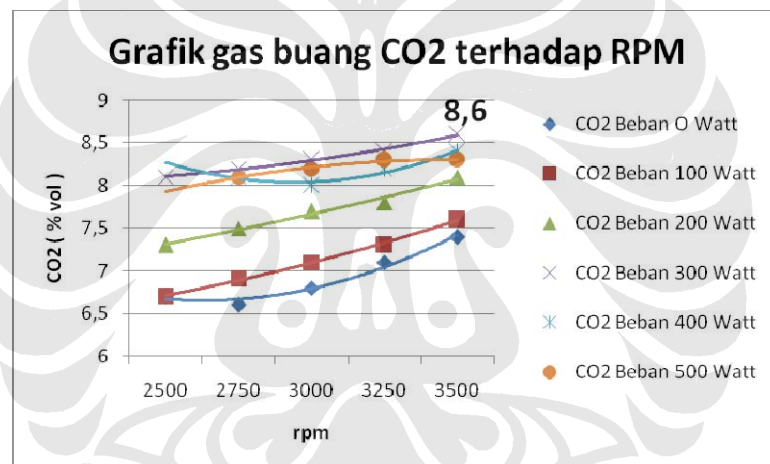
Gbr 4.18 Grafik gas buang CO2 terhadap beban pada putaran 3250 rpm.



Gbr 4.19 Grafik gas buang CO2 terhadap beban pada putaran 3500 rpm



Gbr 4.20 Grafik gas buang CO2 dengan penambahan gas elektrolisis terhadap variasi beban

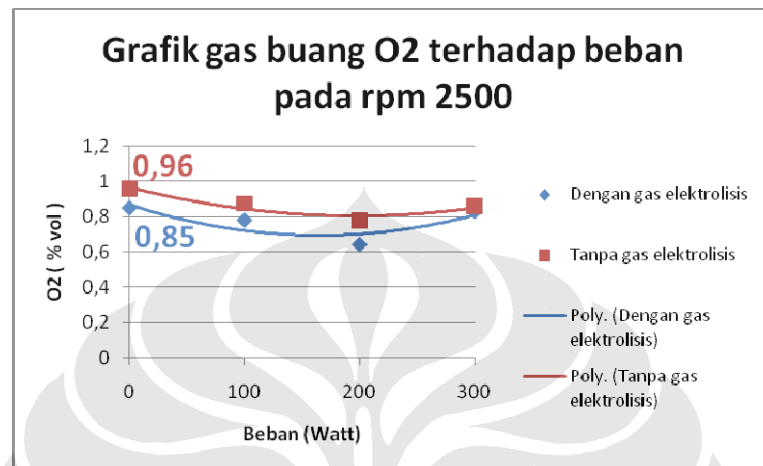


Gbr 4.21 Grafik gas buang CO2 dengan penambahan gas elektrolisis terhadap variasi putaran.

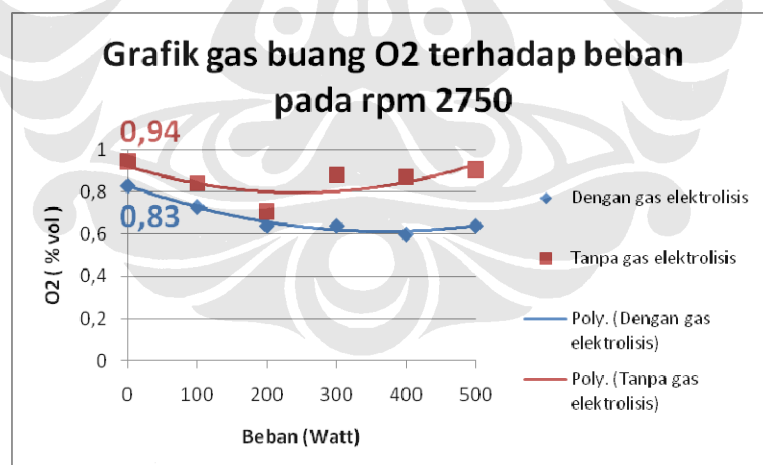
Kadar CO₂ dalam gas buang menandakan kesempurnaan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar. Semakin tinggi kadar CO₂, maka pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna dan sebaliknya jika kadar CO₂ dalam gas buang rendah maka pembakaran yang terjadi semakin jauh dari sempurna. Nilai CO₂ tanpa penambahan gas elektrolisis berada pada kisaran 4(%vol) berada dibawah nilai standar maksimum CO₂ 12(%vol), menandakan pembakaran yang tidak sempurna. Dengan penambahan gas elektrolisis nilai kadar CO₂ relatif tidak banyak berubah, Secara keseluruhan dengan bertambahnya beban dan putaran

nilai CO₂ semakin besar. CO₂ maksimal dicapai pada rpm 3500 dengan beban 300 watt, dengan nilai 8,6(% vol)

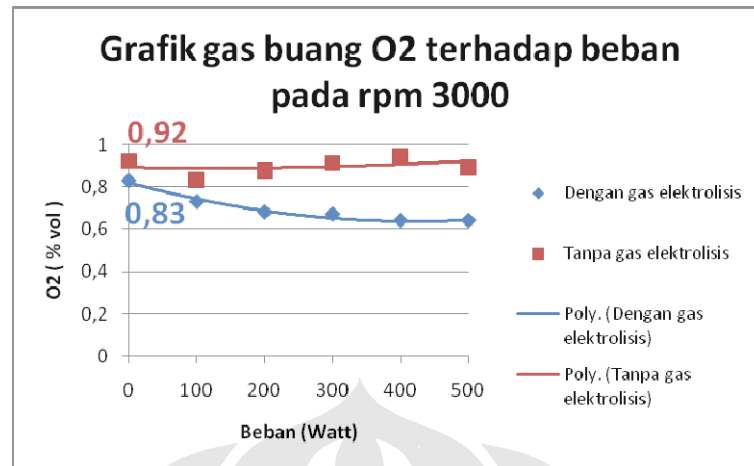
4.3.3 Analisa emisi gas buang O₂



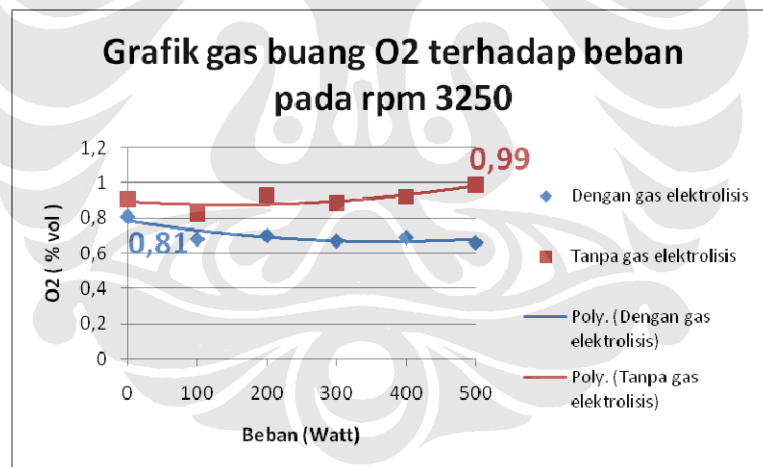
Gbr 4.22 Grafik gas buang O₂ terhadap beban pada putaran 2500 rpm.



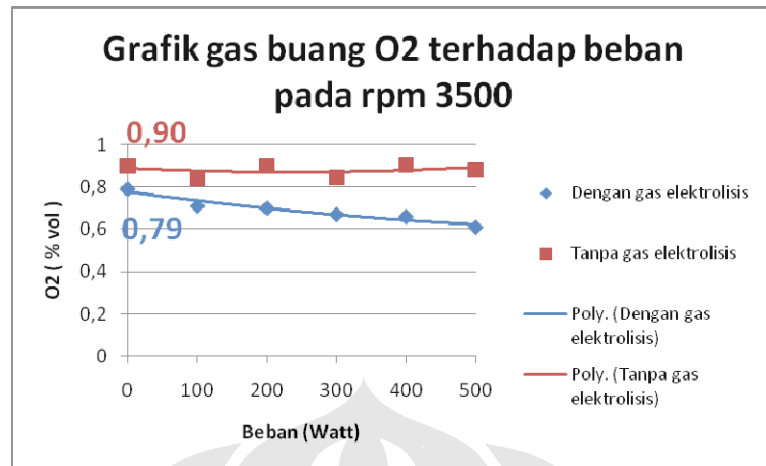
Gbr 4.23 Grafik gas buang O₂ terhadap beban pada putaran 2750 rpm.



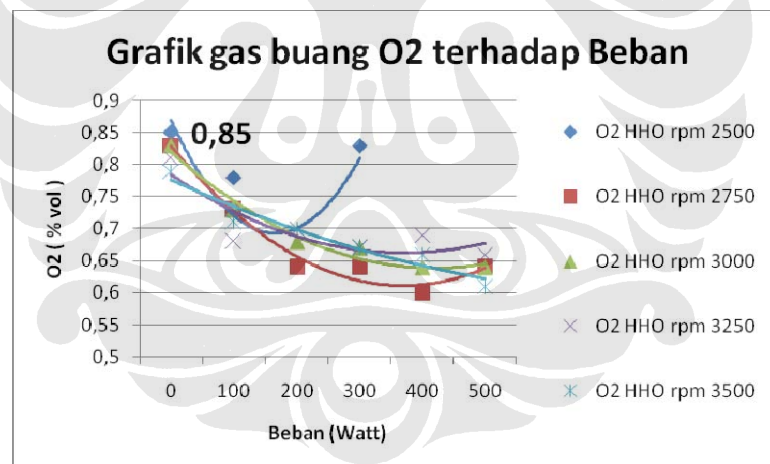
Gbr 4.24 Grafik gas buang O₂ terhadap beban pada putaran 3000 rpm.



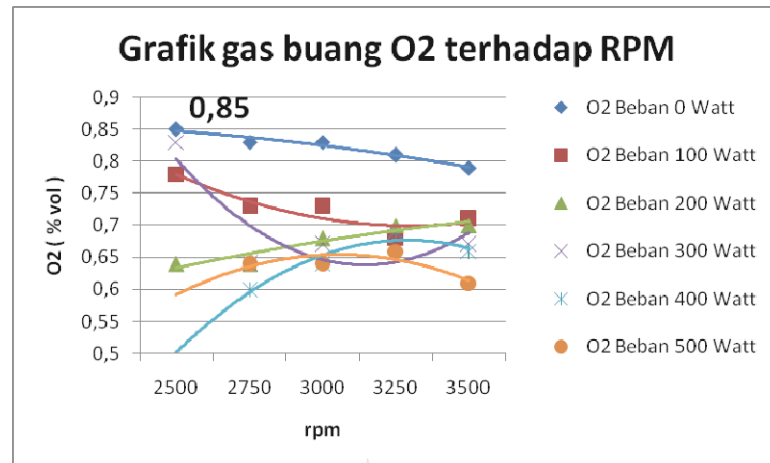
Gbr 4.25 Grafik gas buang O₂ terhadap beban pada putaran 3250 rpm.



Gbr 4.26 Grafik gas buang O₂ terhadap beban pada putaran 3500 rpm.



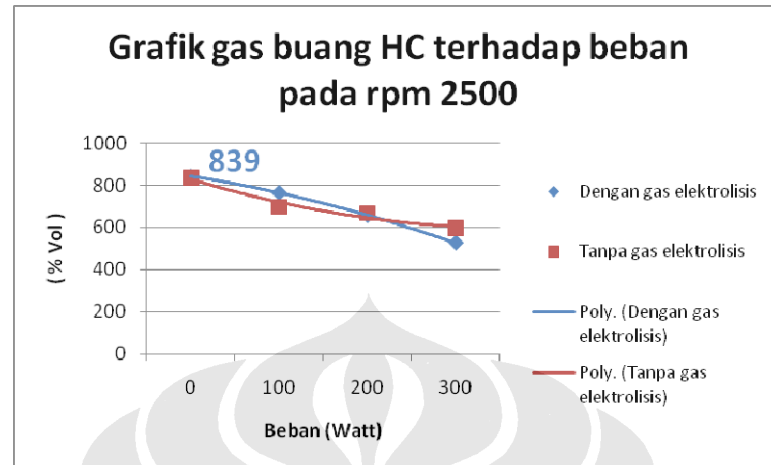
Gbr 4.27 Grafik gas buang O₂ dengan penambahan gas elektrolisis terhadap variasi beban.



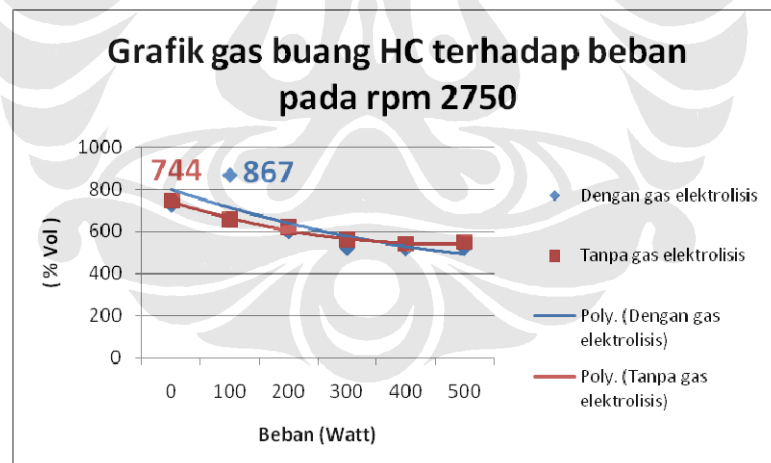
Gbr 4.28 Grafik gas buang CO₂ dengan penambahan gas elektrolisis terhadap variasi putaran.

Kadar O₂ menandakan bahwa tingkat penggunaan udara (oksigen) dalam proses pembakaran, semakin rendah kadar O₂ semakin banyak udara yang dipergunakan untuk proses pembakaran yang berarti pembakaran yang terjadi semakin baik, namun sebaliknya jika kadar O₂ tinggi maka banyak udara masuk yang tidak dipergunakan pada proses pembakaran yang berarti reaksi pembakaran kurang sempurna dan akan menghasilkan CO (karbon monoksida) pada gas buang, yang seharusnya menjadi CO₂. Nilai standar maksimum O₂ 2(%vol). Nilai O₂ tanpa penambahan gas elektrolisis berada pada kisaran 10-12(%vol) jauh berada di atas nilai maksimum. Dengan penambahan gas elektrolisis nilai kadar O₂ turun menjadi nilai standar, artinya pembakaran semakin baik. Dan semakin menurun dengan bertambahnya beban dan putaran. Nilai O₂ minimal dicapai pada rpm 2750 dengan beban 400 watt, dengan nilai 0,6(% vol).

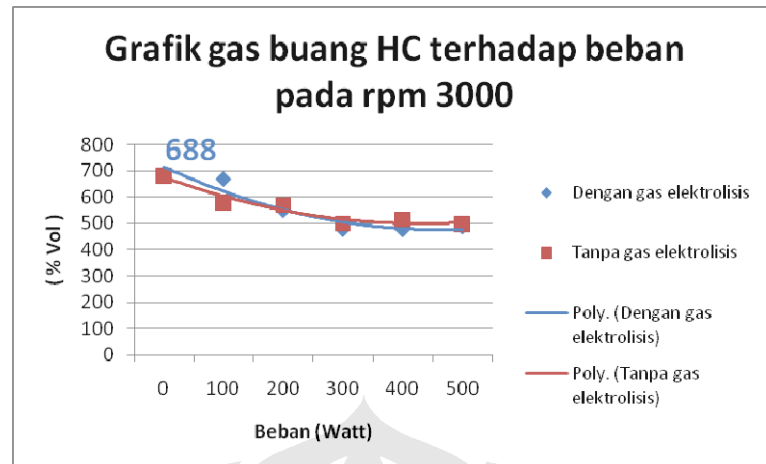
4.3.4 Analisa emisi gas buang HC



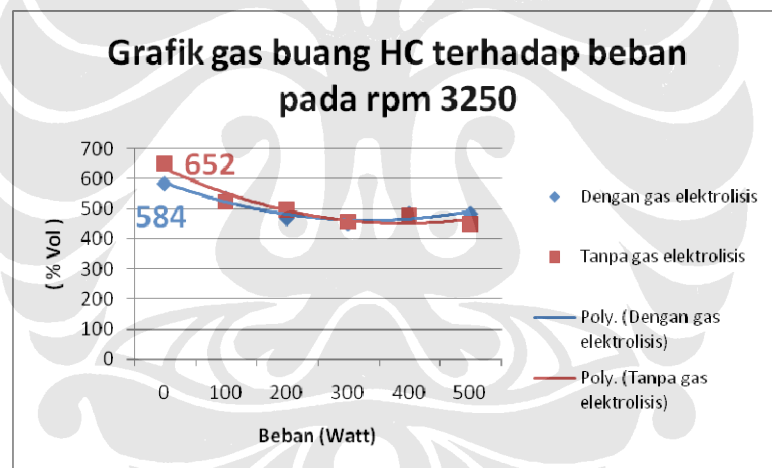
Gbr 4.29 Grafik gas buang HC terhadap beban pada putaran 2500 rpm.



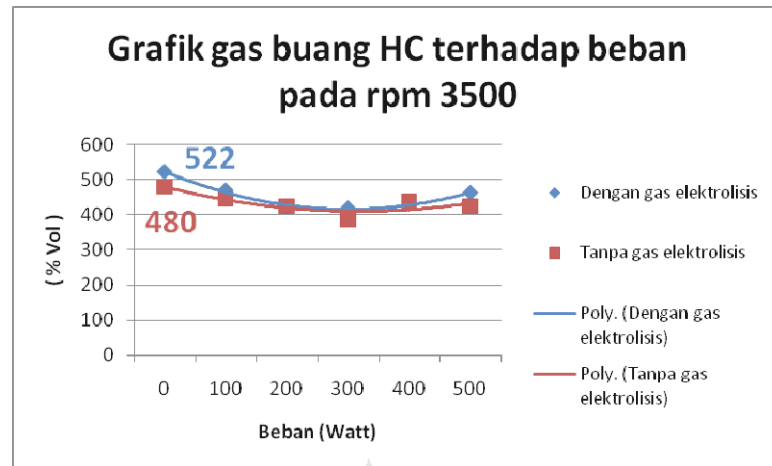
Gbr 4.30 Grafik gas buang HC terhadap beban pada putaran 2750 rpm.



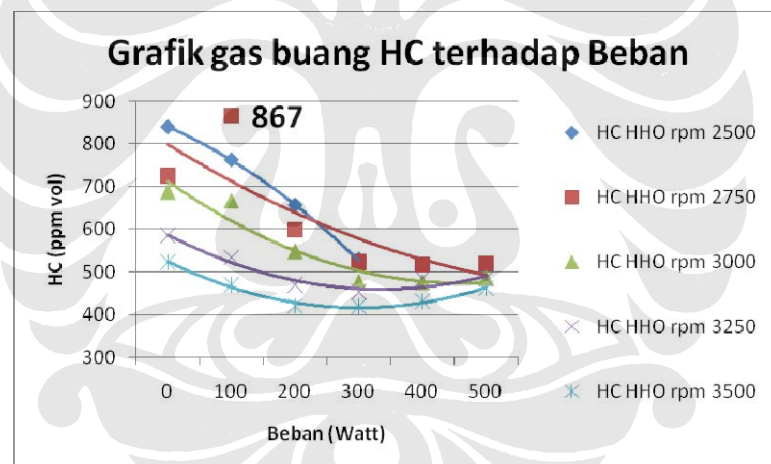
Gbr 4.31 Grafik gas buang HC terhadap beban pada putaran 3000 rpm.



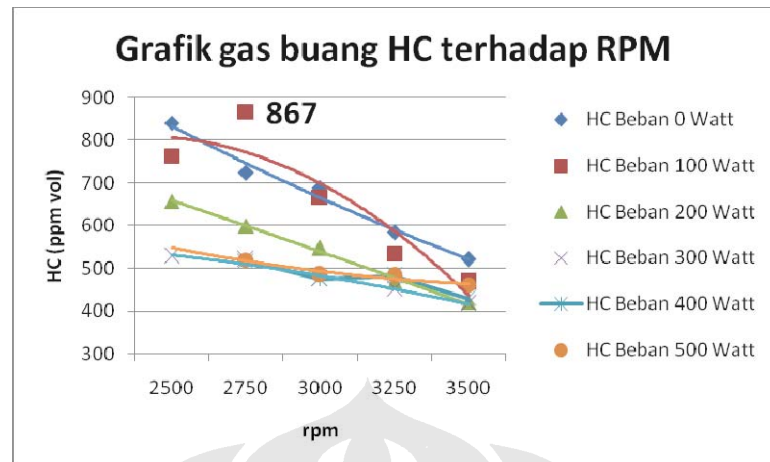
Gbr 4.32 Grafik gas buang HC terhadap beban pada putaran 3250 rpm.



Gbr 4.33 Grafik gas buang HC terhadap beban pada putaran 3500 rpm.



Gbr 4.34 Grafik gas buang HC dengan penambahan gas elektrolisis terhadap variasi beban.

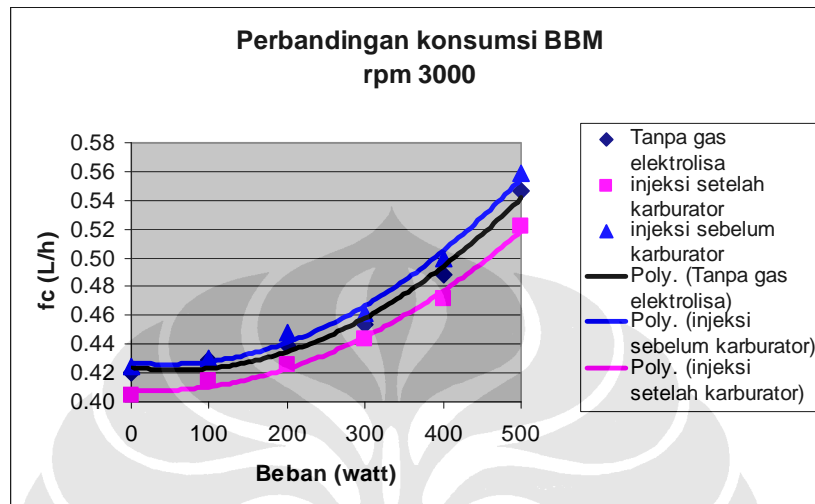


Gbr 4.35 Grafik gas buang HC dengan penambahan gas elektrolisis terhadap variasi putaran.

Nilai HC tanpa penambahan gas elektrolisis berada pada kisaran standar maksimal 400(ppm). Dengan penambahan gas elektrolisis nilai kadar HC tidak banyak mengalami perubahan, dan mencapai nilai maksimal pada rpm 2750 dengan beban 100 watt pada angka 867(ppm). Nilai HC cenderung tinggi menandakan bahwa pembakaran pada mesin motor tidak berlangsung secara normal dimana banyak sekali bahan bakar yang tidak terbakar dan terbang bersama gas buang. Walaupun memiliki indikasi menurun dengan bertambahnya beban dan putaran, namun tetap berada di atas nilai standar.

4.4 Analisa perbandingan posisi injeksi (sebelum dan sesudah karburator)

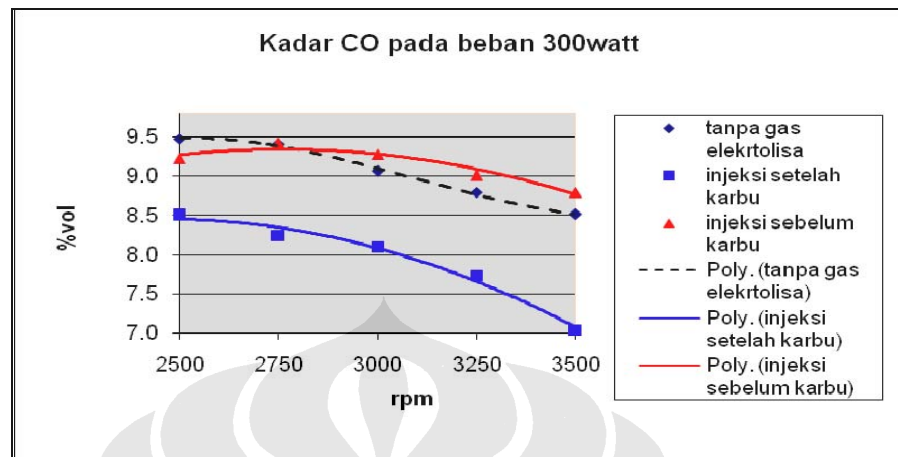
4.4.1 Perbandingan konsumsi bahan bakar



Gbr 4.36 Perbandingan konsumsi BBM pada putaran 3000 rpm.

Pada gambar 4.17, grafik konsumsi BBM menunjukkan bahwa penambahan gas elektrolisa air pada posisi setelah karburator terjadi penghematan BBM lebih besar daripada penambahan gas elektrolisa air pada posisi sebelum karburator. Hal ini menunjukkan bahwa posisi injeksi gas elektrolisa juga berpengaruh terhadap efektifitas injeksi gas elektrolisa air, sehingga dapat kita simpulkan bahwa penambahan gas elektrolisa dengan posisi injeksi setelah karburator lebih efektif daripada posisi injeksi sebelum karburator.

4.4.2 Perbandingan emisi gas buang

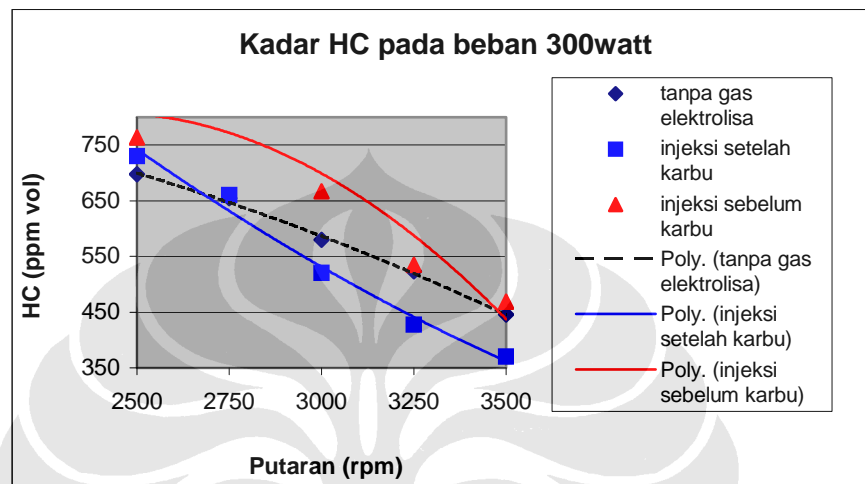


Gbr 4.37 Perbandingan Kadar CO dengan beban 300 watt.

Dari gambar 4.18 memperlihatkan perbandingan kadar gas CO antara motor bakar tanpa penambahan gas elektrolisa, pengujian dengan penambahan gas elektrolisa dengan posisi injeksi setelah dan sebelum karburator. Dimana grafik penurunan kadar CO pada kondisi injeksi setelah karburator lebih baik dibandingkan dengan dengan kondisi injeksi sebelum karburator. Dengan begitu berarti proses pembakaran yang terjadi pada motor bakar dengan menggunakan gas elektrolisa air dengan posisi injeksi setelah karburator lebih sempurna dibandingkan dengan motor bakar dengan penambahan gas elektrolisa air yang di injeksikan sebelum karburator. Besarnya perbedaan kadar gas CO yang dihasilkan oleh keduanya adalah 26,8 % pada putaran 3500 rpm dan beban 400 watt, , nilainya 6,5 %vol pada motor bakar dengan posisi injeksi setelah karburator dan 8,8 %vol pada motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator.

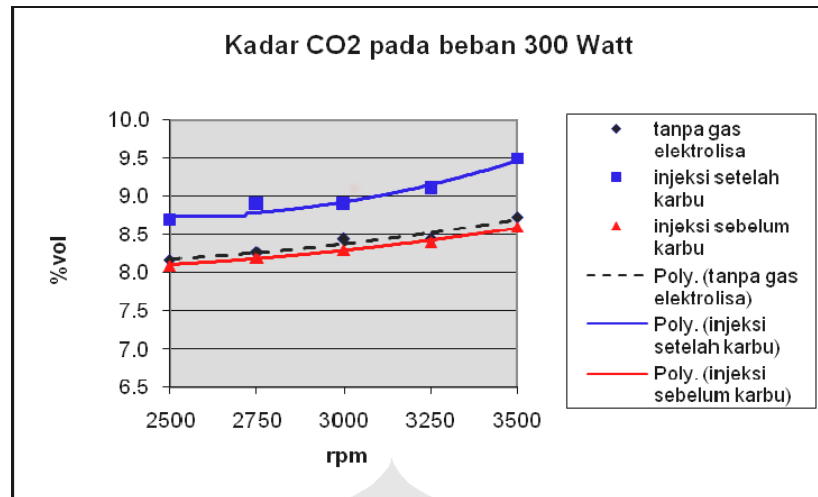
Begitu pula pada emisi gas HC, apabila gas HC meningkat maka gas CO-nya pun meningkat dan sebaliknya. Seperti grafik kadar HC pada gambar 4.17, terlihat bahwa kadar HC pada motor bakar dengan posisi injeksi setelah karburator lebih kecil dibandingkan dengan motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator. Dengan kata lain, emisi gas HC pada motor bakar dengan

posisi injeksi setelah karburator lebih baik hasilnya dibandingkan dengan motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator. Besarnya perbedaan kadar gas HC yang dihasilkan yaitu 23,9 % pada putaran 2750 rpm dengan beban 100 watt, nilainya 660 ppm pada motor bakar dengan posisi injeksi setelah karburator dan 867 pada motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator.



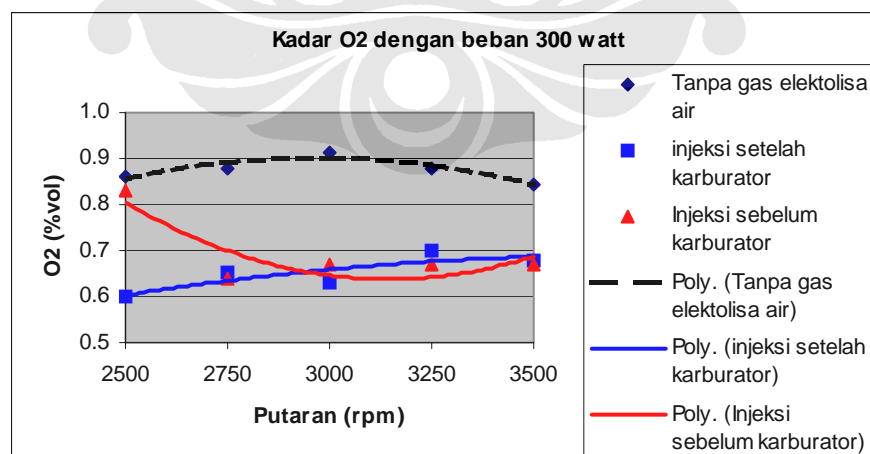
Gbr 4.38 Perbandingan Kadar HC dengan beban 300 watt.

Grafik perbandingan kadar CO₂ dapat dilihat pada gambar 4.20, dengan kadar CO₂ yang tinggi menunjukkan proses pembakaran di ruang bakar sempurna. Pada grafik tersebut kadar CO₂ pada pengujian dengan menambahkan gas elektrolisa air dengan posisi injeksi setelah karburator lebih tinggi dibandingkan dengan pengujian dengan gas elektrolisa satunya. Hal ini menunjukkan bahwa proses pembakaran pada pengujian dengan menambahkan gas elektrolisa air dengan posisi injeksi setelah karburator lebih baik.



Gbr 4.39 Perbandingan Kadar CO₂ dengan beban 200 watt.

Dari keseluruhan kadar emisi gas buang yang dihasilkan pada pengujian dengan menambahkan gas hasil elektrolisa air, nilai CO, HC, dan CO₂ pada motor bakar dengan posisi injeksi setelah karburator lebih baik daripada motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator. Sehingga motor bakar dengan posisi injeksi setelah karburator lebih efektif menurunkan konsumsi BBM dan emisi gas buang dibandingkan dengan motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator.



Gbr 40. Perbandingan kadar O₂ dengan beban 300 watt.

Pada putaran mesin rendah (2500 rpm), kadar O₂ yang dihasilkan oleh motor bakar dengan posisi injeksi setelah karburator rendah dari pada motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator. Namun pada putaran 3250 rpm hingga 3500 rpm, kadar O₂ yang dihasilkan oleh motor bakar dengan posisi injeksi setelah karburator lebih tinggi dari motor bakar dengan posisi injeksi sebelum karburator.

