

PENGUJIAN PERFORMANSI MOTOR DIESEL BERBAHAN BAKAR BIODIESEL DENGAN BAHAN BAKU MINYAK GORENG BEKAS DARI RUMAH TANGGA

Ikhsan Sukri¹, A. Halim Nasution², Dian M. Nasution³, Terang UHSG⁴, Syahril Gultom⁵

ikhkansukri055@yahoo.co.id

^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh persentase campuran biodiesel pada solar terhadap unjuk kerja mesin diesel dengan menggunakan metode variable speed (1200, 1500, 1800, 2100, dan 2400) rpm dan variable load (0,5, 1, dan 1,5) kg. Dalam penelitian ini menggunakan mesin diesel *TD110-TD115 Test Bed and Instrument for Small Engines*. Parameter yang diukur dalam penelitian ini adalah Torsi, Daya, Rasio Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR), Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc), Efisiensi Volumetris, dan Efisiensi Thermal Brake. Bahan bakar yang digunakan adalah solar murni, dan campuran biodiesel 5% (B5), 10% (B10), 15% (B15) dan 20% (B20). Dari penelitian ini unjuk kerja mesin diesel tertinggi diperoleh pada penggunaan bahan bakar solar masing-masing pada putaran 2400 rpm dimana Torsi maksimal sebesar 5,5 (Nm; Daya terbesar 1,382 (kW); Konsumsi Bahan Bakar Spesifik paling ekonomis sebesar 211,349 (g/kWh); Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR) terbesar 53,565; Efisiensi Volumetris terbesar 0,808 (80,8%); Efisiensi Thermal Brake terbesar 0,422 (42,2%).

Kata kunci: unjuk kerja, mesin diesel, biodiesel.

1.1. PENDAHULUAN

Cadangan Bahan Bakar Minyak (BBM) dari waktu ke waktu menurun jumlahnya, cadangan tersebut tidak dapat ditambah ataupun diperbaharui meskipun eksplorasi terus ditingkatkan, bahkan yang terjadi justru sebaliknya semakin hari cadangan minyak bumi semakin menipis dan suatu saat akan habis, oleh karena itu diperlukan bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui.

Biodiesel adalah bioenergi atau bahan bakar alternatif yang terbuat dari minyak nabati dan lemak hewani, merupakan bahan bakar alternatif yang sangat potensial digunakan sebagai pengganti solar karena kemiripan karakteristiknya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Performansi Mesin Diesel

Mesin/motor diesel (*diesel engine*) merupakan salah satu bentuk motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Motor diesel disebut dengan motor penyalaan kompresi (*compression ignition engine*) karena penyalaan bahan bakarnya diakibatkan oleh suhu kompresi udara dalam ruang bakar.

Dalam motor diesel bahan bakar diinjeksikan kedalam silinder yang berisi udara bertekanan tinggi. Selama proses pengkompresian udara dalam silinder mesin, suhu udara meningkat, sehingga ketika bahan bakar yang berbentuk kabut halus bersinggungan dengan udara panas ini, maka bahan bakar akan menyala dengan sendirinya tanpa bantuan alat penyala lain.

2.2. Torsi dan Daya

Torsi yang dihasilkan suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan *dynamometer* yang dikopel dengan poros output mesin. Oleh karena sifat dynamometer yang bertindak seolah-olah seperti sebuah rem dalam sebuah mesin, maka daya yang dihasilkan poros output ini sering disebut sebagai daya rem (*Brake Power*).

$$P_B = \frac{2\pi n}{60} T$$

2.3. Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption, sfc*)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah parameter unjuk mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin,

Bila daya rem dalam satuan kW dan laju aliran massa bahan bakar dalam satuan kg/jam, maka :

$$Sfc = \frac{m_f \times 10^3}{P_B}$$

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan berikut :

$$m_f = \frac{sg_f \cdot V_f \cdot 10^{-3}}{t_f} \times 3600$$

2.4. Perbandingan udara bahan bakar (AFR)

Untuk memperoleh pembakaran sempurna, bahan bakar harus dicampur dengan perbandingan tertentu. Perbandingan udara bahan bakar ini disebut dengan *Air Fuel Ratio (AFR)*.

$$AFR = \frac{m_a}{m_f}$$

Besarnya laju aliran masa udara (m_a) juga dapat diketahui dengan membandingkan hasil pembacaan manometer terhadap kurva *viscous flow meter calibration*. Kurva kalibrasi ini dikondisikan untuk pengujian pada tekanan udara 1013 mb dan temperatur 20 °C, oleh karena itu besarnya laju aliran udara yang diperoleh harus dikalikan dengan faktor koreksi (C_f) berikut :

$$C_f = 3564 \times P_a \times \frac{(T_a + 144)}{T_a^{2,5}}$$

2.5. Efisiensi Volumetris

Jika sebuah mesin empat langkah dapat menghisap udara pada kondisi isapnya sebanyak volume langkah toraknya untuk setiap langkah isapnya, maka itu merupakan sesuatu yang ideal.

Efisiensi volumetrik (η_v) Dirumuskan dengan persamaan:

$$\eta_v = \frac{\text{Berat udara segar yang terisap}}{\text{Berat udara sebanyak volume langkah torak}}$$

berat udara segar yang terisap

$$\frac{m_a}{60} \cdot \frac{2}{n}$$

berat udara sebanyak langkah torak =

$$\rho_a \cdot V$$

Dengan mensubstitusikan persamaan diatas, maka besarnya efisiensi volumetris :

$$\eta_v = \frac{2 \cdot m_a}{60 \cdot n} \cdot \frac{1}{\rho_a \cdot V_s}$$

dengan : ρ_a = kerapatan udara (kg/m^3)

V_s = volume langkah torak = [spesifikasi mesin]

Diasumsikan udara sebagai gas ideal, sehingga massa jenis udara dapat diperoleh dari persamaan berikut:

$$\rho_a = \frac{P_a}{R \cdot T_a} \cdot 2]$$

Dimana R = konstanta gas (untuk udara = 287 J/kg.K)

2.6. Efisiensi Thermal Brake

Kerja berguna yang dihasilkan selalu lebih kecil dari pada energi yang dibangkitkan piston karena sejumlah energi hilang akibat adanya rugi-rugi mekanis (*mechanical losses*).

$$\eta_b = \frac{\text{Daya keluar aktual}}{\text{Laju panas yang masuk}}$$

Laju panas yang masuk Q , dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q = m_f \cdot CV$$

Dimana, CV = panas jenis bom kalorimeter (kJ/kg).

Jika daya keluaran (P_B) dalam satuan kW, laju aliran bahan bakar m_f dalam satuan kg/jam, maka:

$$\eta_b = \frac{P_B}{m_f \cdot cv} \cdot 3600$$

2.7. Teori Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia, yaitu elemen tertentu dari bahan bakar setelah dinyalakan dan digabung dengan oksigen akan menimbulkan panas sehingga menaikkan suhu dan tekanan gas.

2.8. Nilai Kalor Bahan Bakar

Nilai kalor atas (*High Heating Value, HHV*), merupakan nilai kalor yang diperoleh secara eksperimen dengan menggunakan calorimeter dimana hasil pembakaran bahan bakar didinginkan sampai suhu kamar sehingga sebagian besar uap air yang terbentuk dari pembakaran hydrogen mengembun dan melepaskan panas latennya. Secara teoritis besarnya nilai kalor atas (HHV) dapat dihitung bila diketahui komposisi bahan bakarnya dengan menggunakan persamaan.

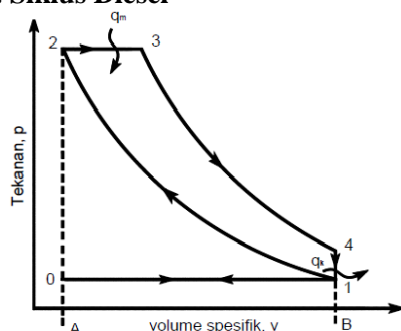
$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \times 1000$$

Nilai kalor bawah (*low Heating value, LHV*), merupakan nilai kalor bahan bakar tanpa panas laten yang berasal dari pengembunan uap air. Pada proses pembakaran sempurna, air yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar setengah dari jumlah mol hidrogennya.

$$LHV = HHV - 3240$$

Dalam perhitungan efisiensi panas dari motor bakar, dapat menggunakan nilai kalor bawah (LHV) dengan asumsi pada suhu tinggi saat gas buang meninggalkan mesin tidak terjadi pengembunan uap air. Namun dapat juga menggunakan nilai kalor atas (HHV) karena nilai tersebut umumnya lebih cepat tersedia. Peraturan pengujian berdasarkan ASME (*American of Mechanical Engineers*) menentukan penggunaan nilai kalor atas (HHV), sedangkan peraturan SAE (*Society of Automotive Engineers*) menentukan penggunaan nilai kalor bawah (LHV).

2.9. Siklus Diesel



Gambar 2.1 Diagram P-V Udara Tekanan Konstan[1]

Tabel 2.1 karakteristik mutu solar

NO	PROPERTIES	LIMITS		TEST METHODS	
		Min	Max	IP	ASTM
1.	Specific Gravity 60/60 °C	0.82	0.87		D-1298
2.	Color astm	-	3.0		D-1500
3.	Centane Number or Alternatively calculated Centane Index	45 48	- -		D-613
4.	Viscosity Khinematic at 100 0 C cST or Viscosity SSU at 100 0C secs	1.6 35	5.8 45		D-88
5.	Pour Point 0C	-	65		D-97
6.	Sulphur strip %wt	-	0.5		D-1551/1552
7.	Copper strip (3hrs/100 0C)	-	No.1		D-130
8.	Condradson Carbon Residue %wt	-	0.1		D-189
9.	Water Content % wt	-	0.01		D-482
10.	Sediment %wt	-	No.0.01		D-473
11.	Ash Content %wt	-	0.01		D-482
12.	Neutralization Value : - Strong Acid Number mgKOH/gr - Total Acid Number mgKOH/gr	- -	Nil 0.6		
13.	Falsh Point P.M.c.c 0F	150	-		D-93
14.	Distillation : - Recovery at 300 0C % vol	40	-		D-86

[2]

2.10. Biodiesel

Nama biodiesel telah disetujui oleh *Department of Energi (DOE)*, *Environmental Protection Agency (EPA)* dan *American Society of Testing Material (ASTM)*, biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang menjanjikan yang dapat diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak bekas melalui esterifikasi dengan alcohol/metanol.

Pemanfaatan jelantah sebagai bahan baku biodiesel telah dilakukan di beberapa negara, seperti Jepang, Jerman, Austria dan Hawaii. Bahan ini diperoleh dari restoran-restoran *fast food*, seperti McDonald's, KFC dan lain sebagainya. Apabila ditinjau dari komposisi kimianya, minyak jelantah mengandung senyawa-senyawa bersifat karsinogenik yang terjadi selama proses penggorengan. Senyawa karsinogenik ini berbahaya bagi kesehatan manusia, karena dapat menyebabkan terjadinya penyakit kanker dan juga mengurangi kecerdasan generasi. Ketersediaan yang relatif banyak serta harga yang murah memungkinkan bahan ini dijadikan biodiesel. Dapat dilihat seperti gambar berikut:

Tabel 2.2 Standar Mutu Biodiesel Indonesia

No	Parameter	Unit	Nilai	Metoda
1	Densitas (40°C)	gr/cm ³	0,85 – 0,89	ASTM D 1298
2	Viskositas (40°C)	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0	ASTM D 445
3	Cetane Number		Min. 51	ASTM D 613
4	Flash Point (close up)	°C		
5	Cloud point	°C		
6	Copper Strip Corrosion (3 jam, 50°C)		Max. No 3	ASTM D 130
7	Carbon residu - sample - 10% dist. residu	% mass	Max. 0,05 (Max. 0,3)	ASTM D 4530
8	Air dan sedimen	% vol	Max. 0,05*	ASTM D 2709 atau ASTM D1160
9	Temperatur destilasi, 90% recovered	°C	Max. 360	ASTM D 1160
10	Sulfated ash	% mass	Max. 0,02	ASTM D 874
11	Sulfur	Ppm (mg/kg)	Max. 100	ASTM D 5453 atau ASTM D1266
12	Phosphorous content	Ppm (mg/kg)	Max. 10	AOCS Ca 12-55
13	Bilangan asam (N _A)	Mg-KOH/g	Max. 0,8	AOCS Cd 3-36 atau ASTM D 664
14	Free Gliserin	% mass	Max. 0,02	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D6584
15	Total Gliserin (G _{tot})	% mass	Max. 0,24	AOCS Ca 14-56 atau ASTM D6584
16	Kandungan ester	% mass	Min. 96,5	Dihitung **
17	Bilangan iod	% mass (gI ₂ /100g)	Max. 115	AOCS Cd 1-25
18	Halphen test		Negative	AOCS Cd 1-25

[3]

3. Metode Penelitian

3.1. Metode Pengumpulan Data

Data yang diperoleh dalam pengujian ini meliputi:

- Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran dan pembacaan pada unit instrumentasi dan alat ukur pada masing-masing pengujian
- Data sekunder, data mengenai karakteristik bahan bakar solar dari Pertamina.

3.2. Pengamatan dan tahap pengujian

Pada penelitian yang akan diamati adalah:

- Parameter torsi (T) dan parameter daya (P_B)
- Parameter konsumsi bahan bakar spesifik (sfc)
- Rasio perbandingan udara bahan bakar (AFR)
- Effisiensi volumetris (η_v)
- Effisiensi thermal brake (η_b)

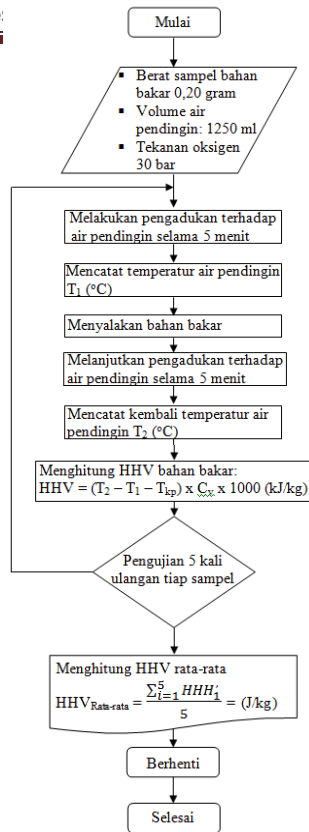
3.3. Prosedur Pengujian Nilai Kalor

Bahan Bakar

Alat yang digunakan dalam pengukuran nilai kalor bahan bakar ini adalah uji “*Bomb Kalorimeter*”



Gambar 3.1 Bom Kalorimeter



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar[4]

3.4. Prosedur Pengujian Performansi Motor Diesel

Pada pengujian motor diesel digunakan mesin diesel TD 110 – TD 115 *Test Bed and Instrument for Small Engines 4 stroke - 1 cylinder.*

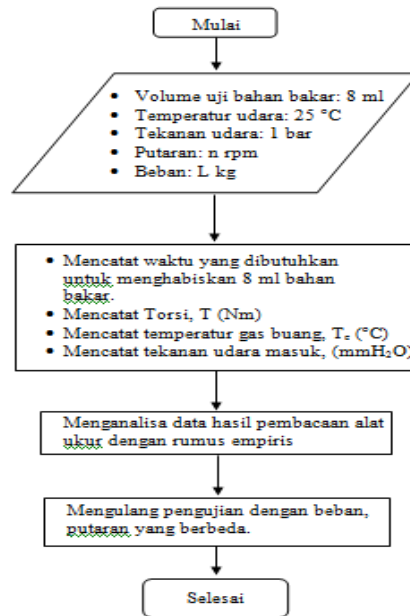


Gambar 3.3 Mesin Uji TD 110 – TD 115 *Test Bed and Instrument for Small Engines 4 stroke - 1 cylinder*

Tabel 3.1 Data Spesifikasi mesin diesel uji TD 110 – TD 115 *Test Bed and Instrument for Small Engines*

TD111 4-Stroke Diesel Engine	
Type	ROBIN – FUJIDY23D
Valve Position	Overhead
Valve Rocker Clearance	0,10 mm (cold)
Swept Volume	230 cm ³
Bore	70 mm
Stroke	60 mm
Compression Ratio	21 : 1
Recommended maximum speed	3600 revs/min
Injection Timing	23° BTDC (Before Top Death Centre)
Dry Mass	26 kg

[5]



Gambar 3.4 Diagram Alir Pengujian Performansi Motor Diesel

4. Hasil dan Analisa Pengujian

4.1. Pengujian Nilai Kalor Bahan Bakar

Data temperatur air pendingin sebelum dan sesudah penyalaan (T₁ dan T₂) yang telah diperoleh pada pengujian “Bom Kalorimeter” selanjutnya digunakan untuk menghitung nilai kalor atas bahan bakar (HHV) dengan persamaan berikut:

$$HHV = (T_2 - T_1 - T_{kp}) \times C_v \times F_k \text{ (J/kg)}$$

Tabel 4.1 Data hasil pengujian dan perhitungan Bom Kalorimeter untuk campuran variasi perbandingan bahan bakar solar dan biodiesel minyak jelantah

Bahan Bakar	Nomor Pengujian	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	HHV (J/Kg)	HHV _{Rata-rata} (KJ/Kg)
B100	1	25.51	26.13	36981063.480	37889,370
	2	27.85	28.52	40225016.417	
	3	28.50	29.13	37629854.067	
	4	27.03	27.63	35883482.305	
	5	28.48	29.13	38927435.242	
Solar	1	26.18	26.93	45415341.116	45155,825
	2	27.44	28.20	46064131.703	
	3	28.53	29.26	44117759.941	
	4	28.89	29.64	45415341.116	
	5	29.13	29.87	44766550.528	
B20	1	26,41	27,11	42171388,179	43.339,211
	2	26,75	27,49	44766550,528	
	3	27,29	28,02	44117759,941	
	4	28,46	29,14	40873807,004	
	5	28,68	29,42	44766550,528	
B15	1	25,37	26,04	40225016,417	43.728,486
	2	25,88	26,60	43468969,354	
	3	26,42	27,15	44117759,941	
	4	27,78	28,52	44766550,528	
	5	28,49	29,25	46064131,703	
B10	1	26,11	26,77	42820178,766	44,117,759
	2	26,69	27,41	43468969,354	
	3	27,24	27,99	45415341,116	
	4	27,78	28,52	44766550,528	
	5	28,45	29,18	44117759,941	
B5	1	26,24	26,97	44117759,941	44.636,792
	2	27,22	27,94	43468969,353	
	3	27,56	28,31	45415341,116	
	4	28,31	29,02	44117759,941	
	5	28,44	29,20	46064131,703	

4.2. Pengujian Performansi Motor Bakar Diesel

Data yang diperoleh dari pembacaan langsung alat uji mesin diesel 4-langkah 1-silinder (TD 110 – TD 115 Test Bed and Instrument for Small Engines):

Tabel 4.2 Bahan bakar solar

Bahan Bakar Solar				
Put. (rpm)	Karakteristik	Beban (Kg)		
		0,5	1	1,5
1200	Torsi (Nm)	2,1	3,2	4,2
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	172,5	176,5	178,67
	Udara (mmH ₂ O)	4,7	4,7	4,7
	Temp. gas buang (°C)	150	150	150
1500	Torsi (Nm)	2,2	3,5	4,7
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	126,9	127,86	128,21
	Udara (mmH ₂ O)	6,1	6,1	6,1
	Temp. gas buang (°C)	155	155	155
1800	Torsi (Nm)	2,5	4	5,1
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	108,59	109,86	110,78
	Udara (mmH ₂ O)	8,2	8,2	8,2
	Temp. gas buang (°C)	180	180	180
2100	Torsi (Nm)	3,1	4,1	5,3
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	92,57	94,41	96,56
	Udara (mmH ₂ O)	11,5	11,5	11,5
	Temp. gas buang (°C)	210	210	210
2400	Torsi (Nm)	3,2	4,4	5,6
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	80,18	81,27	83,28
	Udara (mmH ₂ O)	14,2	14,2	14,2
	Temp. gas buang (°C)	250	250	250

Tabel 4.3 Bahan bakar solar 95% + biodiesel minyak jelantah 5% (B5)

Bahan Bakar B5				
Put. (rpm)	Karakteristik	Beban (Kg)		
		0,5	1	1,5
1200	Torsi (Nm)	1,9	3	4,1
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	178,22	180,22	182,12
	Udara (mmH ₂ O)	4,5	4,5	4,5
	Temp. gas buang (°C)	150	150	150
1500	Torsi (Nm)	2,1	3,3	4,5
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	128,78	130,68	131,48
	Udara (mmH ₂ O)	5,7	5,7	5,7
	Temp. gas buang (°C)	160	160	160
1800	Torsi (Nm)	2,6	3,9	5,1
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	106,87	107,34	108,21
	Udara (mmH ₂ O)	8	8	8
	Temp. gas buang (°C)	180	180	180
2100	Torsi (Nm)	3	4	5,2
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	91,5	93,67	95,72
	Udara (mmH ₂ O)	11	11	11
	Temp. gas buang (°C)	205	205	205
2400	Torsi (Nm)	3,1	4,2	5,2
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	83,53	84,73	86,67
	Udara (mmH ₂ O)	13	13	13
	Temp. gas buang (°C)	245	245	245

Tabel 4.4 Bahan bakar solar 90% + biodiesel minyak jelantah 10% (B10)

Bahan Bakar B10				
Put. (rpm)	Karakteristik	Beban (Kg)		
		0,5	1	1,5
1200	Torsi (Nm)	1,8	2,9	3,8
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	180,37	183,37	184,43
	Udara (mmH ₂ O)	4,2	4,2	4,2
	Temp. gas buang (°C)	145	145	145
1500	Torsi (Nm)	2,1	3,1	4,2
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	131,65	135,46	136,5
	Udara (mmH ₂ O)	5,4	5,4	5,4
	Temp. gas buang (°C)	155	155	155
1800	Torsi (Nm)	2,7	3,8	4,9
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	105,6	106,63	107,46
	Udara (mmH ₂ O)	7,8	7,8	7,8
	Temp. gas buang (°C)	180	180	180
2100	Torsi (Nm)	2,8	3,9	5
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	93,62	95,44	96,64
	Udara (mmH ₂ O)	9,9	9,9	9,9
	Temp. gas buang (°C)	200	200	200
2400	Torsi (Nm)	2,9	4,2	5,2
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	78,87	79,91	81,72
	Udara (mmH ₂ O)	12,2	12,2	12,2
	Temp. gas buang (°C)	245	245	245

Tabel 4.5 Bahan bakar solar 85% + biodiesel minyak jelantah 15% (B15)

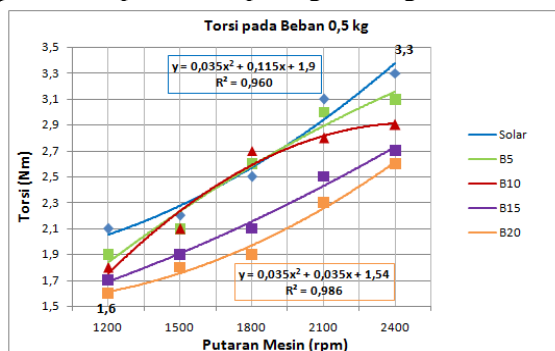
Bahan Bakar B15				
Put. (rpm)	Karakteristik	Beban (Kg)		
		0,5	1	1,5
1200	Torsi (Nm)	1,7	2,6	3,3
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	182,24	184,82	186,33
	Udara (mmH ₂ O)	4,1	4,1	4,1
	Temp. gas buang (°C)	150	150	150
	Torsi (Nm)	1,9	2,9	4
1500	Torsi (Nm)	1,9	2,9	4
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	135,36	139,6	140,65
	Udara (mmH ₂ O)	5,3	5,3	5,3
	Temp. gas buang (°C)	155	155	155
	Torsi (Nm)	2,1	3,3	4,3
1800	Torsi (Nm)	2,1	3,3	4,3
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	110,64	113,66	118,43
	Udara (mmH ₂ O)	7,7	7,7	7,7
	Temp. gas buang (°C)	180	180	180
	Torsi (Nm)	2,5	3,6	4,7
2100	Torsi (Nm)	2,5	3,6	4,7
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	94,65	97,12	97,46
	Udara (mmH ₂ O)	10	10	10
	Temp. gas buang (°C)	205	205	205
	Torsi (Nm)	2,7	3,8	5
2400	Torsi (Nm)	2,7	3,8	5
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	81,53	84,9	82,12
	Udara (mmH ₂ O)	12,5	12,5	12,5
	Temp. gas buang (°C)	250	250	250

Tabel 4.6 Bahan bakar solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20% (B20)

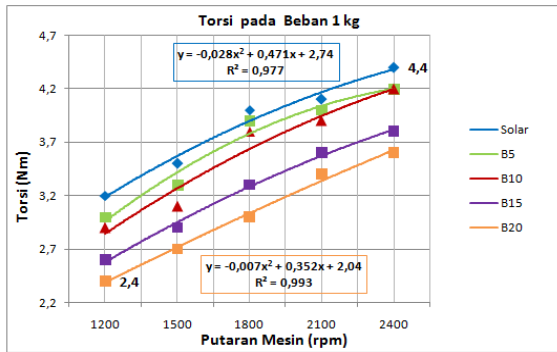
Bahan Bakar B20				
Put. (rpm)	Karakteristik	Beban (Kg)		
		0,5	1	1,5
1200	Torsi (Nm)	1,6	2,4	3,2
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	184,43	186,43	187,56
	Udara (mmH ₂ O)	4	4	4
	Temp. gas buang (°C)	150	150	150
	Torsi (Nm)	1,7	2,7	3,7
1500	Torsi (Nm)	1,7	2,7	3,7
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	139,65	141,55	143,78
	Udara (mmH ₂ O)	5,2	5,2	5,2
	Temp. gas buang (°C)	160	160	160
	Torsi (Nm)	1,9	3	4,2
1800	Torsi (Nm)	1,9	3	4,2
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	116,4	117,46	119,54
	Udara (mmH ₂ O)	7,5	7,5	7,5
	Temp. gas buang (°C)	200	200	200
	Torsi (Nm)	2,3	3,4	4,5
2100	Torsi (Nm)	2,3	3,4	4,5
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	96,03	98,43	99,58
	Udara (mmH ₂ O)	9,5	9,5	9,5
	Temp. gas buang (°C)	225	225	225
	Torsi (Nm)	2,6	3,6	4,6
2400	Torsi (Nm)	2,6	3,6	4,6
	Waktu untuk 8 ml bahan bakar (s)	85,75	86,54	88,86
	Udara (mmH ₂ O)	11	11	11
	Temp. gas buang (°C)	260	260	260

4.2.1. Torsi

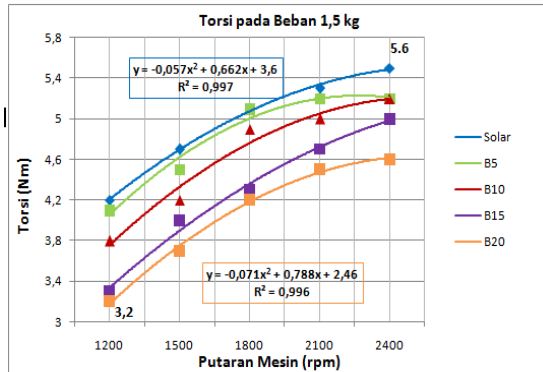
Perbandingan nilai torsi untuk masing-masing jenis bahan bakar pada setiap variasi beban dan putaran dapat dilihat pada gambar grafik di bawah ini:



Gambar 4.1 Grafik Torsi vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 0,5 kg



Gambar 4.2 Grafik Torsi vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1 kg



Gambar 4.7 Grafik Torsi vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1,5 kg

4.2.2. Daya

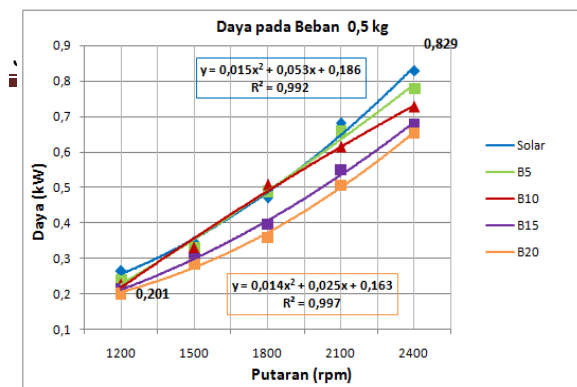
Besarnya daya yang dihasilkan oleh masing-masing jenis bahan bakar pada tiap kondisi pembebanan dan putaran dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_B = \frac{2 \cdot \pi \cdot N}{60 \cdot 1000} \times T$$

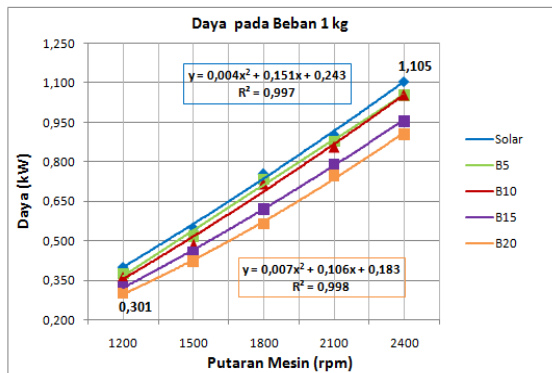
Tabel 4.7 Daya tiap jenis bahan bakar dengan variasi beban dan putaran

Putaran Mesin (rpm)	Beban (kg)	P _B (kW)				
		Solar	solar 95% + biodiesel minyak jelantah 5%	solar 90% + biodiesel minyak jelantah 10%	solar 85% + biodiesel minyak jelantah 15%	solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20%
1200	0,5	0,264	0,239	0,226	0,214	0,201
	1	0,402	0,377	0,364	0,327	0,301
	1,5	0,528	0,515	0,477	0,414	0,402
1500	0,5	0,345	0,330	0,330	0,298	0,283
	1	0,550	0,518	0,487	0,455	0,424
	1,5	0,738	0,707	0,659	0,628	0,581
1800	0,5	0,471	0,490	0,509	0,396	0,358
	1	0,754	0,735	0,716	0,622	0,565
	1,5	0,961	0,961	0,923	0,810	0,791
2100	0,5	0,681	0,659	0,615	0,550	0,506
	1	0,901	0,879	0,857	0,791	0,747
	1,5	1,165	1,143	1,099	1,033	0,989
2400	0,5	0,829	0,779	0,728	0,678	0,653
	1	1,105	1,055	1,055	0,955	0,904
	1,5	1,382	1,306	1,306	1,256	1,156

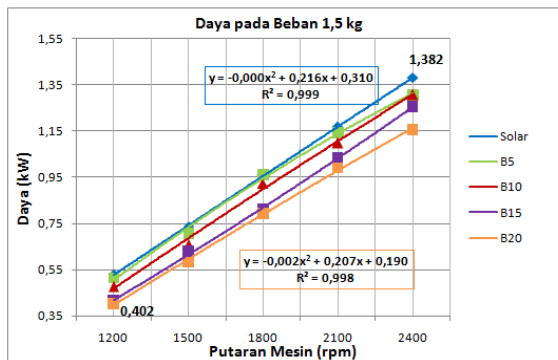
Perbandingan daya untuk masing-masing jenis bahan bakar dengan variasi beban dan putaran dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



Gambar 4.8 Grafik Daya vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 0,5 kg



Gambar 4.9 Grafik Daya vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1 kg



Gambar 4.10 Grafik Daya vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1,5 kg

4.2.3. Konsumsi Bahan Bakar

Spesifik, sfc

Konsumsi bahan bakar spesifik dari masing-masing bahan bakar yang digunakan pada tiap variasi beban dan putaran dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

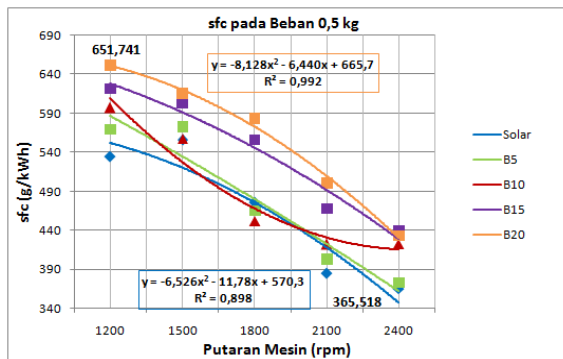
$$sfc = \frac{\dot{m}_f \cdot 10^3}{P_B} \text{ (g/kWh)}$$

$$\dot{m}_f = \frac{sgf \cdot V_f \cdot 10^{-3}}{t_f} \times 3600$$

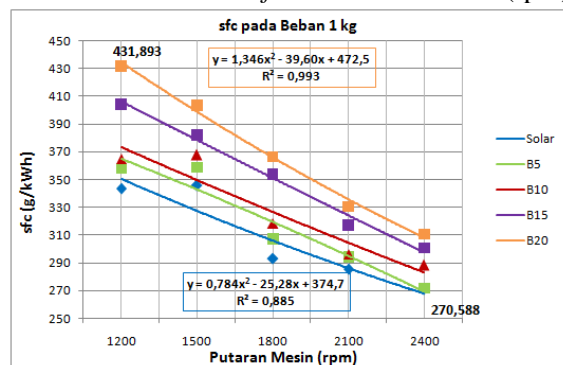
Tabel 4.8 *sfc* tiap jenis bahan bakar dengan variasi beban dan putaran

Putaran Mesin (rpm)	Beban (kg)	<i>sfc</i> (g/kWh)				
		Solar	solar 95% + biodiesel minyak jelantah 5%	solar 90% + biodiesel minyak jelantah 10%	solar 85% + biodiesel minyak jelantah 15%	solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20%
1200	0,5	534,576	569,896	597,133	621,495	651,741
	1	343,352	358,281	365,144	404,214	431,893
	1,5	257,812	258,272	274,472	313,646	320,895
1500	0,5	555,877	573,248	558,083	603,419	615,711
	1	345,455	359,004	367,783	382,166	403,397
	1,5	256,132	263,269	269,942	275,478	290,927
1800	0,5	475,584	465,458	452,151	556,061	583,864
	1	293,103	307,583	318,471	353,857	366,242
	1,5	227,925	233,129	244,811	253,049	256,546
2100	0,5	384,514	403,397	422,462	467,698	500,454
	1	285,239	294,585	296,306	317,208	330,514
	1,5	216,322	222,229	228,389	241,031	246,688
2400	0,5	365,518	373,691	422,798	439,3725	433,304
	1	270,588	272,027	288,152	300,662	310,731
	1,5	211,349	214,355	227,370	235,669	236,257

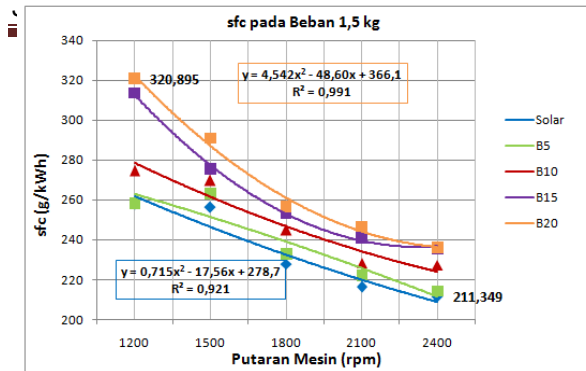
Perbandingan *sfc* untuk masing-masing jenis campuran bahan bakar dengan variasi beban dan putaran dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



Gambar 4.11 Grafik *sfc* vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 0,5 kg



Gambar 4.12 Grafik *sfc* vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1 kg



Gambar 4.13 Grafik *sfc* vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1,5 kg

4.2.4 Rasio perbandingan udara bahan bakar (AFR)

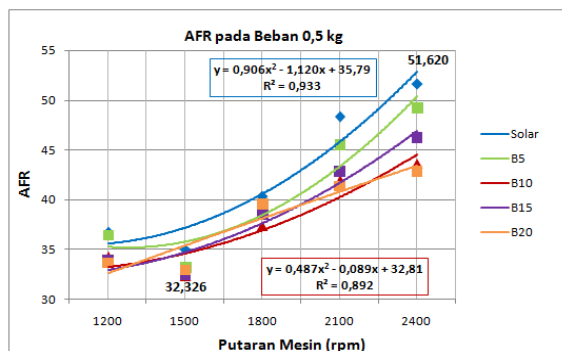
Rasio Perbandingan Udara – Bahan Bakar (*Air Fuel Ratio*/AFR) dari masing-masing bahan bakar yang diuji dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

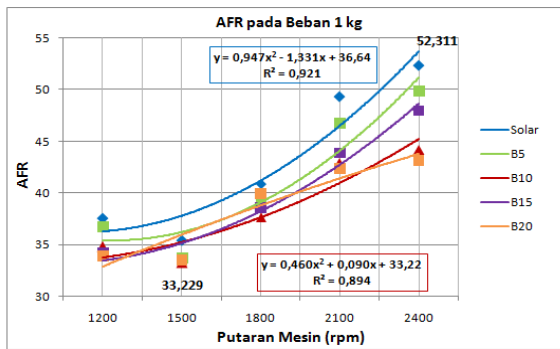
Tabel 4.9 AFR tiap jenis bahan bakar dengan variasi beban dan putaran

Putaran Mesin (rpm)	Beban (kg)	AFR				
		Solar	solar 95% + biodiesel minyak jelantah 5%	solar 90% + biodiesel minyak jelantah 10%	solar 85% + biodiesel minyak jelantah 15%	solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20%
1200	0,5	36,716	36,446	34,268	33,955	33,633
	1	37,514	36,716	34,783	34,212	33,891
	1,5	38,066	37,268	35,314	34,739	34,154
1500	0,5	34,995	33,219	32,326	32,432	32,917
	1	35,363	33,755	33,229	33,551	33,495
	1,5	35,550	33,755	33,415	33,744	33,891
1800	0,5	40,322	38,648	37,354	38,551	39,526
	1	40,869	38,990	37,682	38,551	39,908
	1,5	41,242	39,338	38,015	41,372	40,695
2100	0,5	48,347	45,550	41,941	42,859	41,360
	1	49,288	46,781	42,931	43,883	42,364
	1,5	50,265	47,701	43,444	44,236	42,885
2400	0,5	51,620	49,207	43,630	46,203	42,813
	1	52,311	49,892	44,204	47,973	43,118
	1,5	53,565	51,140	45,246	46,515	44,382

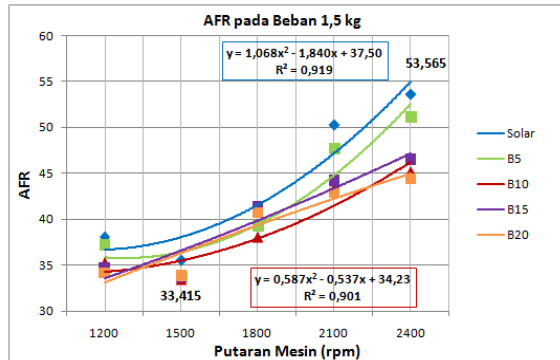
Perbandingan AFR untuk masing-masing jenis campuran bahan bakar dengan variasi beban dan putaran dapat dilihat pada gambar grafik berikut:



Gambar 4.14 Grafik AFR vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 0,5 kg



Gambar 4.15 Grafik AFR vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1 kg



Gambar 4.16 Grafik AFR vs Putaran Mesin (rpm) untuk Beban 1,5 kg

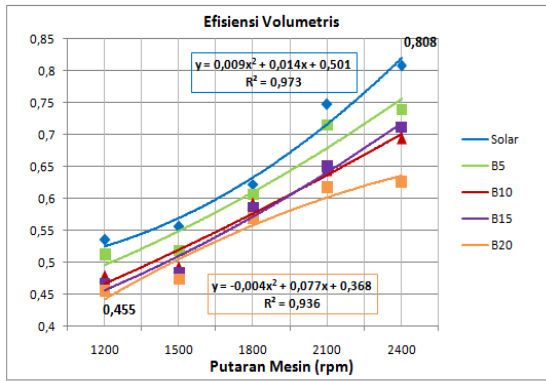
4.2.5 Efisiensi Volumetris

Efisiensi Volumetris (*volumetric efficiency*) untuk motor bakar 4-langkah dihitung dengan rumus berikut:

$$\eta_v = \frac{2 \cdot \dot{m}_a}{60 \cdot N \cdot \rho_a \cdot V_s}$$

Tabel 4.10 Efisiensi volumetris (η_v) tiap jenis bahan bakar dengan variasi beban dan putaran

Putaran Mesin (rpm)	Beban (kg)	Efisiensi Volumetris (η_v)				
		Solar	solar 95% + biodiesel minyak jelantah 5%	solar 90% + biodiesel minyak jelantah 10%	solar 85% + biodiesel minyak jelantah 15%	solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20%
1200	0,5	0,535	0,512	0,478	0,467	0,455
	1	0,535	0,512	0,478	0,467	0,455
	1,5	0,535	0,512	0,478	0,467	0,455
1500	0,5	0,555	0,519	0,492	0,482	0,473
	1	0,555	0,519	0,492	0,482	0,473
	1,5	0,555	0,519	0,492	0,482	0,473
1800	0,5	0,622	0,607	0,592	0,584	0,569
	1	0,622	0,607	0,592	0,584	0,569
	1,5	0,622	0,607	0,592	0,584	0,569
2100	0,5	0,748	0,715	0,644	0,650	0,618
	1	0,748	0,715	0,644	0,650	0,618
	1,5	0,748	0,715	0,644	0,650	0,618
2400	0,5	0,808	0,740	0,694	0,711	0,626
	1	0,808	0,740	0,694	0,711	0,626
	1,5	0,808	0,740	0,694	0,711	0,626



Gambar 4.17 Grafik efisiensi volumetris (η_v) vs Putaran Mesin (rpm)

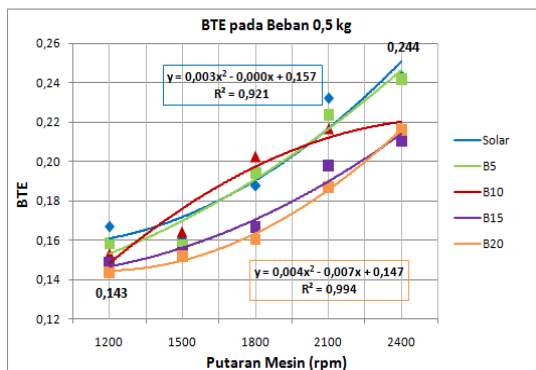
4.2.6. Efisiensi Thermal Brake

Efisiensi *thermal brake* (*brake thermal efficiency*, η_b) merupakan perbandingan antara daya keluaran aktual terhadap laju panas rata-rata yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar. Efisiensi *thermal brake* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

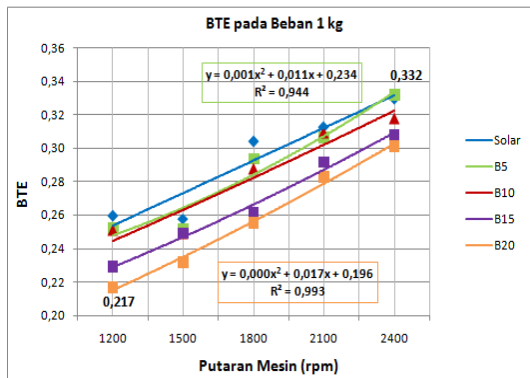
$$\eta_b = \frac{P_B}{m_f \cdot CV} \times 3600$$

Tabel 4.11 Efisiensi termal brake (η_b) tiap jenis bahan bakar dengan variasi beban dan putaran

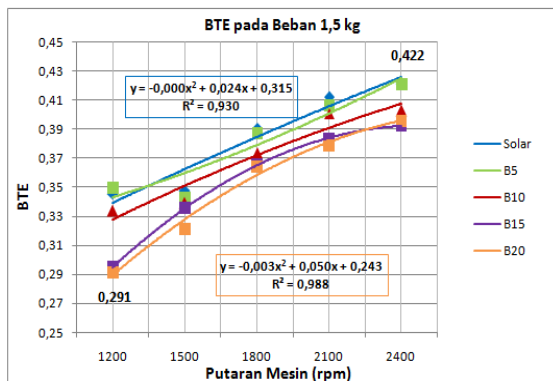
Putaran Mesin (rpm)	Beban (kg)	Efisiensi Termal Brake (η_b)				
		Solar	solar 95% + biodiesel minyak jelantah 5%	solar 90% + biodiesel minyak jelantah 10%	solar 85% + biodiesel minyak jelantah 15%	solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20%
1200	0,5	0,167	0,159	0,153	0,149	0,143
	1	0,260	0,252	0,251	0,229	0,217
	1,5	0,346	0,350	0,334	0,295	0,291
1500	0,5	0,160	0,158	0,164	0,153	0,152
	1	0,258	0,252	0,249	0,249	0,232
	1,5	0,348	0,343	0,339	0,336	0,321
1800	0,5	0,187	0,194	0,203	0,166	0,160
	1	0,304	0,294	0,288	0,262	0,255
	1,5	0,391	0,388	0,374	0,366	0,365
2100	0,5	0,232	0,224	0,217	0,198	0,187
	1	0,313	0,307	0,309	0,292	0,283
	1,5	0,412	0,407	0,401	0,384	0,379
2400	0,5	0,244	0,242	0,217	0,211	0,216
	1	0,330	0,332	0,318	0,308	0,301
	1,5	0,422	0,421	0,403	0,393	0,396



Gambar 4.18 Grafik BTE vs Putaran Mesin untuk Beban 0,5 kg



Gambar 4.19 Grafik BTE vs Putaran Mesin untuk Beban 1 kg



Gambar 4.20 Grafik BTE vs Putaran Mesin untuk Beban 1,5 kg

5.1. Kesimpulan

- Pada pengujian nilai HHV dengan menggunakan Bom Kalorimeter, nilai HHV tertinggi terdapat pada bahan bakar solar adalah 45155,825 (kJ/kg), dan nilai HHV terendah pada campuran bahan bakar solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20% (B20) adalah 37889,370 (kJ/kg).
- Pada pengujian dengan menggunakan variasi campuran bahan bakar solar + biodiesel minyak jelantah :
- Torsi terendah terjadi pada pembebanan 0,5 (kg) dengan bahan bakar solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20% (B20) pada putaran 1200 (rpm) yaitu sebesar 1,6 (Nm). Torsi tertinggi terjadi pada pembebanan 1,5 (kg) dengan bahan bakar solar pada putaran 2400 (rpm) yaitu sebesar 5,6 (Nm).
- Daya terendah terjadi pada pembebanan 0,5 kg dengan bahan bakar solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20% (B20) pada putaran 1200 rpm yaitu sebesar 0,201 (kW). Daya tertinggi terjadi pada pembebanan 1,5 kg dengan bahan bakar solar pada putaran 2400 rpm yaitu sebesar 1,382 (kW).
- Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc) terendah terjadi pada pembebanan 1,5 kg dengan bahan bakar solar pada putaran 2400 rpm yaitu sebesar 211,349 (g/kWh). Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc) tertinggi terjadi pada pembebanan 0,5 kg dengan bahan bakar solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20% (B20) pada putaran 1200 rpm yaitu sebesar 651,741 (g/kWh).
- Perbandingan Udara – Bahan Bakar (AFR) terendah terjadi pada pembebanan 0,5 kg dengan bahan bakar solar 90% + biodiesel minyak jelantah 10% (B10) pada putaran 1500 rpm yaitu sebesar 32,326. Perbandingan Udara – Bahan Bakar (AFR) tertinggi terjadi pada pembebanan 1,5 kg dengan bahan bakar solar pada putaran 2400 rpm yaitu sebesar 53,565.
- Efisiensi volumetris (η_v) terendah terjadi pada bahan bakar solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20% (B20) pada putaran 1200 rpm yaitu sebesar 0,455 atau 45,5 %. Efisiensi volumetris (η_v) tertinggi terjadi pada bahan bakar solar pada putaran 2400 rpm yaitu sebesar 0,808 atau 80,8%.

- Efisiensi termal brake (η_b) terendah terjadi pada pembebanan 0,5 kg dengan bahan bakar solar 80% + biodiesel minyak jelantah 20% (B20) pada putaran 1200 rpm yaitu sebesar 0,143 (14,3%). Efisiensi termal brake (η_b) tertinggi terjadi pada pembebanan 1,5 kg dengan bahan bakar solar pada putaran 2400 rpm yaitu sebesar 0,422 (42,2%).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arismunandar, Wiranto, Motor Bakar Torak, Penerbit ITB Bandung, Bandung, 1988.
[2] www.pertamina.com
[3] google.com/biodiesel
[4] Thayab, Awaluddin, Ir., M.Sc., Buku Panduan Praktikum Bom Kalorimeter, Laboratorium Motor Bakar – Jurusan teknik Mesin USU, Medan, 2003.
[5] Manual Book of TD110 TD115 Test Bed and Instrumentation for Small Engines, TQ Education and Training Ltd – Products Division, 2000.