

Pengaruh Bahan Bakar Shel Suxxx, Shel V-Poxxx, Campuran Shel Suxxx dan Shel V-Poxxx 50/50, dan Campuran Shel V- Poxxx dengan Etanol 90/10, Terhadap Emisi Gas Buang dan Temperature Mesin Motor Yamaha R-15

Firlian Suprianto, Rachmat Firdaus*

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstrak: Emisi gas buang merupakan gas yang dihasilkan dari pembakaran mesin motor. Senyawa-senyawa yang terkandung diantara lain karbon monoksida (CO), hidro karbon (HC), karbon dioksida (CO₂), dan oksigen (O₂). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beberapa perbedaan nilai kadar emisi gas buang dan temperature enginemesin dari penggunaan empat macam variasi bahan bakar. Pada rpm 2000-8000 rpm dengan rentang waktu 3 menitdi setiap rpm nya. Dari hasil uji penelitian tersebut kadar emisi CO terendah pada putaran mesin 8000 rpm pada BBM4 dengan nilai 3.19 %vol. Kadar emisi HC tertinggi berada pada BBM3 dengan nilai 1265 ppm pada putaran mesin 8000 rpm. Emisi CO₂ yang terlihat paling stabil berada pada BBM4 rata-rata diatas 10%. Emisi O₂ yang menunjukan angka 0 berada pada BBM2 pada putaran mesin 6000 dan 7000 rpm, juga berada pada BBM3 pada putaran mesin 2000-4000 rpm.

Kata Kunci: Emisi Gas Buang, Bahan Bakar Shel, Temperature Mesin

*Correspondence: Rachmat Firdaus

Email: firdausr@umsida.ac.id

Received: 26-08-2025

Accepted: 26-09-2025

Published: 26-10-2025



Copyright: © 2025 by the authors. Submitted for open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Exhaust gas emissions are gases produced from the combustion of a motorbike engine. The compounds contained include carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), carbon dioxide (CO₂), and oxygen (O₂). This research aims to determine several differences in the values of exhaust emission levels and engine engine temperatures from the use of four types of fuel variations. At rpm 2000-8000 rpm with a time span of 3 minutes at each rpm. From the research test results, the lowest CO emission levels were at 8000 rpm engine speed on BBM4 with a value of 3.19% vol. The highest HC emission level is in BBM3 with a value of 1265 ppm at an engine speed of 8000 rpm. The CO₂ emissions that appear to be the most stable are at BBM4 with an average of above 10%. O₂ emissions which show the number 0 are in BBM2 at engine speeds of 6000 and 7000 rpm, also in BBM3 at engine speeds of 2000-4000 rpm.

Keywords: Exhaust Emissions, Shel Fuel, Engine Temperature

Pendahuluan

Dari tahun ke tahun pertumbuhan penduduk Indonesia semakin meningkat. Pertumbuhan penduduk berpengaruh terhadap laju pertumbuhan ekonomi. Hal itu juga yang mempengaruhi bertambahnya jumlah kebutuhan terhadap kendaraan bermotor (Mara et al, 2018).

Perkembangan kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat terutama perkembangan di setiap kotanya. Tidak bisa di pungkiri kebutuhan kendaraan bermotor dari tahun ke tahun meningkat sangat pesat. Terbilang dari yang sebelumnya hanya 136,14 juta unit di tahun 2021 meningkat 4,30% menjadi 141,99 juta unit (Ismiyati et al, 2014).

Dari nilai tersebut dapat dikatakan bahwa kebutuhan akan kendaraan bermotor sangat pesat. Di era yang modern ini memang dapat dikatakan bahwa kendaraan bermotor sudah menjadi alat transportasi massal yang banyak diminati masyarakat. Terutama kebutuhan kendaraan roda dua yang sudah menjadi alat transportasi sehari-hari. Terbilang sangat membantu kebutuhan masyarakat karena waktu lebih efisien dari pada menunggu transportasi umum (Ramadhani et al, 2021).

Kendaraan bermotor itu sendiri merupakan suatu kendaraan atau alat transportasi yang menggunakan mesin bakar sebagai alat penggerakannya, baik roda dua atau roda empat. Motor bakar dapat bergerak akibat adanya energi thermal yang di hasilkan dari suatu proses pembakaran (Luthfi et al, 2018). Proses pembakaran tersebut merubah energi kalor menjadi energi mekanik. Kemudian energi mekanik tersebut yang digunakan untuk menjalankan suatu kendaraan bermotor (Rifal et al, 2021).

Proses pembakaran juga dapat bilang dengan reaksi kimia antara campuran kalor dan oksigen yang kemudian dinyalakan oleh percikan api (Kurdi & Arijanto, 2007). Mekanisme pembakaran umumnya dimulai saat campuran kalor dan oksigen yang masuk ke dalam ruang bakar di kompresi dan dinyalakan oleh percikan api yang di hasilkan oleh busi (Ningrat et al, 2016). Pada proses pembakaran nyala api terjadi secara spontan dan merata akibat pemampatan kalor dan oksigen.

Proses pembakaran umumnya dapat terjadi apabila terdapat bahan bakar, oksigen, dan api. Pada kendaraan bermotor bahan bakar yang di butuhkan biasanya bahan bakar minyak. Bahan bakar minyak itu sendiri di dapatkan dari suatu proses pemfosilan (Bayu et al, 2016). Proses pemfosilan senyawa karbohidrat yang di hasilkan dari tumbuhan-tumbuhan yang mati. Tumbuhan mati tersebut dirubah menjadi senyawa hidrokarbon C_xH_y melalui tertimbunnya suatu tanamandan dengan dibantu tekanan dan panas bumi dengan waktu yang rentan cukup lama (Marlita, 2014).

Bahan bakar minyak di golongankan berbagai macam tergantung pada nilai oktan yang terkandung pada bahan bakar itu sendiri (Hartantrie et al, 2022). Kandungan nilai oktan yang tinggi dapat meningkatkan kualitas bahan bakar terbakar dengan sempurna, serta dapat membantu menghindari pembakaran yang tidak sempurna. Akibatnya, konsumsi bahan bakar lebih irit, daya yang di hasilkan lebih besar, dan emisi gas buang yang di hasilkan dari pembakaran menurun.

Nilai oktan pada bahan bakar sangatlah berpengaruh, dikarenakan padatnya aktifitas penggunaan kendaraan bermotor berdampak pada lingkungan hidup. Tidak

dapat di pungkiri semakin banyak kendaraan bermotor maka semakin banyak pula emisi gas buang yang dihasilkan. Hal ini sebenarnya sudah ditangani dengan usaha pembatasan dan pengendalian secara serius. Usaha penurunan emisi gas buang pada kendaraan bermotor bukanlah suatu hal yang mudah (Sari, 2022).

Emisi gas buang kendaraan bermotor mengandung senyawa yang sebenarnya tidak berbahaya seperti nitrogen, uap air, dan karbon dioksida. Tetapi dalam senyawa itu mengandung senyawa-senyawa lain yang cukup membahayakan dan dapat mengganggu Kesehatan lingkungan hidup (Yudhantoko, 2008). Senyawa-senyawa yang umumnya dapat mencemari lingkungan hidup yang ada di gas buang kendaraan antara lain unbrun hydrocarbon (uHC), karbon monoksida (CO), berbagai senyawa hidrokarbon, berbagai oksigen nitrogen (NO_x), sulfur (SO_x), dan partikulat debu termasuk timbal, senyawa-senyawa tersebut cukup berbahaya apabila melebihi abang batas (Nugraheni & Haryadi, 2017).

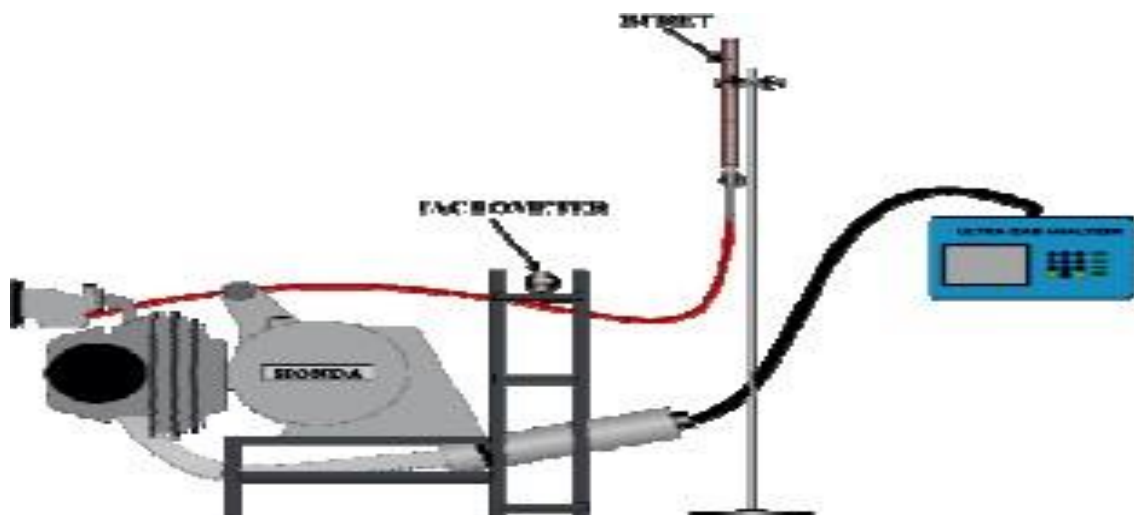
Banyak upaya yang telah dilakukan untuk mengurangi dari nilai emisi pada gas buang. Dengan menambah zat adiktif pada bahan bakar seperti etanol yang berpotensi meningkatkan nilai oktan yang terkandung pada bahan bakar (Hartanto & Yuliana, 2019).

Metodologi

Tahapan yang akan dilakukan dalam pengujian emisi gas buang dan temperature engine mesin adalah pengujian terhadap motor yamaha R-15 pada putaran mesin 2000 rpm – 8000 rpm. Dengan variasi bahan bakar sebagai berikut :

1. BBM1 merupakan bahan bakar shel suxxx.
2. BBM2 merupakan bahan bakar shel v-poxxx.
3. BBM3 merupakan bahan bakar campuran shel suxxx dan shel v-poxxx dengan takaran 50/50.
4. BBM4 merupakan bahan bakar campuran shel v-poxxx dengan etanol, takaran 90/10.

Alat-alat yang di butuhkan pada penelitian ini meliputi : satu unit kendaraan yamaha R-15, mesin gas analyzer, speedometer, bahan bakar shel suxxx, bahan bakar shel v-poxxx, etanol, thermometer, dan gelas ukur.



Gambar 1. Susunan alat penelitian

Tabel 1. Contoh tabel

Putaran Mesin (rpm)	BBM1	BBM2	BBM3	BBM4
2000				
3000				
4000				
5000				
6000				
7000				
8000				

Hasil dan Pembahasan

A. Hasil Penelitian

Hasil pengujian kadar emisi disajikan pada tabel 2, tabel 3, tabel 4, dan tabel 5. Untuk hasil pengujian temperaturengine mesin disajikan pada tabel 6.

Tabel 2. Hasil uji emisi CO

Kadar Emisi Gas Buang CO (%vol)				
Putaran Mesin (rpm)	BBM1	BBM2	BBM3	BBM4
2000	0.51	0.55	0.52	0.54
3000	0.44	0.61	0.57	0.50
4000	0.39	0.40	0.36	0.33
5000	0.32	0.36	0.31	0.35
6000	0.36	0.53	0.42	0.39
7000	7.10	6.66	6.96	4.57
8000	5.38	7.30	5.11	3.19

Tabel 3. Hasil uji emisi HC

Kadar Emisi Gas Buang HC (ppm)				
Putaran Mesin (rpm)	BBM1	BBM2	BBM3	BBM4
2000	163	90	99	90
3000	118	86	87	72
4000	70	50	38	41
5000	36	25	31	46
6000	17	24	26	21
7000	169	151	151	82
8000	133	163	1265	685

Tabel 4. Hasil uji emisi CO₂

Kadar Emisi Gas Buang CO₂ (%vol)				
Putaran Mesin (rpm)	BBM1	BBM2	BBM3	BBM4
2000	13.2	13.4	13.3	12.8
3000	13.5	13.5	13.4	12.9
4000	13.3	13.5	13.5	12.7
5000	12.7	12.2	11.8	11.9
6000	13.4	13.3	13.3	13.4
7000	9.6	9.8	9.5	11.2
8000	8.5	8.9	7.1	8.8

Tabel 5. Hasil uji emisi O₂

Kadar Emisi Gas Buang O₂ (%vol)				
Putaran Mesin (rpm)	BBM1	BBM2	BBM3	BBM4
2000	14.59	11.30	0.00	8.92
3000	18.20	18.55	0.00	13.73

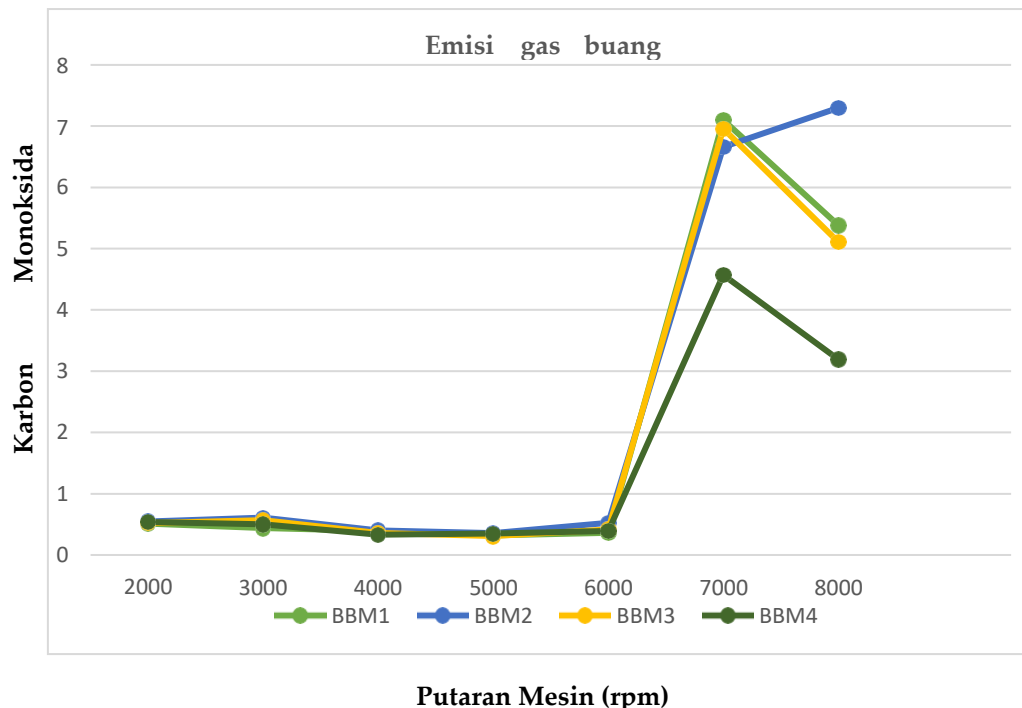
Kadar Emisi Gas Buang O2 (%vol)				
Putaran Mesin (rpm)	BBM1	BBM2	BBM3	BBM4
4000	16.82	22.41	0.00	11.99
5000	18.94	12.38	20.47	25.00
6000	14.57	0.00	20.47	25.00
7000	21.53	0.00	12.43	25.00
8000	10.00	23.51	25.00	25.00

Tabel 6. Hasil uji temperature mesin

Temperature Gas Buang(C)				
Putaran Mesin (rpm)	BBM1	BBM2	BBM3	BBM4
2000	52.3	51.7	51.7	51.5
3000	60.0	61.7	61.1	60.9
4000	83.0	83.2	84.0	83.2
5000	96.8	97.7	95.5	96.8
6000	102.9	103.1	103.2	103.2
7000	109.0	109.7	108.9	109.8
8000	110.7	111.2	111.7	111.2

B. Hasil dalam bentuk grafik

1. Emisi gas buang CO



Grafik 1. Grafik emisi gas buang CO

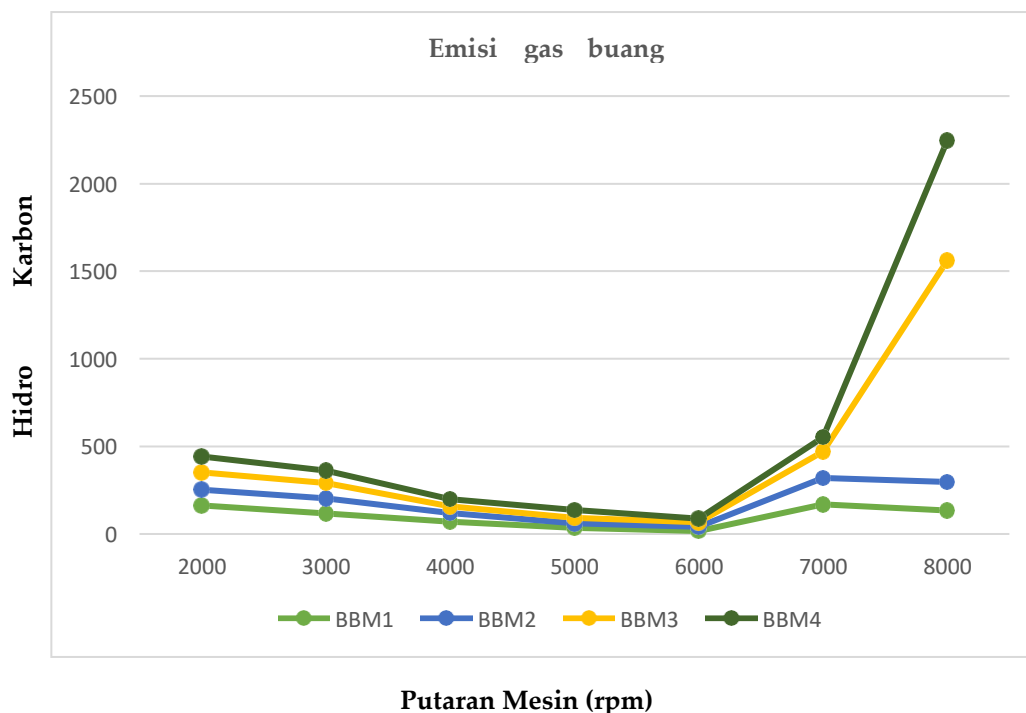
Dari data yang di peroleh pada **Grafik 1.** dapat di simpulkan bahwa saat putaran mesin 2000-6000 rpm turun dannaiknya kadar emisi CO yang dihasilkan mengalami turun dan naik yang hampir sama rata. Dan dari ke empat bahanbakar mengalami lonjakan yang sangat signifikan pada putaran mesin 7000 rpm. Saat putaran mesin 8000 rpm mengalami penurunan kadar CO kecuali BBM2 mengalami kenaikan.

Dari penggunaan empat macam bahan bakar emisi CO tertinggi yang terjadi pada putaran mesin 7000 rpm terdapatpada BBM1 yang mengalami lonjakan sebesar 7,10%. Sedangkan emisi CO terendah hampir semua terjadi pada putaran mesin 5000 rpm terdapat pada BBM3 sebesar 0,31%, kecuali BBM4 yang mengalami kenaikan pada putaran mesin 5000 rpm namun penurunan emisi CO terjadi pada putaran mesin 4000 rpm sebesar 0,33%. Sedangkan emisi CO terendah pada putaran mesin 8000 rpm terjadi pada BBM4 dengan nilai 3,19 %.

Dapat kita lihat pada BBM3 data yang di peroleh dari putaran mesin 2000-6000 rpm hampir sama dengan BBM2 namun pada putaran mesin 7000-8000 rpm sama dengan BBM1.

Dari ke empat bahan bakar tersebut dapat dilihat dari **Grafik 1.** semakin tinggi putaran mesin yang terjadi maka semakin naik pula kadar emisi CO yang dihasilkan. Namun sedikit berbeda pada BBM4 dengan penambahan etanol dapat mengurangi kadar emisi CO dari pada ketiga BBM yang lain. Selain itu kandungan oksigen yang terdapat pada etanol dapat mengoptimalkan proses pembakaran pada ruang bakar kendaraan. Kenaikan tertinggi BBM4 pada putaranmesin 7000 rpm hanya sebesar 4,57% sangat jauh berbeda dari ketiga BBM lainnya

2. Emisi gas buang HC



Grafik 2. Grafik emisi gas buang HC

Mengacu pada Keputusan MNLH No.05/08/2006 yang mengatur tentang ambang batas standart emisi gas buang menyatakan bahwa ambang batas HC 2400 ppm (2016). Kadar emisi HC sebenarnya dapat di pengaruhi dari diameter piston, semakin besar diameter piston maka secara otomatis penyerapan udara dan bahan bakar akan semakin banyak. Piston yang berdiameter kecil akan menghisap bahan bakar dan udara lebih sedikit sehingga busi mampu membakar campuran udara dan bahan bakar semakin merata, sehingga emisi HC akan sedikit berkurang akibat proses pembakaran yang sempurna.

Dapat kita lihat pada **Grafik 2.** di ke empat bahan bakar pada putaran mesin 2000 rpm semua data yang diperoleh menunjukkan angka yang sangat tinggi hal ini di karenakan terdapat suatu lonjakan udara dan bahan bakar masuk keruang bakar karena posisi awal motor dalam kondisi diam kemudian masuk ke rpm 2000. Namun semakin tinggi rpm motor semakin menurun pula kadar emisi HC. Hal ini dapat kita lihat pada **Grafik 2.** dan data yang di peroleh dari tiap-tiap bahan bakar. Pada putaran mesin 2000-6000 rpm semua data yang di peroleh mengalami penurunan secara konstan. Hampir sama dengan emisi CO pada putaran mesin 7000-8000 rpm semua BBM mengalami lonjakan kecuali BBM1 (Jin, 2024).

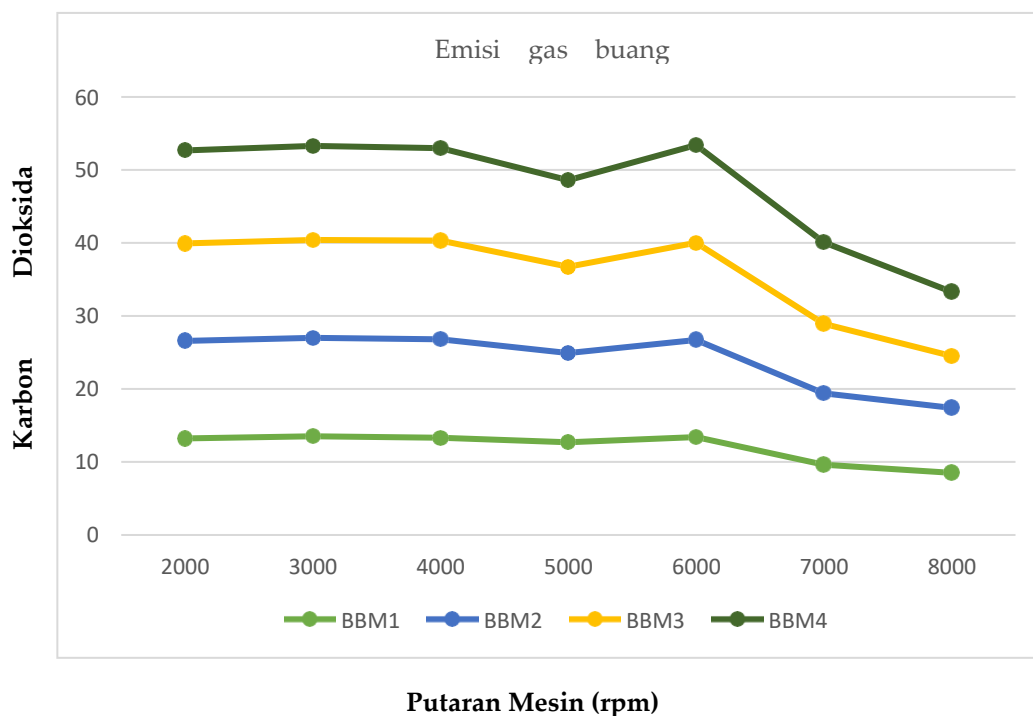
Dari ke empat bahan bakar tersebut emisi HC yang menunjukkan nilai paling tinggi pada saat posisi motor diam hingga ke 2000 rpm terjadi pada BBM1 dengan nilai HC 163 ppm. Penurunan yang sangat signifikan terjadi pada saat putaran mesin 2000-6000 rpm terjadi pada BBM1 pada putaran mesin 6000 rpm dengan nilai HC 17 ppm. Sedangkan lonjakan paling tinggi saat putaran mesin 7000 rpm terjadi pada BBM1 dengan nilai HC

169 ppm. Lonjakan paling tinggi pada saat putaran mesin 8000 rpm terjadi pada BBM3 dengan nilai 1265 ppm.

Yang menjadi berbeda pada emisi HC terdapat pada BBM1 dan BBM4. Pada BBM1 kenaikan nilai emisi HC hanya terjadi pada putaran mesin 7000 rpm saat menyentuh 8000 rpm nilai emisi HC mengalami penurunan 133 ppm dari yang awalnya 169 ppm pada saat 7000 rpm. Hal ini tidak di temukan pada BBM lainnya Dimana pada saat putaran mesin 7000 ke 8000 rpm mengalami kenaikan (Sethin, 2024).

Pada BBM4 kenaikan yang terjadi pada putaran mesin 7000 rpm dengan nilai 82 ppm, hal ini tidak begitu jauh berbeda dengan saat berada pada 2000 rpm yaitu 90 ppm. Namun lonjakan pada BBM4 ini sangat terlihat saat putaran mesin 8000 rpm lonjakan yang terjadi sangat drastis dengan nilai 685 ppm dari yang sebelumnya hanya 82 ppm.

3. Emisi gas buang CO₂



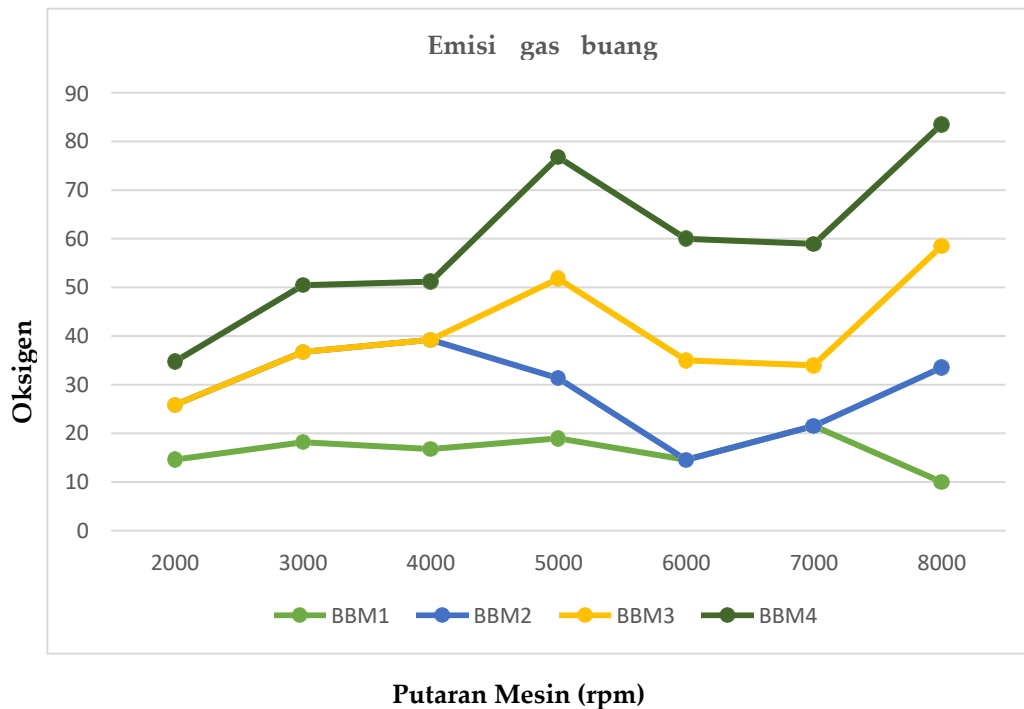
Grafik 3. Grafik emisi gas buang CO₂

Berbeda dari emisi-emisi sebelumnya emisi jika pada emisi CO dan HC menunjukkan nilai yang tinggi maka semakin buruk emisi gas buangnya. Di emisi CO₂ jika menunjukkan nilai yang tinggi maka semakin bagus. Hal ini disebabkan karena jika nilai emisi CO₂ tinggi maka menunjukkan seberapa sukses proses pembakaran yang terjadi. Maka dari itu jika nilai CO₂ tinggi semakin rendah emisi CO dan HC. Ini menunjukkan semakin tinggi nilai emisi CO₂ maka semakin sedikit pula campuran udara dan bahan bakar yang terbang.

Dari **Grafik 3.** dapat kita lihat pada putaran mesin 2000-4000 rpm nilai yang dihasilkan hampir stabil. Penurunan terjadi ketika putaran mesin 5000 rpm, semua BBM mengalami penurunan. Pada putaran mesin 6000 rpm mengalami kenaikan lagi dan mulai menurun lagi pada saat putaran mesin 7000 rpm. Dari **Grafik 3.** kondisi terbaik penggunaan ke empat bahan bakar ini berkisar antara putaran mesin 2000-6000 rpm. Dari ke empat bahan bakar

yang nilai emisi CO₂ masih tinggi di putaran mesin 7000 rpm adalah BBM4. Penambahan etanol dapat membantu menaikkan nilai oktan yang terdapat pada bahan bakar sehingga mampu membantu menyempurnakan pembakaran. Dalam putaran mesin 8000 rpm ke empat bahan bakar menunjukkan nilai yang sangat kecil hal itu pula yang membuat nilai emisi CO dan HC menjadi lebih tinggi (Demir, 2024).

4. Emisi gas buang O₂



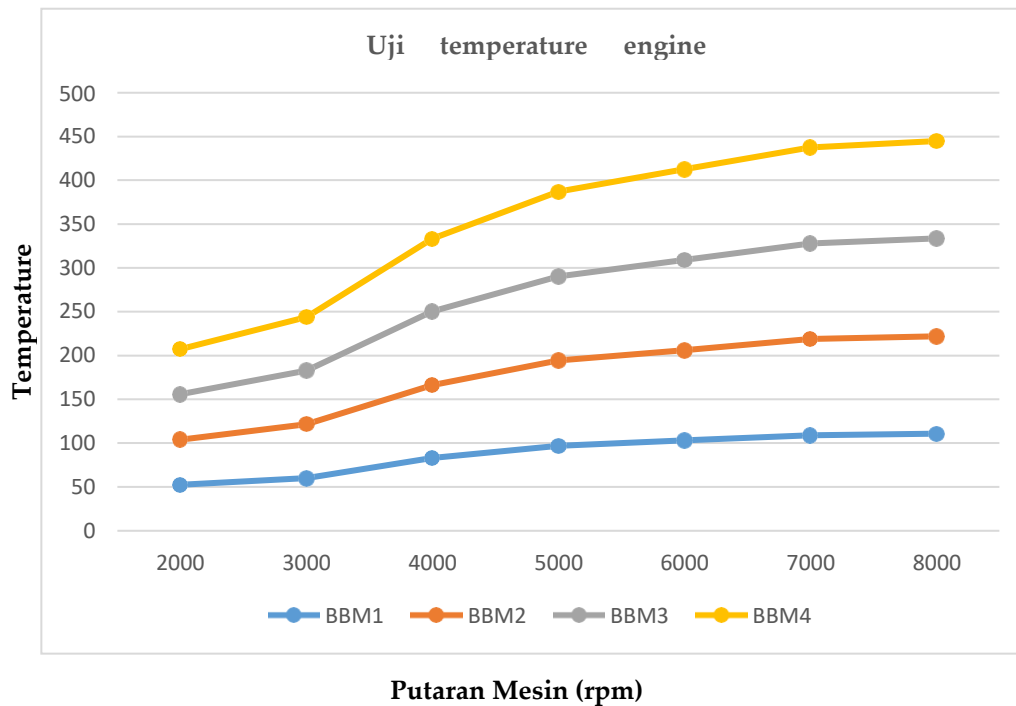
Grafik 4. Grafik emisi gas buang O₂

Kadar emisi O₂ pada gas buang merupakan seberapa banyak kandungan oksigen yang ikut terbang setelah proses pembakaran. O₂ yang terlalu banyak ikut terbang menandakan bahwa kualitas pembakaran tidak terjadi secara efisien. Jika nilai nya semakin mendekati angka 0 maka dapat dipastikan semakin baik proses pembakaran yang terjadi. Jika nilai yang didapat semakin tinggi artinya mungkin ada kebocoran pada system gas buang atau kualitas bahan bakarnya tidak terlalu bagus, atau dapat juga disebabkan karena penyetelan karburator kurang baik. Jika penyetelan karburator kurang baik maka yang dihasilkan proses masuk udara dan bahan bakar ke dalam ruang bakar tidak sesuai atau bisa juga disebut terlalu irit (Omprakash, 2025).

Dari **Grafik 4**, dapat disimpulkan bahwa hasil pembakaran terbaik hanya ada pada sebagian bahan bakar dan hanya di rpm-rpm tertentu. Hasil pembakaran yang mendapatkan nilai emisi O₂ sebesar 0,00% ada pada BBM2 pada kecepatan mesin 6000 dan 7000 rpm, kemudian berada pada BBM3 pada kecepatan mesin 2000, 3000, dan 4000 rpm. Itu mengidentifikasi bahwa proses pembakaran yang terjadi sangat sempurna sehingga tidak ada kandungan oksigen yang ikut terbang. Sedangkan nilai emisi O₂ tertinggi ada pada BBM3 di kecepatan mesin 8000 rpm dengan nilai 25,00% dan juga berada pada BBM4 pada kecepatan mesin dari 5000 sampai 8000 rpm masing-masing memiliki nilai yang sama yaitu 25,00%. Pada kecepatan mesin 2000 rpm nilai terendah berada pada BBM4 dengan

nilai 8,92%. Sedangkan pada kecepatan mesin tertinggi yaitu 8000 rpm nilai yang paling rendah ada pada BBM1 dengan nilai 10.00%. Jika dilihat pada **Grafik 4.** kondisi yang paling stabil dengan posisi naik dan turun yang tidak begitu melonjak berada pada BBM1 (Haitham, 2024).

5. Hasil uji temperature C



Grafik 5. Grafik temperature engine mesin

Dapat dilihat pada **Grafik 5.** dapat disimpulkan bahwa semakin naik kecepatan putaran mesin suatu kendaraan maka akan semakin naik pula hasil pengukuran suatu temperature. Itu dikarenakan semakin naiknya kecepatan mesin proses pembakaran yang akan terjadi juga akan semakin bertambah hal itu yang menyebabkan suatu engine kendaraan akan semakin panas. Lama kendaraan di pakai juga akan mempengaruhi hasil dari pengukuran nilai temperature mesin. Dalam pengujian ini ke empat bahan bakar tidak menunjukkan angka yang begitu berbeda, hasil dari pengukuran hampir sama rata itu terjadi karena lama pengujian emisi yang hampir sama dengan kondisi mesin yang sama.

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai uji emisi dan temperature kendaraan dengan menggunakan bahan bakar shel suxxx, shel v-poxxx, campuran shel suxxx dan shel v-poxxx 50/50, dan campuran shel v-poxxx dengan etanol 90/10 pada motor yamaha R-15 dapat di ambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penggunaan bahan bakar shel v-poxxx lebih disarankan untuk penggunaan sepeda motor 150 cc.
2. Nilai oktan pada suatu bahan bakar dapat mempengaruhi hasil dari uji emisi kendaraan. Yang di buktikan dari hasil pengujian dan pengambilan data yang memiliki

nilai yang sangat signifikan. Dengan menambahkan etanol pada bahan bakar shel v-poxxx dengan takaran 90/10 dapat mengurangi nilai dari uji emisi kendaraan.

3. Pencampuran bahan bakar shel suxxx dan shel v-poxxx 50/50 tidak begitu berpengaruh pada hasil pengujian. Data yang di dapat menyerupai bahan bakar shel v-poxxx murni tanpa campuran. Bahkan hasil dari pengujian di kecepatan mesin tertinggi campuran shel suxxx dan shel v-poxxx mengalami lonjakan yang sangat besar dari pada shel suxxx murni dan shel v-poxxx murni.
4. Hasil pengujian temperature engine mesin pada tiap-tiap bahan bakar dan pada tiap-tiap rpm juga tidak menunjukkan hasil yang berbeda. Hasil temperature di pengaruhi oleh seberapa lama suatu kendaraan dinyalakan dan juga faktor dari kecepatan mesin. Semakin tinggi rpm motor maka semakin beroprasi pembakaran pada kendaraan itu menyebabkan motor semakin panas.

Saran

Berdasarkan hasil percobaan dan pengujian ini, maka diajukan saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan kendaraan lainnya.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan kadar presentase etanol yang lebih tinggi.

Ucapan Terima Kasih

Saya ucapkan terimakasih kepada kedua orang tua yang telah mensupport baik materil dan non materil. Serta saya ucapkan terimakasih pula kepada program studi Teknik mesin yang telah memberi wawasan serta ilmu yang berguna. Tidak lupa saya ucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing yang telah membimbing. Serta teman-teman seangkatan yang telah mendukung serta membantu menyelesaikan penelitian ini.

Conflict of Interest Statemen

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Daftar Pustaka

- Bayu, G., Esaputra, W., Kusuma, I. G. B. W., & Adhi, A. (2016). Pengaruh penggunaan bahan bakar liquefied gas for vehicle (LGV) terhadap konsumsi bahan bakar, SFC, dan emisi gas buang pada mobil. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(2), 83–92.
- Demir, U. (2024). Experimental investigation of the effect of fuel oil, graphene and HHO gas addition to diesel fuel on engine performance and exhaust emissions in a diesel engine. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 1434–1446. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.007>
- Haitham, N. A. (2024). Effect Of Fuel Temperature On Some Performance Indicators And Exhaust Gas Emissions Of A Four Cylinder Diesel Engine. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 55(4), 1412–1418. <https://doi.org/10.36103/eby7fs22>

- Hartanto, S., Ihsan, A. M., & Yuliana, G. C. (2019). Share-5_6179322366770807038. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 35–40.
- Hartantrie, R. C., Lesmana, I. G. E., A. R. T. K., Rahman, R. A., & Agung, N. (2022). *Motor bakar pada mesin konversi energi*.
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran udara akibat emisi gas buang kendaraan bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3), 241. <https://doi.org/10.54324/j.mtl.v1i3.23>
- Jin, S. (2024). The influence of exhaust gas recirculation on combustion and emission characteristics of ammonia-diesel dual-fuel engines: Heat capacity, dilution and chemical effects. *Journal of the Energy Institute*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.joei.2024.101778>
- Kurdi, O., & Arijanto. (2007). Aspek torsi dan daya pada mesin sepeda motor 4 langkah dengan bahan bakar campuran premium–methanol. *Rotasi*, 9(2), 54–60.
- Luthfi, M., Ahmad, D., Setiyo, M., & Munahar, S. (2018). Uji komposisi bahan bakar dan emisi pembakaran pertalite dan premium. *Jakarta Journal of Technology, Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 10(1), 67–72.
- Mara, I. M., Sayoga, I. M. A., Yudhyadi, I. G. N. K., & Nuarsa, I. M. (2018). Analisis emisi gas buang dan daya sepeda motor pada volume silinder diperkecil. *Dinamika Teknik Mesin*, 8(1), 8. <https://doi.org/10.29303/dtm.v8i1.154>
- Marlita, D. (2014). 112707_ID_pencemaran_udara_akibat_emisi. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik*, 1(3).
- Negara, M., & L. Hidup. (2009). *PermenLH Nomor 04 Tahun 2009*.
- Ningrat, A. A. W. K., Kusuma, I. G. B. W., & I. Wayan. (2016). Pengaruh penggunaan bahan bakar pertalite terhadap akselerasi. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), 59–67.
- Nugraheni, I. K., & Haryadi, R. (2017). Pengujian emisi gas buang motor bensin empat tak satu silinder menggunakan campuran bahan bakar premium dengan etanol. *Jurnal Elementa*, 4(1), 22. <https://doi.org/10.34128/je.v4i1.5>
- Omprakash, B. (2025). Effect of Exhaust Gas Recirculation on the Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine with Hydrogen Fuel and Nano-Additive. *Smart Innovation Systems and Technologies*, 114, 621–630. https://doi.org/10.1007/978-981-96-4718-7_52
- Ramadhani, Z., Putra, E., & Suryanto, H. (2021). Pengaruh campuran bahan bakar pertalite dengan minyak kayu putih terhadap emisi gas buang dan performa mesin sepeda motor empat langkah. *Jurnal Teknik Mesin dan Energi*, 2, 32–38.
- Rifal, M., Pido, R., & Dera, N. S. (2021). Pengaruh campuran bahan bakar ethanol–bensin terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada kendaraan bermotor 125 cc sistem injeksi. *Gorontalo Journal of Infrastructure Science and Engineering*, 4(2), 50–75.
- Sari, T. P. (2022). Siklus-siklus mesin kalor. In *Thermodinamika* (pp. 113–126). Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur. http://repository.upnjatim.ac.id/11339/1/E-Book_BookChapter_Thermodinamika-122-135.pdf

-
- Sethin, A. (2024). Effects of Blended Diesel-Biodiesel Fuel on Emissions of a Common Rail Direct Injection Diesel Engine with Different Exhaust Gas Recirculation Rates. *ACS Omega*, 9(19), 20906–20918. <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c10125>
- Yudhantoko, M. (2008). Emisi gas buang kendaraan bermotor. *Komisi Penghapusan Bensin Bertimbel*, 1, 1–11. <http://www.kbpp.org/makalah-Ind/emisi>