

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Data

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Pengambilan data performa dilakukan dengan variasi massa alir bahan bakar 107.59 mg/s, 113.92 mg/s, 120.25 mg/s dan massa alir udara sebesar 1672,07 mg/s, pengambilan data dilakukan pada tiap nilai putaran (RPM) 3063 sampai 7000 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

ρ CNG : 0.6604 Kg/m³

ρ Udara : 1.1760 Kg/m³

massa alir bahan bakar bensin : 128,38 mg/s

Tabel 4.1 Nilai Karbondioksida pada Gas Buang Tiap Massa Alir

Massa Alir Bahan Bakar	
(mg/s)	CO ₂ (%)
107.59	6.15
113.92	7.04
120,25	6.21

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

n (RPM)	Beban Pengereman (kg)			Bensin (128,38 mg/s)
	120,25 mg/s	113.92 mg/s	107.59 mg/s	
7000	5	12,5	11	13
7000	5	11	9	14,5
7000	5	13	12	16
6563	9,5	17	14	19
6563	9,5	18	12	18,5
6563	12,5	16	12,5	19,5
6125	17	22,5	20	24
6125	17	23	21	22
6125	15	21	18	22,5
5688	17,5	24	22,5	25,5
5688	17,5	25	23	26
5688	18,5	23,5	20	25
5250	20	25,5	23	29
5250	20	25,5	23,5	28
5250	23,5	26	22	28,5
4813	25	30	28	34
4813	27,5	29	27	35
4813	22,5	31	30	33,5
4375	31	32,5	30	40
4375	32,5	33,5	32,5	43
4375	32	34	31	41
3938	34	40	42	47
3938	36	41,5	39	47
3938	35	43	40	48
3500	38	47	40	49
3500	41	49	38,5	48
3500	39	48	39	48,5
3063	37	45	39	46
3063	36	47	37	47,5
3063	36,5	47,5	38	48

4.1.2 Pengolahan Data

Dari data-data yang telah diperoleh dapat dilakukan pengolahan data. Yaitu yang pertama adalah mengkonversikan debit bahan bakar menjadi massa alir bahan bakar dengan menggunakan persamaan 2-1, yang kedua adalah menghitung nilai debit udara masuk dari beda tekanan yang terbaca oleh orifice dan kemudian dikonversikan ke massa alir. Dan yang ketiga adalah melakukan perhitungan torsi, daya, konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe), dan efisiensi termal efektif dari data berupa putaran pada

poros roda belakang, beban, dan massa alir bahan bakar bensin yang didapat saat pengujian. Berikut adalah contoh perhitungan:

- Debit bahan bakar 9 liter/menit

$$9 \text{ liter/menit} = 9 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{\text{liter}} \times \frac{\text{menit}}{60 \text{ s}}$$

$$= 15 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

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

$$= 15 \times 10^{-5} [\text{m}^3/\text{s}] \times 0.6604 [\text{kg}/\text{m}^3] \times 10^6 [\text{mg}]$$

$$= 99.06 [\text{mg}/\text{s}]$$

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)
8.5	93.56	107.59
9	99.06	113.92
9.5	104.56	120.25

- 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 :

$$\dot{m} \text{ bahan bakar aktual} = 1,15 (\dot{m} \text{ bahan bakar teoritis})$$

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.

Untuk mengkonversi beda tekanan pada manometer menjadi debit digunakan persamaan berikut :

$$Q_i = V_{vc} \cdot A_{vc}$$

$$= \frac{A_{vc}}{\sqrt{1 - [D_{vc}/D_1]^4}} \sqrt{2g[\Delta h]}$$

Dimana :

$$D_{vc} = 0,007 \text{ m}$$

$$D_1 = 0,016 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Contoh perhitungan :

- Beda tekanan 50 mmH₂O

$$Q_i = V_{vc} \cdot A_{vc}$$

$$= \frac{\frac{3,14}{4} \times [0,007]^4 \text{ [m}^2]}{\sqrt{1 - [\frac{0,007}{0,016}]^4}} \sqrt{2 \times 9,81 \text{ [m/s}^2] \times [0,05]}$$

$$= 14,2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

Untuk mengkonversi debit menjadi massa alir digunakan persamaan berikut :

$$\dot{m} = Q \times \rho$$

$$= 14,2 \times 10^{-5} \text{ [m}^3/\text{s}] \times 1.176 \text{ [kg/m}^3] \times 10^6 \text{ [mg]}$$

$$= 1672,07 \text{ [mg/s]}$$

Dalam pengukuran massa alir udara teoritis didapatkan dari perhitungan melalui penurunan persamaan Bernoulli dan kontinuitas, sedangkan untuk massa alir udara aktual nantinya akan memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan massa alir teoritis karena pada aktualnya udara tidak dalam keadaan *steady state* dan mengalami gesekan.

Setelah mengkonversi debit bahan bakar dan debit udara teoritis menjadi massa alir maka dapat dihitung AFR pada masing-masing massa alir menggunakan persamaan berikut :

$$AFR = \left(\frac{Massa_{udara}}{Massa_{bahan\ bakar}} \right)$$

Contoh perhitungan :

- AFR pada massa alir bahan bakar 99.06 mg/s dengan massa alir udara 1672,07 mg/s

$$AFR = \left(\frac{Massa_{udara}}{Massa_{bahan\ bakar}} \right)$$

$$AFR = \left(\frac{1672,07}{99,06} \right) \\ = 16,87$$

Data perhitungan AFR dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini :

Tabel 4.4 Data Perhitungan AFR pada Massa Alir Udara 1672,07 mg/s

bahan bakar	massa alir (mg/s)	afr
CNG	93.56	17.8723
CNG	99.06	16.8794
CNG	104.56	15.991
Bensin	128.38	13.0244

- Torsi dan Daya

➤ Data:

Putaran pada roda poros roda belakang (rpm) : 589

Beban (kg) : 5 kg

Panjang lengan dinamometer : 0,2 m

Massa alir bahan bakar : 120,25 mg/s

➤ Perhitungan Data:

- ✓ Torsi (T)

$$T = F.L$$

$$T = 5,0,2$$

$$T = 1 \text{ kg.m}$$

- ✓ Daya efektif (Ne)

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

$$Ne = \frac{1 \cdot 589}{716,2}$$

$$Ne = 0,82 \text{ PS}$$

- ✓ Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE)

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

$$SFCE = \frac{0,4101084}{0,82}$$

$$SFCE = 0,526 \text{ kg/PS.jam}$$

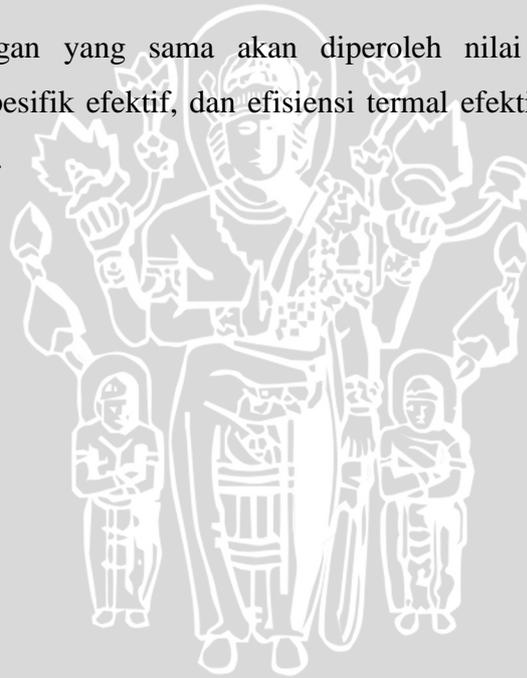
- ✓ Efisiensi termal efektif

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

$$\eta_e = \frac{632}{0,526 \cdot 5169,7}$$

$$\eta_e = 0,10 = 10\%$$

Dengan perhitungan yang sama akan diperoleh nilai torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif seperti ditunjukkan pada tabel 4.5 sampai 4.8.



Tabel 4.5 Hasil Pengolahan Data Torsi pada Setiap variasi Massa Alir Bahan Bakar CNG dan Bahan Bakar Bensin

n (RPM)	Torsi (kg.m)			Bensin (128,38 mg/s)
	120,25 mg/s	113.92 mg/s	107.59 mg/s	
7000	1	2,5	2,2	2,6
7000	1	2,2	1,8	2,9
7000	1	2,6	2,4	3,2
7000	1,0	2,4	2,1	2,9
6563	1,9	3,4	2,8	3,8
6563	1,9	3,6	2,4	3,7
6563	2,5	3,2	2,5	3,9
6563	2,1	3,4	2,6	3,8
6125	3,4	4,5	4	4,8
6125	3,4	4,6	4,2	4,4
6125	3	4,2	3,6	4,5
6125	3,3	4,4	3,9	4,6
5688	3,5	4,8	4,5	5,1
5688	3,5	5	4,6	5,2
5688	3,7	4,7	4	5
5688	3,6	4,8	4,4	5,1
5250	4	5,1	4,6	5,8
5250	4	5,1	4,7	5,6
5250	4,7	5,2	4,4	5,7
5250	4,2	5,1	4,6	5,7
4813	5	6	5,6	6,8
4813	5,5	5,8	5,4	7
4813	4,5	6,2	6	6,7
4813	5,0	6,0	5,7	6,8
4375	6,2	6,5	6	8
4375	6,5	6,7	6,5	8,6
4375	6,4	6,8	6,2	8,2
4375	6,4	6,7	6,2	8,3
3938	6,8	8	8,4	9,4
3938	7,2	8,3	7,8	9,4
3938	7	8,6	8	9,6
3938	7,0	8,3	8,1	9,5
3500	7,6	9,4	8	9,8
3500	8,2	9,8	7,7	9,6
3500	7,8	9,6	7,8	9,7
3500	7,9	9,6	7,8	9,7
3063	7,4	9	7,8	9,2
3063	7,2	9,4	7,4	9,5
3063	7,3	9,5	7,6	9,6
3063	7,3	9,3	7,6	9,4

Tabel 4.6 Hasil Pengolahan Data Daya Efektif pada Setiap variasi Massa Alir Bahan Bakar CNG dan Bahan Bakar Bensin

n (RPM)	Daya Efektif (PS)			Bensin (128,38 mg/s)
	120,25 mg/s	113.92 mg/s	107.59 mg/s	
7000	0,822	2,056	1,809	2,138
7000	0,822	1,809	1,480	2,385
7000	0,822	2,138	1,974	2,632
7000	0,822	2,001	1,754	2,385
6563	1,467	2,625	2,162	2,934
6563	1,467	2,780	1,853	2,857
6563	1,930	2,471	1,930	3,011
6563	1,621	2,625	1,982	2,934
6125	2,450	3,242	2,882	3,458
6125	2,450	3,314	3,026	3,170
6125	2,161	3,026	2,594	3,242
6125	2,354	3,194	2,834	3,290
5688	2,341	3,210	3,010	3,411
5688	2,341	3,344	3,077	3,478
5688	2,475	3,143	2,675	3,344
5688	2,385	3,233	2,920	3,411
5250	2,469	3,147	2,839	3,579
5250	2,469	3,147	2,901	3,456
5250	2,901	3,209	2,715	3,518
5250	2,613	3,168	2,818	3,518
4813	2,827	3,393	3,167	3,845
4813	3,110	3,280	3,054	3,958
4813	2,545	3,506	3,393	3,789
4813	2,827	3,393	3,204	3,864
4375	3,186	3,340	3,083	4,111
4375	3,340	3,443	3,340	4,419
4375	3,288	3,494	3,186	4,213
4375	3,271	3,425	3,203	4,248
3938	3,152	3,708	3,894	4,357
3938	3,338	3,848	3,616	4,357
3938	3,245	3,987	3,708	4,450
3938	3,245	3,848	3,739	4,388
3500	3,130	3,872	3,295	4,037
3500	3,378	4,037	3,172	3,954
3500	3,213	3,954	3,213	3,995
3500	3,240	3,954	3,227	3,995
3063	2,666	3,242	2,810	3,314
3063	2,594	3,386	2,666	3,422
3063	2,630	3,422	2,738	3,458
3063	2,630	3,350	2,738	3,398

Tabel 4.7 Hasil Pengolahan Data Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Efektif (SFCE) pada Setiap variasi Massa Alir Bahan Bakar CNG dan Bahan Bakar Bensin

n (RPM)	SFCE (kg/PS.jam)			
	120,25 mg/s	113.92 mg/s	107.59 mg/s	Bensin (128,38 mg/s)
7000	0,527	0,199	0,214	0,239
7000	0,527	0,227	0,261	0,214
7000	0,527	0,192	0,196	0,194
7000	0,527	0,206	0,224	0,215
6563	0,295	0,156	0,179	0,174
6563	0,295	0,147	0,209	0,179
6563	0,224	0,166	0,200	0,169
6563	0,272	0,157	0,196	0,174
6125	0,177	0,126	0,134	0,147
6125	0,177	0,124	0,128	0,161
6125	0,200	0,135	0,149	0,157
6125	0,185	0,129	0,137	0,155
5688	0,185	0,128	0,129	0,150
5688	0,185	0,123	0,126	0,147
5688	0,175	0,130	0,145	0,153
5688	0,182	0,127	0,133	0,150
5250	0,175	0,130	0,136	0,142
5250	0,175	0,130	0,133	0,148
5250	0,149	0,128	0,143	0,145
5250	0,167	0,129	0,137	0,145
4813	0,153	0,121	0,122	0,133
4813	0,139	0,125	0,127	0,129
4813	0,170	0,117	0,114	0,135
4813	0,154	0,121	0,121	0,132
4375	0,136	0,123	0,126	0,124
4375	0,130	0,119	0,116	0,115
4375	0,132	0,117	0,121	0,121
4375	0,132	0,120	0,121	0,120
3938	0,137	0,111	0,099	0,117
3938	0,130	0,107	0,107	0,117
3938	0,133	0,103	0,104	0,115
3938	0,134	0,107	0,104	0,116
3500	0,138	0,106	0,117	0,126
3500	0,128	0,102	0,122	0,129
3500	0,135	0,104	0,120	0,128
3500	0,134	0,104	0,120	0,128
3063	0,162	0,126	0,138	0,154
3063	0,167	0,121	0,145	0,149
3063	0,165	0,120	0,141	0,147
3063	0,165	0,122	0,141	0,150

Tabel 4.8 Hasil Pengolahan Data Efisiensi Termal Efektif pada Setiap variasi Massa Alir Bahan Bakar CNG dan Bahan Bakar Bensin

n (RPM)	Efisiensi Termal Efektif (%)			
	120.25 mg/s	113.92 mg/s	107.59 mg/s	Bensin (128.38 mg/s)
7000	10.10%	26.50%	24.70%	23.90%
7000	10.10%	23.30%	20.20%	26.70%
7000	10.10%	27.60%	27.00%	29.40%
7000	10.10%	25.80%	24.00%	26.70%
6563	17.90%	33.90%	29.50%	32.80%
6563	17.90%	35.90%	25.30%	31.90%
6563	23.60%	31.90%	26.40%	33.70%
6563	19.80%	33.90%	27.10%	32.80%
6125	29.90%	41.80%	39.40%	38.70%
6125	29.90%	42.80%	41.30%	35.40%
6125	26.40%	39.00%	35.40%	36.30%
6125	28.80%	41.20%	38.70%	36.80%
5688	28.60%	41.40%	41.10%	38.10%
5688	28.60%	43.20%	42.00%	38.90%
5688	30.30%	40.60%	36.60%	37.40%
5688	29.20%	41.70%	39.90%	38.10%
5250	30.20%	40.60%	38.80%	40.00%
5250	30.20%	40.60%	39.60%	38.60%
5250	35.50%	41.40%	37.10%	39.30%
5250	31.90%	40.90%	38.50%	39.30%
4813	34.60%	43.80%	43.30%	43.00%
4813	38.00%	42.30%	41.70%	44.30%
4813	31.10%	45.20%	46.40%	42.40%
4813	34.60%	43.80%	43.80%	43.20%
4375	38.90%	43.10%	42.10%	46.00%
4375	40.80%	44.40%	45.60%	49.40%
4375	40.20%	45.10%	43.50%	47.10%
4375	40.00%	44.20%	43.80%	47.50%
3938	38.50%	47.90%	53.20%	48.70%
3938	40.80%	49.60%	49.40%	48.70%
3938	39.70%	51.40%	50.70%	49.80%
3938	39.70%	49.60%	51.10%	49.10%
3500	38.30%	50.00%	45.00%	45.10%
3500	41.30%	52.10%	43.30%	44.20%
3500	39.30%	51.00%	43.90%	44.70%
3500	39.60%	51.00%	44.10%	44.70%
3063	32.60%	41.80%	38.40%	37.10%
3063	31.70%	43.70%	36.40%	38.30%
3063	32.10%	44.20%	37.40%	38.70%
3063	32.10%	43.20%	37.40%	38.00%

4.1.3 Analisa Statistik

Berdasarkan dari data-data yang diperoleh pada waktu pengujian dilakukan analisis varian dua arah untuk mengetahui pengaruh dari variasi putaran (faktor α) dan variasi massa alir bahan bakar CNG (faktor β) serta pengaruh interaksi antar keduanya (faktor $\alpha\beta$) terhadap performa yang dihasilkan oleh motor bensin langkah sistem injeksi. Analisis statistik dilakukan dengan bantuan program *Microsoft Excel* dan rumus-rumus statistik.

Adapun hipotesis dari penulisan ini adalah :

1. $H_0^1 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_i$ (tidak ada pengaruh massa alir bahan bakar CNG terhadap performa yang dihasilkan oleh motor bensin 4 langkah sistem injeksi).
 $H_1^1 : \text{paling sedikit satu } \alpha_i \neq 0$ (ada pengaruh massa alir bahan bakar CNG terhadap performa yang dihasilkan oleh motor bensin 4 langkah sistem injeksi)
2. $H_0^2 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_j$ (tidak ada pengaruh putaran terhadap performa yang dihasilkan oleh motor bensin 4 langkah sistem injeksi).
 $H_1^2 : \text{paling sedikit satu } \beta_j \neq 0$ (ada pengaruh putaran terhadap performa yang dihasilkan oleh motor bensin 4 langkah sistem injeksi)
3. $H_0^3 : \alpha\beta_1 = \alpha\beta_2 = \dots = \alpha\beta_{ij}$ (tidak ada pengaruh massa alir bahan bakar CNG dan putaran terhadap performa yang dihasilkan oleh motor bensin 4 langkah sistem injeksi).
 $H_1^3 : \text{paling sedikit satu } \alpha\beta_{ij} \neq 0$ (ada pengaruh massa alir bahan bakar CNG dan putaran terhadap performa yang dihasilkan oleh motor bensin 4 langkah sistem injeksi)

4.1.3.1 Analisis Varian untuk Torsi

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran dan interaksi antara massa alir bahan bakar CNG dengan putaran terhadap torsi motor bensin 4 langkah sistem injeksi.

Tabel 4.9 Jumlah Total Data Torsi yang dihasilkan (kg·m)

Variabel	Massa Alir Bahan Bakar			Σ	
	107.59 mg/s	113.92 mg/s	120,25 mg/s		
Putaran	7000	3	7,3	6,4	16,7
	6563	6,3	10,2	7,7	24,2
	6125	9,8	13,3	11,8	34,9
	5688	10,7	14,5	13,1	38,3
	5250	12,7	15,4	13,7	41,8
	4813	15	18	17	50
	4375	19,1	20	18,7	57,8
	3938	21	24,9	24,2	70,1
	3500	23,6	28,8	23,5	75,9
	3063	21,9	27,9	22,8	72,6
	Σ	143,1	180,3	158,9	482,3

Berdasarkan data di atas diperoleh perhitungan statistik sebagai berikut :

1. Jumlah seluruh perlakuan:

$$\sum_{k=1}^t Y_{ijk} = (1 + 2.5 + 2.2 + \dots + 7.3 + 9.5 + 7.6)$$

$$= 482.3$$

2. Jumlah kuadrat seluruh perlakuan:

$$\sum_{k=1}^t Y_{ijk}^2 = (1^2 + 2.5^2 + 2.2^2 + \dots + 7.3^2 + 9.5^2 + 7.6^2)$$

$$= 3042.6$$

3. Faktor Koreksi (FK):

$$\frac{[\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t \cdot Y_{ijk}]^2}{r \cdot c \cdot t} = \frac{(482.3)^2}{10.3.3}$$

$$= \frac{232613.29}{90}$$

$$= 2584.6$$

4. Jumlah Kuadrat Total (JKT):

$$\sum_{j=1}^c \cdot \sum_{k=1}^t \cdot Y_{ijk}^2 - FK = 3042.6 - 2584.6$$

$$= 457.98$$

5. Jumlah Kuadrat Perlakuan (JKP):

$$\frac{\sum_{i=1}^r \cdot \sum_{j=1}^c \cdot Y_{ij}}{t} - FK$$

$$= \frac{(3^2) + (7.3^2) + \dots + (27.9^2) + (22.8^2)}{3} - 2584.6$$

$$= \frac{9116.6}{3} - 2584.6$$

$$= 454.27$$

6. Jumlah Kuadrat Pengaruh A (JKA):

$$\frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{c \cdot t} - FK$$

$$= \frac{(143.1^2) + (180.3^2) + (158.9^2)}{10 \cdot 3} - 2584.6$$

$$= \frac{78234.91}{30} - 2584.6$$

$$= 23.238$$

7. Jumlah Kuadrat Pengaruh B (JKB):

$$\frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{r \cdot t} - FK$$

$$= \frac{(16.7^2) + (24.2^2) + \dots + (75.9^2) + (72.6^2)}{3 \cdot 3} - 2584.6$$

$$= \frac{27083.09}{9} - 2584.6$$

$$= 424.64$$

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

$$JKAB = JKP - JKA - JKB$$

$$= 454.27 - 23.238 - 424.64$$

$$= 6.3929$$

9. Jumlah Kuadrat Galat (JKG):

$$JKG = JKT - JKA - JKB - JKAB$$

$$= 457.98 - 23.238 - 424.64 - 6.3929$$

$$= 3.7067$$

10. Nilai varian dari masing-masing perlakuan:

$$S_A^2 = \frac{JKA}{r - 1}$$

$$= \frac{23.238}{3 - 1}$$

$$= 11.619$$

$$S_B^2 = \frac{JKB}{c - 1}$$

$$= \frac{424.64}{10 - 1}$$

$$= 47.182$$

$$\begin{aligned}
 S_{AB}^2 &= \frac{JKAB}{(r-1)(c-1)} \\
 &= \frac{6.3929}{(3-1)(10-1)} \\
 &= 0.3552
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S^2 &= \frac{JKG}{r \cdot c(t-1)} \\
 &= \frac{3.7067}{3.10(3-1)} \\
 &= 0.0618
 \end{aligned}$$

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

a. Untuk faktor A (putaran mesin):

$$\begin{aligned}
 F_{A \text{ hitung}} &= \frac{S_A^2}{S^2} \\
 &= \frac{11.619}{0.0618} \\
 &= 188.08
 \end{aligned}$$

b. Untuk faktor B (massa alir udara):

$$\begin{aligned}
 F_{B \text{ hitung}} &= \frac{S_B^2}{S^2} \\
 &= \frac{47.182}{0.0618} \\
 &= 763.74
 \end{aligned}$$

c. Untuk interaksi A & B:

$$\begin{aligned}
 F_{AB \text{ hitung}} &= \frac{S_{AB}^2}{S^2} \\
 &= \frac{0.3552}{0.0618} \\
 &= 5.746
 \end{aligned}$$

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

Tabel 4.10 ANOVA untuk Torsi

Sumber Keragaman	db	JK	Varian (KT)	F Hitung	F Tabel
Faktor A	5	23.23822	11.6191111	188.079	2.04
Faktor B	4	424.6401	47.1822346	763.741	3.15
Interaksi A & B	20	6.392889	0.35516049	5.749	1.778
Galat	60	3.706667	0.06177778		
Total	89	457.9779			

Kesimpulan yang diperoleh:

- $F_A \text{ hitung} > F_A \text{ tabel}$, maka H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, ini menyatakan bahwa variasi massa alir bahan bakar CNG 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 putaran 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 massa alir udara berpengaruh terhadap torsi yang dihasilkan.

Dari kesimpulan yang diperoleh diatas terlihat bahwa masing-masing nilai $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, artinya bahwa variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran, dan interaksi antara keduanya mempunyai pengaruh yang nyata terhadap daya yang dihasilkan dengan keyakinan 95% ($\alpha = 5\%$)

4.1.3.2 Analisis Varian untuk Daya Efektif

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran dan interaksi antara massa alir bahan bakar CNG dengan putaran terhadap daya efektif motor bensin 4 langkah sistem injeksi.

Tabel 4.11 ANOVA untuk Daya Efektif

Sumber Keragaman	db	JK	Varian (KT)	F Hitung	F Tabel
Faktor A	5	14.25927	7.12963525	168.545	2.04
Faktor B	4	59.77181	6.64131168	157.001	3.15
Interaksi A & B	20	3.513408	0.19518934	4.61428	1.778
Galat	60	2.538069	0.04230115		
Total	89	80.08255			

Dari tabel analisa varian 4.12 terlihat bahwa masing-masing nilai $F_{\text{hitung}} > F_{\text{tabel}}$, sehingga dapat dikatakan bahwa H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, H_{02} ditolak dan H_{12} diterima, H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Artinya bahwa variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran, dan interaksi antara keduanya mempunyai pengaruh yang nyata terhadap daya efektif yang dihasilkan.

4.1.3.3 Analisis Varian untuk Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFCE)

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran dan interaksi antara massa alir bahan bakar CNG dengan putaran

terhadap konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCe) motor bensin 4 langkah sistem injeksi.

Tabel 4.12 ANOVA untuk SFCe

Sumber Keragaman	db	JK	Varian (KT)	F Hitung	F Tabel
Faktor A	5	0,092229	0,04611457	296,253	2,04
Faktor B	4	0,306795	0,0340883	218,993	3,15
Interaksi A & B	20	0,144325	0,00801803	51,51	1,778
Galat	60	0,00934	0,00015566		
Total	89	0,552688			

Dari tabel analisa varian 4.13 terlihat bahwa masing-masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga dapat dikatakan bahwa H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, H_{02} ditolak dan H_{12} diterima, H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Artinya bahwa variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran, dan interaksi antara keduanya mempunyai pengaruh yang nyata terhadap SFCe yang dihasilkan.

4.1.3.4 Analisis Varian untuk Efisiensi Termal Efektif

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran dan interaksi antara massa alir bahan bakar CNG dengan putaran terhadap efisiensi termal efektif motor bensin 4 langkah sistem injeksi.

Tabel 4.13 ANOVA untuk Efisiensi Termal Efektif

Sumber Keragaman	db	JK	Varian (KT)	F Hitung	F Tabel
Faktor A	5	0,195843	0,09792126	254,577	2,04
Faktor B	4	0,5378	0,05975554	155,353	3,15
Interaksi A & B	20	0,026637	0,00147985	3,84734	1,778
Galat	60	0,023079	0,00038464		
Total	89	0,783358			

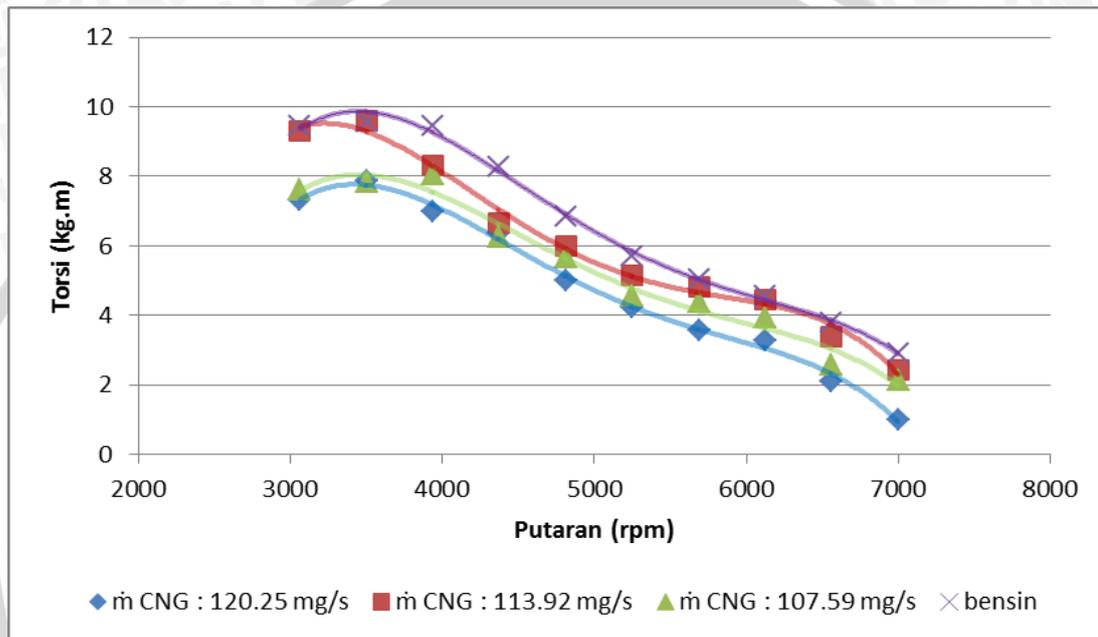
Dari tabel analisa varian 4.14 terlihat bahwa masing-masing nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$, sehingga dapat dikatakan bahwa H_{01} ditolak dan H_{11} diterima, H_{02} ditolak dan H_{12} diterima, H_{03} ditolak dan H_{13} diterima. Artinya bahwa variasi massa alir bahan bakar CNG, putaran, dan interaksi antara keduanya mempunyai pengaruh yang nyata terhadap efisiensi termal efektif yang dihasilkan.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan data pengujian dengan variasi putaran dan massa alir bahan bakar maka didapatkan parameter-parameter yang berhubungan dengan

variasi putaran tersebut. Untuk mempermudah dalam menganalisa hasil perhitungan maka data hasil perhitungan tersebut digambarkan dalam bentuk grafik. Adapun analisa grafik hubungan antara kerja motor bensin empat langkah sistem injeksi dengan parameter torsi, daya efektif, konsumsi bahan bakar spesifik efektif, dan efisiensi termal efektif pada tiap variasi massa alir bahan bakar CNG terhadap putaran.

4.2.1 Analisa Grafik Hubungan Torsi pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran



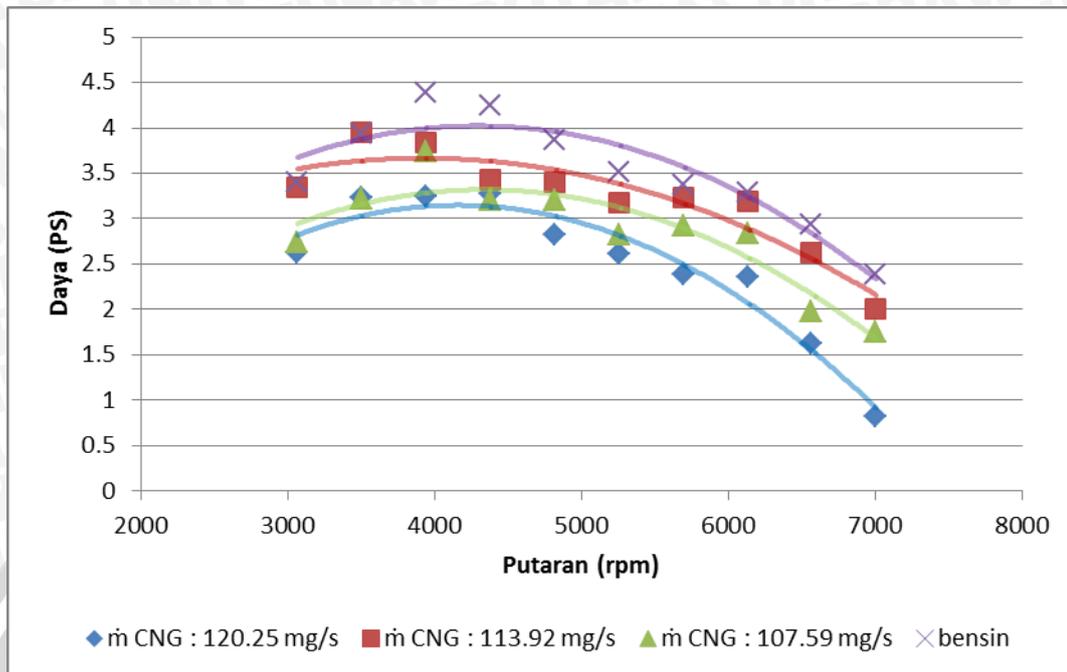
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Torsi pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran

Pada gambar 4.2 menunjukkan hubungan putaran terhadap torsi, dari grafik dapat dilihat bahwa nilai putaran sangat mempengaruhi besar nilai dari torsi. Bisa dilihat bahwa pada putaran rendah torsi cenderung naik kemudian seiring bertambahnya putaran torsi kemudian turun. Penurunan ini disebabkan oleh semakin tinggi nilai suatu putaran mengakibatkan gesekan antara torak dan dinding silinder semakin banyak, sehingga kerugian mekanis yang dihasilkan semakin meningkat. Hal lain yang menyebabkan penurunan adalah ketika semakin tinggi putaran poros mesin, gerakan buka tutup katup isap pada langkah isap juga semakin cepat sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar semakin sedikit, hal ini menyebabkan energi yang dikonversikan untuk menggerakkan piston juga semakin kecil yang menyebabkan torsi yang dihasilkan juga kecil.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat torsi tertinggi pada tiap variasi massa alir memiliki nilai yang berbeda – beda dan pada nilai putaran yang berbeda juga. Pada massa alir 107.59 mg/s nilai torsi tertinggi adalah 8,07 kg.m pada 3938 rpm, massa alir 113.92 mg/s nilai torsi tertinggi adalah 9,6 kg.m pada 3500 rpm, dan massa alir 120.25 mg/s nilai torsi tertinggi 7.86 kg.m pada 3500 rpm. Dari semua variasi massa alir nilai torsi tertinggi didapatkan pada massa alir 113.92 mg/s yaitu dengan nilai 9,6 kg.m pada 3500 rpm. Hal ini disebabkan karena ketika pada massa alir 113.92 mg/s pembakaran yang terjadi diruang bakar lebih mendekati sempurna dari pada massa alir 107.59 mg/s dan 120.25 mg/s. Hal ini dapat dibuktikan dari data jumlah karbondioksida pada gas buang yaitu ketika massa alir 113.92 mg/s nilai karbondioksidanya sebesar 7.04 lebih besar dibandingkan dengan massa alir 107.59 mg/s yang nilainya 6.15 dan massa alir 120.25 mg/s yang nilainya 6.22. Dari nilai karbondioksida dapat kita lihat bahwa semakin banyak nilai karbondioksida 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 4.2 bisa kita lihat bahwa nilai torsi yang dihasilkan oleh bahan bakar bensin masih diatas nilai torsi yang dihasilkan oleh bahan bakar metana. Hal ini dikarenakan penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin yang memiliki rancangan berbahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik, efisiensi volumetrik sendiri adalah perbandingan antara udara yang masuk ruang bakar dengan ruang bakar itu sendiri. Bahan bakar gas yang memiliki massa jenis yang lebih rendah dari pada udara lebih mudah tersedot masuk ruang bakar sehingga udara yang seharusnya masuk ke ruang bakar tergantikan oleh gas hal tersebut yang menyebabkan jumlah udara yang masuk ruang bakar berkurang sedangkan volume ruang bakar tetap dan mengakibatkan efisiensi volumetrik turun. .

4.2.2 Analisa Grafik Hubungan Daya Efektif pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Daya Efektif pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran

Pada gambar 4.3 menunjukkan bagaimana hubungan antara nilai putaran terhadap nilai daya efektif, dari grafik dapat dilihat nilai putaran sangat lah berpengaruh terhadap nilai daya efektif. Pada awalnya ketika nilai putaran naik maka nilai daya efektif juga meningkat tetapi pada nilai putaran tertentu apabila nilai putaran itu naik nilai daya efektif malah cenderung turun. Hal ini disebabkan karena nilai dari daya efektif dipengaruhi oleh nilai torsi dan putaran, dapat dilihat pada rumus berikut :

$$Ne = T \cdot n / 716,2 \text{ (PS)} \dots\dots\dots (\text{Petrovsky, 1968: 99})$$

dimana : Ne : daya efektif (PS)

T : torsi (kg.m)

n : putaran (rpm)

Dapat dilihat dari rumus diatas bahwa nilai daya efektif sangat dipengaruhi oleh nilai putaran dan torsi. Pada pembahasan nilai putaran dengan torsi di ungkapkan bahwa pada putaran yang tinggi mengakibatkan nilai torsi turun yang disebabkan ketika nilai putaran semakin tinggi maka gesekan antara piston dengan dinding silinder semakin banyak sehingga kerugian mekanis semakin meningkat dan juga penurunan ini

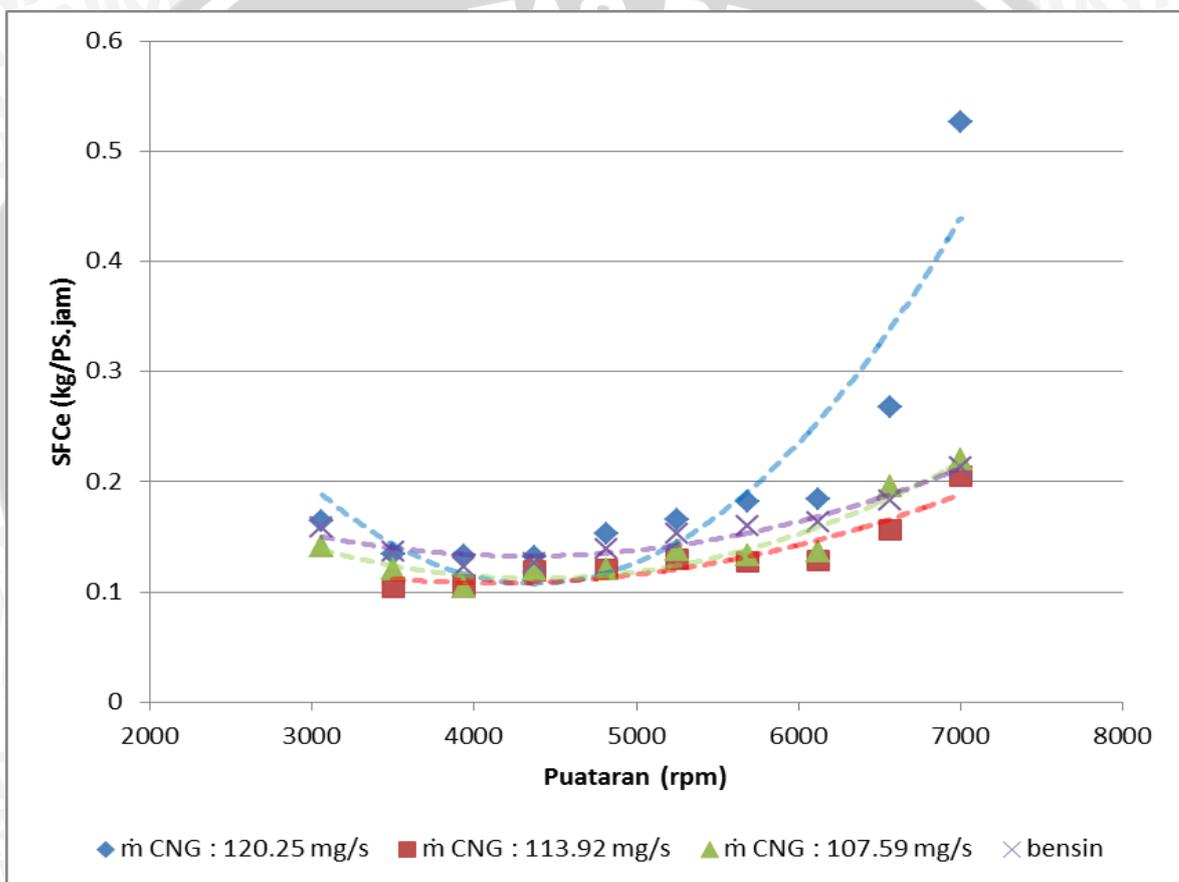
disebabkan oleh ketika semakin tinggi putaran poros mesin, gerakan buka tutup katup isap pada langkah isap juga semakin cepat sehingga campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar semakin sedikit, hal ini menyebabkan energi yang dikonversikan untuk menggerakkan piston juga semakin kecil. Penurunan torsi ini lah yang menyebabkan nilai daya efektif juga menurun. Tetapi mulai turunnya nilai torsi dan daya efektif berada pada nilai putaran yang berbeda. Nilai torsi mulai turun pada nilai putaran yang lebih rendah dibandingkan nilai putaran ketika nilai daya mulai turun. Hal ini dikarenakan nilai daya dipengaruhi oleh hasil perkalian nilai putaran dengan nilai torsi, ketika nilai torsi mulai menurun, penurunannya tidak terlalu besar dibandingkan kenaikan dari nilai putaran sehingga hasil perkalian nilai putaran dengan torsi masih besar sehingga nilai daya efektif masih meningkat, tetapi seiring bertambahnya nilai putaran penurunan nilai torsi semakin besar dibanding peningkatan nilai putaran dan apabila dilakukan perkalian antara nilai putaran dan torsi hasilnya akan lebih kecil sehingga nilai daya pun mulai menurun.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat daya efektif tertinggi pada tiap variasi massa alir memiliki nilai yang berbeda – beda dan pada nilai putaran yang berbeda juga. Pada massa alir 107.59 mg/s nilai daya efektif tertinggi adalah 3.73 PS pada 3938 rpm, massa alir 113.92 mg/s nilai daya efektif tertinggi adalah 3.95 PS pada 3500 rpm, dan massa alir 120,25 mg/s nilai daya efektif tertinggi 3.25 PS pada 3938 rpm. Dari semua variasi massa alir nilai daya efektif tertinggi didapatkan pada massa alir 113.92 mg/s yaitu dengan nilai 3.95 PS pada 3500 rpm. Hal ini disebabkan karena ketika pada massa alir 113.92 mg/s pembakaran yang terjadi diruang bakar lebih mendekati sempurna dari pada massa alir 107.59 mg/s dan 120,25 mg/s. Hal ini dapat dibuktikan dari data jumlah karbondioksida pada gas buang yaitu ketika massa alir 113.92 mg/s nilai karbondioksida sebesar 7.04 lebih besar dibandingkan dengan massa alir 107.59 mg/s yang nilainya 6.15 dan massa alir 120.25 mg/s yang nilainya 6.22. Dari nilai karbondioksida dapat kita lihat bahwa semakin banyak nilai karbondioksida 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 daya efektif yang dihasilkan oleh bahan bakar bensin masih diatas nilai daya yang dihasilkan oleh bahan bakar CNG. Hal ini dikarenakan penggantian bahan bakar dari bahan bakar cair menjadi gas pada mesin

yang memiliki rancangan berbahan bakar cair dapat menurunkan efisiensi volumetrik, efisiensi volumetrik sendiri adalah perbandingan antara udara yang masuk ruang bakar dengan ruang bakar itu sendiri. Bahan bakar gas yang memiliki massa jenis yang lebih rendah dari pada udara lebih mudah tersedot masuk ruang bakar sehingga udara yang seharusnya masuk ke ruang bakar tergantikan oleh gas hal tersebut yang menyebabkan jumlah udara yang masuk ruang bakar berkurang sedangkan volume ruang bakar tetap dan mengakibatkan efisiensi volumetrik turun. .

4.2.3 Analisa Grafik Hubungan SFCE pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran



Gambar 4.4 Grafik Hubungan SFCE pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran

Konsumsi bahan bakar spesifik efektif (SFCE) adalah perbandingan antara banyak bahan bakar yang digunakan dengan daya efektif yang dihasilkan. Jadi dari SFCE kita dapat melihat tingkat keekonomisan bahan bakar, semakin rendah nilai SFCE maka mesin tersebut semakin ekonomis

Pada gambar 4.4 bisa kita lihat bahwa seiring bertambah nya putaran maka nilai SFCE akan semakin turun tetapi pada rpm nilai tertentu SFCE cenderung naik, hal ini dikarenakan ketika pada awalnya semakin bertambahnya putaran nilai dari daya efektif sendiri semakin naik sampai pada nilai rpm tertentu nilai daya efektif itu sendiri turun misalnya saja pada massa alir bahan bakar CNG 113.92 mg/s pada rpm 3063- 3938 nilai SFCE cenderung turun kemudian setelah rpm 3938 yang memiliki nilai daya efektif tertinggi nilai SFCE semakin meningkat, nilai daya efektif sendiri sangat berpengaruh pada nilai dari SFCE hal ini dapat kita lihat dari persamaan berikut ini :

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

Dengan :

SFCE : konsumsi bahan bakar spesifik efektif (kg/PS.jam)

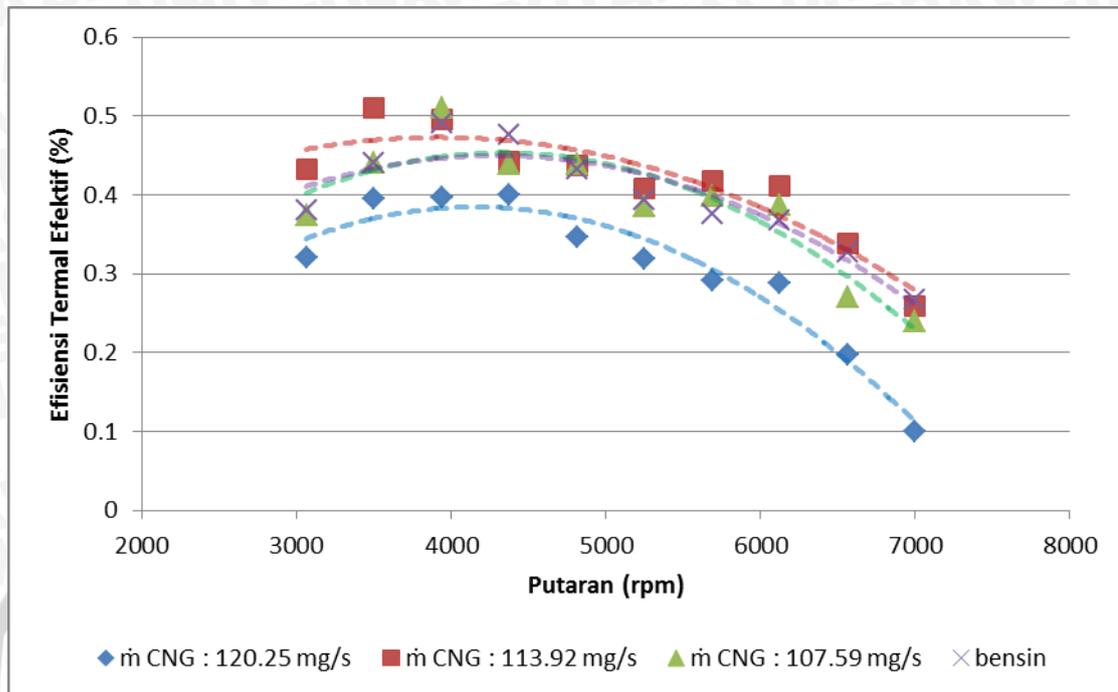
FC : konsumsi bahan bakar (kg/jam)

Ne : daya efektif (PS)

Pada gambar 4.4 dapat kita lihat bahwa pada variasi massa alir bahan bakar CNG 107.59 mg/s , 113.92 mg/s ,dan 120.25 mg/s. nilai SFCE paling rendah didapat ketika variasi massa alir bahan bakar 113.92 mg/s, hal ini dikarenakan pada massa alir ini nilai daya efektif yang dihasilkan dibanding massa alir lainnya adalah yang paling besar. Melihat persamaan diatas dengan selisih nilai FC antar tiap variasi massa alir yang tidak begitu besar apabila dibandingkan dengan selisih nilai daya efektif yang dihasilkan pada tiap massa alirnya, maka ketika nilai daya efektif yang dihasilkan oleh massa alir itu semakin besar akan didapatkan nilai SFCE yang semakin kecil juga.

Sedangkan apabila dibandingkan dengan nilai SFCE yang dihasilkan oleh bensin dengan nilai SFCE CNG pada massa alir 113.92mg/s, nilai SFCE CNG dengan massa alir 113.92 mg/s masih lebih rendah. Hal ini dikarenakan perbedaan nilai FC yang besar antara bensin 0.538 kg/jam dengan CNG 0.410 kg/jam untuk nilai FC sendiri dipengaruhi oleh nilai densitas, yaitu densitas bensin yang memiliki nilai lebih besar dibandingkan CNG menyebabkan ketika 1ml bensin dengan 1 ml CNG memiliki nilai FC yang berbeda.

4.2.4 Analisa Grafik Hubungan Efisiensi Termal Efektif pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Efisiensi Termal Efektif pada Variasi Massa Alir Bahan Bakar terhadap Putaran

Pada gambar 4.5 dapat kita lihat hubungan antara efisiensi termal efektif terhadap putaran pada tiap variasi massa alir bahan bakar 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 bawah bahan bakar. Sesuai pembahasan pada gambar 4.3 bahwa ketika rpm rendah nilai daya efektif awalnya naik sampai pada nilai tertentu kemudian nilai daya efektif kemudian turun. Bisa kita lihat pada persamaan berikut :

$$\eta_e = \frac{632.N_e}{FC.LHV} \times 100\%$$

dengan :

η_e : efisiensi termal efektif (%)

N_e : daya efektif (PS)

FC : konsumsi bahan bakar (kg/jam)

LHV : nilai kalor bawah bahan bakar (kcal/kg)

Dari persamaan diatas dapat kita lihat bahwa ketika nilai konsumsi bahan bakar dan nilai kalor bawah 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.

Pada gambar 4.5 bisa kita lihat bahwa variasi massa alir bahan bakar CNG 107.59 mg/s , 113.92 mg/s ,dan 120.25 mg/s. nilai efisiensi termal efektif tertinggi didapatkan ketika variasi massa alir 113.92 mg/s. hal ini dikarenakan ketika menggunakan massa alir bahan bakar 113.92 mg/s daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan massa alir 107.59 mg/s dan 120.25 mg/s dan juga massa alir ini berpengaruh pada konsumsi bahan bakar jadi konsumsi bahan bakar paling tinggi didapat ketika menggunakan massa alir 120.25 mg/s. jadi apabila dibandingkan antara massa alir 107.59 mg/s dengan 113.92 mg/s, massa alir 107.59 mg/s memiliki nilai daya efektif dan konsumsi bahan bakar lebih rendah dibandingkan nilai daya efektif dan konsumsi bahan bakar pada massa alir 113.92 mg/s tetapi selisih daya efektif yang dihasilkan antara keduanya masih lebih besar dibandingkan selisih konsumsi bahan bakar, oleh karena itu kenapa nilai efisiensi termal efektif pada massa alir 113.92 mg/s masih lebih besar dibandingkan massa alir 107.59 mg/s. sedangkan ketika massa alir 120.25 mg/s nilai daya efektif yang dihasilkan paling kecil dan nilai konsumsi bahan bakarnya paling tinggi sehingga nilai efisiensi termal efektifnya paling rendah dibandingkan yang lain.

Pada gambar 4.5 dapat kita lihat bahwa efisiensi termal efektif bahan bakar CNG masih lebih besar dibandingkan dengan efisiensi termal efektif 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 3518.6 mg/s masih lebih besar dari pada yaitu 0.538 kg/jam dibandingkan konsumsi bahan bakar CNG pada massa alir 113.92 mg/s yaitu 0.410 kg/jam, karena selisih konsumsi bahan bakar lebih besar dari pada selisih daya efektif dan LHV menyebabkan nilai efisiensi termal efektif bahan bakar CNG masih lebih besar dari pada bahan bakar bensin