



Analisis Pembakaran dan Kinetika Reaksi Emisi Gas Buang Sepeda Motor 150 cc dengan Knalpot Standar dan Racing

Muh. Agus Sharah^{1*}, Muh. Nakkir²

^{1,2} Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Bombana, Indonesia

*Penulis Korespondensi: agussharah888@gmail.com

Abstract. *Motorcycle exhaust emissions depend on combustion quality, fuel properties, engine speed, and exhaust-system characteristics. This study compared carbon monoxide (CO), hydrocarbons (HC), and carbon dioxide (CO₂) from a 150 cc fuel-injected motorcycle using Pertamina RON 92 with a standard exhaust and a straight-through racing exhaust. An experimental design was applied at 1500, 2000, and 2500 rpm. Emissions were measured with an NHA-506 gas analyzer after the engine reached operating temperature, and each condition was repeated three times. The standard exhaust produced a relatively stable emission pattern across the tested speeds. The racing exhaust produced higher CO and HC at 1500 rpm, but its best performance occurred at 2000 rpm, where CO decreased to 1.76%, HC to 80 ppm, and CO₂ increased to 12.4%. Relative to the standard exhaust at the same speed, CO and HC were lower by 64.6% and 53.8%, respectively. The combustion and reaction-kinetics interpretation indicates that 2000 rpm provided the most favorable balance between temperature, oxidation rate, residence time, and exhaust flow. The results imply that exhaust modification should be evaluated at specific operating speeds rather than assumed to improve emissions uniformly.*

Keywords: Carbon Monoxide; Exhaust Emissions; Hydrocarbons; Pertamina; Racing Exhaust.

Abstrak. Emisi gas buang sepeda motor dipengaruhi oleh mutu pembakaran, karakteristik bahan bakar, putaran mesin, dan konfigurasi sistem pembuangan. Penelitian ini membandingkan karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO₂) pada sepeda motor injeksi 150 cc berbahan bakar Pertamina RON 92 dengan knalpot standar dan knalpot racing tipe straight-through. Penelitian menggunakan metode eksperimen pada putaran 1500, 2000, dan 2500 rpm. Emisi diukur menggunakan gas analyzer NHA-506 setelah mesin mencapai temperatur kerja, dan setiap kondisi diuji sebanyak tiga kali. Knalpot standar menunjukkan pola emisi yang relatif stabil pada seluruh putaran. Knalpot racing menghasilkan CO dan HC lebih tinggi pada 1500 rpm, tetapi memberikan hasil terbaik pada 2000 rpm dengan CO 1,76%, HC 80 ppm, dan CO₂ 12,4%. Dibandingkan knalpot standar pada putaran yang sama, CO dan HC turun masing-masing 64,6% dan 53,8%. Interpretasi pembakaran dan kinetika reaksi menunjukkan bahwa 2000 rpm menghasilkan keseimbangan paling baik antara temperatur, laju oksidasi, waktu tinggal gas, dan aliran gas buang. Hasil ini menunjukkan bahwa modifikasi knalpot perlu dievaluasi pada titik operasi tertentu karena perubahan sistem pembuangan tidak selalu memperbaiki emisi pada seluruh rentang putaran.

Kata Kunci: Emisi Gas Buang; Hidrokarbon; Karbon Monoksida; Knalpot Racing; Pertamina.

1. LATAR BELAKANG

Pertumbuhan penggunaan sepeda motor meningkatkan perhatian terhadap emisi dari sektor transportasi karena kendaraan bermotor melepaskan karbon monoksida, hidrokarbon, karbon dioksida, dan polutan lain selama proses pembakaran. Dampak emisi tidak hanya ditentukan oleh jenis bahan bakar, tetapi juga oleh kondisi operasi mesin dan karakter sistem pembuangan. Penelitian pada sepeda motor menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi knalpot dapat mengubah pola emisi karena aliran gas buang dan hambatan sistem ikut berubah (Putra et al., 2025). Oleh karena itu, evaluasi emisi perlu dilakukan pada kondisi operasi yang terukur dan tidak cukup hanya berdasarkan jenis knalpot yang digunakan.

Putaran mesin memengaruhi jumlah siklus pembakaran per satuan waktu, kebutuhan udara, pembentukan turbulensi, temperatur, serta waktu yang tersedia untuk menyelesaikan proses oksidasi. Perubahan rasio udara-bahan bakar dan putaran mesin terbukti menghasilkan perbedaan kadar emisi pada sepeda motor bensin (Saksono, 2011). Pengaturan waktu pengapian, waktu injeksi, dan jenis bahan bakar juga dapat mengubah kadar CO, HC, dan CO₂ karena ketiga faktor tersebut memengaruhi kualitas pembakaran di dalam silinder (Firmansyah et al., 2023). Variasi jenis busi sebagai bagian dari sistem pengapian juga menghasilkan perbedaan emisi pada sepeda motor PGM-FI (Fikri et al., 2024). Penggunaan ECU programmable menunjukkan bahwa perubahan kendali injeksi dan campuran bahan bakar dapat menggeser karakter emisi gas buang (Gunawan et al., 2024). Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil pengujian emisi harus dibaca sebagai interaksi antara proses pembakaran dan karakteristik aliran gas buang.

Pertamax RON 92 digunakan dalam penelitian ini untuk menjaga mutu bahan bakar tetap seragam dan sesuai dengan kebutuhan mesin bensin berkompresi relatif tinggi. Pengujian sebelumnya menunjukkan bahwa Pertamina memberikan karakter kinerja yang berbeda dibandingkan bahan bakar beroktan lebih rendah pada mesin sepeda motor (Achmadin et al., 2022). Perbandingan Premium, Peralite, dan Pertamina juga menunjukkan perbedaan profil emisi gas buang pada mesin empat langkah (Budin et al., 2023). Pada sepeda motor 150 cc, komposisi Pertamina dan Peralite menghasilkan perubahan torsi, daya, serta emisi gas buang (Isworo et al., 2022). Pemilihan satu jenis bahan bakar dalam penelitian ini memungkinkan pengaruh jenis knalpot dan putaran mesin diamati tanpa perubahan komposisi bahan bakar.

Sistem pembuangan berperan membawa gas hasil pembakaran keluar dari silinder sekaligus membentuk tekanan balik yang dapat memengaruhi proses scavenging. Knalpot racing yang menggunakan jalur aliran lebih bebas dapat menurunkan hambatan aliran, tetapi perubahan tersebut tidak selalu menghasilkan emisi yang lebih rendah. Perbandingan knalpot standar dan racing pada sepeda motor menunjukkan bahwa perubahan sistem pembuangan dapat mengubah torsi dan daya pada titik operasi tertentu (Rohim et al., 2023). Analisis aliran pada silencer juga menunjukkan bahwa geometri sistem pembuangan berkaitan langsung dengan tekanan dan kecepatan gas buang (Roziqin et al., 2023).

Penelitian terdahulu telah menguji berbagai strategi pengendalian emisi melalui catalytic converter, filter, bahan bakar alternatif, dan pengaturan sistem pembakaran. Filter zeolit dan sabut stainless pada knalpot dapat mengubah kadar CO, HC, dan NO_x pada variasi putaran mesin (Hidayat et al., 2024). Penggunaan Hydrocarbon Crack System juga telah diuji sebagai pendekatan untuk memengaruhi emisi pada sepeda motor fuel injection (Kurniawan et

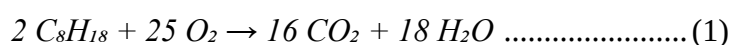
al., 2023). Penambahan carbon cleaner dilaporkan menghasilkan perubahan hasil uji emisi sepeda motor (Ma'ruf et al., 2023). Optimasi catalytic converter dan biogasoline menunjukkan bahwa bahan katalis, bentuk katalis, dan komposisi bahan bakar berpengaruh terhadap emisi sepeda motor (Fedriansyah et al., 2023). Campuran bioetanol berbasis limbah biomassa juga digunakan untuk menilai perubahan emisi gas buang pada sepeda motor (Pasaribu et al., 2025). Pada jenis mesin yang berbeda, perbandingan biodiesel B30 dan Dexlite menunjukkan bahwa perubahan karakter bahan bakar dapat menghasilkan profil emisi yang berbeda (Lesmana et al., 2022). Namun, banyak penelitian tersebut menempatkan pengendalian emisi pada komponen tambahan atau perubahan bahan bakar sehingga hubungan langsung antara jenis knalpot, putaran mesin, dan interpretasi kinetika pembakaran masih perlu diperjelas.

Penelitian ini mengisi kebutuhan tersebut dengan membandingkan knalpot standar dan knalpot racing pada sepeda motor injeksi 150 cc yang menggunakan Pertamina RON 92 pada 1500, 2000, dan 2500 rpm. Analisis tidak hanya membandingkan nilai CO, HC, dan CO₂, tetapi juga menghubungkan perubahan emisi dengan pembakaran hidrokarbon, laju reaksi, temperatur, waktu tinggal gas, serta karakter aliran pembuangan. Pendekatan ini memberikan dasar untuk menjelaskan mengapa satu jenis knalpot dapat menunjukkan kinerja emisi yang baik pada satu putaran tetapi tidak pada putaran lain. Tujuan penelitian adalah menentukan pola emisi kedua konfigurasi knalpot dan mengidentifikasi kondisi operasi yang menunjukkan pembakaran paling efektif berdasarkan hubungan CO, HC, dan CO₂.

2. KAJIAN TEORITIS

Pembakaran Hidrokarbon dan Pembentukan Emisi

Pembakaran pada mesin bensin merupakan proses oksidasi bahan bakar hidrokarbon dengan oksigen yang melepaskan energi panas. Pada kondisi mendekati stoikiometri dan dengan pencampuran yang baik, karbon di dalam bahan bakar lebih banyak teroksidasi menjadi CO₂, sedangkan pembentukan CO dan hidrokarbon tak terbakar dapat ditekan. Prinsip dasar ini menjadi dasar interpretasi emisi CO, HC, dan CO₂ pada motor bakar (Naryanto, 2021). Pembakaran aktual tetap dipengaruhi oleh distribusi campuran, temperatur lokal, kecepatan rambat api, serta kehilangan panas pada dinding ruang bakar.



Persamaan tersebut menggambarkan oksidasi ideal oktana sebagai pendekatan sederhana terhadap pembakaran bensin. Pada kondisi kekurangan oksigen atau ketika reaksi berhenti sebelum oksidasi selesai, sebagian karbon dapat keluar sebagai CO, sedangkan bagian bahan bakar yang tidak terbakar dapat terukur sebagai HC. CO₂ tidak dapat digunakan sebagai

satu-satunya indikator kesempurnaan pembakaran, tetapi kenaikan CO₂ yang disertai penurunan CO dan HC menunjukkan peningkatan konversi karbon pada kondisi uji yang sama. Hubungan ini penting untuk membaca perubahan emisi antarputaran dan antarjenis knalpot.

Kinetika Reaksi Pembakaran

Laju reaksi kimia meningkat ketika tumbukan efektif antarspesies reaktan bertambah dan temperatur mendukung terlampauinya energi aktivasi. Secara sederhana, laju reaksi dapat dinyatakan sebagai fungsi konstanta laju dan konsentrasi reaktan, sedangkan ketergantungan konstanta laju terhadap temperatur dijelaskan melalui persamaan Arrhenius. Konsep ini banyak digunakan untuk menjelaskan perubahan kecepatan oksidasi pada proses pembakaran (Turns & Haworth, 2021). Dalam mesin, efek kinetika berlangsung bersamaan dengan dinamika aliran sehingga temperatur tinggi tidak otomatis menjamin oksidasi lengkap apabila waktu tinggal gas terlalu singkat.

$$r = k C^n \dots\dots\dots (2)$$

$$k = A \exp(-E_a/RT) \dots\dots\dots (3)$$

Pada persamaan tersebut, r adalah laju reaksi, k adalah konstanta laju, C adalah konsentrasi reaktan, n adalah orde reaksi, A adalah faktor frekuensi, E_a adalah energi aktivasi, R adalah konstanta gas, dan T adalah temperatur absolut. Kenaikan temperatur umumnya meningkatkan nilai k , sehingga oksidasi CO menuju CO₂ dan oksidasi hidrokarbon berlangsung lebih cepat. Akan tetapi, kenaikan putaran mesin juga memperpendek waktu yang tersedia untuk setiap siklus dan mengubah proses pengisian serta pembuangan. Karena itu, kondisi emisi terendah dapat muncul pada putaran menengah ketika temperatur, pencampuran, dan waktu reaksi mencapai keseimbangan yang lebih sesuai.

Bahan Bakar, Putaran Mesin, dan Sistem Pembuangan

Karakteristik oktan berhubungan dengan ketahanan bahan bakar terhadap knocking dan memengaruhi kesesuaian bahan bakar dengan rasio kompresi serta strategi pengapian mesin. Penggunaan Pertamax pada kendaraan roda dua telah menunjukkan perubahan karakter daya dan efisiensi dibandingkan bahan bakar lain (Bahri et al., 2025). Pada sisi emisi, perubahan kondisi pembakaran akibat sistem injeksi dan komposisi bahan bakar dapat menggeser kadar CO, HC, dan CO₂ secara nyata (Purnama et al., 2023). Oleh sebab itu, pengujian dengan bahan bakar yang sama diperlukan agar perbedaan emisi lebih dapat dikaitkan dengan putaran mesin dan konfigurasi knalpot.

Knalpot standar dirancang sebagai bagian dari sistem mesin, sehingga diameter pipa, ruang peredam, dan hambatan alirnya disesuaikan dengan karakter operasi kendaraan. Knalpot racing tipe straight-through mengurangi hambatan internal dan dapat meningkatkan kelancaran aliran, tetapi perubahan tekanan balik dapat menggeser efisiensi scavenging dan jumlah gas sisa di dalam silinder. Penelitian terhadap berbagai sistem knalpot menunjukkan bahwa perubahan rancangan dapat menghasilkan respons emisi yang berbeda pada setiap kondisi putaran (Putra et al., 2025). Dengan demikian, hubungan konseptual penelitian ini menempatkan jenis knalpot dan putaran mesin sebagai faktor yang memengaruhi aliran pembuangan dan kondisi pembakaran, kemudian tercermin pada perubahan CO, HC, dan CO₂.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan rancangan eksperimen kuantitatif komparatif. Variabel bebas terdiri atas jenis knalpot, yaitu knalpot standar dan knalpot racing, serta putaran mesin 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm. Variabel terikat berupa konsentrasi karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan karbon dioksida (CO₂) pada gas buang. Pengambilan data dilaksanakan pada September hingga Oktober 2025 di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pejuang Republik Indonesia, Makassar.

Instrumen utama penelitian adalah gas analyzer NHA-506 yang menggunakan prinsip NDIR untuk pembacaan CO, HC, dan CO₂ serta dilengkapi sertifikat kalibrasi. Kendaraan uji ialah Honda CB150R berkapasitas 149,8 cc dengan sistem electronic fuel injection. Seluruh pengujian memakai Pertamina RON 92 dari sumber pengisian yang sama. Knalpot racing bertipe straight-through dengan diameter pipa 35 mm tanpa sekat peredam, sedangkan knalpot standar menggunakan komponen bawaan pabrikan dengan sistem peredam dua ruang. Spesifikasi parameter pengukuran pada gas analyzer dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Gas Analyzer.

Parameter Ukur	Rentang	Metode pengukuran
CO	0–9,999%	NDIR (Non-Dispersive Infrared)
HC	0–10.000 ppm	NDIR (Non-Dispersive Infrared)
CO ₂	0–20%	NDIR (Non-Dispersive Infrared)
O ₂	0–25%	Electrochemical
NO _x	0–5000 ppm	Electrochemical

Sumber: Data primer diolah penulis (2025).

Spesifikasi kendaraan uji yang digunakan selama eksperimen disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Teknis Kendaraan Uji.

Komponen	Spesifikasi
Tipe mesin	4-langkah, SOHC, 4 katup, pendingin cairan
Sistem bahan bakar	Fuel Injection (EFI)
Volume silinder	149,8 cc
Perbandingan kompresi	10,4 : 1
Daya maksimum	11,1 kW pada 8500 rpm
Torsi maksimum	13,1 Nm pada 7500 rpm

Sumber: Data primer diolah penulis (2025).

Prosedur pengujian dimulai dengan menyalakan gas analyzer dan memanaskannya selama sekitar delapan menit hingga mencapai kondisi siap pakai. Kendaraan kemudian dihidupkan sampai temperatur kerja tercapai, lalu probe alat dipasang pada ujung knalpot dengan posisi yang sama untuk seluruh perlakuan. Putaran mesin diatur secara berurutan pada 1500 rpm, 2000 rpm, dan 2500 rpm, kemudian dipertahankan sampai pembacaan alat stabil. Setiap kombinasi jenis knalpot dan putaran mesin diulang tiga kali, dan nilai yang digunakan dalam analisis merupakan rata-rata dari tiga pengulangan.

Analisis data dilakukan secara deskriptif komparatif dengan membandingkan perubahan CO, HC, dan CO₂ antarputaran serta antarjenis knalpot. Persentase perbedaan pada titik operasi yang sama dihitung dari selisih nilai kedua konfigurasi terhadap nilai knalpot standar. Interpretasi proses pembakaran dilakukan dengan melihat keterkaitan perubahan CO dan HC sebagai indikator pembakaran tidak sempurna serta CO₂ sebagai produk oksidasi karbon. Interpretasi kinetika digunakan untuk membahas pengaruh temperatur, laju oksidasi, waktu tinggal gas, dan perubahan aliran akibat konfigurasi sistem pembuangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran menunjukkan bahwa knalpot standar dan knalpot racing menghasilkan pola emisi yang berbeda pada setiap tingkat putaran mesin. Perbedaan tersebut terlihat pada ketiga parameter yang diamati, sehingga analisis dilakukan dengan memperhatikan perubahan nilai antarputaran dan keterkaitan antara CO, HC, serta CO₂. Ringkasan hasil pada knalpot standar disajikan pada Tabel 3, sedangkan hasil pada knalpot racing disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Emisi dengan Knalpot Standar.

Putaran mesin (rpm)	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)
1500	5,12	452	9,3
2000	4,97	173	10,9
2500	4,64	120	11,0

Sumber: Data primer diolah penulis (2025).

Tabel 4. Hasil Pengukuran Emisi dengan Knalpot Racing.

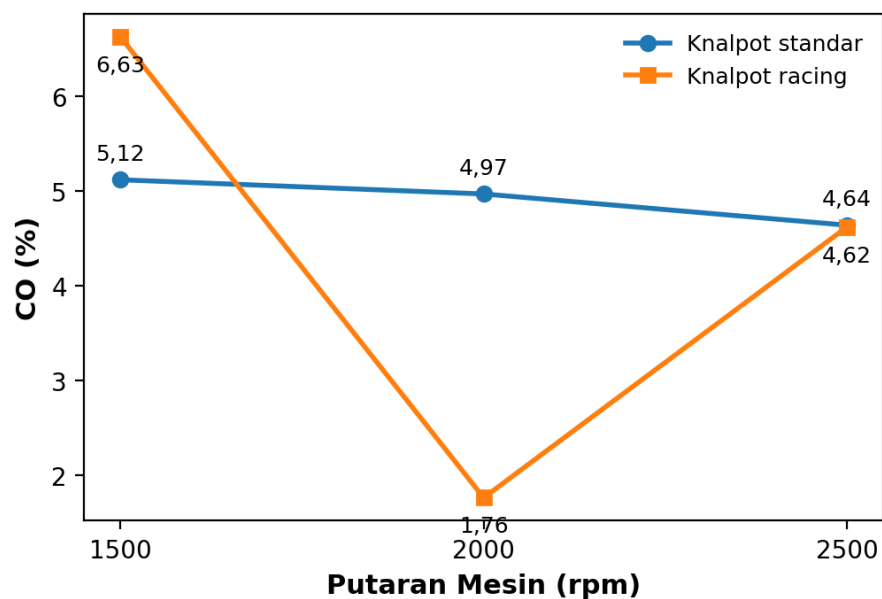
Putaran Mesin (rpm)	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)
1500	6,63	480	7,2
2000	1,76	80	12,4
2500	4,62	118	10,9

Sumber: Data primer diolah penulis (2025).

Karbon Monoksida

Pada knalpot standar, kadar CO turun dari 5,12% pada 1500 rpm menjadi 4,97% pada 2000 rpm dan 4,64% pada 2500 rpm. Pola ini menunjukkan penurunan CO yang bertahap ketika putaran meningkat. Knalpot racing menunjukkan respons berbeda karena CO mencapai 6,63% pada 1500 rpm, turun tajam menjadi 1,76% pada 2000 rpm, lalu naik menjadi 4,62% pada 2500 rpm. Pada 2000 rpm, kadar CO knalpot racing 64,6% lebih rendah daripada knalpot standar, sehingga titik ini menjadi kondisi dengan oksidasi karbon paling baik berdasarkan parameter CO.

Pola tersebut menunjukkan bahwa efek knalpot racing bergantung pada putaran mesin. Pada putaran rendah, aliran pembuangan yang lebih bebas belum menghasilkan kondisi pembakaran yang menguntungkan dan CO justru meningkat. Pada putaran menengah, peningkatan temperatur dan turbulensi dapat mempercepat oksidasi sekaligus mempertahankan waktu reaksi yang masih memadai. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa perubahan rasio udara-bahan bakar dan putaran mesin dapat mengubah kadar CO secara nyata (Zubair et al., 2025). Pola kadar CO untuk kedua konfigurasi ditunjukkan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Kadar CO pada Knalpot Standar dan Knalpot Racing pada Tiap Putaran Mesin.

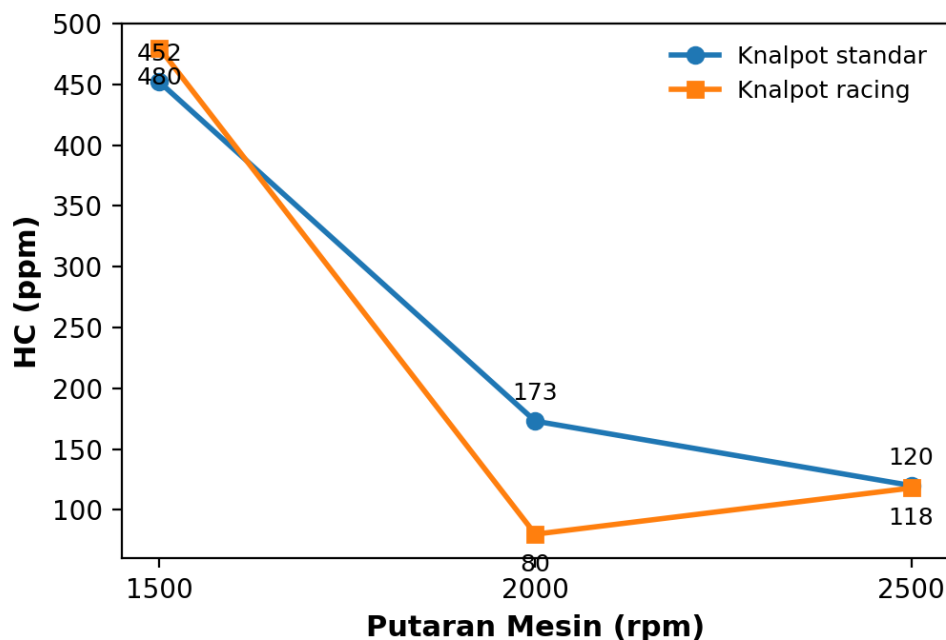
Sumber: Data primer diolah penulis (2025).

Hidrokarbon

Kadar HC tertinggi pada kedua knalpot terjadi pada 1500 rpm, yaitu 452 ppm pada knalpot standar dan 480 ppm pada knalpot racing. Pada 2000 rpm, HC knalpot standar turun menjadi 173 ppm, sedangkan knalpot racing turun lebih jauh menjadi 80 ppm. Nilai tersebut berarti HC knalpot racing 53,8% lebih rendah daripada knalpot standar pada putaran yang sama. Pada 2500 rpm, kedua konfigurasi kembali menunjukkan nilai yang hampir sama, yaitu 120 ppm dan 118 ppm.

HC merupakan fraksi bahan bakar yang lolos dari pembakaran atau terbentuk ketika api padam di daerah dekat dinding, celah, atau zona yang terlalu dingin untuk mempertahankan reaksi. Penurunan HC dari 1500 rpm menuju 2000 rpm menunjukkan bahwa pembakaran menjadi lebih efektif pada putaran menengah. Penelitian pada sistem fuel injection juga menunjukkan bahwa perubahan kondisi pengapian dan injeksi dapat menggeser kadar HC karena memengaruhi waktu dan kualitas pembakaran (Firmansyah et al., 2023). Hasil pengujian ini memperlihatkan bahwa konfigurasi knalpot ikut menentukan apakah perbaikan proses tersebut dapat dipertahankan pada putaran tertentu.

Pola kadar HC untuk kedua konfigurasi ditunjukkan pada Gambar 2.



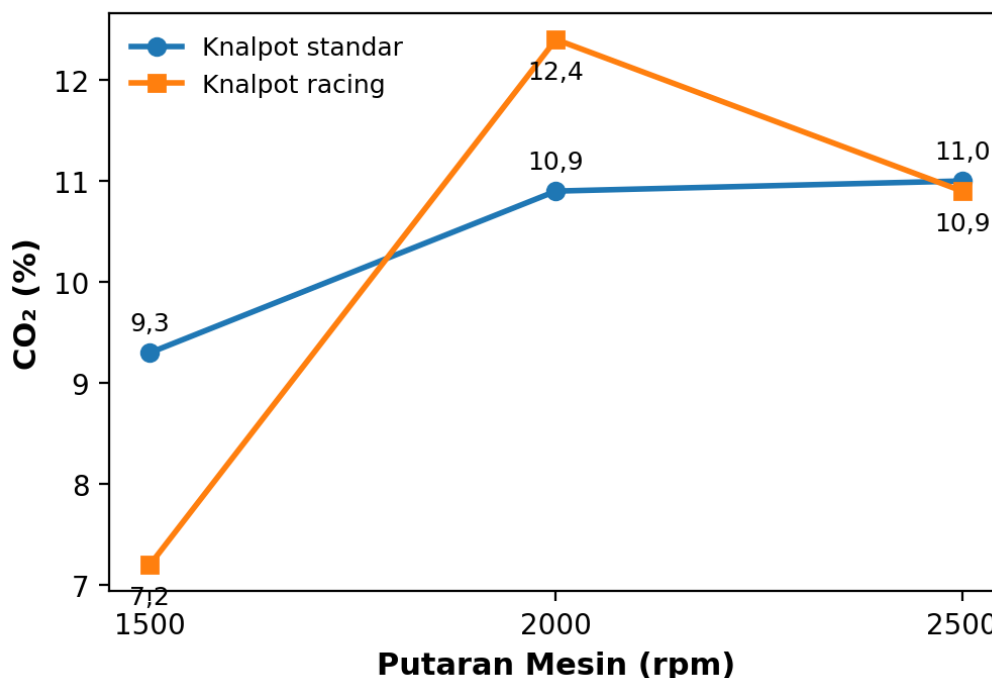
Gambar 2. Kadar HC Pada Knalpot Standar dan Knalpot Racing pada Tiap Putaran Mesin.

Sumber: Data primer diolah penulis (2025).

Karbon Dioksida dan Interpretasi Kinetika

Knalpot standar menghasilkan CO₂ sebesar 9,3% pada 1500 rpm, 10,9% pada 2000 rpm, dan 11,0% pada 2500 rpm. Knalpot racing menghasilkan 7,2% pada 1500 rpm, meningkat menjadi 12,4% pada 2000 rpm, kemudian turun menjadi 10,9% pada 2500 rpm. Nilai CO₂ tertinggi selama pengujian terjadi pada knalpot racing pada 2000 rpm dan muncul bersamaan dengan nilai CO dan HC terendah. Kombinasi tersebut menunjukkan bahwa proporsi karbon yang teroksidasi menjadi CO₂ paling tinggi pada titik operasi tersebut.

Secara kinetika, kenaikan temperatur meningkatkan konstanta laju reaksi menurut hubungan Arrhenius, tetapi keberhasilan oksidasi juga dipengaruhi konsentrasi reaktan dan waktu tinggal. Pada 1500 rpm, temperatur dan turbulensi campuran diduga belum cukup tinggi untuk mempercepat oksidasi secara optimal, sehingga CO dan HC masih tinggi. Pada 2000 rpm, kondisi termal dan pencampuran menjadi lebih menguntungkan, sedangkan waktu tinggal gas masih cukup untuk mempertahankan reaksi oksidasi. Pada 2500 rpm, peningkatan kecepatan aliran dan pemendekan waktu per siklus dapat mengurangi waktu efektif untuk penyelesaian reaksi, sehingga keuntungan pada 2000 rpm tidak sepenuhnya dipertahankan. Pola kadar CO₂ untuk kedua konfigurasi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Kadar CO₂ pada Knalpot Standar dan Knalpot Racing pada Tiap Putaran Mesin.

Sumber: Data primer diolah penulis (2025).

Pengaruh Sistem Pembuangan terhadap Karakter Emisi

Perbedaan pola emisi menunjukkan bahwa sistem pembuangan memengaruhi perpindahan massa, tekanan balik, dan kondisi scavenging. Knalpot standar mempertahankan pola yang lebih konsisten karena geometri internalnya dirancang mengikuti karakter mesin, sedangkan knalpot racing memiliki aliran yang lebih bebas dan lebih sensitif terhadap titik operasi. Kajian aliran pada silencer menunjukkan bahwa perubahan geometri dapat mengubah tekanan dan kecepatan gas buang, sehingga respons mesin terhadap knalpot tidak bersifat seragam (Roziqin et al., 2023). Temuan ini juga mendukung hasil penelitian knalpot alternatif yang menunjukkan bahwa perubahan desain pembuangan perlu dievaluasi bersama kondisi operasi mesin (Putra et al., 2025).

Secara praktis, penggantian knalpot tidak dapat diperlakukan sebagai cara tunggal untuk menurunkan emisi. Pada penggunaan yang sering berada di putaran rendah, knalpot standar menunjukkan kestabilan yang lebih baik, sedangkan knalpot racing pada penelitian ini memberikan keuntungan terbesar pada 2000 rpm. Penelitian mengenai catalytic converter juga menunjukkan bahwa sistem pembuangan bekerja bersama karakter bahan bakar dan proses pembakaran, sehingga perbaikan satu komponen perlu disesuaikan dengan kondisi sistem secara keseluruhan (Fedriansyah et al., 2023). Karena itu, penggunaan knalpot racing untuk tujuan performa sebaiknya diikuti evaluasi pengaturan bahan bakar dan pengapian agar peningkatan aliran tidak menghasilkan kenaikan CO dan HC pada kondisi lain.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Knalpot standar menghasilkan pola emisi yang lebih konsisten pada 1500, 2000, dan 2500 rpm, sedangkan knalpot racing menunjukkan perubahan yang lebih besar antarputaran. Pada 1500 rpm, knalpot racing menghasilkan CO 6,63% dan HC 480 ppm, lebih tinggi daripada knalpot standar. Kondisi terbaik knalpot racing terjadi pada 2000 rpm dengan CO 1,76%, HC 80 ppm, dan CO₂ 12,4%. Pada titik tersebut, CO dan HC masing-masing 64,6% dan 53,8% lebih rendah daripada knalpot standar, sehingga hasil pengujian menunjukkan bahwa keseimbangan temperatur, laju oksidasi, waktu tinggal gas, dan aliran pembuangan paling mendukung proses pembakaran pada putaran menengah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa knalpot racing tidak dapat dianggap selalu menurunkan emisi pada seluruh rentang putaran. Knalpot standar lebih sesuai ketika kestabilan emisi pada beberapa kondisi operasi menjadi prioritas, sedangkan keuntungan knalpot racing muncul pada titik operasi tertentu. Penelitian lanjutan disarankan menambah rentang putaran dan beban, mengukur O₂ dan NO_x secara bersamaan, serta merekam temperatur gas buang dan

tekanan balik agar hubungan antara kinetika reaksi dan dinamika aliran dapat dianalisis lebih langsung. Pengujian dengan pengaturan ECU dan variasi geometri knalpot juga diperlukan untuk menentukan kombinasi yang mampu mempertahankan rendahnya CO dan HC pada rentang operasi yang lebih luas.

DAFTAR REFERENSI

- Achmadin, W. N., Wahyudi, D., & Dewi, I. N. D. K. (2022). Perbandingan sifat kenaikan kinerja bahan bakar Peralite dan Pertamina terhadap mesin standar 110 cc. *Suara Teknik: Jurnal Ilmiah*, 13(1), 1–5. <https://doi.org/10.29406/stek.v13i1.3954>
- Bahri, S., Fahrudin, A., Tjahjanti, P. H., & Iswanto. (2025). Analisis pengaruh perbandingan timing injeksi menggunakan variasi bahan bakar Pertamina dan etanol terhadap performa motor matic 110 cc. *Otopro*, 20(2), 44–50. <https://doi.org/10.26740/otopro.v20n2.p44-50>
- Budin, S., Sunaryanto, R., & Situmorang, C. (2023). Perbandingan emisi gas buang antara motor bahan bakar empat tak berbahan bakar premium, Peralite, dan Pertamina. *Jurnal Techlink*, 4(2), 35–46. <https://doi.org/10.59134/jtnk.v4i2.509>
- Fedriansyah, H., Purwanto, W., Simatupang, W., & Milana. (2023). Optimasi catalytic converter dan bahan bakar biogasoline terhadap emisi gas buang pada sepeda motor 4 langkah dengan metode Taguchi. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(3), 325–334. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i3.79>
- Fikri, M., Purwanto, W., Muslim, Rifdarmon, & Baharudin, A. (2024). Analisis penggunaan busi standard, platinum, dan iridium terhadap emisi gas buang pada sepeda motor Scoopy PGM-FI 2020. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 2(3), 337–346. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v2i3.173>
- Firmansyah, M. S., Purwanto, W., Maksum, H., Arif, A., & Setiawan, M. Y. (2023). 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*, 1(2), 145–158. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i2.6>
- Gunawan, A., Purwanto, W., Sugiarto, T., & Arif, A. (2024). Optimasi pada sepeda motor FI penggunaan ECU programmable dan campuran ethanol terhadap emisi gas buang dengan metode Taguchi. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 2(2), 223–232. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v2i2.134>
- Hidayat, R., Mustaqim, Willis, G. R., Shidiq, M. A., Soebyakto, Rusnoto, Farid, A., Wibowo, H., & Wibowo, A. (2024). Perancangan filter zeolit dan sabut stainless pada knalpot sepeda motor untuk menurunkan emisi gas buang. *Jurnal Engineering*, 15(1), 96–104. <https://doi.org/10.24905/jureng.v15i1.12>
- Isworo, H., Artika, K. D., Syahyuniar, R., Syaief, A. N., Persada, A. A. B., Lingga, Y. M., Musthofa, I., & Kurniawan, R. B. (2022). Pengaruh campuran bahan bakar Peralite dan Pertamina terhadap nilai torsi, daya dan emisi gas buang sepeda motor 150 cc. *ELEMEN: Jurnal Teknik Mesin*, 9(2), 126–130. <https://doi.org/10.34128/je.v9i2.202>
- Kurniawan, O. A., Arif, A., Fernandez, D., Setiawan, M. Y., & Sari, H. N. (2023). Analisis penggunaan Hydrocarbon Crack System (HCS) terhadap emisi gas buang pada sepeda motor fuel injection. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(4), 591–600. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i4.126>

- Lesmana, I. G. E., Hartantrie, R. C., & Sunjaya, E. (2022). Analisis perbandingan emisi gas buang bahan bakar biodiesel B30 dan solar Dexlite pada mesin diesel R175A. *ALMIKANIK*, 4(1), 22–27. <https://doi.org/10.32832/almikanika.v4i1.7170>
- Ma'ruf, S. A., Milana, Martias, & Hidayat, N. (2023). Optimasi hasil uji emisi gas buang sepeda motor dengan penambahan carbon cleaner. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 1(2), 159–170. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v1i2.26>
- Naryanto, R. F. (2021). *Teknik pembakaran*. CV Literasi Nusantara Abadi.
- Pasaribu, M. P., Maksum, H., Wagino, & Sugiarto, T. (2025). Pengaruh bioetanol dari limbah kulit pisang dengan campuran bahan bakar sepeda motor terhadap emisi gas buang. *JTPVI: Jurnal Teknologi Dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 3(1), 595–602. <https://doi.org/10.24036/jtpvi.v3i1.240>
- Purnama, D., Arif, A., Alwi, E., & Sugiarto, T. (2023). Analisis penggunaan bahan bakar campuran Pertalite dengan bioetanol dari tebu terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada sepeda motor injeksi. *MSI Transaction on Education*, 4(3), 123–134. <https://doi.org/10.46574/mtded.v4i3.117>
- Putra, N. M., Roziqin, A., Naryanto, R. F., Septiyanto, A., Maulana, S., & Rohman, S. (2025). Analisis pengujian kebisingan dan emisi gas buang pada sepeda motor Honda 110 cc menggunakan knalpot AHLM (Adaptive High-Performance, Low-Pollution Muffler). *Panthera: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains Dan Terapan*, 5(4), 1218–1227. <https://doi.org/10.36312/panthera.v5i4.708>
- Rohim, S., Lathifudin, A., Hidayat, S., Sasmito, C. P., & Saputra, T. J. (2023). Pengaruh penggunaan knalpot standart dengan racing terhadap torsi dan daya sepeda motor Yamaha Aerox 155 cc tahun 2018. *Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik*, 2(3), 166–174. <https://doi.org/10.55606/juprit.v2i3.2134>
- Roziqin, A., Maulana, S., Kriswanto, Septiyanto, A., Khoirurroziqin, M. I., & Nasirudin, A. (2023). Exhaust gas pressure and flow velocity analysis of the conical silencer high performance low noise exhaust muffler. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 109(2), 39–48. <https://doi.org/10.37934/arfmts.109.2.3948>
- Saksono, R. N. A. (2011). Analysis of Agency Problems in Development Plan Alignment: An Indonesia-Malaysia Comparative Study. *JIANA (Jurnal Ilmu Administrasi Negara)*, 11(1), 25–39.
- Turns, S. R., & Haworth, D. C. (2021). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (4th ed.). McGraw Hill.
- Zubair, Saksono, P., & Ferdnian, M. (2025). Analisis perubahan rasio bahan bakar dan udara terhadap nilai emisi gas buang sepeda motor. *AL JAZARI: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 10(1), 19–24. <https://doi.org/10.31602/al-jazari.v10i1.16543>