

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Hasil Penelitian Terdahulu Yang Relevan**

Penelitian di bidang bahan bakar otomotif menunjukkan bahwa nilai oktan merupakan salah satu parameter penting yang diuji oleh para peneliti. Pada tahun 2022, Rifal dkk melakukan penelitian tentang efek dari campuran bahan bakar ethanol (RON 117) dan bensin (RON 88) terhadap konsumsi bahan bakar, dan emisi gas buang. Penelitian ini menggunakan kendaraan roda dua dengan tipe mesin air cooled 4-stroke SOHC, 1 silinder 125 cc dengan sistem injeksi. Hasil penelitian menunjukan bahwa penggunaan bahan bakar campuran E20 adalah campuran terbaik dibandingkan dengan bensin murni, dengan konsumsi bahan bakar untuk E20 14% lebih rendah dari bensin murni dan emisi HC, CO dan CO<sub>2</sub> 45% lebih rendah dibandingkan dengan bensin murni.

Pada tahun yang sama, penelitian yang dilakukan oleh Prasetyo dkk menunjukkan pengaruh nilai RON pada bahan bakar bensin terhadap emisi gas buang (CO, HC, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) menggunakan sepeda motor bermesin 125 cc. Bahan bakar yang diuji meliputi Peralite (RON 90), Pertamina (RON 92), dan Pertamina Turbo (RON 98). Hasil uji dengan gas analyzer pada variasi putaran mesin 1.000–8.000 rpm memperlihatkan bahwa bahan bakar dengan RON lebih tinggi (Pertamax Turbo) menghasilkan kadar CO dan HC yang lebih rendah, serta kadar CO<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang lebih tinggi dibandingkan Peralite dan Pertamina.

Purnama dkk pada tahun 2023 melakukan penelitian penggunaan bahan bakar campuran Peralite dengan bioetanol berbasis dasar tebu terhadap emisi gas buang yang dihasilkan. Penelitian pada sepeda motor Honda Beat FI 108 cc dengan variasi campuran Peralite–bioetanol (BE0–BE25) menunjukkan bahwa peningkatan kadar bioetanol menurunkan konsumsi bahan bakar serta emisi gas buang CO dan HC. Hasil terbaik diperoleh pada campuran BE25 dengan penurunan

konsumsi hingga 19%, CO sebesar 28%, dan HC hingga 61% dibandingkan bahan bakar murni.

Pada Tahun 2025, Saksono dkk melakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh jenis bahan bakar Pertalite (RON 90), Pertamina (RON 92), dan Pertamina Turbo (RON 98) terhadap emisi gas buang (CO, HC, CO<sub>2</sub>). pada mobil mobil Toyota Sienta 1.5 G M/T EFI. Pengujian dilakukan pada variasi putaran mesin (idle, 1000, 2000, 2500, 3000 rpm) menggunakan gas analyzer. Hasil menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran mesin, kadar CO, HC, dan CO<sub>2</sub> menurun pada semua jenis bahan bakar. Bahan bakar dengan RON lebih tinggi menghasilkan emisi lebih rendah, di mana Pertamina Turbo (RON 98) memberikan hasil terbaik dengan CO = 0,010%, HC = 2,667 ppm, dan CO<sub>2</sub> = 12,133% pada 5000 rpm. Seluruh hasil uji memenuhi ambang batas emisi menurut Permen LH No. 06 Tahun 2006 (CO ≤ 1,5% dan HC ≤ 200 ppm).

Pada penelitian ini, pembahasan diarahkan pada pengaruh angka oktan bahan bakar terhadap unjuk kerja mesin dan emisi gas buang (CO/HC) pada kendaraan Mitsubishi Xpander. Pemilihan topik ini didasarkan pada penelitian sebelumnya yang masih terbatas pada kendaraan roda dua berkapasitas kecil dan hanya menitikberatkan pada emisi gas buang tanpa memperhitungkan kinerja mesin. Oleh karena itu, posisi penelitian ini menyajikan kajian yang lebih komprehensif dengan melibatkan dua parameter sekaligus, yaitu unjuk kerja dan emisi gas buang menggunakan objek penelitian berupa mobil MPV yang memiliki karakteristik berbeda dari kendaraan sebelumnya.

## 2.2 Dasar Hukum

Dalam Undang-Undang Nomor 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan Bagian Kedua Pasal 48 mengenai Persyaratan Teknis dan Laik Jalan disebutkan bahwa :

1. Setiap Kendaraan Bermotor yang dioperasikan di Jalan harus memenuhi persyaratan teknis dan laik jalan.

2. Persyaratan teknis sebagaimana dimaksud pada ayat (1) terdiri atas:
- a. susunan;
  - b. perlengkapan;
  - c. ukuran;
  - d. karoseri;
  - e. rancangan teknis Kendaraan sesuai dengan peruntukannya;
  - f. pemuatan;
  - g. penggunaan;
  - h. penggandengan Kendaraan Bermotor; dan/atau
  - i. penempelan Kendaraan Bermotor.
3. Persyaratan laik jalan sebagaimana dimaksud pada ayat (1) ditentukan oleh kinerja minimal Kendaraan Bermotor yang diukur sekurang-kurangnya terdiri atas:
- a. emisi gas buang;
  - b. kebisingan suara;
  - c. efisiensi sistem rem utama;
  - d. efisiensi sistem rem parkir;
  - e. kincup roda depan;
  - f. suara klakson;
  - g. daya pancar dan arah sinar lampu utama;
  - h. radius putar;
  - i. akurasi alat penunjuk kecepatan;
  - j. kesesuaian kinerja roda dan kondisi ban; dan
  - k. kesesuaian daya mesin penggerak terhadap berat kendaraan.

Peraturan Pemerintah No 55 Tahun 2012 tentang Kendaraan menyebutkan bahwa motor penggerak meliputi:

- a. motor bakar;
- b. motor listrik; dan
- c. kombinasi motor bakar dan motor listrik.

Motor penggerak harus memenuhi persyaratan antara lain:

- 1) mempunyai daya untuk dapat mendaki pada jalan tanjakan dengan sudut kemiringan minimum 8 (delapan derajat) dengan kecepatan minimum 20 (dua puluh) kilometer per jam pada segala kondisi jalan;
- 2) motor penggerak dapat dihidupkan dari tempat duduk pengemudi;
- 3) motor penggerak Kendaraan Bermotor tanpa Kereta Gandengan atau Kereta Tempelan, selain Sepeda Motor harus memiliki perbandingan antara daya dan berat total Kendaraan berikut muatannya paling sedikit sebesar 4,50 (empat koma lima puluh) kilo Watt setiap 1.000 (seribu) kilogram dari JBB atau JBKB;
- 4) motor penggerak pada Kendaraan Bermotor yang digunakan untuk menarik Kereta Gandengan, Kereta Tempelan, bus tempel dan bus gandeng, selain Sepeda Motor harus memiliki perbandingan antara daya dan berat total Kendaraan berikut muatannya paling sedikit sebesar 5,50 (lima koma lima puluh) kilo Watt setiap 1.000 (seribu) kilogram dari JBB atau JBKB; dan
- 5) perbandingan antara daya motor penggerak dan berat Kendaraan khusus atau Sepeda Motor ditetapkan sesuai dengan kebutuhan lalu lintas dan angkutan serta kelas jalan.

Dalam Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2012 juga menyebutkan bahwa sistem pembuangan harus memenuhi persyaratan:

- 1) dirancang dan dibuat dari bahan yang cukup kuat;
- 2) arah pipa pembuangan dibuat dengan posisi yang tidak mengganggu pengguna jalan lain;
- 3) asap dari hasil pembuangan tidak mengarah pada tangki bahan bakar atau roda sumbu belakang Kendaraan Bermotor; dan

- 4) pipa pembuangan tidak melebihi sisi samping atau sisi belakang Kendaraan Bermotor

Dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 Tentang Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, Kategori N, Kategori O, Dan Kategori L, adalah sebagai berikut:

**Table 2.1** Ambang Batas Emisi Gas Buang

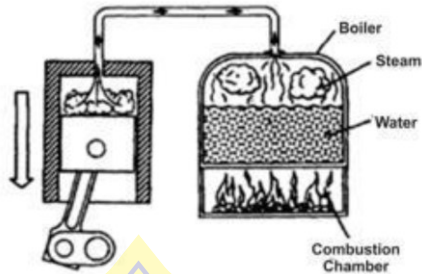
Kategori	Tahun Pembuat an	Parameter		Opasita s	Metode	
		(CO)	(HC)			
Berpenggerak motor bakar cetus api (Bensin)						
Katego ri M	< 2007	4 %	1000 ppm		Kondisi diam (Idle)	
	2007- 2018	1 %	150 ppm			
	> 2018	0.5 %	100 ppm			
Katego ri N dan Katego ri O	< 2007	4 %	1100 ppm			
	2007- 2018	1 %	200 ppm			
	> 2018	0.5 %	150 ppm			
Berpenggerak Motor Bakar Penyalaan Kompresi (Diesel)						
Kategori M, Kategori N dan Kategori O						
JBB ≤ 3.5 ton	< 2010			65% HSU	Percep atan bebas	
	2010- 2021			40% HSU		
	> 2021			30% HSU		
JBB > 3.5 ton	< 2010			65% HSU		

	2010-2021			40% HSU	
	> 2021			35% HSU	

### 2.3 Motor Bakar

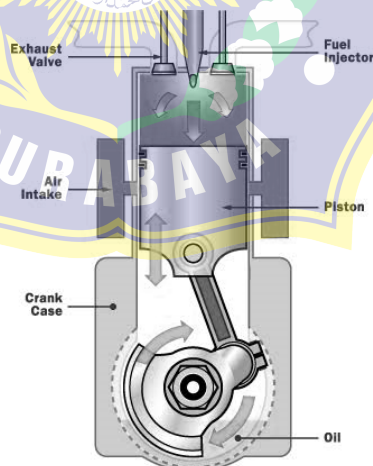
Motor bakar adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah energi kimia dari suatu bahan bakar tertentu menjadi energi termal. Kemudian energi termal tersebut digunakan untuk memproduksi gerakan mekanik. Mesin pada umumnya mengonversikan energi termal menjadi gerak mekanis dan hal ini dinamakan dengan mesin panas (heat engines). Pembagian mesin menurut sistem pembakarannya didasarkan pada tempat proses pembakaran yang terjadi yang pada umumnya diklasifikasikan menjadi *external combustion engines (EC engines)* dan *internal combustion engines (IC engines)* (Zhang et al., 2022).

*External combustion engines* adalah mesin dengan proses pembakaran yang terjadi di luar mesin tersebut atau tidak di dalam ruang tertutup dalam mesin bakar. Mesin pembakaran luar memerlukan beberapa komponen penghantar untuk merubah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran menjadi tenaga Gerak, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.1. Kelebihan mesin pembakaran luar adalah lebih sesuai digunakan untuk beban-bean yang besar dalam satu poros dan dapat menggunakan bahan bakar dengan kualitas apapun. Sebagai contoh dari mesin tipe ini adalah mesin uap dan turbin uap. Dalam mesin uap dan turbin uap, panas dari pembakaran bahan bakar akan menghasilkan uap yang bertekanan tinggi, di mana uap tersebut akan menggerakkan turbin atau mesin (Azmi, 2025).



**Gambar 2.1** External Combustion Engine

Mesin pembakaran dalam merupakan mesin dengan sumber tenaga dari pengembangan gas panas campuran udara dan bahan bakar dengan tekanan yang sangat tinggi yang berlangsung di dalam ruang bakar di dalam mesin itu sendiri yang di sebut ruang bakar. Kelebihan mesin pembakaran dalam adalah desainnya sederhana sehingga mudah dan cepat untuk dioperasikan, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2.2. Selain itu mesin pembakaran internal memiliki efisiensi termal yang sangat baik karena pembakaran terjadi di dalam silinder mesin, sehingga dapat menghemat bahan bakar (Deriman & Ndruru, 2021).



**Gambar 2.2** Internal Combustion Engine



## 2.4 Prinsip Kerja Mesin Bensin

Motor bakar bensin (spark) sangat berbeda dengan motor diesel (combustion). Perbedaan yang sangat mencolok terletak dari bagaimana cara kedua mesin tersebut menyalakan campuran antara bahan bakar dan udara. Pada mesin bensin, untuk dapat menyalakan mesin tersebut diperlukan bantuan dari busi yang dapat menghasilkan percikan bunga api untuk membakar campuran bahan bakar dan udara sedangkan pada mesin diesel penggunaan busi tidak diperlukan karena pada mesin diesel pembakaran dilakukan dengan cara meningkatkan tekanan dan temperatur hingga titik tertentu pada ruang pembakaran. Karena pembakaran pada mesin diesel menggunakan kompresi yang tinggi maka jelas mesin diesel ini memiliki perbandingan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan mesin bensin. Pada mesin bensin perbandingan kompresi standar berkisar antara 8:1 hingga 13:1 sedangkan pada mesin diesel perbandingan kompresi berkisar antara 14:1 hingga 23:1.

Pada bensin langkah kerja torak dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu mesin empat langkah (4 tak) dan mesin dua langkah (2 tak). Mesin empat langkah adalah motor yang dalam satu siklus kerjanya membutuhkan empat kali piston bolak-balik, dua kali putaran poros engkol dan menghasilkan satu kali langkah usaha. Sedangkan pada mesin dua langkah adalah motor yang dalam sekali siklus kerjanya membutuhkan dua kali piston bolak-balik, satu kali putaran poros engkol dan menghasilkan satu kali langkah usaha (Widjanarko et al., 2022).

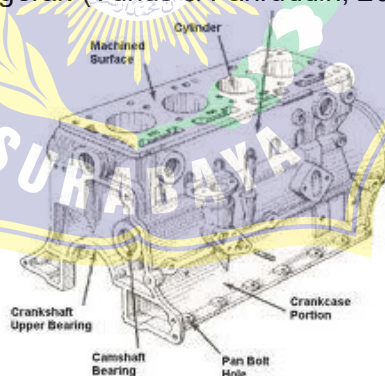
## 2.5 Komponen Mesin Bensin

Komponen mesin bensin adalah bagian-bagian yang membentuk mesin pembakaran dalam bensin. Mesin bensin adalah tipe mesin internal yang menggunakan bensin sebagai bahan bakar utama. Komponen-komponen ini bekerja bersama-sama untuk menghasilkan tenaga yang diperlukan untuk menggerakkan kendaraan. Berikut adalah beberapa komponen utama dalam mesin bensin



### 1) Blok Silinder

Blok silinder merupakan komponen utama pada mesin dan menjadi bentuk dasar dari sebuah mesin. Di dalam blok silinder terdapat beberapa buah silinder, di mana masing-masing silinder berisi piston atau torak yang bergerak naik-turun akibat proses pembakaran. Pada bagian bawah, piston terhubung langsung dengan poros engkol (*crankshaft*), sehingga gerakan naik-turun piston dapat menggerakkan poros engkol. Sedangkan pada bagian atas blok silinder terdapat kepala silinder yang di dalamnya membentuk ruang bakar dan dilengkapi dengan katup hisap serta katup buang. Ruang inilah yang menjadi tempat utama terjadinya proses pembakaran mesin. Bahan yang digunakan untuk membuat blok silinder umumnya adalah besi cor karena kekuatannya. Namun, saat ini banyak blok mesin yang dibuat dari aluminium karena lebih ringan, tetap kuat, serta memiliki kemampuan pelepasan panas yang lebih baik. Bagian atas blok silinder ditutup oleh kepala silinder, sedangkan bagian bawah ditutup dengan *oil pan* atau bak oli yang di dalamnya terdapat poros engkol sebagai penggerak (Yunus & Fahrudin, 2024).

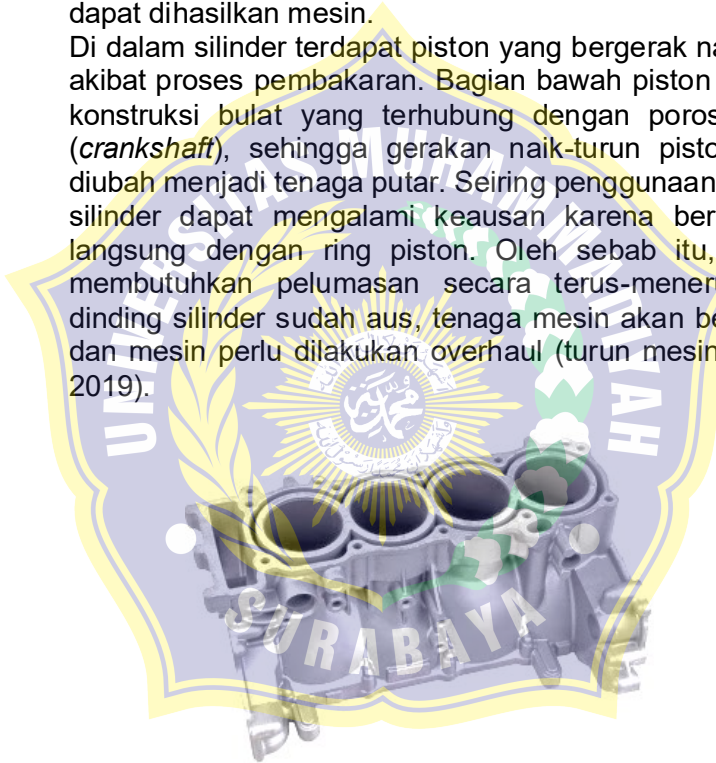


**Gambar 2.3** Blok Silinder

## 2) Silinder

Silinder merupakan sebuah lubang pada blok silinder, yang menjadi salah satu komponen utama dalam sistem kerja mesin bensin, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.4. Jumlah silinder pada mesin mobil umumnya bervariasi, mulai dari 2, 3, 4, 6, 8, hingga lebih banyak lagi. Semakin banyak jumlah silinder, semakin besar pula tenaga yang dapat dihasilkan mesin.

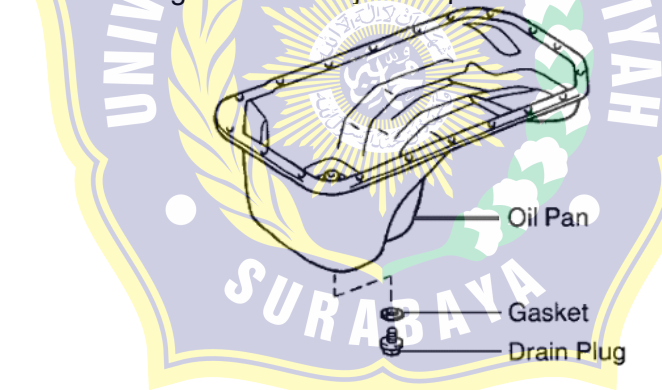
Di dalam silinder terdapat piston yang bergerak naik-turun akibat proses pembakaran. Bagian bawah piston memiliki konstruksi bulat yang terhubung dengan poros engkol (*crankshaft*), sehingga gerakan naik-turun piston dapat diubah menjadi tenaga putar. Seiring penggunaan, dinding silinder dapat mengalami keausan karena bergesekan langsung dengan ring piston. Oleh sebab itu, silinder membutuhkan pelumasan secara terus-menerus. Jika dinding silinder sudah aus, tenaga mesin akan berkurang dan mesin perlu dilakukan overhaul (turun mesin) (Koto., 2019).



**Gambar 2.4** Silinder

3) Carter (bak oli)

Carter, atau sering disebut bak oli, terletak di bagian bawah blok silinder dan berfungsi sebagai penampung oli mesin. Komponen ini biasanya terbuat dari plat baja yang kuat dan tahan terhadap tekanan dari luar. Karena posisinya berada paling bawah, carter memiliki risiko tinggi mengalami benturan dengan benda keras di jalan. Bak carter dihubungkan dengan blok silinder menggunakan perapat atau gasket untuk mencegah kebocoran oli. Desain carter berbeda-beda pada setiap pabrikan, namun umumnya memiliki bentuk dasar yang sama. Di bagian dalam terdapat ruang cekungan sebagai tempat pompa oli, sedangkan pada bagian paling bawah dipasang baut pembuangan yang berfungsi untuk mengeluarkan oli saat proses penggantian oli mesin (Rosyidin & Efendi, 2020). sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5** Bak Oli

4) Kepala Silinder (*Cylinder Head*)

Komponen ini terletak di bagian atas blok silinder dan berfungsi sebagai penutup blok silinder. Pemasangannya menggunakan gasket khusus untuk mencegah kebocoran hasil pembakaran. Pada kepala silinder terdapat lubang-lubang untuk pemasangan busi serta mekanisme katup yang melengkapi sistem kerja mesin sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.6. Pada umumnya, kepala silinder dibuat dari besi tuang atau paduan aluminium untuk membatasi terjadinya pemuaian akibat suhu tinggi. Selain itu, komponen ini juga dilengkapi dengan mantel pendingin atau water jacket yang berfungsi menjaga suhu kepala silinder agar tetap stabil (Harman et al., 2025).



**Gambar 2.6** Kepala Silinder

5) Torak/piston

Piston merupakan komponen yang bergerak naik-turun di dalam silinder. Salah satu syarat penting dari piston adalah harus memiliki kekuatan yang mampu menahan tekanan pembakaran. Kepala piston umumnya berbentuk datar, meskipun ada juga yang dibuat cembung atau cekung. Pada bagian atas torak terdapat 2–3 celah untuk pemasangan ring piston sebagaimana ditampilkan pada Gambar 2.7.



**Gambar 2.7** Piston

Bahan dasar piston biasanya berupa paduan besi tuang dan aluminium, karena material ini ringan serta memiliki daya hantar panas yang baik. Namun, paduan yang tidak seimbang dapat menimbulkan masalah, sebab pada suhu sangat tinggi piston dapat mengalami pemuaian berlebih dan berubah bentuk. Untuk mengantisipasi hal tersebut, diameter bagian atas piston dibuat sedikit lebih kecil dibandingkan dengan bagian bawahnya. Dengan demikian, ketika suhu kerja mesin meningkat, pemuaian yang terjadi akan membuat ukuran bagian atas dan bawah piston menjadi seimbang (Sianturi & Tarigan, 2020).

6) Ring Piston

Pergerakan piston terhadap dinding silinder harus memiliki kerenggangan tertentu untuk mengantisipasi pemuaian saat mesin bekerja. Kerenggangan ini disebut renggang piston atau piston clearance. Apabila celah terlalu besar, akan terjadi kebocoran gas ke luar serta oli mesin dapat masuk ke ruang bakar. Untuk mengatasi hal tersebut, piston dilengkapi dengan ring piston. Ring ini berfungsi mengikis oli yang menempel pada dinding silinder sekaligus mencegah kebocoran gas hasil pembakaran ke bagian bawah mesin (Sianturi & Tarigan, 2020).

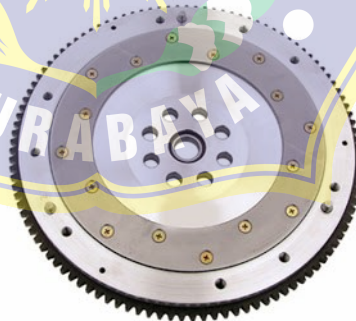
7) Poros engkol / *crankshaft*



**Gambar 2.8** Poros Engkol

Poros engkol atau *crankshaft* berfungsi mengubah gerakan naik-turun piston menjadi gerakan putar. Gerakan putar ini kemudian diteruskan ke roda gaya (*flywheel*), yang selanjutnya disalurkan ke sistem transmisi. Selain itu, gerakan putar dari poros engkol juga digunakan untuk menggerakkan berbagai komponen pendukung mesin, seperti mekanisme katup, alternator, kipas radiator, dan komponen lainnya (Sianturi & Tarigan, 2020).

8) Roda penerus/ *flywheel*



**Gambar 2.9** Roda Penerus/Flywheel

*Flywheel* merupakan sebuah piringan besar yang berfungsi menyimpan dan meneruskan daya dari poros engkol. Komponen ini umumnya terbuat dari baja tuang yang memiliki ketahanan tinggi terhadap puntiran dan tekanan. Pada bagian luar *flywheel* terdapat gigi-gigi yang dihubungkan dengan pinion starter untuk memudahkan proses menghidupkan mesin.

## 2.6 Kecepatan Torsi

Torsi atau (momen puntir) suatu motor Adalah kekuatan poros engkol yang akhirnya menggerakkan kendaraan. Kekuatan putar poros ini pada mesin dihasilkan oleh pembakaran yang efeknya mendorong piston naik turun piston naik turun menyebabkan putaran poros engkol yang kemudian akan ditransfer menuju ke roda-roda penggerak sehingga mencapai roda. Dalam sebuah motor bakar, gaya adalah daya motor sedangkan panjang lengan adalah panjang piston (Nuur et al., 2022). Torsi dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = F \cdot s \text{ (Nm)} \quad (2.1),$$

dengan  $T$  adalah torsi (Nm),  $F$  adalah gaya (N) dan  $s$  jarak (m)

## 2.7 Daya

Daya motor atau output mesin merupakan bagian dari parameter yang dapat menentukan performa mesin. Definisi output mesin adalah kecepatan operasi mesin pada interval waktu tertentu (Arifin et al., 2023). Untuk menghitung output mesin empat langkah, digunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60.000} \times 1,34 \text{ (HP)} \quad (2.2),$$

Dimana  $P$  daya motor (HP),  $T$  torsi (Nm),  $n$  putaran mesin (rpm) dan nilai  $1 \text{ Kw} = 1,34$  untuk (HP).



## 2.8 Konsumsi Bahan Bakar

*Fuel Consumption* dilakukan guna menentukan jumlah penggunaan bahan bakar bensin yang dibutuhkan mesin untuk menghasilkan listrik pada kecepatan tertentu, (Nelvi, 2023). *Fuel Consumption* diukur menggunakan persamaan:

$$FC = \frac{3600 \cdot \rho_{bb} \cdot V_{bb}}{t} \left( \frac{Kg}{H} \right) \quad (2.3),$$

Dimana FC *Fuel Consumption* (Kg/H),  $\rho_{bb}$  massa bahan bakar (Kg/m<sup>3</sup>),  $V_{bb}$  ukuran bahan bakar yang digunakan (m<sup>3</sup>) dan t durasi waktu yang digunakan (s).

Penggunaan *Specific Fuel Consumption* adalah ukuran yang dibutuhkan bahan energy dalam hitungan satuan waktu. Kebutuhan bahan bensin untuk spesifiknya adalah data bahan bakar yang dipakai per satuannya. Perhitungan dilakukan untuk mengetahui penggunaan yang dikonsumsi untuk menghasilkan daya, (Rosyidin & Efendi, 2020). *Specific Fuel Consumption* diukur dalam persamaan:

$$SFC = \frac{FC}{P} \left( \frac{Kg}{HP.H} \right) \quad (2.4),$$

Dimana SFC *Specific Fuel Consumption*  $\left( \frac{Kg}{HP.H} \right)$ , FC *Fuel Consumption* (Kg/H) dan P daya motor (HP).

Efisiensi termal didefinisikan sebagai pemaksimalan dimana panas bahan bensin yang digunakan dengan cara mengubahnya guna memperoleh tenaga mekanik (poros). Perhitungan dilakukan untuk mengetahui efisiensi bahan bakar dari unjuk kerja mesin, (Rosyidin & Efendi, 2020). Efisiensi thermal dihitung menggunakan persamaan, :

$$\eta_{th} = \frac{3600 \cdot P}{FC \cdot LHV} \times 100 \% \quad (2.5),$$

Dimana  $\eta_{th}$  efisiensi thermal (%), P daya motor (HP), *Fuel Consumption* ( $\frac{Kg}{HP.H}$ ), LHV angka kalor (Kj/Kg).

## 2.9 Sistem Pembuangan

Pertama, saluran pembuangan berfungsi mengalirkan gas hasil pembakaran dari mesin. Gas tersebut kemudian dilepaskan ke atmosfer setelah sebelumnya bercampur dengan air, sehingga konsentrasinya lebih tipis. Proses ini dilakukan di area sekitar mesin. Kedua, sistem pembuangan dilengkapi dengan peredam suara (*muffler*) yang berfungsi mengurangi kebisingan akibat proses pembuangan gas. Komponen sistem pembuangan (*exhaust system*) terdiri dari :

- 1) Kepala silinder, merupakan komponen yang berhubungan langsung dengan pipa pembuangan awal. Hal ini berbeda konstruksi apabila kita berbicara pada mesin dua langkah, dimana saluran pembuangan ditempatkan dibagian bawah dinding silinder. Hal ini mungkin agak sedikit membingungkan bagi para pemula, tapi bikers sekalian akan mengerti apabila melihat langsung seperti apa perbedaannya.
- 2) *Exhaust Manifold*, menampung gas bekas dari semua silinder dan mengalirkan gas tersebut ke pipa buang (*exhaust pipe*). *Exhaust manifold* dibaut pada kepala silinder. saluran *manifold* (*manifold part*) disambungkan langsung pada lubang gas bekas (*exhaust port*) pada silinder.
- 3) *Catalytic Converter*, Katalis adalah suatu zat yang dapat menimbulkan atau mempercepat terjadinya reaksi kimia, tetapi zat tersebut sendiri tidak mengalami perubahan bentuk maupun berat. Sebagai contoh, apabila HC, CO, dan NOx dipanaskan bersama oksigen hingga suhu 500 °C, tidak akan terjadi reaksi kimia. Namun, jika pemanasan dilakukan dengan bantuan katalis, maka reaksi kimia akan berlangsung dan gas-gas berbahaya tersebut akan diubah

menjadi  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , dan  $\text{N}_2$  yang bersifat tidak berbahaya. Ada 3 system *catalytic converter*, yaitu:

- *System Oxidation Catalyst* (OC)
  - *System Three-Way Catalyst* (TWC) System
  - *Three-Way Catalyst dan Oxidation Catalyst* (TWC-OC)
- 4) Resonator, berfungsi untuk meredam suara dan membuat back pressure kemudian penempatannya dibawah/setelah *catalytic converter* probelm yang sering timbul adalah keropos dan penyok sampai dengan bocor.
- 5) Muffler,  
Muffler adalah komponen berbentuk tabung yang terletak pada bagian akhir sistem pembuangan (*exhaust system*). Fungsinya hampir sama dengan resonator, yaitu meredam suara hasil pembakaran. Masalah yang sering terjadi pada muffler adalah keropos dan penyok akibat usia pemakaian maupun benturan. Di dalam muffler biasanya terdapat sekat-sekat yang berfungsi untuk menciptakan *back pressure* sekaligus membantu meredam suara gas buang agar lebih halus.

## 2.10 Bahan Bakar

Unjuk kerja mesin berpengapian busi (*spark ignition engine* atau *SI Engine*) sangat dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan. Bahan bakar yang dioperasikan pada mesin berpengapian busi harus memenuhi beberapa karakteristik penting, di antaranya:

- 1) Angka Oktan (*Octane Number*)  
Angka oktan menunjukkan seberapa besar tekanan maksimum yang dapat diberikan di dalam mesin sebelum bensin terbakar secara spontan (*knocking*) [8]. Ethanol memiliki angka oktan yang tinggi sehingga mampu menghambat terjadinya *knocking*. Hal ini didukung oleh *autoignition temperature* ethanol yang lebih tinggi, yaitu  $423\text{ }^{\circ}\text{C}$ , dibandingkan bensin yang hanya  $257\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Artinya, ethanol dapat dipanaskan hingga temperatur lebih tinggi sebelum terbakar. Dengan demikian, penggunaan ethanol

memungkinkan mesin beroperasi dengan rasio kompresi yang lebih tinggi dibandingkan mesin berbahan bakar bensin, sehingga meningkatkan efisiensi termal dan daya mesin.

2) Kemudahan Menguap (*Volatility*)

Volatilitas bahan bakar sangat berpengaruh pada proses pembentukan campuran bahan bakar-udara di dalam karburator serta memengaruhi kemudahan *starting*. Salah satu sifat yang terkait erat dengan volatilitas adalah titik nyala (*flash point*), yaitu temperatur minimum ketika cairan menghasilkan uap yang cukup untuk terbakar. Ethanol memiliki titik nyala  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jauh lebih tinggi dibandingkan bensin yang  $-43\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Titik nyala yang tinggi menyebabkan penguapan ethanol lebih lambat sehingga menimbulkan kesulitan saat *cold starting*.

3) Titik Beku (*Freezing Point*)

Titik beku adalah suhu saat bahan bakar mulai membeku. Karakteristik ini penting, terutama untuk bahan bakar pesawat yang beroperasi di daerah dingin. Kandungan aromatik yang tinggi dapat menyebabkan pembekuan dan penyumbatan saluran bahan bakar. Oleh karena itu, bahan bakar untuk mesin yang bekerja di lingkungan bersuhu rendah harus memiliki titik beku rendah. Titik beku ethanol adalah  $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sedangkan bensin untuk pesawat berada di sekitar  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

4) Kandungan Energi (*Energy Content*)

Kandungan energi bahan bakar ditunjukkan oleh nilai kalor (*lower heating value*). Semakin tinggi nilai kalor, semakin besar daya yang dihasilkan mesin. Nilai kalor ethanol hanya sekitar  $21,1\text{ MJ/L}$ , lebih rendah dibanding bensin yang  $30\text{--}33\text{ MJ/L}$ . Hal ini membuat konsumsi ethanol menjadi sekitar 1,5 kali lebih banyak untuk menghasilkan daya yang sama. Penyebabnya adalah kandungan oksigen dalam ethanol yang cukup tinggi, sehingga rasio udara-bahan bakar *stoikiometri ethanol* (AFR) lebih rendah ( $9:1$ ) dibanding bensin ( $14,7:1$ ).

Dengan kata lain, untuk menghasilkan energi yang sama dibutuhkan ethanol lebih banyak, meskipun udara yang dikonsumsi tetap sama.

5) Panas Penguapan Laten (*Latent Heat of Vaporization*)

Panas penguapan laten ethanol sekitar 3,4 kali lebih besar dibanding bensin (per satuan massa). Keuntungan dari sifat ini adalah pendinginan udara masuk (*intake air*), sehingga meningkatkan densitas udara yang masuk ke ruang bakar. Dengan begitu, terbentuk campuran bahan bakar-udara yang lebih miskin sehingga emisi CO menurun akibat pembakaran yang lebih sempurna. Selain itu, panas penguapan laten yang tinggi juga menurunkan temperatur pembakaran, mengurangi kecenderungan *autoignition*, serta menekan emisi NOx [10].

6) Berat Jenis (*Specific Gravity*)

Berat jenis adalah perbandingan massa suatu zat terhadap massa air murni pada volume dan suhu yang sama. Jika dibandingkan tanpa acuan air, sifat ini disebut massa jenis. Berat jenis sangat dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur, massa jenis menurun karena volume zat bertambah. Sebaliknya, semakin rendah temperatur, massa jenis meningkat karena volume zat berkurang. Berat jenis ethanol adalah 0,796, sedangkan bensin berkisar antara 0,69–0,79.

## 2.11 Emisi Gas Buang

Bahan bakar bensin mengandung campuran dari beberapa hidrokarbon dan jika terbakar secara sempurna, pada gas buang hanya akan mengandung karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dan uap air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) serta udara yang tidak ikut dalam proses pembakaran. Namun untuk beberapa alasan, pembakaran yang terjadi adalah tidak sempurna dan akan menghasilkan karbon monoksida (CO), gas beracun yang mematikan dan hidrokarbon yang tidak terbakar (*Unburned Hydrocarbon*, UBHC) pada gas buang. Disamping CO dan HC, emisi utama

yang ketiga adalah oksida dari nitrogen ( $\text{NO}_x$ ) yang terbentuk oleh reaksi antara nitrogen dengan oksigen karena temperatur pembakaran yang tinggi, yaitu lebih dari  $1100^\circ \text{C}$ .

1) Karbon Monoksida, CO

Karbon monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau dan gas beracun. Gas ini timbul pada saat kondisi campuran di dalam mesin kaya. Dimana tidak tersedianya cukup oksigen untuk membentuk CO menjadi  $\text{CO}_2$ , sehingga beberapa carbon berakhir menjadi CO. Biasanya untuk mesin bensin kadarnya 0,2% - 0,5%. Kekuatannya berikatan dengan hemoglobin di dalam darah sangat lebih kuat daripada oksigen. Bahkan konsentrasi yang rendah pun dapat menyebabkan terjadinya sufokasi. Konsentrasi di dalam udara maksimal yang diijinkan adalah  $33 \text{ mg/m}^3$ . Jumlah oksigen dalam campuran (A/F ratio) juga sangat menentukan besar CO yang dihasilkan, mengingat kurangnya oksigen dalam campuran akan mengakibatkan karbon bereaksi tidak sempurna dengan oksigen (sehingga terbentuk CO). Carbon monoksida juga cenderung timbul pada temperatur pembakaran yang tinggi. Meskipun pada campuran miskin (mempunyai cukup oksigen) jika temperatur pembakaran terlalu tinggi, maka oksigen yang telah terbentuk dalam karbon dioksida bisa berdisosiasi (melepaskan diri) membentuk carbon monoksida dan oksigen.

2) Hidrokarbon, HC

Polutan ini konsentrasinya relatif lebih kecil dibandingkan CO. Meskipun demikian HC ini menjadi perhatian yang serius karena selain baunya, senyawa ini juga sangat berpengaruh dalam pembentukan kabut fotokimia (*photochemical smog*) serta bersifat karsinogen.

3) Karbondioksida ( $\text{CO}_2$ )

Banyaknya kandungan karbon dioksida yang keluar dari gas buang sebenarnya menunjukkan proses pembakaran di ruang bakar, jika kandungan semakin tinggi, maka artinya pembakaran semakin sempurna, jika AFR berada diangka



ideal, emisi karbon dioksida akan berkisar antara 12% - 15%, namun jika AFR terlalu kurus atau kaya maka emisi  $\text{CO}_2$  akan turun drastis, apabila  $\text{CO}_2$  dibawah 12% maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukan posisi AFR terlalu kaya atau kurus, sumber keluarnya  $\text{CO}_2$  sendiri hanya ada di ruang bakar yang dipengaruhi CC, jika kadar  $\text{CO}_2$  rendah namun kadar CO dan HC normal, artinya ada kebocoran pada pipa gas buang.

4) Oksigen ( $\text{O}_2$ )

Konsentrasi  $\text{O}_2$  di ruang bakara terbanding terbalik dengan  $\text{CO}_2$ , agar pembakaran sempurna kadar oksigen harus mencukupi untuk setiap molekul HC, bentuk ruang bakar yang melengkung sempurna akan mempengaruhi efisiensi pembakaran bahan bakar karena kondisi ini mempermudah bertemunya molekul bensin dan molekul udara. Untuk mengurangi emisi HC molekul oksigen harus diperbanyak untuk memastikan semua molekul bensin bisa bertemu molekul udara dalam AFR 14,7 : 1 ( $\lambda = 1$ ) oksigen yang terkandung dalam gas buang berkisar antara 0.5% - 1%, normalnya konsentrasi oksigen dan gas buang adalah sekitar 12% atau lebih kecil hingga mendekati 0%.

## 2.12 Catalytic Converter

*Catalytic converter* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengurangi emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan dengan melakukan pembakaran lanjut melalui reaksi kimia pada katalis. *Catalytic converter* merupakan suatu alat yang digunakan untuk untuk mengurangi emisi gas buang dari pembakaran dalam kendaraan bermotor menggunakan dua katalis kerja yaitu katalis reduksi dan katalis oksidasi (Fazalkarim, 2023). *Catalytic converter* merupakan alat pengontrol emisi untuk mengkonversi gas dan polutan beracun dalam gas buang dengan megkatalisasi reaksi oksidasi dan reaksi reduksi (Fazalkarim, 2023). *Catalytic converter* bekerja dengan melakukan reaksi reduksi dan oksidasi pada permukaan katalis dengan memanfaatkan sisa gas hasil



pembakaran yang melewati saluran buang. Semakin banyak gas buang hasil pembakaran yang mengenai penampang katalis, maka akan semakin lambat laju aliran gas buang yang mengakibatkan semakin cepatnya laju reaksi reduksi dan oksidasi untuk mengurangi emisi gas buang kendaraan.

*Catalytic converter* terbagi menjadi beberapa jenis antara lain *catalytic converter* tipe *two way*, dan *catalytic converter* tipe *three way*. *Catalytic converter* tipe *two way* dikenal sebagai *catalytic converter* dengan tipe dua jalan yang hanya bisa melakukan oksidasi gas buang CO dan HC dalam prosesnya. *Catalytic converter two way* dikenal dengan *catalytic converter* dua jalan karena dapat mereaksikan polutan CO dan HC dengan mengoksidasi gas CO menjadi CO<sub>2</sub> dan mengoksidasi HC menjadi CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O, tipe dua ini disebut reaksi oksidasi atau dikenal dengan oksidasi *catalytic converter* (Mukherjee, et al., 2016). Reaksi oksidasi gas CO dan HC adalah sebagai berikut:

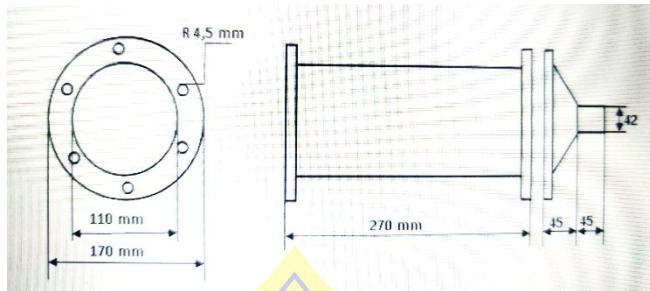


*Catalytic converter* tipe *twoway* dikenal sebagai *catalytic converter* tiga jalan yang bisa mengoksidasi gas buang CO dan HC serta mereduksi gas buang NO<sub>x</sub>. *Catalytic converter* tiga jalan memiliki manfaat melakukan oksidasi gas CO (karbon monoksida), gas HC (hidrokarbon), dan mereduksi NO<sub>x</sub> (nitrogen oksida) secara bersamaan (Gupta, et al 2017). Reaksi reduksi gas NO<sub>x</sub> adalah sebagai berikut:



## 2.13 Desain Catalytic Converter

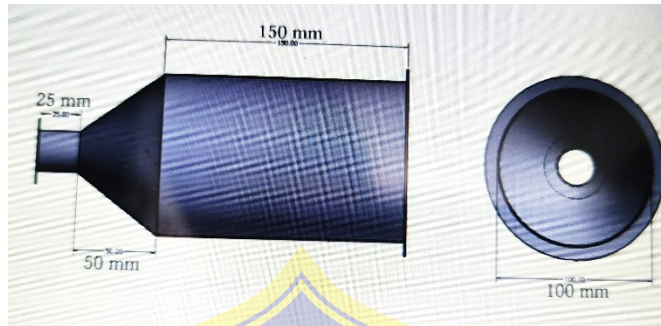
Desain *catalytic converter* tidak dibuat permanen akan tetapi dapat dibuka dan ditutup. Desain yang demikian berfungsi untuk memudahkan dalam pengambilan data penelitian emisi gas buang sebab dalam pengambilan data menggunakan bahan-bahan yang di variasikan.



**Gambar 2.10** Desain Catalytic Converter

Pada penelitian "*catalytic converter* jenis katalis *stainless steel* berbentuk sarang laba-laba untuk mengurangi emisi kendaraan bermotor" menggunakan dimensi *cover catalytic converter* dengan panjang 270 mm, diameter dalam *casing* sebesar 110 mm. Pada bagian depan dan belakang *cover catalytic converter* dibuat tutup yang dapat di pasang tutup yang berfungsi untuk memasukkan dan mengeluarkan katalis dari *catalytic converter* dengan melepas tutup *catalytic converter*, dimensi tutup yang digunakan yaitu sepanjang 45 mm. Bagian tengah tutup dibuat saluran masuk dan keluar dengan diameter 42 mm. *Catalytic converter* dengan bahan kawat *stainless steel* berbentuk sarang laba-laba yang disusun secara berlapis menggunakan dimensi tersebut mampu menurunkan emisi paling signifikan sebesar 26,9% gas CO dan 35,2% gas HC. Desain *catalytic converter* yang digunakan dalam pengujian emisi gas buang dengan menggunakan penelitian Mokhtar dan Wibowo adalah sebagai berikut:

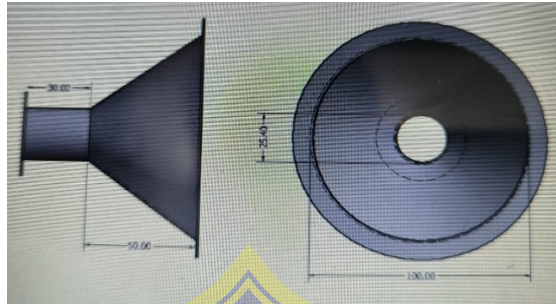
a. *Cover Catalytic Converter*



**Gambar 2.11** Cover Catalytic Converter

*Cover catalytic converter* berfungsi sebagai tempat katalis danudukan katalis serta sebagai sambungan ke knalpot kendaraan. *Cover catalytic converter* terbuat *stainless steel* berbentuk silinder dengan dimensi panjang 250 mm dua tutup dengan panjang 50, sambungan tutup dengan panjang 30 mm, dan diameter lubang silinder 100 mm. *Cover catalytic converter* memiliki fungsi sebagai tempat katalis. Pada bagian ujung depan dan belakang berbentuk kerucut dan ada tambahan sambungan yang berfungsi untuk menyambungkan *cover catalytic converter* dengan pipa saluran gas buang. Pada bagian belakang terdapat klem yang memiliki lubang untuk menyambungkan *cover catalytic converter* dengan tutup *cover catalytic converter* menggunakan baut.

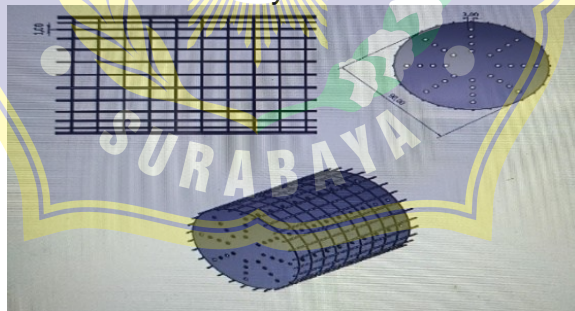
b. Tutup Cover Catalytic Converter



**Gambar 2.12** Tutup Cover Catalytic Converter

Tutup *cover catalytic converter* berfungsi untuk menutup *cover catalytic converter*. Tutup *catalytic converter* berbentuk kerucut dengan panjang 50 mm, bagian depan berbentuk pipa dengan panjang 30 mm dan diameter lubang 25,4 mm, bagian ini berfungsi untuk menyambungkan *catalytic converter* dengan knalpot kendaraan. Bagian belakang tutup *cover catalytic converter* terdapat klem yang memiliki lubang baut untuk menyambungkan tutup *catalytic converter* dengan *cover catalytic converter*.

c. Dudukan dan Katalis Catalytic Converter



**Gambar 2.13** Dudukan dan Katalis Catalytic Converter

Dudukan *catalytic converter* berfungsi untuk menempatkan katalis *catalytic converter* agar memudahkan dalam penggantian bahan *catalytic converter* saat dilakukan

pengujian. Katalis *catalytic converter* terbuat dari bahan plat *stainless steel* dan *stainless steel* berlapis *chrome* dengan diameter 90 mm dan tebal 0,5 mm. Pada permukaan katalis dibuat berlubang dengan diameter 3 mm yang disusun tidak teratur agar pada saat gas buang melewati katalis akan terjadi tumbukan yang dapat meningkatkan laju reaksi dalam proses oksidasi gas buang dari kendaraan, selain itu lubang pada katalis juga berfungsi untuk melancarkan aliran gas buang agar katalis dapat bekerja dengan maksimal dan tidak mengganggu reaksi yang terjadi pada katalis.

