

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN BAHAN BAKAR GASOHOL BE-20 DAN BENSIN JENIS PERTAMAX TERHADAP PRESTASI MESIN KENDARAAN KIJANG 7K

Budi Harjanto¹, Aryananta Lufti², Frangky Silitonga³

Teknik Mesin Pertahanan. Akademi Militer Magelang^{1,2}, Politeknik Pariwisata Batam³
 budiharjanto@nikmesinhan.akmil.ac.id, aryanantalufti@nikmesinhan.akmil.ac.id, frangky@btp.ac.id

Abstract

This research was conducted to determine the performance of an engine using a gasoline-ethanol fuel blend produced by the Enduro XL engine. To evaluate engine performance, calculations were carried out on effective power, fuel consumption, specific fuel consumption, and mass flow rate. In addition, theoretical mass flow rate, air-fuel ratio, volumetric efficiency, and thermal efficiency were also examined. The experiment was carried out under five variations of engine speed with a constant load, using only one type of fuel, namely Pertamina (gasoline) blended with 20% ethanol. The test results showed that the average power produced by the blended fuel was greater than that of pure gasoline. Fuel consumption increased with higher engine speed because the octane number of the gasoline-ethanol blend was higher than that of pure gasoline, making it more easily combustible. However, the higher the ethanol content in the fuel blend, the lower the air-fuel ratio, resulting in less complete combustion in the combustion chamber. The thermal efficiency of the blended fuel was generally lower than that of pure Pertamina, except for the 20% ethanol blend. Therefore, engine performance using Pertamina fuel was higher than that using BE-20 gasoline. However, fuel consumption for Pertamina was greater compared to BE-20 gasoline.

Keywords: Fuel, Thermal Efficiency.

Abstrak

Penelitian ini dilakukan adalah untuk mengetahui prestasi mesin pada campuran bahan bakar bensin dan etanol yang dihasilkan oleh mesin Enduro XL. Untuk mengetahui prestasi mesin maka dilakukan perhitungan daya efektif, pemakaian bahan bakar, pemakaian bahan bakar spesifik, laju aliran massa. Sebenarnya, laju aliran massa teoritis, perbandingan udara bahan bakar, efisiensi volumetrik, efisiensi termal. Dan juga penelitian dilakukan pada kondisi lima variasi putaran dengan beban konstan serta bahan bakar yang digunakan hanya satu jenis yaitu pertamax (bensin) dengan etanol 20%. Dari hasil pengujian bahwa rata-rata daya untuk bahan bakar campuran lebih besar dari premium murni, adanya kenaikan pemakaian bahan bakar seiring dengan meningkatnya putaran karena angka oktan campuran bahan bakar bensin dan etanol lebih besar dibandingkan dengan bensin murni sehingga mudah terbakar, semakin tinggi campuran bahan bakar maka semakin rendah perbandingan udara dengan bahan bakar maka pembakaran yang terjadi kurang sempurna masuk kedalam ruang bakar, efisiensi thermal yang dihasilkan bahan bakar campuran rata-rata lebih rendah dari pertamax murni kecuali pada campuran 20 %. Untuk itu prestasi mesin yang menggunakan bahan bakar pertamax lebih tinggi dari prestasi mesin yang menggunakan bahan bakar gasohol BE-20. Konsumsi bahan bakar untuk bahan bakar pertamax lebih besar dibandingkan bahan bakar gasohol BE-20.

Kata Kunci: Bahan bakar, Efisiensi termal.

PENDAHULUAN

Penggunaan pertamax telah menimbulkan emisi berbagai gas-gas yang menjadi polutan berbahaya di udara. Disamping itu, bahan aditif timbal yang selama ini digunakan sebagai peningkat angka (octane enhancer) pada pertamax ikut berkontribusi terhadap pencemaran udara tersebut. Penggunaan MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) sebagai pengganti TEL (Tetra Ethyl Lead) merupakan upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan, namun bahan tersebut harus diimpor, dan penggunaannya sudah mulai dilarang di berbagai Negara. Bioetanol dapat menggantikan fungsi dari TEL (Tetra Ethyl Lead) dan MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) sebagai campuran pada pertamax. Bioetanol memiliki angka oktan 117 atau lebih tinggi dibandingkan bensin yang hanya 87-88, sehingga campuran pertamax-bioetanol secara langsung akan meningkatkan angka oktan.

LANDASAN TEORI

1. Prestasi Mesin Kendaraan.

Prestasi mesin merupakan kemampuan mesin dalam mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik. Parameter prestasi mesin dapat diukur melalui beberapa indikator, yaitu:

a. Daya Efektif (Brake Power / Be)

Daya efektif adalah daya yang dihasilkan mesin pada poros keluar setelah mengalami kerugian mekanis. Nilai ini diperoleh dari hasil pengukuran torsi dan putaran mesin.

$$Pe = \frac{2\pi \times N \times T}{60}$$

Ket :

Pe = Daya Efektif (Kw)
 N = Putaran Masin
 T = Torsi (Nm)





b. Torsi (Torque).

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan mesin pada poros engkol akibat proses pembakaran. Torsi berhubungan erat dengan kapasitas mesin dalam menggerakkan beban kendaraan.

c. Konsumsi Bahan Bakar (Fuel Consumption)

Konsumsi bahan bakar dapat dinyatakan dalam Specific Fuel Consumption (SFC), yaitu jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif tertentu. Konsumsi bahan bakar spesifik ialah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal-hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

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

$$SFC = \frac{mf}{Pe}$$

mf = laju aliran massa bahan bakar (kg/jam)

Pe = daya efektif (kW)

2. Efisiensi Termal dan Efisiensi Volumetris.

- Efisiensi termal menunjukkan perbandingan energi keluaran (daya efektif) dengan energi kimia bahan bakar.
- Efisiensi volumetris mengukur kemampuan mesin dalam mengisap udara ke dalam silinder dibandingkan dengan kapasitas totalnya.

Mesin Toyota 7K adalah mesin bensin 4 langkah dengan konfigurasi 4 silinder segaris, kapasitas 1.8 liter (1781 cc). Mesin ini menggunakan sistem karburator atau injeksi (pada varian tertentu), berpendingin air, dan berfungsi sebagai penggerak utama kendaraan Toyota Kijang generasi tertentu.

Karakteristik mesin bensin 7K antara lain:

- Perbandingan kompresi: sekitar 8,8 : 1
- Tipe pembakaran: spark ignition (SI)
- Daya maksimum: ± 58 kW pada 4.800 rpm
- Torsi maksimum: ± 135 Nm pada 2.800 rpm

Karena mesin ini termasuk mesin spark ignition, maka karakteristik bahan bakar sangat berpengaruh terhadap performanya, terutama nilai oktan dan kandungan energi per liter.

3. Bahan Bakar Bensin (Pertamax)

Bensin merupakan bahan bakar hidrokarbon ringan yang digunakan pada mesin pembakaran dalam tipe SI (spark ignition). Salah satu parameter penting dari bensin adalah angka oktan, yang menunjukkan kemampuan bahan bakar menahan gejala ketukan (knocking).

- Pertamax memiliki angka oktan (RON) 92–95, sesuai untuk mesin dengan rasio kompresi menengah hingga tinggi.
- Pertamax memiliki kandungan energi sekitar 44 MJ/kg.
- Keunggulan Pertamax dibanding Premium adalah pembakaran lebih bersih, efisiensi lebih baik, serta emisi gas buang lebih rendah.

4. Gasohol BE-20

Gasohol adalah campuran antara bensin dan etanol. Pada campuran BE-20, kandungannya adalah 20% bioetanol dan 80% bensin.

Karakteristik gasohol:

- Bioetanol (C_2H_5OH) merupakan bahan bakar terbarukan hasil fermentasi biomassa.
- Angka oktan etanol cukup tinggi (sekitar RON 108), sehingga pencampurannya dengan bensin dapat meningkatkan nilai oktan bahan bakar.
- Kandungan energi etanol lebih rendah ($\pm 26,8$ MJ/kg) dibandingkan bensin, sehingga konsumsi bahan bakar cenderung lebih tinggi.
- Etanol bersifat oksigenat, sehingga membantu pembakaran lebih sempurna, mengurangi emisi CO dan HC.
- Kelemahan penggunaan gasohol:
- Sifat higroskopis (menyerap air) yang dapat menurunkan kualitas bahan bakar.
- Potensi korosi pada komponen logam dan degradasi karet/silang dalam sistem bahan bakar.

5. Perbandingan Bensin Pertamax dan Gasohol BE-20

- Nilai Oktan: Gasohol BE-20 memiliki oktan lebih tinggi dari Pertamax biasa karena pengaruh etanol, sehingga lebih tahan knocking.

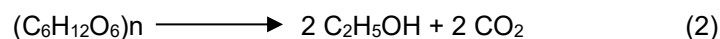
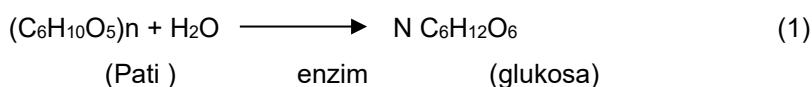


- b. Kandungan Energi: Pertamina lebih tinggi kandungan energinya dibanding BE-20, sehingga menghasilkan daya lebih besar pada volume bahan bakar yang sama.
 - c. Emisi: Gasohol lebih ramah lingkungan karena etanol memperkaya oksigen dalam pembakaran.
 - d. Konsumsi Bahan Bakar: BE-20 berpotensi meningkatkan konsumsi karena nilai kalor lebih rendah dibanding Pertamina.
6. Penelitian Terdahulu
- Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan campuran bensin-etanol (gasohol) dapat:
- a. Meningkatkan angka oktan bahan bakar (Yusgiantoro, 2010).
 - b. Mengurangi emisi karbon monoksida (CO) hingga 30–50% (Rif'an, 2015).
 - c. Menurunkan daya efektif mesin pada campuran di atas 20% etanol (Susanto, 2018).
- Dengan demikian, analisis perbandingan BE-20 dan Pertamina pada mesin Kijang 7K penting dilakukan untuk mengetahui sejauh mana perubahan prestasi mesin ditinjau dari daya, torsi, konsumsi bahan bakar, dan efisiensi mesin.
7. Pembuatan bioetanol yang menggunakan bahan baku tanaman yang menggunakan pati, dilakukan dengan cara mengubah pati menjadi gula (glukosa) larut air. Konversi bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dan tetes menjadi bioetanol ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Konversi bahan baku tanaman yang mengandung pati atau karbohidrat dan tetes menjadi bioetanol

Bahan baku		Kandungan gula dalam bahan baku (kg)	Jumlah Hasil Konversi Bioetanol (liter)	Perbandingan bahan Baku dan Bioetanol
Jenis	Konsumsi (kg)			
Ubi kayu	1000	250-300	166,6	6,5 : 1
Ubi jalar	1000	150-200	125	8 : 1
Jagung	1000	600-700	200	5 : 1
Sagu	1000	120-160	90	12 : 1
Tetes	1000	500	250	4 : 1

Pada proses perubahan pati menjadi gula larut air yang menggunakan metode hidrolisa enzim dilakukan dengan penambahan air dan enzim, selanjutnya dilakukan fermentasi gula menjadi etanol dengan menambah ragi. Reaksi yang terjadi pada proses produksi bioetanol secara sederhana ditunjukkan pada reaksi 1 dan 2 dibawah ini



Secara sederhana teknologi proses produksi bioetanol yang menggunakan bahan baku ubi kayu dapat dibagi dalam tiga tahap, yaitu gelatinasi, sakarifikasi, dan fermentasi. Pada proses gelatinisasi ubi kayu dihancurkan kemudian ditambah air sehingga akan diperoleh bubur ubi kayu, dimana pati yang dihasilkan diperkirakan mencapai 27-30%.

Pada umumnya, proses gelatinisasi dapat dilakukan dengan 2 cara :

- a. Bubur pati dipanaskan sampai dengan 1300C selama 30 menit, didinginkan sampai mencapai temperatur 950 yang diperkirakan memerlukan waktu sekitar 15 menit. Kemudian selama sekitar 75 menit, kondisi temperatur 950 C tersebut dipertahankan, sehingga total waktu yang dibutuhkan mencapai 2 jam.
- b. Pati langsung ditambah enzim temamyl, kemudian dipanaskan sampa mencapai temperature 1300 C selama 2 jam.

**METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

a. Studi Literatur. Studi literatur ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari bahan dasar yang akan dijadikan acuan referensi dalam melaksanakan penelitian sehingga penelitian berada pada jalur yang benar. Hal ini dilakukan dengan mengumpulkan teori-teori yang berasal dari buku-buku, handbook, tugas akhir dan jurnal-jurnal yang berkaitan dengan penelitian ini.

b. Studi Laboratorium. Studi laboratorium ini dilakukan dengan tujuan untuk mencari data-data dari hasil penelitian yang dilakukan. Dari data ini kemudian di olah dan dilakukan perhitungan sehingga bisa dijadikan acuan untuk dituangkan ke dalam bentuk grafik. Lalu grafik tersebut dianalisa dan diperoleh hasil penelitian.

c. Bahan Penelitian

Bahan yang menjadi objek pengujian ini adalah bahan bakar pertamax murni dan campuran pertamax dengan bioetanol dengan kadar :

- 1) Pertamax murni
- 2) Campuran pertamax-bioetanol (Pertamax 80% dan campuran Bioetanol 20%).

d. Alat

Alat yang dipakai dalam eksperimental ini terdiri dari :

- 1) Mesin bensin 4-langkah (*Tequiment type TD4A 024*) merupakan mesin uji yang digunakan untuk mendapatkan unjuk kerja motor bakar bensin.
- 2) Bom kalorimeter untuk menghitung nilai kalor bahan bakar.
- 3) Autologic gas analyzer untuk menguji emisi gas buang.
- 4) Alat bantu perbengkelan , seperti : kunci pas, kunci inggris, kunci ring, kunci L, obeng, tang , palu, kertas amplas dan lain sebagainya.
- 5) Stop watch untuk menentukan waktu yang dibutuhkan mesin uji untuk menghabiskan bahan bakar dengan volume sebanyak 50 ml.
- 6) Thermometer untuk menghitung perubahan suhu yang terjadi antara sebelum dan sesudah keluar air cooler.

e. Tempat atau lokasi penelitian.

Pengujian dilakukan di laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

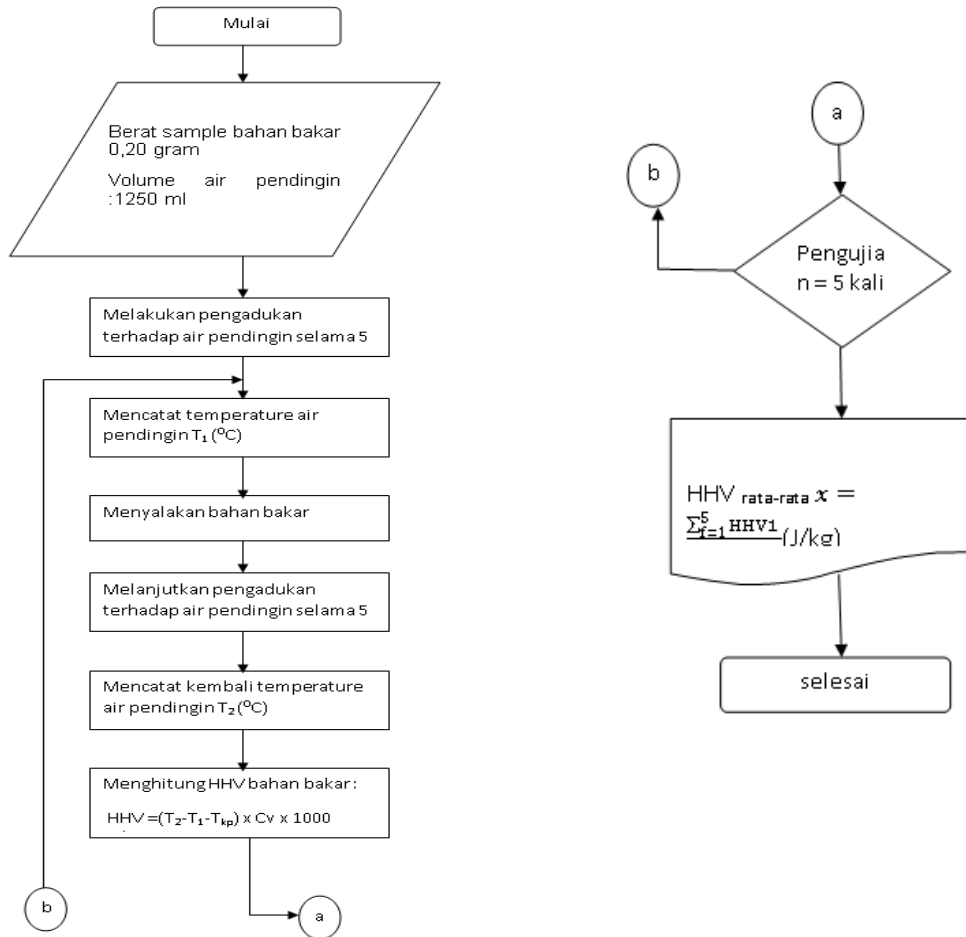
f. Urutan penelitian.

Adapun tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Mengisi cawan bahan bakar dengan bahan bakar yang akan diuji.
2. Menggulung dan memasang kawat penyalat pada tangkai penyalat yang ada pada penutup bom.
3. Menempatkan cawan yang berisi bahan bakar pada ujung tangkai penyalat, serta mengatur posisi kawat agar berada tepat diatas permukaan bahan bakar yang berada didalam cawan dengan menggunakan pinset.
4. Meletakkan tutup bom yang telah dipasang kawat penyalat dan cawan berisi bahan bakar pada tabung nya serta dikunci dengan ring "O" sampai rapat.
5. Mengisi bom dengan oksigen (30 bar).
6. Mengisi tabung calorimeter dengan air pendingin sebanyak 1250 ml.
7. Menempatkan bom yang telah terpasang kedalam tabung calorimeter.
8. Menghubungkan tangkai penyalat penutup bom ke kabel sumber arus listrik.
9. Menutup calorimeter dengan penutupnya yang dilengkapi dengan pengaduk.
10. Menghubungkan dan mengatur posisi pengaduk pada electromotor.
11. Menempatkan thermometer melalui lubang padap tutup calorimeter.
12. Menghidupkan electrometer selama 5 (lima) menit kemudian membaca dan mencatat temperature air pendingin pada thermometer.
13. Menyalakan kawat peyalat dengan menekan saklar.
14. Memastikan kawat penyalat telah menyala dan putus dengan memperhatikan lampu indicator selama electromotor terus bekerja.
15. Membaca dan mencatat kembali temperature air pendingin setelah 5 (lima) menit dari penyalatan berlangsung.
16. Mematikan electrometer pengaduk dan mempersiapkan peralatan untuk pengujian berikutnya.
17. Mengulang pengujian sebanyak 5(lima) kali berturut-turut.



Diagram alir pengujian nilai kalor bahan bakar yang dilakukan dengan penelitian ini dapat dilihat pada gambar.



g. Prosedur pengujian performansi motor bensin

Disini dilakukan pengujian dengan menggunakan mesin bensin 4-langkah 4-silinder (*tecQuipment type. TD4A 024*).



Gambar 3.2: TD4A 024 4- stroke Gasoline Engine

Tabel 3.1 spesifikasi TD4A 024 4- stroke Gasoline Engine

TD4A 024 4	stroke Gasoline Engine
Tahun pembuatan	1989
Type	tecQuipment TD4A 024
Langkah dan diameter	3.125 inch-nominal dan 3.5 inch
Perbandingan kompresi	10 : 1
Kapasitas	107 inch ³ (1.76 liter)
Valve type clearance	0.012 inch (0.3 mm) dingin
Firing order	1-3-4-2

Sumber : panduan prktikum Motor bakar Bensin Laboratorium Motor Bakar Derpartemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

Mesin ini juga dilengkapi dengan TD4A 024 Instrumentation Unit dengan spesifikasi sebagai berikut :

TD4A 024 Instrumentation Unit .	
Fuel tank Capacity	10 liter
Fast flow pipette	Graduated in 8 ml, 16 ml, and 32 ml
Tachometer	0 – 5000 rpm
Torquemeter	0 – 80 Nm
Exhaust temperature metre	0 - 1200 ^o C
Air flow manometer	Calibrated 0 – 40 mm water gauge

Sumber : panduan prktikum Motor bakar Bensin Laboratorium Motor Bakar Derpartemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM

Pada pengujian ini , akan diteliti performansi motor bensin serta komposisi emisi gas buang. Pengujian ini dilakukan pada 5 tingkat putaran mesin , yaitu : 1600, 1800, 2000, 2300, dan 2500 rpm serta 2 variasi beban yaitu 10 kg dan 25 kg .

Sebelum pengujian dilakukan , terlebih dahulu dilakukan pengkalibrasian terhadap torquemeter yang terdapat pada instrumentasi mesin uji dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Menghubungkan unit istrumentasi mesin ke sumber arus listrik.
- Memutar tombol *span* searah jarum jam sampai posisi maksimum.
- Mengguncangkan/ menggetarkan mesin pada bagian lengan beban.
- Memutar tombol zero, hingga jarum torquemeter menunjukkan angka nol.
- Memastikan bahwa penunjukan angka nol oleh *torquemetre* telah akurat dengan mengguncangan mesin kembali.
- Menggantungkan beban sebesar 10 kg pada lengan beban.
- Mengguncangkan/mennggetarkan mesin sampai posisi jarum *torquemetre* menunjukkan angka tetap.
- Melepaskan beban dari lengan beban.

Pengkalibrasian ini dilakukan setiap kali akan dilakukan pengujian sebelum mesin dihidupkan. Setelah dilakukan pengkalibrasian, maka pengujian dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- Menghidupkan pompa air pendingin dan memastikan sirkulasi air pendingin mengalir dengan lancar melalui mesin.
- Menghidupkan mesin dengan cara memutar starter, memanaskan mesin selama 10menit pada putaran rendah (± 1600 rpm).
- Mengatur putaran mesin pada 1600 rpm dengan menggunakan tuas kecepatan dan memastikan melalui pembacaan tachometer.
- Mengantungkan beban sebesar 10kg pada lengan beban.
- Menutup saluran bahan bakar dari tangki dengan memutar katup saluran bahan bakar sehingga permukaan bahan bakar didalam *pipette* turun.
- Mencatat waktu yang dibutuhkan mesin untuk menghabiskan **50ml** bahan bakar dengan menggunakan stopwatch dengan memperhatikan ketinggian permukaan bahan bakar didalam *pipette*.



- g. Mencatat torsi melalui pembacaan *torquemetre*, temperatur gas buang melalui *exhaust temperature metre*, tekanan udara masuk melalui *air flow manomtere* dan temperatur air masuk dan keluar melalui thermometer.
 - h. Membuka katup bahan bakar sehingga *pipette* kembali oleh bahan bakar yang berasal dari tangki.
- Mengulang pengujian untuk variasi putaran dan beban mesin.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh berdasarkan hasil pembacaan langsung alat uji mesin bensin 4-langkagh 4-silinder (*Tecquipment type. TD4A 024*) melalui unit instrumentasi dan perlengkapan yang digunakan pada saat pengujian antara lain:

- a. Torsi (N.m) melalui *torquemeter*.
- b. Putaran (rpm) melalui *tachometer*.
- c. Tinggi kolom udara (mm H₂O), melalui pembacaan *air flow manometer*.
- d. Temperatur air masuk (°C), melalui pembacaan *thermometer*.
- e. Temperature air keluar (°C), melaui pembacaan *thermometer*.
- f. Temperatur gas buang (°C), melaui pembacaan *exhaust temperature metre*.
- g. Waktu yang menghabiskan 50 ml bahan bakar (s), melalui pembacaan *stopwatch*.

Besarnya torsi yang dihasilkan berdasarkan hasil pembacaan unit instrumentasi dari masing-masing pengujian baik dengan menggunakan bahan bakar pertamax, gasohol BE-20, pada tiap kondisi pembebanan dan putaran dapat dilihat pada tabel 5.1 Sebagai berikut :

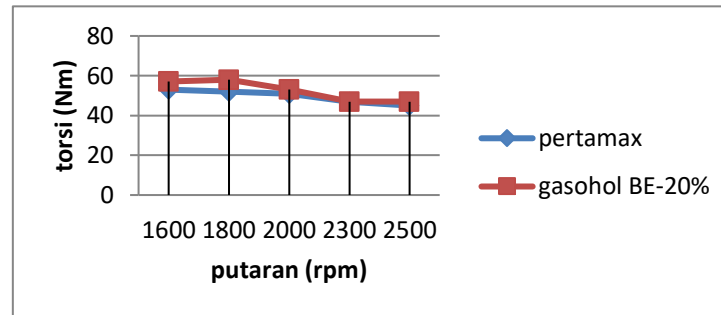
n	Torsi	Udara ruang			Udara masuk		Aliran pendingin		
rpm	Nm	P _r mm Hg	θ °C	ø %	Δp mmH ₂ O	T _{in} °C	T _{out} °C	Aliran L/jam	bb 50cc /detik
2500	45	751	27	45	22,5	48	56	19,0	15,66
2300	47	751	27	45	22,0	50	60	17,1	16,90
2000	51	751	27	45	21,5	56	67	14,9	18,99
1800	52	751	27	45	21,0	56	68	13,0	21,31
1600	53	751	27	45	20,5	56	70	10,8	24,05

Tabel 4.1 Uji prestasi mesin bensin kijang 7k dengan gasohol BE-20%

n	Torsi	Udara ruang			Udara masuk		Aliran pendingin		
rpm	Nm	P _r mm Hg	θ °C	ø %	Δ p mmH ₂ O	T _{in} °C	T _{out} °C	Aliran L/jam	bb 50cc /detik
2500	47	751	27	45	22,5	53	62	18,5	15,74
2300	47	751	27	45	22,0	52	64	17,1	17,59
2000	53	751	27	45	21,5	53	65	14,8	19,32
1800	58	751	27	45	21,0	53	66	13,0	21,20
1600	57	751	27	45	20,5	53	67	11,0	24,14



Berdasarkan hasil pengujian pada setiap variasi beban dan putaran dapat dilihat pada gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1 grafik torsi vs putaran

Berdasarkan hasil pengujian maka didapat pada gambar diatas ,torsi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar campuran *gasohol BE-20* lebih unggul dibandingkan dengan torsi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar pertamax murni. Torsi maksimum yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar campuran *gasohol BE- 20* terjadi pada putaran 1800 rpm yaitu sebesar 58 Nm. Sedangkan torsi tertinggi yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar pertamax murni terjadi pada putaran 1600 yaitu sebesar 53 Nm.

Daya

Besarnya daya yang dihasilkan dari masing-masing pengujian baik dengan menggunakan bahan bakar pertamax, maupun *gasohol BE-20* pada tiap kondisi pembebanan dan putaran dapat dihitung berdasarkan persamaan (2.1) sebagai berikut :

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} T$$

Dimana : P_e = daya keluaran (watt)
 n = putaran mesin (rpm)
 T = torsi (N.m)

Untuk pengujian dengan menggunakan bahan bakar pertamax dengan putaran 1600 rpm . maka besar daya yang diperoleh :

$$P_e = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1600}{60} \times 53$$

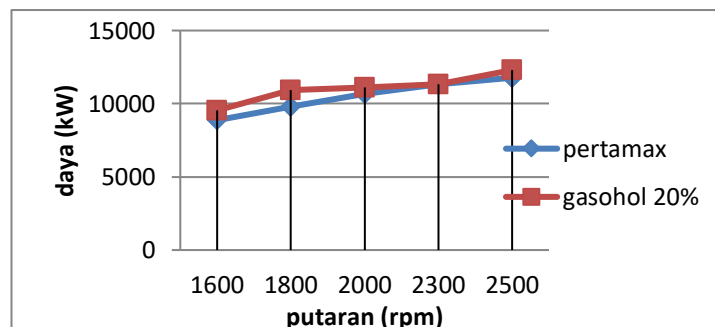
$$= 8.875,7 \text{ kW}$$

Dengan cara yang sama untuk setiap jenis pengujian, pada putaran dan beban yang bervariasi, maka hasil perhitungan daya untuk kondisi tersebut dapat dilihat pada tabel 4.3 dibawah ini :

Tabel 4.3 Daya

Putaran (rpm)	Daya (kW)	
	Pertamax	Gasohol BE-20
1600	8.875	9.545
1800	9.796	10.927
2000	10.676	11.094
2300	11.314	11.314
2500	11.775	12.298

Perbandingan besarnya daya untuk masing-masing pengujian pada setiap variasi putaran dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini :





Gambar 4.2 grafik daya vs putaran

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc)

Konsumsi bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption, Sfc*) dari masing masing pengujian pada tiap variasi beban dan putaran dihitung dengan menggunakan persamaan (2.2) berikut :

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

Dimana :

Sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik (gr/kW.h)

m_f = laju aliran bahan bakar (kg/jam)

Besarnya laju aliran massa bahan bakar (m_f) dihitung dengan persamaan (2.3) :

$$m_f = \frac{sgf \cdot Vf \cdot 10^3}{t_f} \times 3600$$

dimana :

sgf = specific gravity

Vf = volume bahan bakar yang diuji (dalam hal ini 50 ml)

t_f = waktu untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak volume uji (detik) .

Harga untuk sgf untuk *bioetanol (BE-100)* adalah 0,794 dan harga sgf untuk pertamax adalah 0,739 sedangkan untuk bahan bakar yang merupakan campuran antara bioetanol dengan pertamax, harga sgf dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pendekatan berikut :

$$sgf_{BExx} = (BE \times 0,794) + (P \times 0,739)$$

dimana :

BE = persentase kandungan bioetanol dalam bahan bakar campuran

P = persentase kandungan pertamax dalam bahan bakar campuran

Untuk gasohol BE-20 dengan presentase bioetanol 0,20 dan pertamax 0,80 maka :

$$sgf_{(BE-20)} = (0,20 \times 0,794) + (0,80 \times 0,739) = 0,094$$

Dengan memasukkan harga sgf = 0,094 harga t_f yang diambil dari percobaan (Tabel 4.2) dan harga Vf yaitu sebesar 50 ml, maka laju aliran bahan bakar untuk pengujian dengan menggunakan bahan bakar *gasohol BE-20*, pada putaran 1600 rpm adalah :

$$m_f = \frac{0,094 \times 50 \cdot 10^{-3}}{24,05} \times 3600$$

$$= 0,70 \text{ kg/jam}$$

Dengan diperolehnya besar laju aliran bahan bakar, maka besar konsumsi bahan bakar spesifiknya adalah :

$$sfc = \frac{0,70 \times 10^3}{8.875}$$

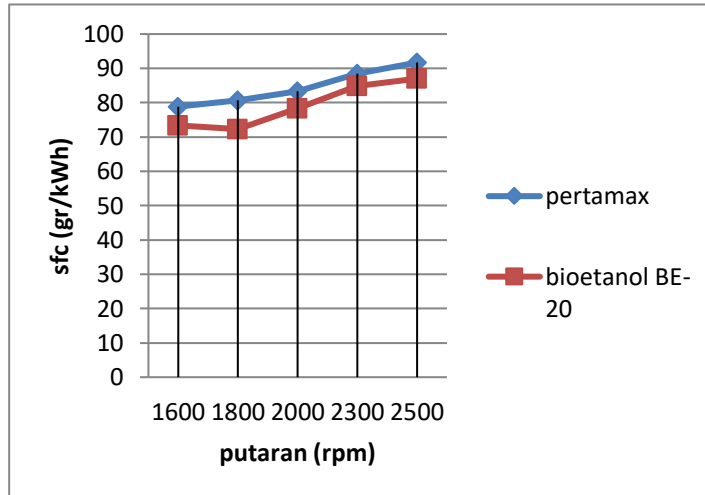
$$= 78.87 \text{ gr/kWh}$$

Dengan cara yang sama untuk setiap jenis pengujian pada putaran yang bervariasi, maka hasil perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik untuk kondisi tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini :
Tabel 4.4 konsumsi bahan spesifik (Sfc)

Putaran (rpm)	Konsumsi bahan spesifik (sfc)	
	pertamax	Gasohol BE-20
1600	78.87	73.33
1800	80.64	72.30
2000	83.36	78.42
2300	88.38	84.85
2500	91.71	87.00



Perbandingan harga sfc untuk masing-masing pengujian pada setiap variasi putaran dapat dilihat pada grafik 4. 3



Gambar 4. 3 Grafik Sfc vs putaran yang bervariasi

Berdasarkan hasil perhitungan Sfc maka didapat, bahan bakar pertamax memiliki Sfc yang lebih besar yaitu sebesar 91,71 gr/kWh yang terjadi pada putaran 2500 rpm, sedangkan pada putaran yang sama untuk bahan bakar gasohol BE-20 menghasilkan Sfc sebesar 87,00 gr/kWh.

Rasio perbandingan udara bahan bakar (AFR)

Rasio perbandingan bahan bakar (*air fuel ratio*) dari masing-masing jenis pengujian dihitung berdasarkan persamaan (2.1) berikut : $AFR = \frac{m_a}{m_f}$

Dimana :

AFR = air fuel ratio
 m_a = laju aliran udara (kg/jam)

Besarnya laju aliran udara (m_a) diperoleh dengan membandingkan besarnya tekanan udara masuk yang telah diperoleh melalui pembacaan *air flow manometer* (tabel) terhadap kurva *viscous flow calibration*. Pada pengujian ini, dianggap tekanan udara (P_a) sebesar 100 kPa(=1 bar) dan temperatur (T_a) sebesar 27° C. Kurva kalibrasi dikondisikan untuk pengujian pada tekanan udara 1013 mb dan temperatur 20°C, maka besarnya laju aliran udara yang dipeoleh harus dikalikan dengan faktor koreksi berikut

$$\begin{aligned}
 C_f &= 3564 \times P_a \times \frac{(T_a + 114)}{T_a^{2,5}} \\
 &= 3564 \times 1 \times \frac{[(27 + 273) + (114)]}{(27 + 273)^{2,5}} \\
 &= 0,946531125
 \end{aligned}$$

Manometer reading mmH₂O

Untuk pengujian dengan menggunakan *gasohol BE-20*, yang menggunakan putaran 1600 rpm, udara masuk = 20,5 mm H₂O .(Tabel 4.). Dari kurva kalibrasi diperoleh laju aliran massa udara untuk tekanan udara masuk = 10 mm H₂O adalah sebesar 11.38 kg/jam, sehingga untuk tekanan udara masuk = 20,5 mm H₂O diperoleh laju aliran udara sebesar 10.8 L/jam, setelah dikalikan faktor koreksi (C_f), maka laju aliran massa udara yang sebenarnya :

$$\begin{aligned}
 m_a &= 11,0 \times 0,946531125 \\
 &= 10,41 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, maka diperoleh besar laju aliran massa udara (m_a) untuk masing-masing pengujian pada tiap variasi putaran. Dengan diperolehnya harga laju aliran massa bahan bakar, maka dapat dihitung besarnya rasio udara bahan bakar (AFR) :

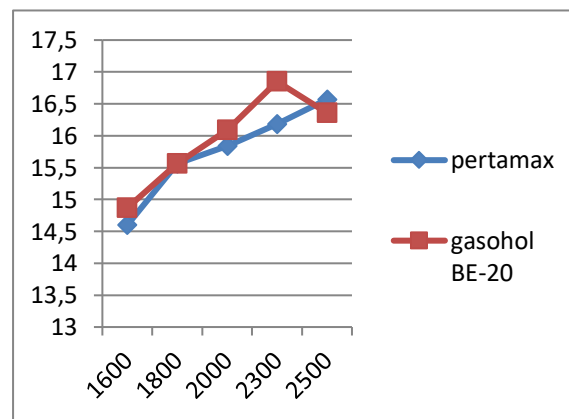
$$\begin{aligned}
 AFR &= \frac{10,41}{0,70} \\
 &= 14,87
 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama untuk setiap jenis pengujian , pada putaran yang bervariasi, maka hasil perhitungan udara-bahan bakar (AFR) untuk kondisi dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.5 perbandingan udara-bahan bakar (AFR)

Putaran (rpm)	Perbandingan udara-bahan bakar (AFR)	
	Pertamax	Gasohol BE-20
1600	14.6	14.87
1800	15.56	15.56
2000	15.84	16.09
2300	16.18	16.85
2500	16.57	16.36

Perbandingan besarnya AFR untuk masing-masing pengujian pada setiap putaran dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4.4 Grafik AFR vs putaran

Berdasarkan perhitungan AFR maka didapat AFR tertinggi dari *gasohol BE-20* terjadi pada putaran tinggi yaitu 2300 rpm sebesar 16,58 . pada putaran 2500 untuk *pertamax* diperoleh sebesar 16,57 yang masih lebih rendah dari pada *gasohol BE-20* .

Efisiensi Volumetris

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

$$n_v = \frac{2.m_a}{60.n} + \frac{1}{\rho_a.V_1} \times 100\%$$

Dimana :

m_a = laju aliran udara (kg/jam)

ρ_a = kerapatan udara (kg/m³)

V_1 = volume langkah torak = 0,5 x 10⁻³ m³ [berdasarkan spesifikasi mesin]

Diasumsikan udara (R= 29.3 kg.m/kg.K) sebagai gas ideal sehingga massa jenis udara dapat diperoleh dari persamaan berikut :

$$\rho_a = \frac{P_a}{R.T_a}$$

Dengan memasukkan harga tekanan dan temperatur udara yaitu sebesar 1 atm (10332.27 kg/m²) dan 27°C , maka diperoleh massa jenis udara yaitu sebesar :

$$\rho_a = \frac{10332.27}{29.3.(27+273)}$$

$$= 1.2 \text{ kg/m}^3$$



Dengan diperolehnya massa jenis udara maka dapat dihitung besarnya efisiensi volumetris (n_v) untuk masing-masing pengujian pada variasi putaran. Untuk pengujian dengan menggunakan gasohol BE-20 pada putaran 1600 rpm :

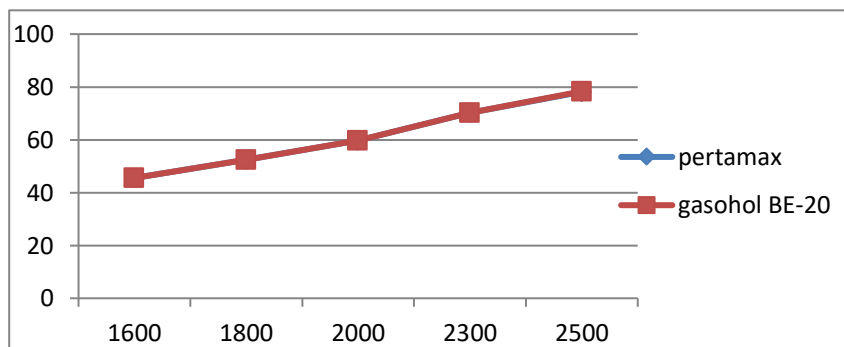
$$n_v = \frac{2.20,5}{60.1600} \cdot \frac{1}{1,2.0,5 \times 10^{-3}} \times 100\%$$

Harga efisiensi volumetris untuk masing-masing pengujian yang dihitung dengan cara perhitungan yang sama dengan perhitungan diatas dapat dilihat pada tabel di bawah ini

Tabel 4. Hasil perhitungan efisiensi volumetris .

Putaran (rpm)	Efisiensi volumetris (%)	
	Pertamax	Gasohol BE-20
1600	45.55	45.55
1800	52.5	52.5
2000	59.72	59.72
2300	70.28	70.28
2500	78.13	78.13

Perbandingan besarnya efisiensi volumetris untuk masing-masing pengujian pada setiap variasi putaran dapat dilihat pada gambar 4. 5



Gambar 4.5 grafik efisiensi volumetris vs putaran

Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi volumetris maka untuk pertamax pada putaran 2000 rpm 59.72%. Sedangkan efisiensi volumetris untuk gasohol BE-20 juga pada putaran yang sama sebesar 59.72 %. Efisiensi volumetris menunjukkan perbandingan antara jumlah udara yang terisap sebenarnya terhadap jumlah udara yang terhisap sebanyak volume langkah torak untuk setiap langkah isap. Efisiensi volumetris semakin meningkat seiring meningkatnya putaran mesin.

Hasil pengujian

a. Performasi

Data hasil pengujian performasi berikut diambil pada kondisi maksimum dan pada tiap putaran tertentu. Dibandingkan terhadap pertamax, kondisi yang dihasilkan Gasohol BE-20 untuk performasi mesin motor bensin 4-langkah 4-silinder sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil uji performasi

Bahan bakar	Performasi				
	Torsi (N.m)	Daya (watt)	Sfc (gr/kW.h)	AFR	Eff. Volumetris (%)
Pertamax	53 (n=1600 rpm)	11.775 (n=2500 rpm)	91.71 (n=2500 rpm)	16.57 (n= 2500 rpm)	78.13 (n=2500 rpm)
Gasohol BE-20	58 (n=1800 rpm)	12.298 (n=2500 rpm)	87.00 (n=2500 rpm)	16.85 (n=2500 rpm)	78.13 (n=2500 rpm)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan :

Adapun kesimpulan yang didapat dari pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Semakin tinggi kadar bioetanol dalam campuran pertamax-bioetanol akan menaikkan nilai kalor bahan bakar, karena nilai kalor bioetanol lebih tinggi dibandingkan dengan pertamax. Sehingga nilai kalor bahan bakar gasohol BE-20 lebih tinggi daripada pertamax.
2. Nilai kalor bahan bakar sangat mempengaruhi energi hasil pembakaran bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor bahan bakar maka energi hasil pembakaran bahan bakar akan semakin meningkat dan sebaliknya semakin rendah nilai kalor bahan bakar gasohol BE-20 lebih tinggi daripada pertamax.
3. Berdasarkan hasil uji performasi motor bakar bensin, bahan bakar pertamax memiliki keunggulan pada daya dan torsi yang tinggi serta konsumsi bahan bakar spesifik yang rendah sedangkan bahan bakar gasohol BE-20 memiliki keunggulan pada efisiensi thermal brake yang tinggi.
4. Berdasarkan pencampuran bioetanol dengan pertamax, secara teoritis dapat meningkatkan bilangan oktan, karena bioetanol memiliki bilangan oktan yang lebih tinggi daripada pertamax, sehingga dapat menghindari terjadinya detonasi pada saat pembakaran.
5. Penggunaan bahan bakar campuran pertamax-bioetanol (gasohol BE-20) dapat berdampak pada pengurangan emisi gas buang , sehingga mendorong pemanfaatan energi yang ramah lingkungan. Disamping itu, pencampuran pertamax-bioetanol dapat mengurangi konsumsi bahan bakar minyak (BBM) dan mendorong terciptanya diversifikasi (penganekaragaman) energi di Indonesia .
6. Dibandingkan dengan pertamax, penggunaan bahan bakar gasohol BE-20 dari sisi performasi mesin menaikkan daya dan torsi serta meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifik. Namun pada sisi ekonomis, penggunaan bahan bakar gasohol BE-20 sangat menguntungkan, apabila dibandingkan dengan pertamax tanpa subsidi.
7. Berdasarkan peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2006 tentang ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama [lampiran] , kadar emisi gas buang yang dihasilkan oleh gasohol BE-20 ramah lingkungan dan masih dibawah ambang batas.

Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan variasi beban yang lebih bervariasi untuk mengetahui karakteristik performasi dan emisi gas buang dari mesin yang menggunakan bahan bakar campuran pertamax-bioetanol.
2. Karena mesin kendaraan pada umumnya dirancang untuk bahan bakar bensin atau solar maka untuk mengembangkan penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif, perlu dilakukan penelitian tentang ketahanan bahan mesin terhadap bahan bakar selain pertamax dan solar.
3. Untuk mendukung kelancaran dan akurasi hasil pengujian sebaiknya dilakukan pemeriksaan dan kalibrasi terhadap instrumentasi dan alat ukur setiap kali pengujian akan dilakukan.

Daftar Pustaka

- Arismunandar, W., & Tsuda, K. (2004). *Motor Bakar Torak*. Jakarta: Pradnya Para
- Ferguson, C. R., & Kirkpatrick, A. T. (2015). *Internal Combustion Engines: Applied Thermosciences*. New York
- Heywood, J. B. (1988). *Internal Combustion Engine Fundamentals*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Hidayat, T., & Prasetyo, B. (2020). "Pengaruh Campuran Etanol terhadap Efisiensi Termal dan Konsumsi Bahan Bakar pada Mesin Bensin." *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 7(1), 25–33.
- John Wiley & Sons. Setiyo, M., Nurkholis, M., & Suryono, A. (2019). "Analisis Pengaruh Campuran Bensin dan Etanol terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Empat Langkah." *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 14(2), 85–94.
- Raharjo, B., & Santoso, A. (2018). "Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Etanol terhadap Prestasi Mesin Otto." *Jurnal Rekayasa Mesin*, 9(3), 157–166.
- Sumarno, D. (2017). "Pengaruh Variasi Putaran Mesin terhadap Daya dan Torsi Menggunakan Bahan Bakar Campuran Gasohol." *Jurnal Teknologi Otomotif*, 3(2), 45–52.
- Wijaya, R., & Handoko, E. (2021). "Analisis Efisiensi Termal dan Konsumsi Bahan Bakar pada Mesin Berbahan Bakar Pertamax dan Gasohol BE-20." *Jurnal Mekanika Terapan*, 10(1), 60–69.