



Evaluasi *Filter* Udara Serabut Kelapa terhadap Emisi CO dan HC, Aliran Udara, dan Performa Mesin Yamaha 28D Karburator

Evaluation of a Coconut Fiber Air Filter for CO and HC Emissions, Airflow Characteristics, and Engine Performance in a Carbureted Yamaha 28D Motorcycle

Agung Nugraha^{1*}, Gunawan¹, Rifano¹, Moch. Aziz Kurniawan¹

Abstrak

Emisi CO dan HC pada sepeda motor berkarburator berkaitan dengan kondisi pembakaran dan karakteristik aliran udara masuk. Penelitian ini mengevaluasi *filter* udara berbasis serabut kelapa pada Yamaha 28D karburator dengan membandingkannya terhadap *filter* standar pabrikan (OEM) dan *filter racing*. Pengujian emisi mengikuti SNI 09-7118.3-2005 pada kondisi idle dengan 30 pengukuran per variasi; data emisi dianalisis menggunakan Welch ANOVA dan Games-Howell, sedangkan aliran udara dan performa mesin dianalisis secara deskriptif. *Filter* serabut kelapa menghasilkan rata-rata CO 3,89% dan HC 194,8 ppm, masing-masing 21,06% dan 52,00% lebih rendah daripada *filter* OEM. Selisih daya maksimum antar*filter* sebesar 0,06 HP secara deskriptif. Dengan biaya produksi Rp36.640 per unit, ACER penurunan HC sebesar Rp704,62 per 1%. Temuan ini menunjukkan potensi serabut kelapa sebagai media *filter* alternatif pada kondisi pengujian, dengan kebutuhan verifikasi pada kendaraan dan kondisi operasi yang lebih beragam.

Kata Kunci

serabut kelapa; filter udara; emisi CO dan HC; sepeda motor karburator; performa mesin

Abstract

Carbon monoxide (CO) and hydrocarbon (HC) emissions from carbureted motorcycles are associated with combustion conditions and intake airflow. This study evaluated a coconut fiber air filter on a carbureted Yamaha 28D motorcycle against an original equipment manufacturer (OEM) filter and a racing filter. Emissions were tested at idle according to SNI 09-7118.3-2005 using 30 measurements per condition and analyzed with Welch ANOVA and the Games-Howell test, while airflow and engine performance were evaluated descriptively. The coconut fiber filter produced mean CO and HC emissions of 3.89% and 194.8 ppm, corresponding to reductions of 21.06% and 52.00% relative to the OEM filter. Its mean airflow velocity at 3000 rpm was 8.18 m/s, while the maximum power difference among filters was 0.06 HP. With a production cost of Rp36,640 per unit, the HC ACER was Rp704.62 per 1% reduction. The findings support further evaluation of coconut fiber as an alternative air-filter medium.

Keywords

coconut fiber; air filter; CO and HC emissions; carbureted motorcycle; engine performance

¹ Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan

Jl. Perintis Kemerdekaan No. 17, Kelurahan Mintaragen, Kecamatan Tegal Timur, Kota Tegal

* agungn5093@gmail.com

Dikirimkan: 07 Mei 2026. Diterima: 13 Agustus 2026. Diterbitkan: 21 Agustus 2026.

PENDAHULUAN

Emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemar udara perkotaan. Karbon monoksida (CO) terbentuk terutama akibat pembakaran karbon yang tidak

sempurna, sedangkan hidrokarbon (HC) pada gas buang berkaitan dengan bahan bakar yang tidak terbakar atau terbakar tidak sempurna. Paparan pencemar udara tetap menjadi persoalan kesehatan dan lingkungan global [1]. Di Indonesia, laporan kualitas udara juga menunjukkan perlunya pengendalian sumber emisi secara berkelanjutan [2].

Kebutuhan pengendalian tersebut relevan bagi sektor kendaraan roda dua karena populasinya besar dan sebagian kendaraan lama masih menggunakan sistem karburator. Data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia mencatat penjualan sepeda motor sebanyak 6,33 juta unit pada 2024 [3]. Pada kendaraan berusia lebih tua, kondisi sistem pembakaran dan tahun perakitan dapat berkaitan dengan variasi emisi gas buang [4]. Karena karburator mengatur campuran udara-bahan bakar secara mekanis, karakteristik aliran pada sisi masuk menjadi salah satu aspek yang layak dievaluasi bersama kondisi pembakaran.

Intervensi terhadap emisi sepeda motor telah dilakukan melalui berbagai jalur. Penggunaan campuran bioetanol, misalnya, dilaporkan dapat mengubah karakteristik emisi pada sepeda motor [5]. Di sisi lain, kajian filtrasi udara kendaraan memperlihatkan bahwa karakteristik media *filter* menentukan kemampuan penyisihan kontaminan pada aliran masuk [6]. Upaya teknis tersebut melengkapi pendekatan kebijakan seperti kewajiban uji emisi, yang implementasinya masih menghadapi kendala pada tingkat pengguna kendaraan [7]. Bagi kendaraan berkarburator yang telah beroperasi, modifikasi pada media *filter* udara menawarkan pendekatan yang relatif sederhana, tetapi perubahan hambatan dan pola alirannya perlu dipastikan tidak menurunkan performa mesin.

Serabut kelapa merupakan material *lignoselulosa* yang tersusun terutama atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Struktur berserat dan porositasnya telah banyak dipelajari dalam pengembangan material berbasis serat alami [8]. Karakterisasi serabut kelapa sebagai media filtrasi juga menunjukkan bahwa permeabilitas dan densitas curah menjadi parameter penting karena keduanya menentukan kemudahan udara melewati media [9]. Karakteristik ini memberi dasar teknis untuk menguji serabut kelapa sebagai media *filter* pada sistem masuk udara mesin, tetapi tidak dengan sendirinya membuktikan mekanisme penurunan emisi.

Kesenjangan penelitian muncul ketika karakteristik media *filter*, emisi, aliran udara, performa mesin, dan biaya dipertimbangkan sebagai satu rangkaian evaluasi. Studi yang membahas material filtrasi tidak selalu menilai respons mesin, sedangkan penelitian emisi sepeda motor umumnya berfokus pada bahan bakar atau modifikasi sistem pembakaran. Oleh sebab itu, bukti yang secara langsung membandingkan *filter* serabut kelapa dengan *filter* OEM dan *filter racing* pada satu sepeda motor berkarburator masih terbatas, terutama ketika hasil emisi perlu dibaca bersama karakteristik aliran, daya, torsi, dan biaya produksi.

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini bertujuan mengevaluasi perbedaan emisi CO dan HC pada tiga kondisi *filter* udara, yaitu OEM, serabut kelapa, dan *racing*, pada sepeda motor Yamaha tipe 28D karburator. Evaluasi dilengkapi dengan pengukuran kecepatan dan debit aliran udara, pengujian daya serta torsi, dan analisis biaya produksi. Kontribusi penelitian ditempatkan sebagai evaluasi terpadu pada satu konfigurasi kendaraan dan kondisi uji tertentu, sehingga interpretasinya dibatasi pada bukti yang benar-benar dihasilkan oleh rancangan eksperimen.

METODE PENELITIAN

Desain dan variabel penelitian

Penelitian menggunakan desain eksperimen pengukuran berulang pada satu sepeda motor Yamaha tipe 28D karburator berkapasitas 113 cc. Tiga kondisi *filter* dibandingkan, yaitu *filter* standar pabrikan (*original equipment manufacturer*/OEM) sebagai acuan, *filter* serabut kelapa sebagai perlakuan utama, dan *filter racing* sebagai pembanding. Variabel yang diamati meliputi emisi CO dan HC, daya maksimum, torsi maksimum, serta kecepatan aliran udara. Jenis

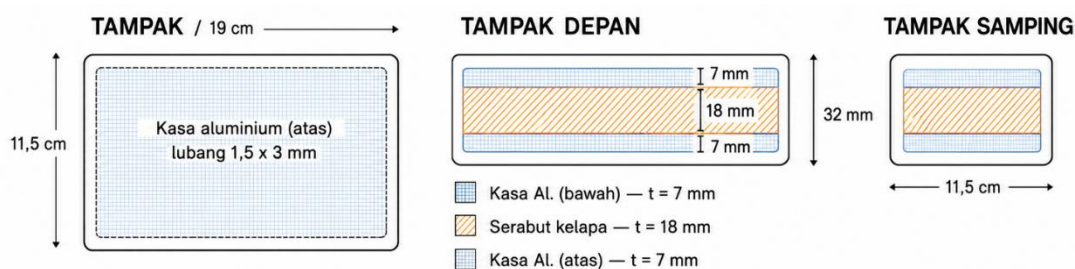
kendaraan, bahan bakar, temperatur kerja mesin, kondisi busi, tekanan ban, kondisi oli mesin, dan kondisi lingkungan pengujian dijaga tetap sejauh yang dapat dikendalikan.

Setiap kondisi *filter* diuji pada kendaraan yang sama dalam urutan tetap: OEM, serabut kelapa, kemudian *racing*. Urutan perlakuan tidak diacak. Mesin dipanaskan sekitar 15 menit hingga mencapai temperatur kerja, dan jeda sekitar 10 menit diberikan antarperlakuan untuk mengurangi perubahan temperatur mesin. Penggunaan urutan tetap membantu konsistensi prosedur, tetapi tidak menghilangkan potensi efek urutan atau perubahan kondisi kendaraan sepanjang rangkaian pengujian; keterbatasan ini dipertimbangkan dalam interpretasi hasil.

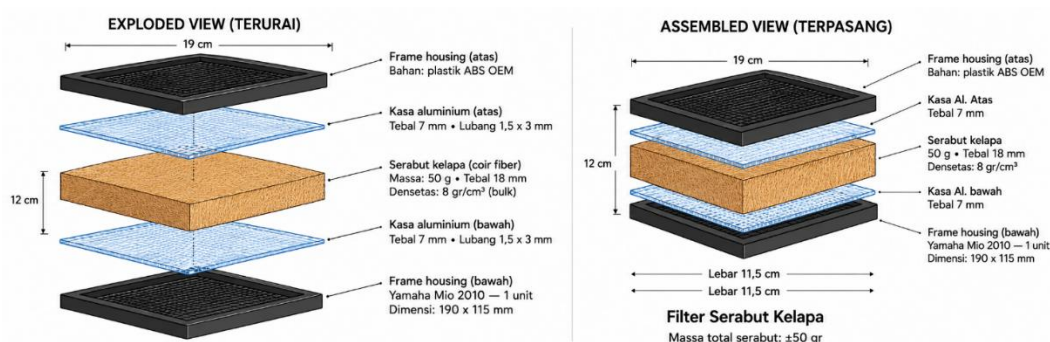
Pembuatan media *filter* serabut kelapa

Serabut kelapa dicuci menggunakan air bersih untuk menghilangkan kotoran dan partikel pengotor, kemudian dikeringkan secara alami selama sekitar 48 jam hingga mencapai kondisi kering udara. Serabut dipotong dengan panjang sekitar 2-5 cm, disusun pada ketebalan sekitar 2 cm, dan dipadatkan secara manual pada kepadatan sedang agar media tetap mempertahankan jalur aliran udara. Media selanjutnya diapit oleh dua lapis kasa aluminium pada sisi masuk dan keluar, lalu dipasang pada rumah *filter* standar dengan penguncian rapat untuk mencegah pergeseran material dan pelepasan serat ke saluran masuk.

Rumah *filter* berukuran panjang 19 cm, lebar 11,5 cm, dan tebal total 32 mm. Ruang efektif serabut kelapa sebesar $393,3 \text{ cm}^3$ dengan massa 50 g, sehingga densitas curah yang dihitung sebesar $0,127 \text{ g/cm}^3$. Nilai ini berada dalam kisaran karakteristik serabut kelapa sebagai media filtrasi yang dilaporkan pada literatur [9]. Geometri media diperlihatkan pada [Gambar 1](#), sedangkan susunan lapisan dan komponen *filter* diperlihatkan pada [Gambar 2](#). Kedua visual tersebut menegaskan hubungan antara dimensi rumah *filter*, ketebalan media serabut, dan posisi kasa aluminium dalam konstruksi *filter*.



Gambar 1. Geometri *filter* serabut kelapa: tampak atas, depan, dan samping

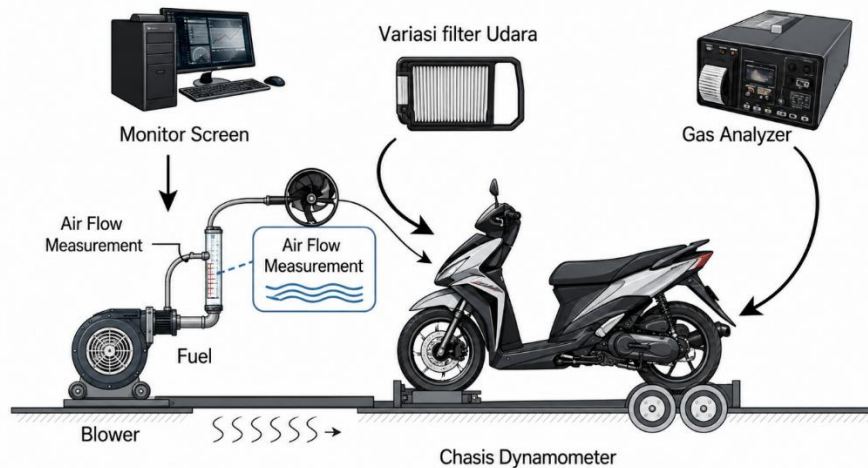


Gambar 2. Susunan komponen *filter* serabut kelapa dalam kondisi terurai dan terpasang.

Peralatan dan prosedur pengujian

Konfigurasi pengujian dirancang untuk menghubungkan pengukuran emisi, aliran udara, daya, dan torsi pada kendaraan yang sama. Peralatan utama terdiri atas chassis dynamometer SportDyno V3.3 dengan rentang 0-50 HP dan resolusi 0,01 HP; gas analyzer Certus-CGA dengan

rentang CO 0-10% vol dan HC 0-10.000 ppm serta resolusi masing-masing 0,01% dan 1 ppm; blower atau kipas pendingin untuk mensimulasikan aliran udara di sekitar kendaraan sekaligus membantu pengendalian temperatur; anemometer digital GM816 dengan rentang 0-30 m/s dan resolusi 0,1 m/s; serta gelas ukur 100 mL untuk pengukuran konsumsi bahan bakar secara volumetrik. Hubungan fungsi antarperangkat diringkas pada [Gambar 3](#).



Gambar 3. Konfigurasi peralatan pengujian emisi, aliran udara, daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar.

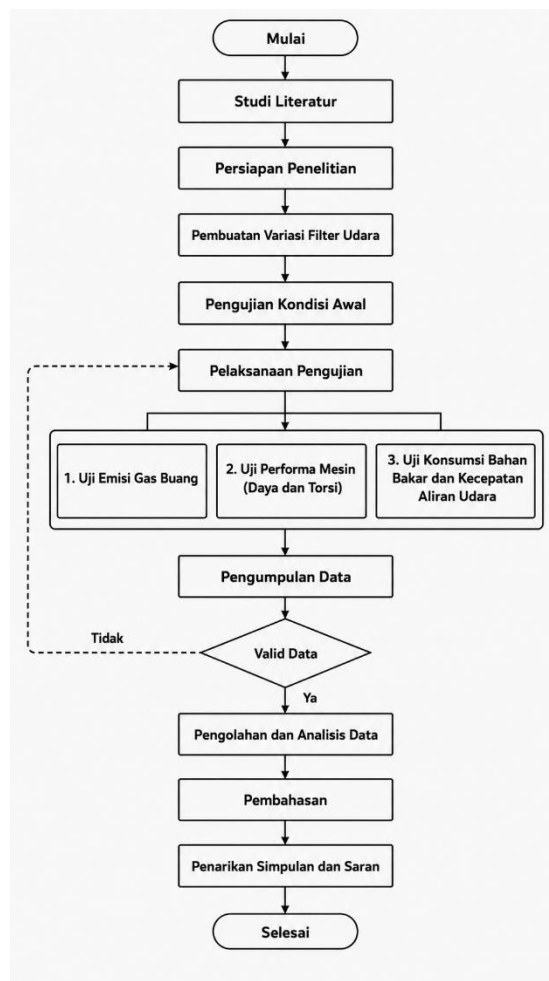
Sebelum pengujian, alat ukur diperiksa sesuai prosedur operasional laboratorium. Gas analyzer memiliki sertifikat kalibrasi resmi dari Kementerian Perhubungan yang masih berlaku saat penelitian, sedangkan chassis dynamometer dan anemometer diperiksa kestabilan pembacaan serta kondisi sensornya untuk menjaga konsistensi pengukuran.

Alur penelitian meliputi studi literatur, perancangan *filter*, persiapan kendaraan dan alat, pemasangan variasi *filter*, stabilisasi kondisi uji, pengambilan data, pengolahan data, analisis biaya, serta penyusunan interpretasi. Pengujian emisi dilakukan 30 kali pada setiap kondisi *filter*, pengujian performa tujuh kali, dan pengukuran kecepatan aliran udara empat kali. Rancangan penelitian juga mencantumkan pengukuran konsumsi bahan bakar secara volumetrik. Karena data konsumsi bahan bakar tidak disajikan pada bagian Hasil, parameter tersebut tidak digunakan dalam analisis maupun kesimpulan. Alur penelitian dan status parameter yang tersedia disajikan pada [Gambar 4](#).

Pengujian emisi mengacu pada SNI 09-7118.3-2005 pada kondisi idle menggunakan gas analyzer Certus-CGA. Setelah mesin mencapai temperatur kerja, probe dimasukkan ke saluran buang dan pembacaan dicatat setelah stabil sekitar 10-15 detik. Parameter yang dianalisis adalah CO dalam persen volume dan HC dalam ppm. Karena pengujian emisi hanya dilakukan pada idle, hasilnya tidak mewakili emisi pada beban jalan atau rentang putaran mesin yang lebih luas.

Kecepatan aliran udara diukur menggunakan anemometer digital pada putaran mesin 3000 rpm dengan diameter saluran masuk 45 mm. Pengukuran pada 3000 rpm digunakan sebagai karakterisasi terpisah untuk memperoleh aliran yang lebih stabil. Karena emisi diukur pada idle, data aliran pada 3000 rpm tidak diperlakukan sebagai pengukuran langsung rasio udara-bahan bakar atau hambatan aliran pada kondisi emisi.

Daya dan torsi diukur menggunakan chassis dynamometer dengan bukaan throttle penuh sebanyak tujuh pengulangan per kondisi *filter*. Sepeda motor menggunakan transmisi otomatis CVT sehingga pengujian tidak melibatkan perpindahan gigi manual. Nilai daya dan torsi maksimum ditentukan dari puncak kurva tiap pengulangan, kemudian diringkas sebagai nilai rata-rata dan kisaran. Hasil dynamometer dilaporkan tanpa faktor koreksi (*uncorrected*), sesuai kondisi aktual pengujian.



Gambar 4. Diagram alir penelitian; data konsumsi bahan bakar yang direncanakan tidak disajikan pada bagian Hasil.

Analisis data

Data emisi terlebih dahulu diperiksa menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk* dan uji homogenitas varians *Levene* pada tingkat signifikansi $\alpha = 0,05$. Karena homogenitas varians tidak terpenuhi, perbandingan antar kondisi *filter* dilakukan menggunakan *Welch ANOVA* dan dilanjutkan dengan uji lanjut (*post hoc*) *Games-Howell*. Hasil dilaporkan dalam nilai F, p, dan interval kepercayaan 95%. Karena seluruh pengukuran berasal dari satu kendaraan dengan urutan perlakuan tetap, hasil inferensial ditafsirkan sebagai perbandingan antarkondisi pada rangkaian pengujian ini, bukan sebagai estimasi efek populasi kendaraan.

Data aliran udara, daya, dan torsi dianalisis secara deskriptif melalui rata-rata, kisaran, dan perbandingan antarkondisi. Harga pokok produksi (HPP) *filter* dihitung dengan metode biaya penuh (*full costing*) yang mengakumulasi biaya bahan baku, tenaga kerja, dan overhead [10]. Rasio biaya-efektivitas rata-rata (Average Cost-Effectiveness Ratio/ACER) kemudian dihitung secara internal sebagai biaya produksi per unit yang dibagi dengan persentase penurunan emisi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Emisi CO dan HC

Sebanyak 30 pengukuran emisi diperoleh pada setiap kondisi *filter* saat mesin berada pada idle. Ringkasan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa *filter* serabut kelapa memiliki rata-rata CO dan HC paling rendah, sedangkan *filter racing* memiliki rata-rata tertinggi pada kedua parameter. Simpangan baku dan interval kepercayaan 95% digunakan untuk menunjukkan sebaran hasil pengukuran pada setiap kondisi.

Tabel 1. Statistik deskriptif emisi CO dan HC pada setiap kondisi *filter*.

Variasi <i>filter</i>	n	Rata-rata CO (%)	SB CO	IK 95% CO	Rata-rata HC (ppm)	SB HC	IK 95% HC
<i>Filter</i> standar (OEM)	30	4,93	0,33	4,81-5,05	405,8	21,7	396,8-414,7
<i>Filter</i> serabut kelapa	30	3,89	0,14	3,85-3,94	194,8	14,6	189,3-200,3
<i>Filter racing</i>	30	5,52	0,42	5,39-5,66	455,8	29,3	442,0-469,5

Uji *Shapiro-Wilk* pada data yang dianalisis menunjukkan $p > 0,05$, sedangkan uji *Levene* menunjukkan $p < 0,05$ pada CO dan HC. Ketidakteraturan varians tersebut menjadi alasan penggunaan *Welch ANOVA*. Hasil *Welch* pada Tabel 2 menunjukkan perbedaan rerata pengukuran antar kondisi *filter* untuk CO ($F = 82,34$; $p < 0,001$) dan HC ($F = 1.543,2$; $p < 0,001$). Nilai p tersebut menunjukkan perbedaan statistik pada rangkaian pengukuran yang dianalisis dan tidak dengan sendirinya mengatasi keterbatasan penggunaan satu kendaraan serta urutan perlakuan tetap.

Tabel 2. Hasil *Welch ANOVA* untuk emisi CO dan HC.

Parameter	F-hitung	p	Interpretasi
Emisi CO (%)	82,34	$< 0,001$	Berbeda antar kondisi
Emisi HC (ppm)	1.543,2	$< 0,001$	Berbeda antar kondisi

Uji *Games-Howell* mengidentifikasi perbedaan pada seluruh pasangan kondisi untuk CO dan HC ($p < 0,001$). Besar selisih dan interval kepercayaan pada Tabel 3 menunjukkan arah perbandingan berdasarkan urutan kondisi I dikurangi kondisi J. Dengan demikian, nilai positif pada perbandingan OEM dengan serabut kelapa menunjukkan bahwa emisi pada OEM lebih tinggi, sedangkan nilai negatif pada perbandingan OEM dengan *racing* menunjukkan bahwa emisi pada *racing* lebih tinggi.

Tabel 3. Hasil uji *Games-Howell* untuk emisi CO dan HC.

Kondisi I	Kondisi J	Δ CO (% vol)	IK 95% CO	p CO	Δ HC (ppm)	IK 95% HC	p HC
OEM	Serabut kelapa	+1,039	0,88-1,19	$< 0,001$	+211,0	198,6-223,4	$< 0,001$
OEM	<i>Racing</i>	-0,590	-0,79 s.d. -0,39	$< 0,001$	-50,0	-66,4 s.d. -33,6	$< 0,001$

Kondisi I	Kondisi J	Δ CO (% vol)	IK 95% CO	p CO	Δ HC (ppm)	IK 95% HC	p HC
Serabut kelapa	Racing	-1,629	-1,81 s.d. -1,45	< 0,001	-261,0	-275,8 s.d. -246,2	< 0,001

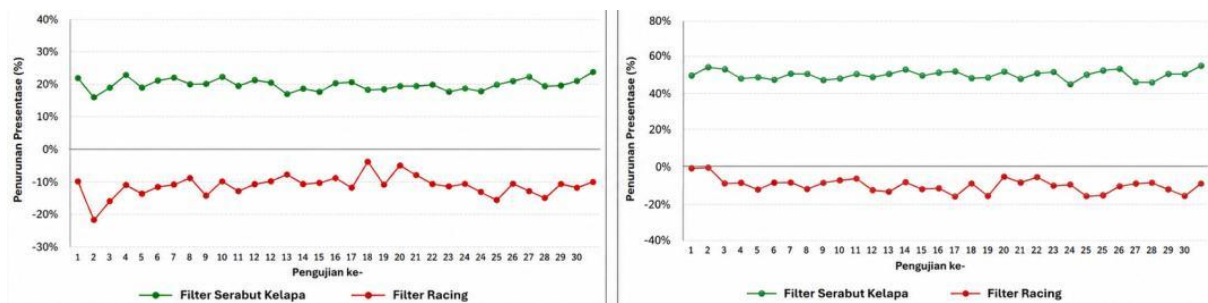
Besarnya penurunan emisi terhadap kondisi acuan OEM dihitung menggunakan Persamaan (1), dengan $E_{standar}$ sebagai emisi pada *filter* OEM dan $E_{variasi}$ sebagai emisi pada kondisi yang dibandingkan. Untuk kondisi dengan emisi lebih tinggi daripada OEM, besar perubahan dilaporkan sebagai peningkatan dengan arah panah pada Tabel 4.

$$\text{Penurunan (\%)} = \frac{E_{standar} - E_{variasi}}{E_{standar}} \times 100\% \quad (1)$$

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa *filter* serabut kelapa berkaitan dengan penurunan rata-rata CO sebesar 21,06% dan HC sebesar 52,00% terhadap OEM, sedangkan *filter racing* berkaitan dengan peningkatan CO sebesar 11,96% dan HC sebesar 12,32%. Gambar 5 memperlihatkan persentase perubahan relatif terhadap OEM selama 30 pengukuran, sehingga konsistensi arah perubahan pada CO dan HC dapat diamati pada seluruh rangkaian data.

Tabel 4. Perubahan emisi terhadap *filter* standar OEM.

Variasi <i>filter</i>	Rata-rata CO (%)	Perubahan CO	Rata-rata HC (ppm)	Perubahan HC
Filter standar (OEM)	4,93	Acuan	405,8	Acuan
Filter serabut kelapa	3,89	Turun 21,06%	194,8	Turun 52,00%
Filter racing	5,52	Naik 11,96%	455,8	Naik 12,32%



Gambar 5. Perubahan relatif emisi terhadap *filter* OEM selama 30 pengukuran: CO (panel kiri) dan HC (panel kanan).

Karakteristik aliran udara

Karakterisasi aliran dilakukan pada 3000 rpm dengan diameter saluran masuk $D = 45$ mm. Luas penampang A dihitung menggunakan Persamaan (2). Dengan diameter tersebut diperoleh $A = 0,00159 \text{ m}^2$. Debit volumetrik Q kemudian dihitung dari kecepatan rata-rata V menggunakan Persamaan (3). Kedua persamaan digunakan sebagai hubungan geometri dan kinematika untuk mengonversi hasil pengukuran anemometer.

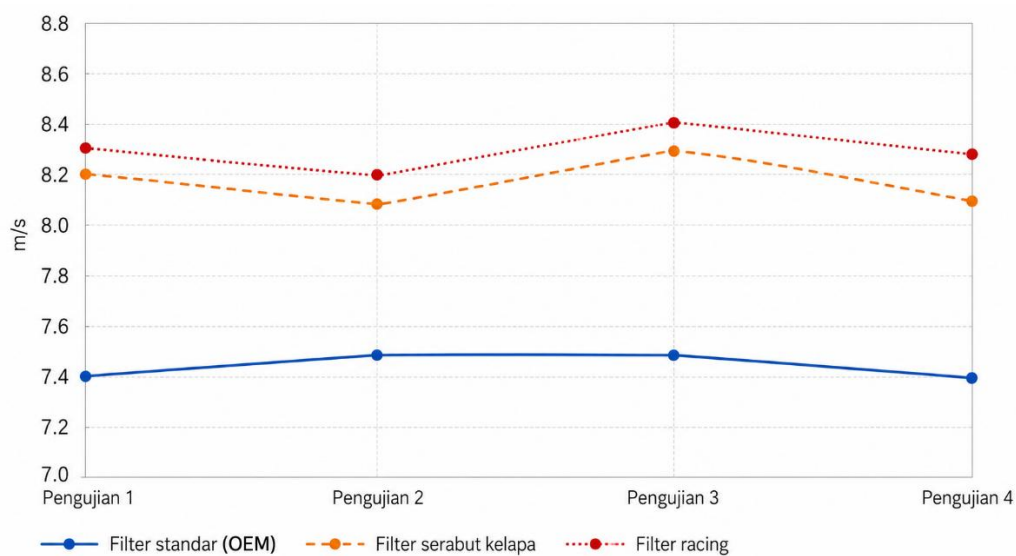
$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

$$Q = V \times A \quad (3)$$

Tabel 5 dan **Gambar 6** memperlihatkan bahwa kecepatan dan debit rata-rata meningkat dari *filter* OEM ke *filter* serabut kelapa dan mencapai nilai tertinggi pada *filter racing*. *Filter* serabut kelapa menghasilkan $V = 8,18 \text{ m/s}$ dan $Q = 0,01300 \text{ m}^3/\text{s}$, berada di antara OEM dan *racing*. Karena pengukuran ini dilakukan pada 3000 rpm, hasilnya digunakan untuk membandingkan karakteristik aliran antar*filter* pada kondisi tersebut dan tidak diekstrapolasi sebagai nilai aliran pada idle.

Tabel 5. Rata-rata kecepatan dan debit aliran udara pada 3000 rpm.

Variasi <i>filter</i>	V rata-rata (m/s)	Debit Q (m^3/s)
<i>Filter</i> standar (OEM)	7,45	0,01185
<i>Filter</i> serabut kelapa	8,18	0,01300
<i>Filter racing</i>	8,30	0,01320



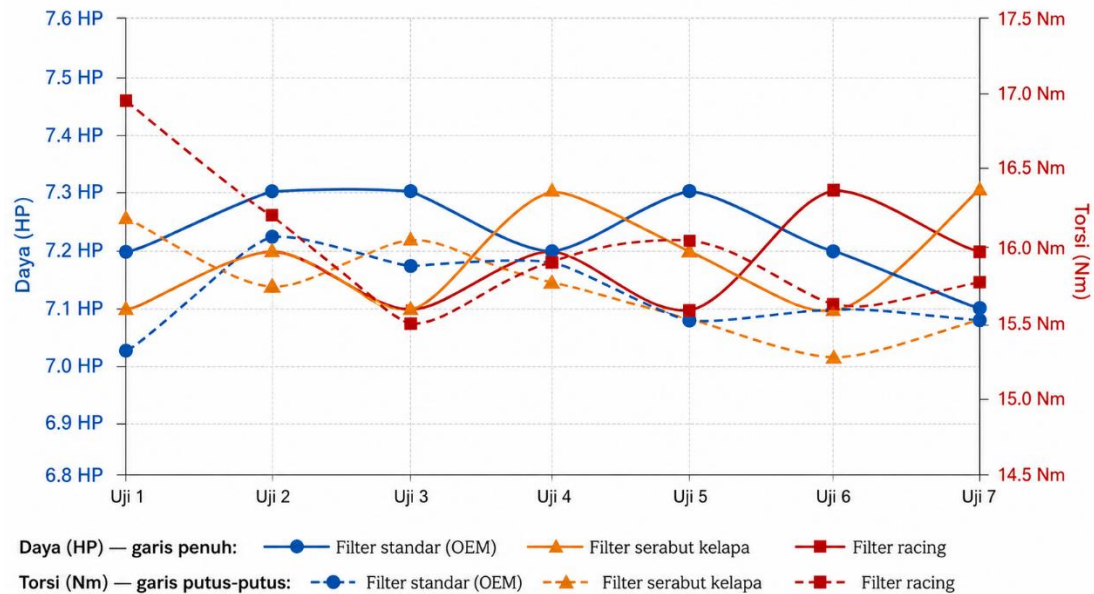
Gambar 6. Kecepatan aliran udara pada empat pengukuran untuk setiap kondisi *filter* pada 3000 rpm.

Daya dan torsi mesin

Hasil tujuh pengulangan pengujian dynamometer dirangkum pada Tabel 6. Rata-rata daya maksimum berada pada rentang 7,17-7,23 HP, sehingga selisih maksimum antar kondisi hanya 0,06 HP. Rata-rata torsi maksimum berada pada rentang 15,73-16,03 Nm. Karena parameter performa dianalisis secara deskriptif, data ini hanya mendukung pernyataan bahwa perbedaannya kecil pada kondisi pengujian; data tidak mendukung klaim mengenai ada atau tidak adanya perbedaan statistik.

Tabel 6. Daya dan torsi maksimum dari tujuh pengulangan pengujian.

Variasi <i>filter</i>	Daya maks. (HP)	Kisaran daya (HP)	Torsi maks. (Nm)	Kisaran torsi (Nm)
<i>Filter</i> standar (OEM)	7,23	7,1-7,3	15,73	15,39-16,08
<i>Filter</i> serabut kelapa	7,19	7,1-7,3	15,75	15,29-16,17
<i>Filter racing</i>	7,17	7,1-7,3	16,03	15,53-16,93



Gambar 7. Daya dan torsi pada tujuh pengulangan untuk setiap kondisi *filter*.

Biaya produksi dan ACER

Perhitungan HPP menggunakan metode biaya penuh (*full costing*) [10]. Untuk satu batch berisi lima unit, total biaya yang dilaporkan sebesar Rp183.200 atau Rp36.640 per unit. Dengan pendekatan markup sekitar 30%, harga jual dibulatkan menjadi Rp48.000 per unit sehingga selisih harga jual terhadap HPP sebesar Rp11.360. Komponen biaya diringkas pada Tabel 7. Perhitungan ini merepresentasikan produksi skala terbatas dan belum memasukkan umur pakai, frekuensi penggantian, serta biaya selama penggunaan.

Tabel 7. Perhitungan HPP filter serabut kelapa untuk satu batch lima unit.

Jenis biaya	Komponen	Total produksi (Rp)	Per unit (Rp)
Bahan baku	Serabut kelapa, kasa, lem, rumah <i>filter</i>	108.200	21.640
Tenaga kerja	Perakitan 5 unit	50.000	10.000
Overhead	Listrik dan penyusutan alat	25.000	5.000
Total HPP	-	183.200	36.640

ACER dihitung sebagai rasio biaya produksi per unit C terhadap persentase penurunan emisi E sebagaimana Persamaan (4). Dengan C = Rp36.640 dan E = 21,06% untuk CO, diperoleh ACER CO sebesar Rp1.739,79 per 1% penurunan. Untuk HC dengan E = 52,00%, ACER sebesar Rp704,62 per 1% penurunan. Nilai tersebut dihitung dari HPP dan persentase penurunan emisi yang dilaporkan pada hasil.

$$ACER = \frac{C}{E} \quad (3)$$

Pembahasan

Perbandingan emisi memperlihatkan pola yang konsisten pada rangkaian pengukuran: *filter* serabut kelapa menghasilkan rata-rata CO dan HC lebih rendah daripada OEM dan *racing*. Temuan ini menempatkan modifikasi media pada sisi masuk sebagai salah satu kemungkinan

jalur rekayasa emisi. Studi lain menunjukkan bahwa filtrasi pada sisi buang dapat menurunkan polutan melalui penangkapan fisik [11], sedangkan adsorben berbasis biomassa dapat berinteraksi dengan senyawa hidrokarbon dalam gas emisi [12]. Kajian teknologi tambahan pada sepeda motor juga menunjukkan bahwa beragam intervensi mekanis dan sistem pembakaran dapat mengubah profil emisi [13]. Namun, mekanisme pada penelitian ini berbeda karena serabut kelapa ditempatkan pada sisi masuk udara; karena itu, hasil dari sistem filtrasi atau adsorpsi lain tidak dapat dipakai sebagai bukti langsung mengenai mekanisme yang terjadi pada *filter* yang diuji.

Secara material, serabut kelapa memiliki struktur *lignoselulosa* dan pori yang mendukung pemanfaatannya sebagai media berpori [8], [14]. Akan tetapi, penelitian ini tidak melakukan karakterisasi SEM, BET, FTIR, maupun uji adsorpsi, sehingga penurunan CO dan HC tidak dapat diatribusikan secara pasti pada adsorpsi lignin, selulosa, atau hemiselulosa. Data aliran juga belum menyediakan bukti mengenai tekanan balik, rasio udara-bahan bakar (AFR), atau lambda. Dengan demikian, penjelasan bahwa perubahan media *filter* memodifikasi suplai udara dan kemudian memengaruhi pembakaran harus diperlakukan sebagai hipotesis mekanistik yang memerlukan pengukuran langsung, bukan sebagai mekanisme yang telah dibuktikan.

Posisi *filter* serabut kelapa di antara OEM dan *racing* pada kecepatan aliran 3000 rpm memberi informasi tambahan tentang karakteristik hambatan relatif media, tetapi tidak dapat langsung dihubungkan secara kuantitatif dengan emisi idle. Perbandingan *filter* standar dan *racing* pada penelitian sepeda motor lain juga menunjukkan bahwa perubahan jenis *filter* dapat diikuti perubahan performa dan emisi [15]. Pada penelitian ini, *filter racing* memiliki kecepatan aliran rata-rata tertinggi sekaligus emisi CO dan HC tertinggi, sedangkan serabut kelapa memiliki aliran sedikit di bawah *racing* tetapi emisi paling rendah. Pola tersebut menunjukkan bahwa besarnya aliran saja tidak cukup menjelaskan perubahan emisi; diperlukan pengukuran AFR, tekanan saluran masuk, temperatur, dan parameter pembakaran agar hubungan sebab-akibat dapat dievaluasi.

Dari sisi performa, selisih daya maksimum 0,06 HP dan rentang torsi yang saling beririsan menunjukkan perubahan yang kecil secara deskriptif. Temuan tersebut penting karena penurunan emisi pada *filter* serabut kelapa tidak disertai perubahan daya maksimum yang besar pada tujuh pengulangan yang dilaporkan. Meskipun demikian, tidak ada uji inferensial untuk daya dan torsi, sehingga pernyataan bahwa *filter* tidak memengaruhi performa secara signifikan harus dihindari. Bukti yang tersedia hanya menunjukkan kedekatan nilai performa pada konfigurasi dan prosedur pengujian ini.

Analisis biaya menunjukkan HPP Rp36.640 per unit dan ACER yang lebih rendah untuk HC dibandingkan CO. Rasio tersebut berguna untuk membandingkan biaya produksi yang dibutuhkan terhadap besar penurunan dua parameter emisi di dalam penelitian yang sama. Akan tetapi, ACER ini belum mencakup umur pakai, penurunan kinerja akibat penyumbatan, biaya pemeliharaan, atau pembanding teknologi lain. Studi ekonomi pada sistem filtrasi menunjukkan bahwa biaya sepanjang siklus penggunaan sangat dipengaruhi oleh hambatan aliran dan waktu penggantian *filter* [16]. Oleh karena itu, nilai ACER penelitian ini belum dapat digunakan untuk menyatakan bahwa *filter* serabut kelapa secara absolut lebih efisien secara biaya daripada teknologi lain.

Dalam konteks penelitian sepeda motor, hasil ini dapat dibandingkan secara konseptual dengan studi yang mengevaluasi perubahan emisi akibat pengaturan pengapian dan injeksi [17], pemasangan *groundstrap* [18], penguatan sistem pengapian [19], serta modifikasi suplai udara menggunakan *turbocharger* elektrik [20]. Keempat studi tersebut menunjukkan bahwa emisi CO dan HC sensitif terhadap perubahan subsistem yang memengaruhi proses pembakaran atau suplai udara. Akan tetapi, objek, jenis mesin, intervensi, jumlah pengulangan, dan kondisi uji berbeda, sehingga angka penurunan pada penelitian-penelitian tersebut tidak digunakan sebagai tolok ukur langsung untuk *filter* serabut kelapa. Sintesis ini terutama

menegaskan pentingnya membaca emisi bersama karakteristik sistem yang diubah dan kondisi pengujiannya.

Keterbatasan utama penelitian terletak pada penggunaan satu kendaraan, urutan perlakuan yang tidak diacak, serta pengulangan teknis yang tidak mewakili variasi antar kendaraan. Emisi hanya diuji pada idle, sedangkan aliran udara diukur pada 3000 rpm; perbedaan kondisi ini membatasi interpretasi hubungan langsung antara kedua parameter. Penelitian juga menggunakan satu massa dan satu konfigurasi serabut, belum mengukur AFR, λ , dan tekanan balik; data konsumsi bahan bakar yang tercantum dalam rancangan pengujian juga tidak disajikan sebagai hasil teranalisis; serta karakterisasi material dan uji durabilitas belum dilakukan. Selain itu, performa hanya dianalisis secara deskriptif dan analisis ekonomi belum mencakup umur pakai serta biaya siklus hidup. Batas-batas ini membuat temuan lebih tepat diposisikan sebagai bukti awal pada konfigurasi pengujian tertentu daripada bukti yang dapat digeneralisasikan mengenai efektivitas *filter* serabut kelapa pada populasi sepeda motor.

Dengan batas tersebut, kontribusi penelitian terletak pada integrasi empat dimensi evaluasi, yaitu emisi, aliran udara, performa, dan biaya, pada media *filter* alami yang sederhana. Data yang tersedia menunjukkan bahwa serabut kelapa layak dipertimbangkan untuk pengujian lebih lanjut karena menghasilkan emisi CO dan HC yang lebih rendah daripada dua pembanding pada kendaraan yang diuji, sementara perubahan daya maksimum relatif kecil secara deskriptif. Tahap berikutnya perlu menggunakan lebih dari satu kendaraan, pengacakan atau penyeimbangan urutan perlakuan, pengujian pada berbagai beban dan putaran, variasi massa serta kepadatan media, dan pengukuran langsung parameter pembakaran serta karakteristik material agar mekanisme dan reproduktibilitasnya dapat diuji secara lebih kuat.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Pada satu sepeda motor Yamaha 28D karburator yang diuji dengan urutan perlakuan tetap, *filter* serabut kelapa menghasilkan rata-rata CO 3,89% dan HC 194,8 ppm. Dibandingkan *filter* OEM, nilai tersebut setara dengan penurunan 21,06% untuk CO dan 52,00% untuk HC; perbandingan statistik pada rangkaian pengukuran emisi menunjukkan $p < 0,001$ untuk seluruh pasangan kondisi. Kecepatan aliran rata-rata *filter* serabut kelapa pada 3000 rpm sebesar 8,18 m/s, sedangkan selisih daya maksimum antar*filter* hanya 0,06 HP secara deskriptif. HPP *filter* sebesar Rp36.640 per unit menghasilkan ACER Rp1.739,79 per 1% penurunan CO dan Rp704,62 per 1% penurunan HC. Secara keseluruhan, hasil mendukung potensi serabut kelapa sebagai media *filter* alternatif pada kondisi pengujian ini, tetapi belum cukup untuk menarik generalisasi mengenai efektivitas atau mekanismenya pada kendaraan dan kondisi operasi lain.

Saran

Penelitian lanjutan perlu melibatkan beberapa kendaraan dan urutan perlakuan yang diacak atau diseimbangkan, serta mencakup pengujian emisi pada berbagai beban dan putaran mesin. Variasi massa, ketebalan, dan kepadatan serabut perlu diuji bersama pengukuran AFR, λ , tekanan balik, serta konsumsi bahan bakar. Karakterisasi material melalui SEM, BET, FTIR, dan uji adsorpsi diperlukan untuk menguji hipotesis mekanisme filtrasi, sedangkan pengujian durabilitas dan umur pakai dibutuhkan untuk menentukan perubahan kinerja media dari waktu ke waktu. Analisis ekonomi selanjutnya sebaiknya memasukkan frekuensi penggantian, biaya pemeliharaan, dan pembanding teknologi lain agar efektivitas biaya dapat dinilai secara lebih komprehensif.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] World Health Organization, "Air pollution," accessed May 16, 2026. [Online]. Available: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>
- [2] IQAir, "World Air Quality Report 2024," accessed May 16, 2026. [Online]. Available: <https://www.iqair.com/world-air-quality-report>
- [3] Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia, "Data penjualan sepeda motor Indonesia tahun 2024," accessed May 16, 2026. [Online]. Available: <https://www.aisi.or.id/statistic/>
- [4] S. Machmud, "Analisis Pengaruh Tahun Perakitan Terhadap Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor," *Jurnal Mesin Nusantara*, vol. 4, no. 1, pp. 21-29, 2021, doi: 10.29407/jmn.v4i1.16038.
- [5] M. P. Pasaribu, H. Maksum, Wagino, and T. Sugiarto, "Pengaruh Bioetanol Dari Limbah Kulit Pisang Dengan Campuran Bahan Bakar Sepeda Motor Terhadap Emisi Gas Buang," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 3, no. 1, pp. 595-602, 2025, doi: 10.24036/jtpvi.v3i1.240.
- [6] T. W. Chan, M. Lee, G. Mallach, and D. Buote, "Efficiency of the Vehicle Cabin Air *Filters* for Removing Black Carbon Particles and BTEX from the Air Intake," *Applied Sciences*, vol. 11, no. 19, Art. no. 9048, 2021, doi: 10.3390/app11199048.
- [7] O. N. Hakim and T. H. Sitabuana, "Efektivitas Penanganan Emisi Gas Buang pada Kendaraan di Jakarta (Ditinjau dari Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 66 Tahun 2020 tentang Uji Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor)," *Jurnal Hukum Adigama*, vol. 4, no. 1, pp. 1354-1374, 2021.
- [8] K. M. F. Hasan, P. G. Horváth, M. Bak, and T. Alpár, "A state-of-the-art review on coir fiber-reinforced biocomposites," *RSC Advances*, vol. 11, no. 18, pp. 10548-10571, 2021, doi: 10.1039/D1RA00231G.
- [9] N. Wahyudi, H. S. B. Rochardjo, and J. Waluyo, "Karakterisasi Permeabilitas Serabut Kelapa Sebagai Bahan Media Filtrasi," *Journal of Mechanical Design and Testing*, vol. 4, no. 1, p. 10, 2022, doi: 10.22146/jmdt.62971.
- [10] D. I. Puspita and Jamiah, "Analisis Perhitungan HPP (Harga Pokok Produksi) Menggunakan Metode Full Costing di CV. Eka Jaya Tabalong," *Jurnal Akuntansi, Perpajakan dan Bisnis*, vol. 8, no. 2, pp. 2182-2193, 2025, doi: 10.35722/japb.v8i2.1418.
- [11] Y. Yusuf, M. B. Wardana, N. K. Caturwati, and M. P. Pinem, "*Filter* System Designed to Reduce The Emission of Gasoline Motorcycle Pollutants," *Machine: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 169-173, 2025, doi: 10.33019/rwkk7894.
- [12] T. Yuliana, A. A. Rohmah, Y. E. Maulana, and A. Hardian, "Mass Effect of Coconut Shell-derived Activated Carbon on Adsorption of Benzene, Toluene, Ethylbenzene, and Xylene in Motorcycle Emissions," *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, vol. 24, no. 4, pp. 120-125, 2021, doi: 10.14710/jksa.24.4.120-125.
- [13] W. N. Waskitho, A. F. Afif, A. C. Wijaya, M. A. Nurdiansyach, P. R. Hidayatulloh, and F. D. Arianto, "Literature study: potential of additional technology on conventional motorcycles on reducing the impact of exhaust gas emissions on the environment," *Journal of Mechanical Engineering Learning*, vol. 13, no. 2, pp. 31-36, 2024, doi: 10.15294/jmel.v13.i2.7357.
- [14] A. James and D. Yadav, "Valorization of coconut waste for facile treatment of contaminated water: A comprehensive review (2010-2021)," *Environmental Technology & Innovation*, vol. 24, Art. no. 102075, 2021, doi: 10.1016/j.eti.2021.102075.
- [15] L. A. Fauzi and A. I. Rabbika, "Perbandingan Penggunaan *Filter* Udara Standar dan *Racing* terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Motor Scoopy 110 CC," *Motor Bakar: Jurnal Teknik Mesin*, vol. 8, no. 2, 2024, doi: 10.31000/mbjtm.v8i2.11507.

- [16] S. Pöyhönen, J. Ahola, M. Niemelä, S. Hammo, and P. Punnonen, "Variable-speed-drive-based method for the cost optimization of air *filter* replacement timing," *Energy and Buildings*, vol. 240, Art. no. 110904, 2021, doi: 10.1016/j.enbuild.2021.110904.
- [17] M. S. Firmansyah, W. Purwanto, H. Maksum, A. Arif, and M. Y. Setiawan, "Analisis Emisi Gas Buang (CO, CO₂ dan HC) pada Sepeda Motor FI dengan Variasi Saat Pengapian, Saat Penginjeksian dan Jenis Bahan Bakar," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 145-158, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i2.6.
- [18] V. D. Isnanto, Martias, M. Nasir, and Muslim, "Analisis Pemasangan *Groundstrap* Terhadap Emisi Gas Buang, Daya dan Torsi pada Sepeda Motor New Vixion Tahun 2013," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 287-296, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i2.76.
- [19] K. R. Hidayah, Muslim, Rifdarmon, and D. Fernandez, "Analisis Kinerja Ignition Booster terhadap Karakteristik Emisi CO, HC, CO₂, dan O₂ pada Sepeda Motor Honda Beat FI 2013," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 11-20, 2025, doi: 10.24036/jtpvi.v4i1.325.
- [20] J. A. Prima, W. Purwanto, Wakhinuddin S, A. Arif, and H. Nasrullah, "Analisis Penggunaan Electric *Turbocharger* Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang Pada Sepeda Motor Modifikasi Injeksi," *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 297-308, 2023, doi: 10.24036/jtpvi.v1i2.64.

Halaman ini sengaja di kosongkan.