

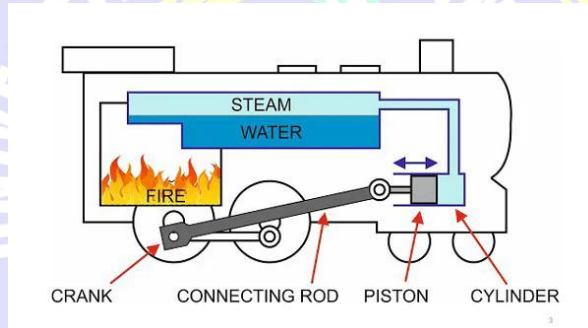
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Motor bakar merupakan mesin yang mengubah bahan bakar energi kimia menjadi energi mekanik melalui proses pembakaran di dalam ruang bakar (Munawar et al., 2023; Nur & Syafrun, 2022).

Menurut Heywood (2018), motor bakar torak bekerja berdasarkan prinsip pembakaran internal (*internal combustion engine*), di mana energi hasil pembakaran langsung diubah menjadi gerakan mekanik melalui piston.

a. Motor Pembakaran Luar (*External Combustion Engine*)



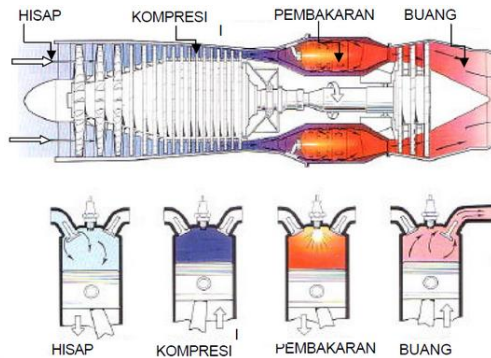
Gambar 2.1 mesin pembakaran luar

Sumber:

https://cdn.shopify.com/s/files/1/0175/0718/8800/files/Steam_engine_schematic.jpg?v=1747635049

Pembakaran terjadi di luar silinder mesin. Contohnya adalah mesin uap (*steam engine*) di mana panas dari pembakaran bahan bakar digunakan untuk menghasilkan uap yang kemudian menggerakkan piston atau turbin

b. Motor Pembakaran Dalam (*Internal Combustion Engine*)



Gambar 2.2 Mesin Pembakaran Dalam

Sumber :

(<https://mesin.uma.ac.id/wp-content/uploads/2020/12/Turbin-Gas-mesin-pembakaran-dalam.png>)

Pembakaran terjadi di dalam silinder mesin itu sendiri (Anwar & Shaleh, 2024). Contohnya adalah motor bensin dan motor diesel yang umum digunakan pada kendaraan bermotor. Sepeda motor Kawasaki KLX 150G menggunakan jenis motor pembakaran dalam (*internal combustion engine*) dengan siklus kerja 4 langkah (*4-stroke*). Pada motor jenis ini, campuran bahan bakar dan udara dibakar langsung di dalam ruang bakar (*combustion chamber*) yang terbentuk antara kepala piston dan tutup silinder.

2.2 Prinsip Kerja Motor Bensin

Prinsip Motor bensin adalah mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang menggunakan percikan bunga api listrik untuk menginisiasi proses pembakaran campuran udara dan bahan bakar (Suarta et al., 2025). Menurut Sahupala & Latuheru (2026), motor bensin 4-langkah bekerja berdasarkan siklus Otto yang memerlukan

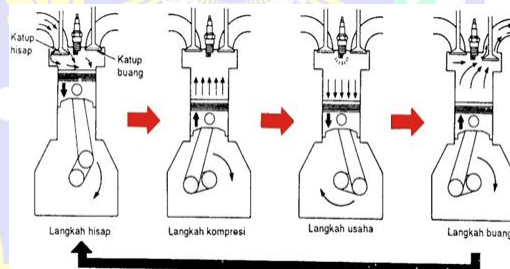
empat gerakan piston untuk menghasilkan satu kali langkah usaha.

Proses termodinamika yang terjadi di dalam silinder sangat bergantung pada ketepatan waktu pembukaan katup dan durasi percikan api dari busi. Harjanto et al. (2023) menjelaskan bahwa efisiensi termal mesin sangat dipengaruhi oleh rasio kompresi dan kualitas pencampuran bahan bakar di dalam karburator atau sistem injeksi sebelum masuk ke ruang bakar.

2.3 Motor Bensin 4 Langkah

Motor bensin 4 langkah (*four-stroke engine*) adalah motor yang memerlukan empat gerakan piston (dua putaran poros engkol / 720°) untuk menyelesaikan satu siklus kerja. Kawasaki KLX 150G menggunakan mesin jenis ini.

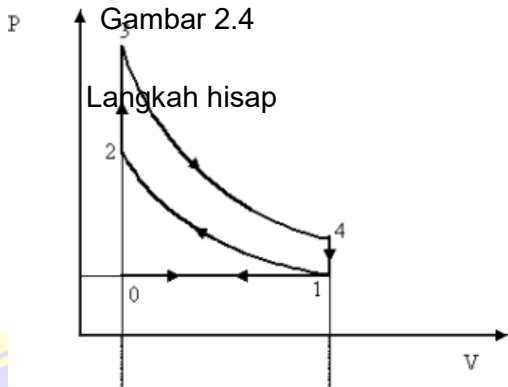
Menurut Sahupala & Lathuru (2026) Motor 4 langkah adalah motor yang setiap satu siklus kerjanya membutuhkan empat gerakan torak atau dua kali putaran poros engkol untuk menghasilkan satu kali usaha. Keempat langkah kerja tersebut adalah:



Gambar 2.3 Mesin 4 langkah Sumber :

<https://4.bp.blogspot.com/->

[KUNVeRJuDQ/WQgK715njI/AAAAAAAAAazg/txAQGn8WAwclSmfH6Elirov4MZ7j0EvfACLcB/s1600/siklus.png](https://4.bp.blogspot.com/-KUNVeRJuDQ/WQgK715njI/AAAAAAAAAazg/txAQGn8WAwclSmfH6Elirov4MZ7j0EvfACLcB/s1600/siklus.png)



Gambar 2.4 Diagram P-V Motor Bensin 4 Langkah

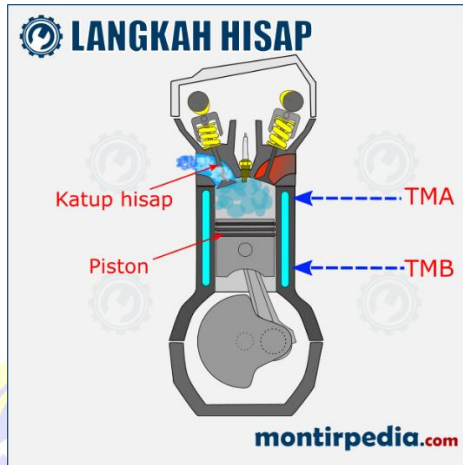
Sumber :

<https://duniaworkshop.blogspot.com/2017/07/sistem-pembakaran-prinsip-kerja-motor.html>

Siklus kerja motor bakar 4 langkah terdiri dari beberapa tahapan proses termodinamika. Dimulai dari proses 0 hingga 1 yang merupakan langkah hisap. Selanjutnya, proses 1 hingga 2 adalah langkah kompresi yang bersifat adiabatik reversibel atau isentropik. Setelah kompresi, terjadi proses pembakaran pada volume konstan pada rentang proses 2 hingga 3. Proses 3 hingga 4 merupakan langkah kerja atau ekspansi yang bersifat adiabatik reversibel. Terakhir, siklus ditutup dengan proses 4 hingga 1 yaitu pembuangan kalor pada volume konstan, diikuti dengan langkah buang pada tekanan konstan pada proses 1 hingga 0.

a. Langkah Hisap (*Intake Stroke*)

Piston bergerak dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah). Katup isap terbuka dan katup buang tertutup. Gerakan piston ke bawah menciptakan tekanan negatif (vakum) di dalam silinder, sehingga campuran udara-bahan bakar terhisap masuk ke dalam ruang bakar melalui katup isap.



Gambar 2.5 Langkah hisap

Sumber :

<https://montirpedia.com/wp-content/uploads/2024/08/langkah-hisap.png>

b. Langkah kompresi (*Compression Stroke*)

Piston bergerak dari TMB menuju TMA (Nurfaiz et al., 2023). Kedua katup (isap dan buang) tertutup. Campuran udara-bahan bakar dikompresikan hingga volume sangat kecil dan tekanan serta suhunya meningkat drastis, sehingga campuran siap untuk dibakar.



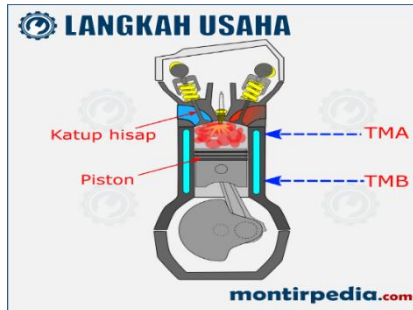
Gambar 2.6 Langkah kompresi

Sumber :

<https://montirpedia.com/wp-content/uploads/2024/08/langkah-kompresi.png>

c. Langkah Usaha/Kerja (*Power Stroke*)

Sesaat sebelum piston mencapai TMA, busi memercikkan bunga api listrik dan membakar campuran yang telah terkompresi (Sahupala & Latuheru, 2026). Gas hasil pembakaran yang panas dan bertekanan tinggi mendorong piston dengan kuat dari TMA ke TMB, menghasilkan tenaga mekanik. Ini adalah satu-satunya langkah yang menghasilkan tenaga pada siklus 4-langkah.



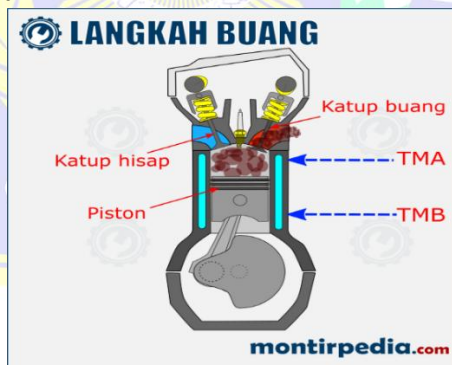
Gambar 2.7 Langkah Usaha

Sumber :

<https://montirpedia.com/wp-content/uploads/2024/08/langkah-usaha.usaha.png>

d. Langkah Buang (*Exhaust Stroke*)

Piston bergerak kembali dari TMB ke TMA. Katup buang terbuka dan katup isap tertutup. Piston mendorong gas sisa pembakaran keluar dari ruang bakar melalui katup buang menuju saluran pembuangan (*exhaust pipe*) dan akhirnya ke atmosfer.



Gambar 2.8 Langkah Buang

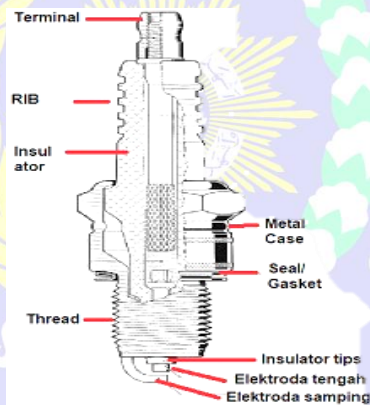
Sumber :

<https://montirpedia.com/wp-content/uploads/2024/08/langkah-buang.png>

2.4 Busi

Busi merupakan komponen penting pada sistem pengapian motor bensin yang memiliki fungsi untuk meneruskan arus listrik dari koil menuju ke ruang bakar sehingga dapat membakar campuran bahan bakar dan udara yang ada pada ruang bakar motor bensin dengan baik (Fajri et al., 2023), busi juga diharuskan agar tahan terhadap berbagai keadaan yang terjadi pada ruang bakar yang memiliki tekanan dan suhu yang tinggi pada saat mesin bekerja. Percikan api yang dihasilkan busi harus memiliki energi yang cukup, terjadi pada waktu yang tepat, dan berlangsung selama durasi yang memadai untuk memastikan pembakaran yang sempurna. Komponen-komponen utama busi terdiri dari:

Bagian-bagian busi:



Gambar 2.9 Bagian-Bagian busi

Sumber :

(https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/AVvXsEjA0l5w93VHjbstFponlu3J8ua7GrtrNcWWd5tYR5L097zp92BcjbacGf0lzUxYzdI9ZV_G20rFEw6hMK0Fm7QBaGYLzp_hlRaMrEC6kJpfsLLVRnG7KnPRD4bv0EWbaPBSP-t01Nvhv3E/s1600/busi.jpg)

a. Terminal

Terminal (*Terminal Nut*): Bagian paling atas busi yang terhubung dengan kabel busi.

b. *Rivet/Resistor*

Komponen di dalam insulator yang berfungsi untuk meredam gangguan gelombang elektromagnetik (EMI).

c. Insulator

Komponen berbahan keramik aluminium oksida yang berfungsi untuk mencegah kebocoran arus listrik serta menahan panas tinggi dari ruang bakar. sekaligus sebagai penghantar panas.

d. *Seal*

Fungsinya untuk mencegah kebocoran tekanan kompresi dan gas pembakaran dari ruang bakar.

e. *Metal case*

berfungsi sebagai rangka utama busi. Bagian ini menghubungkan busi dengan kepala silinder mesin.

f. *Centre electrode*

menghantarkan arus listrik bertegangan tinggi dari terminal ke ujung busi untuk menghasilkan percikan api.

g. *Ground*

bagian yang terhubung ke bodi busi dan menjadi titik loncatan bunga api dari elektroda tengah. Percikan api terjadi antara elektroda tengah dan elektroda massa.

2.5 Klasifikasi Busi

Busi diklasifikasikan berdasarkan material yang digunakan pada elektroda pusatnya (Fajri et al., 2023). Perbedaan material ini secara langsung memengaruhi titik leleh, daya hantar listrik, dan ketahanan terhadap korosi. klasifikasi busi yang umum digunakan sebagai berikut :

a. Busi Standar

Busi standar merupakan komponen bawaan pabrik yang umumnya menggunakan elektroda pusat berbahan paduan nikel dengan inti tembaga. Karakteristik utama dari busi ini adalah diameter elektroda pusatnya yang relatif besar, berkisar antara 2,0 mm hingga 2,5 mm. Meskipun memiliki keunggulan dari segi harga yang sangat terjangkau dan ketersediaan yang luas di pasaran, busi standar memerlukan tegangan listrik yang lebih tinggi untuk memercikkan api karena diameter elektrodanya yang besar. Selain itu, material nikel memiliki titik leleh yang lebih rendah yaitu sekitar 1.450°C , sehingga komponen ini lebih cepat mengalami keausan dan memerlukan penggantian rutin dalam jangka waktu pemakaian tertentu.



Gambar 2.10 Busi Standar

Sumber :

https://image.popmama.com/post/20251206/upload_c3da022f35d3c9da13d43bd5def5b53f_ed1bce6c-ffef-4f22-b16d-fee213a15fdb.jpg?tr=w-1200,f-webp,q-75&width=1200&format=webp&quality=75

b. Busi Platinum

Busi platinum yang menggunakan logam mulia platinum pada ujung elektroda pusatnya. Penggunaan material ini memungkinkan elektroda pusat dibuat lebih tipis dibandingkan busi standar, dengan diameter rata-

rata sekitar 1,1 mm. Platinum memiliki titik leleh yang lebih tinggi mencapai 1.770°C , sehingga lebih tahan terhadap panas ekstrim dan korosi di dalam ruang bakar. Elektroda yang lebih ramping pada busi platinum menghasilkan percikan api yang lebih stabil dan hanya memerlukan tegangan listrik yang lebih rendah untuk bekerja. Walaupun harganya lebih mahal dibandingkan busi standar, busi platinum menawarkan umur pakai yang jauh lebih panjang.



Gambar 2.11 Busi Platinum

Sumber :

https://blogger.googleusercontent.com/img/b/R29vZ2xl/AVvXsEgk14qJVXYBd0VmFGpWkapCsT-2-1b8kZercM6AHpXR-djKc2QKXicfulSwLpB_zxTYrQXETcRiyu3GGMw7qMi2v2YrDrN0pwWYZdWHrB3uWAYy2FaRjrKTvIEkoNcODDy_n2jFfAtn2ejdx0x9Sy4hLEGHRIwI94ZNxPF4JFm4ozz4vCUqd0OOYsRvoA/s450/Jenis%20busi.jpg

c. Busi Iridium

Busi iridium, yang menggunakan material iridium pada elektroda pusatnya. Iridium dikenal sebagai logam mulia yang sangat keras dengan titik leleh yang sangat tinggi mencapai 2.450°C . Karakteristik material yang luar biasa ini memungkinkan elektroda pusat dibuat sangat ramping dengan diameter hanya berkisar antara 0,4 mm

hingga 0,6 mm. Menurut Zulkarnain dkk. (2024), elektroda yang sangat tipis pada busi iridium mampu menghasilkan fokus percikan api yang sangat tajam atau memiliki tingkat *ignitability* yang tinggi. Hal tersebut mempercepat proses perambatan api di ruang bakar, meningkatkan responsivitas gas, dan menghasilkan pembakaran yang jauh lebih sempurna. Meskipun memiliki harga yang paling tinggi, busi iridium mampu mempertahankan performa optimalnya dalam jangka waktu yang sangat lama.



Gambar 2.12 Busi Iridium

Sumber :

<https://4.bp.blogspot.com/-l3yLEkWaQTY/WtXl-KSNr3I/AAAAAAAAKx4/LJmaKFMRqcsCHJl7eJaXynubtWTJn4OgCLcBGAs/w1200-h630-p-k-no-nu/busu%2Biridium.PNG>

2.6 Kinerja motor bakar

a. Torsi

Torsi adalah kemampuan mesin menghasilkan gaya putar pada poros engkol akibat proses pembakaran di dalam silinder (Adnan et al., 2025; Stone, 1999). Torsi berasal dari produk gaya dan jarak. Torsi muncul dari produk gaya dan lintasan. Nilai torsi mesin dapat dihitung dari data daya efektif dan putaran mesin menggunakan persamaan berikut (Pulkrabek, 2004):

$$T = \frac{P \times 7121}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

P = Daya (HP)

n = Putaran mesin (rpm)

K = 7121

b. Daya

daya mesin (*engine power*) adalah laju kerja yang dihasilkan oleh mesin pembakaran dalam sebagai hasil dari pembakaran campuran udara dan bahan bakar (Arismunandar, 1988).

Untuk menghitung output mesin dua langkah, digunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{T \times 2\pi \times n}{60 \times 745,7} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

T = Torsi (N.m)

P = Daya Motor (HP)

n = Putaran Mesin (RPM)

2π = sudut 1 putaran penuh dalam radian

60 = konversi menit ke detik

745,7 = konversi daya watt ke *horsepower*

c. *Specific Fuel Consumption* (SFC)

Umumnya untuk mengukur kebutuhan *fuel consumption* dilakukan guna menentukan jumlah penggunaan bahan bensin yang dibutuhkan mesin untuk menghasilkan listrik pada kecepatan tertentu. (Arismunandar, 1988)

Fuel consumption diukur menggunakan persamaan:

$$FC = \frac{V \times 60}{t} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

FC = *Fuel Consumption* (L/jam),

V = volume bahan bakar yang digunakan (liter)

t = waktu pengujian (menit)

Specific Fuel consumption diukur menggunakan persamaan :

$$SFC = \frac{FC}{P} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana:

SFC = *Specific Fuel Consumption* (L/HP.jam)

FC = *Fuel Consumption* (L/jam)

P = daya (HP)

d. BMep

BMEP adalah tekanan rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang langkah usaha (ekspansi) piston dan menghasilkan torsi aktual yang diukur pada poros engkol (*crankshaft*) (Pulkrabek, 2004)

$$P = \frac{T \times 4\pi}{Vd} \dots\dots\dots (2.5)$$

dimana :

BMEP = Tekanan efektif rata-rata (Pa)

Vd = Volume Langkah dalam meter kubik (m^3)

T = Torsi (Nm)

2.7 Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan pada motor bensin adalah bensin (*gasoline/petrol*), yaitu campuran hidrokarbon cair yang mudah terbakar (Milenia et al., 2022). Kualitas bahan bakar bensin diukur dengan nilai oktan (*Octane Number/ON*) yang menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menahan ketukan (*knocking*) atau detonasi dini di dalam ruang bakar.

Kualitas bahan bakar sangat berpengaruh terhadap performa mesin, efisiensi konsumsi bahan bakar, serta emisi gas buang yang dihasilkan (Syahrir et al., 2024).

Pembakaran yang sempurna akan menghasilkan tenaga yang optimal serta emisi yang lebih rendah, sedangkan pembakaran yang tidak sempurna dapat menghasilkan emisi berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC).

Dalam penelitian ini, bahan bakar yang digunakan adalah Pertamax (RON 92) yang merupakan bahan bakar yang direkomendasikan untuk mesin Kawasaki KLX 150G.

2.8 Emisi

Emisi gas buang adalah gas-gas sisa pembakaran yang dikeluarkan dari ruang bakar melalui sistem pembuangan (*exhaust system*) (Towijaya & Anam, 2023). Emisi gas buang kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara (Ferlia et al., 2023; Saputro et al., 2022). Menurut Warju (2009), "Emisi gas buang merupakan polutan yang dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna pada kendaraan bermotor yang mengandung senyawa berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan."

Bahan bakar bensin merupakan senyawa hidrokarbon cair yang menjadi sumber energi primer bagi motor bakar cetus api. Kualitas bahan bakar ini secara fundamental ditentukan oleh nilai oktan atau *Research Octane Number* (RON), yang merepresentasikan ketahanan bahan bakar terhadap gejala ketukan (*knocking*) selama fase kompresi. Menurut Mulyono (2021), pemilihan nilai oktan yang sesuai dengan rasio kompresi mesin sangat krusial untuk memastikan bahwa inisiasi pembakaran hanya terjadi melalui percikan bunga api dari busi, bukan akibat tekanan tinggi semata. Penggunaan bahan bakar dengan oktan yang tepat akan menghasilkan perambatan api yang lebih stabil dan tekanan ekspansi yang maksimal, yang pada gilirannya

akan mengoptimalkan daya output mesin serta meminimalkan residu pembakaran.

karakteristik dan komposisi gas buang ini menjadi indikator utama dalam menilai kesempurnaan proses pembakaran di dalam silinder. Oleh karena itu, upaya pengendalian emisi bukan hanya bertujuan untuk meningkatkan performa mesin, tetapi juga merupakan langkah vital dalam menjaga keberlanjutan lingkungan hidup dari ancaman polusi udara yang semakin mengkhawatirkan (Iqbal et al., 2024). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 08 tahun 2023 tentang penerapan baku mutu emisi kendaraan bermotor kategori M, kategori N, kategori O, dan Kategori L bahwa di Pengujian Kendaraan Bermotor di Indonesia baru menggunakan parameter CO dan HC saja. Secara umum, emisi gas buang pada motor bensin diklasifikasikan ke dalam beberapa senyawa utama sebagai berikut:

a. Hidrokarbon (HC)

Hidrokarbon (HC) adalah senyawa yang terdiri dari atom hidrogen dan karbon yang terdapat dalam gas buang akibat bahan bakar yang tidak terbakar atau terbakar sebagian. HC dapat terbentuk akibat *quenching* (pemadaman api di dinding silinder yang dingin), *misfiring* (kegagalan pengapian), atau campuran bahan bakar yang terlalu kaya. Hidrokarbon berperan dalam pembentukan smog fotokimia yang berbahaya bagi kesehatan. Nilai ambang batas HC untuk sepeda motor 4 langkah produksi setelah tahun 2010 adalah maksimal 2.000 ppm (*parts per million*) sesuai Permenlhk P.20/2017.

b. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah gas tidak berwarna, tidak berbau, beracun, dan mudah terbakar yang terbentuk

akibat pembakaran tidak sempurna dari bahan bakar yang mengandung karbon. CO terbentuk ketika pasokan oksigen tidak mencukupi untuk mengoksidasi semua atom karbon menjadi CO₂ secara sempurna. Kadar CO yang tinggi dalam gas buang mengindikasikan pembakaran yang tidak efisien. Nilai ambang batas CO untuk sepeda motor 4 langkah produksi setelah tahun 2010 adalah maksimal 4,5%.

c. Emisi CO₂ (karbon dioksida)

Karbon dioksida (CO₂) adalah produk akhir dari pembakaran sempurna bahan bakar yang mengandung karbon dengan oksigen yang cukup. Kadar CO₂ yang tinggi dalam gas buang (sekitar 12–15%) mengindikasikan pembakaran yang sempurna dan efisien. CO₂ merupakan gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Reaksi pembakaran sempurna:

