

## 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 penggunaan 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 pada motor uji. Dengan alat bantu berupa timbangan digital merek AND tipe EK-2000i dan stopwatch, dengan variasi bukaan katup regulator kompor sebesar 180<sup>0</sup>, 270<sup>0</sup>, dan 360<sup>0</sup>. 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:

$$\begin{aligned} \rho_{LPG} &= (4,58\% \cdot \rho_{Pr\ opana}) + (83,14\% \cdot \rho_{Bu\ tan\ a}) + (6,12\% \cdot \rho_{E\ tan\ a}) + (6,12\% \cdot \rho_{Pen\ tan\ a}) \\ &= (0,0458 \cdot 585) + (0,8314 \cdot 601) + (0,0612 \cdot 572) + (0,0612 \cdot 626) \\ &= 600,02 \text{ gr/L} \end{aligned}$$

**Tabel IV.1** Konsumsi LPG pada bukaan katup regulator 180<sup>0</sup> untuk venturi mixer 12 lubang

Jarak Tempuh ( km )	Waktu ( s )	Konsumsi ( gr )	Konsumsi rata - rata ( gr / km )	Laju Aliran ( gr / s )
0 – 23	2048	8.1	0.352	0.00395
23 – 46	2060	7.3	0.317	0.00354

<b>46 – 69</b>	2056	8.6	0.374	0.00418
<b>69 – 92</b>	2050	6.7	0.291	0.00327
<b>92 - 115</b>	2066	8.3	0.361	0.00402
<b>TOTAL</b>	10280	39		0.01897
<b>RATA - RATA</b>	2056	7.8	0.339	0.00379

**Tabel IV.2** Konsumsi LPG pada bukaan katup regulator 270<sup>0</sup> untuk venturi mixer 12 lubang

Jarak Tempuh ( km )	Waktu ( s )	Konsumsi ( gr )	Konsumsi rata – rata ( gr / km )	Laju Aliran ( gr / s )
<b>0 – 23</b>	2055	8.4	0.365	0.004088
<b>23 – 46</b>	2083	9.8	0.426	0.004705
<b>46 – 69</b>	2069	7.5	0.326	0.003625
<b>69 – 92</b>	2080	7.5	0.326	0.003606
<b>92 - 115</b>	2046	8.6	0.374	0.004203
<b>TOTAL</b>	10333	41.8		0.020226
<b>RATA - RATA</b>	2066.6	8.36	0.363	0.004045

**Tabel IV.3** Konsumsi LPG pada bukaan katup regulator 360<sup>0</sup> untuk venturi mixer 12 lubang

Jarak Tempuh ( km )	Waktu ( s )	Konsumsi ( gr )	Konsumsi rata – rata ( gr / km )	Laju Aliran ( gr / s )
<b>0 – 23</b>	2078	9.2	0.4	0.004427
<b>23 – 46</b>	2060	11.4	0.496	0.005534
<b>46 – 69</b>	2045	7.7	0.335	0.003765
<b>69 – 92</b>	2040	8.5	0.369	0.004167
<b>92 - 115</b>	2056	7.9	0.343	0.003842
<b>TOTAL</b>	10279	44.7		0.021736
<b>RATA - RATA</b>	2055.8	8.94	0.389	0.004347

#### 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<sup>0</sup>, 270<sup>0</sup>, dan 360<sup>0</sup>. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

**Tabel IV.4** Konsumsi bahan bakar tanpa campuran LPG untuk venturi *mixer* 12 lubang

Jarak Tempuh ( km )	Waktu ( s )	Konsumsi ( L )	Konsumsi rata - rata ( km / L )	Laju Aliran ( L / s )
0 – 23	2072	0.875	26.2857	0.000422
23 – 46	2084	0.880	26.1364	0.000422
46 – 69	2065	0.875	26.2857	0.000424
69 – 92	2058	0.870	26.4368	0.000423
92 - 115	2050	0.870	26.4368	0.000424
<b>TOTAL</b>	10329	4.370		0.002115
<b>RATA - RATA</b>	2065.8	0.874	26.3163	0.000423

**Tabel IV.5** Konsumsi bahan bakar dengan tambahan LPG dengan bukaan katup 180<sup>0</sup> untuk venturi *mixer* 12 lubang

Jarak Tempuh ( km )	Waktu ( s )	Konsumsi ( L )	Konsumsi rata - rata ( km / L )	Laju Aliran ( L / s )
0 – 23	2048	0.850	27.06	0.000415
23 – 46	2060	0.865	26.59	0.000420
46 – 69	2056	0.865	26.59	0.000421
69 – 92	2050	0.850	27.06	0.000415
92 - 115	2066	0.870	26.44	0.000421
<b>TOTAL</b>	10280	4.300		0.002091
<b>RATA - RATA</b>	2056	0.860	26.75	0.000418

**Tabel IV.6** Konsumsi bahan bakar dengan tambahan LPG dengan bukaan katup 270<sup>0</sup> untuk venturi *mixer* 12 lubang

Jarak Tempuh ( km )	Waktu ( s )	Konsumsi ( L )	Konsumsi rata - rata ( km / L )	Laju Aliran ( L / s )
0 – 23	2048	0.845	27.22	0.000411
23 – 46	2060	0.860	26.74	0.000413
46 – 69	2056	0.850	27.06	0.000411
69 – 92	2050	0.850	26.75	0.000409
92 - 115	2066	0.840	27.38	0.000410
<b>TOTAL</b>	10280	4.245		0.002054
<b>RATA - RATA</b>	2056	0.849	27.09	0.000411

**Tabel IV.7** Konsumsi bahan bakar dengan tambahan LPG dengan bukaan katup 360<sup>o</sup> untuk venturi *mixer* 12 lubang

Jarak Tempuh ( km )	Waktu ( s )	Konsumsi ( L )	Konsumsi rata - rata ( km / L )	Laju Aliran ( L / s )
0 – 23	2048	0.840	27.38	0.000404
23 – 46	2060	0.830	27.71	0.000403
46 – 69	2056	0.820	28.05	0.000401
69 – 92	2050	0.820	28.05	0.000402
92 - 115	2066	0.830	27.71	0.000404
<b>TOTAL</b>	10280	4.140		0.002014
<b>RATA - RATA</b>	2056	0.828	27.78	0.000403

#### 4.3 PERHITUNGAN BRAKE SPECIFIC FUEL CONSUMPTION (BSFC)

*Specific Fuel Consumption* (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. *Specific Fuel Consumption* didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh. SFC disebut *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) jika menggunakan *brake horse power*, dan jika menggunakan *indicated power* maka disebut *Indicated Specific Fuel Consumption* (ISFC). Nilai SFC yang rendah mengindikasikan pemakaian bahan bakar yang irit, oleh sebab itu, nilai SFC yang rendah sangat diinginkan untuk mencapai efisiensi bahan bakar. *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) juga merupakan suatu parameter yang tepat untuk mengukur efisiensi thermal dan juga untuk membandingkan kinerja mesin.

Untuk penghitungan *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) dibutuhkan penghitungan parameter-parameter sebagai berikut :

a) **Daya Keluaran / Brake Horse Power (BHP)**

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

Torsi =  $F \cdot r$  ; dengan  $F$  = tractive effort (lb)  
 $r$  = lengan momen = 0,04381 ft

Torsi<sub>TANPA LPG</sub> =  $126 \cdot 0,04381 = 5.52$  ft/lbs  
Torsi<sub>180°</sub> =  $111 \cdot 0,04381 = 4.86$  ft/lbs  
Torsi<sub>270°</sub> =  $133 \cdot 0,04381 = 5.83$  ft/lbs  
Torsi<sub>360°</sub> =  $130 \cdot 0,04381 = 5.69$  ft/lbs

Akan dihasilkan BHP sebesar:

$BHP_{TANPA\ LPG} = \frac{5.52 \times 5608}{5252} = 5.89$  hp  
 $BHP_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 180^\circ} = \frac{4.86 \times 5208}{5252} = 4.82$  hp  
 $BHP_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 270^\circ} = \frac{5.83 \times 6009}{5252} = 6.67$  hp  
 $BHP_{BUKAAN\ KATUP\ LPG\ 360^\circ} = \frac{5.69 \times 5608}{5252} = 6.07$  hp

**Tabel IV.8 BHP tanpa LPG**

RPM	Torsi	BHP
RPM	(ftlb)	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°**

RPM	Torsi	BHP
RPM	(ftlb)	HP
4807	4.60	4.21
5208	4.86	4.82
5608	4.82	5.15

<b>6009</b>	4.56	5.21
<b>6410</b>	3.77	4.60
<b>6810</b>	3.64	4.71

**Tabel IV.10** BHP penambahan LPG bukaan katup 270°

<b>RPM</b>	<b>Torsi</b>	<b>BHP</b>
(RPM)	(ftlb)	(HP)
<b>4407</b>	4.25	3.57
<b>4807</b>	5.04	4.61
<b>5208</b>	5.48	5.43
<b>5608</b>	5.78	6.17
<b>6009</b>	5.83	6.67
<b>6410</b>	5.43	6.63
<b>6810</b>	5.21	6.76
<b>7211</b>	4.69	6.44

**Tabel IV.11** BHP penambahan LPG bukaan katup 360°

<b>RPM</b>	<b>Torsi</b>	<b>BHP</b>
(RPM)	(ftlb)	(HP)
<b>4807</b>	4.95	4.53
<b>5208</b>	5.48	5.43
<b>5608</b>	5.70	6.08
<b>6009</b>	5.56	6.37
<b>6410</b>	5.43	6.63
<b>6810</b>	5.26	6.82
<b>7211</b>	4.38	6.02
<b>7611</b>	3.50	5.08

**b) Premium**

Laju aliran bahan bakar ( $m_{f_{bensin}}^o$ )

$$m_{f_{bensin}}^o = \frac{L}{s} \times 3600 \text{ (L/h)}$$

sehingga

$$m_{f_{bensin}}^o \text{ TANPA LPG} = 0.000423 \times 3600 = 1.5228 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{bensin}}^{0} \text{ BUKAAN KATUP LPG } 180^{\circ} = 0.000418 \times 3600 = 1.5048 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{bensin}}^{0} \text{ BUKAAN KATUP LPG } 270^{\circ} = 0.000411 \times 3600 = 1.4796 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{bensin}}^{0} \text{ BUKAAN KATUP LPG } 360^{\circ} = 0.000403 \times 3600 = 1.4508 \text{ L/h}$$

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik/Brake Specific Fuel Consumption (BSFC)

$$BSFC = \frac{m_{f_{bensin}}^{0}}{BHP} \times \rho_f \quad (\text{gr/hp.h})$$

Dimana  $\rho_{f_{bensin}}$  = massa jenis bensin = 754.2 gr/L

sehingga :

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

$$BSFC_{\text{BUKAAN KATUP LPG } 180^{\circ}} = \frac{1.5048}{4.82} \times 754.2 = 235.46 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{\text{BUKAAN KATUP LPG } 270^{\circ}} = \frac{1.4796}{6.67} \times 754.2 = 167.30 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{\text{BUKAAN KATUP LPG } 360^{\circ}} = \frac{1.4508}{6.07} \times 754.2 = 180.26 \text{ gr/hp.h}$$

**b) Liquid Petroleum Gas (LPG)**

$$BFC = \frac{\text{flowrate} \cdot 3600}{\rho_{\text{LPG}}} \quad (\text{L/h})$$

sehingga didapat nilai BFC LPG sebesar:

$$BFC_{180^{\circ}} = \frac{0.00379 \cdot 3600}{600,02} = 0.02274 \text{ L/h}$$

$$BFC_{270^{\circ}} = \frac{0.004045 \cdot 3600}{600,02} = 0.02427 \text{ L/h}$$

$$BFC_{360^{\circ}} = \frac{0.004347 \cdot 3600}{600,02} = 0.02608 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{gas}}^o = \frac{BFC_{gas}}{t} \times \frac{3600}{1000} \text{ (L/h)}$$

sehingga

$$m_{f_{gas}}^o \text{ BUKAAN KATUP LPG 180}^o = \frac{0.02274}{2056} \times 3.6 = 0.00004 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{gas}}^o \text{ BUKAAN KATUP LPG 270}^o = \frac{0.02427}{2066.6} \times 3.6 = 0.00004 \text{ L/h}$$

$$m_{f_{gas}}^o \text{ BUKAAN KATUP LPG 360}^o = \frac{0.02608}{2055.8} \times 3.6 = 0.00004 \text{ L/h}$$

#### Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (BSFC)

$$BSFC = \frac{BFC}{BHP} \times \rho_{f_{gas}} \text{ (gr/hp.h)}$$

Dimana  $\rho_f$  = massa jenis LPG = 599.82 gr/L

sehingga :

$$BSFC_{BUKAAN KATUP LPG 180}^o = \frac{0.02274}{4.82} \times 599.82 = 2.83 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{BUKAAN KATUP LPG 270}^o = \frac{0.02427}{6.67} \times 599.82 = 2.18 \text{ gr/hp.h}$$

$$BSFC_{BUKAAN KATUP LPG 360}^o = \frac{0.02608}{6.07} \times 599.82 = 2.58 \text{ gr/hp.h}$$

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

$$m_f^o = \frac{BFC_{bensin} \times \rho_{bensin}}{3600 \times 1000} + \frac{BFC_{LPG} \times \rho_{LPG}}{3600 \times 1000}$$

$$m_f^o \text{ TANPA LPG} = \frac{1.5228 \times 754.2}{3600 \times 1000} = 3.19 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$m_f^o \text{ BUKAAN KATUP LPG 180}^o = \frac{1.5048 \times 754.2}{3600 \times 1000} + \frac{0.02274 \times 600.02}{3600 \times 1000}$$



$$\begin{aligned}
 \dot{m}_f \text{ BUKAAN KATUP LPG 270} &= (3.15+0.038) \times 10^{-4} = 3.19 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 &= \frac{1.4796 \times 754.2}{3600 \times 1000} + \frac{0.02427 \times 600,02}{3600 \times 1000} \\
 \dot{m}_f \text{ BUKAAN KATUP LPG 360} &= (3.1+0.04) \times 10^{-4} = 3.14 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 &= \frac{1.4508 \times 754.2}{3600 \times 1000} + \frac{0.02608 \times 600,02}{3600 \times 1000} \\
 &= (3.04+0.043) \times 10^{-4} = 3.08 \times 10^{-4} \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

• **laju aliran massa udara**

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

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_a \text{ TANPA LPG} &= 16.9 \times 3.19 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 53.91 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_a \text{ BUKAAN KATUP LPG 180} &= 18.4 \times 3.19 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 58.70 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_a \text{ BUKAAN KATUP LPG 270} &= 16.9 \times 3.14 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 53.07 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_a \text{ BUKAAN KATUP LPG 360} &= 16.9 \times 3.08 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 52.05 \times 10^{-4} \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Sehingga laju aliran massa yang melewati intake adalah :

$$\begin{aligned}
 \dot{m}_i \text{ TANPA LPG} &= \dot{m}_f \text{ TANPA LPG} + \dot{m}_a \text{ TANPA LPG} \\
 &= 3.19 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 53.91 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 57.1 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_i \text{ BUKAAN KATUP LPG 180} &= \dot{m}_f \text{ BUKAAN KATUP LPG 180} + \dot{m}_a \text{ BUKAAN KATUP LPG 180} \\
 &= 3.19 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 58.70 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 61.89 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_i \text{ BUKAAN KATUP LPG 270} &= \dot{m}_f \text{ BUKAAN KATUP LPG 270} + \dot{m}_a \text{ BUKAAN KATUP LPG 270} \\
 &= 3.14 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 53.07 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 56.21 \times 10^{-4} \text{ kg/s} \\
 \dot{m}_i \text{ BUKAAN KATUP LPG 360} &= \dot{m}_f \text{ BUKAAN KATUP LPG 360} + \dot{m}_a \text{ BUKAAN KATUP LPG 360} \\
 &= 3.08 \times 10^{-4} \text{ kg/s} + 52.05 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 55.13 \times 10^{-4} \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

## **BAB V**

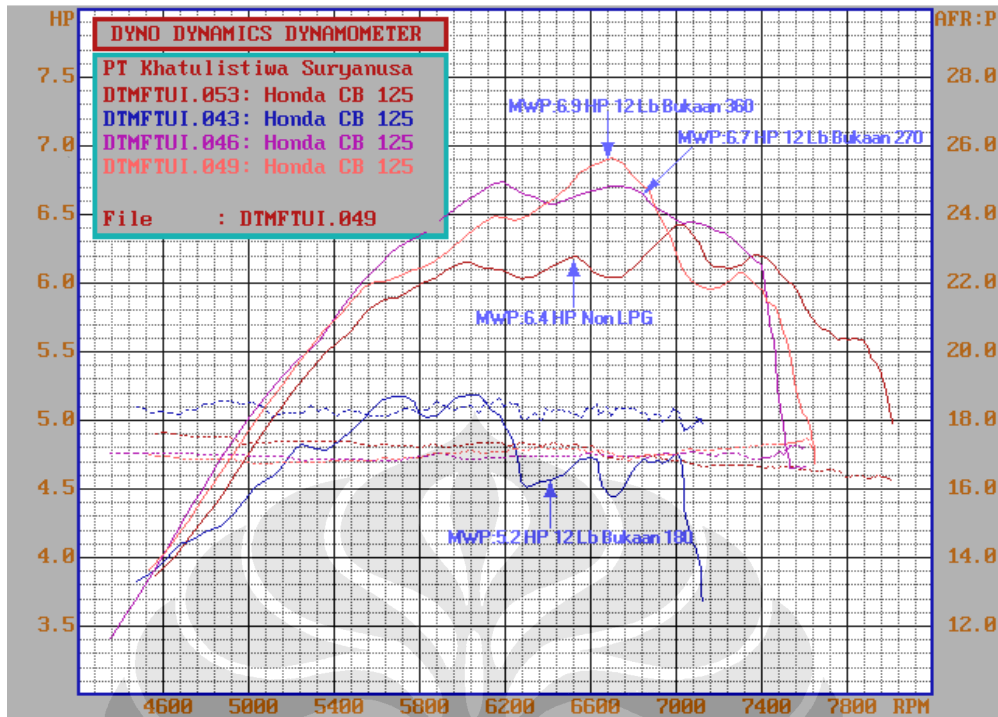
### **ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

#### **5.1 ANALISIS PRESTASI MESIN**

Grafik-grafik yang akan ditampilkan berikut ini adalah hasil grafik *snapshot* 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 dynodynamics* ini, sehingga hasil data yang didapat bisa dikatakan merupakan hasil prestasi mesin yang sesungguhnya.

##### **5.1.1 Analisis perbandingan daya 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.



**Gambar 5.1** Grafik Perbandingan Daya Mesin vs RPM pada Venturi Mixer 12 Lubang

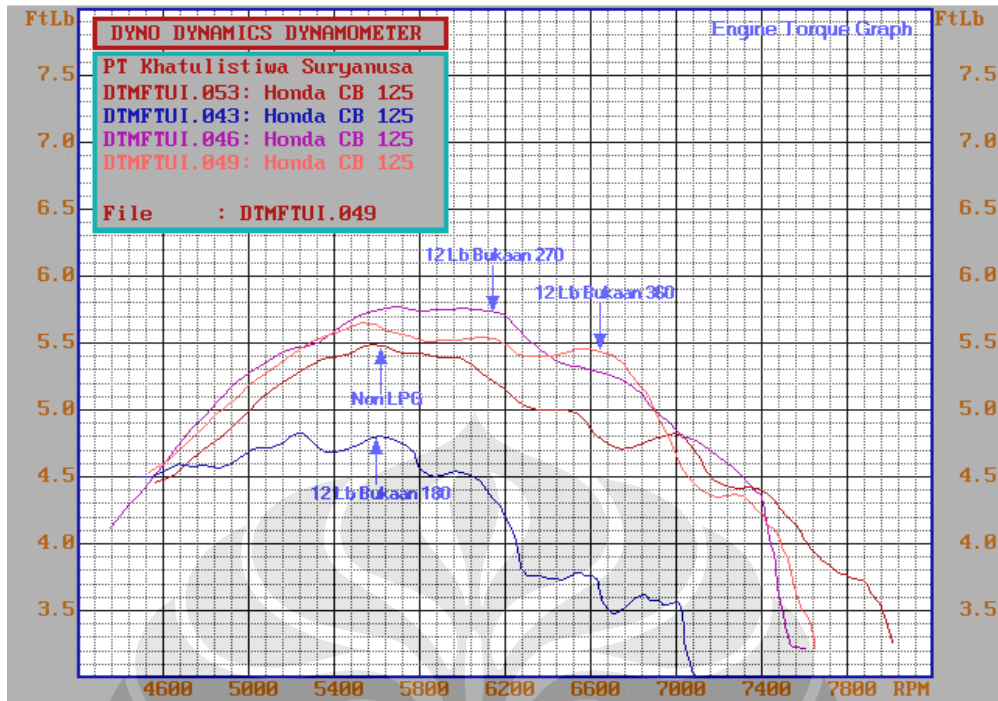
**Gambar 5.1** diperoleh dari proses pengolahan data daya mesin yang dihasilkan pada proses pengujian motor uji dengan menggunakan alat dinamometer *Dynodynamics* berdasarkan kondisi *realtime*. Perlu diingat bahwa hasil *power* yang dihasilkan merupakan BHP (*Brake Horse Power*), atau dalam pengertian lain bahwa *power* yang dihitung adalah *power* pada roda yang berhubungan langsung dengan *roller* pada alat dinamometer. Grafik diatas merupakan perbandingan daya mesin yang mampu dihasilkan antara motor berbahan bakar tanpa dan dengan penambahan LPG pada variasi bukaan katup yang berbeda, yaitu pada bukaan 180<sup>0</sup>, 270<sup>0</sup>, dan 360<sup>0</sup>. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa terjadi peningkatan pada daya yang dihasilkan motor ketika dilakukan penambahan LPG sebagai campuran bahan bakarnya pada bukaan katup 270<sup>0</sup> dan 360<sup>0</sup>. Pada kondisi dimana motor hanya menggunakan bensin sebagai bahan bakar, daya keluaran yang mampu dihasilkan adalah sebesar 6.4 hp yang diperoleh ketika putaran mesin mencapai 6009 rpm. Pada penambahan LPG dengan bukaan katup 180<sup>0</sup> dihasilkan daya mesin maksimum sebesar 5.2 hp yang dicapai pada putaran mesin 6009 rpm. Pada bukaan katup 270<sup>0</sup>, diperoleh daya

keluaran maksimum sebesar 6.7 hp yang diperoleh pada saat putaran mesin mencapai 6810 rpm. Sedangkan pada penambahan LPG dengan bukaan katup 360<sup>0</sup>, didapatkan daya mesin maksimum sebesar 6.9 hp yang diperoleh ketika putaran mesin mencapai 6810 rpm.

Dari data hasil pengujian penambahan LPG dengan tiga variasi bukaan katup diatas diperoleh hubungan antara daya yang dihasilkan mesin dengan laju aliran massa LPG yang ditambahkan, dimana pada bukaan katup 360<sup>0</sup> yang memiliki laju aliran massa paling tinggi memiliki daya keluaran maksimum yang lebih besar dibandingkan bukaan 180<sup>0</sup> atau 270<sup>0</sup>. Peningkatan ini dapat terjadi karena dengan makin besar laju aliran massa LPG yang masuk ke ruang bakar maka pencampuran gas dan udara dapat terjadi dengan cepat dan merata sehingga pembakaran bahan bakar bensin premium menjadi lebih cepat dengan tercampurnya premium dengan LPG yang memiliki sifat yang mudah menguap dan mudah terbakar. Pembakaran yang lebih baik berdampak pada daya keluaran yang dihasilkan menjadi lebih besar.

### **5.1.2. Analisa Perbandingan Torsi Mesin**

Torsi yang digunakan pada analisis didapat dengan cara mengalikan nilai tractive effort yang terdapat pada snapshot dengan besarnya lengan momen pada roller dynamometer (sebesar 0,03 ft). Hal ini dikarenakan pada snapshot tidak didapatkan nilai torsi yang dicapai dan tractive effort yang terdapat pada snapshot merupakan gaya yang dikeluarkan oleh dynamometer untuk menahan gaya yang dihasilkan oleh roda. Sehingga besarnya Torsi yang dihasilkan oleh roller akan sama dengan torsi yang dihasilkan oleh roda.



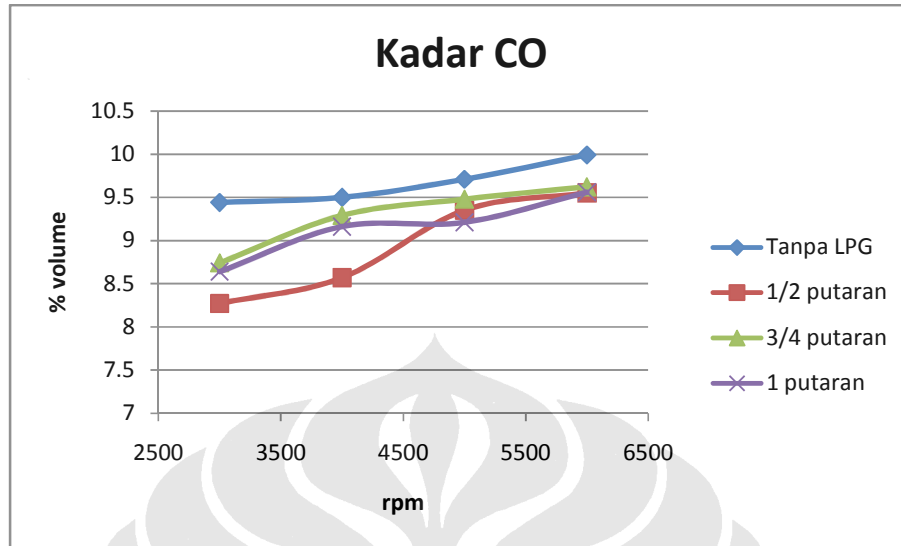
**Gambar 5.2** Grafik Perbandingan Torsi Mesin vs RPM pada Venturi Mixer 12 Lubang

Pada **gambar 5.2** diatas dapat dilihat perbandingan torsi yang dihasilkan oleh mesin. Terlihat bahwa torsi maksimum yang dihasilkan motor dengan kondisi tanpa tambahan LPG memiliki nilai yang lebih rendah di bandingkan dengan motor dengan penambahan LPG. Nilai torsi ini kurang lebih mempunyai pola yang sama dengan grafik nilai daya yang keluar pada motor. Pada bukaan 180<sup>0</sup> nilai torsi mesin masih berada di bawah torsi mesin tanpa penambahan LPG. Sedangkan penambahan LPG baru terbukti dapat meningkatkan torsi mesin pada saat bukaan katup 270<sup>0</sup> dan 360<sup>0</sup>. Hal ini karena penambahan LPG pada saat bukaan katup 270<sup>0</sup> dan 360<sup>0</sup> membuat aliran gas lebih banyak sehingga pencampuran gas udara dapat lebih merata yang dapat meningkatkan nilai daya dan torsi pada mesin sepeda motor.

## 5.2. ANALISA EMISI GAS BUANG

Kandungan emisi gas buang berupa CO<sub>2</sub>, HC, CO, dan NO<sub>x</sub> akan dianalisa pada tinjauan kali ini. Alat yang digunakan untuk mengetahui kondisi kadar gas buang ini adalah *gas analyzer*.

### 5.2.1. Analisa kadar CO (carbon monoksida)

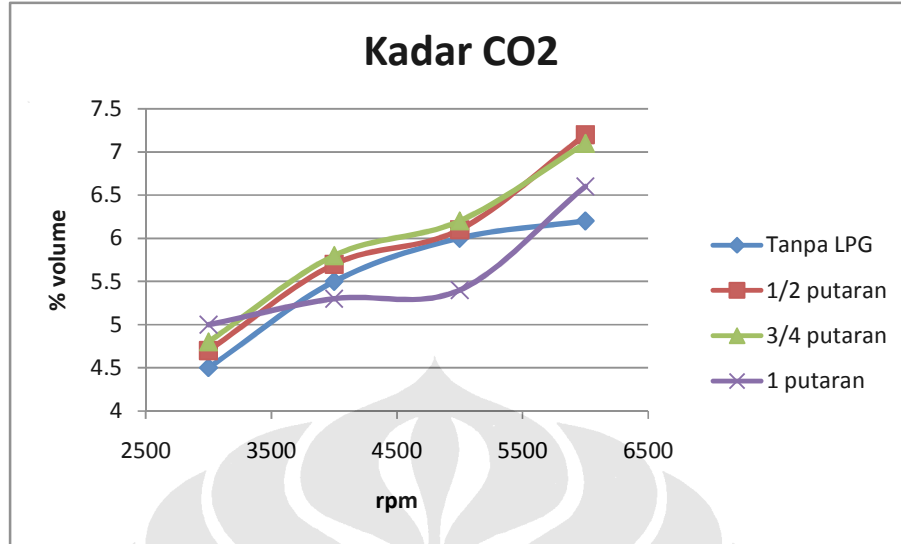


**Gambar 5.3** Grafik perbandingan kadar CO dalam gas buang

CO (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 5.3** terlihat bahwa kadar CO yang dihasilkan oleh pembakaran pada motor dengan penambahan LPG mengalami penurunan jika dibandingkan dengan motor tanpa penambahan LPG bahan bakarnya.

Pada putaran mesin rendah yaitu saat 3000 rpm, kadar CO yang paling rendah terjadi pada penambahan LPG dengan bukaan katup  $180^0$  dan pada putaran mesin menengah yaitu yang berkisar antara 4000 sampai 5000 rpm, kadar CO yang paling rendah diperoleh pada variasi bukaan katup  $180^0$ . Dan juga pada putaran mesin tinggi yaitu pada saat 6000 rpm, penambahan LPG dengan bukaan katup  $180^0$  menghasilkan kadar CO yang paling rendah diantara variasi bukaan katup yang lainnya. Dengan kata lain, penambahan LPG dengan bukaan katup  $180^0$  menghasilkan kadar CO yang paling rendah di antara variasi bukaan katup lainnya.

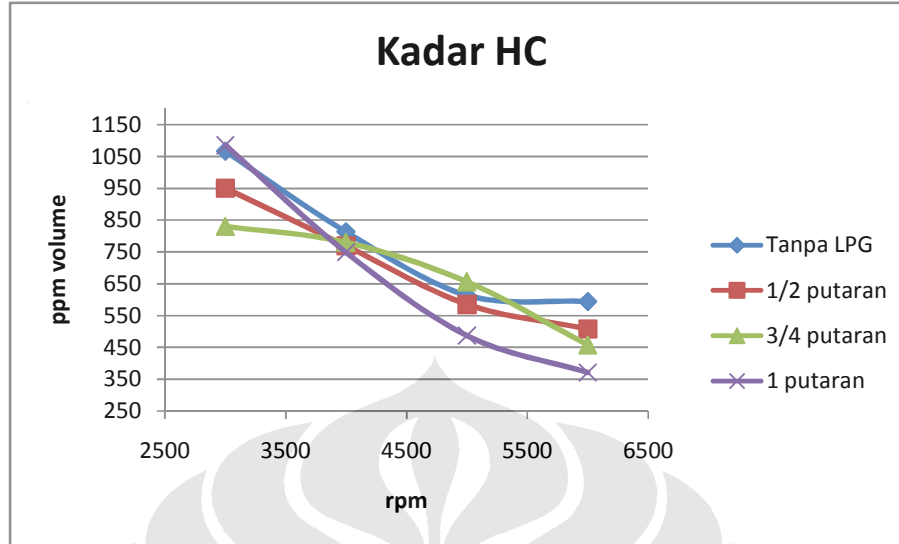
### 5.2.2. Analisa kadar CO<sub>2</sub> (carbon dioksida)



**Gambar 5.4** Grafik perbandingan kadar CO<sub>2</sub> dalam gas buang

Kadar CO<sub>2</sub> dalam gas buang menandakan kesempurnaan pembakaran yang terjadi pada ruang bakar. Semakin tinggi kadar CO<sub>2</sub>, maka pembakaran yang terjadi semakin mendekati sempurna dan sebaliknya jika kadar CO<sub>2</sub> dalam gas buang rendah maka pembakaran yang terjadi semakin jauh dari sempurna. Pada **gambar 5.4** terlihat bahwa kadar CO<sub>2</sub> paling tinggi pada putaran rendah yaitu saat 3000 rpm dihasilkan oleh penambahan LPG dengan bukaan katup 360°. Kadar CO<sub>2</sub> yang terdapat pada gas buang pada motor dengan penambahan LPG cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar CO<sub>2</sub> pada kondisi motor tanpa penambahan LPG. Fakta tersebut berarti sesuai dengan teori yang seharusnya terjadi, bahwa penambahan LPG akan menyebabkan pembakaran menjadi semakin mendekati sempurna. Sehingga akan meningkatkan kadar CO<sub>2</sub> dalam gas buang. Akan tetapi, pada penambahan LPG dengan bukaan katup 360° pada putaran menengah yaitu pada putaran 4000 sampai 5000 rpm, kadar CO<sub>2</sub> yang dihasilkan lebih rendah dari pada motor tanpa penambahan LPG. Salah satu faktor penyebabnya adalah kondisi pengapian yang kurang baik sehingga tidak mampu untuk membakar seluruh bahan bakar yang masuk.

### 5.2.3. Analisa kadar HC (hydrocarbon)



**Gambar 5.5** Grafik perbandingan kadar HC dalam gas buang

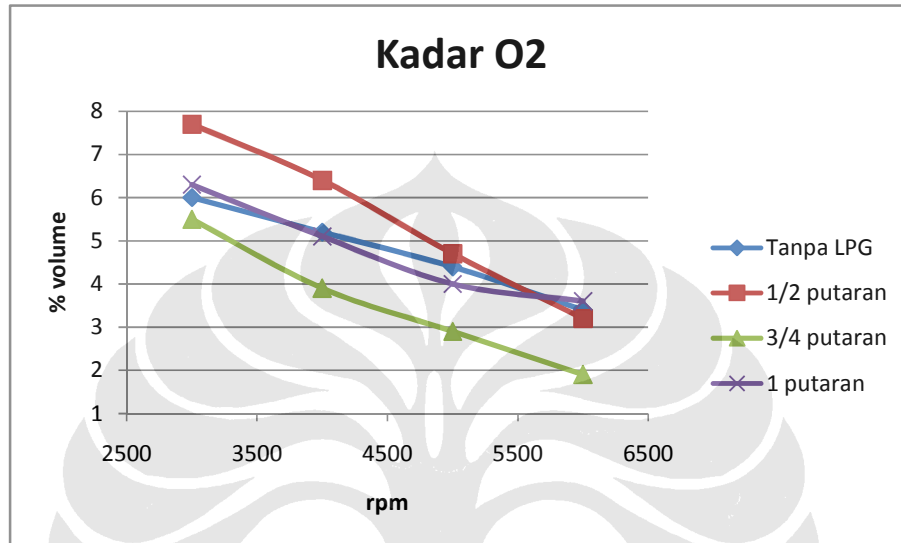
Pada **gambar 5.5** terlihat bahwa dengan melakukan penambahan LPG, secara keseluruhan kandungan hidrokarbon yang terbentuk cenderung berada dibawah kondisi pada saat motor tidak mengalami penambahan LPG. Kondisi ini sesuai dengan teori bahwa untuk pencapaian gas buang yang ideal, kandungan hidrokarbon 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 semua putaran mesin, rata-rata nilai HC terlihat lebih rendah pada kondisi mesin dengan penambahan LPG pada semua bukaan katup. Namun, pada putaran mesin rendah, yaitu pada saat 3000 rpm. Nilai HC yang diperoleh motor dengan penambahan LPG dengan bukaan katup 360° lebih tinggi sedikit dari motor tanpa penambahan LPG. Begitu juga pada saat putaran mesin 5000 rpm, nilai HC yang diperoleh motor dengan penambahan LPG dengan bukaan katup 270° terlihat lebih tinggi dari motor tanpa penambahan LPG. Hal ini dapat disebabkan oleh salah satunya seperti pengapian yang kurang baik. Akan tetapi, dengan nilai hidrokarbon yang berkisar antara 350 hingga 1100 ppm volume, menandakan bahwa pembakaran pada mesin motor tidak berlangsung



secara normal dimana banyak sekali bahan bakar yang tidak terbakar dan terbangung bersama gas buang. Fakta ini dapat juga disebabkan oleh hal yang telah disebutkan sebelumnya di atas.

#### 5.2.4. Analisa kadar O<sub>2</sub> (oksigen)



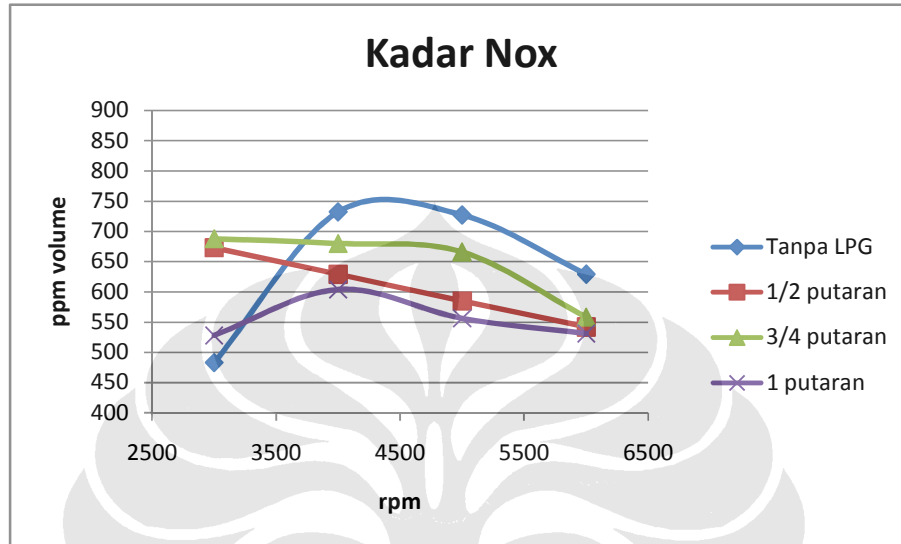
**Gambar 5.6** Grafik perbandingan kadar O<sub>2</sub> dalam gas buang

Kadar O<sub>2</sub> menandakan bahwa tingkat penggunaan udara (oksigen) dalam proses pembakaran, semakin rendah kadar O<sub>2</sub> semakin banyak udara yang dipergunakan untuk proses pembakaran yang berarti pembakaran yang terjadi semakin baik, namun sebaliknya jika kadar O<sub>2</sub> 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<sub>2</sub>.

Pada **Gambar 5.6** terlihat bahwa pada motor dengan penambahan LPG dengan bukaan 270° menghasilkan kadar O<sub>2</sub> yang lebih rendah dari motor tanpa penambahan LPG. Namun, pada motor dengan penambahan LPG dengan bukaan 180° menghasilkan kadar O<sub>2</sub> yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan motor tanpa penambahan LPG, akan tetapi lebih rendah pada saat putaran mesin tinggi yaitu 6000 rpm, begitu juga dengan motor dengan penambahan LPG dengan bukaan 360° pada saat putaran rendah (3000 rpm) dan tinggi (6000 rpm). Hal ini

tidak sesuai dengan teori, dimana seharusnya LPG dapat membantu agar pembakaran menjadi lebih sempurna.

#### 5.2.5. Analisa kadar NOx (karbon monoksida)



Gambar 5.7 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 5.7 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.

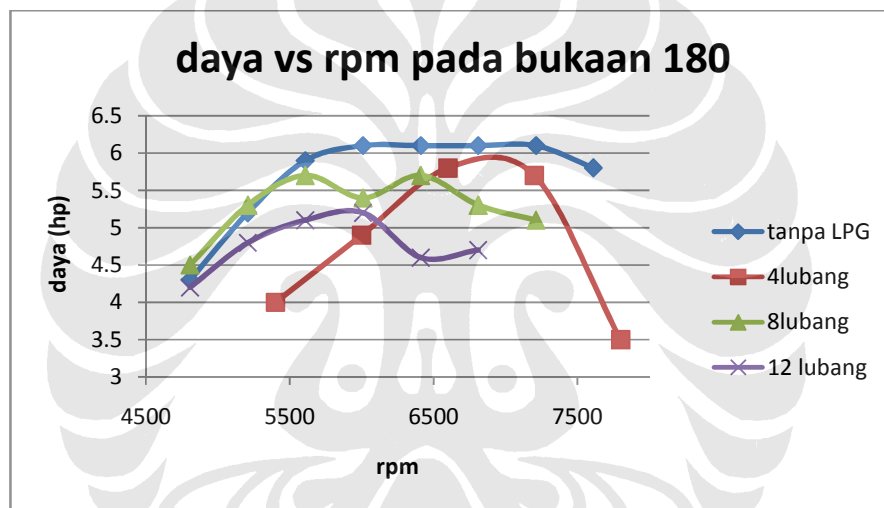
Pada putaran mesin rendah, semua variasi bukaan katup memiliki hasil kadar NOx yang lebih tinggi dari motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut tidak sesuai dengan teori yang dapat disebabkan oleh kondisi pengapian yang kurang sempurna pada putaran awal.

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

Pada bagian ini akan dilakukan analisa perbandingan untuk setiap mixer yang diujkan, yaitu venturi mixer 4, 8, dan 12 lubang variasi masukan gas. Melalui analisa ini akan diketahui venturi yang paling optimum untuk digunakan pada kondisi tertentu yang telah diparameterkan pada pengujian ini. LPG digunakan memiliki kandungan 4,58 % propana dan 83,14 % butana.

#### 5.3.1 Analisa Prestasi Mesin

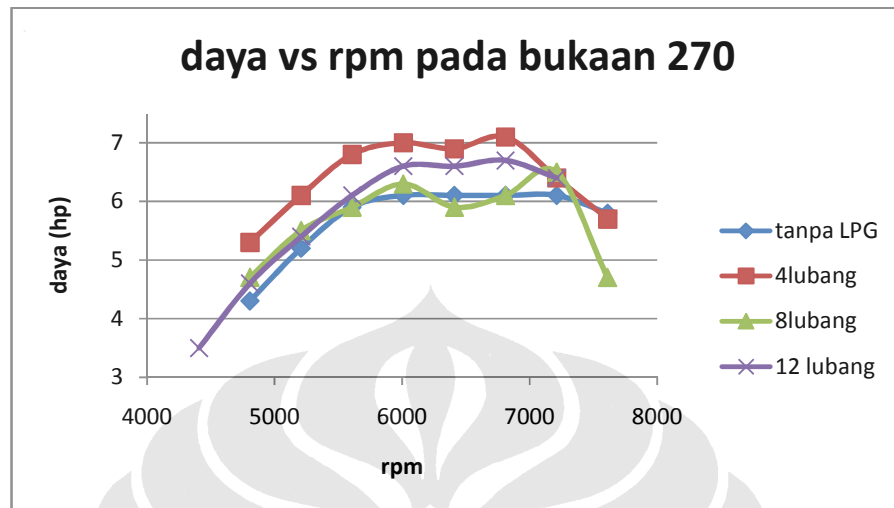
##### 5.3.1.1. Analisa perbandingan daya mesin



**Gambar 5.8** Grafik perbandingan Daya Mesin vs RPM antar Venturi Mixer pada Bukaan 180°

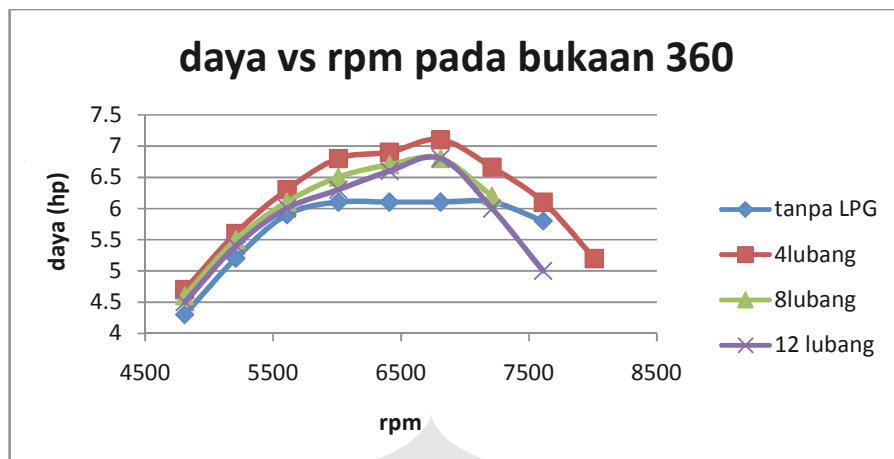
Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa bukaan katup 180° belum memberi pengaruh terhadap pembakaran yang terjadi di ruang bakar mesin. Gas dan udara belum tercampur dengan merata dikarenakan *flowrate* nya yang masih sedikit dibandingkan dengan bukaan katup 270° dan 360°. Namun jika dilihat perbandingan antar venturi *mixer* terlihat bahwa daya maksimum yang keluar terjadi di venturi *mixer* 4 lubang 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 dibanding venturi *mixer* 8 lubang dan 12 lubang



**Gambar 5.9** Grafik perbandingan Daya Mesin vs RPM antar Venturi Mixer pada bukaan 270°

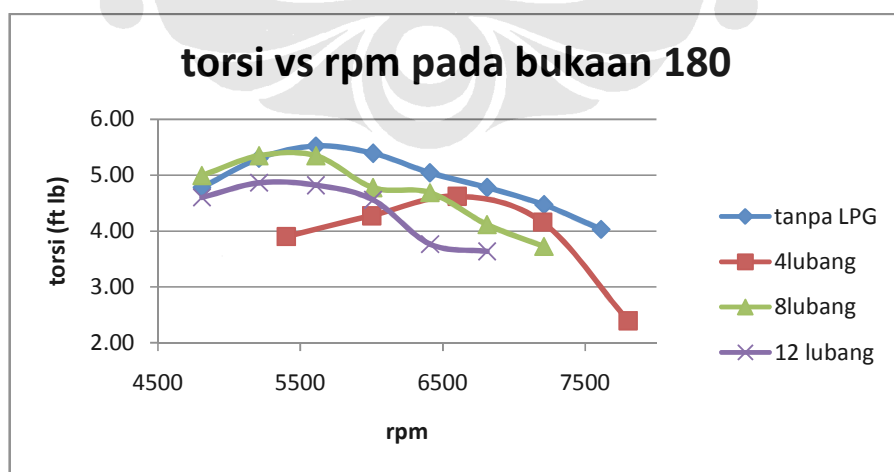
Dari grafik di atas, terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh motor dengan penambahan LPG pada bukaan 270° lebih besar daripada motor tanpa penambahan LPG. Hal tersebut membuktikan bahwa pada bukaan 270°, gas dan udara telah bercampur baik yang menyebabkan pembakaran dalam ruang bakar mesin meningkat sehingga menghasilkan daya yang lebih besar dari motor tanpa penambahan LPG dan motor dengan penggunaan venturi mixer pada bukaan 180°. 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 yang 17:1.



**Gambar 5.10** Grafik perbandingan Daya Mesin vs RPM pada bukaan 360°

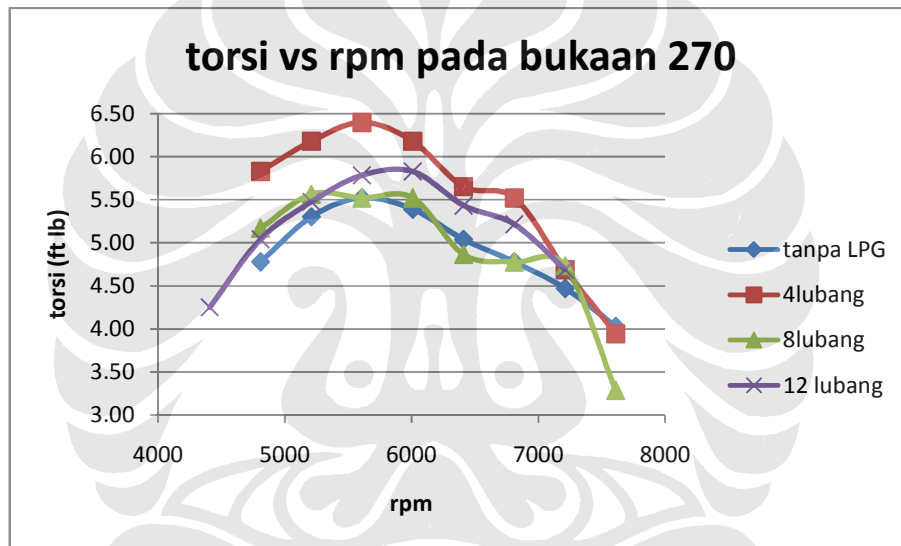
Dari grafik di atas, terlihat bahwa pada bukaan 360°, gas dan udara telah bercampur dengan sangat baik yang menyebabkan pembakaran dalam ruang bakar mesin meningkat sehingga menghasilkan daya yang lebih besar dari motor tanpa penambahan LPG dan motor dengan penggunaan venturi mixer pada bukaan 180° dan 270°. 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. Analisa perbandingan Torsi



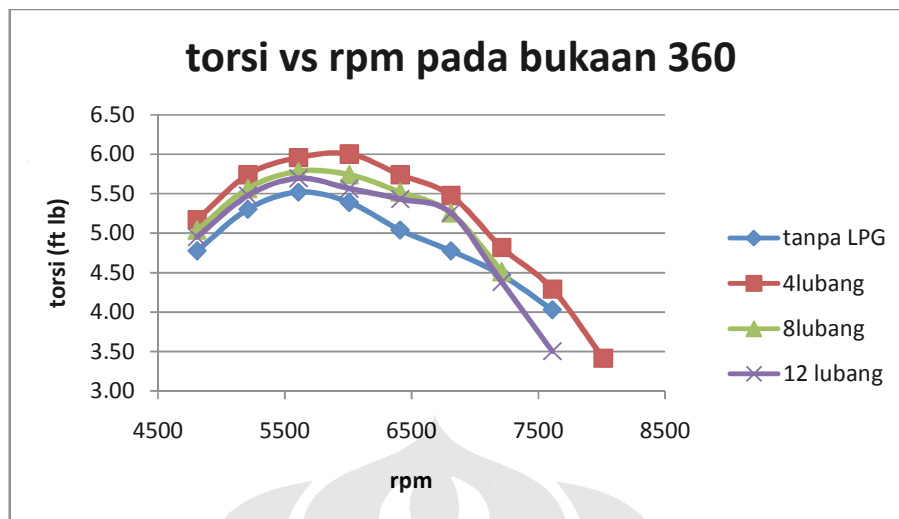
**Gambar 5.11** Grafik perbandingan Torsi vs RPM antar Venturi Mixer pada bukaan 180°

Dari grafik diatas dapat terlihat bahwa motor tanpa penambahan LPG masih memiliki torsi mesin yang lebih besar dibandingkan dengan motor dengan penambahan LPG pada bukaan 180°. Hal ini berarti bahwa bukaan katup 180° tidak memberi pengaruh terhadap pembakaran yang terjadi di ruang bakar mesin. Karena *flowrate* gas nya masih sedikit dibandingkan dengan bukaan katup 270° dan 360°, 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.



**Gambar 5.12** Grafik perbandingan Torsi vs RPM pada bukaan 270°

Grafik perbandingan torsi diatas memperlihatkan pola yang hampir sama dengan grafik perbandingan daya pada bukaan 270°. 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° karena laju kenaikan daya dan torsi adalah berbanding lurus karena di pengaruhi oleh hal yang sama yaitu AFR.

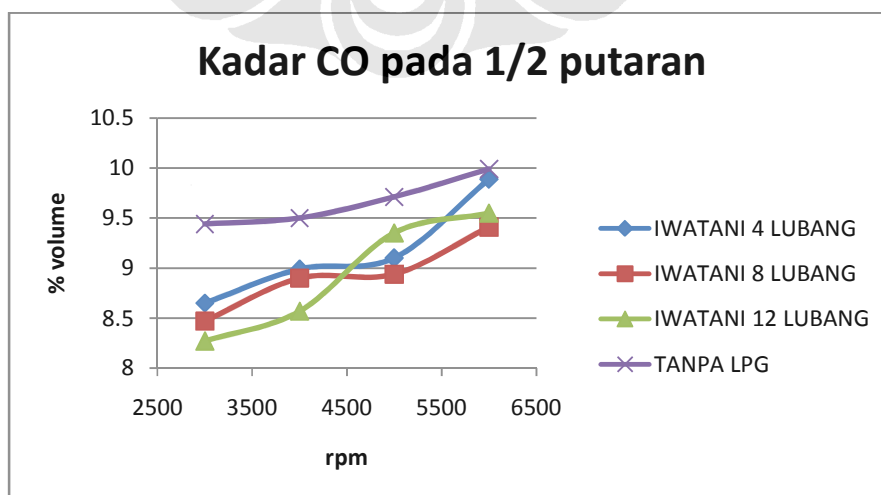


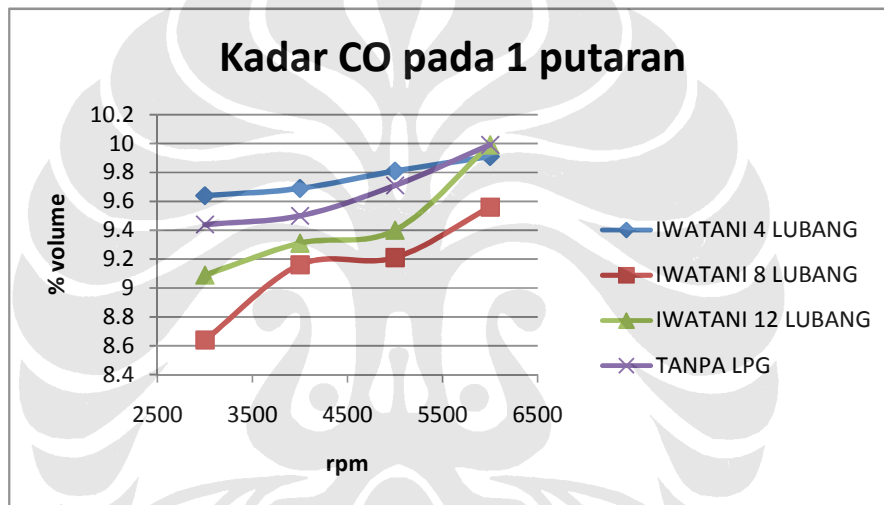
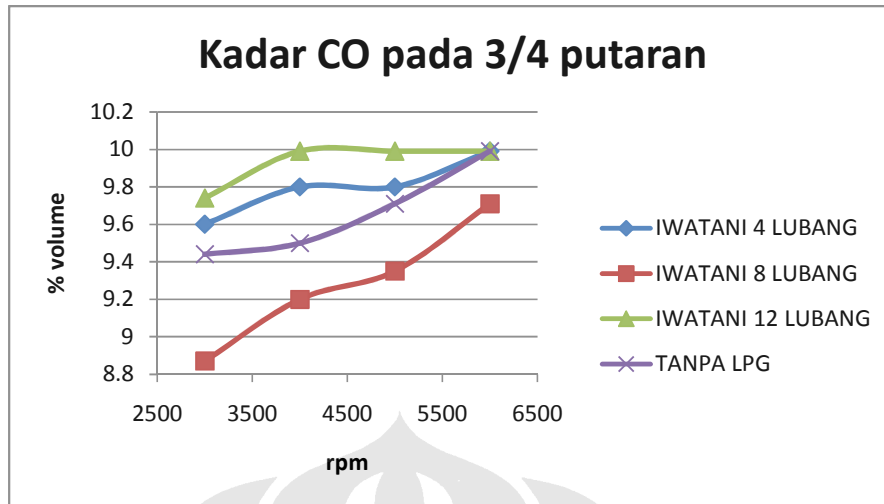
**Gambar 5.13** Grafik perbandingan Torsi vs RPM pada bukaan 360°

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

### 5.3.2 Analisa Emisi Gas Buang

#### 5.3.2.1 Analisa kadar CO (carbon monoksida)





**Gambar 5.14** Perbandingan CO antar venturi *mixer*

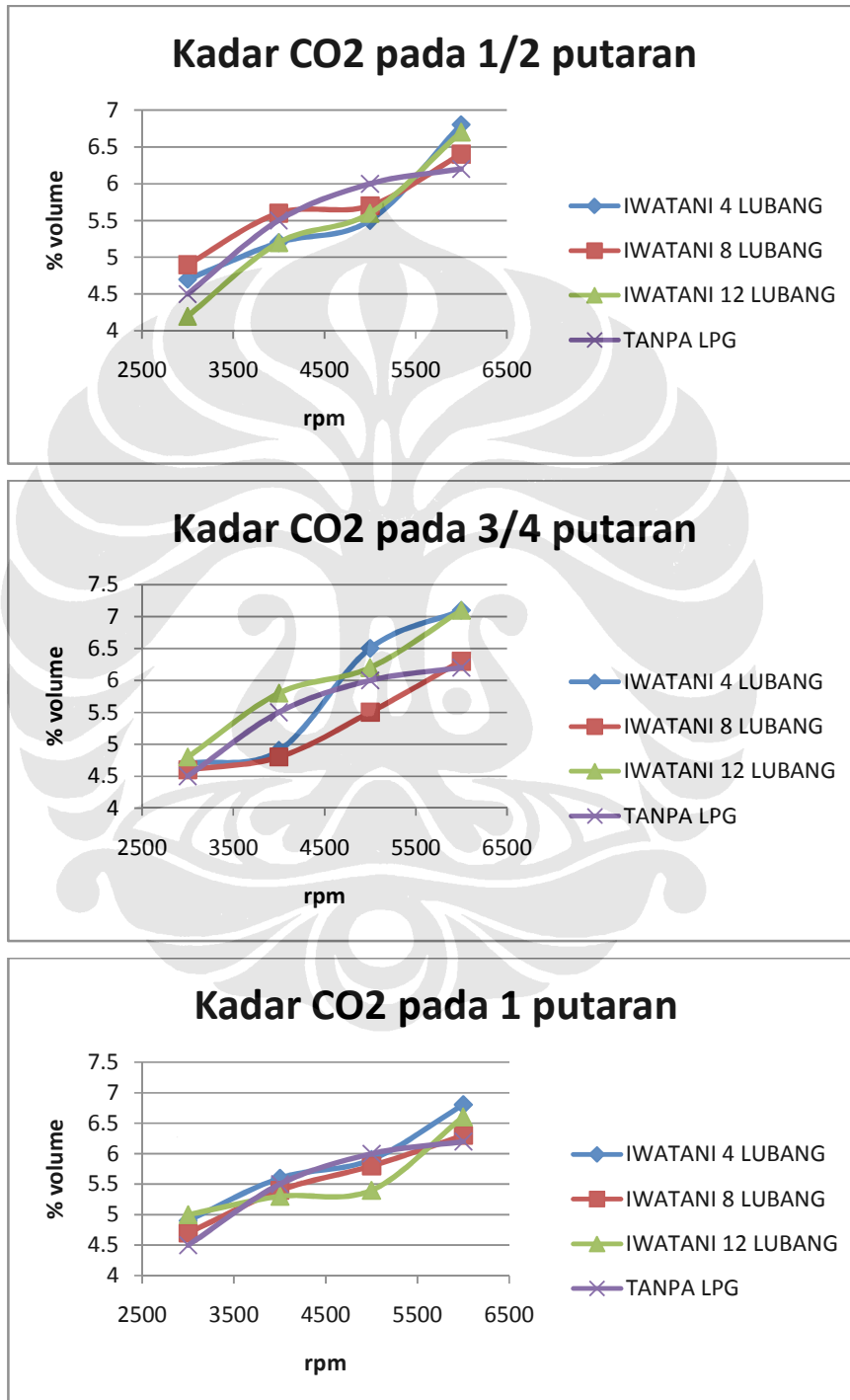
**Gambar 5.14** diatas memperlihatkan perbandingan kadar CO pada gas buang antara kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG dari ketiga jenis venturi mixer dengan variasi jumlah lubang dengan bukaan katupnya masing-masing yang menunjukkan hasil optimal dari tiap venturi mixer yang digunakan.

Pada bukaan 180<sup>0</sup> 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<sup>0</sup> penurunan kadar CO pada motor dengan penambahan LPG hanya terjadi



pada venturi *mixer* 8 lubang. Sedangkan pada bukaan 360° penurunan kadar CO dibanding sepeda motor tanpa LPG terjadi pada venturi *mixer* 8 dan 12 lubang.

### 5.3.2.2 Analisa kadar CO<sub>2</sub> (carbon dioksida)

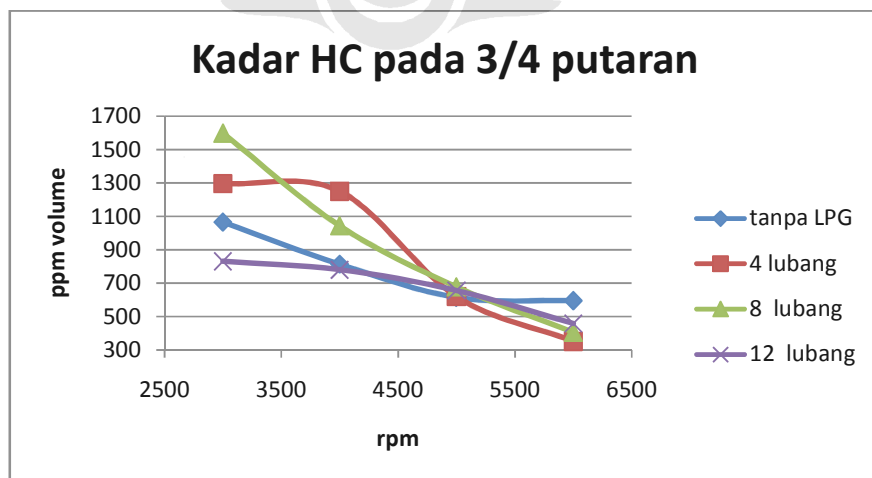
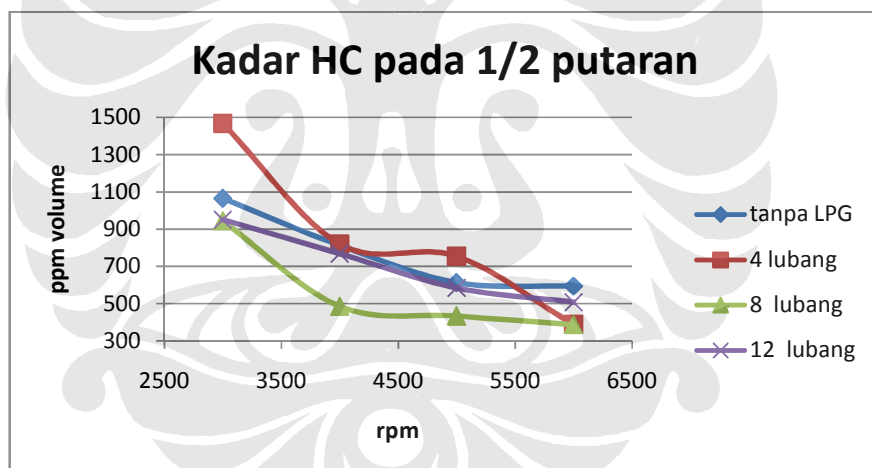


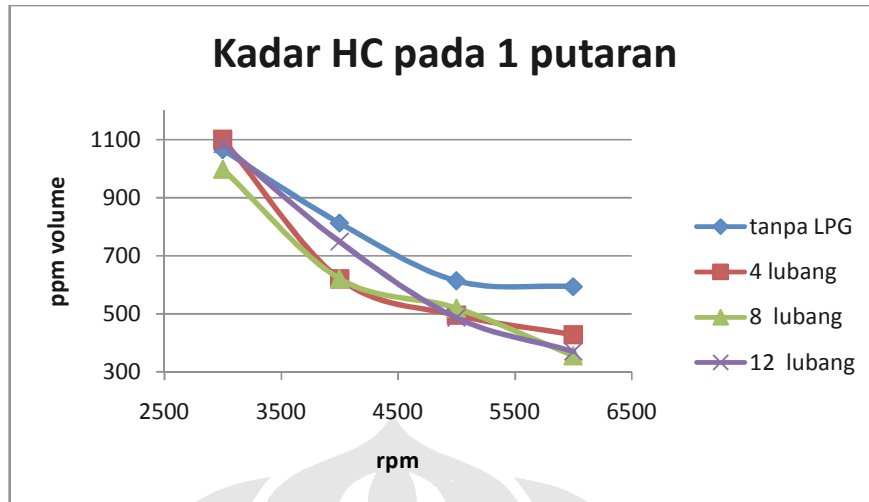
Gambar 5.15 Perbandingan CO<sub>2</sub> antar venturi *mixer*

**Gambar 5.15** diatas memperlihatkan perbandingan kadar CO<sub>2</sub> 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<sup>0</sup> untuk putaran rendah venturi *mixer* 8 lubang menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> yang paling banyak, sedangkan pada putaran tinggi terjadi pada venturi *mixer* 4 lubang. Untuk kadar CO<sub>2</sub> pada bukaan 270<sup>0</sup> nilai optimum didapat pada venturi *mixer* 12 lubang baik itu pada putaran rendah maupun putaran tinggi. Sedangkan pada bukaan 360<sup>0</sup> venturi *mixer* 12 lubang menghasilkan kadar CO<sub>2</sub> terbanyak pada putaran rendah dan venturi *mixer* 4 lubang pada putaran tinggi.

### 5.3.2.3 Analisa kadar HC (hydrocarbon)





**Gambar 5.16** Perbandingan HC antar venturi *mixer*

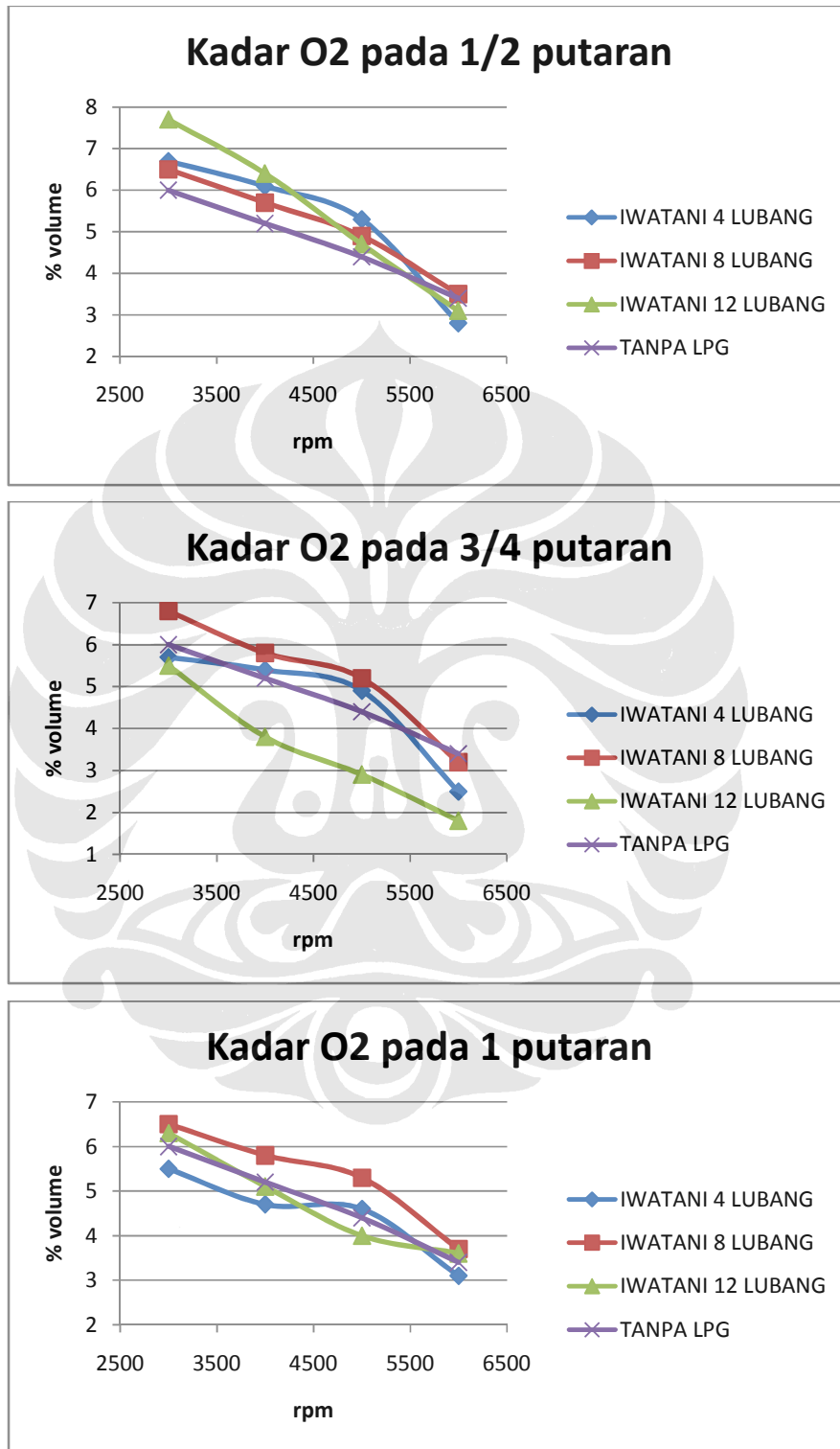
Gambar grafik diatas memperlihatkan perbandingan kadar HC pada gas buang antara kondisi tanpa LPG dan kondisi dengan penambahan LPG dari ketiga jenis venturi mixer dengan variasi jumlah lubang dengan bukaan katupnya masing-masing yang menunjukkan hasil optimal dari tiap venturi mixer yang digunakan.

Pada bukaan katup  $180^0$  saat putaran mesin rendah (3000 RPM), kadar HC terendah 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  $270^0$ , kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan menggunakan venturi mixer 12 lubang pada putaran mesin rendah. Sedangkan ketika putaran mesin tinggi, kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 4 lubang.

Pada bukaan katup  $360^0$  saat putaran mesin rendah, kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan menggunakan venturi mixer 8 lubang. Begitu juga untuk putaran mesin tinggi, kadar HC terendah dicapai ketika motor dengan penambahan LPG pada venturi mixer 8 lubang.

### 5.3.2.4 Analisa kadar O<sub>2</sub> (oksigen)

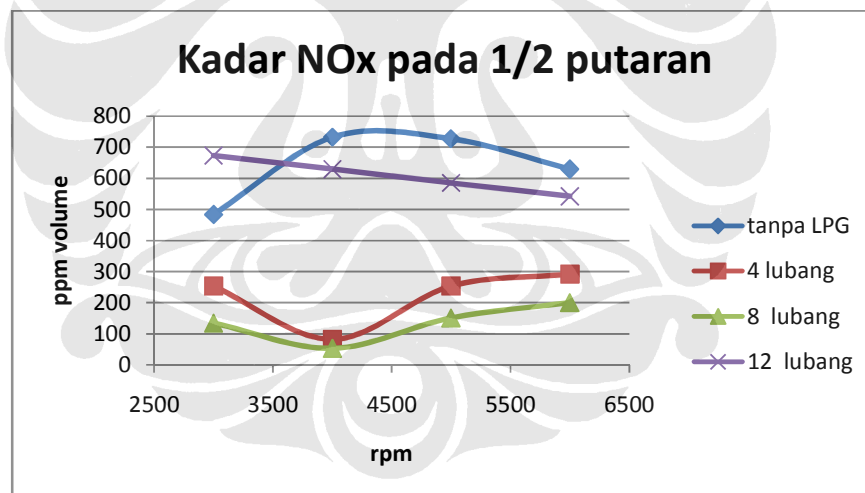


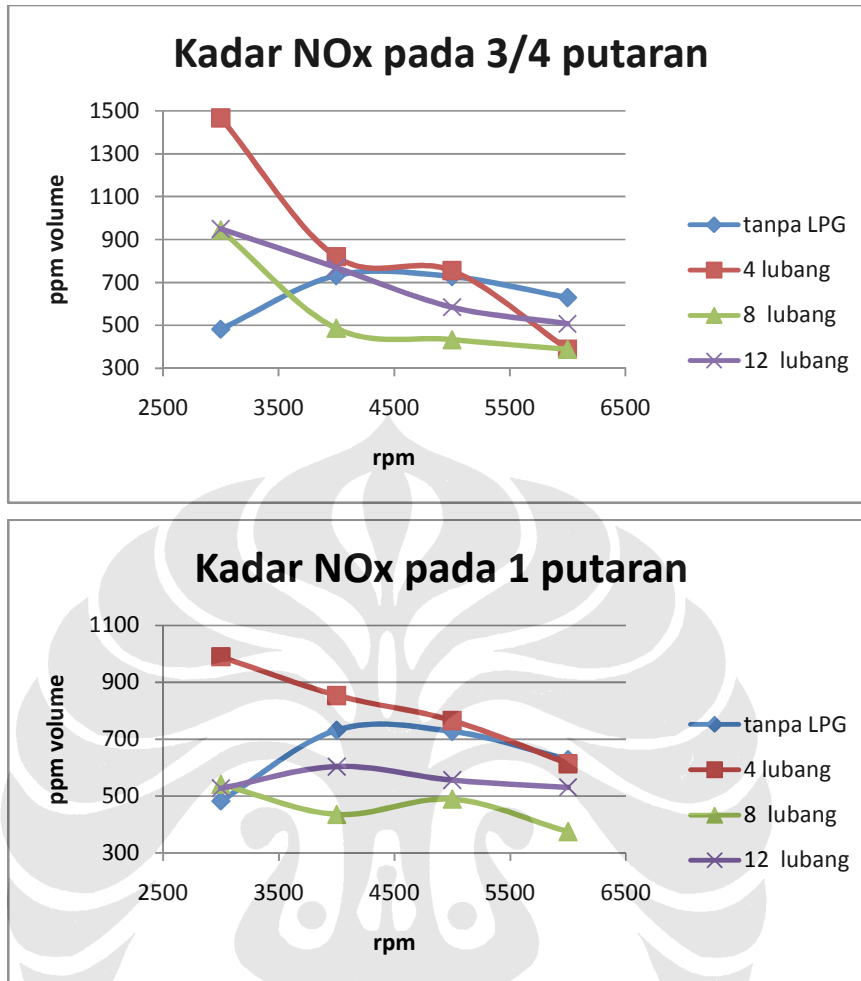
Gambar 5.17 Perbandingan O<sub>2</sub> antar venturi *mixer*

Gambar grafik diatas memperlihatkan perbandingan kadar  $O_2$  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.

Saat putaran mesin rendah pada bukaan katup  $180^0$ , kadar  $O_2$  terendah dicapai ketika motor dengan kondisi tanpa penambahan LPG. Sedangkan ketika putaran mesin tinggi, kadar  $O_2$  terendah dicapai ketika motor dengan kondisi ditambahkan LPG dengan venturi mixer 4 lubang. Untuk bukaan katup  $270^0$  saat putaran mesin rendah, motor dengan penambahan LPG dan menggunakan venturi mixer 12 lubang mempunyai kadar  $O_2$  terendah. Begitu juga untuk putaran mesin tinggi, kadar  $O_2$  terendah dicapai ketika motor dengan penambahan LPG dengan venturi mixer 12 lubang.

#### 5.3.2.5 Analisa kadar NOx (nitro oxide)





**Gambar 5.18** Perbandingan NOx antar venturi *mixer*

Gambar grafik diatas memperlihatkan perbandingan kadar NOx 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.

Kadar NOx mempunyai nilai terbaik pada motor dengan penambahan LPG pada bukaan 180° 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 menggunakan venturi mixer 12 lubang terlihat lebih tinggi yang mungkin disebabkan kondisi pengapian awal mesin yang kurang sempurna. Untuk bukaan 270°, terlihat pada motor dengan penambahan LPG yang menggunakan venturi

mixer 4 lubang, kadar NOx yang diperoleh lebih tinggi 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° 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° juga terjadi pada semua venturi saat bukaan 360° 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° terlihat lebih rendah.

