BAB IV

PENGOLAHAN DAN PERHITUNGAN DATA

Peninjauan prestasi mesin pada mesin motor bakar 4-*Tak* yang mengalami penambahan bahan bakar berupa gas LPG perlu dilakukan untuk mendapatkan pengaruh penggunanaan sistem tersebut pada mesin pengujian. Penambahan gas LPG ini pada awalnya bertujuan untuk mempercepat akselerasi, memperbaiki prestasi mesin dan menyempurnakan emisi gas buang yang dihasilkan.

4.1 PERHITUNGAN KONSUMSI LPG

Percobaan untuk mengetahui laju aliran massa LPG dilakukan dengan memasang instalasi sistem penginjeksian LPG mada motor uji. Dengan alat bantu berupa timbangan digital merek AND tipe EK-2000i dan stopwatch, data laju aliran gas diambil dengan menggunakan uji unjuk kerja jalan dengan variasi bukaan katup regulator kompor sebesar 180^0, 270^0, dan 360^0. LPG yang digunakan terdiri dari Propana (4,58%), Butana (83,14%) dan gas lain (12,28%) yang diasumsikan sebagai Etana (6,12%) dan Pentana (6,12%). Massa jenis LPG yang digunakan sebesar:

$$\rho_{LPG} = (4{,}58\%.\rho_{\mathrm{Pr}\,opana}) + (83{,}14\%.\rho_{Bu\,\tan a}) + (6{,}12\%.\rho_{E\,\tan a}) + (6{,}12\%.\rho_{Pen\,\tan a})$$

$$= (0{,}0458.585) + (0{,}8314.601) + (0{,}0612.572) + (0{,}0612.626)$$

$$= 600{,}02 \text{ gr/L}$$

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

Tabel IV.1 Konsumsi LPG pada bukaan katup regulator 180^0

untuk venturi *mixer* 4 lubang

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi rata – rata (gr / km)	Laju Aliran (gr / s)
0 – 23	2060	7.8	0.339	0.0037
23 – 46	2066	7.1	0.309	0.0034
46 – 69	2075	6.5	0.283	0.0031
69 – 92	2064	6.8	0.296	0.0033
92 – 115	2065	7.2	0.313	0.0035
TOTAL	10330	35.4	1.539	0.0171
RATA - RATA	2066	7.08	0.308	0.0034

Tabel IV.2 Konsumsi LPG pada bukaan katup regulator 270^0

untuk venturi *mixer* 4 lubang

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (gr)	Konsumsi rata – rata (gr / km)	Laju Aliran (gr / s)

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

0 – 23	2056	8.2	0.357	0.0040
23 – 46	2065	7.1	0.309	0.0034
46 – 69	2074	9.1	0.396	0.0044
69 – 92	2045	7.1	0.309	0.0035
92 – 115	2060	7.6	0.330	0.0037
TOTAL	10300	39.1	1.7	0.0190
RATA - RATA	2060	7.82	0.34	0.0038

Tabel IV.3 Konsumsi LPG pada bukaan katup regulator 360^0

untuk venturi *mixer* 4 lubang

Jarak Tempuh (km)	**Waktu (s)**	**Konsumsi (gr)**	**Konsumsi rata – rata (gr / km)**	**Laju Aliran (gr / s)**
0 – 23	2088	8.3	0.361	0.0040
23 – 46	2065	8.5	0.369	0.0041
46 – 69	2046	7.6	0.330	0.0037
69 – 92	2072	8.2	0.356	0.0039
92 – 115	2045	7.1	0.309	0.0035
TOTAL	10316	39.7	1.726	0.0192

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

RATA - RATA	2063	7.94	0.345	0.0038

4.2 PERHITUNGAN KONSUMSI BAHAN BAKAR

Proses pengambilan data konsumsi bahan bakar dilakukan dengan uji unjuk kerja jalan sepeda motor. Data diambil pada kondisi motor tanpa penambahan LPG dan dengan penambahan LPG pada tiga variasi bukaan katup, 180^0, 270^0, dan 360^0. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Tabel IV.4 Konsumsi bahan bakar tanpa campuran LPG

Jarak Tempuh (km)	**Waktu (s)**	**Konsumsi (L)**	**Konsumsi rata – rata (km / L)**	**Laju Aliran (L / s)**
0 – 23	2072	0.875	26.286	0.000422
23 – 46	2084	0.880	26.136	0.000422
46 – 69	2065	0.875	26.286	0.000424
69 – 92	2058	0.870	26.437	0.000423
92 – 115	2050	0.870	26.437	0.000424
TOTAL	10329	4.370	131.581	0.00212
RATA - RATA	2066	0.874	26.316	0.000423

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

Tabel IV.5 Konsumsi bahan bakar dengan tambahan LPG

dengan bukaan katup 180^0 untuk venturi *mixer* 4 lubang

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (L)	Konsumsi rata – rata (km / L)	Laju Aliran (L / s)
0 – 23	2060	0.870	26.437	0.000422
23 – 46	2066	0.875	26.286	0.000424
46 – 69	2075	0.880	26.136	0.000424
69 – 92	2064	0.870	26.437	0.000422
92 – 115	2065	0.870	26.437	0.000421
TOTAL	10330	4.365	131.732	0.00211
RATA - RATA	2066	0.873	26.346	0.000423

Tabel IV.6 Konsumsi bahan bakar dengan tambahan LPG

dengan bukaan katup 270^0 untuk venturi *mixer* 4 lubang

Jarak Tempuh (km)	Waktu (s)	Konsumsi (L)	Konsumsi rata – rata (km / L)	Laju Aliran (L / s)

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

0 – 23	2056	0.850	27.059	0.000413
23 – 46	2065	0.865	26.589	0.000419
46 – 69	2074	0.870	26.437	0.000419
69 – 92	2045	0.850	27.059	0.000416
92 – 115	2060	0.865	26.589	0.000420
TOTAL	10300	4.300	133.734	0.00209
RATA - RATA	2060	0.860	26.747	0.000417

Tabel IV.7 Konsumsi bahan bakar dengan tambahan LPG dengan bukaan katup 360^0 untuk venturi *mixer* 4 lubang

Jarak Tempuh (km)	**Waktu (s)**	**Konsumsi (L)**	**Konsumsi rata – rata (km / L)**	**Laju Aliran (L / s)**
0 – 23	2088	0.865	26.589	0.000414
23 – 46	2065	0.860	26.744	0.000416
46 – 69	2046	0.850	27.059	0.000415
69 – 92	2072	0.860	26.744	0.000415
92 – 115	2045	0.850	27.059	0.000416
TOTAL	10316	4.285	134.196	0.00208

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

RATA - RATA	2063	0.857	26.839	0.000415

4.3 PERHITUNGAN LAJU ALIRAN MASSA CAMPURAN BAHAN BAKAR

Untuk penghitungan laju aliran massa campuran bahan bakar dan laju aliran massa udara dibutuhkan penghitungan parameter-paremeter sebagai berikut :

a) <u>Daya Keluaran / *Brake Horse Power (BHP)*</u>

$$BHP = \frac{Torsi(ft/lbs) \times rpm}{5252} \quad \text{(hp)}$$

Torsi = F . r ; dengan F = tractive effort (lb)

r = lengan momen = 0,04381 ft

$Torsi_{TANPA\ LPG}$ = 126 . 0,04381 = 5,52 ft/lbs

$Torsi_{180^o}$ = 160 . 0,04381 = 4,62 ft/lbs

$Torsi_{270^o}$ = 146 . 0,04381 = 6,40 ft/lbs

$Torsi_{360^o}$ = 137 . 0,04381 = 6,00 ft/lbs

Akan dihasilkan BHP sebesar:

$$BHP_{TANPA\ LPG} = \frac{5.52 \times 5608}{5252} = 5.89 \text{ hp}$$

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

$$BHP_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 180^0} = \frac{4.62 \times 6600}{5252} = 5.81 \text{ hp}$$

$$BHP_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 270^0} = \frac{6.40 \times 5608}{5252} = 6.83 \text{ hp}$$

$$BHP_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 360^0} = \frac{6.00 \times 6009}{5252} = 6.87 \text{ hp}$$

Tabel IV.8 BHP tanpa LPG

RPM (RPM)	Torsi (ftlb)	Power (HP)
4807	4.78	4.37
5208	5.30	5.26
5608	5.52	5.89
6009	5.39	6.17
6410	5.04	6.15
6810	4.78	6.19
7211	4.47	6.14
7611	4.03	5.84

Tabel IV.9 BHP penambahan LPG bukaan katup 180^o

RPM (rpm)	Torsi (ft lb)	Power (HP)

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

5400	3.90	4.01
6000	4.28	4.88
6600	4.62	5.81
7200	4.16	5.70
7800	2.40	3.56

Tabel IV.10 BHP penambahan LPG bukaan katup 270^{o}

RPM (rpm)	Torsi (ft lb)	Power (HP)
4807	5.83	5.33
5208	6.18	6.13
5608	6.40	6.83
6009	6.18	7.07
6410	5.65	6.90
6810	5.52	7.16
7211	4.69	6.44
7611	3.94	5.71

Tabel IV.11 BHP penambahan LPG bukaan katup 360^{o}

RPM	Torsi	Power

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

(rpm)	(ft lb)	(HP)
4807	5.17	4.73
5208	5.74	5.69
5608	5.96	6.36
6009	6.00	6.87
6410	5.74	7.00
6810	5.48	7.10
7211	4.82	6.62
7611	4.29	6.22
8012	3.42	5.21

b) <u>Premium</u>

<u>Laju aliran bahan bakar ($\overset{o}{m}_{f\ bensin}$)</u>

$$\overset{o}{m}_{f\ bensin} = \frac{L}{s} \times 3600 \text{ (L/h)}$$

sehingga

$\overset{o}{m}_{f\ bensin\ TANPA\ LPG}$ = 0.000423 $\times 3600$ = 1.5228 L/h

$\overset{o}{m}_{f\ bensin\ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 180^0}$ = 0.000423 $\times 3600$ = 1.5228 L/h

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

$$\overset{o}{m}_{f\ ben\sin\ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 270^0} = 0.000417 \times 3600 = 1.5012 \text{ L/h}$$

$$\overset{o}{m}_{f\ ben\sin\ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 360^0} = 0.000415 \times 3600 = 1.494 \text{ L/h}$$

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik / *Brake Spesific Fuel Consumption (BSFC)*

$$BSFC = \frac{\overset{o}{m}_{f\ ben\sin}}{BHP} \times \rho_f \qquad \text{(gr/hp.h)}$$

Dimana $\rho_{f\ ben\sin}$ = massa jenis bensin = 754.2 gr/L

sehingga :

$$BSFC_{TANPA\ LPG} = \frac{1.5228}{5.89} \times 754.2 = 194.99 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 180^0} = \frac{1.5228}{5.81} \times 754.2 = 197.68 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 270^0} = \frac{1.5012}{6.83} \times 754.2 = 165.77 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 360^0} = \frac{1.494}{6.87} \times 754.2 = 164.01 \text{ gr/hp.h}$$

c) Liquid Petroleum Gas (LPG)

$$\overset{o}{m}_{f\ gas} = \frac{FC \cdot 3600}{\rho_{LPG}} \quad \text{(L/h)}$$

sehingga didapat nilai FC LPG sebesar:

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

$$\overset{o}{m}_{f\ gas\ 180^o} = \frac{0.0034 \cdot 3600.}{600,02} = 0.0204 \text{ L/h}$$

$$\overset{o}{m}_{f\ gas\ 270^o} = \frac{0.0038 \cdot 3600.}{600,02} = 0.0228 \text{ L/h}$$

$$\overset{o}{m}_{f\ gas\ 360^o} = \frac{0.0038 \cdot 3600.}{600,02} = 0.0228 \text{ L/h}$$

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

$$BSFC = \frac{\overset{o}{m}_{f\ gas}}{BHP} \times \rho_{f\ gas} \quad \text{(gr/hp.h)}$$

Dimana ρ_f = massa jenis LPG = 600.02 gr/L

sehingga :

$$BSFC_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 180^0} = \frac{0.0204}{5.81} \times 600.02 = 2.107 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 270^0} = \frac{0.0228}{6.83} \times 600.02 = 2.003 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{\ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 360^0} = \frac{0.0228}{6.87} \times 600.02 = 1.991 \text{ gr/hp.h}$$

Laju aliran massa yang masuk kedalam ruang bakar merupakan penjumlahan dari laju aliran massa bahan bakar dan laju aliran udara.

- **Laju aliran massa campuran bahan bakar**

$$\overset{o}{m}_f = \frac{\overset{o}{m}_{f\ ben\sin} \times \rho_{ben\sin}}{3600 \times 1000} + \frac{\overset{o}{m}_{f\ LPG} \times \rho_{LPG}}{3600 \times 1000}$$

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

$\dot{m}_{f\ \ TANPA\ LPG} = \frac{1.5228 \times 754.2}{3600 \times 1000} = 3.19 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s}$

$\dot{m}_{f\ \ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 180^0} = \frac{1.5228 \times 754.2}{3600 \times 1000} + \frac{0.0204 \times 600.02}{3600 \times 1000}$

$= (3.19026 + 0.034) \times 10^{-4}$

$= 3.224 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s}$

$\dot{m}_{f\ \ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 270^0} = \frac{1.5012 \times 754.2}{3600 \times 1000} + \frac{0.0228 \times 600.02}{3600 \times 1000}$

$= (3.14459 + 0.038) \times 10^{-4}$

$= 3.183 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s}$

$\dot{m}_{f\ \ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 360^0} = \frac{1.494 \times 754.2}{3600 \times 1000} + \frac{0.0228 \times 600.02}{3600 \times 1000}$

$= (3.12993 + 0.038) \times 10^{-4}$

$= 3.168 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s}$

- **<u>laju aliran massa udara</u>**

$$\dot{m}_a = AFR \times \dot{m}_f$$

$\dot{m}_{a\ \ TANPA\ LPG} = 16.9 \text{ x } 3.19 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s} = 53.911 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s}$

$\dot{m}_{a\ \ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 180^0} = 15 \text{ x } 3.224 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s} = 48.36 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s}$

$\dot{m}_{a\ \ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 270^0} = 15.7 \text{ x } 3.183 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s} = 49.973 \text{ x } 10^{-4} \text{ kg/s}$

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

$\dot{m}_{a\ BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 360^0}$ = 15.7 x 3.168 x 10^{-4} kg/s = 49.738 x 10^{-4} kg/s

Sehingga laju aliran massa yang melewati *intake* adalah :

$\dot{m}_{i\ \text{TANPA LPG}} = \dot{m}_{f\ \text{TANPA LPG}} + \dot{m}_{a\ \text{TANPA LPG}}$

= 3.19 x 10^{-4} kg/s + 53.911 x 10^{-4} kg/s

= 57.101 x 10^{-4} kg/s

$\dot{m}_{i\ \text{BUKAAN KATUP LPG 180}^o} = \dot{m}_{f\ \text{BUKAAN KATUP LPG 180}^o} + \dot{m}_{a\ \text{BUKAAN KATUP LPG 180}^o}$

= 3.224 x 10^{-4} kg/s + 48.36 x 10^{-4} kg/s

= 51.584 x 10^{-4} kg/s

$\dot{m}_{i\ \text{BUKAAN KATUP LPG 270}^o} = \dot{m}_{f\ \text{BUKAAN KATUP LPG 270}^o} + \dot{m}_{a\ \text{BUKAAN KATUP LPG 270}^o}$

= 3.183 x 10^{-4} kg/s + 49.973 x 10^{-4} kg/s

= 53.156 x 10^{-4} kg/s

$\dot{m}_{i\ \text{BUKAAN KATUP LPG 360}^o} = \dot{m}_{f\ \text{BUKAAN KATUP LPG 360}^o} + \dot{m}_{a\ \text{BUKAAN KATUP LPG 360}^o}$

= 3.168 x 10^{-4} kg/s + 49.738 x 10^{-4} kg/s

= 52.906 x 10^{-4} kg/s

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

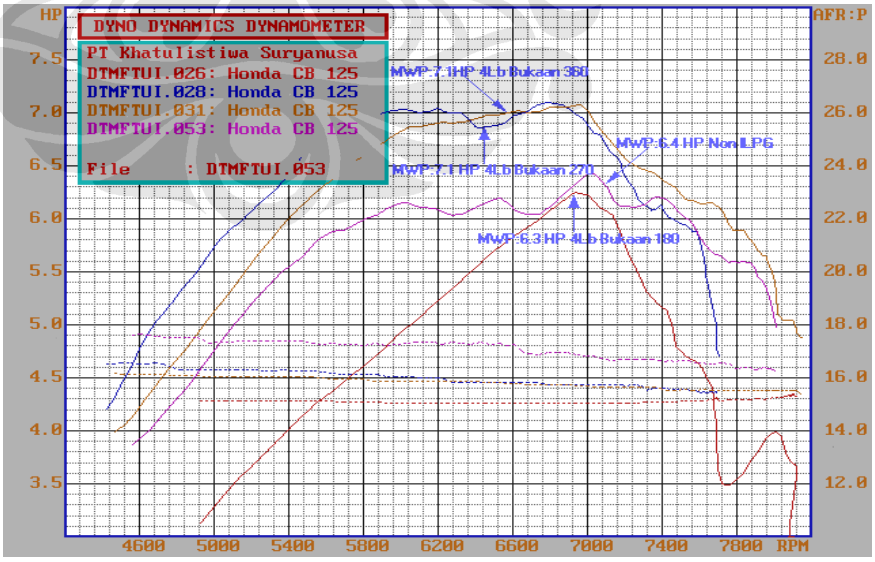
BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5. 1 ANALISIS PRESTASI MESIN

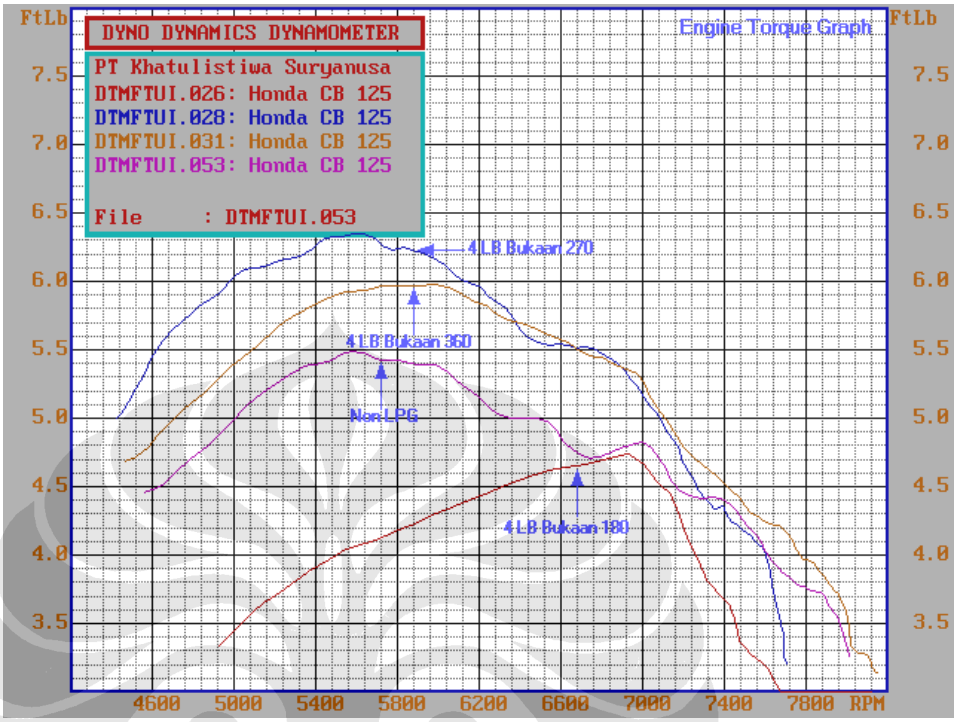
Grafik-grafik yang akan ditampilkan berikut ini adalah hasil grafik *snap shot* yang bekerja secara *real time* terhadap karakter dari mesin yang diuji. Segala perhitungan yang diinginkan seperti halnya *horse power*, rpm, torsi, AFR (*Air/Fuel Ratio*) dan sebagainya dapat secara langsung dihasilkan oleh alat *dyno test dynodinamics* ini, sehingga hasil data yang didapat bisa dikatakan merupakan hasil prestasi mesin yang sesungguhnya.

5.1.1. Analisis perbandingan daya dan torsi mesin



Gambar 5.1 Grafik perbandingan daya mesin

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,



Gambar 5.2 Grafik perbandingan torsi mesin

Hasil perhitungan daya mesin yang dihasilkan oleh dinamometer berupa BHP (Brake Horse Power) yang merupakan perhitungan daya kuda yang dikeluarkan oleh roda terhadap roller dinamometer. BHP adalah daya kuda yang dihasilkan oleh motor setelah dikurangi kerugian (loses) yang terjadi selama penyaluran daya, baik dari *heat loss* pada mesin atau juga yang dapat disebabkan gesekan ban dengan roller maupun antara rantai dengan sproket dan kerugian-kerugian yang lainnya

Sedangkan torsi yang digunakan pada analisis didapat dengan cara mengalikan nilai tractive effort yang terdapat pada snapshot dengan besarnya lengan momen pada roller dynamometer (sebesar 0,04381 ft). Hal ini dikarenakan pada snapshot tidak didapatkan nilai torsi yang dicapai dan tractive effort yang terdapat pada snapshot merupakan gaya yang dikeluarkan oleh dinamometer untuk menahan gaya yang dihasilkan oleh roda. Sehingga

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

besarnya Torsi yang dihasilkan oleh roller akan sama dengan torsi yang dihasilkan oleh roda.

Grafik diatas menunjukkan bahwa daya maksimum dan torsi mesin pada saat penambahan LPG dengan menggunakan venturi mixer 4 lubang pada bukaan katup 270^o dan 360^o terjadi kenaikan nilai dibandingkan dengan tanpa LPG. Hal ini sesuai dengan teori, karena saat penambahan LPG diharapkan pembakaran didalam ruang bakar terjadi lebih cepat karena LPG memiliki nilai oktan yang lebih tinggi dan didalam ruang bakar LPG akan terbakar lebih dulu dibandingkan bensin karena LPG berbentuk gas sehingga cepat bercampur dengan udara dibandingkan bensin yang berbentuk cair dan butuh pengabutan yang baik didalam karburator.

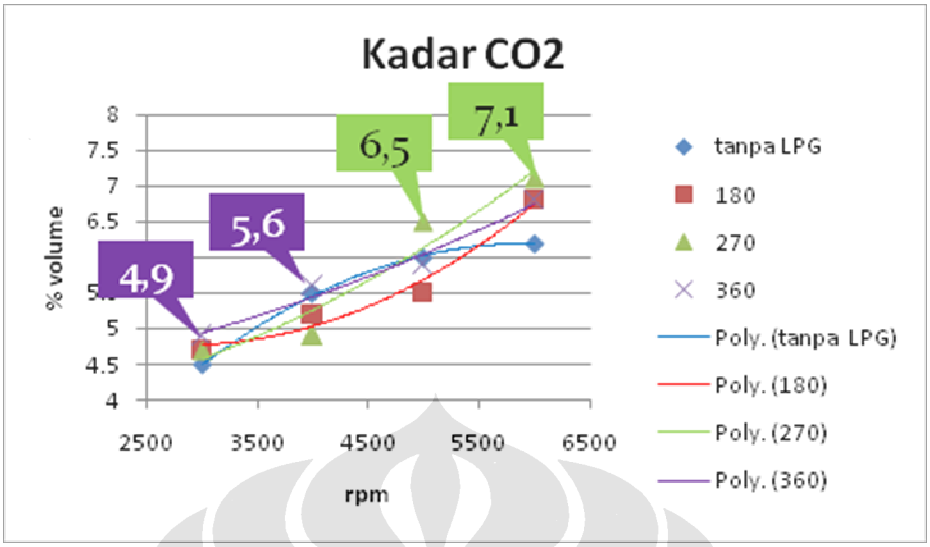
Sedangkan pada bukaan katup 180^o terjadi penurunan nilai horse power dan torsi dibandingkan dengan tanpa penambahan LPG. Penurunan nilai ini dapat disebabkan karena pencampuran gas dengan udara pada venturi *mixer* tidak terjadi dengan cepat. Sehingga mengakibatkan nilai *AFR (Air Fuel Ratio)* menjadi lebih dari satu atau kondisi dalam ruang bakar menjadi lebih banyak bahan bakar daripada udara dan membuat mesin tidak dapat melakukan pembakaran dengan sempurna seperti yang diharapkan.

5.2 ANALISIS EMISI GAS BUANG

Pada tinjauan gas buang ini akan dianalisis kandungan emisi gas buang berupa CO_2, HC, CO, dan NOx. Alat yang digunakan untuk mengetahui kondisi kadar gas buang ini adalah alat *gas analyzer.*

5.2.1 Analisis kadar CO_2 (carbon dioksida)

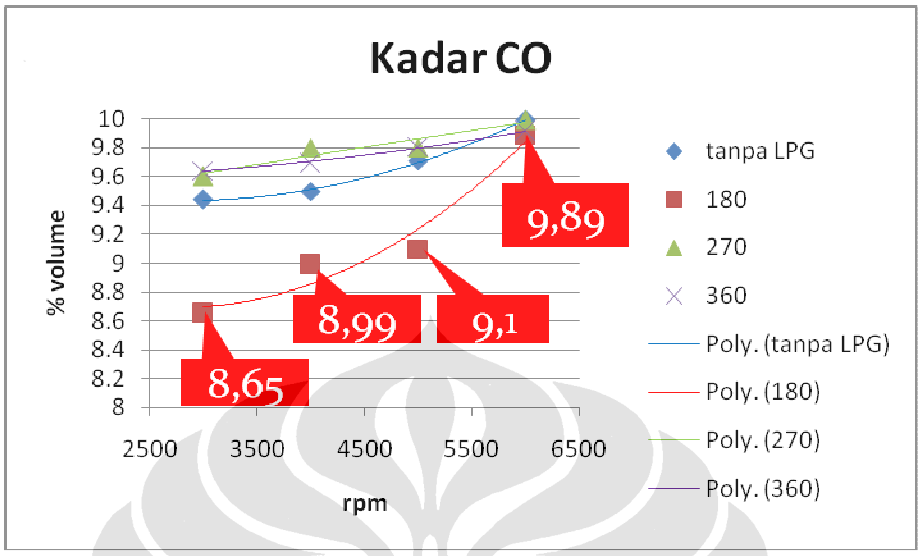
Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,



Gambar 5.3 Grafik perbandingan kadar CO_2 dalam gas buang

Kadar CO_2 dalam gas buang menandakan kesempurnaan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar. Semakin tinggi kadar CO_2, maka pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna dan sebaliknya jika kadar CO_2 dalam gas buang rendah maka pembakaran yang terjadi semakin jauh dari sempurna. Pada **gambar 5.3** terlihat bahwa kadar CO_2 yang terdapat pada gas buang pada motor dengan penambahan LPG cenderung lebih tinggi pada saat putaran mesin 3000 rpm dan 6000 rpm, jika dibandingkan dengan kadar CO_2 pada kondisi motor tanpa penambahan LPG. Fakta tersebut berarti hasil yang didapat sesuai dengan teori yang seharusnya terjadi, bahwa penambahan LPG akan menyebabkan pembakaran menjadi semakin mendekati sempurna. Sehingga akan meningkatkan kadar CO_2 dalam gas buang. Namun terdapat penyimpangan pada saat putaran mesin 4000 rpm untuk bukaan katup 180^o dan 270^o serta pada saat putaran mesin 5000 rpm untuk bukaan katup 180^o dimana kadar CO_2 pada kondisi motor dengan penambahan LPG lebih rendah daripada kadar CO_2 pada kondisi motor tanpa penambahan LPG. Salah satu faktor penyebabnya adalah ketidak stabilan dalam mengontrol laju putaran mesin sehingga kondisi pengapian menjadi kurang baik dan tidak mampu untuk membakar seluruh bahan bakar yang masuk.

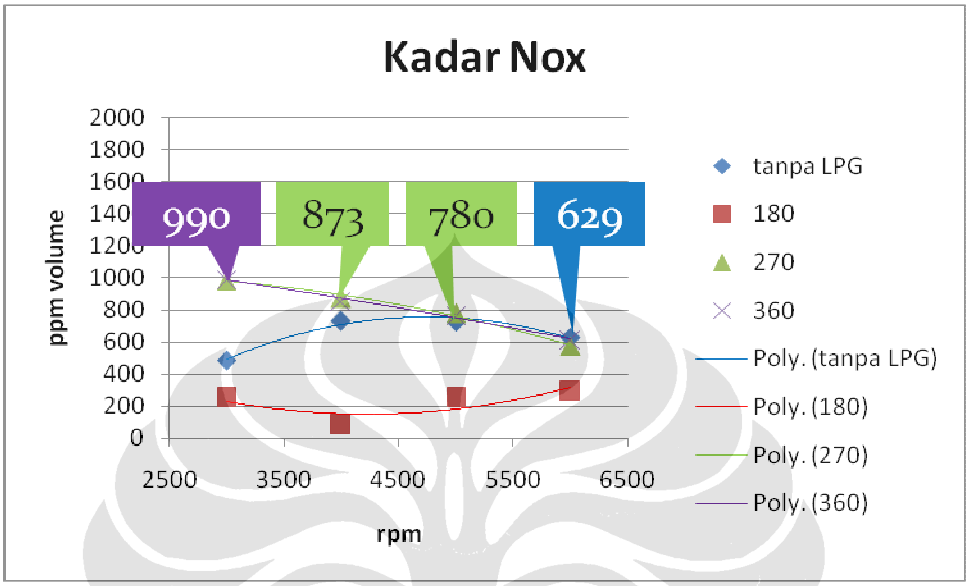
5.2.2 Analisis kadar CO (carbon monoksida)



Gambar 5.4 Grafik perbandingan kadar CO dalam gas buang

Karbon monoksida selalu terdapat didalam gas buang pada saat proses penguraian dan hanya ada pada knalpot kendaraan. CO merupakan produk dari pembakaran yang tidak tuntas yang disebabkan karena tidak seimbangnya jumlah udara pada rasio udara-bahan bakar (AFR)**.** Pada **gambar 5.4** terlihat bahwa kadar CO yang dihasilkan oleh pembakaran pada motor dengan penambahan LPG dengan bukaan katup 180^{o} mengalami penurunan jika dibandingkan dengan motor tanpa penambahan LPG. Namun, kadar CO cenderung mengalami kenaikan pada motor dengan penambahan LPG pada saat bukaan katup 270^{o} dan 360^{o}. Hal ini bisa disebabkan karena campuran udara dengan bahan bakar tidak seimbang akibat terlalu banyaknya LPG yang masuk ke dalam ruang pembakaran, sehingga campuran bahan bakar menjadi terlalu kaya dan rasio udara-bahan bakar (AFR) menjadi tidak terpenuhi.

5.2.3 Analisis kadar NOx (karbon monoksida)



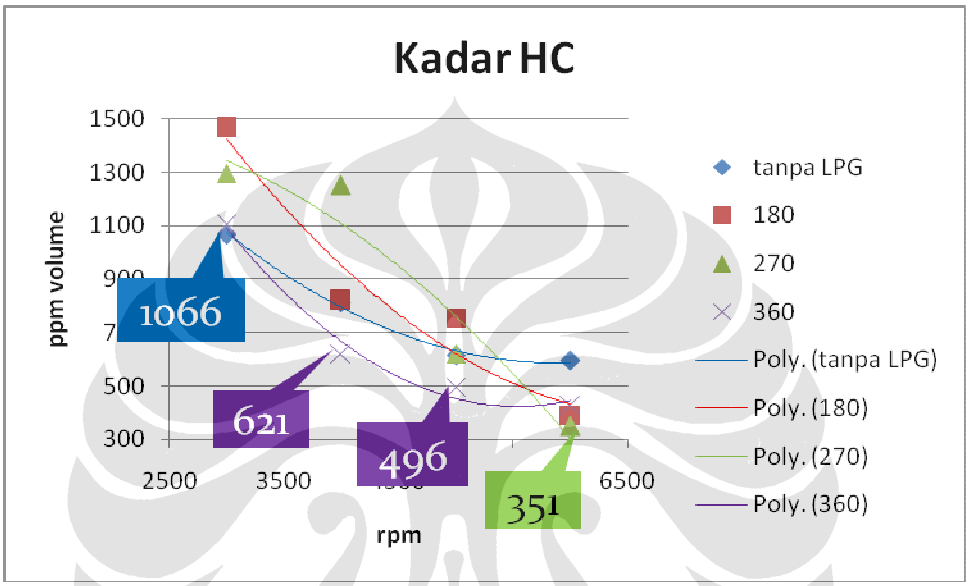
Gambar 5.5 Grafik perbandingan kadar NOx dalam gas buang

NOx dapat terbentuk akibat adanya reaksi antara nitrogen dan oksigen pada temperatur tinggi, sekitar 1800^0. Pada mesin NOx dapat terbentuk akibat temperatur pembakaran pada ruang bakar yang tinggi. Pada **Gambar 5.5** diperoleh perbandingan NOx yang dihasilkan pada kondisi motor tanpa dan dengan penambahan LPG. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa NOx yang dihasilkan oleh motor dengan penambahan LPG dengan bukaan katup 180^o memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut membuktikan bahwa penambahan LPG berpengaruh baik untuk mengurangi pembentukan NOx yang bersifat racun.

Variasi bukaan katup 180^o memiliki hasil kadar NOx yang lebih rendah pada putaran mesin 3000 – 6000 rpm, sedangkan pada variasi bukaan katup 270^o dan 360^o, kadar NOx yang dihasilkan cenderung lebih tinggi, hal ini dapat disebabkan ketika melakukan pengujian untuk variasi bukaan katup tersebut, temperatur ruang bakar sudah sangat tinggi sehingga dihasilkan NOx

dengan kadar yang lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi motor tanpa penambahan LPG.

5.2.4 Analisis kadar HC (hydrocarbon)



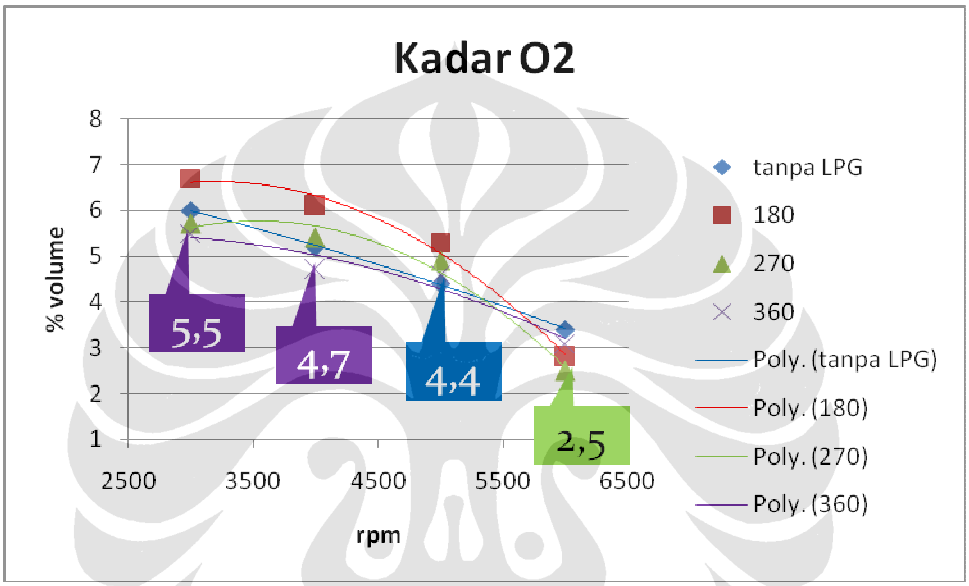
Gambar 5.6 Grafik perbandingan kadar HC dalam gas buang

Pada **gambar 5.6** terlihat bahwa pada saat putaran mesin tinggi yaitu pada 5500 – 6000 rpm dengan melakukan penambahan LPG, kandungan hidrokarbon yang terbentuk cenderung berada dibawah kondisi pada saat motor tidak mengalami penambahan LPG. Kondisi ini sesuai dengan teori bahwa untuk pencapaian gas buang yang ideal, kandungan hidrokarbon yang terdapat dalam gas buang harus mengalami penurunan. Dengan penambahan LPG yang memiliki nilai oktan yang lebih tinggi dan lebih mudah terbakar karena sifatnya yang lebih mudah menguap dibandingkan bensin, membuat kualitas pembakaran pada ruang bakar menjadi lebih baik.

Dari grafik diatas, pada putaran mesin rendah, nilai HC cenderung tinggi menandakan bahwa pembakaran pada mesin motor tidak berlangsung

secara normal dimana banyak sekali bahan bakar yang tidak terbakar dan terbuang bersama gas buang. Hal ini dapat disebabkan oleh salah satunya seperti yang telah disebutkan sebelumnya yaitu pengapian yang kurang baik.

5.2.5 Analisis kadar O_2 (oksigen)



Gambar 5.7 Grafik perbandingan kadar 0_2 dalam gas buang

Kadar O_2 menandakan bahwa tingkat penggunakan udara (oksigen) dalam proses pembakaran, semakin rendah kadar O_2 semakin banyak udara yang dipergunakan untuk proses pembakaran yang berarti pembakaran yang terjadi semakin baik, namun sebaliknya jika kadar O_2 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 CO_2.

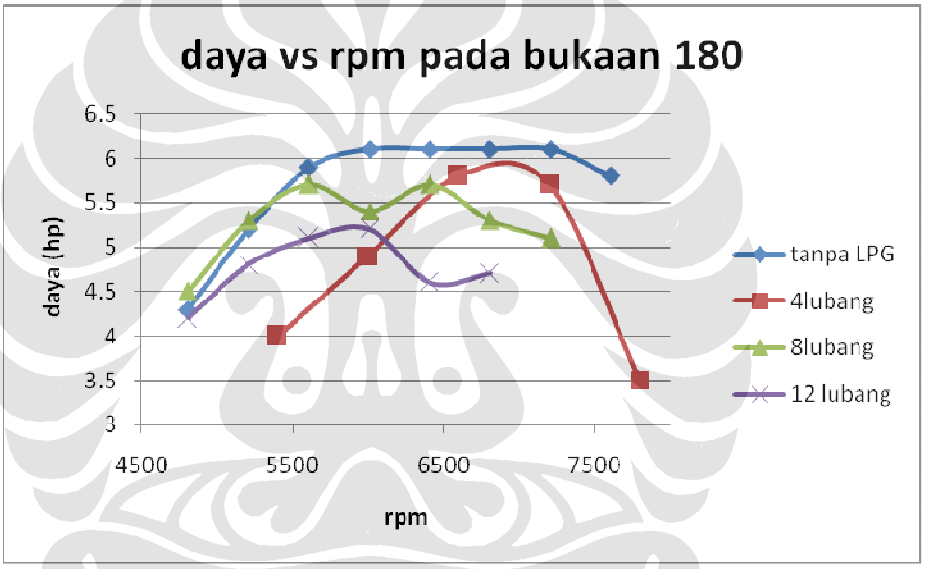
Pada **Gambar 5.7** terlihat bahwa pada putaran mesin tinggi yaitu pada 6000 rpm penambahan LPG berakibat semakin rendahnya kadar O_2 pada gas buang jika dibandingkan dengan motor dengan kondisi tanpa penambahan

LPG. Hal ini sesuai dengan teori, dimana LPG dapat membantu agar pembakaran menjadi lebih sempurna.

5.3 ANALISIS PERBANDINGAN BERBAGAI VENTURI MIXER (4, 8, DAN 12 LUBANG)

5.3.1 Analisis Prestasi Mesin

5.3.1.1. Analisis perbandingan daya mesin



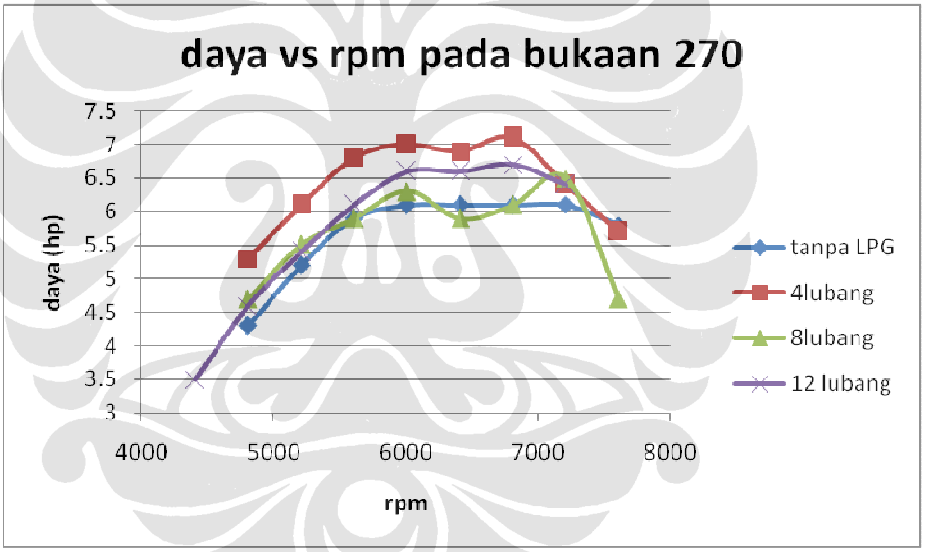
Gambar 5.8 Grafik perbandingan daya mesin pada bukaan katup 180^{o}

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa pada bukaan katup 180^{0} motor tanpa penambahan LPG masih mempunyai nilai daya yang lebih besar dibandingkan dengan motor dengan penambahan LPG. Hal ini berarti bahwa bukaan katup 180^{0} tidak memberi pengaruh terhadap pembakaran yang terjadi di ruang bakar mesin. Gas dan udara belum tercampur dengan merata dikarenakan *flowrate* nya yang masih sedikit dibandingkan dengan bukaan katup 270^{0} dan 360^{0}. Namun jika dilihat perbandingan antar venturi *mixer* terlihat bahwa daya maksimum yang keluar terjadi di venturi *mixer* 4 lubang

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

yaitu 5.8 Hp sedangkan pada venturi *mixer* 8 lubang dan 12 lubang masing – masing bernilai 5.7 Hp dan 5.2 Hp. Hal ini terjadi karena AFR pada venturi *mixer* 4 lubang memiliki nilai yang paling optimal dibanding venturi *mixer* lainnya, sehingga menyebabkan pembakaran lebih sempurna dan menyebabkan daya keluaran memiliki nilai lebih baik disbanding venturi *mixer* 8 lubang dan 12 lubang

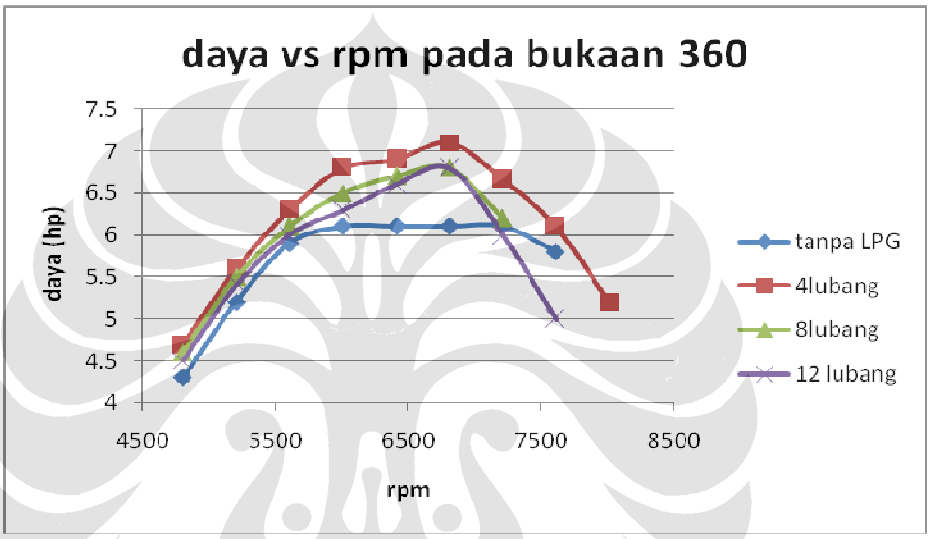
Pada grafik terlihat bahwa daya maksimum pada keluaran ban motor mempunyai nilai paling tinggi pada saat bukaan katup 360^0 dengan menggunakan venturi *mixer* 4 lubang. Nilai daya yang keluar adalah 7.1 Hp.



Gambar 5.9 Grafik perbandingan daya mesin pada bukaan katup 270^o

Dari grafik di atas, terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh motor dengan penambahan LPG pada bukaan 270^o lebih besar daripada motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut membuktikan bahwa pada bukaan 270^o, gas dan udara telah bercampur baik yang menyebabkan pembakaran dalam ruang bakar mesin meningkat sehingga menghasilkan daya yang lebih besar dari motor tanpa penambahan LPG dan motor dengan penggunaan venturi mixer

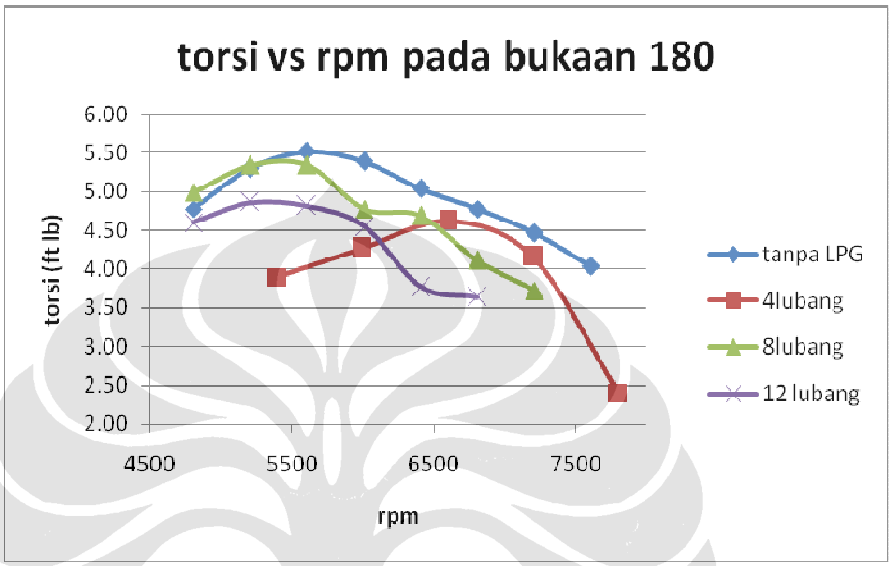
pada bukaan 180^{o}. Daya yang paling besar dihasilkan oleh venturi mixer 4 lubang yaitu sebesar 7.1 HP, sedangkan pada venturi mixer 8 dan 12 lubang diperoleh daya sebesar 6.5 dan 6.7 HP. Hal ini dapat dikarenakan AFR pada venturi mixer 4 lubang lebih baik dari pada venturi mixer 8 dan 12 lubang yaitu sebesar 16:1 dibanding 2 venturi mixer lainnya.



Gambar 5.10 Grafik perbandingan daya mesin pada bukaan katup 360^{o}

Dari grafik di atas, terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh motor dengan penambahan LPG pada bukaan 360^{o} lebih besar daripada motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut membuktikan bahwa pada bukaan 360^{o}, gas dan udara telah bercampur baik yang menyebabkan pembakaran dalam ruang bakar mesin meningkat sehingga menghasilkan daya yang lebih besar dari motor tanpa penambahan LPG dan motor dengan penggunaan venturi mixer pada bukaan 180^{o}. Daya yang paling besar dihasilkan oleh venturi mixer 4 lubang yaitu sebesar 7.1 HP, sedangkan pada venturi mixer 8 dan 12 lubang diperoleh daya sebesar 6.82 dan 6.82 HP. Hal ini dapat dikarenakan AFR pada venturi mixer 4 lubang lebih baik dari pada venturi mixer 8 dan 12 lubang yaitu sebesar 16.1:1 dibanding 2 venturi mixer lainnya.

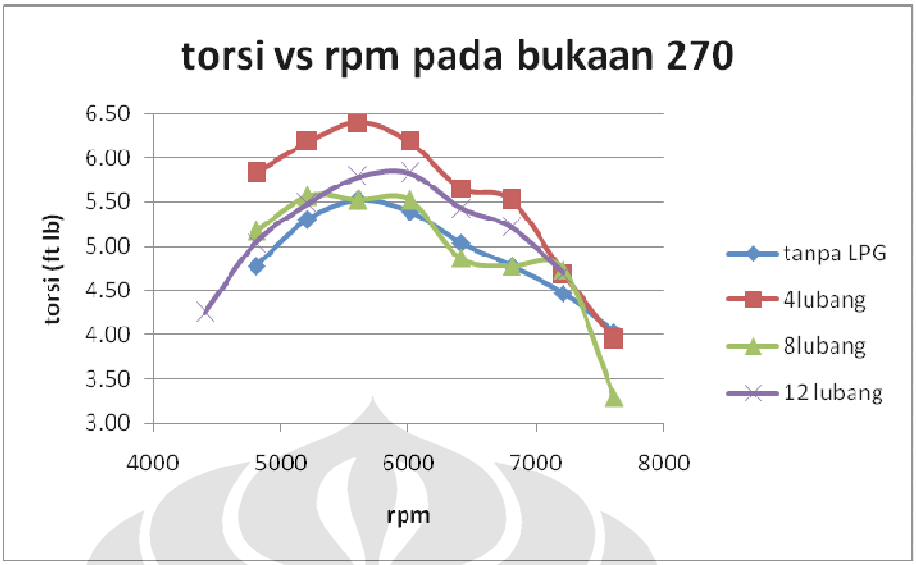
5.3.1.2. Analisis perbandingan Torsi



Gambar 5.11 Grafik perbandingan torsi mesin pada bukaan katup 180^{o}

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa pada bukaan katup 180^{0} motor tanpa penambahan LPG masih memiliki torsi mesin yang lebih besar dibandingkan dengan motor dengan penambahan LPG. Hal ini berarti bahwa bukaan katup 180^{0} tidak memberi pengaruh terhadap pembakaran yang terjadi di ruang bakar mesin. Karena *flowrate* gas nya masih sedikit dibandingkan dengan bukaan katup 270^{0} dan 360^{0} , sehingga gas yang masuk masih sedikit dan menyebabkan pencampurannya dengan udara belum merata. Namun jika dilihat perbandingan antar venturi *mixer* terlihat bahwa torsi mesin maksimum terjadi di venturi *mixer* 8 lubang yaitu 5.34 ft lb, sedangkan pada venturi *mixer* 4 lubang dan 12 lubang masing – masing bernilai 4.62 ft lb dan 4.86 ft lb.

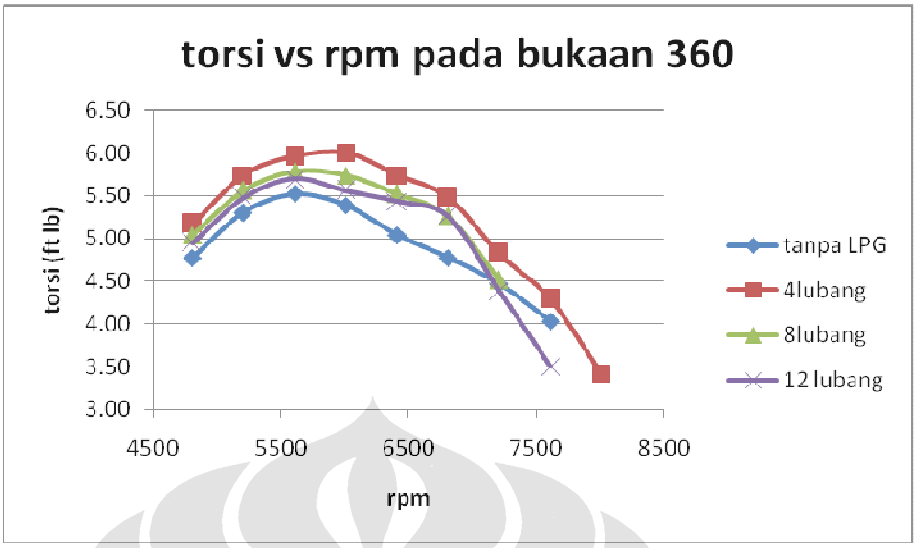
Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,



Gambar 5.12 Grafik perbandingan torsi mesin pada bukaan katup 270^{o}

Grafik perbandingan torsi diatas memperlihatkan pola yang hampir sama dengan grafik perbandingan daya pada bukaan 270^{0}. Torsi yang diperoleh oleh motor dengan penggunaan venturi mixer pada semua lubang lebih tinggi dari motor tanpa penambahan LPG. Hal ini membuktikan bahwa penambahan gas berpengaruh pada peningkatan torsi yang didapatkan. Dari grafik di atas terlihat torsi terbesar dicapai pada penggunaan venturi mixer 4 lubang yaitu 6.40 ftlb. Hal ini sama saja dengan grafik perbandingan daya mesin pada bukaan 270^{o} karena laju kenaikan daya dan torsi adalah berbanding lurus karena di pengaruhi oleh hal yang sama yaitu AFR.

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,



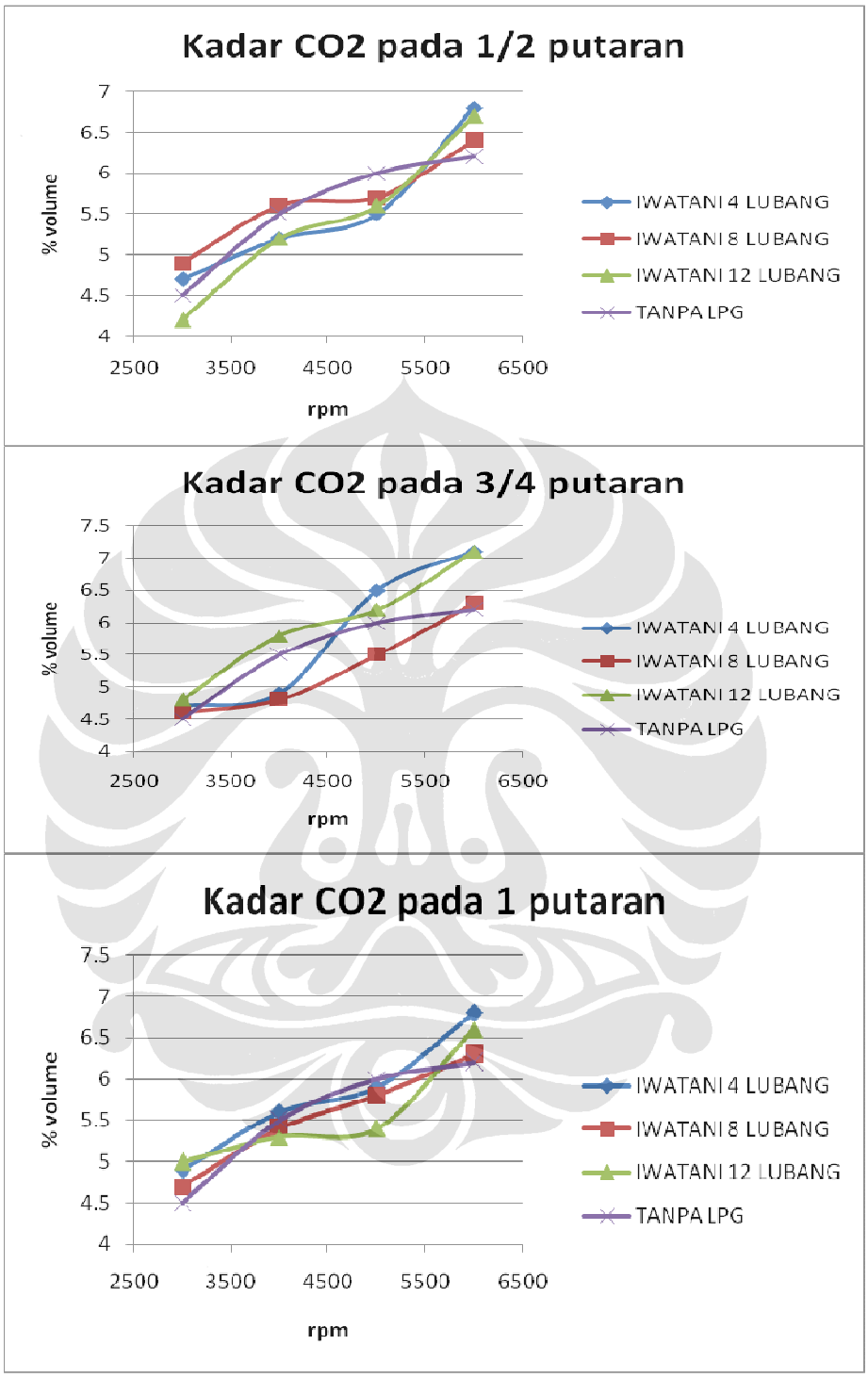
Gambar 5.13 Grafik perbandingan torsi mesin pada bukaan katup 360^{o}

Grafik perbandingan torsi diatas memperlihatkan pola yang hampir sama dengan grafik perbandingan daya pada bukaan 360^{0}. Torsi yang diperoleh oleh motor dengan penggunaan venturi mixer pada semua lubang lebih tinggi dari motor tanpa penambahan LPG. Hal ini membuktikan bahwa penambahan gas berpengaruh pada peningkatan torsi yang didapatkan. Dari grafik di atas terlihat torsi terbesar dicapai pada penggunaan venturi mixer 4 lubang yaitu 6 ftlb. Hal ini sama saja dengan grafik perbandingan daya mesin pada bukaan 360^{o} karena laju kenaikan daya dan torsi adalah berbanding lurus karena di pengaruhi oleh hal yang sama yaitu AFR.

5.3.2 Analisis Emisi Gas Buang

5.3.2.1 Analisis kadar CO_2 (carbon dioksida)

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

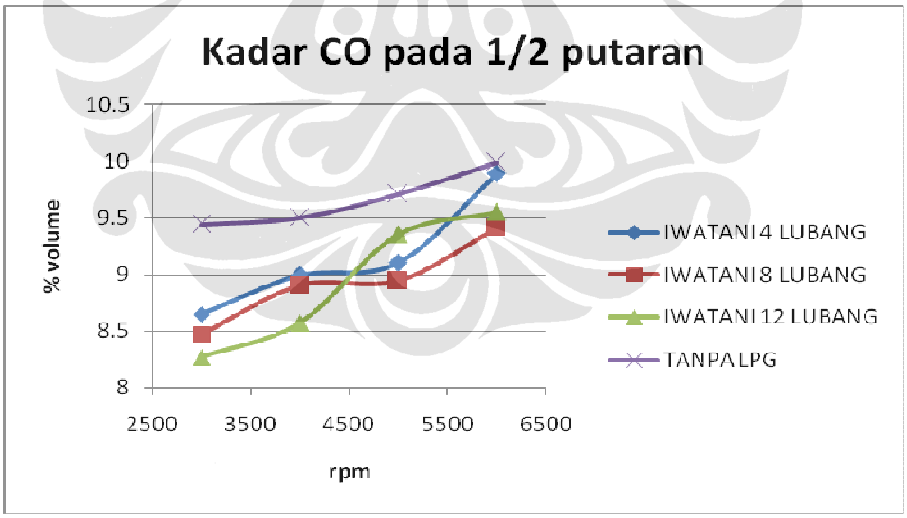


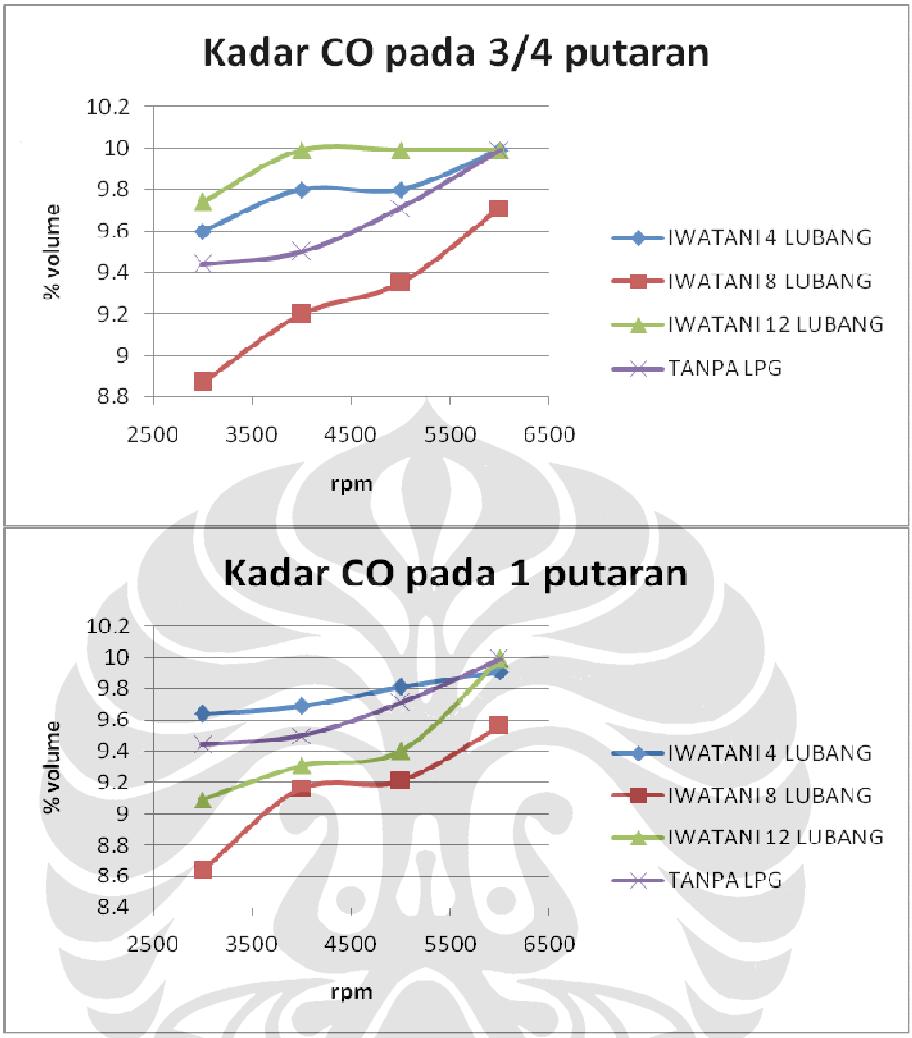
Gambar 5.14 Perbandingan CO_2 antar venturi *mixer*

Gambar 5.14 diatas memperlihatkan perbandingan kadar CO_2 pada gas buang antara kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG dari ketiga jenis venturi mixer dengan variasi jumlah lubang dengan bukaan katupnya masing-masing yang menunjukkan hasil optimal dari tiap venturi mixer yang digunakan.

Pada bukaan 180^0 untuk putaran rendah venturi *mixer* 8 lubang menghasilkan kadar CO_2 yang paling banyak, sedangkan pada putaran tinggi terjadi pada venturi *mixer* 4 lubang. Untuk kadar CO_2 pada bukaan 270^0 nilai optimum didapat pada venturi *mixer* 12 lubang baik itu pada putaran rendah maupun putaran tinggi. Sedangkan pada bukaan 360^0 venturi *mixer* 12 lubang menghasilkan kadar CO_2 terbanyak pada putaran rendah dan venturi *mixer* 4 lubang pada putaran tinggi.

5.3.2.2 Analisis kadar CO (carbon monoksida)





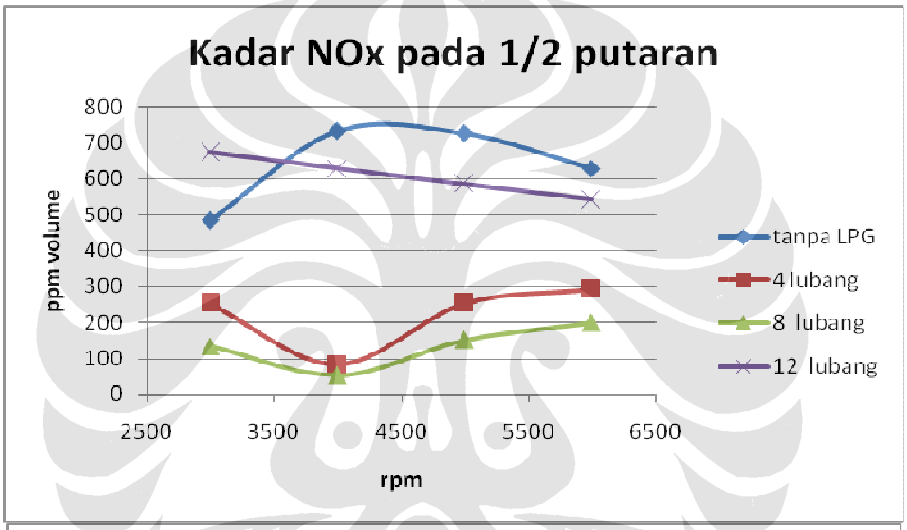
Gambar 5.15 Perbandingan CO antar venturi *mixer*

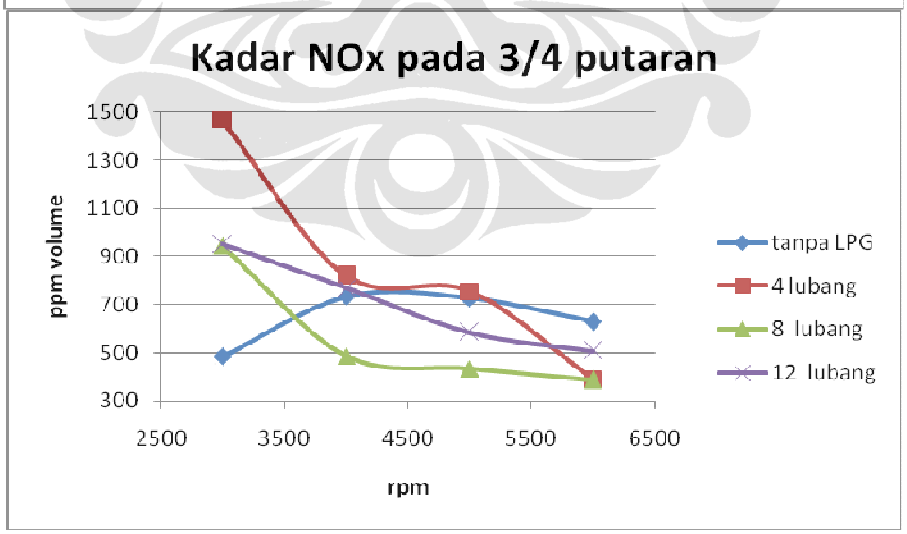
Gambar 5.15 diatas memperlihatkan perbandingan kadar CO pada gas buang antara kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG dari ketiga jenis venturi mixer dengan variasi jumlah lubang dengan bukaan katupnya masing-masing yang menunjukkan hasil optimal dari tiap venturi mixer yang digunakan.

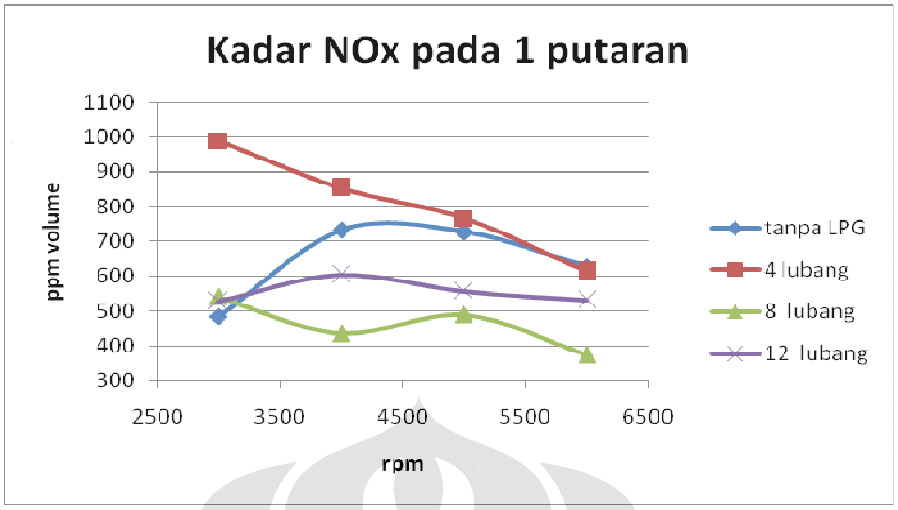
Pada bukaan 180^0 terbukti bahwa kadar CO pada emisi sepeda motor dengan penambahan LPG menunjukkan penurunan untuk keadaan semua bukaan. Pada putaran rendah venturi *mixer* 12 lubang yang memiliki kadar

CO paling sedikit dan pada putaran tinggi terjadi pada venturi *mixer* 8 lubang. Untuk bukaan 270^0 penurunan kadar CO pada motor dengan penambahan LPG hanya terjadi pada venturi *mixer* 8 lubang. Sedangkan pada bukaan 360^0 penurunan kadar CO dibanding sepeda motor tanpa LPG terjadi pada venturi *mixer* 8 dan 12 lubang.

5.3.2.3 Analisis kadar NOx (karbon monoksida)







Gambar 5.16 Perbandingan NOx antar venturi *mixer*

Reaksi antara nitrogen dan oksigen pada temperatur tinggi, sekitar 1800^0 dapat membentuk adanya NOx. Pada mesin, NOx dapat terbentuk akibat temperatur pembakaran yang tinggi pada ruang bakar. Pada **Gambar 5.16** diperoleh perbandingan NOx yang dihasilkan pada kondisi motor tanpa dan dengan penambahan LPG. Dari grafik tersebut dapat terlihat bahwa NOx yang dihasilkan oleh motor dengan penambahan LPG memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut membuktikan bahwa penambahan LPG berpengaruh baik untuk mengurangi pembentukan NOx yang bersifat racun.

Grafik terbaik diperlihatkan pada perbandingan NOx pada motor dengan penambahan LPG pada bukaan 180^o dimana kadar NOx yang diperoleh motor dengan penambahan LPG rata-rata lebih rendah daripada motor tanpa penambahan LPG. Kecuali pada saat 3000 rpm, kadar NOx yang diperoleh motor dengan penambahan LPG yang mengunakan venturi mixer 12 lubang terlihat lebih tinggi yang mungkin disebabkan kondisi pengapian awal mesin yang kurang sempurna.

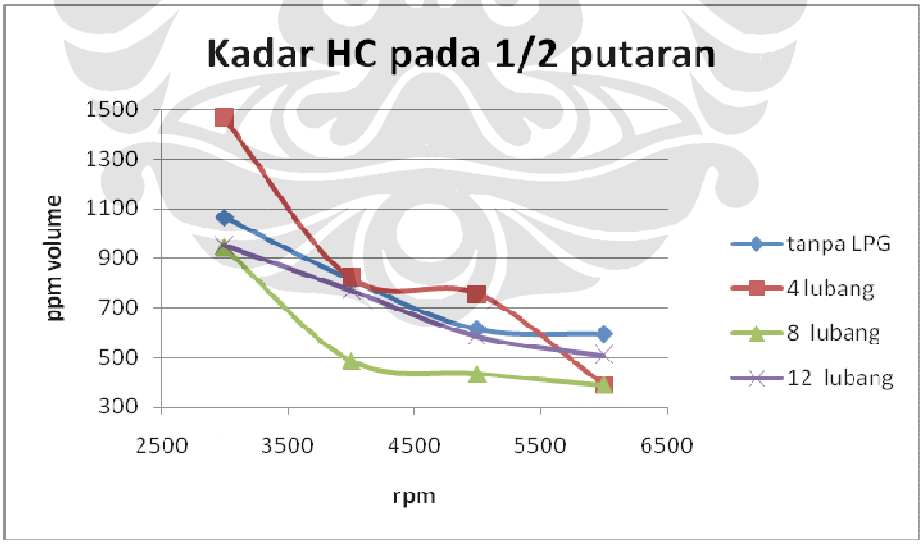
Pada bukaan 270^o, terlihat pada motor dengan penambahan LPG yang mengunakan venturi mixer 4 lubang, kadar NOx yang diperoleh lebih tinggi

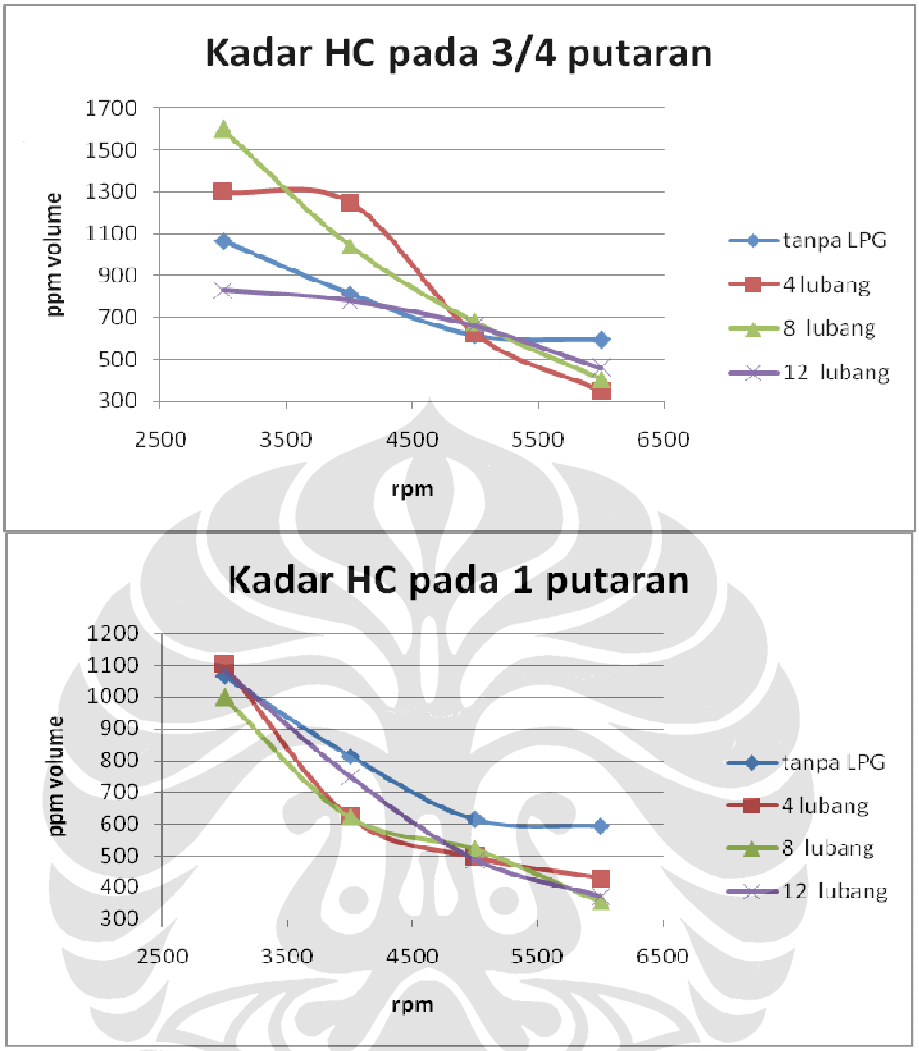
Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

dari pada motor tanpa penambahan LPG. Sedangkan pada motor dengan penambahan LPG yang menggunakan venturi mixer 8 dan 12 lubang terlihat lebih rendah, hanya pada putaran rendah saja yang terlihat lebih tinggi. Dan pada putaran tinggi, semua venturi mixer pada bukaan 270^{o} menghasilkan kadar NOx yang lebih rendah. Fenomena ini mungkin disebabkan oleh kondisi pengapian mesin pada awal putaran dimana pembakaran yang terjadi belum mencapai kondisi sempurna untuk mesin.

Hal yang sama pada semua venturi saat bukaan 270^{o} juga terjadi pada semua venturi saat bukaan 360^{o} dimana saat putaran rendah yaitu 3000 rpm, motor dengan penambahan LPG menghasilkan kadar NOx yang lebih tinggi daripada motor tanpa penambahan LPG. Sedangkan pada putaran tinggi yaitu 6000 rpm, kadar NOx yang diperoleh semua venturi mixer pada bukaan 360^{o} terlihat lebih rendah.

5.3.2.4 Analisis kadar HC (hydrocarbon)





Gambar 5.17 Perbandingan HC antar venturi *mixer*

Pada bukaan katup 180^{o} saat putaran mesin rendah (3000 RPM), kadar HC terendah (nilai terbaik) dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 8 lubang. Begitu juga ketika putaran mesin tinggi (6000 RPM), kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 8 lubang.

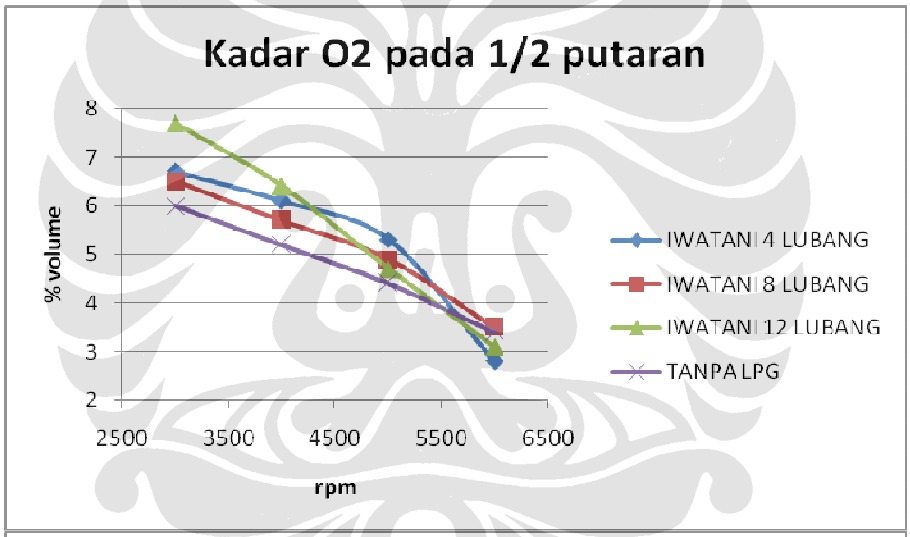
Pada bukaan katup 270^{o} saat putaran mesin rendah, kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan menggunakan venturi mixer 12 lubang. Sedangkan ketika putaran mesin

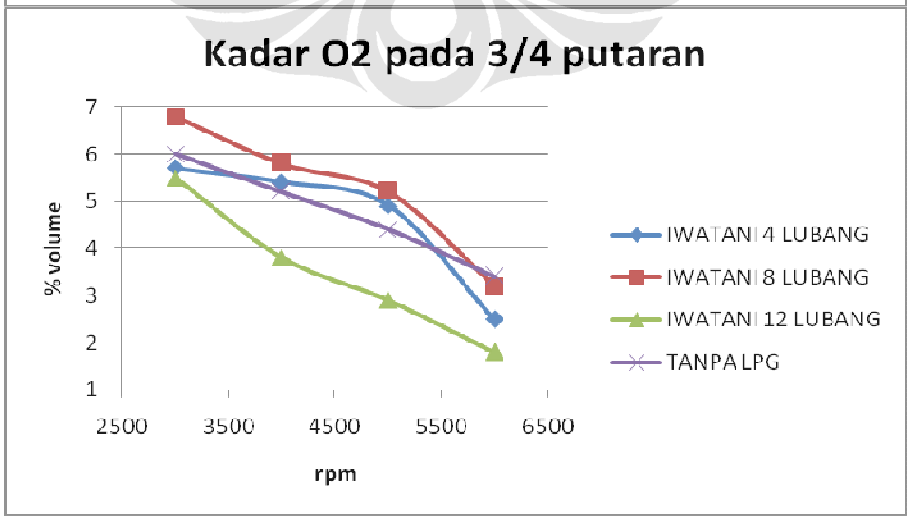
Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

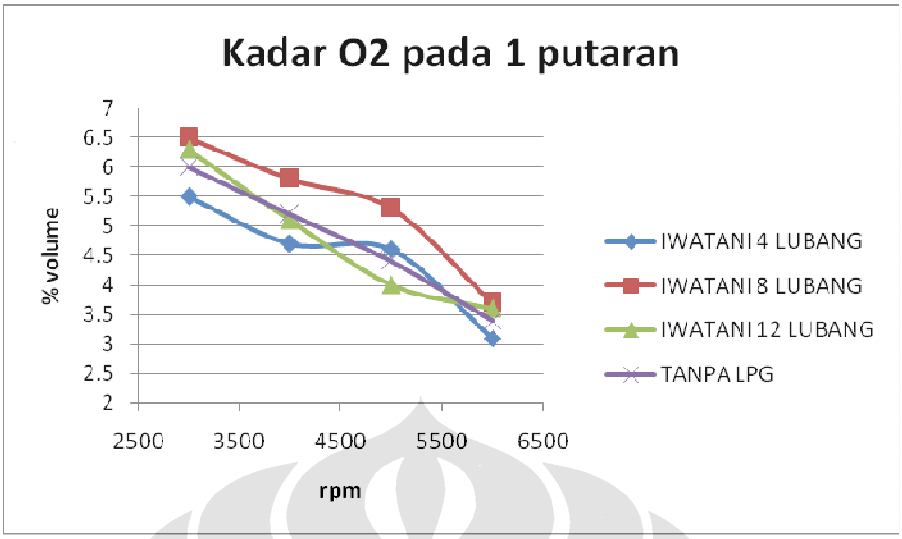
tinggi, kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 4 lubang.

Pada bukaan katup 360^{o} saat putaran mesin rendah, kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan menggunakan venturi mixer 8 lubang. Begitu juga halnya ketika putaran mesin tinggi, kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 8 lubang.

5.3.2.5 Analisis kadar O_2 (oksigen)







Gambar 5.18 Perbandingan O_2 antar venturi *mixer*

Kadar O_2 menandakan bahwa tingkat penggunakan udara (oksigen) dalam proses pembakaran, semakin rendah kadar O_2 semakin banyak udara yang dipergunakan untuk proses pembakaran yang berarti pembakaran yang terjadi semakin baik, namun sebaliknya jika kadar O_2 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 CO_2.

Pada bukaan katup 180^o saat putaran mesin rendah (3000 RPM), kadar O_2 terendah (nilai terbaik) dicapai ketika motor dengan kondisi tanpa penambahan LPG. Sedangkan ketika putaran mesin tinggi (6000 RPM), kadar O_2 terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 4 lubang.

Pada bukaan katup 270^o saat putaran mesin rendah, kadar O_2 terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan menggunakan venturi mixer 12 lubang. Begitu juga halnya ketika putaran mesin tinggi,

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,

kadar O_2 terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 12 lubang.

Pada bukaan katup 360^o saat putaran mesin rendah, kadar O_2 terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan menggunakan venturi mixer 4 lubang. Begitu juga halnya ketika putaran mesin tinggi, kadar O_2 terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 4 lubang.

Analisis penggunaan venturi..., Ardi Mardika, FT UI,