

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Analisa Data

#### 4.1.1 Data Hasil Pengujian

Pengambilan data performa dilakukan dengan variasi debit udara yang dialirkan ke ruang bakar dengan mengatur bukaan *throttle* yang ditunjukkan dengan adanya beda tekanan menggunakan *orifice* dan manometer. Bahan bakar dijaga konstan pada debit 6 liter/menit. Pengambilan data dilakukan pada tiap nilai putaran (rpm) 5250 sampai 3063 dengan kelipatan 437. Data yang diperoleh selama pengujian performa pada alat uji adalah sebagai berikut :

Jenis Pengujian	: Pengujian Performa
Temperatur Ruang	: 27 °C
Tekanan Udara Atmosfer	: 1 atm
$\rho_{\text{CNG}}$	: 0.6604 kg/m <sup>3</sup>
$\rho_{\text{Udara}}$	: 1.1760 kg/m <sup>3</sup>

Tabel 4.1 Nilai Hidrokarbon pada Gas Buang Tiap Massa Alir

Massa Alir Udara (mg/s)	HC (ppm)
1251.846	74.67
1537.956	61
1779.157	75.3
1991.66	96.3
2183.778	107.33

Tabel 4.2 Data Beban yang Diperoleh pada Tiap Variasi Massa Alir dan Putaran (RPM)

Massa Alir Udara (mg/s)	Beban Pengereman (kg)					
	5250	4813	4375	3938	3500	3063
2183.778	3	8	11.5	13	16	17
2183.778	3	8.5	12	14	15.5	16.5
2183.778	3	8	12.5	14	16	17
1991.66	4	9.5	12.5	16.5	17.5	18.5
1991.66	3	9.5	13	17	17.5	18.5
1991.66	3.5	9	13.5	16	17.5	18.5
1779.157	4.5	10.5	14.5	17.5	19	20.5
1779.157	4	11	15.5	18	18	20.5
1779.157	4.25	11	15.5	17.5	19	20
1537.956	5	11.5	16	18.5	20.5	21



Massa Alir Udara (mg/s)	Beban Pengereman (kg)					
	5250	4813	4375	3938	3500	3063
1537.956	5.25	12	16	18.5	20.5	21
1251.846	4	7.5	12	15	16	17
1251.846	4	7	13	15.5	17	18
1251.846	3.5	7.5	12	15	16.5	17

#### 4.1.2 Pengolahan Data

Dari data-data yang telah diperoleh dapat dilakukan pengolahan data. Yaitu yang pertama adalah mengkonversikan debit bahan bakar dalam liter/menit menjadi massa alir bahan bakar dalam mg/detik dengan menggunakan persamaan 2-3, yang kedua adalah menghitung nilai debit udara masuk dari beda tekanan pada *orifice* yang terbaca oleh manometer dalam satuan mmH<sub>2</sub>O dan kemudian dikonversikan ke massa alir dalam satuan mg/detik. Dan yang ketiga adalah melakukan perhitungan torsi dan daya dari data berupa putaran dan beban yang didapat saat pengujian. Berikut adalah contoh perhitungan:

- Debit bahan bakar 6 liter/menit

$$6 \text{ liter/menit} = 6 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}} = 9.99 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{m} = Q \cdot \rho_{\text{Metana}}$$

$$= 9.99 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 0.6604 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 10^6 [\text{mg}]$$

$$= 66.04 [\text{mg}/\text{s}]$$

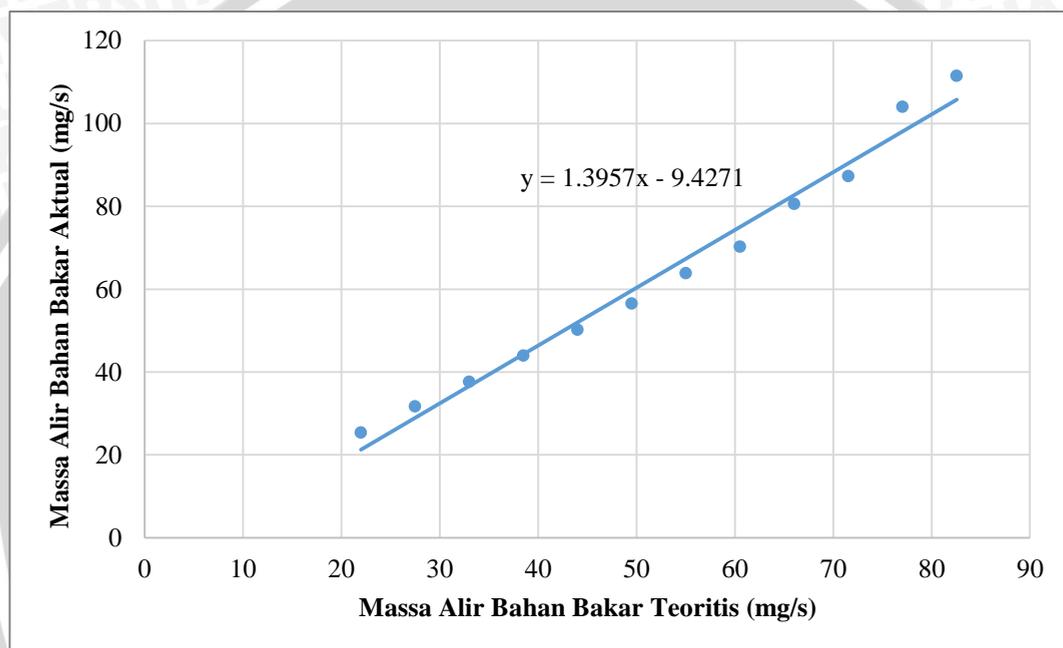
Data debit bahan bakar pada *flowmeter* yang telah diubah menjadi massa alir dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4.3 Data debit bahan bakar pada *flowmeter*, massa alir teoritis, dan massa alir aktual

Debit bahan bakar pada <i>flowmeter</i> (l/s)	massa alir teoritis (mg/s)	massa alir aktual (mg/s)
2	22.01	25.32
2.5	27.52	31.64
3	33.02	37.64
3.5	38.52	43.92
4	44.03	50.19
4.5	49.53	56.46
5	55.03	63.84
5.5	60.54	70.22

Debit bahan bakar pada <i>flowmeter</i> (l/s)	massa alir teoritis (mg/s)	massa alir aktual (mg/s)
6	66.04	80.57
6.5	71.54	87.28
7	77.05	104.01
7.5	82.55	111.44

- Hubungan antara massa alir bahan bakar teoritis terhadap massa alir bahan bakar aktual



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara massa alir bahan bakar aktual terhadap massa alir bahan bakar teoritis

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara massa alir bahan bakar aktual terhadap massa alir bahan bakar teoritis. Dari hasil kalibrasi flowmeter didapatkan persamaan :

$$y \text{ bahan bakar aktual} = 1,3957 (\text{nilai bahan bakar teoritis}) - 9,4271$$

Dalam penelitian ini massa alir bahan bakar teoritis didapatkan dari angka debit yang terbaca pada *flowmeter* yang langsung dikonversi menjadi massa alir, sedangkan untuk massa alir bahan bakar aktual didapatkan dari angka debit yang terbaca pada *flowmeter* yang telah dikoreksi dengan menggunakan gelas ukur dalam rentan waktu tertentu.

- Beda tekanan 1 mmH<sub>2</sub>O

$$1\text{mmH}_2\text{O Mass} = 996.516 \text{ kg/m}^3 \times 1 \text{ m}^2 \times 0.001 \text{ m} = 0.996516 \text{ kg}$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O Force} = 0.997 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 9.781\text{N}$$

$$1 \text{ mmH}_2\text{O Pressure} = 9.781 \text{ N} / 1 \text{ m}^2 = 9.781 \text{ Pa}$$

- Debit udara

$$\dot{V} = v_2 \cdot A_2$$

$$= \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(1 - \beta^4)}} \times \pi(d^2/4)$$

$$= \sqrt{\frac{2(9.781)}{1.176(1 - 0.273^4)}} \times \pi(0.006^2/4)$$

$$= \sqrt{\frac{19.562}{1.169}} \times \pi(0.000036/4)$$

$$= 4.091 \text{ m/s} \times 0.00002827 \text{ m}^2$$

$$= 0.000116 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Massa alir udara

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho$$

$$= 0.000116 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.176 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0.000135828 \text{ kg/s}$$

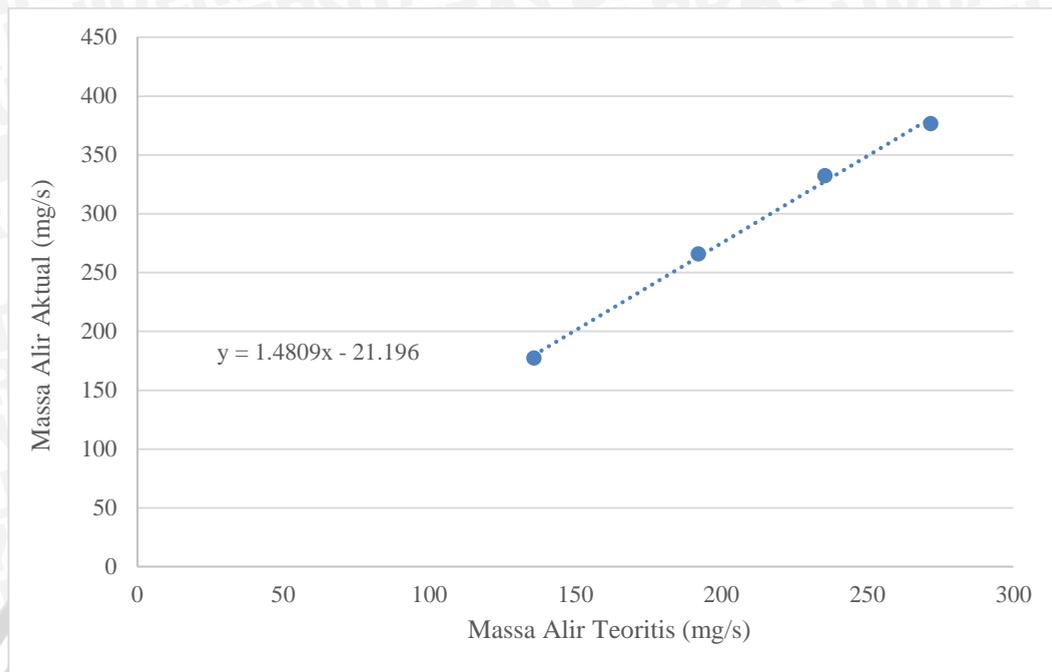
$$= 135.828 \text{ mg/s}$$

Data debit udara melalui *orifice* yang telah diukur perbedaan tekananya menggunakan manometer dan diubah menjadi massa alir dapat dilihat pada tabel 4.4 berikut ini :

Tabel 4.4 Data beda tekanan pada manometer, massa alir udara teoritis, massa alir aktual

Beda tekanan pada manometer (mmH <sub>2</sub> O)	massa alir teoritis (mg/s)	massa alir aktual (mg/s)
1	135,828	177,184
2	192,08	265,776
3	235,396	332,22
4	271,656	376,516

- Hubungan antara massa alir udara teoritis terhadap massa alir udara aktual



Gambar 4.2 Grafik hubungan antara massa alir udara aktual terhadap massa alir udara teoritis

Grafik diatas menunjukkan hubungan antara massa alir udara aktual terhadap massa alir udara teoritis. Dari hasil kalibrasi manometer didapatkan persamaan :

$$y \text{ udara aktual} = 1.480 (\text{nilai udara teoritis}) - 21.19$$

Dalam pengukuran massa alir udara teoritis didapatkan dari perhitungan melalui penurunan persamaan Bernoulli dan kontinuitas, sedangkan untuk massa alir udara aktual didapatkan dari perbedaan tekanan yang terbaca pada manometer yang telah diuji diukur dengan *flowmeter* udara yang telah dikoreksi.

- Performa Motor Bakar

Data:

Putaran (rpm) : 5250

Beban (kg) : 3 kg

Panjang lengan dinamometer : 0,2 m

Massa alir udara : 2183.778 mg/s

Massa alir bahan bakar : 80.57 mg/s

Volume alir bahan bakar : 122 ml/s

Nilai Kalor CNG : 50 MJ = 11950 kcal/kg

Densitas CNG :  $0.6604 \text{ kg/m}^3 = 0.0006604 \text{ gr/ml}$

Perhitungan Data:

Torsi (T)

$$T = F \cdot L$$

$$T = 3 \times 0,2$$

$$T = 0,6 \text{ Ps}$$

Daya efektif (Ne)

$$Ne = \frac{T \cdot n}{716,2}$$

$$Ne = \frac{0,6 \cdot 442}{716,2}$$

$$Ne = 0,37 \text{ Ps}$$

Fuel Consumption (Fc)

$$FC = \dot{V} \cdot \rho \cdot \frac{3600}{1000}$$

$$FC = 122 \cdot 0,0006604 \cdot \frac{3600}{1000}$$

$$FC = 0,29 \text{ kg/jam}$$

Specific Fuel Consumption (SFCe)

$$SFCe = \frac{FC}{Ne}$$

$$SFCe = \frac{0,29}{0,37}$$

$$SFCe = 0,783 \text{ kg/Ps} \cdot \text{Jam}$$

Efisiensi Termal Efektif ( $\eta_e$ )

$$\eta_e = \frac{632 \cdot Ne}{FC \cdot Q_1} = \frac{632}{\frac{FC}{Ne} \cdot Q_1} = \frac{632}{SFCe \cdot Q_1}$$

$$\eta_e = \frac{632}{0,783 \cdot 11950,286}$$

$$\eta_e = 6,72 \%$$

Air Fuel Ratio

$$AFR = \frac{\text{mudara}}{\text{mbahan bakar}}$$

$$AFR = \frac{2183,778}{80,57}$$

$$AFR = 27,10$$

#### 4.2 Analisis Varian Dua Arah

Data-data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis varian dua arah dengan tujuan untuk mengetahui ada tidaknya perbedaan atau pengaruh putaran dan penambahan *air fuel ratio* serta interaksi antara keduanya terhadap performa motor *otto* 4 tak dengan sistem injeksi berbahan bakar CNG.

#### 4.2.1 Analisis Varian untuk Torsi

Data yang diperoleh dari pengujian adalah besarnya gaya pada *dynamometer*. Dari hasil perkalian gaya dengan panjang lengan didapatkan torsi. Berikut ditampilkan data torsi dari hasil perhitungan :

Tabel 4.5 Torsi yang dihasilkan (kg·m)

No	Putaran	Massa Alir Udara (mg/s)				
		1251.846	1537.956	1779.157	1991.66	2183.778
1	5250	0.8	1	0.9	0.8	0.6
2	5250	0.8	1.1	0.8	0.6	0.6
3	5250	0.7	1.05	0.85	0.7	0.6
4	4813	1.5	2.3	2.1	1.9	1.6
5	4813	1.4	2.3	2.2	1.9	1.7
6	4813	1.5	2.4	2.2	1.8	1.6
7	4375	2.4	3.2	2.9	2.5	2.3
8	4375	2.6	3.1	3.1	2.6	2.4
9	4375	2.4	3.2	3.1	2.7	2.5
10	3938	3	3.7	3.5	3.3	2.6
11	3938	3.1	3.8	3.6	3.4	2.8
12	3938	3	3.7	3.5	3.2	2.8
13	3500	3.2	4.1	3.8	3.5	3.2
14	3500	3.4	4.2	3.6	3.5	3.1
15	3500	3.3	4.1	3.8	3.5	3.2
16	3063	3.4	4.2	4.1	3.7	3.4
17	3063	3.6	4.4	4.1	3.7	3.3
18	3063	3.4	4.2	4	3.7	3.4

Tabel 4.6 Jumlah Total Data Torsi yang dihasilkan (kg·m)

Variabel	Massa Alir Udara (mg/s)					$\Sigma$	
	1251.846	1537.956	1779.157	1991.66	2183.778		
Putaran	5250	2.3	3.15	2.55	2.1	1.8	11.9
	4813	4.4	7	6.5	5.6	4.9	28.4
	4375	7.4	9.5	9.1	7.8	7.2	41
	3938	9.1	11.2	10.6	9.9	8.2	49
	3500	9.9	12.4	11.2	10.5	9.5	53.5
	3063	10.4	12.8	12.2	11.1	10.1	56.6
$\Sigma$	43.5	56.05	52.15	47	41.7	240.4	

Berdasarkan data di atas diperoleh perhitungan statistik sebagai berikut:

1. Jumlah seluruh perlakuan:

$$\sum_{k=1}^t Y_{ijk} = (0.8 + 1 + 0.9 + \dots + 4 + 3.7 + 3.4)$$

$$= 240.4$$

2. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan:

$$\sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 = (0.8^2 + 1^2 + 0.9^2 + \dots + 4^2 + 3.7^2 + 3.4^2)$$

$$= 748.855$$

3. Faktor Koreksi (FK):

$$\frac{[\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t \cdot Y_{ijk}]^2}{r \cdot c \cdot t} = \frac{(240.4)^2}{6.5.3}$$

$$= \frac{57792.16}{90}$$

$$= 642.1351$$

4. Jumlah Kuadrat Total (JKT):

$$\sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t \cdot Y_{ijk}^2 - FK = 748.855 - 642.1351$$

$$= 106.7199$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP):

$$\frac{\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot Y_{ij}}{t} - FK = \frac{(2.3^2) + (3.15^2) + \dots + (11.1^2) + (10.1^2)}{3} - 642.1351$$

$$= \frac{2245.475}{3} - 642.1351$$

$$= 106.3566$$

6. Jumlah Kuadrat Pengaruh A (JKA):

$$\frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{c \cdot t} - FK = \frac{(43.5^2) + (56.05^2) + (52.15^2) + (47^2) + (41.7^2)}{6 \cdot 3} - 642.1351$$

$$= \frac{11701.37}{18} - 642.1351$$

$$= 7.940722$$

7. Jumlah Kuadrat Pengaruh B (JKB):

$$\frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{r \cdot t} - FK = \frac{(11.9^2) + (28.4^2) + (41^2) + (49^2) + (53.5^2) + (56.6)}{5 \cdot 3} - 642.1351$$

$$= \frac{11095.98}{15} - 642.1351$$

$$= 97.56989$$

8. Jumlah Kuadrat Pengaruh interaksi A & B (JKAB):

$$\begin{aligned}
 JKAB &= JKP - JKA - JKB \\
 &= 106.3566 - 7.940722 - 97.59689 \\
 &= 0.818944
 \end{aligned}$$

9. Jumlah Kuadrat Galat (JKG):

$$\begin{aligned}
 JKG &= JKT - JKA - JKB - JKAB \\
 &= 106.7199 - 7.940722 - 97.59689 - 0.818944 \\
 &= 0.363333
 \end{aligned}$$

10. Nilai varian dari masing-masing perlakuan:

$$\begin{aligned}
 S_A^2 &= \frac{JKA}{r-1} \\
 &= \frac{7.940722}{5-1} \\
 &= 1.985181
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_B^2 &= \frac{JKB}{c-1} \\
 &= \frac{97.59689}{6-1} \\
 &= 19.51938
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{AB}^2 &= \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \\
 &= \frac{0.8189449}{(5-1)(6-1)} \\
 &= 0.040947
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S^2 &= \frac{JKG}{r \cdot c(t-1)} \\
 &= \frac{0.363333}{5 \cdot 6(3-1)} \\
 &= 0.006056
 \end{aligned}$$

11. Nilai F hitung dari masing-masing sumber keseragaman:

a. Untuk faktor A (putaran):

$$\begin{aligned}
 F_{A \text{ hitung}} &= \frac{S_A^2}{S^2} \\
 &= \frac{1.985181}{0.006056} \\
 &= 327.828
 \end{aligned}$$

b. Untuk faktor B (*air fuel ratio*):

$$\begin{aligned}
 F_{B \text{ hitung}} &= \frac{S_B^2}{S^2} \\
 &= \frac{19.51938}{0.006056} \\
 &= 3223.383
 \end{aligned}$$

c. Untuk interaksi A & B:

$$\begin{aligned}
 F_{AB \text{ hitung}} &= \frac{S_{AB}^2}{S^2} \\
 &= \frac{0.040947}{0.006056} \\
 &= 6.761927
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan data di atas, dapat disusun tabel ANOVA sebagai berikut:

Tabel 4.7 ANOVA untuk torsi

Sumber keragaman	db	JK	Varian (KT)	F hitung	F tabel
Faktor A	5	7.94072	1.985181	327.828	2,368
Faktor B	4	97.59689	19.51938	3223.383	2,525
Interaksi antara A dan B	20	0.81894	0.040947	6.761927	1,748
Galat	60	0.36333	0.006056		
Total	90	106.71989			

Kesimpulan yang diperoleh:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ , maka  $H_{01}$  ditolak dan  $H_{11}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ , maka  $H_{02}$  ditolak dan  $H_{12}$  diterima, ini menyatakan bahwa variasi *air fuel ratio* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.
- $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ , maka  $H_{03}$  ditolak dan  $H_{13}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin dan variasi *air fuel ratio* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.

Dari kesimpulan yang diperoleh di atas terlihat bahwa masing-masing nilai  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ , artinya bahwa putaran, variasi *air fuel ratio* dan interaksi antara putaran dan variasi *air fuel ratio* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap torsi yang dihasilkan dengan keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ )

#### 4.2.2 Analisis Varian untuk Daya Efektif

Nilai daya efektif didapatkan dari nilai daya dengan persamaan 2-8, dengan perhitungan statistik yang sama dengan torsi didapatkan tabel ANOVA untuk daya efektif sebagai berikut:

Tabel 4.8 ANOVA untuk daya efektif

Sumber Keragaman	db	JK	Varian (KT)	F Hitung	F Tabel
Faktor A	5	1,77003	0,442507	315,39	2,368
Faktor B	4	11,3675	2,273507	1620,4	2,525
Interaksi antara A dan B	20	0,17259	0,00863	6,1507	1,748
Galat	60	0,08418	0,001403		
Total	89	13,3943			

Kesimpulan yang diperoleh:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ , maka  $H_{01}$  ditolak dan  $H_{11}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ , maka  $H_{02}$  ditolak dan  $H_{12}$  diterima, ini menyatakan bahwa variasi *air fuel ratio* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.
- $F_{AB} \text{ hitung} > F_{AB} \text{ tabel}$ , maka  $H_{03}$  ditolak dan  $H_{13}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin dan variasi *air fuel ratio* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.

Dari kesimpulan yang diperoleh di atas terlihat bahwa masing-masing nilai  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ , artinya bahwa putaran, variasi *air fuel ratio* dan interaksi antara putaran dan variasi *air fuel ratio* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap daya yang dihasilkan dengan keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ ).

#### 4.2.3 Analisis Varian untuk *Specific Fuel Consumption* Efektif

Nilai *specific fuel consumption* efektif didapatkan dari nilai daya dan konsumsi bahan bakar sesuai dengan persamaan 2-8 dan 2-10 dengan perhitungan statistik yang sama dengan torsi didapatkan tabel ANOVA untuk *specific fuel consumption efektif* sebagai berikut:

Tabel 4.9 ANOVA untuk *specific fuel consumption* efektif

Sumber Keragaman	db	JK	Varian (KT)	F Hitung	F Tabel
Faktor A	5	0,13206	0,033015	67,430	2,36827
Faktor B	4	2,04063	0,40813	833,548	2,525215
Interaksi antara A dan B	20	0,12074	0,006037	12,330278	1,747984
Galat	60	0,02938	0,000490		
Total	89	2,32281			

Kesimpulan yang diperoleh:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ , maka  $H_{01}$  ditolak dan  $H_{11}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.
- $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ , maka  $H_{02}$  ditolak dan  $H_{12}$  diterima, ini menyatakan bahwa variasi *air fuel ratio* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.

- c.  $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ , maka  $H_{03}$  ditolak dan  $H_{13}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin dan variasi air fuel ratio berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.

Dari kesimpulan yang diperoleh diatas terlihat bahwa masing-masing nilai  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ , artinya bahwa putaran, variasi *air fuel ratio* dan interaksi antara putaran dan variasi *air fuel ratio* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap *specific fuel consumption* efektif yang dihasilkan dengan keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ ).

#### 4.2.4 Analisis Varian untuk Efisiensi Termal Efektif

Nilai efisiensi termal efektif didapatkan dari nilai daya dan konsumsi bahan bakar sesuai dengan persamaan 2-11, dengan perhitungan statistik yang sama dengan torsi didapatkan tabel ANOVA untuk daya efektif sebagai berikut:

Tabel 4.10 ANOVA untuk efisiensi termal efektif

Sumber Keragaman	db	JK	Varian (KT)	F Hitung	F Tabel
Faktor A	5	0,05887	0,014716	315,393	2,36827
Faktor B	4	0,37805	0,07561	1620,419	2,525215
Interaksi antara A dan B	20	0,00574	0,000287	6,150680	1,747984
Galat	60	0,00280	0,000047		
Total	89	0,44545			

Kesimpulan yang diperoleh:

- a.  $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$ , maka  $H_{01}$  ditolak dan  $H_{11}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.
- b.  $F_B \text{ hitung} > F_B \text{ tabel}$ , maka  $H_{02}$  ditolak dan  $H_{12}$  diterima, ini menyatakan bahwa variasi *air fuel ratio* berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.
- c.  $F_{AB \text{ hitung}} > F_{AB \text{ tabel}}$ , maka  $H_{03}$  ditolak dan  $H_{13}$  diterima, ini menyatakan bahwa putaran mesin dan variasi air fuel ratio berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.

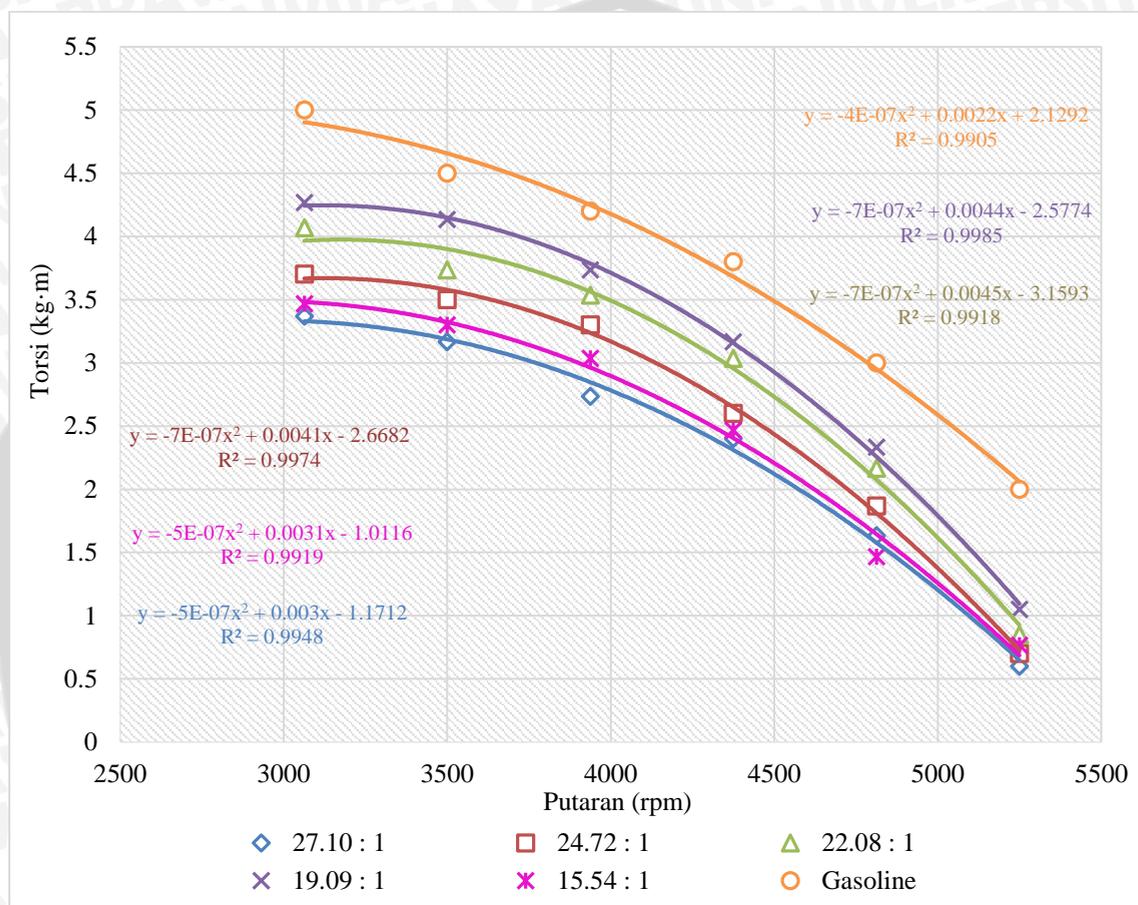
Dari kesimpulan yang diperoleh diatas terlihat bahwa masing-masing nilai  $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$ , artinya bahwa putaran, variasi *air fuel ratio* dan interaksi antara putaran dan variasi *air fuel ratio* mempunyai pengaruh yang nyata terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan dengan keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ ).

#### 4.3 Pembahasan Grafik

Dari hasil perhitungannya data pengujian pada putaran 5250-3063 dengan variasi penurunan 437 putaran tiap pengambilan data didapatkan parameter-parameter yang berhubungan dengan variasi putaran tersebut. Selanjutnya data hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik sehingga mempermudah proses analisa data

hasil perhitungan. Analisis grafik hubungan antara putaran dengan performa motor *Otto* 4 langkah dengan sistem injeksi berbahan bakar CNG pada penelitian kali ini adalah torsi, daya efektif, *specific fuel consumption effective*, dan efisiensi termal efektif.

#### 4.3.1 Pembahasan Grafik Hubungan antara Torsi terhadap Putaran pada berbagai variasi AFR



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara torsi terhadap putaran pada berbagai variasi AFR

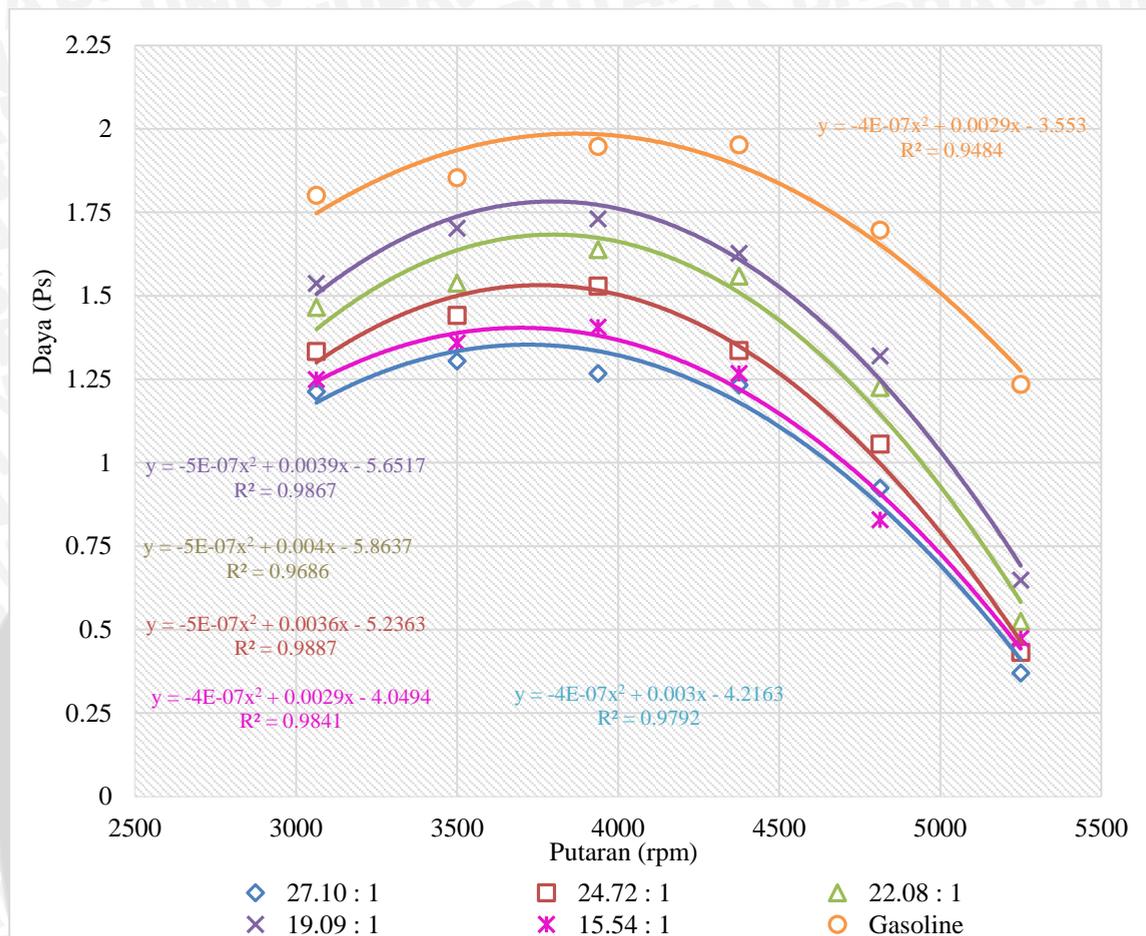
menggerakkan piston juga semakin kecil yang menyebabkan torsi yang dihasilkan juga kecil.

Torsi tertinggi pada tiap variasi AFR memiliki nilai yang berbeda – beda namun pada nilai putaran yang sama yaitu 3063. Pada AFR 15.54 : 1 nilai torsi tertinggi adalah 3.47 kg·m. Pada AFR 19.09 : 1 nilai torsi tertinggi adalah 4.27 kg·m. Pada AFR 22.08 : 1 nilai torsi tertinggi adalah 4.07 kg·m. Pada AFR 24.72 : 1 nilai torsi tertinggi adalah 3.7 kg·m, dan pada AFR 27.10 : 1 nilai torsi tertinggi adalah 3.37 kg·m.

Dari semua variasi AFR nilai torsi tertinggi didapatkan pada AFR 19.09 : 1 yaitu dengan nilai 4.27kg·m. Hal ini disebabkan karena ketika pada AFR 19.09 : 1 pembakaran yang terjadi diruang bakar lebih mendekati sempurna jika dibandingkan dengan variasi AFR yang lain. Hal ini dapat dibuktikan dari data jumlah hidrokarbon pada gas buang yaitu ketika AFR 19.09 : 1 nilai hidrokarbonnya sebesar 61 ppm. Lebih kecil jika dibandingkan dengan variasi massa alir yang lain seperti ditunjukkan pada tabel 4.1. Dari nilai hidrokarbon dapat kita lihat bahwa semakin sedikit nilai hidrokarbon pada gas buang maka pembakaran yang terjadi diruang bakar semakin mendekati stokiometri atau semakin mendekati sempurna sehingga energi hasil pembakaran yang dihasilkan juga semakin besar.

Pada gambar 4.3 bisa kita lihat bahwa nilai torsi yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar bensin pada massa alir udara yang sama 1537. 956 mg/s masih berada diatas torsi yang dihasilkan oleh bahan bakar CNG. Hal ini dikarenakan penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik, efisiensi volumetrik sendiri adalah berbandingan antara udara yang masuk kedalam ruang bakar dengan volume dari ruang bakar itu sendiri. Bahan bakar gas yang memiliki massa jenis yang lebih rendah dari pada udara akan lebih mudah tersedot masuk menuju ruang bakar sehingga udara yang seharusnya masuk ke ruang bakar tergantikan oleh gas. Hal tersebut yang menyebabkan jumlah udara yang masuk ruang bakar berkurang yang mengakibatkan efisiensi volumetrik turun.

### 4.3.2 Pembahasan Grafik Hubungan antara Daya terhadap Putaran pada berbagai variasi AFR



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara daya terhadap putaran pada berbagai variasi AFR

Pada gambar 4.4 menunjukkan bagaimana hubungan antara nilai daya terhadap nilai putaran, dari grafik dapat dilihat nilai putaran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai daya. Pada awalnya ketika nilai putaran naik maka nilai daya juga meningkat tetapi pada nilai putaran tertentu apabila nilai putaran itu naik nilai daya malah cenderung turun. Hal ini disebabkan karena nilai dari daya sendiri di pengaruhi oleh nilai torsi dan putaran, sesuai dengan persamaan 2-8.

Pada pembahasan nilai putaran dengan torsi di ungkapkan bahwa pada putaran yang tinggi mengakibatkan nilai torsi turun yang disebabkan oleh kerugian mekanis yang semakin meningkat dan ketika putaran tinggi, gerakan buka tutup katup isap pada langkah isap juga semakin cepat sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar semakin sedikit. Penurunan torsi ini lah yang menyebabkan nilai daya juga menurun. Tetapi mulai turunnya nilai torsi dan daya berada pada nilai putaran yang berbeda. Nilai torsi mulai turun pada nilai putaran yang lebih rendah dibandingkan nilai

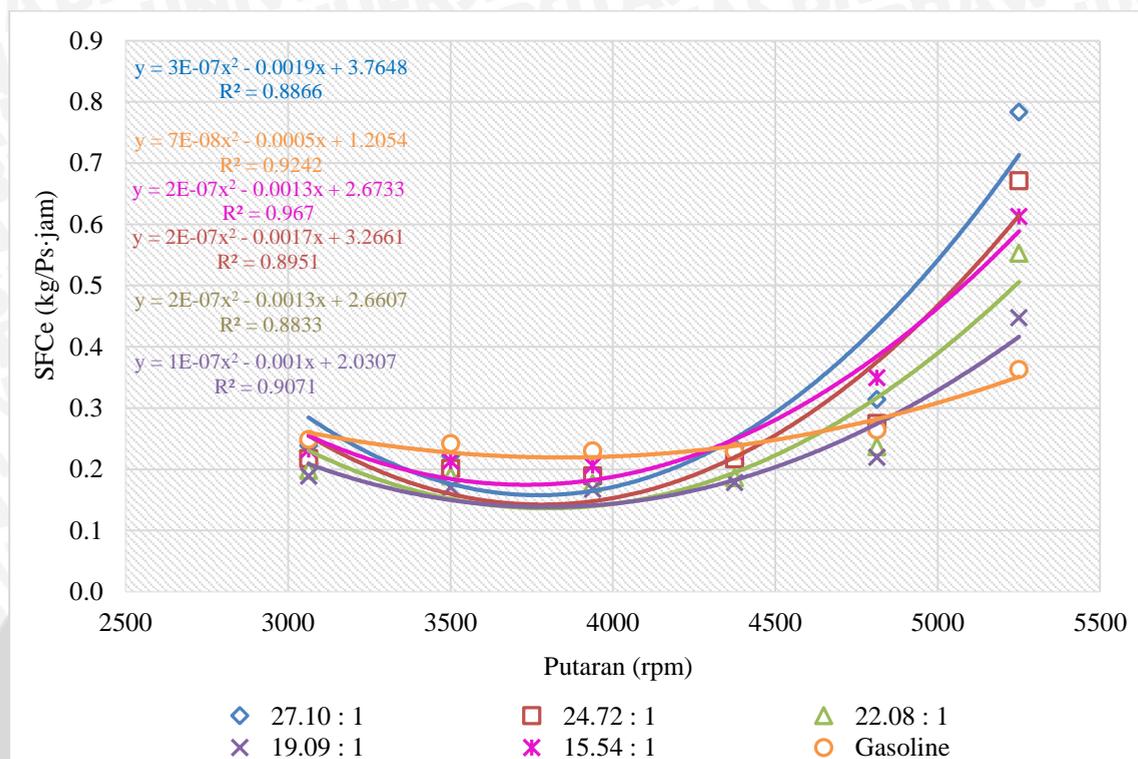
putaran ketika daya mulai turun. Hal ini dikarenakan nilai daya dipengaruhi oleh hasil perkalian nilai putaran dengan nilai torsi. Meskipun torsi cenderung turun, daya terus meningkat karena putaran terus meningkat. Daya terus meningkat selama presentase kenaikan putaran melebihi presentase kehilangan torsi. Ketika keuntungan dan kerugian berada pada titik yang sama, maka akan tercapai puncak daya. Selanjutnya setiap penambahan putaran hanya akan menghasilkan penurunan daya.

Daya efektif tertinggi pada tiap variasi massa alir memiliki nilai yang berbeda – beda namun pada nilai putaran yang sama yaitu 3938 kecuali pada AFR 27.10 : 1 yang berada pada putaran 3500. Pada AFR 15.54 : 1 nilai daya tertinggi adalah 1.406 Ps. Pada AFR 19.09 : 1 nilai daya tertinggi adalah 1.731 Ps. Pada AFR 22.08 : 1 nilai daya tertinggi adalah 1.638 Ps. Pada AFR 24.72 : 1 nilai daya tertinggi adalah 1.530 Ps, dan pada AFR 27.10 : 1 nilai daya tertinggi adalah 1.304 Ps.

Dari semua variasi AFR daya efektif tertinggi didapatkan pada AFR 19.09 : 1. Hal ini disebabkan karena ketika pada AFR 19.09 : 1 pembakaran yang terjadi diruang bakar lebih mendekati sempurna jika dibandingkan dengan variasi massa alir yang lain. Hal ini dapat dibuktikan dari data jumlah hidrokarbon pada gas buang yaitu ketika pada AFR 19.09 : 1 nilai hidrokarbonnya sebesar 61 ppm. Lebih kecil jika dibandingkan dengan variasi massa alir yang lain seperti ditunjukkan pada tabel 4.1. Dari nilai hidrokarbon dapat kita lihat bahwa semakin sedikit nilai hidrokarbon pada gas buang maka pembakaran yang terjadi diruang bakar semakin mendekati stokiometri atau semakin mendekati sempurna sehingga energi hasil pembakaran yang dihasilkan juga semakin besar.

Pada gambar 4.4 bisa kita lihat bahwa nilai daya efektif yang dihasilkan dengan menggunakan bahan bakar bensin pada massa alir yang sama 1537.956 mg/s masih berada diatas nilai daya yang dihasilkan oleh bahan bakar CNG. Hal ini dikarenakan penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin yang dirancang untuk menggunakan bahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik, efisiensi volumetrik sendiri adalah berbandingan antara udara yang masuk kedalam ruang bakar dengan volume dari ruang bakar itu sendiri. Bahan bakar gas yang memiliki massa jenis yang lebih rendah dari pada udara akan lebih mudah terhisap menuju ruang bakar sehingga udara yang seharusnya masuk ke ruang bakar tergantikan oleh gas sehingga efisiensi volumetrik turun.

### 4.3.3 Pembahasan Grafik Hubungan antara Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif terhadap Putaran pada berbagai variasi AFR



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara konsumsi bahan bakar spesifik efektif terhadap putaran pada berbagai variasi AFR

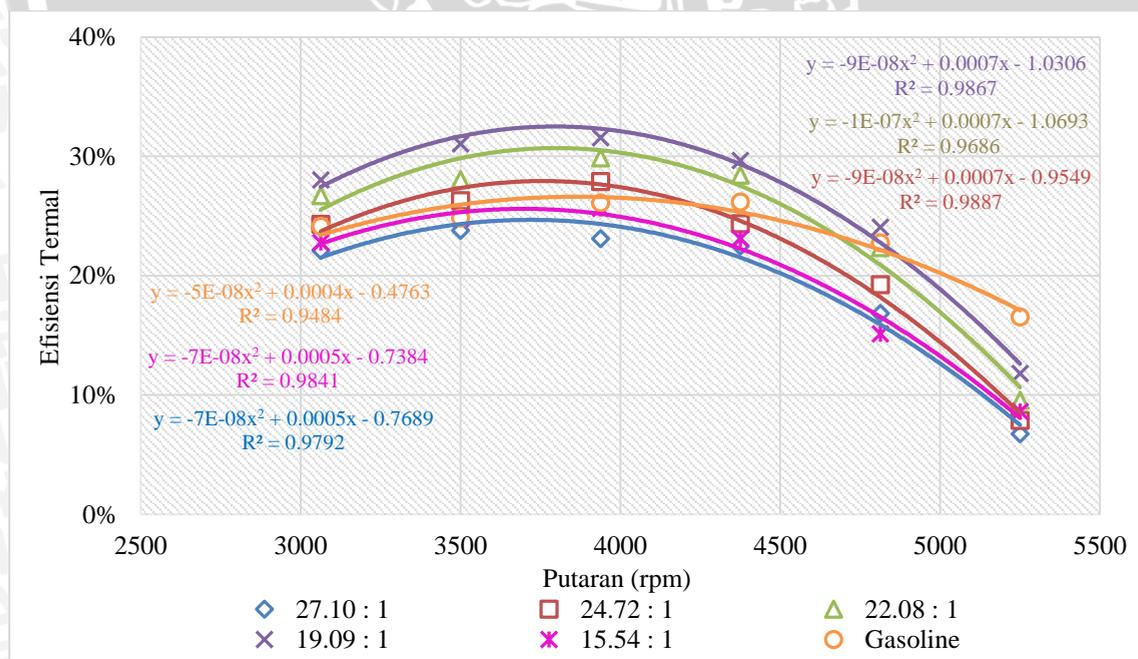
Pada gambar 4.5 bisa kita lihat bahwa seiring bertambahnya putaran maka nilai SFCe akan semakin turun tetapi pada rpm nilai tertentu SFCe cenderung naik. Nilai SFCe yang tinggi pada saat awal putaran disebabkan karena adanya kerugian panas yang hilang menuju ke dinding silinder dan efisiensi pembakaran yang buruk yang menghasilkan besarnya konsumsi bahan bakar terhadap daya efektif yang dihasilkan. Sedangkan nilai SFCe yang tinggi pada saat putaran tinggi disebabkan oleh semakin banyaknya kerugian mekanis yang terjadi akibat dari semakin cepatnya putaran yang mengakibatkan semakin kecilnya daya yang dihasilkan meskipun dengan konsumsi bahan bakar yang sama yang mengakibatkan meningkatnya nilai SFCe.

Pada gambar 4.5 dapat dilihat pada AFR 15.54 : 1, 19.09 : 1, 22.08 : 1, 24.72 : 1, dan pada AFR 27.10 : 1, nilai SFCe minimumnya secara berurutan adalah 0.206, 0.168, 0.177, 0.19, dan 0.22 kg/Ps·Jam. Nilai SFCe paling rendah didapat ketika variasi AFR 19.09 : 1 sebesar 0.168 kg/Ps·Jam, hal ini dikarenakan pada AFR ini nilai daya efektif yang dihasilkan dibanding massa alir lainnya adalah yang paling besar. Sesuai persamaan 2-10 dengan nilai FC yang sama antar tiap variasi AFR maka faktor yang

paling berpengaruh adalah nilai daya efektif yang dihasilkan pada berbagai AFR, maka ketika nilai daya efektif yang dihasilkan pada AFR itu semakin besar maka akan didapatkan nilai SFCE yang semakin kecil juga.

Sedangkan apabila dibandingkan antara nilai SFCE dengan menggunakan bahan bakar bensin dan menggunakan bahan bakar CNG pada massa alir udara yang sama sebesar 1537.956 mg/s, pada putaran awal nilai SFCE CNG masih lebih rendah. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai FC saat menggunakan bahan bakar bensin sebesar 0.448 kg/jam sedangkan nilai FC untuk penggunaan bahan bakar CNG adalah sebesar 0.29 kg/jam. Untuk nilai FC sendiri dipengaruhi oleh nilai densitas, yaitu densitas bensin yang memiliki nilai lebih besar dibandingkan CNG menyebabkan ketika 1 ml bensin dengan 1 ml CNG memiliki nilai FC yang berbeda. Nilai kalor dari CNG juga lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kalor bensin, dengan demikian sejumlah kalor spesifik dapat dilepaskan dengan jumlah bahan bakar yang lebih sedikit. Namun saat putaran yang lebih tinggi SFCE menggunakan bahan bakar bensin lebih baik dibandingkan menggunakan bahan bakar CNG, hal ini dikarenakan daya efektif yang dihasilkan menggunakan bahan bakar bensin lebih besar.

#### 4.3.4 Pembahasan Grafik Hubungan antara Efisiensi Termal Efektif terhadap Putaran pada berbagai variasi AFR



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada berbagai variasi AFR

Pada gambar 4.6 dapat kita lihat hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada tiap variasi massa alir udara adalah ketika pada putaran yang rendah efisiensi termal efektif cenderung naik tetapi semakin bertambahnya putaran nilai dari efisiensi termal ini cenderung turun. Hal ini dikarenakan nilai efisiensi termal efektif sendiri dipengaruhi oleh nilai daya efektif, konsumsi bahan bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Sesuai pembahasan pada gambar 4.4 bahwa ketika rpm rendah nilai daya efektif awalnya naik sampai pada nilai tertentu kemudian nilai daya efektif kemudian turun. Bisa kita lihat pada persamaan 2-11.

Ketika nilai konsumsi bahan bakar dan nilai kalor bahan bakar tetap maka nilai daya efektif sangat berpengaruh pada nilai efisiensi termal efektif. Ketika semakin besar daya efektif maka nilai efisiensi termal efektif juga meningkat. Oleh karena itu pada nilai rpm rendah yang memiliki daya efektif cenderung naik nilai efisiensi termal efektif juga naik dan pada nilai rpm tinggi yang daya efektifnya cenderung turun nilai efisiensi termal efektifnya juga cenderung turun. Persamaan di atas juga memperlihatkan bahwa nilai efisiensi termal efektif berbanding terbalik dengan nilai SFCE dan besar atau kecilnya efisiensi termal tergantung pada nilai SFCE.

Pada variasi AFR 15.54 : 1, 19.09 : 1, 22.08 : 1, 24.72 : 1, dan AFR 27.10 : 1, nilai efisiensi termal efektif adalah 25.64%, 31.56%, 29.87%, 27.9%, dan 23.78%. Efisiensi termal tertinggi didapatkan ketika variasi AFR 19.09 : 1 yaitu sebesar 31.56%. Hal ini dikarenakan ketika menggunakan AFR 19.09 : 1 daya yang dihasilkan lebih besar jika dibandingkan variasi AFR yang lainnya pada konsumsi bahan bakar yang sama.

Pada gambar 4.6 dapat kita lihat bahwa nilai efisiensi termal efektif dengan menggunakan bahan bakar CNG pada awalnya masih lebih besar dibandingkan dengan efisiensi termal efektif menggunakan bahan bakar bensin. Hal ini dikarenakan meskipun nilai daya efektif yang dihasilkan oleh bahan bakar bensin lebih besar tetapi nilai konsumsi bahan bakar bensin pada massa alir udara 1537.956 mg/s masih lebih besar yaitu sebesar 0.448 kg/jam dibandingkan konsumsi bahan bakar CNG pada massa alir yang sama yaitu sebesar 0.29 kg/jam, karena selisih konsumsi bahan bakar lebih besar dari pada selisih daya efektif dan nilai kalor menyebabkan nilai efisiensi termal efektif bahan bakar CNG masih lebih besar dari pada bahan bakar bensin. Namun saat putaran yang lebih tinggi efisiensi termal efektif menggunakan bahan bakar bensin lebih baik dibandingkan menggunakan bahan bakar CNG, hal ini dikarenakan konsistensi dari daya efektif yang dihasilkan menggunakan bahan bakar bensin lebih baik.