

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 CO₂ 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, CO₂, O₂) 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 CO₂ dan O₂ 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), Pertamax (RON 92), dan Pertamax Turbo (RON 98) terhadap emisi gas buang (CO, HC, CO₂) 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 CO₂ menurun pada semua jenis bahan bakar. Bahan bakar dengan RON lebih tinggi menghasilkan emisi lebih rendah, di mana Pertamax Turbo (RON 98) memberikan hasil terbaik dengan CO = 0,010%, HC = 2,667 ppm, dan CO₂ = 12,133% pada 3000 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 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:

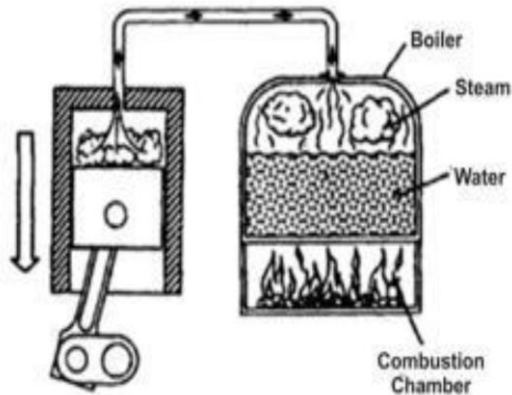
Tabel 2.1 Baku Mutu Emisi Gas Buang

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Opasitas	Metode
		(CO)	(HC)		
Berpenggerak motor bakar cetus api (Bensin)					
Kategori M	< 2007	4 %	1000 ppm		Kondisi diam (<i>Idle</i>)
	2007-2018	1 %	150 ppm		
	> 2018	0.5 %	100 ppm		
Kategori N dan Kategori O	< 2007	4 %	1100 ppm		
	2007-2018	1 %	200 ppm		
	> 2018	0.5 %	150 ppm		
Berpenggerak Motor Bakar Penyalan Kompresi (Diesel)					
Kategori M, Kategori N dan Kategori O					
JBB ≤ 3.5 ton	< 2010			65% HSU	Percepatan 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

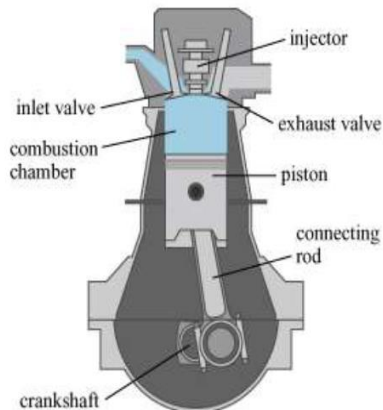
Motor bakar adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengubah energi kimia dari suatu bahan bakar tertentu menjadi energi termal. Kemudian energi termal tersebut digunakan untuk memproduksi gerakan mekanik. Mesin pada umumnya mengonversikan energi termal menjadi gerak mekanis dan hal ini dinamakan dengan 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)*.

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-beban 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, (Sahputra dan Junaidi, 2021).



Sumber : (Sahputra dan Junaidi, 2021:8)
Gambar 2.1 Mesin pembakaran luar

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 (Sarkar, 2022).



Sumber : (Sarkar, 2022 : 1968)
Gambar 2.2 Mesin pembakaran dalam

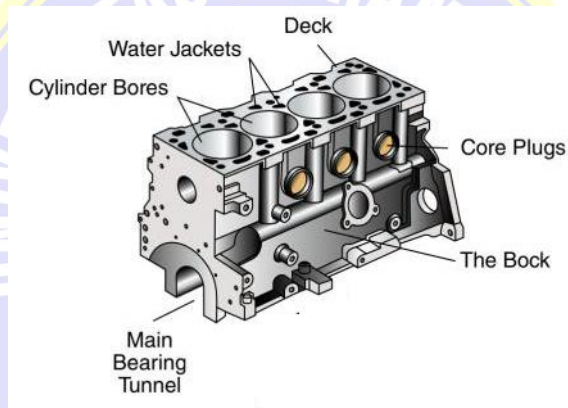
2.4 Komponen Mesin Bensin

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 (VanGelder, 2018).



Sumber : *Fundamentals of Automotive Technology*, 2018, hal.

477

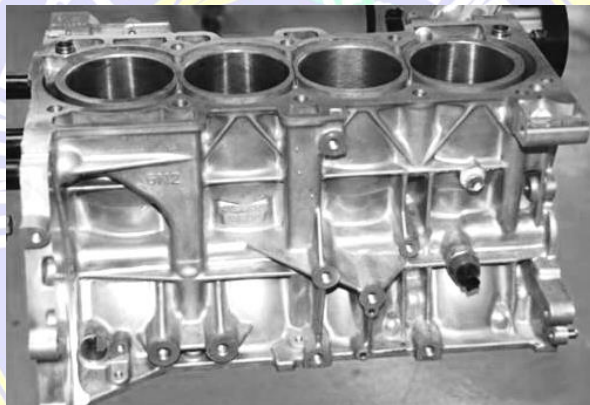
Gambar 2.3 Blok silinder

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) (VanGelder, 2018).



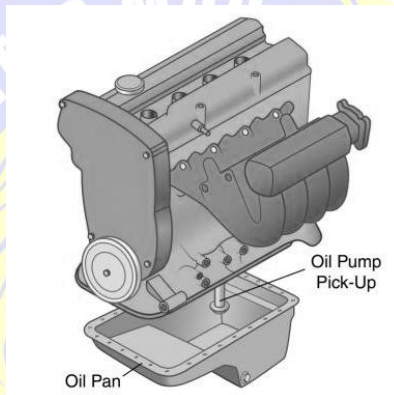
Sumber : *Fundamentals of Automotive Technology*, 2018, hal. 479

Gambar 2.4 Silinder

3) Bak oli (*oil pan*)

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, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.5 (VanGelder, 2018).



Sumber : *Fundamentals of Automotive Technology*, 2018, hal. 480

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 (VanGelder, 2023).

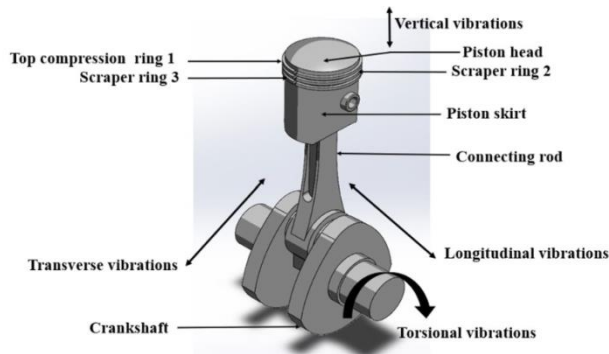


Sumber : (Fundamentals of Automotive Technology, 2023, hal. 562)

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 (Barai dkk., 2024).



Sumber : (Barai dkk., 2024 : 1021)
Gambar 2.7 Piston

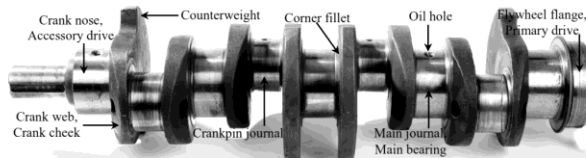
Bahan dasar piston biasanya berupa paduan besi tuang dan aluminium, karena material ini ringan serta memiliki daya hantar panas yang baik. Namun, paduan yang tidak seimbang dapat menimbulkan masalah, sebab pada suhu sangat tinggi piston dapat mengalami pemuaian berlebih dan berubah bentuk. Untuk mengantisipasi 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.

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.

7) Poros engkol / *crankshaft*



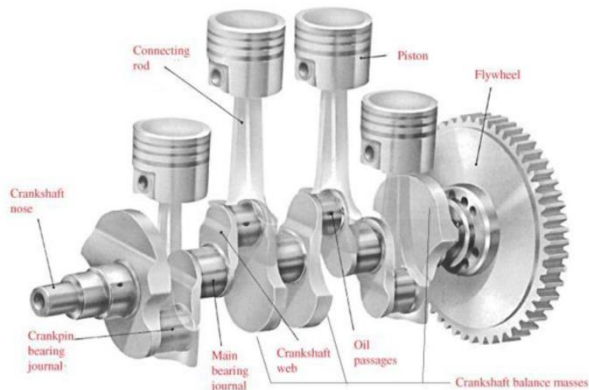
Sumber : (Aliakbari, 2021: 1224)

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 (Aliakbari, 2021).

8) 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 (Talikoti dkk., 2015)



Sumber : (Talikoti dkk., 2015: 1943)

Gambar 2.9 Roda penerus/ flywheel

2.5 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 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 situs kerjanya membutuhkan dua kali piston bolak-balik, satu kali putaran poros engkol dan menghasilkan satu kali langkah usaha (Banne, 2023)

1.5.1 Siklus Termodinamika

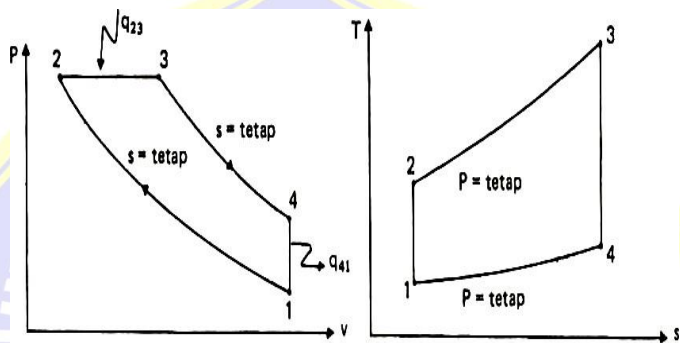
Konversi energi yang terjadi pada motor bakar torak berdasarkan pada siklus termodinamika. Proses sebenarnya amat kompleks, sehingga analisa dilakukan pada kondisi ideal dengan fluida kerja udara. Idealisasi proses tersebut sebagai berikut :

- a. Fluida kerja dari awal proses hingga akhir proses.
- b. Panas jenis dianggap konstan meskipun terjadi perubahan temperatur pada udara.
- c. Proses kompresi dan ekspansi berlangsung secara adiabatik, tidak terjadi perpindahan panas antara gas dan dinding silinder.
- d. Sifat-sifat kimia fluida kerja tidak berubah selama siklus berlangsung.
- e. Motor 2 (dua) langkah mempunyai siklus termodinamika yang sama dengan motor 4 (empat) langkah.

1.5.2 Siklus Otto (Siklus udara volume konstan)

Pada siklus otto atau siklus volume konstan proses pembakaran terjadi pada volume konstan, sedangkan siklus otto tersebut ada yang berlangsung dengan 4 (empat) langkah atau 2 (dua) langkah. Untuk mesin 4 (empat) langkah

siklus kerja terjadi dengan 4 (empat) langkah piston atau 2 (dua) poros engkol. Adapun langkah dalam siklus otto yaitu gerakan piston dari titik puncak (TMA=titik mati atas) ke posisi bawah (TMB=titik mati bawah) dalam silinder. Diagram P-V dan T-S siklus otto dapat dilihat pada gambar 2.3 dibawah sebagai berikut :



Gambar 2.10 Diagram P-V dan T-S siklus otto

Pada gambar mengenai diagram P-V dan T-S siklus otto dapat dilihat Proses siklus otto adalah sebagai berikut :

Proses 1-2: Proses kompresi isentropic (adiabatic reversible) dimana piston bergerak menuju (TMA=titik mati atas) mengompresikan udara sampai volume clearance sehingga tekanan dan temperatur udara naik.

Proses 2-3: Pemasukan kalor konstan, piston sesaat pada (TMA=titik mati atas) bersamaan kalor suplai dari sekelilingnya serta tekanan dan temperatur meningkat hingga nilai maksimum dalam siklus.

Proses 3-4: Proses isentropik udara panas dengan tekanan tinggi mendorong piston turun menuju (TMB = titik mati bawah), energi dilepaskan disekeliling berupa internal energi.

Proses 4-1: Proses pelepasan kalor pada volume konstan piston sesaat pada (TMB = titik mati bawah) dengan mentransfer kalor ke sekeliling dan kembali mlangkah pada titik awal.

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. Torsi dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = F \cdot r \quad (2.1),$$

dengan T adalah torsi (Nm), F adalah gaya (N) dan r adalah lengan momen (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 (Handriyanto dan Ponidi, 2024). Untuk menghitung output mesin empat langkah, digunakan persamaan berikut:

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

dengan 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 (Amrullah dkk., 2018). *Fuel Consumption* diukur menggunakan persamaan:

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

Dimana *Fuel Consumption* (Kg/H), ρ_{bb} massa bahan bakar (Kg/m^3), V_{bb} ukuran bahan bakar yang digunakan (m^3) dan t durasi waktu yang digunakan (s).

Penggunaan *Specific Fuel Consumption* adalah ukuran yang dibutuhkan bahan energi 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, (Amrullah, 2018). *Specific Fuel Consumption* diukur dalam persamaan:

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

Dimana *Specific Fuel Consumption* $\left(\frac{\text{Kg}}{\text{HP.H}} \right)$, *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 (Amrullah dkk., 2018). Efisiensi thermal dihitung menggunakan persamaan:

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

Dimana η_{th} efisiensi thermal (%), P daya motor (HP), *Fuel Consumption* ($\frac{Kg}{HP.H}$), panas penguapan laten (*Latent Heat of Vaporization* (LHV)) adalah angka kalor bahan bakar (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 silender. 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 NO_x 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 CO₂, H₂O, dan N₂ 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*. Masalah 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, diantaranya:

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 °C, dibandingkan bensin yang hanya 257 °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 °C, jauh lebih tinggi dibandingkan bensin yang -43 °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.

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 (Aydogan, 2012).

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 (CO_2) dan uap air (H_2O) 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 (NOx) yang terbentuk oleh reaksi antara nitrogen dengan oksigen karena temperatur pembakaran yang tinggi, yaitu lebih dari 1100°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 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 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 (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 di angka ideal, emisi karbon dioksida akan berkisar antara 12% - 15%, namun jika AFR terlalu kurus atau kaya maka emisi CO_2 akan turun drastis, apabila CO_2 dibawah 12% maka kita harus melihat emisi lainnya yang menunjukkan posisi AFR terlalu kaya atau kurus, sumber keluarnya CO_2 sendiri hanya ada di ruang bakar yang dipengaruhi

CC, jika kadar CO₂ rendah namun kadar CO dan HC normal, artinya ada kebocoran pada pipa gas buang.

4) Oksigen (O₂)

Konsentrasi O₂ diruang bakara terbanding terbalik dengan CO₂, 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% (Oder, 2001).

