

Uji Eksperimental Penggunaan Variasi Filter Udara Terhadap Emisi Gas Buang Dan Konsumsi Bahan Bakar Motor 4 Langkah

Muhamad Alghifari^{a*}, Sarjono^a

^a Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe, Jl. Kampus Ronggolawe No.1 Mentul, Indah, Komp. Pertamina, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah 58315,

*E-mail: muhamadalghifari79@gmail.com

Tentang naskah:

-diterima, 11 Juli 2025
-direview, 31 Juli 2025
-diterbitkan, 31 Juli 2025

Kata kunci:

Filter udara, Emisi gas Buang, Konsumsi bahan bakar.

Intisari

Filter udara adalah komponen penting yang berdampak pada emisi gas buang dan efisiensi bahan bakar mesin. Fungsinya adalah menyaring partikel kotoran sebelum udara masuk ke ruang bakar mesin. Pengguna sepeda motor mulai menggunakan filter udara racing dan modifikasi untuk meningkatkan kinerja mesin dan efisiensi bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan bagaimana penggunaan variasi filter udara standar, modifikasi, dan racing mempengaruhi emisi gas buang (CO, HC, CO₂, dan O₂) dan konsumsi bahan bakar pada motor empat langkah. Penelitian menggunakan metode eksperimental dengan alat gas analyzer, buret, dan speedometer rpm. Dari hasil Penelitian yang telah dilakukan terhadap variasi filter udara, diketahui bahwa filter udara standar menghasilkan kadar CO terendah sebesar 0,98 % dan emisi HC yang lebih stabil dan rendah fluktuasi sebesar 24-29 ppm. Secara keseluruhan semua filter masih memenuhi Permen LHK No 8 tahun 2023. CO₂ tertinggi secara konsisten, mencapai 1,2 % pada putaran 6500 rpm, Hal ini menunjukkan sedangkan filter udara racing menunjukkan proses pembakaran menjadi lebih sempurna, dan untuk kadar O₂ paling rendah sebesar 16,6 %, meskipun masih berada diatas nilai stoikiometri (14,7), nilai ini menunjukkan campuran mendekati ideal dan menjadi pembakaran lebih sempurna.

Abstract

Air filters are an important component that affects exhaust gas emissions and engine fuel efficiency. Its function is to filter dirt particles before air enters the engine's combustion chamber. Motorcycle users have started using racing and modified air filters to improve engine performance and fuel efficiency. This study aims to determine how the use of variations of standard, modified, and racing air filters affects exhaust gas emissions (CO, HC, CO₂, and O₂) and fuel consumption in four-stroke motorcycles. The research employed experimental methods using a gas analyzer, burette, and RPM speedometer. From the research conducted on the variations of air filters, it was found that the standard air filter produced the lowest CO level of 0.98% and more stable and lower HC emissions with fluctuations of 24-29 ppm. Overall, all filters still meet the requirements of Permen LHK No. 8 of 2023. CO₂ peaked consistently, reaching 1.2% at 6500 rpm, this shows that the racing air filter makes the combustion process more complete, and the lowest O₂ content is 16.6%, although it is still above the stoichiometric value (14.7), this value indicates that the mixture is approaching ideal and results in more complete combustion.

Keywords:

Air filter, Exhaust gas emissions, Fuel consumption.

1. Pendahuluan

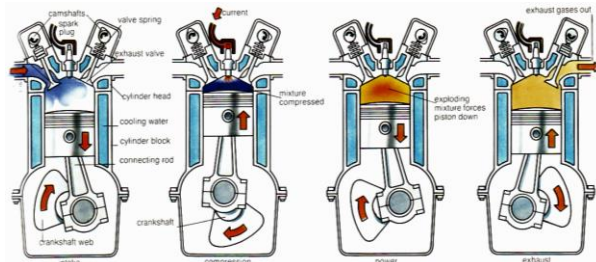
Di Indonesia jumlah kendaraan terus meningkat dalam lima tahun terakhir. Sebanyak 132,4 juta unit sepeda motor dibeli di Indonesia pada tahun 2023, menjadikannya penghasil utama emisi gas buang. Untuk mengurangi emisi gas buang, perawatan kendaraan harus dilakukan secara teratur. Perawatan filter udara adalah salah satunya, karena kondisi filter udara akan mempengaruhi kinerja mesin. Fungsinya adalah menyaring partikel kotoran sebelum udara masuk ke ruang bakar mesin. penelitian ini bertujuan untuk menguji secara eksperimental pengaruh penggunaan

berbagai jenis filter udara terhadap emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar motor 4 langkah. Tujuan dari penelitian ini adalah Untuk mengetahui bagaimana penggunaan variasi filter udara standar, modifikasi, dan racing berdampak pada emisi gas buang (CO, HC, CO₂, dan O₂) pada motor 4 langkah, Untuk mengetahui bagaimana perbedaan pada emisi gas buang dan konsumsi bahan bakar antara penggunaan filter udara standar, modifikasi, dan racing. Untuk mengetahui bagaimana variasi filter udara berdampak pada konsumsi bahan bakar motor dalam kondisi operasi tertentu.

2. Kerangka Teori

2.1 Motor 4 Langkah

Secara teoritis proses pembakaran terjadi dengan sangat cepat dan peningkatan tekanan yang tiba-tiba, siklus Otto adalah siklus volume konstan. Siklus ini juga dikenal sebagai siklus ledakan.



Gambar 1. Siklus Motor 4 Langkah

1. Langkah Isap

Saat piston bergerak dari posisi titik mati atas (TMA) ke posisi titik mati bawah (TMB), katup hisap terbuka sedangkan katup buang tetap tertutup.

2. Langkah Kompresi

Setelah campuran bahan bakar dan udara masuk ke dalam silinder, langkah kompresi digunakan untuk mengkompresi campuran. Saat piston bergerak dari TMB ke TMA, kedua katup isap dan buang tertutup. Dalam kondisi ini, campuran bahan bakar udara sangat mudah terbakar karena volume campuran menjadi lebih kecil saat tekanan dan suhu meningkat.

3. Langkah Kerja

Katup isap dan buang tetap tertutup saat piston didorong dengan tekanan tinggi menuju TMB selama proses kompresi. Ini terjadi saat piston bergerak dari TMA ke TMB, yang merupakan langkah kerja atau ekspansi. Tekanan menurun seiring dengan volume gas yang dibakar. (Suprptono, 2004).

4. Langkah Buang

Ketika piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA) sambil membuka katup outlet, langkah buang terjadi. Gas yang dihasilkan dari pembakaran dibuang melalui katup outlet menuju saluran buang.

2.2 Filter Udara

Komponen ini berfungsi untuk menyaring udara agar udara yang masuk bersih dari debu atau kotoran. Filter udara standar atau *replacement* adalah filter bawaan pabrik. Posisi filter udara ini yaitu di dalam *box* filter udara. Dalam pengujian ini salah satu bahan uji nya menggunakan filter modifikasi

berbahan busa dan filter udara racing berbahan *stainless steel*. Yang membedakan filter udara modifikasi dan racing dengan yang standar filter udara ini adalah tingkat kerapatannya lebih renggang sehingga dapat menyuplai udara lebih banyak, usia pemakaian lebih panjang.



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. (a) Filter udara standar; (b) modifikasi; (c) racing

2.3 Bahan Bakar

Bensin merupakan bahan bakar cair hasil penyulingan minyak mentah (*crude oil*) yang digunakan terutama pada mesin pembakaran dalam tipe bensin. Secara kimia, bensin adalah campuran dari hidrokarbon jenuh (alkana), seperti isooktana dan heptana, yang diklasifikasikan dalam kelompok parafin. Komposisi kimia tersebut memberikan karakteristik mudah terbakar serta mampu menghasilkan energi panas yang besar.

Beberapa sifat fisika bensin yang penting dalam pemakaiannya sebagai bahan bakar mesin antara lain:

- Titik nyala: rendah, berkisar antara -10°C hingga -15°C , yang memungkinkan bensin mudah menyala pada suhu rendah.
- Berat jenis: berkisar antara 0,60–0,78, menunjukkan bahwa bensin lebih ringan dari air.
- Warna dan bau: tidak berwarna, jernih, dan memiliki bau khas.
- Daya penguapan: tinggi, sehingga mudah bercampur dengan udara untuk membentuk campuran yang mudah terbakar.

- e) Nilai kalor: berkisar antara 9.500 hingga 11.500 kkal/kg, menunjukkan efisiensi tinggi dalam menghasilkan energi (Suprpto, 2004:19).

2.4 Karburator

Karburator, yang dipasang pada sepeda motor Yamaha Vega ZR 2013, menggunakan karburator tipe Mikuni VM17SH, yang terdiri dari beberapa komponen penting yang bekerja secara sinergis, berfungsi untuk mencampur udara dan bahan bakar dalam proporsi yang tepat sebelum masuk ke ruang bakar. Gambar 3 menampilkan komponen utama karburator, sebuah perangkat pada mesin pembakaran internal yang berfungsi mencampurkan udara dan bahan bakar dalam perbandingan yang tepat sebelum masuk ke ruang bakar.



Gambar 3. Karburator

Venturi berfungsi mempercepat aliran udara dan menciptakan vakum. Pelampung dan jarum pelampung mengatur tingkat bahan bakar dalam mangkuk karburator. Main jet dan pilot jet mengontrol jumlah bahan bakar yang disemprotkan ke dalam aliran udara, masing-masing untuk kecepatan tinggi dan rendah. Katup gas (skep) mengatur jumlah campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke mesin berdasarkan bukaan throttle. Choke digunakan untuk memperkaya campuran saat mesin dalam kondisi dingin, memudahkan proses start awal. Berfungsi sebagai pengatur bahan bakar yang ada didalam mangkok karburator agar tidak berlebihan.

2.5 Emisi Gas Buang

Emisi Gas buang adalah sisa bahan bakar yang dikeluarkan dari ruang bakar melalui sistem pembuangan mesin. Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 8 Tahun 2023, baku mutu emisi kendaraan bermotor kategori M,

kategori N, kategori O, dan kategori L diterapkan. Motor kategori L memiliki 4 langkah dari tahun 2010 hingga 2016 dengan parameter CO nilai maksimum 4% dan 1800 ppm (KLHK, 2023). Karena oksigen tidak termasuk dalam polutan primer, standar tidak mengaturnya.

2.6 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Dalam penelitian ini, konsumsi bahan bakar didefinisikan sebagai banyaknya volume bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin dalam waktu tertentu, diukur dalam ml/cc, sebagai perbandingan antara laju aliran masa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Dengan kata lain, konsumsi bahan bakar dapat didefinisikan sebagai berapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk menghasilkan daya output. Satuan dalam standart nasional (SI) adalah kg/kWh

$$Sfc = m_f / P \quad (1)$$

$$m_f = V/t \times 3600/1000 \times \rho_{bb} \quad (2)$$

dimana:

Sfc = konsumsi bahan bakar spesifik (kg/kW.jam)

m_f = laju aliran konsumsi bahan bakar (kg/jam)

P = daya (HP)

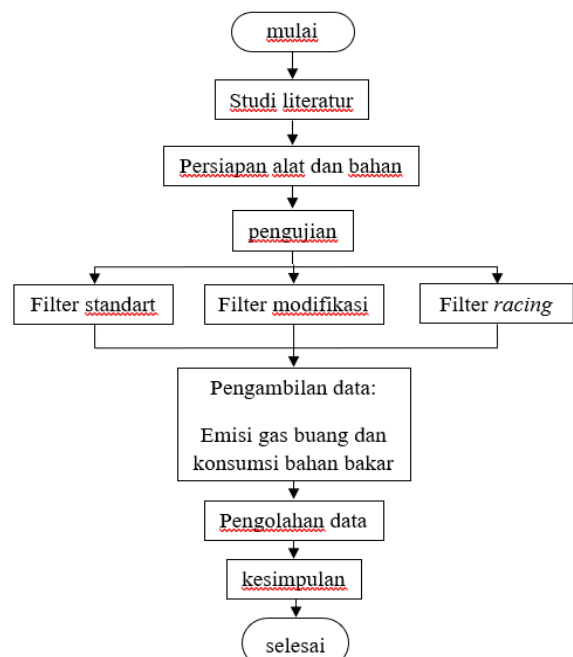
V = volume bahan bakar yang digunakan (ml)

t = waktu yang dibutuhkan (detik)

ρ_{bb} = massa jenis bahan bakar (kg/l)

3. Metodologi

3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

3.2 Tempat penelitian

Pengujian konsumsi bahan bakar akan dilaksanakan di Mototech Jl. Ringroad Selatan, Kota Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta.

Pengujian Emisi Gas Buang akan dilaksanakan di Workshop mesin Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Jl. Kampus Ronggolawe Blok B No 1 Mentul, Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58315

3.3 Bahan dan Alat Penelitian

A. Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai dalam penelitian ini adalah:

- a) Sepeda motor Vega ZR 115 CC tahun 2013.
- b) Filter standar, Filter Modifikasi, Filter racing
- c) Bahan bakar Pertamina 92

B. Alat Penelitian

Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

- a) Stopwatch
- b) Burret
- c) Monitor PC
- d) Gas Analyzer

3.4 Rancangan Alat Uji Penelitian

Untuk mendukung proses pengujian, rancangan alat ini dirancang dengan mempertimbangkan fungsi utama setiap komponen sehingga dapat menghasilkan data yang akurat. Gambar berikut memperlihatkan susunan komponen dan alur kerja alat uji penelitian yang digunakan.



Gambar 5. Skema alat uji Penelitian

3.5 Langkah Penelitian

A. Langkah Penelitian Konsumsi Bahan Bakar

- 1) Mempersiapkan sepeda motor, filter udara standart, modifikasi, dan racing serta bahan bakar yang akan digunakan dalam proses pengujian serta pengambilan data,

kemudian melakukan perbaikan dan pengecekan pada sistem pengapian, sistem kelistrikan, sistem pelumasan, dan tekanan ban sepeda motor yang digunakan dalam pengujian.

- 2) Mempersiapkan serta melakukan pengecekan pada alat yang akan digunakan dalam pengujian yaitu burret, , stopwatch.

Setelah melakukan tahap persiapan, maka pengujian dapat dimulai dengan langkah-langkah pengujian konsumsi bahan bakar sebagai berikut:

- 1) Persiapkan bahan bakar pada buret yang telah disiapkan.
- 2) Hubungkan buret dengan karburator menggunakan selang.
- 3) Seting putaran mesin sesuai yang dibutuhkan dengan menarik tuas throtel dan jaga agar putaran tetap konstan
- 4) Seting timer selama 60 detik
- 5) Setelah itu sisa bensin didalam buret
- 6) Terakhir melakukan perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik menggunakan rumus (1) dan (2)

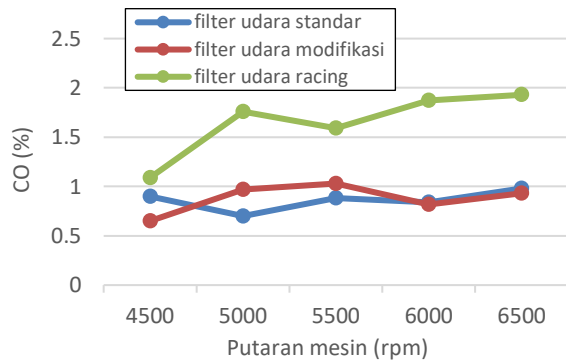
B. Langkah Penelitian Emisi Gas Buang

- 1) Hidupkan alat penguji emisi gas buang.
- 2) Hidupkan kendaraan yang akan di ukur.
- 3) Cek kebocoran pada knalpot kendaraan; jika ada, pastikan untuk memperbaikinya.
- 4) Atur pengaturan putaran ke kisaran putaran yang diinginkan.
- 5) Letakkan Gas Probe pada knalpot motor kurang lebih pada jarak 30 cm.
- 6) Perhatikan angka pada layar alat khusus yang menunjukkan pergerakan CO, CO₂, O₂, dan HC.
- 7) Waktu pengujian dilakukan sekitar 30 detik sejak Gas Probe diletakkan ke dalam knalpot kendaraan.
- 8) Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang akurat.
- 9) Catat hasil emisi gas buang dan penggunaan bahan bakar yang ditunjukkan pada masing-masing alat ukur.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Gas CO

Pada Gambar 6 adalah grafik yang menyajikan perubahan gas CO yang dihasilkan selama proses pengujian.

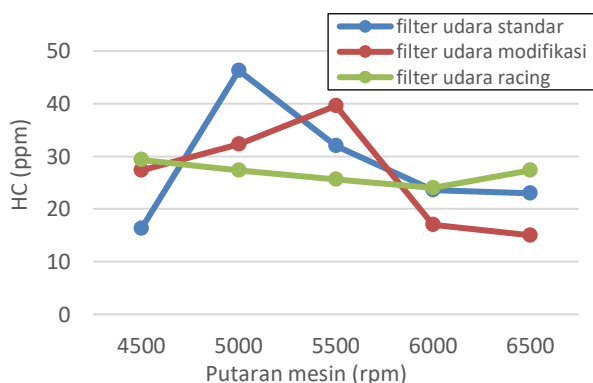


Gambar 6. Grafik hasil pengukuran gas CO

Pada grafik data filter udara standar berwarna biru, modifikasi berwarna hijau, dan racing berwarna merah. Grafik menunjukkan kadar CO tertinggi secara konsisten adalah filter udara racing, dengan nilai mendekati 4 % pada hampir semua putaran. Nilai ini masih berada dalam batas aman menurut Permen LHK No 8 tahun 2023, namun menunjukkan kecenderungan pembakaran yang tidak sempurna akibat suplai udara berlebih. Untuk filter udara modifikasi menghasilkan kadar CO yang sedikit lebih tinggi dibandingkan filter udara standar, namun lebih rendah dari filter racing. Sementara itu, filter udara standar menunjukkan kadar CO yang paling rendah dan stabil di semua putaran mesin. Ini menandakan pembakaran yang lebih sempurna dan efisien, serta lebih ramah lingkungan.

4.2 Gas HC

Pada Gambar 7 adalah grafik yang menyajikan perubahan gas HC yang dihasilkan selama proses pengujian.



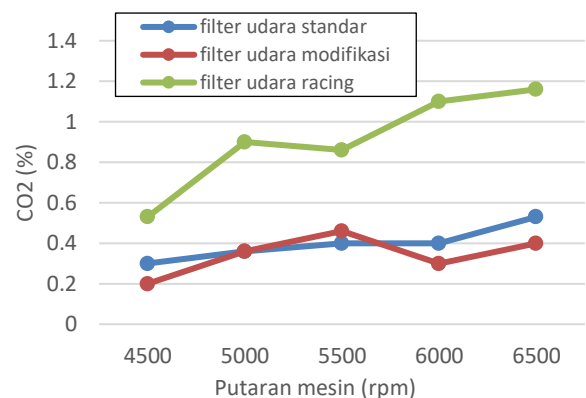
Gambar 7. Grafik hasil pengukuran gas HC

Pada grafik data filter udara standar berwarna biru, modifikasi berwarna hijau, dan racing berwarna merah. menunjukkan kadar HC yang dihasilkan berada jauh diambang batas 1800 ppm, sehingga masih memenuhi standar Permen LHK No 8 tahun 2023. filter udara standar menunjukkan

lonjakan kadar HC pada 5500 rpm sebesar 46,3 ppm, namun turun kembali pada putaran yang lebih tinggi. Untuk filter udara modifikasi menghasilkan kadar HC tertinggi pada 5500 rpm sebesar 39,6 ppm, namun menurun signifikan di atas 6000 rpm. Sedangkan untuk filter udara racing cenderung menghasilkan kadar HC yang paling rendah dan stabil, berkisar antara 24-29 ppm. Secara keseluruhan semua filter memenuhi standar, namun dari sisi efisiensi pembakaran dan kestabilan emisi HC, filter udara racing menunjukkan hasil paling baik.

4.3 Gas CO₂

Pada Gambar 8 adalah grafik yang menyajikan perubahan gas CO₂ yang dihasilkan selama proses pengujian.

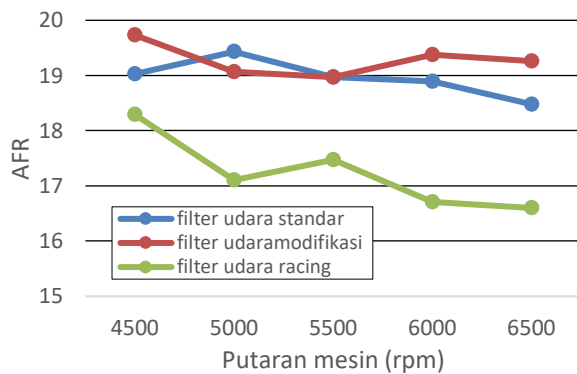


Gambar 8. Grafik hasil pengukuran gas CO₂

Pada grafik data filter udara standar berwarna biru, modifikasi berwarna hijau, dan racing berwarna merah. Filter udara racing menghasilkan kadar CO₂ tertinggi secara konsisten, mencapai 1,2 % pada putaran 6500 rpm. Grafik ini menunjukkan bahwa suplai udara yang besar membantu proses pembakaran menjadi lebih sempurna. Untuk filter udara modifikasi kadar CO₂ yang tidak stabil, namun cenderung lebih rendah dari racing, dengan nilai puncak 0,45 % pada 5500 rpm. Sedangkan untuk filter standar memiliki kadar CO₂ paling rendah disebagian besar putaran mesin, menandakan bahwa proses pembakara tidak seefisien pada filter lainnya.

4.4 Gas O₂

Pada Gambar 9 adalah grafik yang menyajikan perubahan gas O₂ yang dihasilkan selama proses pengujian.

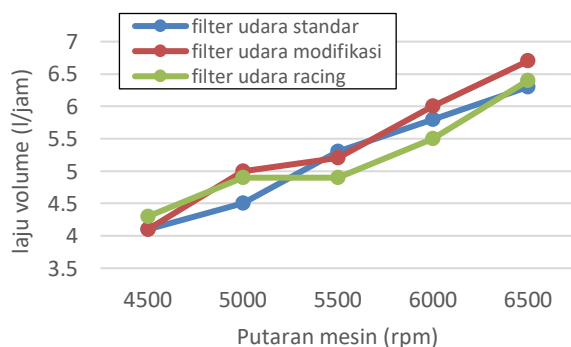


Gambar 9. Grafik hasil pengukuran gas O_2

Pada grafik data filter udara standar berwarna biru, modifikasi berwarna hijau, dan racing berwarna merah. Meskipun kadar O_2 dalam gas buang tidak diatur secara langsung, namun O_2 diukur melalui perbandingan massa udara terhadap massa bahan bakar (AFR). Filter udara modifikasi memiliki nilai AFR tertinggi dan cenderung stabil 19,0-19,7, yang menunjukkan campuran cukup miskin (lean). Ini dapat membantu menurunkan emisi CO_2 namun bisa meningkatkan HC bila pembakaran tidak sempurna. Untuk filter udara standar memiliki nilai AFR sedikit lebih rendah sekitar 18,4-19,4 %, cenderung tidak stabil namun tetap batas aman. Untuk yang terakhir filter udara racing menunjukkan nilai AFR terendah dan terus menurun hingga sekitar 16,6. meskipun masih berada diatas nilai stoikiometri (14,7), nilai ini menunjukkan campuran mulai mendekati ideal dan memungkinkan pembakaran lebih sempurna.

4.5 Konsumsi Bahan Bakar

Pada Gambar 10 adalah grafik yang menyajikan perubahan konsumsi bahan bakar yang dihasilkan selama proses pengujian.



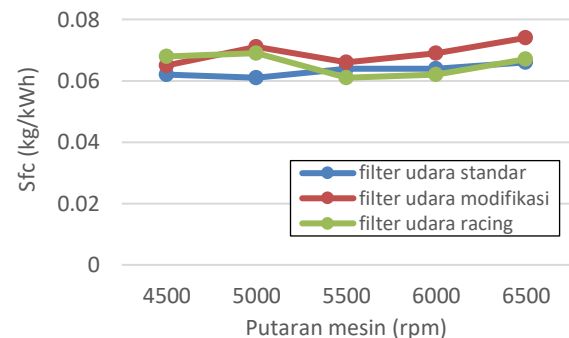
Gambar 10. Grafik Konsumsi Bahan bakar

Pada grafik data filter udara standar berwarna biru, modifikasi berwarna hijau, dan racing berwarna merah. Dari grafik dapat

dilihat bahwa filter udara modifikasi menghasilkan konsumsi bahan bakar tertinggi di seluruh rentang putaran mesin. Konsumsinya meningkat secara bertahap dari 4,1 liter per jam pada 4500 rpm hingga 6,7 liter per jam pada 6500 rpm. Sementara itu, filter udara standar dan racing menunjukkan pola peningkatan konsumsi bahan bakar yang hampir seimbang, namun filter udara racing cenderung memiliki konsumsi yang sedikit lebih tinggi di beberapa titik putaran.

4.6 Specific Fuel Consumption (SFC)

Pada Gambar 11 adalah grafik yang menyajikan perubahan SFC yang dihasilkan selama proses pengujian.



Gambar 11. Grafik konsumsi bahan bakar spesifik (Sfc)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Sfc) tertinggi adalah filter udara modifikasi dibanding dengan filter standar dan filter racing. di hampir seluruh putaran mesin, dengan nilai 0,065 kg/kWh di putaran 4500 rpm dan terus meningkat hingga nilai 0,074 kg/kWh di putaran 6500.

Sedangkan filter udara standar menunjukkan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (sfc) terendah dengan nilai 0,062 kg/kWh di putaran mesin 4500, walaupun perbedaan nilainya tidak terlalu signifikan dengan modifikasi dan racing, tetapi filter udara standar mengalami penurunan di putaran 5000 rpm, setelah itu terus mengalami kenaikan hingga nilai 0,066 kg/kWh di putaran mesin 6500 rpm. Di sisi lain filter udara racing memiliki nilai 0,068 kg/kWh di putaran 4500 rpm, lalu terus naik di putaran 5000 rpm kemudian turun di putaran 5500 rpm, setelah itu naik lagi sampai di putaran 6500 rpm.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji eksperimental yang sudah dilakukan, peneliti memberikan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengaruh terhadap emisi gas buang
 - CO (Karbon Monoksida): Filter udara standar menghasilkan kadar CO

- terendah, Ini menandakan pembakaran yang lebih sempurna dan efisien, serta lebih ramah lingkungan. Secara keseluruhan semua filter masih memenuhi Permen LHK No 8 tahun 2023.
- HC (Hidrokarbon): Filter udara racing cenderung menghasilkan kadar HC yang paling rendah dan stabil, berkisar antara 24-29 ppm. Secara keseluruhan semua filter memenuhi Permen LHK No 8 tahun 2023.
 - CO₂ (Karbon Dioksida): Filter udara racing menghasilkan kadar CO₂ tertinggi secara konsisten, mencapai 1,2 % pada putaran 6500 rpm. Hal ini menunjukkan bahwa suplai udara yang besar membantu proses pembakaran menjadi lebih sempurna.
 - O₂ (Oksigen): filter udara racing menunjukkan nilai AFR terendah dan terus menurun hingga sekitar 16,6. meskipun masih berada diatas nilai stoikiometri (14,7), nilai ini menunjukkan campuran mulai mendekati ideal dan memungkinkan pembakaran lebih sempurna.
- 2) Pengaruh terhadap konsumsi bahan bakar
- Filter udara modifikasi menunjukkan konsumsi bahan bakar tertinggi (paling boros) pada semua putaran mesin, disebabkan oleh peningkatan aliran udara yang memicu pembakaran lebih agresif.
 - Filter udara standar mencatat konsumsi bahan bakar paling hemat dan nilai konsumsi bahan bakar spesifik (sfc) terendah di hampir seluruh rentang rpm, menjadikannya pilihan efisien dalam penggunaan bahan bakar.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Abdul Fatah, K. M., & Pratama, A. (2022). Analisis Kinerja Mesin dan Konsumsi Bahan Bakar Sepeda Motor dengan Variasi Kondisi Filter Udara. Prosiding Seminar Nasional Penelitian Dan Pengabdian Kepada Masyarakat, 2(1), 25–29. <https://doi.org/10.24967/psn.v2i1.1451>
- Ardiyanta, A. (2023). Penggunaan filter udara berbahan katun untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar pada mesin bensin 1500cc. *Dinamika Teknik Mesin*, 131.
- Agus Adi Nursalim, F. U. (2022). Pengaruh Udara Terhadap Daya, Torsi Dan Konsumsi Bahan Bakar, Menggunakan Box Filter / Tanpa Box Filter Motor Matic. *Jurnal Fakultas Teknik*
- Astraotoshop. (2024, 03 22). article. Retrieved from <https://astraotoshop.com:https://astraotoshop.com/article/prinsip-kerja-karburator>
- motor?utm_source=chatgpt.com
- Fauzi, A. F. (2023). Analisa Pengaruh Jenis Bahan Filter Udara Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Pada Performa Motor 125 Cc. *Seminar Nasional Fakultas Teknik*, 2(1), 399–404. <https://doi.org/10.36815/semastek.v2i1.187>
- Heywood, J. B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2023). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 Tentang Baku Mutu Gas buang Kendaraan Bermotor Kategori L. Jakarta: Kementerian LHK.
- Prasetyo, B. D. (2013, 12 3). bagusdwiprasetyo. Retrieved from bagusdwiprasetyo: <https://bagusdwiprasetyo.wordpress.com>
- Riyanto Yanuar, M., Hidayat, I., Prandya Arvinandika Putra, C., Dwi Yulianto, D., & Jaya Saputra, T. (2023). Pengaruh Jenis Filter Udara Pada Sistem Injeksi Terhadap Kinerja Mesin Sepeda Motor. *Jtmei*, 2(3), 170–178 54
- Rosy Dewi Arianti, B. g. (2025). cekfakta. Retrieved from https://www.kompas.com/cekfakta/read/2025/03/26/132200282/jumlah-kendaraan-di-indonesia-sepeda-motor-mencapai157-juta-unit?utm_source=chatgpt.com
- Suprptono. (2004). *Bahan Bakar Dan Pelumas*. Semarang: Teknik Mesin Fakultas Teknik .
- wikipedia. (2023, 1 25). wiki. Retrieved from https://id.wikipedia.org:https://id.wikipedia.org/wiki/Emisi_gas_buang