

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

(Irwan et al., 2024) melakukan penelitian dengan judul "Analisis Perbandingan Performa Bahan Bakar Shell Super dan Shell V-Power pada Motor Honda PCX 150 cc Tahun 2021" diketahui bahwa pengujian Performa Bahan Bakar Shell Super dan Shell V-Power pada Motor Honda PCX 150 cc menggunakan dynotest menunjukkan bahwa daya maksimum sebesar 15,7 Hp terjadi pada penggunaan bahan bakar Shell Super saat putaran mesin 9000 rpm. Konsumsi bahan bakar spesifik tertinggi, yaitu $2,182 \times 10^{-4}$ Kg/HPJam, terjadi pada penggunaan bahan bakar Shell V-Power pada putaran mesin 3000 rpm. Tekanan efektif rata-rata tertinggi, yaitu sebesar 1046,343 kPa, diperoleh pada penggunaan bahan bakar Shell Super pada putaran mesin 9000 rpm. Sementara itu, torsi tertinggi sebesar 12,44 N-m terjadi saat putaran mesin 9000 rpm pada penggunaan bahan bakar Shell Super. Efisiensi thermal tertinggi diperoleh sebesar 92,2% pada penggunaan bahan bakar Shell V-Power pada putaran mesin 7000 rpm.

Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Athoillah et al., 2024) yaitu " Analisis Campuran Bahan Bakar Pertamina Dengan Bioethanol Terhadap Performa Pada Sepeda Motor Honda PCX 160 cc" tujuan penelitian ini adalah untuk untuk

mengevaluasi pengaruh spesifik dari pencampuran bahan bakar Pertamina dengan bioethanol pada kinerja sepeda motor Honda PCX 160 cc. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar tertinggi tercatat pada campuran bioethanol 10% pada putaran mesin 3000 Rpm dan 7000 Rpm, sementara pada putaran mesin 5000 Rpm, konsumsi bahan bakar tertinggi ditemukan pada campuran bioethanol 15%. Selain itu, penambahan bioethanol dalam campuran bahan bakar secara konsisten meningkatkan daya mesin pada semua tingkat putaran (3000 Rpm, 5000 Rpm, dan 7000 Rpm). Temuan ini mengindikasikan potensi bioethanol sebagai aditif bahan bakar untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja mesin sepeda motor.

2.2 Motor Bakar

Sejarah motor bakar dimulai pada abad ke-19, ketika teknologi mesin pembakaran dalam mulai dikembangkan. Pada tahun 1860-an, penemu Prancis bernama Étienne Lenoir berhasil menciptakan mesin bakar dalam pertama yang menggunakan bahan bakar gas. Mesin ini menggunakan siklus dua langkah dan digunakan untuk aplikasi seperti pompa air dan pembangkit listrik kecil. Kemudian Pada tahun 1876, Nikolaus Otto, seorang insinyur Jerman, mengembangkan mesin bakar dalam yang lebih efisien dengan memperkenalkan siklus empat langkah (admission, compression, power, exhaust). Ini disebut sebagai mesin empat langkah Otto.

Selanjutnya Pada tahun 1892, Rudolf Diesel, seorang insinyur asal Jerman, berhasil mengembangkan mesin bakar dalam yang menggunakan tekanan tinggi untuk menghasilkan pembakaran bahan bakar yang lebih efisien. Ini disebut sebagai mesin diesel. Dan Pada awal abad ke-20, mesin bakar dalam menjadi landasan bagi perkembangan industri otomotif. (Fahrizal et al., 2024)

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi mekanis. Terjadinya energi panas karena adanya proses pembakaran, bahan bakar, udara, dan sistem pengapian. Dengan adanya suatu konstruksi mesin, memungkinkan terjadinya siklus kerja mesin untuk usaha dan tenaga dorong dari hasil ledakan pembakaran yang diubah oleh konstruksi mesin menjadi energi mekanik atau tenaga penggerak. (Putri et al., 2024) Pada dasarnya motor bakar dikategorikan menjadi dua jenis yaitu sebagai berikut :

1. Motor pembakaran luar (External Combustion Engine)

Motor pembakaran luar yaitu Motor pembakaran luar adalah suatu motor dimana proses pembakaran atau perubahan energi panas dilakukan di luar dari mekanisme/konstruksi mesin atau motor tersebut menghasilkan daya dengan menggunakan peralatan lain untuk menghasilkan media yang dapat digunakan untuk menimbulkan daya seperti turbin uap, dimana uap

yang digunakan untuk menghasilkan daya berasal dari proses lain yang terjadi boiler tersebut air dipanaskan sehingga menghasilkan uap (superheated steam) dan kemudian uap ini dikirim ke turbin uap untuk menghasilkan daya. (Putri et al., 2023)

2. Motor pembakaran dalam (Internal Combustion Engine)

Merupakan mesin yang mendapatkan daya dari proses pembakarannya yang terjadi dalam mesin itu sendiri atau proses pembakarannya berada pada ruang bakar, hasil pembakaran bahan bakar dan udara digunakan langsung untuk menimbulkan daya. Contohnya adalah motor bensin, motor diesel, dan mesin Jet. (Putri et al., 2023)

Motor bakar pada umumnya dibedakan menjadi dua, yaitu Motor Bensin (Otto) dan Motor Diesel. Perbedaan kedua jenis motor tersebut sangat jelas sekali yaitu jika motor bensin menggunakan bahan bakar bensin, sedangkan motor diesel menggunakan bahan bakar solar. Perbedaan yang utama juga terletak pada sistem penyalanyaannya, di mana pada motor bensin digunakan busi sebagai sistem penyalanyaannya sedangkan pada motor diesel memanfaatkan suhu kompresi yang tinggi untuk dapat membakar bahan bakar solar. (Putri et al., 2023)

2.2.1 Motor Bensin

Motor bensin adalah mesin pembakaran internal yang mengubah energi kimia dari bensin menjadi energi mekanik untuk menggerakkan kendaraan atau mesin lainnya. Proses ini melibatkan pembakaran campuran bensin dan udara di dalam silinder, yang dipicu oleh percikan busi, menghasilkan ledakan yang mendorong piston dan menghasilkan gerakan yang dapat diubah menjadi tenaga rotasi.

Ciri utama dari motor bensin adalah proses pembakaran bahan bakar yang terjadi di dalam ruang silinder pada volume tetap. Proses pembakaran pada volume tetap ini disebabkan pada waktu terjadi kompresi, dimana campuran bahan bakar dan udara mengalami proses kompresi di dalam silinder, dengan adanya tekanan ini bahan bakar dan udara dalam keadaan siap terbakar dan busi meloncatkan bunga listrik sehingga terjadi pembakaran dalam waktu yang singkat sehingga campuran tersebut terbakar habis seketika dan menimbulkan kenaikan suhu dalam ruang bakar. (Putri et al., 2024)

2.2.2 Siklus Otto

Motor bahan bakar bensin adalah jenis motor pembakaran dalam yang bekerja berdasarkan siklus volume konstan, karena saat pemasukan kalor (langkah pembakaran) dan pengeluaran kalor terjadi pada volume konstan. Siklus ini merupakan siklus yang ideal. Otto Cycle

Engine motor bensin empat langkah atau Spark Ignition Engine (SIE) merupakan Engine yang melakukan pembakaran di ruang bakar dengan menggunakan percikan bunga api busi. Bahan bakar yang digunakan dalam Engine umumnya di gunakan adalah baha n bakar bensin (Gasoline). Siklus ini dinamakan siklus udara konstan atau siklus otto, yang di temukan Nicholas Otto seorang Jerman pada tahun 1876. Diagram P–V dari Siklus Otto untuk motor bensin. (Setiawan et al., 2024)



Gambar 2.1 Siklus Otto Ideal Pada Mesin Bensin 4 Tak Dada Mesin An Diagram P-V Siklus Otto Ideal

Pada Gambar 2.1 Menunjukkan Gerakan searah dari piston silinder di dalam ruang bakar dengan 4 stroke (2 kali siklus mekanikal) dan 2 kali putaran dari crankshaft. Siklus ini merupakan siklus otto ideal yang terjadi pada mesin pembakaran dalam 4 stroke.

2.2.3 Prinsip Kerja Motor Bakar Bensin

Prinsip kerja motor bakar dibedakan menjadi dua, yaitu motor 2 langkah dan 4 langkah. Berikut merupakan penjelasan cara kerjanya.

1. Motor Bensin 2 Langkah



Gambar 2.2 Siklus Motor Bensin 2 Langkah

Langkah hisap dan kompresi, terjadi ketika piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA), campuran udara dan bahan bakar masuk ke poros engkol dan dimampatkan pada langkah kompresi. (Sahputra et al., 2021)

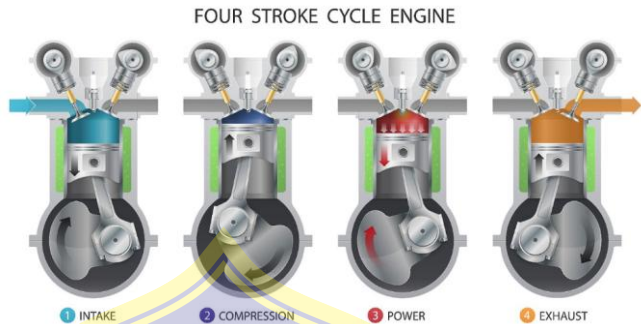
Kedua tahap ini terjadi dalam satu langkah. Langkah usaha dan buang, terjadi ketika piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB), pembakaran terjadi akibat busi memantik campuran udara dan bahan bakar dan hasil

pembakaran langsung terbuang melalui katub outlet. Kedua tahap ini juga terjadi dalam 1 langkah.

Mesin 2 tak dan 4 tak juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Pada mesin 2 tak, proses pembakaran tidak terjadi secara sempurna, sehingga tingkat emisi yang dihasilkan masih tinggi. Proses pembakaran yang terjadi hanya 2 langkah menyebabkan konsumsi bahan bakar menjadi lebih tinggi. (Sahputra et al., 2021)

Penggunaan oli samping pada proses pembakaran menyebabkan asap keluar melalui exhaust. Oli samping berfungsi untuk melumasi komponen pada silinder mesin. Mesin 2 tak juga memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan motor 4 tak, diantaranya adalah akselerasi motor lebih kencang akibat tenaga yang dihasilkan lebih tinggi (1,5-2 kali) tenaga dari mesin 4 tak.

2. Motor Bensin 4 Langkah



Gambar 2.3 Siklus Motor Bensin 4 Langkah

Langkah hisap, terjadi ketika katup inlet terbuka, piston bergerak dari titik mati atas (TMA) ke titik mati bawah (TMB). Hal ini menyebabkan tekanan di ruang bakar menjadi vakum sehingga menyebabkan udara bisa masuk kedalam ruang bakar. (Klasution et al., 2025)

Langkah kompresi, terjadi ketika katup inlet tertutup, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Proses ini menyebabkan campuran udara dan bahan bakar dimampatkan, sehingga temperature meningkat akibat tekanan yang meningkat.

Langkah usaha, terjadi setelah busi memantik api untuk membakar campuran udara dan bahan bakar sehingga terjadi ledakan di ruang bakar. Hal ini menyebabkan piston bergerak dari titik mati atas

(TMA) ke titik mati bawah (TMB). (Klasution et al., 2025)

Langkah buang, terjadi ketika katup outlet terbuka, piston bergerak dari titik mati bawah (TMB) ke titik mati atas (TMA). Hal ini menyebabkan gas hasil pembakaran dibuang melewati katup outlet menuju saluran exhaust.

2.2.4 Komponen Motor Bakar Bensin

1. *Cilinder Blok*

Blok silinder dalam komponen motor bakar adalah tempat berlangsungnya pembakaran pada motor bakar dalam (*internal combustion engine*). Hukum yang berlaku pada silinder yaitu Hukum Gay Lussac dan Hukum Boyle. Di dalam silinder, terjadi perubahan bentuk tenaga yang awalnya tenaga kimia (pada bahan bakar) lalu diubah menjadi tenaga termal atau panas (saat proses pembakaran). Yang kemudian pada akhirnya diubah menjadi tenaga mekanik (terjadinya putaran poros engkol). (Digdoyo et al., 2023)



Gambar 2.4 Cilinder Blok

Hukum Boyle berlaku pada silinder karena prosesnya terjadi pada ruang tertutup. Menurut Hukum Boyle, pada ruang tertutup, maka perkalian antara volume dan tekanan tetap jika suhunya juga tetap. Sedangkan berlakunya Hukum Gay Lussac pada silinder yaitu pada kondisi ketika terjadi kenaikan suhu.

2. Torak (*Piston*)

Pada komponen motor bakar, untuk langkah hisap, kompresi, pembakaran, dan pembuangan dalam silinder, torak bergerak naik dan turun. Fungsi utama dari torak yaitu untuk menerima tekanan pembakaran dan meneruskan tekanan untuk memutar poros engkol lewat batang torak atau connecting rod. (Pangestu et al., 2025)



Gambar 2.5 Piston

Torak terus menerima tekanan dan suhu yang tinggi sehingga harus dapat menahan ketika engine beroperasi dengan kecepatan tinggi untuk waktu yang lama. Umumnya, torak terbentuk dari paduan aluminium, yang lebih ringan dan radiasi panasnya lebih efisien dibanding material lain.

3. Poros Engkol (*Crankshaft*)

Tenaga atau energi untuk menggerakkan roda kendaraan berasal dari gerakan connecting rod yang kemudian berubah menjadi gerak putar pada poros engkol. Poros engkol mendapatkan beban yang besar dari piston dan connecting rod serta berotasi pada kecepatan yang tinggi. Karena hal tersebut, poros engkol umumnya terbuat dari baja karbon dengan tingkatan dan daya tahan yang tinggi. (Halim et al., 2025)



Gambar 2.6 Crankshaft

4. Batang Torak (*Connecting Rod*)

Batang torak dalam komponen motor bakar menghubungkan torak dengan poros engkol yang kemudian meneruskan tenaga yang dihasilkan oleh torak ke poros engkol. Bagian ujung batang torak yang terhubung dengan penatorak (crank pin) dikenal dengan small rod. Sedangkan yang lainnya yang terhubung dengan poros engkol dikenal dengan big end. (Syahputra et al., 2025)



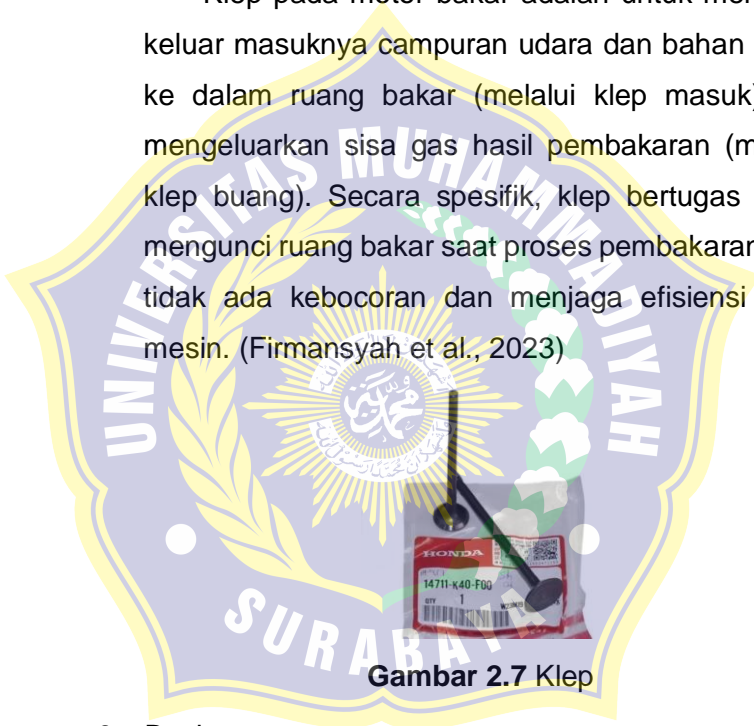
Gambar 2.6 *Connecting Rod*

Pena torak berputar dengan kecepatan yang tinggi di dalam big end hal tersebut akan menyebabkan temperaturnya menjadi tinggi. Untuk

menghindarinya, perlu dipasang metal didalam big end. Metal tersebut harus dilumasi dengan oli kemudian sebagian dari oli dipercikkan ke bagian dalam torak untuk mendinginkan torak.

5. Katup (*Klep*)

Klep pada motor bakar adalah untuk mengatur keluar masuknya campuran udara dan bahan bakar ke dalam ruang bakar (melalui klep masuk) dan mengeluarkan sisa gas hasil pembakaran (melalui klep buang). Secara spesifik, klep bertugas untuk mengunci ruang bakar saat proses pembakaran agar tidak ada kebocoran dan menjaga efisiensi kerja mesin. (Firmansyah et al., 2023)



Gambar 2.7 Klep

6. Busi

Fungsi utama busi adalah mengubah tegangan listrik dari koil menjadi percikan api untuk membakar campuran udara dan bahan bakar di ruang bakar, sehingga motor dapat bergerak. Selain itu, busi juga

berfungsi mentransfer panas dari ruang bakar ke kepala silinder dan membantu menjaga efisiensi mesin. (Harianto et al., 2021)



Gambar 2.8 Busi

2.3 Bahan Bakar

Bahan bakar adalah suatu materi apapun yang bisa diubah menjadi energi. biasanya bahan bakar mengandung energi panas yang dapat dilepaskan dan dimanipulasi. Kebanyakan bahan bakar digunakan manusia melalui proses pembakaran (reaksi redoks) dimana bahan bakar tersebut akan melepaskan panas setelah direaksikan dengan oksigen di udara. Proses lain untuk melepaskan energi dari bahan bakar adalah melalui reaksi kimia eksotermik. Hidrokarbon (termasuk didalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang sering digunakan manusia. Bahan bakar lainnya yang biasa dipakai adalah logam radioaktif kadang kadang materi yang digunakan untuk memproduksi energy melalui rekasi nuklir (yaitu peluruhan radioaktif, Fisi nuklir atau Fusi nuklir) juga

termasuk bahan bakar. (Setiawan et al., 2023) Berikut merupakan jenis-jenis bahan bakar :

1. Bahan Bakar Fosil

Bahan bakar fosil atau bahan bakar mineral, adalah sumber daya alam yang mengandung hidrokarbon seperti batu bara, minyak bumi, dan gas alam. Proses Pembentukan Bahan Bakar Fosil Dalam prosesnya, bahan bakar fosil melibatkan jejak waktu yang sangat panjang, dimulai dari organisme prasejarah hingga sumber energi yang kita manfaatkan hari ini. Proses pembentukan bahan bakar fosil dimulai dari penumpukan mikro organisme kemudian transformasi organik lalu membentuk sedimen atau batuan dan membentuk bahan bakar fosil. Contoh bahan bakar fosil adalah batu bara, minyak bumi, gas bumi, bensin, solar, avgas dan lain sebagainya. (Setiawan et al., 2023)

2. Bahan Bakar Non Fosil (Bio fuel)

Bahan bakar hayati atau biofuel adalah setiap bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik. Biofuel dapat dihasilkan secara langsung dari tanaman atau secara tidak langsung dari limbah industri, komersial, domestik atau pertanian. Ada tiga cara untuk pembuatan biofuel: pembakaran limbah organik kering (seperti buangan rumah tangga, limbah industri dan pertanian);

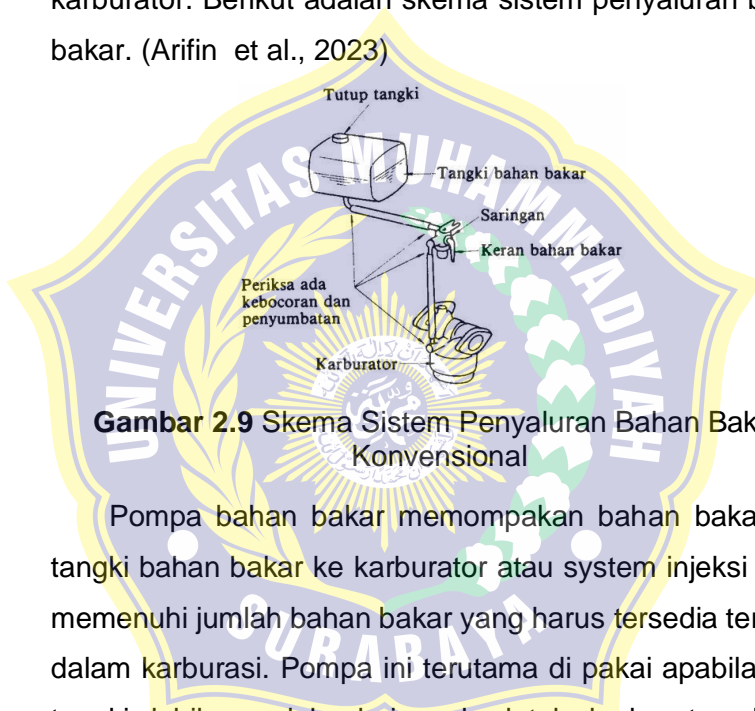
fermentasi limbah basah (seperti kotoran hewan) tanpa oksigen untuk menghasilkan biogas (mengandung hingga 60 persen metana), atau fermentasi tebu atau jagung untuk menghasilkan alkohol dan ester; dan energi dari hutan menghasilkan kayu dari tanaman yang cepat tumbuh sebagai bahan bakar. Contoh bahan bakar non fosil adalah etanol dan bio diesel. (Setiawan et al., 2023)

Pada motor bakar bensin dirancang dengan menggunakan bahan bakar *gasoline* jadi motor bakar bensin menggunakan bahan bakar jenis fosil. Bahan bakar *gasoline* adalah fraksi *petroleum* yang paling ringan. Semua material yang mempunyai titik didih dibawah 200°C digolongkan sebagai *gasoline* (bensin). Bensin sendiri adalah campuran sejumlah *hidrokarbon* (lebih dari 40 macam *hidrokarbon*). Bensin mempunyai *specific gravity* sekitar 0,74, panas penguapan sebesar 289 kJ/kg dan nilai LHV 42,9 MJ/kg dan inilah yang biasanya digunakan pada *Spark Ignition Engine*. LHV (*Lower Heating Value*) atau Nilai Kalor Rendah, LHV menunjukkan jumlah panas yang dilepaskan melalui pembakaran suatu bahan bakar, dengan asumsi bahwa air hasil pembakaran tetap berada dalam bentuk uap dan tidak mengembun menjadi cair.

2.3.1 Sistem Bahan Bakar Bensin

Motor bensin merupakan jenis dari motor bakar, motor bensin kebanyakan dipakai sebagai kendaraan bermotor

yang berdaya kecil seperti mobil, sepeda motor, dan juga untuk motor pesawat terbang. Pada motor bensin selalu diharapkan bahan bakar dan udara itu sudah tercampur dengan baik sebelum dinyalakan oleh busi. Pada motor bakar sering memakai sistem bahan bakar menggunakan karburator. Berikut adalah skema sistem penyaluran bahan bakar. (Arifin et al., 2023)



Gambar 2.9 Skema Sistem Penyaluran Bahan Bakar Konvensional

Pompa bahan bakar memompakan bahan bakar dari tangki bahan bakar ke karburator atau system injeksi untuk memenuhi jumlah bahan bakar yang harus tersedia tersedia dalam karburasi. Pompa ini terutama di pakai apabila letak tangki lebih rendah dari pada letak karburator. Untuk membersihkan bahan bakar dari kotoran yang dapat mengganggu aliran atau menyumbat saluran bahan bakar, terutama di dalam karburator atau system injeksi, digunakan saringan atau filter. Sebelum masuk ke dalam saringan, udara mengalir melalui karburator yang mengatur

pemasukan, pencampuran, dan pengabutan bahan bakar ke dalam, sehingga diperoleh perbandingan campuran bahan bakar dengan udara yang sesuai dengan keadaan beban dan kecepatan poros engkol. Penyempurnaan pencampuran bahan bakar udara tersebut berlangsung baik di dalam saluran hisap maupun di dalam silinder sebelum campuran itu terbakar. Campuran itu haruslah *homogen* serta perbandingannya sama untuk setiap silinder, campuran yang kaya (*rich fuel*) diperlukan dalam keadaan tanpa beban dan beban penuh sedangkan campuran yang miskin (*poor fuel*) diperlukan untuk operasi normal. (Arifin et al., 2023)

2.3.2 Bahan Bakar Pertamina

Pertamax adalah jenis bahan bakar bensin berkualitas tinggi yang diproduksi oleh Pertamina dengan nilai oktan minimal 92. Pertamax dibuat untuk kendaraan dengan rasio kompresi mesin 10:1 hingga 11:1 atau kendaraan modern dengan teknologi *Electronic Fuel Injection* (EFI). Bahan bakar ini dilengkapi zat aditif seperti deterjen untuk membersihkan mesin, pelindung anti karat, dan *demulsifier* untuk memisahkan air, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan melindungi mesin. Menurut peraturan Direktorat Jendral Minyak dan Gas (Ditjen Migas) No.3674.K/24/DJM/2006, tanggal 17 Maret 2006. tentang

spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin 92 adalah sebagai berikut :

Spesifikasi Pertamina

No.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN MIN	BATASAN MAX	METODE UJI
1	Bilangan Oktana Riset (RON)	RON	92.0	-	ASTM D2699
2	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-	ASTM D525
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0.05 ¹⁾	ASTM D2622
4	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	-	0.013 ²⁾	ASTM D3237
5	Kandungan Fosfor	mg/l	-	-	ASTM D3231
6	Kandungan Logam (Mn, Fe, dll)	mg/l	-	-	ASTM D3831
7	Kandungan Silikon	mg/kg	-	-	ICP-AES
8	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2.7 ³⁾	ASTM D4815
9	Kandungan Olefin	% v/v	-	*)	ASTM D1319
10	Kandungan Aromatik	% v/v	-	50.0	ASTM D1319
11	Kandungan Benzene	% v/v	-	5.0	ASTM D4420
12	Distilasi :				ASTM D86
	10% Vol Penguapan	°C	-	70	
	50% Vol Penguapan	°C	77	110	
	90% Vol Penguapan	°C	130	180	
	Titik Didih Akhir	°C	-	215	
13	Residu	% vol	-	2.0	ASTM D5452
14	Sedimen	mg/l	-	1	
15	Unwashed Gum	mg/100 ml	-	20	
16	Washed Gum	mg/100 ml	-	5	ASTM D381
17	Tekanan Uap	kPa	45	60	ASTM D5191 atau ASTM D323
18	Berat Jenis (pada suhu 15 °C)	kg/m ³	715	770	ASTM D4052 atau ASTM D1298
19	Korosi Bilah Tembaga	menit	Kelas 1		ASTM D130
20	Uji Doctor		Negatif		IP 30
21	Sulfur Mercaptan	% massa	-	0.002	ASTM D3227
22	Pemampilan Visual		Jernih dan Terang		
23	Warna		Biru		
24	Kandungan Pewarna	cc/100 l	-	0.13	

*Apabila kandungan olefin di atas 20%, hasil pengujian angka stabilitas oksidasi minimum 1000 menit

CATATAN UMUM:

1. Aditif harus kompatibel dengan minyak mesin (tidak menambah kotoran mesin/kerak). Aditif yang mengandung komponen pembentuk abu (*ash forming*) tidak diperbolehkan.
2. Pemeliharaan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain, dll).

CATATAN KAKI:

1. Batasan 0.05% m/m setara dengan 500 ppm.
2. Pada atau di bawah batasan deteksi dari metode uji yang digunakan. Tidak ada penambahan yang disengaja.
3. Bila digunakan oksigenat, jenis ether lebih disukai. Penggunaan etanol diperbolehkan sampai dengan maksimum 10% volume (sesuai ASTM D4806 dan pH 7-9). Alkohol berkarbon lebih tinggi (C>2) dibatasi maksimal 0.1% volume. Penggunaan metanol **tidak** diperbolehkan.

ACUAN :

- SK Dirjen Migas No. 3674K/24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Gambar 2.10 Spesifikasi Bahan Bakar Pertamina

2.3.3 Bahan Bakar Pertamina Turbo

Pertamax Turbo adalah bahan bakar bensin premium dari Pertamina dengan nilai oktan (RON) 98, yang diformulasikan khusus untuk kendaraan bermesin bensin berteknologi tinggi dan performa tinggi, seperti mobil modern dan berteknologi turbo. Bahan bakar ini dirancang untuk memberikan pembakaran yang lebih sempurna, tenaga lebih besar, dan akselerasi yang lebih responsif, serta dilengkapi teknologi yang membuatnya lebih ramah lingkungan dan menjaga mesin tetap awet.



Spesifikasi Pertamina Turbo

No.	KARAKTERISTEK	SATUAN	BATASAN MIN	BATASAN MAX	METODE UJI
1	Bilangan Oktan Riset (RON)	RON	98,0	-	ASTM D3599
2	Stabilitas Oksidasi	menit	480	-	ASTM D525
3	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,005 ¹⁾	ASTM D6622 atau ASTM D4294 atau ASTM D5453 ASTM D3227
4	Sulfur Merkaptan	% m/m	-	0,002 ¹⁾	-
5	Kandungan Timbal (Pb)	g/l	-	Ingkasi timbal tidak diizinkan - Dilaporkan	ASTM D3237 atau ASTM D5059
6	Kandungan Fosfor	mg/l	-	Tidak Terdeteksi	ASTM 3251
7	Kandungan Logam (Mangan, Besi)	mg/l	-	Tidak Terdeteksi ²⁾	ASTM D3831 atau ASTM D5185 atau ISO 395
8	Kandungan Silikon	mg/l	-	Tidak Terdeteksi	ISO 445
9	Kandungan Oksigen	% m/m	-	2,2 ¹⁾	ASTM D4815 atau ASTM D6839 atau ASTM D5599 atau ASTM D6730
10	Kandungan Olefin	% v/v	-	1)	ASTM D1319 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730
11	Kandungan Aromatik	% v/v	-	40,0 ¹⁾	ASTM D1319 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730 atau ASTM D5580
12	Kandungan Bensena	% v/v	-	5,0	ASTM D1319 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730 atau ASTM D5580
13	Distilat	-	-	-	ASTM D86
	10% Vol Penguapan	°C	-	70	
	50% Vol Penguapan	°C	75	125	
	90% Vol Penguapan	°C	135	140	
	Titik Didih Akhir	°C	-	215	
14	Residu	% vol	-	2,0	ASTM D5452
15	Carbonium	mg/l	-	1	
16	Ekspansi/Gum	mg/100 ml	-	70	
17	Makluk/Gum	mg/100 ml	-	5	
18	Tekanan Uap	kPa	45	58	
19	Densitas Jenuh (pada suhu 15°C)	kg/m ³	715	770	ASTM D4052 atau ASTM D1298
20	Korosi Bilah Tembaga	mm ²	-	Kelas 1	ASTM D130
21	Penampakan Visual	-	-	Bersih, Benang	Visual
22	Warna	-	-	Merah	Visual

CATATAN UMUM:

- Aditif harus kompatibel dengan minyak diesel (tidak merangsang kotoran, resin, korosi).
- Penanganan (handling) harus dilakukan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain, dll).

CATATAN KHUSUS UNTUK KANDUNGAN SULFUR, KANDUNGAN TIMBAL, KANDUNGAN LOGAM, KANDUNGAN OKSIDASI DAN SULFUR MERKAPTAN:

- Batasasi 0,005% m/m untuk Kandungan Sulfur setara dengan 50 ppm.
- Batasasi 0,002% m/m untuk Sulfur Merkaptan setara dengan 20 ppm.
- Tidak ada penambahan senyawa aditif berbasis logam atau aditif yang dapat membentuk abu (ash forming).
- Bila digunakan oksigener, jenis ether lebih disukai. Kandungan Dieteril mengacu pada Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No.32 Tahun 2008 tentang Penyelidikan, Pemanfaatan, dan Tata Negeri Bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain sebagaimana telah diubah terakhir dengan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 tahun 2015 tentang Perubahan Ketiga Atas Peraturan Menteri ESDM No. 32 Tahun 2003. Alkohol berkarbon tinggi (C>2) dibatasi maksimal 0,1% volume. Penggunaan metanol tidak diperbolehkan.
- Apabila kandungan Olefin diatas 20%, hasil pengujian angka Stabilitas Oksidasi Minimum 3000 menit.
- Untuk produksi dari kilang minyak dalam negeri, angka aromatik hingga maksimum 50% s.d akhir tahun 2024.

ACUAN :

- Sesuai dengan SK Dirjen Pijar No. D177/K/10/DPM/T/2018 tanggal 6 Juni 2018 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin (Gasoline) SKN 98 yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Gambar 2.11 Spesifikasi Bahan Bakar Pertamina Turbo

2.3.4 Keunggulan dan Kekurangan Bahan Bakar Pertamax dan Pertamax Turbo

Pertamax dan pertamax turbo merupakan bahan bakar yang sangat umum dan dipakai oleh setiap kendaraan di Indonesia. Adapun keunggulan dan kekurangan bahan bakar pertamax turbo antara lain.

1. Keunggulan Pertamax Turbo

- Performa lebih tinggi dengan nilai oktan 98, Pertamax Turbo lebih tahan terhadap tekanan sehingga mencegah knocking (ketukan dini) dan menghasilkan tenaga serta akselerasi yang lebih baik untuk mesin berkapasitas tinggi.
- Mesin lebih bersih dilengkapi teknologi Pertatec yang membantu membersihkan mesin dari karat dan endapan karbon, sehingga menjaga performa mesin dan memperpanjang usianya.
- Ramah lingkungan memiliki kandungan sulfur rendah (sesuai standar EURO 4) yang menghasilkan emisi gas buang lebih bersih dan tidak merusak kualitas udara.

2. Kekurangan Pertamax Turbo

- Harga lebih mahal biaya pembeliannya lebih tinggi dibandingkan bahan bakar jenis lain seperti Pertamax atau Peralite.

- Ketersediaan terbatas sulit ditemukan di beberapa daerah, yang dapat menyulitkan pengguna.
- Tidak cocok untuk semua kendaraan penggunaan pada motor dengan mesin berkapasitas kecil (di bawah 125cc) atau rasio kompresi rendah bisa menyebabkan masalah seperti mesin cepat panas, lebih boros, dan bahkan kerak yang berbahaya pada komponen mesin.
- Potensi masalah pada mesin yang tidak sesuai jika digunakan pada mesin yang tidak dirancang untuk oktan setinggi itu, pembakaran bisa menjadi tidak sempurna dan menimbulkan kerak yang tidak wajar, yang berujung pada biaya perawatan yang lebih mahal.

2.4 Unjuk Kerja Mesin

Unjuk kerja mesin atau performa mesin adalah proses untuk mengetahui seberapa baik mesin mengubah bahan bakar menjadi energi, yang mencakup daya kuda, torsi, efisiensi bahan bakar, dan responsivitas. Ini adalah indikator kinerja keseluruhan kendaraan, seperti seberapa cepat ia berakselerasi dan seberapa efisien menggunakan bahan bakar. (Fahrizal et al., 2024)

2.4.1 Torsi

Torsi adalah ukuran kemampuan mesin untuk melakukan kerja yakni menggerakkan atau memindahkan mobil atau

motor dari kondisi diam hingga berjalan. Torsi dapat diartikan juga dengan gaya putar yang dihasilkan mesin, torsi menunjukkan kemampuan mesin untuk menghasilkan akselerasi dan mengatasi beban. Torsi ialah perkalian antara gaya pembakaran pada torak dikalikan dengan jari-jari poros engkol. Torsi dapat diperoleh dari hasil kali antara gaya dengan jarak :

$$MT = 716,20 \frac{Ne}{n} \quad (2.1)$$

Dimana :

MT = Torsi (Nm)

Ne = Daya efektif (Hp)

n = Kecepatan putar (rpm)

Torsi pada pengujian dengan alat dynamometer diperoleh dari daya motor yang memutar roda belakang motor yang bersinggungan dengan silinder pejal sebagai beban. Pada silinder ini terdapat sensor yang dihubungkan dengan alat konsol GUI yang selanjutnya diterjemahkan pada komputer.

2.4.2 Daya Mesin

Daya mesin adalah kemampuan mesin untuk menghasilkan torsi maksimal pada putaran tertentu. Daya menjelaskan bersanya ouput kerja mesin yang berhubungan dengan waktu atau rata-rata kerja yang dihasilkan. Pada motor mesin, *break horsepower* (BHP) merupakan besaran untuk mengindikasikan horsepower aktual yang dihasilkan

oleh mesin. BHP biasanya diukur dengan peralatan pengukur daya yang ditempatkan pada *driveshaft* mesin.

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot T}{60 \cdot 1000} \times 1,34(Hp) \quad (2.2)$$

Dimana :

P = daya untuk mengetahui hasil kerja mesin per waktu
(Hp)

T = torsi (Nm)

n = putaran mesin (rpm)

2.3.3 Full Consumption (FC)

Full consumption (FC) atau konsumsi bahan bakar total adalah jumlah total bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin per satuan waktu, misalnya per jam. Metrik ini mengukur laju aliran massa bahan bakar yang masuk ke mesin untuk menghasilkan daya dalam periode waktu tertentu.

$$FC = \frac{V1 - V2}{60} \quad (2.3)$$

Dimana :

FC = *full consumption* (Kg/Jam)

V1 = volume bahan bakar awal (Kg atau liter)

V2 = volume bahan bakar akhir (Kg atau liter)

2.3.4 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah suatu parameter yang dipakai sebagai ukuran pemakaian bahan bakar yang terpakai perjam, menit atau detik untuk setiap daya yang

dihasilkan. Perhitungan konsumsi bahan bakar spesifik ini digunakan untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang dibutuhkan pada kecepatan tertentu.

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

Dimana :

SFC = konsumsi bahan bakar spesifik (Kg/Jam.HP)

FC = *full consumption* (Kg/Jam)

P = daya (HP)

2.3.5 Efisiensi Thermal

Efisiensi thermal merupakan rasio antara output engine terhadap energi kimia yang tersimpan di dalam bahan bakar. Sehingga efisiensi thermal merupakan ukuran besarnya pemanfaatan energi panas bahan bakar untuk menjadi daya efektif (*mechanical work*) oleh motor bakar.

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

Dimana :

η_{th} = efisiensi thermal (%)

P = daya poros (KJ/Jam)

FC = konsumsi bahan bakar (Kg/Jam)

LHV = Nilai kalor rendah (KJ/Kg)

2.5 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar, mesin jet yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin.

Beberapa gas yang terkandung dalam emisi gas buang adalah CO (*karbon monoksida*), HC (*hidro karbon*), CO₂ (*karbon dioksida*), O₂ (*oksigen*), AFR (*air fuel ratio*) dan Lambda. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 8 tahun 2023 tentang Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori M, Kategori N, Kategori O dan Kategori L pasal 3 ayat 1, 2 dan 3 serta Lampiran 1 bagian B. Kendaraan kategori L adalah kendaraan bermotor roda 2 kurang dari empat.

Jenis Kendaraan	Tahun Pembuatan	CO (%)	HC (ppm)	Metode Uji
Sepeda motor 2 (dua) Langkah	< Tahun 2010	4,5	12.000	Idle
Sepeda motor 4 (empat) Langkah	< Tahun 2010	5,5	2.400	Idle
Sepeda motor 2 langkah dan 4 langkah	< Tahun 2010	4,5	2.000	Idle

Gambar 2.12 Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor Kategori L

2.5.1 Parameter Emisi Karbon Monoksida (CO)

Zat pencemar dengan rumus kimia CO yang merupakan jumlah karbon monoksida yang dihasilkan dari proses pembakaran dalam ruang bakar mesin kendaraan yang

dikeluarkan melalui pipa gas buang. CO merupakan senyawa gas beracun yang terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna dalam proses kerja motor, CO diukur dalam satuan % volume. Kendaraan pada saat beroperasi akan mengalami proses pembakaran. Pembakaran sering terjadi tidak sempurna, sehingga akan menghasilkan polutan. Semakin besar persentase ketidak sempurnaan pembakaran, akan semakin besar polutan yang dihasilkan. Karbon monoksida dan asap kendaraan bermotor terjadi karena pembakarannya tidak sempurna yang disebabkan kurangnya jumlah udara dalam campuran yang masuk ke ruang bakar atau bisa juga karena kurangnya waktu yang tersedia untuk menyelesaikan pembakaran. (Hajriyanto et al., 2025)

2.5.2 Parameter Emisi Hidrokarbon (HC)

Zat pencemar dengan rumus kimia HC yang merupakan jumlah hidrokarbon yang dihasilkan dari proses pembakaran dalam ruang bakar mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui pipa gas buang. Hidrocarbon / HC merupakan unsur senyawa bahan bakar bensin. HC yang ada pada gas buang adalah dari senyawa bahan bakar yang tidak terbakar habis dalam proses pembakaran motor, HC diukur dalam satuan ppm (part per million). Emisi hydrocarbon terbentuk dari bermacam – macam sumber. Tidak terbakarnya bahan bakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas pada

silinder, merupakan salah satu penyebab munculnya emisi HC. Emisi hydrocarbon ini berbentuk gas metan yang dapat menyebabkan leukimia dan kanker. (Hajriyanto et al., 2025)

2.5.3 Parameter Emisi Karbondioksida (CO₂)

Emisi CO₂ adalah perbandingan volume karbon dioksida (CO₂) yang terkandung di dalam gas buang dan dinyatakan dalam persen (%). Konsentrasi CO₂ menunjukkan secara langsung status proses pembakaran di ruang bakar. Perlu diingat bahwa sumber CO₂ ini hanya dari ruang bakar. Apabila CO₂ terlalu rendah tapi CO dan HC normal, menunjukkan adanya kebocoran exhaust pipe. (Hajriyanto et al., 2025)

2.5.4 Parameter Emisi Oksigen (O₂)

Konsentrasi O₂ adalah perbandingan volume oksigen (O₂) yang terkandung di dalam gas buang dan dinyatakan dalam persen (%). Konsentrasi dari oksigen di gas buang kendaraan berbanding terbalik dengan konsentrasi CO₂. Untuk mendapatkan proses pembakaran yang sempurna, maka kadar oksigen yang masuk ke ruang bakar harus mencukupi untuk setiap molekul hidrokarbon. Di dalam ruang bakar, campuran udara dan bahan bakar dapat terbakar dengan sempurna apabila bentuk ruang bakar tersebut melengkung dengan sempurna. Kondisi ini memungkinkan molekul bahan bakar dan molekul udara dapat dengan mudah bertemu untuk bereaksi dengan

sempurna pada proses pembakaran. (Hajriyanto et al., 2025)

2.5.5 AFR (*Air Fuel Ratio*)

Parameter AFR (*Air Fuel Ratio*) adalah ukuran yang menggambarkan rasio antara jumlah udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam mesin kendaraan selama proses pembakaran. Rasio AFR yang tepat adalah kunci untuk efisiensi dan kinerja mesin yang baik. (Anwar et al., 2023)

2.5.6 Lambda

Lambda emisi gas buang adalah rasio perbandingan antara udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran, yang diukur berdasarkan kandungan oksigen dalam gas buang. Nilai lambda yang ideal adalah 1,0, yang menandakan campuran udara dan bahan bakar sempurna dan pembakaran optimal. Jika nilai lambda lebih dari 1,0 ($>1,0$), artinya campuran "kurus" atau "lean" (kelebihan udara), dan jika kurang dari 1,0 ($<1,0$), artinya campuran "kaya" atau "rich" (kelebihan bahan bakar). (NEGARA et al., 2025)