

Efek Gas Oksihidrogen Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Motor Bensin Silinder Tunggal

Samuel P. Siregar^{a,1}, Johny J. Numberi^a, Joni^a, Obet T. Ranteallo^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Cenderawasih, Jayapura, 99351

¹samuel_siregar@ftuncen.ac.id

ABSTRACT

The use of alternative fuels, especially those with high oxygen content, has attracted attention due to their potential to improve engine performance and reduce exhaust emissions. This study investigated the effects of oxyhydrogen gas (a mixture of hydrogen and oxygen) on the performance and exhaust emissions of a single-cylinder gasoline engine. Oxyhydrogen gas has shown promising results as a potential additive to gasoline motor fuels. To some extent, side effects occur mainly due to the decreased oxygen-fuel ratio. Combustion quality can be improved by adding hydrogen and oxygen gas obtained from water electrolysis. An oxyhydrogen generator with a voltage of 12 Volts produces hydrogen and oxygen gas through the electrolysis of water and potassium hydroxide (KOH) as a catalyst. Oxyhydrogen gas (HHO) is mixed with fuel and air and injected into the combustion chamber. Testing was carried out on a single cylinder gasoline engine with a capacity of 172 cc in a test installation by loading water into the water brake dynamometer. The results show the effect of hydrogen electrolysis generator on improving the performance of gasoline engines, namely effective power of 17.36% (4000 rpm), reduced fuel consumption of 14.29% (3600 rpm), and increased thermal efficiency of 16.51% (4000 rpm), and reduced CO emissions by 15.31% and HC by 16.27%. The addition of oxyhydrogen gas supplied to the combustion chamber can improve the performance of gasoline engines and reduce exhaust emissions.

Keywords: Exhaust Emissions, Gasoline Engine, Oxyhydrogen Gas

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590792

PENDAHULUAN

Tersedianya bahan bakar minyak sebagai penghasil energi semakin terbatas, dan hasil pembakarannya juga menyebabkan pencemaran lingkungan. Penghematan bahan bakar fosil dan pencarian bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan terus dilakukan, dimana salah satunya adalah konservasi bahan bakar dari energi terbarukan [1]. Upaya untuk mengurangi konsumsi bahan bakar dan memenuhi standar emisi yang semakin ketat pada motor pembakaran dalam telah menjadi topik penelitian yang terus dikembangkan. Salah satu strategi yang sedang dieksplorasi adalah penambahan gas hidrogen pada bahan bakar motor bensin untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi [2].

Pemanasan global dan emisi karbon mendorong penelitian untuk menggunakan alternatif yang lebih bersih seperti hidrogen untuk motor torak [3]. Penggunaan hidrogen dalam mesin pembakaran dalam (ICE) bukanlah konsep baru [4], namun produksi hidrogen dari energi terbarukan dan potensi untuk meningkatkan efisiensi mesin tersebut telah berkembang [5]. Hidrogen adalah bahan bakar tanpa

karbon yang hampir menghilangkan semua emisi polutan kecuali nitrogen oksida (NO_x) dan sejumlah kecil partikulat (PM) dari pembakaran oli pelumas [6]

Integrasi gas oksihidrogen ke dalam motor bensin telah menunjukkan efek yang menjanjikan pada kinerja dan emisi. Penelitian menunjukkan bahwa oksihidrogen dapat meningkatkan efisiensi pembakaran sekaligus mengurangi emisi berbahaya secara signifikan. Inovasi yang diciptakan adalah alat yang berdampak positif pada motor, mengurangi konsumsi bahan bakar, mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan performa motor, maka dibuatlah komponen tambahan untuk memaksimalkan performa motor, salah satunya adalah generator elektrolisis hidrogen. Dampak positif pada emisi berbahaya dan kinerja HHO lebih besar untuk motor pengapian percikan (SI). Pengaruh penambahan gas oksihidrogen pada karakteristik kinerja yang berbeda dari motor SI empat langkah. Peningkatan rata-rata gaya pengereman motor sekitar 11,5%. Konsumsi bahan bakar spesifik motor turun rata-rata sekitar 6,35%. Efisiensi termal rem motor meningkat rata-rata sekitar 10,26%. Selain itu, emisi nitrogen oksida berkurang [7]. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi efek dari

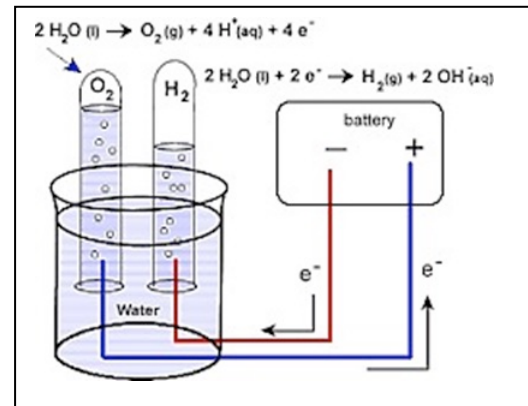
penambahan gas oksihidrogen (campuran hidrogen dan oksigen) pada performa dan emisi gas buang mesin bensin silinder tunggal.

REVIEW LITERATUR

Dampak oksihidrogen pada motor bensin (SI) menghasilkan peningkatan efisiensi termal pembakaran sebesar 11% dan mengurangi konsumsi bahan bakar hingga 20%. Ini juga menyebabkan peningkatan keluaran daya sebesar 5,7% [8]. Penelitian pada motor bensin SI empat langkah dengan oksihidrogen sebagai bahan bakar tambahan menghasilkan penggunaan oksihidrogen mampu mengurangi pemakaian bahan bakar 20% dan residu gas karbon mono oksida dan hidrokarbon yang berbahaya. Peningkatan daya luaran motor sebesar 5,7% [9]. Pengaruh elektrolit yang berbeda pada produksi HHO pada motor SI dan pengapian kompresi (CI) menghasilkan peningkatan torsi sebesar 32,4% dan 19,1% ditemukan pada masing-masing motor SI dan CI [10].

Proses penguraian air menjadi hidrogen dan oksigen dapat dilakukan menggunakan peralatan generator elektrolisis hidrogen, yang biasa disebut elektrolisis. Peralatan ini membutuhkan arus listrik yang cukup untuk dapat bekerja, semakin besar arus listrik yang diberikan maka proses penguraian akan berlangsung lebih cepat dan menghasilkan gas-gas yang disebut gas oksihidrogen. Gas-gas ini dapat digunakan untuk membantu meningkatkan kinerja motor pembakaran dalam, seperti motor bensin dan diesel. Udara dan gas oksihidrogen akan bercampur terlebih dulu sebelum diinjeksikan ke ruang pembakaran [11]. Penggunaan generator elektrolisis hidrogen memiliki beberapa keuntungan, antara lain: 1) pemanasan global dan pencemaran udara dapat diturunkan; 2) pemakaian bahan bakar lebih hemat; 3) meningkatnya daya motor; dan 4) keawetan dan kebersihan motor lebih terjamin. Penggunaan generator elektrolisis hidrogen juga memungkinkan bahan bakar lebih efisien, menghasilkan knalpot yang lebih ramah. Karena generator elektrolisis hidrogen itu sendiri menggunakan arus searah 12 – 48 volt yang bersumber dari baterai, di mana arus listrik dialirkan pada elektroda mengurai ikatan ion hidrogen dan oksigen dalam air menghasilkan gelembung-gelembung yang berisi gas oksihidrogen. Penggunaan arus listrik yang besar dapat berakibat terbentuknya deposit pada elektroda yang dapat menyebabkan korosi dan kerusakan, sehingga proses ini memiliki batasan untuk penggunaan skala besar [12]. Senyawa oksihidrogen (HHO) merupakan pencampuran gas hidrogen (H) dan oksigen (O), di mana

pada proses elektrolisis akan menghasilkan 1 molekul hidrogen dan 2 molekul oksigen. Kandungan energi pada gas oksihidrogen 3 kali energi per satuan berat bahan bakar premium yang umum digunakan. Air dapat memperoleh hidrogen dengan memecah senyawa menjadi ion H^+ dan O^- , karena ion ini mengandung hidrogen paling banyak. [13], komersialisasi gas oksihidrogen dari air dengan biaya yang murah dapat dilakukan melalui proses elektrolisis.



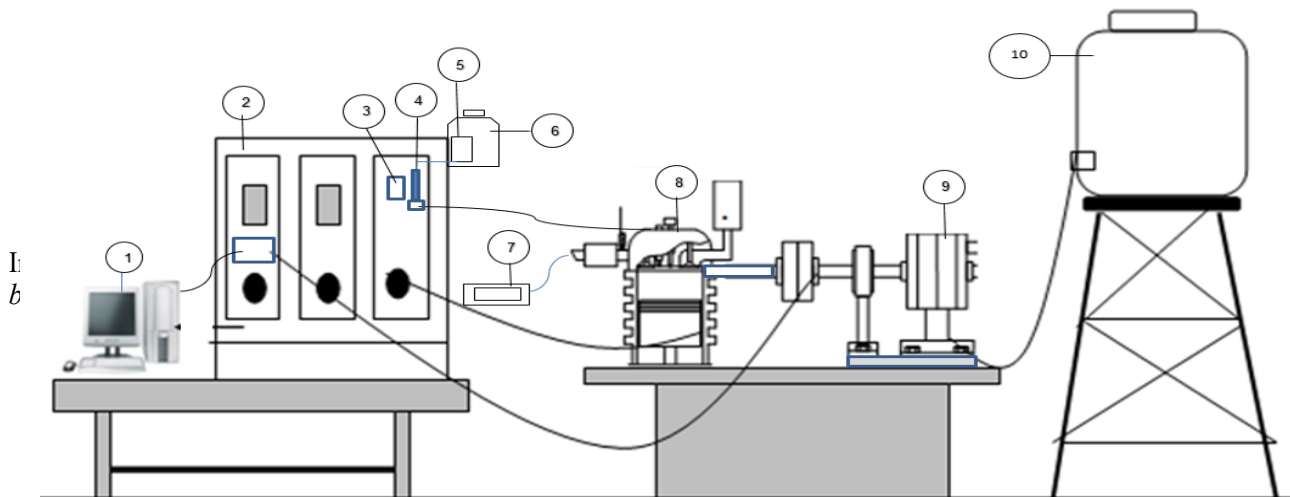
Gambar 1 Proses terbentuknya Oksihidrogen (HHO)

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan TD200 *Small Engine Test Set* untuk uji performa motor bensin silinder tunggal berkapasitas 172cc dengan putaran maksimumnya 4000 rpm sedang untuk spesifikasi motor dapat dilihat pada tabel 1. Pengujian dilakukan pada kondisi normal dan penambahan gas hidrogen yang diperoleh dari generator elektrolisis hidrogen dengan katoda yang terbuat dari baja tahan karat dan katalis NaOH. Variasi arus listrik yang digunakan pada generator elektrolisis hidrogen, yaitu: 3 Amp, 4 Amp, dan 5 Amp; dengan tegangan listrik 12 volt. Generator Oksihidrogen dirancang sesuai dengan besarnya aliran gas yang diperlukan di dalam silinder mesin. Sumber utama gas diperoleh dari aquades, ditambah dengan NaOH cair. Parameter input pada penelitian ini adalah putaran motor dengan kisaran 1200 rpm hingga 4000 rpm. Parameter output motor bensin yang diukur dalam penelitian ini terdiri dari: daya motor, konsumsi bahan bakar, efisiensi termal, emisi gas buang hidrokarbon dan karbon monoksida. Pengujian motor bensin meliputi pengujian standar yang dilakukan dengan menggunakan bahan bakar pertalite tanpa oksihidrogen (HHO), kemudian dibandingkan dengan pengujian menggunakan pertalite dan oksihidrogen (HHO) yang dihasilkan dari generator elektrolisis hidrogen. Pengujian emisi gas buang dilakukan dengan cara menghubungkan gas buang motor bensin dengan alat uji gas analyser kemudian diukur kandungan karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC).

Peralatan penunjang berupa, *water brake dynamometer*, termokopel dan perangkat lunak *Tequipment*, serta peralatan terkait lainnya, seperti peralatan mekanik. Untuk setiap kondisi pengoperasian, kecepatan mesin diatur oleh beban melalui katup inlet pada *waterbrake dynamometer*. Buka katup inlet untuk aliran air masuk *waterbrake dynamometer* sebesar 100%. Instalasi pengujian seperti pada gambar 2, terdiri dari 1. Komputer, 2. Panel indikator, 3. Indikator temperatur, 4. Tabung buret bahan bakar, 5. Generator Oksihidrogen, 6. Tangki bahan bakar, 7. Exhaust gas analyser, 8. Motor bensin, 9. Water brake dynamometer, 10. Reservoir air.

torsi, dan putaran motor. Alat tersebut menggunakan air sebagai beban pengereman yang bersumber dari reservoir air. Instalasi ini juga dilengkapi seperangkat instrumen panel indikator menampilkan hasil pengukuran dan data terukur selama pengujian berlangsung. Pada gambar 2 memperlihatkan skema pengujian motor bensin yang digunakan dalam penelitian ini. Data pengujian diperoleh melalui aplikasi *Tecquipment VDAS* pada komputer untuk pengujian standar maupun pada pengujian dengan tambahan gas Oksihidrogen (HHO). Instalasi pengujian motor bensin terlihat pada gambar 3.



Gambar 2. Skema pengujian motor bensin



Gambar 3. Instalasi pengujian motor bensin

Uraian	Ukuran
Jumlah Silinder	1
Diameter x langkah (mm)	67 x 49
Volume langkah (cc)	172
Rasio Kompresi	9 : 1
Daya maksimum	4,4 kW/ 4000 rpm
Torsi maksimum	10 Nm @ 2750 rpm

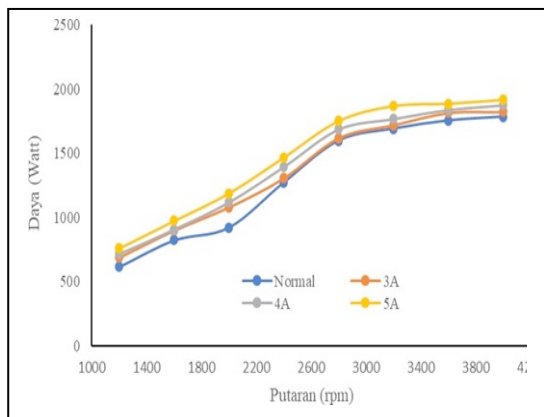
HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Efektif

Daya merupakan salah satu indikator kinerja dari motor, yang merupakan fungsi dari torsi dan putaran yang terukur, di mana keduanya berbanding lurus dengan daya luaran motor, semakin tinggi putaran motor maka torsi yang dihasilkan berkurang. Tabel 2 menyajikan data hasil pengujian daya efektif pada putaran dan arus listrik generator elektrolisis hidrogen.

Tabel 2. Daya motor pada variasi putaran dan input arus listrik

Putaran (rpm)	Daya motor (Watt)			
	Standar	Ggenerator HHO		
		3 Amp	4 Amp	5 Amp
1200	615	685	714	758
1600	821	896	905	972
2000	921	1078	1117	1187
2400	1272	1305	1394	1467
2800	1597	1618	1686	1751
3200	1689	1719	1767	1867
3600	1752	1814	1837	1885
4000	1781	1821	1874	1915



Gambar 4. Grafik daya terhadap putaran

Tabel 2 menunjukkan perbandingan daya luaran motor bensin pada setiap putaran dan arus input pada generator elektrolisis hidrogen. Untuk setiap putaran konstan, daya motor mengalami kenaikan yang signifikan dengan presentase 4 – 18%. Di mana efek penggunaan generator elektrolisis hidrogen pada motor dengan putaran 2000 rpm memberikan pengaruh kenaikan 18,17% dengan daya luaran rata-ratanya 1127,33-Watt (daya normal 921-Watt); dan diikuti putaran motor 1200 rpm sebesar 14,37% dan daya luaran 790-Watt terhadap daya motor tanpa penggunaan alat tersebut, yaitu 615-Watt. Dengan bertambahnya putaran motor, menyebabkan penurunan presentase pengaruh dari penggunaan generator elektrolisis hidrogen hanya mencapai 4 – 8%. Hal ini terjadi karena motor putaran tinggi membutuhkan udara lebih banyak dibandingkan dengan motor putaran rendah, karena jumlah hidrogen yang dihasilkan tidak mencukupi bercampur dengan udara untuk disuplai pada proses pembakaran. Performa generator elektrolisis hidrogen sangat bergantung pada sumber arus listrik, gas oksihidrogen yang optimum hanya dapat diperoleh jika arus listrik yang dialirkan juga besar, dengan kata lain keduanya berbanding lurus. Gambar 4 memperlihatkan perbandingan daya motor yang dihasilkan, penggunaan efektif hidrogen terjadi pada putaran motor 2000 rpm, sedangkan daya luaran maksimum di putaran 4000 rpm. Daya motor mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya putaran dan penambahan beban dapat mengakibatkan putaran motor mengalami pengereman, daya motor dan efisiensi termal meningkat dengan cara penambahan hidrogen.

Untuk meningkatkan putaran motor, diperlukan suplai bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan tekanan pembakaran yang besar sesuai masukan putaran motor yang diinginkan. Penggunaan campuran gas oksihidrogen dan udara sebagai bahan bakar dapat meningkatkan daya motor, karena gas tersebut memiliki nilai kalor yang lebih tinggi. Setelah menambahkan campuran bahan bakar gas oksihidrogen dan udara, pembakaran di ruang bakar akan lebih sempurna. Oksihidrogen merupakan gas yang terdiri

terdiri hidrogen dan oksigen; bercampur bersama udara luar yang dapat meningkatkan proses pembakaran dan laju pembakaran berlangsung secara optimal. Pembakaran campuran bahan bakar bensin, udara dan gas oksihidrogen mampu menghasilkan energi dan tekanan yang besar, serta meningkatkan daya yang motor bensin. Di samping itu, hidrogen memiliki area yang lebih luas yang mudah terbakar dari pada bensin. Konsekuensinya, waktu pembakaran yang lebih singkat dan area mudah terbakar yang lebih luas dari campuran hidrogen-bensin menghasilkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi. Oleh karena itu, solusi dengan tingkat pembakaran volume konstan yang lebih tinggi berarti mesin SI beroperasi lebih dekat dengan siklus teoritisnya. Dapat dilihat juga pengaruh dari peningkatan kuat arus listrik dalam produksi gas oksihidrogen pada generator memberikan hasil peningkatan daya efektif motor. Produksi gas oksihidrogen dengan arus listrik yang tinggi hanya memberikan dampak peningkatan yang kecil [14].

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar spesifik mengacu pada banyaknya bahan bakar yang dikonsumsi pada proses untuk menghasilkan satu unit energi, yang dinyatakan dalam satuan massa per unit energi, seperti kilogram per kilowatt-jam atau pon per jam tenaga kuda. Ini adalah ukuran efisiensi motor atau sistem konversi energi, dan digunakan untuk membandingkan berbagai penggunaan bahan bakar. Rendahnya penggunaan bahan bakar spesifik mengindikasikan meningkatnya efisiensi termal, karena ini berarti lebih sedikit bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan jumlah energi yang sama.

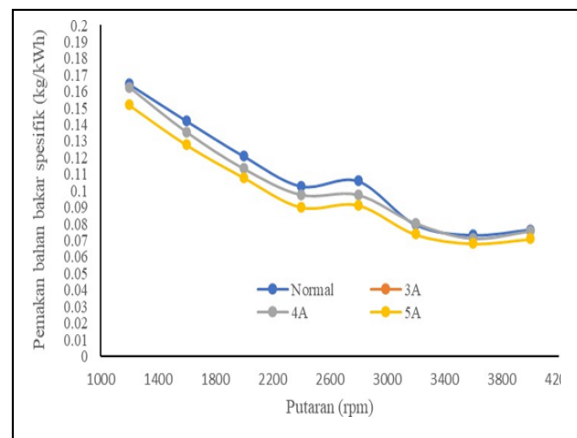
Tabel 3 Nilai konsumsi bahan bakar spesifik

Putaran (rpm)	Konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kWh)			
	Standar	Generator HHO		
		3 Amp	4 Amp	5 Amp
1200	0,1644	0,1657	0,1625	0,1519
1600	0,1422	0,1392	0,1355	0,1278
2000	0,1209	0,1195	0,1133	0,1080
2400	0,1027	0,0982	0,0975	0,0901
2800	0,1058	0,0993	0,0974	0,0913
3200	0,0796	0,0811	0,0803	0,0737
3600	0,0732	0,0743	0,0711	0,0681
4000	0,0765	0,0782	0,0755	0,0708

Dari penyajian tabel 3 hasil pengukuran konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran motor terlihat konsumsi bahan bakar spesifik terendah sebesar 0,0681 kg/kWh (putaran 3600 rpm) yang tertinggi adalah 0,1519 kg/kWh (putaran 1200 rpm) dan 0,1278kg/kWh (putaran 1600 rpm). Pada kondisi putaran motor yang

rendah, proses pembakaran belum stabil, sehingga suhu dalam ruang pembakaran akan terus mengalami kenaikan hingga mencapai kondisi maksimumnya. Untuk mendapatkan kondisi tersebut maka diperlukan sejumlah bahan bakar yang lebih besar. Pada motor putaran sedang dan tinggi, pemakaian bahan bakar spesifik tidak lagi signifikan, akibat kondisi proses pembakaran perlahan stabil. Oksihidrogen juga berperan dalam mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik. Gas Oksihidrogen yang memiliki nilai kalor yang tinggi, mentransferkan energi dalam ruang pembakaran dan proses pembakaran berlangsung sempurna; sehingga tidak banyak bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya motor. Gas hidrogen memiliki kecepatan nyala lima kali lebih besar daripada bensin, maka kecepatan nyala campuran yang lebih tinggi memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik [15].

Dari Gambar 5 dapat dilihat, suplai arus listrik yang meningkat akan menyebabkan konsumsi bahan bakar spesifik ikut menurun. Pada putaran tinggi, efek penggunaan generator elektrolisis hidrogen sebesar 2,4% (putaran 4000 rpm). Sedangkan nilai terbesar diperoleh pada putaran 2800 rpm sebesar 10,35%. Kondisi ini telah dijelaskan sebelumnya jika pada putaran motor yang tinggi ini suplai udara semakin besar dan generator elektrolisis hidrogen hanya mampu menghasilkan gas oksihidrogen yang terbatas, sehingga perbandingan udara dan gas oksihidrogen ikut berkurang.



Gambar 5. Konsumsi bahan bakar spesifik terhadap putaran

Motor pada putaran tinggi telah mengalami kestabilan, sehingga konsumsi bahan bakar spesifik akan menurun. Hidrogen memiliki banyak sifat pembakaran yang sangat baik yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja pembakaran dan emisi mesin pengapian busi (SI) berbahan bakar bensin.

Efisiensi Termal

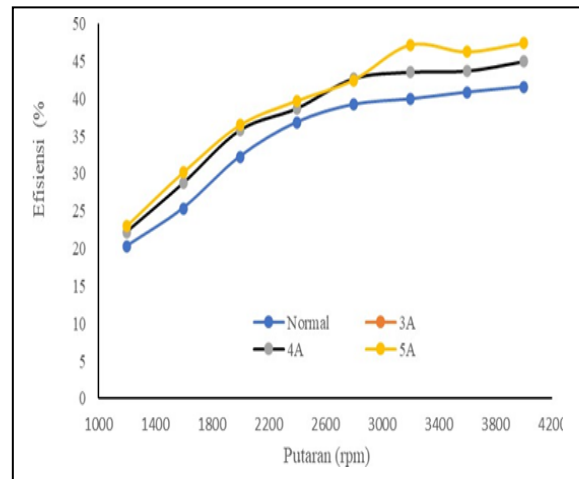
Merupakan presentase perbandingan antara energi input yang digunakan untuk melakukan tugas yang spesifik dan energi yang diterima oleh sistem. Dalam hal motor bakar, efisiensi termal mengacu pada rasio antara energi yang dihasilkan oleh motor dan energi yang digunakan dalam bentuk bahan bakar. Efisiensi thermal yang tinggi berarti bahwa motor lebih efisien dalam mengubah energi bahan bakar menjadi energi mekanik. Faktor-faktor seperti kondisi proses pembakaran, konsentrasi bahan bakar, dan kecepatan motor dapat mempengaruhi efisiensi termal. Tabel 4 menyajikan data hasil pengujian yang dilakukan, nilai efisiensi termal pada setiap putaran motor dan penggunaan arus listrik, berikut ini.

Tabel 4 Nilai efisiensi termal pada setiap putaran motor dan input arus listrik

Putaran (rpm)	Efisiensi termal (%)			
	Stand ar	Generator HHO		
		3 Amp	4 Amp	5 Amp
1200	20,28	20,75	22,15	22,94
1600	25,36	26,67	28,68	30,11
2000	32,25	33,15	35,75	36,42
2400	36,81	37,18	38,65	39,66
2800	39,18	41,05	42,64	42,44
3200	39,91	41,86	43,52	47,14
3600	40,82	42,12	43,67	46,21
4000	41,55	43,18	44,93	47,37

Tabel 4 menyajikan nilai efisiensi termal pada setiap putaran motor dan penggunaan arus listrik di generator elektrolisis hydrogen. Efisiensi maksimum yang diperoleh pada penggunaan arus listrik 5A sebesar 47,37% dengan putaran motor 4000 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa pada putaran tinggi, pencampuran udara dan bahan bakar lebih merata, tetapi dari hasil penelitian yang dilakukan penggunaan generator elektrolisis hidrogen tidak memberikan pengaruh yang berarti dengan nilai mencapai 4%; jika dibandingkan pada putaran motor 2000 rpm memberikan pengaruh yang signifikan mencapai 18% lebih terhadap efisiensi thermal. Di mana sejumlah gas hidrogen dari generator elektrolisis menyuplai hidrogen yang sebanding dengan jumlah udara. Sedangkan pada putaran motor yang tinggi 4000 rpm, generator elektrolisis tidak mampu menghasilkan perbandingan hidrogen dan udara, dengan kata lain udara terisap lebih banyak dibandingkan hidrogen. Untuk itu pada motor dengan

putaran tinggi diperlukan generator elektrolisis yang mampu menyediakan gas hidrogen dalam jumlah yang lebih, berarti dibutuhkan konstruksi dan suplai arus listrik yang besar. Representasi data efisiensi termal hasil penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada gambar 6.



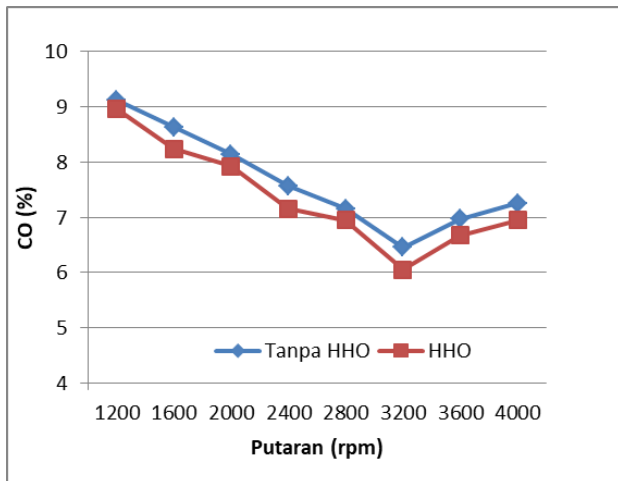
Gambar 6. Efisiensi termal terhadap putaran

Peningkatan efisiensi termal sebanyak dua pertiga disebabkan oleh peningkatan pola pembakaran bahan bakar yang lebih menguntungkan, sementara sepertiga lainnya disebabkan oleh laju resirkulasi gas buang melalui perlambatan pembukaan katup buang. Peningkatan arus listrik pada generator oksihidrogen juga dapat berdampak pada efisiensi proses pembangkitan hidrogen. Arus yang lebih tinggi dapat mengakibatkan peningkatan pemanasan elektroda, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi dan penurunan produksi hidrogen dari waktu ke waktu. Hal ini dapat dikurangi melalui penggunaan bahan dengan ketahanan tinggi terhadap korosi dan keausan, serta pendinginan dan perawatan elektroda yang tepat. Pengaruh peningkatan arus listrik pada generator oksihidrogen (HHO) mengakibatkan kualitas hidrogen yang dihasilkan dapat meningkatkan produksi hidrogen peroksida, yang dapat mengurangi kemurnian hidrogen yang dihasilkan dan berpotensi memengaruhi kinerjanya sebagai bahan bakar [16].

Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida, merupakan gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa, yang dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada mesin pembakaran dalam. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran, dan bersifat mudah

terbakar dan menghasilkan lidah api berwarna biru, menghasilkan karbon dioksida.

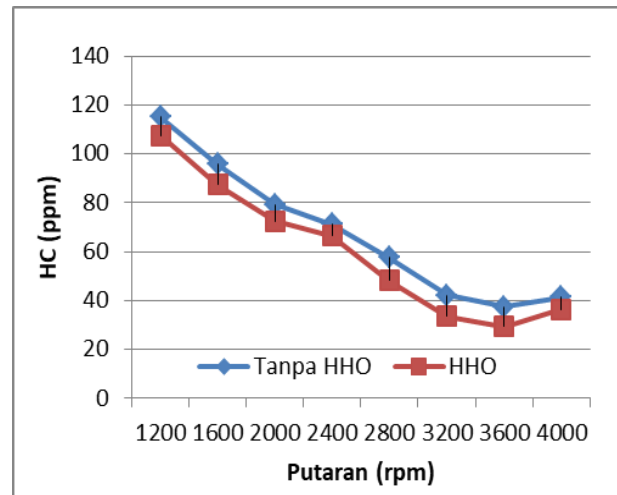


Gambar 7 Karbon monoksida (CO) terhadap putaran

Pada gambar 7 grafik karbon monoksida (CO) terhadap putaran untuk pemakaian bahan bakar pertalite dengan menggunakan generator HHO dan tanpa HHO. Didapat nilai kadar CO memiliki tren yang hamper sama. Pada tiap-tiap durasi injeksi yang berbeda, bahan bakar dengan generator HHO menghasilkan emisi CO yang lebih rendah daripada bahan bakar tanpa HHO. Hal ini terlihat jelas pada grafik di atas yang mana terjadi penurunan emisi rata-rata 15,76 %. Rendahnya kadar emisi CO yang dihasilkan dengan generator HHO dikarenakan sedikit mengandung atom karbon yang menyebabkan pembakaran sempurna dibandingkan tanpa generator HHO. Hal lain disebabkan karena bahan bakar dengan HHO dalam bentuk gas sehingga penyebaran karbon dengan oksigen lebih cepat homogen sehingga kebutuhan oksigen terpenuhi pada pembakaran sehingga terjadi pembakaran yang sempurna dan meningkatkan efisien pada mesin,

Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon merupakan sebuah senyawa yang terdiri dari unsur karbon (C) dan unsur hidrogen (H). Seluruh hidrokarbon memiliki rantai karbon dan atom-atom hidrogen yang berikatan dengan rantai tersebut.



Gambar 8 Grafik hidrokarbon (HC) terhadap putaran

Pada gambar 8 menunjukkan bahwa kadar emisi hidrokarbon (HC) yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar dengan generator HHO dan tanpa HHO untuk kisaran putaran 1200 rpm – 4000 rpm. Rendahnya kadar emisi HC yang dihasilkan bahan bakar dengan HHO dikarenakan *flame speed* lebih rendah. Hal ini menyebabkan rambatan pembakaran didalam ruang bakar menjadi lambat akibatnya ada sebagian bahan bakar yang belum bereaksi sempurna keluar bersama gas sisa pembakaran ke atmosfer sehingga berdampak pada hidrokarbon (HC) tanpa HHO yang lebih besar dibandingkan menggunakan HHO. Hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 8, dimana hasil pembakaran penggunaan bahan bakar tanpa HHO sebesar 91,42 ppm sedang bahan bakar dengan HHO sebesar 50,25 ppm. Dimana lamda bahan bakar dengan HHO lebih kecil dibandingkan dengan lamda bahan bakar tanpa HHO akibatnya dari kondisi pembakaran tersebut dapat menghasilkan energi yang lebih besar dan *flame speed* yang terjadi lebih cepat mengakibatkan pembakaran bahan bakar dengan HHO lebih sempurna dibandingkan dengan bahan bakar tanpa HHO [17].

KESIMPULAN

Hasil pengujian yang dilakukan pada motor bensin menggunakan generator elektrolisis hidrogen menghasilkan kinerja yang cukup baik. Pencampuran udara dan gas yang disuplai ke ruang pembakaran mampu meningkatkan kinerja motor bensin. Dimana daya efektif motor mencapai 18,21% pada putaran 4000 rpm, menurunkan pemakaian bahan bakar sebesar 15,34% (di putaran 3500 rpm), serta meningkatkan efisiensi termal 17,36% (di putaran 4000 rpm), serta

menurunkan emisi gas buang CO sebesar 15,31% dan HC sebesar 16,27%. Penambahan gas oksihidrogen yang disalurkan ke ruang bakar dapat meningkatkan performa motor bensin dan mengurangi emisi gas buang hidrokarbon dan karbonmonoksida.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada penanggung jawab laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Cenderawasih yang telah memberikan izin dan fasilitas laboratorim dalam penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Kontribusi penulis pertama dalam perencanaan, pelaksanaan, dan analisis penelitian. Kontribusi penulis kedua sebagai editor. Penulis ketiga dan keempat adalah mereview, terlibat dalam pengambilan data dan pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Niharika, Verma. (2022). Renewable Energy: Requirement of the Future Era. *International Journal For Science Technology And Engineering*, 10(1):776-779. doi: 10.22214/ijraset.2022.39928
- [2] J. Zhou, C. Cheung, W. Z. Zhao and C. Leung, "Diesel–hydrogen dual-fuel combustion and its impact on unregulated gaseous emissions and particulate emissions under different engine loads and engine speeds". <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.105>
- [3] Hosseini, S. E., & Butler, B. (2019). An overview of development and challenges in hydrogen powered vehicles. *International Journal of Green Energy*, 17(1), 13–37. <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1685999>
- [4] Hosseini, S. E., & Butler, B. (2019). An overview of development and challenges in hydrogen powered vehicles. *International Journal of Green Energy*, 17(1), 13–37. <https://doi.org/10.1080/15435075.2019.1685999>
- [5] Jianbing Gao, Xiaochen Wang, Panpan Song, Guohong Tian, Chaochen Ma, (2022), "Review of the backfire occurrences and control strategies for port hydrogen injection internal combustion engines", <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121553>.
- [6] Abdulhakim I. Jabbr, Warren S. Vaz, Hassan A. Khairallah, Umit O. Koylu (2016), "Multi-objective optimization of operating parameters for hydrogen-fueled spark-ignition engines", *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.08.016>.
- [7] Abdulhakim I. Jabbr, Warren S. Vaz, Hassan A. Khairallah, Umit O. Koylu (2016), "Multi-objective optimization of operating parameters for hydrogen-fueled spark-ignition engines", *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.08.016>.
- [8] Karagöz, Y., Yuca, N., Sandalcı, T., Dalkılıç, A.S. (2015). Effect of hydrogen and oxygen addition as a mixture on emissions and performance characteristics of a gasoline engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(28): 8750–8760.
- [9] J. Zhou, C. Cheung, W. Z. Zhao and C. Leung. (2016) "Diesel–hydrogen dual-fuel combustion and its impact on unregulated gaseous emissions and particulate emissions under different engine loads and engine speeds". <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.105>.
- [10] R., Kamarudin., Y.Z., Ang., N.S., Topare., M.N., Ismail., K.F., Mustafa., P., Gunnasegaran., M.Z., Abdullah., N.M., Mazlan., I.A., Badruddin., A.S.A., Zedan., R.U., Baig., S.M., Sultan. (2024). Influence of oxyhydrogen gas retrofit into two-stroke engine on emissions and exhaust gas temperature variations. *Heliyon*, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e26597
- [11] M.R.Yosri, Rahul Palulli, Mohsen Talei, Joel Mortimer, Farzad Poursadegh, Yi Yang, Michael Brear. (2023), "Numerical investigation of a large bore, direct injection, spark ignition, hydrogen-fuelled engine", *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.01.228>.
- [12] Theodorus R. P, Lathifa P.A, (2022), "Performance of four step engine generator set with oxy-hydrogen (HHO) fuel from water electrolysis process using vacuum valve carburetor", *Journal Renewable Energy & Mechanics (REM)*, <http://dx.doi.org/10.25299/rem.2022.vol5.no02.10058>.
- [13] Jianbing Gao, Xiaochen Wang, Guohong

- Tian, Panpan Song, Chaochen Ma, Liyong Huang, (2021), "Effect of hydrogen direct injection strategies and ignition timing on hydrogen diffusion, energy distributions and NOx emissions from an opposed rotary piston engine", <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121656>.
- [14] Baltacioglu, M. K., Arat, H. T., Özcanli, M., Aydin, K. (2016). Experimental comparison of pure hydrogen and HHO (hydroxy) enriched biodiesel (B10) fuel in a commercial diesel engine. *Int. J. Hydrogen Energy*, 41(19): 8347–8353
- [15] Farzad Poursadegh, Michael Brear, Barnaby Hayward, Yi Yang, (2023) "Autoignition, knock, detonation and the octane rating of hydrogen", <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126201>.
- [16] Taku Tsujimura, Yasumasa Suzuki, (2019) "Development of a large-sized direct injection hydrogen engine for a stationary power generator", *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.09.178>.
- [17] Marcus Fischer, Stefan Sterlepper, Stefan Pischinger, Jörg Seibel, Ulrich Kramer, Thomas Lorenz, (2022). "Operation principles for hydrogen spark ignited direct injection engines for passenger car applications", *International Journal of Hydrogen Energy*, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.11.134>.