



Pengaruh generator HHO dan etanol terhadap performa dan emisi gas buang mesin bensin

The effect of HHO generator and ethanol on performance and exhaust emissions of gasoline engine

N.D.C. Setiawan, D.H.T. Prasetyo*, D. Wahyudi

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Panca Marga, Jl. Raya Drigu, Kota Probolinggo, 67216, Indonesia

*E-mail: dani.hari59@gmail.com

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 01 March 2022

Accepted 26 September 2022

Available online 01 October 2022

Keywords:

Power

Torque

HHO

Ethanol

Dyno test



A large number of motorized vehicles in Indonesia cannot be separated from the rapid population growth. Fuel is one of the important components in vehicles, this is because the fuel produces heat energy to be converted into mechanical energy. So far, ordinary people only use fuel oil (BBM) based on the price per litre, assuming all fuel can be used in their vehicles. To get maximum performance and low exhaust emissions, it requires high octane fuel. The purpose of this study was to determine the effect of adding ethanol and HHO to fuel on engine performance and the resulting exhaust emissions. The test sample consisted of Pertamina fuel which was then mixed with 10% ethanol with the addition of HHO. Furthermore, the process of testing the performance of the vehicle's engine and the resulting exhaust emissions. The test results show that there is an increase in power and torque of 7.77 hp and 7.54 N.m, respectively, in the test of fuel mixing with the addition of HHO. Then the results of the exhaust gas test resulted in a decrease in CO and HC while the CO₂ level increased by testing the mixing of fuel with ethanol accompanied by the addition of HHO. The average percentage scores for each test were 15.02%, 17.79%, and 16.72%.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 12, No. 2, Oktober 2022, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan jumlah penduduk yang semakin pesat menyebabkan kebutuhan energi semakin meningkat, Firnanda dan Barita (2020). Saat ini kebutuhan energi ditopang oleh energi fosil. Salah satu energi fosil adalah minyak bumi, Prasetyo dan Wahyudi (2022). Minyak bumi dapat diolah menjadi bahan bakar, salah satu produk minyak bumi adalah *gasoline*, Sholeq dan Susila (2019). Secara umum, bahan bakar kendaraan lebih didominasi jenis *gasoline* atau biasa disebut bensin, Mara dkk (2020).

Motor bakar merupakan mesin kalor yang memiliki prinsip kerja mengkonversi energi kimia yang berasal dari bahan bakar menjadi energi *thermal*, Maridjo dkk (2019). Energi *thermal* kemudian dimanfaatkan menjadi energi mekanik. Penggunaan bahan bakar fosil khususnya minyak bumi menimbulkan dampak polusi udara. Selain itu juga, dampak penggunaan bahan bakar minyak bumi menimbulkan pemanasan global. Pemanasan

global disebabkan oleh sisa pembakaran didalam ruang bakar, Harman dan Ahyar (2019). Sisa pembakaran dapat berupa CO dan HC, Mara dkk (2018). Selain itu, akibat eksploitasi yang semakin meningkat menyebabkan jumlah cadangan energi fosil semakin menipis, Wahyudi dan Prasetyo (2022), Wahyono & Anis (2016). Oleh karena itu, diperlukan langkah khusus untuk menangani hal tersebut.

Beberapa langkah strategis telah dilakukan untuk menangani krisis energi dan polusi udara. Langkah strategis tersebut dapat kita ketahui melalui upaya konversi bahan bakar timbal tinggi dikonversi dengan bahan bakar timbal rendah. Selain itu, konversi teknologi pada suplai bahan bakar yang awalnya menggunakan karburator diganti menjadi sistem injeksi. Sistem pengapian juga tidak luput dari konversi teknologi sebagai upaya menghemat bahan bakar dan menurunkan emisi gas buang. Sistem pengapian pada kendaraan dilakukan dengan cara mengoptimalkan percikan bunga api dari busi sehingga menghasilkan pembakaran yang merata pada ruang bakar, A.H.Sebayang dkk (2020). Langkah-langkah tersebut telah sesuai dengan upaya untuk mengatasi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang yang semakin meningkat, Nofendri dkk (2019).

Di Indonesia jenis bahan bakar terdiri dari premium, pertalite, pertamax, dan pertamax turbo untuk kendaraan dengan jenis mesin bensin. Tentunya bahan bakar tersebut memiliki spesifikasi yang berbeda – beda, spesifikasi yang cukup membedakan dari keempat bahan bakar tersebut adalah nilai oktannya, Maridjo dkk (2019). Untuk saat ini, masyarakat lebih dominan menggunakan bahan bakar yang lebih murah dengan acuan harga per liternya. Masyarakat beranggapan bahwa semua jenis bahan bakar sama dan tidak mempengaruhi performa mesin serta emisi gas buang yang dihasilkan. Namun, anggapan tersebut sebenarnya kurang tepat, nilai oktan yang rendah pada bahan bakar sebenarnya dapat mempengaruhi performa mesin dan emisi gas buang yang dihasilkan. Untuk mendapatkan performa mesin yang maksimal dan emisi gas buang yang rendah diperlukan bahan bakar bernilai oktan yang tinggi. Selain bahan bakar dengan nilai oktan yang tinggi, penambahan bahan bakar hidrogen juga dapat meningkatkan performa mesin dan menurunkan emisi gas buang kendaraan, Satria dkk (2018).

Hidrogen merupakan gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Hidrogen dapat digunakan secara tunggal maupun dicampur dengan bahan bakar lain, Setiawan dan Salam (2018). Untuk mendapatkan gas hidrogen secara murni masih sulit untuk dilakukan. Namun, saat ini telah dikenal dengan istilah *Brown's Gas*. *Brown's Gas* atau disebut juga gas HHO (*oxyhydrogen*) adalah campuran gas monoatomik dan diatomik H_2 dengan O_2 , Putra dkk (2016). *Brown's Gas* memiliki karakteristik yang lebih baik dari segi ekonomi dan efisiensi energi, jika dibandingkan dengan gas asetilena dan LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Hal ini dikarenakan *Brown's gas* akan mengempis saat terjadi reaksi pembakaran yang disebabkan volumenya lebih besar dari campuran gas dihidrogen (H_2) dan dioksigen (O_2).

Gas hidrogen dapat menghasilkan energi yang bersih karena menghasilkan uap air saat proses reaksi pembakaran. Energi hidrogen berbentuk sel bahan bakar atau biasa disebut *hydrogen fuel cells*. Hidrogen lebih menjanjikan jika digunakan sebagai bahan bakar. Hal ini dikarenakan dapat menurunkan tingkat polusi udara dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Teknologi sel bahan bakar hidrogen memiliki banyak keuntungan sehingga menghasilkan gagasan "*hydrogen economy*" dimana hidrogen dijadikan sebagai bentuk energi utama untuk dikembangkan. Gagasan tersebut menimbulkan ketertarikan perusahaan industri otomotif untuk memanfaatkan energi hidrogen, Paletakan dkk (2017).

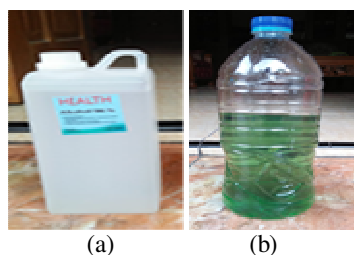
HHO (*oxyhydrogen*) merupakan salah satu energi yang dapat diperbarui. Jika ditinjau ulang dari cadangan energi fosil yang semakin menipis maka HHO memberikan kontribusi untuk menghemat cadangan energi fosil yang tersisa. Disisi lain, HHO merupakan energi alternatif yang terbarukan (*renewable energy*) dan ramah lingkungan. Beberapa penggunaan HHO sebagai energi terbarukan telah banyak dilakukan. Dari sekian banyak energi terbarukan, bahan bakar hidrogen merupakan energi yang ramah lingkungan dan diproyeksikan oleh banyak negara akan menjadi bahan bakar masa depan yang lebih ramah lingkungan serta lebih efisien, Rhoman dan Akbar (2017). Selain HHO, etanol juga dapat digunakan sebagai campuran bahan bakar yang ramah lingkungan. Hal ini dikarenakan etanol dapat mengurangi emisi gas buang dan dapat meningkatkan performa mesin kendaraan. Etanol dapat mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan oleh kendaraan, hal ini dikarenakan etanol memiliki kandungan oksigen sehingga dapat membantu penyempurnaan saat reaksi pembakaran didalam ruang bakar sehingga dapat menurunkan kadar CO (karbon monoksida), Mara dkk (2019).

Dari latar belakang yang telah diuraikan, maka perlu dilakukan pengujian performa kendaraan dan emisi gas buang. Pengujian dilakukan dengan menambahkan HHO sebagai suplai bahan bakar sedangkan etanol sebagai campuran atau tambahan pada bahan bakar. Hal ini dilakukan agar diketahui pengaruh HHO dan etanol terhadap performa mesin kendaraan dan emisi gas buang yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yaitu penelitian dilakukan secara langsung terhadap objek yang diamati. Objek yang diamati adalah performa mesin kendaraan dan emisi gas buang yang dihasilkan. Penelitian menggunakan generator HHO dan etanol sebagai campuran pada bahan bakar. Etanol ditambahkan sebesar 10% dari total volume bahan bakar. Penambahan etanol pada bahan bakar untuk mengetahui pengaruh

performa mesin dan emisi gas buang yang dihasilkan. Etanol ditambahkan hanya 10% dikarenakan etanol sebagai zat aditif bukan sebagai bahan bakar utama sehingga yang dibutuhkan tidak terlalu banyak atau mendominasi. Bahan bakar yang digunakan adalah jenis pertamax. Bahan bakar dan etanol yang digunakan saat pengujian dapat dilihat pada Gambar 1 sedangkan karakteristik bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.



Gambar 1. (a) Etanol (b) Bahan bakar

Tabel 1. Karakteristik bahan bakar

No	Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode Uji ASTM
			Min	Maks	
1	Bilangan oktan	RON	92,0	-	D 2699
2	Kandungan sulfur	% m/m	-	0,05 ¹⁾	D2622 / D4294 / D7039
3	Kandungan timbal sulfur (pb)	Gr/liter	-	0,013 ²⁾	D 3237
4	Kandungan oksigen	%m/m	-	2,7 ³⁾	D 4815 / D 6839 / D 5599
5	Sedimen	Mg/l	-	1	D 5452
6	Berat jenis (pada suhu 15 °C)	Kg/m ³	715	770	D 4052 / D 1298
7	Warna	Biru			-

Kendaraan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah sepeda motor dengan merk Supra X 125. Kendaraan yang digunakan sebagai objek penelitian dalam keadaan standar tanpa modifikasi sedangkan jarak yang telah ditempuh sebesar 85.644,6 kilometer. Sebelum dilakukan pengujian kendaraan dipanasi terlebih dahulu hingga putaran menjadi konstan. Waktu pemanasan mesin dilakukan selama lima menit. Spesifikasi kendaraan dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2. Spesifikasi sepeda motor

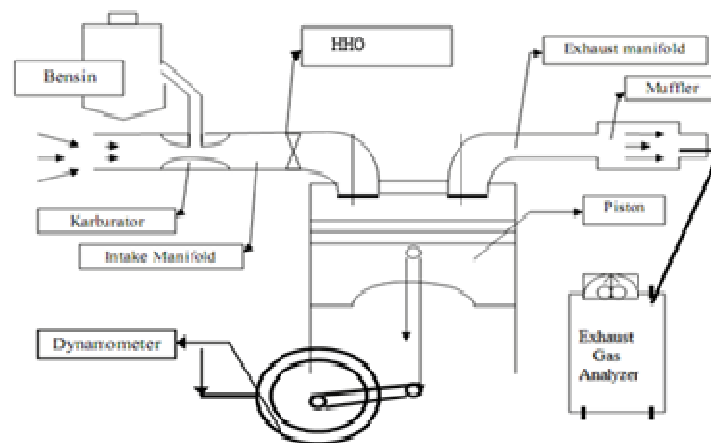
No	Jenis	Keterangan
1.	Merk/Type /BBM	Honda/NF125 SD, SOHC, 2 Klep/Bensin
2.	Diameter x Langkah	51,0 X 54,0 mm
3.	Volume Silinder	125 cc
4.	Jumlah Silinder	1 (satu) Silinder
5.	Perbandingan Kompresi	9,3 : 1
6.	Tenaga Maksimum	9,0 PS
7.	Torsi Maksimum	9,2 N.m
8.	Tahun Pembuatan	2006
9.	Sistem bahan bakar	Karburator
10.	Sistem pengapian	CDI

Komponen utama untuk menghasilkan gas HHO adalah generator. Generator berfungsi sebagai elektroliser sehingga menghasilkan gas HHO dengan memanfaatkan elektroda. Generator memiliki komponen elektroda (katoda dan anoda) dan berisi larutan elektrolit. Elektroda yang digunakan terbuat dari material yang tahan terhadap korosi dan memiliki konduktifitas listrik yang baik. Gambar generator HHO dapat dilihat pada Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. HHO dry cell generator

Sebelum dilakukan pengujian, maka produksi HHO diukur terlebih dahulu. Pengukuran dilakukan dengan cara mengukur produksi gas HHO pada tabung pengukur flowrate. Pengukuran dilakukan selama satu menit, dengan mengukur jumlah gas yang dihasilkan. Setelah diketahui maka dicatat sebagai debit bahan bakar yang akan digunakan pada saat pengujian. Produksi gas HHO yang dihasilkan adalah 15cc per menit. Proses pengujian dilakukan dengan menambahkan HHO pada intake manifold kendaraan. Rangkaian pengujian dapat dilihat pada Gambar 3 sebagai berikut.



Gambar 3. Rangkaian pengujian dengan menambahkan HHO

Pada saat pengujian performa mesin, putaran yang digunakan sebesar 3.000, 4.000, 6.000 dan 8.000 rpm. Pengujian menggunakan *dynotest*. *Dynotest* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur nilai daya dan torsi saat pengujian, dengan ini kita dapat mengetahui besaran nilai daya dan torsi yang dihasilkan. Gambar alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.

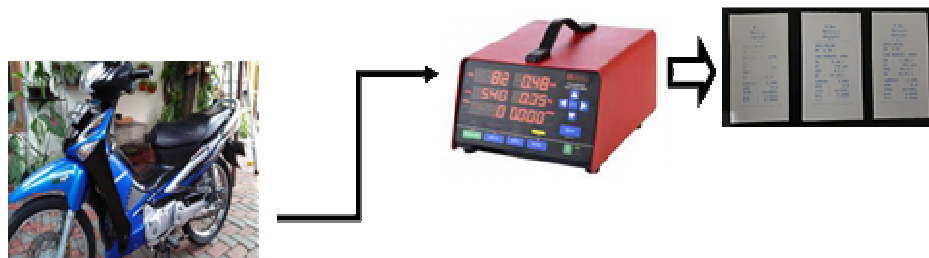


Gambar 4. Alat uji *dynotest*

Setelah pengujian performa kendaraan selesai maka langkah selanjutnya adalah merekap data untuk dilakukan analisa. Kemudian, dilanjutkan dengan pengujian emisi gas buang. Pada saat pengujian emisi gas buang oleh kendaraan, putaran mesin yang digunakan sebesar 3000, 4.000, 6.000 dan 8.000 rpm. Pengujian emisi gas buang diukur selama 120 detik. Setelah 120 detik maka hasil emisi gas buang dicatat untuk dilakukan analisis. Rangkaian uji emisi gas buang dapat dilihat pada Gambar 5 sedangkan spesifikasi gas *analyzer* dapat diamati pada Tabel 3. Variabel pengujian dan putaran mesin yang digunakan untuk pengujian performa dan emisi gas buang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Spesifikasi *gas analyzer*

Jangkauan pengukuran	CO : 0-9,99% HC : 0-9999 CO2 : 0-20% O2 : 0-25%, Lambda : 0-2.0
Dimensi	285 x 410 x 155 mm
Laju aliran	4 - 6 L/min
Power	110V- 220V±10%, 50/60Hz
Respon	10 detik



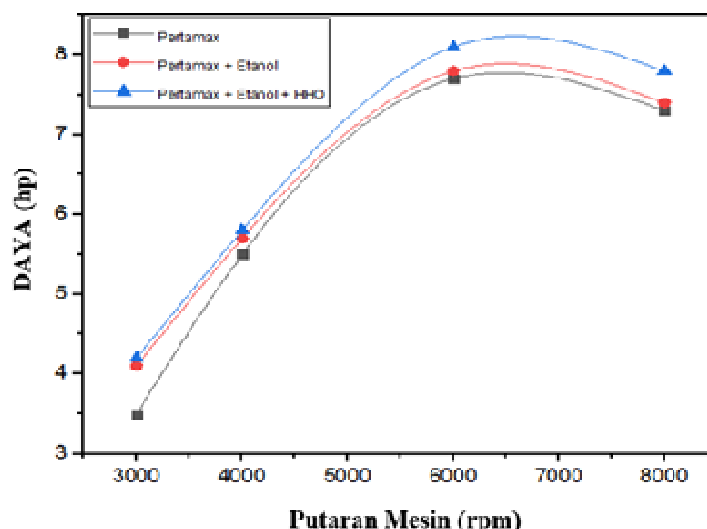
Gambar 5. Pengujian emisi gas buang

Tabel 4. Pengujian performa dan emisi kendaraan

Rpm	Variasi Pengujian Performa Kendaraan	Data yang Diperoleh
3.000	Bahan bakar murni	Daya dan Torsi CO, CO ₂ , HC
	Bahan bakar dengan campuran etanol	
	Bahan bakar dengan campuran etanol dan penambahan HHO	
4.000	Bahan bakar murni	Daya dan Torsi CO, CO ₂ , HC
	Bahan bakar dengan campuran etanol	
	Bahan bakar dengan campuran etanol dan penambahan HHO	
6.000	Bahan bakar murni	Daya dan Torsi CO, CO ₂ , HC
	Bahan bakar dengan campuran etanol	
	Bahan bakar dengan campuran etanol dan penambahan HHO	
8.000	Bahan bakar murni	Daya dan Torsi CO, CO ₂ , HC
	Bahan bakar dengan campuran etanol	
	Bahan bakar dengan campuran etanol dan penambahan HHO	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian maka diperoleh data performa mesin dan emisi gas buang yang dihasilkan pada kendaraan. Data yang diperoleh dicatat untuk dilakukan analisis dan perhitungan sehingga diperoleh nilai daya, torsi, kadar CO, HC dan CO₂. Data hasil pengujian dan pengolahan dimuat dalam bentuk grafik hubungan antara variabel – variabel yang ada saat pengujian. Hasil pengujian pengaruh etanol dan HHO terhadap daya efektif dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan putaran mesin (rpm) dengan daya efektif (Hp)

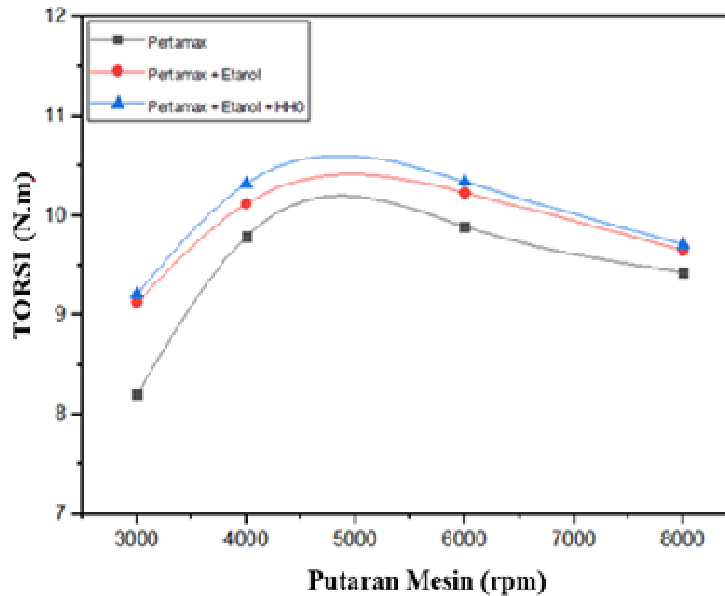
Berdasarkan gambar 6 terlihat perbedaan daya efektif yang dihasilkan dari tiga variasi pengujian. Pengujian tersebut adalah bahan bakar tanpa campuran etanol dan HHO, pengujian kedua bahan bakar dengan campuran etanol tanpa penambahan HHO sedangkan yang ketiga bahan bakar dengan campuran etanol disertai penambahan HHO. Pengujian bahan bakar dengan campuran etanol dan penambahan HHO memiliki nilai daya tertinggi diantara perlakuan yang lain. Hal ini disebabkan terjadi pembakaran sempurna dengan penambahan etanol dan HHO. Selain itu, dipengaruhi oleh oksigen yang terkandung pada gas HHO. Gas oksigen berperan sebagai oksidator pada pembakaran, sehingga produk pembakarannya menjadi meningkat. Selain oksigen, hidrogen pada gas HHO berperan memberikan panas pada saat terjadinya pembakaran. Hal ini dapat kita ketahui dari nilai kalor H₂ yang cukup tinggi. Menurut Firmada dan Barita (2020) nilai kalor hidrogen pada gas HHO sebesar 119.950 kJ/kg. Oleh karena itu, bahan bakar dengan campuran etanol disertai penambahan HHO memiliki daya yang lebih tinggi dari sampel pengujian yang lain.

Pada gambar 6 dapat diamati bahwa daya efektif yang dihasilkan dari masing-masing variasi pengujian terjadi peningkatan pada setiap putaran mesin hingga putaran 6.000 rpm. Hal ini terjadi karena semakin meningkat putaran mesin maka volume bahan bakar yang digunakan semakin meningkat. Pada masing-masing variasi pengujian nilai daya efektif tertinggi pada putaran mesin 6.000 rpm. Nilai daya efektif tertinggi dengan tiga variasi pengujian terdapat pada bahan bakar dengan pencampuran etanol disertai penambahan HHO. Hal ini dikarenakan perubahan lamda mendekati normal/campuran ideal ($\lambda = 1$). Lamda mendekati normal/campuran ideal menyebabkan unsur oksigen mudah bereaksi dengan CO₂ saat reaksi pembakaran berlangsung. Selain itu, meningkatnya daya efektif disebabkan adanya penambahan nilai kalor dari hidrogen serta oksigen yang diperoleh dari etanol sehingga reaksi pembakaran tidak membutuhkan banyak bahan bakar

Penambahan etanol turut mempengaruhi peningkatan daya efektif. Hal ini dapat kita amati pada Gambar 6, Dimana nilai daya efektif bahan bakar dengan pencampuran etanol lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar murni. Hal ini dikarenakan nilai oktan pada bahan bakar dengan pencampuran etanol meningkat. Meningkatnya nilai oktan menyebabkan bahan bakar lebih mudah terbakar. Oleh karena itu daya efektif yang dihasilkan turut meningkat.

Pada putaran mesin 8.000 rpm nilai daya efektif menjadi turun. Hal ini disebabkan efisiensi volumetrik mencapai maksimum sehingga nilai daya efektif menurun. Nilai daya efektif yang turun pada putaran mesin yang tinggi disebabkan oleh fenomena aliran bahan bakar. Aliran bahan bakar sulit meningkat saat putaran mesin tinggi dan dipengaruhi juga oleh tekanan pada inlet yang semakin rendah. Selain itu, putaran mesin yang semakin tinggi menyebabkan piston tidak dapat mengisi volume ruang bakar dengan sempurna sehingga pergerakan piston menjadi semakin cepat dan menyebabkan gesekan antara piston dengan dinding silinder menjadi meningkat. Oleh karena itu, efisiensi volumetrik secara signifikan menurun dan daya efektif turut menurun.

Berikutnya adalah hubungan putaran mesin (rpm) dengan torsi (N.m) dengan tiga variasi pengujian. Variasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 4. Hasil pengujian hubungan putaran mesin dengan torsi dapat dilihat pada Gambar 7 sebagai berikut.



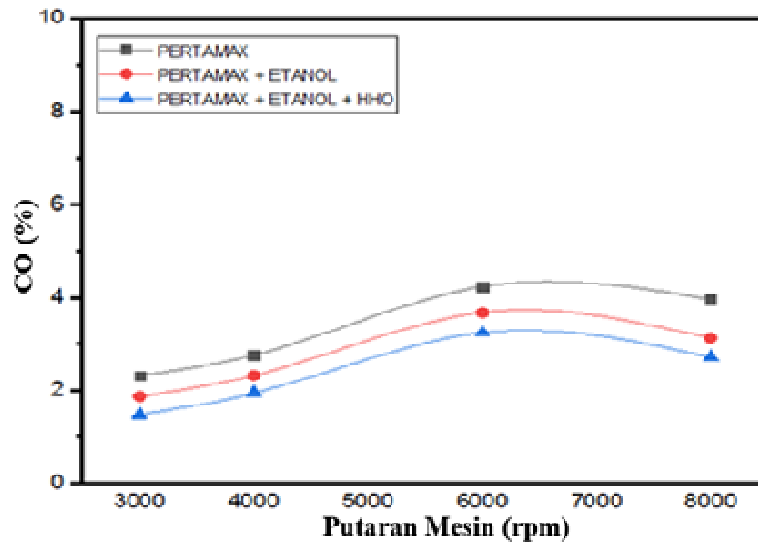
Gambar 7. Hubungan putaran mesin (rpm) dengan torsi (N.m)

Torsi merupakan hasil perkalian gaya sentrifugal (N) dengan panjang lengan (m) sehingga menghasilkan nilai kekuatan putar dari poros engkol dengan satuan N.m. Torsi terjadi antara piston dengan poros engkol sehingga menghasilkan putaran data *output engine*. Pada Gambar 7 merupakan pengujian bahan bakar sesuai dengan variasi yang telah ditentukan dan variasi pengujian dapat dilihat pada Tabel 4. Pengujian menghasilkan data hubungan putaran mesin dengan torsi. Nilai torsi tertinggi terjadi pada variasi pengujian bahan bakar dicampur etanol disertai penambahan HHO. Nilai torsi yang dihasilkan sebesar 10.4 N.m pada putaran mesin 6.000 rpm. Komposisi bahan bakar dengan campuran etanol disertai penambahan HHO lebih tinggi nilai torsi dari pada komposisi yang lain, hal ini disebabkan oleh difusivitas hidrogen. Difusivitas hidrogen akan memudahkan penginjeksian hidrogen kedalam ruang bakar sehingga campuran bahan bakar dan udara akan lebih baik. Campuran bahan bakar yang baik saat masuk dalam ruang bakar akan meningkatkan turbulensi dan homogenitas bahan bakar sehingga kualitas pembakaran akan menjadi lebih sempurna. Terjadi pembakaran sempurna karena jumlah bahan bakar dan udara yang masuk ke dalam ruang bakar tidak terjadi *knocking* (terbakar sendiri) sebelum terkena percikan bunga dari busi Ruslan dkk (2016).

Penambahan etanol pada bahan bakar juga menyebabkan meningkatnya nilai torsi pada performa kendaraan. Hal ini dapat kita amati pada Gambar 7, dimana nilai torsi selalu lebih tinggi pada setiap putaran jika dibandingkan dengan pengujian dengan bahan bakar murni. Etanol memiliki sifat mudah terbakar. Sifat etanol yang mudah terbakar membantu memecah molekul campuran bahan bakar menjadi ion-ion sehingga tekanan dan panas pada ruang bakar semakin meningkat.

Nilai torsi turun pada putaran mesin 8000 rpm setelah putaran mesin 3000, 4000 dan 6000 rpm. Hal ini disebabkan karena jumlah bahan bakar dan udara yang masuk didalam ruang bakar cenderung berkurang. Selain itu, disebabkan semakin tinggi putaran mesin menyebabkan sulit terbakarnya campuran bahan bakar dengan udara sedangkan tekanan yang dihasilkan dan gaya dorong pada piston semakin kecil. Hal ini menyebabkan mekanisme buka tutup katup masuk yang semakin cepat, sehingga efisiensi volumetrik berkurang dan pembakaran menjadi terhambat. Oleh karena itu, terjadi penurunan nilai torsi saat putaran 8.000 rpm.

Pengujian emisi gas buang yang dihasilkan dengan tiga perlakuan. Variasi perlakuan dapat dilihat pada Tabel 4. Data hasil pengujian emisi gas buang dapat dilihat pada Gambar 8 hingga 10 sebagai berikut.

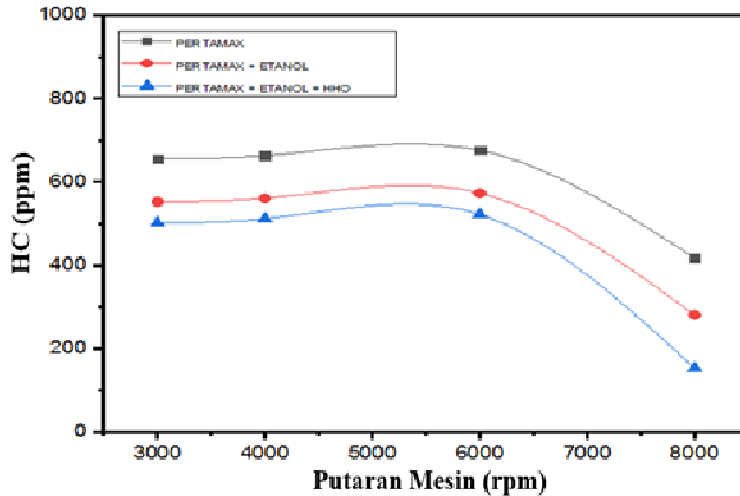


Gambar 8. Hubungan putaran mesin (rpm) dengan CO (%)

Pada Gambar 8 ditunjukkan data hubungan putaran mesin (rpm) dengan gas CO (%) yang dihasilkan. Karbon monoksida (CO) merupakan gas beracun yang dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna sehingga terbentuk sisa-sisa pembakaran dari ruang bakar mesin kendaraan. Pada Gambar 8 dapat diamati bahwa terjadi penurunan kadar CO pada setiap putaran mesin dan perlakuan pengujian. Perlakuan dengan penambahan etanol disertai HHO menghasilkan penurunan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan yang lain. Hal disebabkan oleh suplai hidrogen dan oksigen saat terjadi reaksi pembakaran berlebih. Karena suplai hidrogen dan oksigen yang berlebih maka bahan bakar dengan udara menghasilkan H_2O dan CO_2 yang lebih banyak. Oleh karena itu CO yang terbentuk saat terjadinya reaksi pembakaran menjadi lebih sedikit.

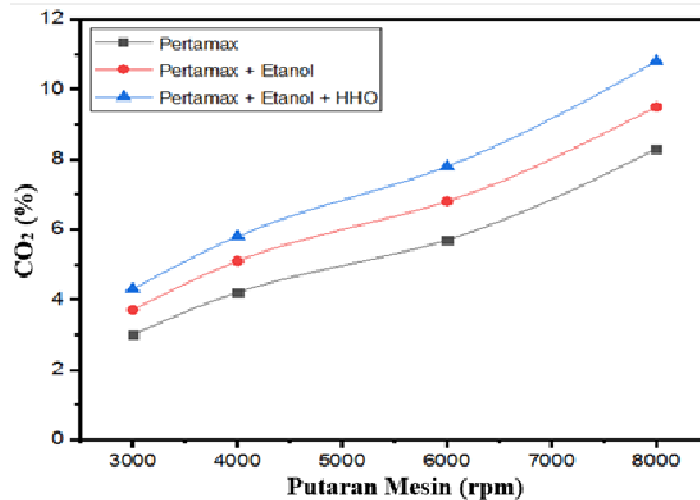
Pengujian dengan variasi komposisi bahan bakar yang berbeda menunjukkan perbedaan terhadap gas CO yang dihasilkan. Penambahan etanol dan HHO pada bahan bakar turut menurunkan kadar CO jika dibandingkan dengan bahan bakar murni. Pada putaran mesin yang sama, misalkan pada putaran mesin 3.000 rpm, kadar CO terendah terdapat pada perlakuan bahan bakar dengan penambahan etanol disertai penambahan HHO dengan nilai kadar CO sebesar 1,48%. Kadar CO menurun disebabkan pembakaran sempurna didalam ruang bakar diikuti dengan bertambahnya oksigen pada bahan bakar hasil pencampuran etanol pada bahan bakar dan HHO. Hal ini dapat diartikan bahwa semakin rendah kadar CO maka semakin baik proses reaksi pembakaran jika dibandingkan dengan bahan bakar tanpa campuran etanol dan HHO.

Pada putaran yang lebih tinggi terjadi peningkatan CO. Hal ini disebabkan oleh reaksi pembakaran tidak sempurna sehingga reaksi pembakaran menjauhi stokiometri. Pembakaran tidak stokiometri dikarenakan kurangnya campuran udara pada ruang bakar. Saat putaran mesin meningkat maka campuran bahan bakar dan udara menjadi kaya, sehingga menyebabkan kandungan CO menjadi meningkat. Hasil pengujian menunjukkan semakin tinggi putaran mesin menghasilkan kandungan CO yang tinggi pula. Kemudian dilanjutkan dengan pengujian kadar HC dengan hasil pengujian dapat diamati pada Gambar 9.



Gambar 9. Hubungan antara putaran mesin (rpm) dengan HC (ppm)

Pada Gambar 9 adalah data hubungan antara putaran mesin (rpm) dengan kadar HC (ppm). Pada putaran mesin 3000, 4000 dan 6000 rpm kandungan HC di semua variasi bahan bakar dalam emisi gas buang yang dihasilkan naik kemudian turun pada putaran 8000 rpm. Namun dengan penambahan etanol dan HHO pada putaran mesin yang sama kandungan HC turun. Hasil pengujian kandungan HC dalam gas buang tertinggi pada putaran mesin 6000 rpm pada variasi pengujian dengan menggunakan bahan bakar murni sebesar 655 ppm. Kadar HC terendah sebesar 153 ppm menggunakan bahan bakar campuran etanol disertai penambahan HHO. Pada putaran mesin 3000, 4000 dan 6000 rpm kandungan HC meningkat yang disebabkan pembakaran tidak sempurna. Pada celah-celah yang sempit didalam ruang bakar bahan bakar terjebak yang disebabkan *quenching efek* pada dinding silinder. Saat terjadi langkah buang, emisi yang dihasilkan masih dalam bentuk hidrokarbon sehingga menyebabkan tingginya kandungan HC pada emisi gas buang. Namun, pada putaran mesin 8.000 rpm mengakibatkan kandungan HC semakin mengecil. Hal ini dikarenakan temperatur ruang bakar meningkat seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Pada saat temperatur di dalam ruang bakar tinggi, campuran bahan bakar dan udara lebih mudah terbakar sehingga kandungan HC turun. Penggunaan etanol sebagai tambahan campuran bahan bakar berdampak pada penurunan HC. Hal ini dikarenakan etanol memberikan suplai oksigen saat reaksi pembakaran, sehingga bahan bakar terbakar dengan sempurna.



Gambar 10. Hubungan antara putaran mesin (rpm) dengan CO₂ (%)

Pada Gambar 10 merupakan data hasil pengujian yang menjelaskan hubungan putaran mesin (rpm) dengan kadar CO₂ (%). Kadar CO₂ meningkat seiring dengan meningkatnya putaran mesin. Pada putaran mesin 8000 rpm kadar CO₂ memiliki nilai tertinggi dari semua jenis variasi pengujian. Kadar CO₂ tertinggi terdapat pada komposisi penyampuran bahan bakar dengan etanol disertai penambahan HHO sebesar 10.8% sedangkan kadar CO₂ terendah terdapat pada penggunaan bahan bakar murni sebesar 4,3% dengan putaran mesin yang sama yaitu 8.000 rpm. Kadar CO₂ berbeda pada putaran mesin yang sama, hal ini menunjukkan terjadi

pembakaran tidak sempurna didalam ruang bakar pada variasi pengujian dengan menggunakan bahan bakar murni. Pembakaran tidak sempurna menghasilkan kadar CO₂ yang lebih sedikit. Kadar CO₂ hasil pengujian pada semua variasi berbanding terbalik dengan kadar HC dan CO yang dihasilkan. Semakin tinggi kadar CO₂ semakin rendah kadar HC dan CO yang dihasilkan oleh emisi gas buang, hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar CO₂ maka bahan bakar bereaksi dengan sempurna didalam ruang bakar.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian yang telah dilakukan adalah uji performa mesin dan emisi gas buang. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan komposisi bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar yang digunakan antara lain bahan bakar murni, bahan bakar dengan pencampuran etanol dan bahan bakar dengan pencampuran etanol disertai penambahan HHO. Pengujian menghasilkan data daya, torsi, CO, HC dan CO₂. Pengujian menghasilkan data sebagai berikut:

1. Daya meningkat pada semua perlakuan pada putaran 3000, 4000 dan 6000 rpm namun pada putaran 8000 daya menjadi turun. Daya tertinggi menggunakan penyampuran bahan bakar dengan etanol disertai penambahan HHO sebesar 8,2 hp pada putaran 6000 rpm. Rata-rata daya meningkat sebesar 7,77%.
2. Torsi meningkat pada semua perlakuan pada putaran 3000, 4000 dan 6000 rpm namun pada putaran 8000 torsi menjadi turun. Torsi tertinggi menggunakan penyampuran bahan bakar dengan etanol disertai penambahan HHO sebesar 10,4 N.m pada putaran 6000 rpm. Rata-rata nilai torsi meningkat sebesar 7,54%.
3. Pengujian emisi gas buang menghasilkan kadar CO. Kadar CO terendah pada pengujian pencampuran bahan bakar dengan etanol disertai penambahan HHO sebesar 1,48% pada putaran mesin 3000 rpm. Rata-rata kadar CO menurun sebesar 15,02%.
4. Kadar HC terendah pada pengujian pencampuran bahan bakar dengan etanol disertai penambahan HHO sebesar 153 ppm pada putaran 8000 rpm. Rata-rata kadar CO menurun sebesar 17,79%.
5. Kadar CO₂ tertinggi pada pengujian pencampuran bahan bakar dengan etanol disertai penambahan HHO sebesar 10,8% pada putaran 8000 rpm. Rata-rata kadar CO₂ meningkat sebesar 16,72%

DAFTAR PUSTAKA

- Firnanda, H., Barita, Pengaruh variasi larutan elektrolit pada generator HHO, *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(2), 69–76, 2020.
- Harman, H., Ahyar, A., Design of HHO generator to reduce exhaust gas emissions and fuel consumption of non-injection gasoline engine, *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 4(1), 9–17, 2019. <https://doi.org/10.21831/dinamika.v4i1.24276>
- Mara, I.M., Nuarsa, I.M., Alit, I.B., Sayoga, I.M.A., Analisis emisi gas buang kendaraan berbahan bakar etanol. *Dinamika Teknik Mesin*, 9(1), 45, 2019. <https://doi.org/10.29303/dtm.v0i0.258>
- Mara, I.M., Sayoga, I.M.A., Nuarsa, I.M., Alit, I.B., Wiratama, K., Analisis unjuk kerja motor bensin 4 langkah 1 silinder 100 cc berbahan bakar etanol. *Dinamika Teknik Mesin*, 10(1), 10, 2020. <https://doi.org/10.29303/dtm.v10i1.300>.
- Mara, I.M., Sayoga, I.M.A., Yudhyadi, I.G.N.K., Nuarsa, I.M., Analisis emisi gas buang dan daya sepeda motor pada volume silinder diperkecil. *Dinamika Teknik Mesin*, 8(1), 8, 2018. <https://doi.org/10.29303/dtm.v8i1.154>
- Maridjo, Yuliyani, I., Anggani, R., Pengaruh pemakaian bahan bakar premium, pertalite dan pertamax terhadap kinerja motor 4 tak. *Jurnal Teknik Energi*, 9(1), 73–78, 2019. <https://doi.org/10.35313/energi.v9i1.1648>
- Nofendri, Y., Hidayat, M.F., Qibal, A., Perbandingan Prestasi Mesin dan Emisi Gas Buang Bahan Bakar RON 90 dan RON 92, 9–10, 2019.
- Paletakan, J.W., Ajiwiguna, T.A., Pengaruh HHO terhadap emisi dan efisiensi mesin 2 langkah 150 CC, *Elektro, F.T., Telkom, U., Nasional, U.*, 4(1), 821–826, 2017.
- Prasetyo, D.H.T., Wahyudi, D., Analisis pengaruh pipa inner sebagai katalis metanol dengan memanfaatkan energi panas yang terbuang, 5, 7–13, 2022.
- Putra, W. T., Malyadi, M., Winardi, Y., Pengaruh gas brown (HHO) dengan electrode stainlees terhadap konsumsi bahan bakar, *Snttm Xv*, 5–6, 2016.
- Rhohman, F., Akbar, A., Pengaruh Penambahan Gas HHO Terhadap Emisi Gas Buang Motor 4 Langkah, 2017.
- Ruslan, W., Lesmana, I. G. E., Nugraha, K. K., Analisa Performa mesin menggunakan bahan bakar pertalite , pertamax , pertamax turbo terhadap daya dan torsi pada honda beat eSP., *Mesin, T., & Pancasila, U.*, 86–92, 2016.
- Satria, G., Yusuf, M., Sumadhijono, P.A., Analisa pengaruh penambahan gas hidrogen dengan atau tanpa pemasangan turbo cyclone terhadap unjuk kerja motor bensin 110 Cc, 1(2), 1–8, 2018.
- Sebayang, A.H., Sutrisno, J., Nurulita, B., Ibrahim, H., Perbandingan busi standar dan busi ulti elektroda terhadap kinerja dan emisi gas buang pada mesin bensin, *Dinamika Teknik Mesin*, 10(2), 144–151, 2020.
- Setiawan, Y., Salam, F., Gas hidrogen pada proses elektrolisis terhadap emisi dan konsumsi bahan bakar, *Teknik*

- Mesin Untirta, 4(1), 10–13, 2018.
- Sholeq, Z.I., Susila, I.W., Analisa kinerja mesin dan emisi gas buang sepeda motor berbahan bakar campuran bioetanol dari ampas tebu dan premium, *Journal Teknik Mesin*, 07(03), 121–126, 2019.
- Wahyono, Anis, R., Pembuatan alat produksi gas hidrogen dan oksigen tipe, *Jurnal Teknik Energi*, 12(1), 2016.
<https://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi/article/view/283/251%0Ahttps://jurnal.polines.ac.id/index.php/eksergi/article/view/283>
- Wahyudi, D., Prasetyo, D.H.T., Uji karakteristik pembakaran premixed pada methyl ester schleichera oleosa sebagai campuran bahan bakar diesel, 5, 1–6, 2022.