

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN METHANOL PADA PERTAMAX
TERHADAP KINERJA DAN EMISI MESIN BENSIN**

Oleh :

MUH. ADE PUTRA

D21116313



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDIN

GOWA

2022

SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN METHANOL PADA PERTAMAX
TERHADAP KINERJA DAN EMISI MESIN BENSIN**

Disusun dan diajukan oleh :

MUH. ADE PUTRA

D21116313

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan mengikuti Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

JUDUL :

**PENGARUH PENAMBAHAN METHANOL PADA PERTAMAX
TERHADAP KINERJA DAN EMISI MESIN BENSIN**

MUH. ADE PUTRA

D21116313

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT

Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19711221 199802 1 001

NIP. 19720825 200003 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT

NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muh. Ade Putra
Nomor mahasiswa : D21116313
Program studi : Teknik Mesin
Jenjang : Program Sarjana (S1)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

PENGARUH PENAMBAHAN METHANOL PADA PERTAMAX TERHADAP KINERJA DAN EMISI MESIN BENSIN

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan pengambilan alihan tulisan orang lain, skripsi yang saya tulis benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Juli 2021

Yang menyatakan



Muh. Ade Putra
Nim : D21116313

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

| |
|------------------|
| DATA DIRI |
|------------------|

| | | |
|------------------------|---|---|
| Nama | : | Muh. Ade Putra |
| Tempat / Tanggal Lahir | : | Palopo, 29 Mei 1998 |
| Jenis Kelamin | : | Laki – Laki |
| Agama | : | Islam |
| Alamat | : | Jl. Swadaya I, Gg. Derahim, Sawangan, Depok |
| No. HP | : | 0896 53650844 |
| E-mail | : | Muh.adeptr@gmail.com |

| |
|---------------------------|
| RIWAYAT PENDIDIKAN |
|---------------------------|

| | |
|-----------------|---------------|
| SMAN 3 PALOPO | (2004 – 2010) |
| SMPN 3 PALOPO | (2010 – 2013) |
| SDN 440 SALEKOE | (2013 – 2016) |

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas banyaknya Berkah, Rahmat dan Hidayah-Nya sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulisan Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan sarjana Teknik di Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Judul yang penulis ajukan adalah **“PENGARUH PENAMBAHAN METHANOL PADA PERTAMAX TERHADAP KINERJA DAN EMISI MESIN BENSIN”**.

Selesainya Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak yang telah memberikan banyak bantuan kepada penulis. Untuk itu penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara – saudari saya yang setiap saat mendoakan, mendukung dan mendorong untuk menyelesaikan pendidikan saya.
2. Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT selaku Pembimbing I, atas bimbingan, bantuan dan dorongannya dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Prof. Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT., selaku ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku Pembimbing II
4. Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME., dan Ir. Andi Mangkau, MT. selaku Penguji, atas kritik, saran, dan masukan selama penyelesaian tugas akhir ini.
5. Segenap Dosen dan Staf Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, atas ilmu, pelajaran, pengalaman, dan bantuan yang telah diberikan selama perkuliahan.
6. Seluruh kerabat yang selalu mendukung, memotivasi, membantu, dan mendorong saya dalam penyelesaian pendidikan saya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan dari Tesis baik dari materi maupun teknik penyajiannya, mengingat kurangnya pengetahuan dan

pengalaman penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan.

Makassar, 15 November 2022

Muh. Ade Putra

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| SAMPUL LUAR | i |
| SAMPUL DALAM | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN..... | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI | iv |
| DAFTAR RIWAYAT HIDUP..... | v |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xiii |
| ABSTRAK..... | xiv |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| I.1. Latar Belakang..... | 1 |
| I.2. Rumusan Masalah..... | 2 |
| I.3. Tujuan Penelitian..... | 2 |
| I.4. Batasan Masalah..... | 3 |
| I.5. Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 4 |
| II.1. Motor Bensin (<i>Spark Ignition Internal Combustion Engine</i>)..... | 4 |
| II.2. Karakteristik Motor Bensin | 5 |
| II.3. Siklus Kerja Motor 4 Langkah | 5 |
| II.4. Siklus Otto..... | 6 |
| II.5. Variabel Rasio Kompresi (<i>VCR</i>)..... | 8 |
| II.6. Perbandingan Rasio Kompresi..... | 9 |
| II.7. Rasio Udara – Bahan Bakar (<i>AFR</i>)..... | 10 |
| II.8. Efisiensi Pembakaran | 10 |
| II.9. Hidrokarbon | 10 |
| II.9.1. Nilai Kalor | 11 |
| II.9.2. Viskositas | 13 |

| | |
|---|----|
| II.9.3. Massa Jenis (Densitas) | 13 |
| II.9.4. Titik Nyala (<i>Flash Point</i>) | 14 |
| II.10. Methanol | 14 |
| II.11. Parameter Perhitungan Kinerja Motor Bakar | 16 |
| II.11.1. Daya Efektif | 16 |
| II.11.2. Komsumsi bahan Bakar | 17 |
| II.11.3. Komsumsi bahan Bakar Spesifik | 17 |
| II.11.4. Laju Aliran Udara Aktual | 18 |
| II.11.5. Laju Aliran Udara Teoritis | 19 |
| II.11.6. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar | 19 |
| II.11.7. Efisiensi Volumetrik | 20 |
| II.11.8. Efisiensi Thermis | 20 |
| BAB III METODE PENELITIAN | 22 |
| III.1. Tempat Penelitian | 22 |
| III.2. Alat dan Bahan | 22 |
| III.3.1. Alat Penelitian | 22 |
| III.3.2. Bahan Penelitian | 25 |
| III.3. Metode Pengambilan Data | 26 |
| III.4. Prosedur Pengambilan Data | 26 |
| III.4.1. Nilai Kalor | 27 |
| III.4.2. Performa Mesin | 28 |
| III.4.3. Emisi Gas Buang | 29 |
| III.5. Diagram Alir Penelitian | 29 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 30 |
| IV.1. Karakteristik Bahan Bakar | 30 |
| IV.2. Reaksi Pembakaran | 30 |
| IV.3. Pengolahan Data Hasil Perhitungan | 31 |
| IV.4. Analisa Performa Mesin | 34 |
| IV.4.1. Daya Efektif | 34 |
| IV.4.2. Konsumsi Bahan Bakar | 35 |
| IV.4.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik | 36 |

| | |
|---|----|
| IV.4.4. Konsumsi Udara Aktual..... | 36 |
| IV.4.5. <i>Air-Fuel Ratio (AFR)</i> | 37 |
| IV.4.6. Efisiensi Thermis..... | 38 |
| IV.4.7. Efisiensi Mekanis..... | 38 |
| IV.5. Analisa Karakteristik Pembakaran Mesin..... | 39 |
| IV.5.1. Tekanan Silinder - Sudut Engkol..... | 39 |
| IV.5.2. Tekanan Silinder - Volume Silinder..... | 44 |
| IV.5.3. <i>Net Heat Release Rate</i> | 48 |
| IV.6. Analisa Emisi Gas Buang | 53 |
| IV.6.1. Karbon Monoksida (CO)..... | 53 |
| IV.6.2. Karbon Dioksida (CO ₂)..... | 54 |
| IV.6.3. Hidrokarbon (HC)..... | 56 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN..... | 58 |
| V.1. Kesimpulan..... | 58 |
| V.2. SARAN..... | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA | |
| LAMPIRAN | |

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1** Prinsip kerja motor bensin 4 langkah.
- Gambar 2.2** Diagram P vs V dari volume konstan.
- Gambar 3.1** Mesin Bensin Model TV1.
- Gambar 3.2** Panel Kontrol Mesin.
- Gambar 3.3** Komputer.
- Gambar 3.4** Pompa air.
- Gambar 3.5** Alat ukur emisi Brain Bee AGS-688.
- Gambar 3.6** *Bomb calorimeter.*
- Gambar 3.7** Piknometer.
- Gambar 3.8** Premium (kiri), Pertamina (tengah), dan Pertamina Racing.
- Gambar 3.9** Methanol.
- Gambar 4.1** Grafik perbandingan Konsumsi Bahan Bakar pada variasi bahan bakar.
- Gambar 4.2** Grafik perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik.
- Gambar 4.3** Grafik perbandingan Konsumsi Udara Aktual pada variasi bahan bakar.
- Gambar 4.4** Grafik perbandingan *AFR* pada variasi bahan bakar.
- Gambar 4.5** Grafik perbandingan Efisiensi Thermis pada variasi bahan bakar.
- Gambar 4.6** Grafik perbandingan Efisiensi Mekanis.
- Gambar 4.7** Grafik perbandingan Tekanan Silinder per Sudut Engkol pada putaran 1200 rpm.
- Gambar 4.8** Grafik perbandingan Tekanan Silinder per Sudut Engkol pada putaran 1400 rpm.
- Gambar 4.9** Grafik perbandingan Tekanan Silinder per Sudut Engkol pada putaran 1600 rpm.
- Gambar 4.10** Grafik perbandingan Tekanan Silinder per Sudut Engkol pada putaran 1800 rpm.

- Gambar 4.11** Grafik perbandingan Tekanan Silider per Volume pada putaran 1200 rpm.
- Gambar 4.12** Grafik perbandingan Tekanan Silider per Volume pada putaran 1400 rpm.
- Gambar 4.13** Grafik perbandingan Tekanan Silider per Volume pada putaran 1600 rpm.
- Gambar 4.14** Grafik perbandingan Tekanan Silider per Volume pada putaran 1800 rpm.
- Gambar 4.15** Grafik perbandingan Pelepasan Panas pada putaran 1200 rpm.
- Gambar 4.16** Grafik perbandingan Pelepasan Panas pada putaran 1400 rpm.
- Gambar 4.17** Grafik perbandingan Pelepasan Panas pada putaran 1600 rpm.
- Gambar 4.18** Grafik perbandingan Pelepasan Panas pada putaran 1800 rpm.
- Gambar 4.19** Grafik perbandingan kadar CO pada rasio kompresi 6,8 dan 10 secara berurut.
- Gambar 4.20** Grafik perbandingan kadar CO₂ pada rasio kompresi 6,8 dan 10 secara berurut.
- Gambar 4.21** Grafik perbandingan kadar HC pada rasio kompresi 6,8 dan 10 secara berurut.

DAFTAR TABEL

- Tabel 2.1** Tabel Karakteristik Methanol
- Tabel 4.1** Hasil Pengukuran Nilai Kalor dan Massa Jenis.

ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar minyak dalam negeri cenderung mengalami peningkatan, sedangkan produksi minyak mengalami penurunan. Selain itu, akibat dari tingginya penggunaan bahan bakar minyak yang bersumber dari bahan bakar fosil mengakibatkan meningkatnya polusi udara akibat hasil pembakaran. Oleh karena itu, penting untuk menggunakan bahan bakar alternatif yang tidak bersumber dari bahan bakar fosil dan juga ramah lingkungan. Methanol (CH_3OH) merupakan alkohol paling sederhana dengan sifat pembakaran yang baik serta lebih ramah lingkungan. Sehingga dapat menjadikan methanol sebagai salah satu sumber bahan bakar alternatif. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan methanol pada Pertamina. Dalam pencampurannya berdasarkan rasio berat terdiri dari 4 variasi konsentrasi, yaitu Pertamina murni (0% methanol), Pmax90 (10% methanol), Pmax85 (15% methanol), dan Pmax80 (20% methanol). Penelitian ini dilakukan menggunakan mesin TV-1 (Kirloskar Oil Engines Ltd.). Pengujian yang dilakukan antara lain karakteristik bahan bakar, performa mesin dan emisi. Pengujian karakteristik bahan bakar meliputi nilai kalor, viskositas, dan densitas. Pengujian kinerja mesin meliputi daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik, konsumsi udara aktual, *Air-fuel ratio*, efisiensi termis, dan efisiensi mekanis. Pengujian emisi meliputi kadar karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), serta jumlah hidrokarbon (HC). Hasil penelitian menunjukkan pengaruh penambahan methanol pada Pertamina menunjukkan pengaruh terhadap karakteristik, performa, dan emisi mesin. Pada karakteristik terjadi penurunan nilai kalor, sedangkan densitas bahan bakar meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi methanol. Kinerja mesin lebih rendah, namun karakteristik pembakaran yang dihasilkan cenderung lebih baik dilihat dari segi peningkatan tekanan pada silinder. Emisi gas buang yang dihasilkan cenderung lebih baik dengan menunjukkan penurunan kadar CO, CO_2 , dan nilai HC.

Kata Kunci : Methanol, Kinerja, Emisi.

ABSTRACT

The use of fuel oil in country tend to increased, meanwhile the production of fuel oil in country is decreasing. Besides, the high of usage of fuel oil from fossil fuels impacts the increasing of air pollution from the combustion. Therefore, it is important to use alternative fuel that does not sourced from fossil fuels and also enviromentally friendly. Methanol is the most simple alcohol that having good combustion properties and also enviromentally friendly. So that it can make methanol as alternative fuel. The purpose of this research is to analyze the impacts of adding methanol into Pertamina. In mixing based on the weight ratio consists of four concentration variations, which is pure Pertamina (0% methanol), Pmax90 (10% methanol), Pmax85 (15% methanol), and Pmax80 (20% methanol). This research using the TV-1 engine (Kirloskar Oil Engines Ltd.). The tests include the fuel characterization, engine performance and emission. The fuel characterization include calorific value, viscosity, and density. The engine performance include brake power, torque, fuel consumption, fuel consumption specific, actual air consumption, Air-fuel ratio, thermal efficiency, dan mechanic efficiency. The emission include the concentration of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂), and amount of hydrocarbon (HC). The result shows that the addition of methanol into Pertamina impacts the fuel characterization, engine performance, and emission. On fuel characterization, there is decrease on calorific value and increase on density along with increasing of methanol concentration. Lower engine performance, but the combustion characteristic tend to results better in terms of higher pressure in-cylinder. Exhaust gas emission tend to results better showing decreasing concentration of CO, CO₂, and amount of HC.

Keywords : Methanol, Performance, Emission.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Permasalahan tentang bahan bakar fosil yang mengemuka pada beberapa tahun belakangan ini adalah permasalahan tentang menipisnya jumlah bahan bakar fosil dan pemanasan global. Jumlah kapasitas yang tersedia di perut bumi tentang jumlah bahan bakar fosil sudah menipis. Para ahli dari tahun ketahun berusaha untuk menemukan sumber energi terbarukan yang bukan berasal dari fosil.

Meningkatnya polusi udara merupakan salah satu masalah yang sangat penting pada negara-negara berkembang pada saat ini. Emisi gas buang dari kendaraan bermotor adalah penyebab utama dari polusi ini. Hal ini tidaklah cukup hanya dengan mengubah desain dari mesin kendaraan untuk mengatasi agar sesuai dengan peraturan resmi tentang polusi udara. Saat ini sangat penting untuk melanjutkan usaha observasi dan pengembangan teknologi berbahan bakar alternatif. Bahan bakar alternatif dapat di produksi dari sumber daya yang bisa diperbaharui dan dapat digunakan langsung tanpa memerlukan perubahan besar pada struktur dari mesin. (Koc, M. , 2009).

Buku Putih Sumber Daya Energi Indonesia 2005-2025, Ketergantungan pada BBM masih tinggi, lebih dari 60 persen dari konsumsi energi akhir. Sumber daya energi minyak yang ada di Indonesia saat ini adalah 86,9 miliar barel, dengan cadangan 9,1 miliar barel, sedangkan produksi tiap tahunnya adalah 387 juta barel. Dengan ini diperkirakan sumber daya energi minyak dapat dipakai hingga 23 tahun mendatang.

Salah satu solusi masalah ini adalah mulai memikirkan untuk memakai alkohol sebagai bahan bakar alternatif. Alkohol dengan kadar tinggi dapat digunakan secara langsung pada mesin, maupun dapat juga dicampurkan dengan kadar tertentu pada bensin sebagai bahan bakar. Pemanfaatan alkohol sebagai bahan bakar pengganti bensin, atau sebagai campuran bensin diharapkan mampu mengurangi konsumsi pemakaian bahan bakar dari minyak bumi. Pemakaian

alkohol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor, baik secara murni atau dengan dicampur bensin, telah mendapat perhatian dari para peneliti sejak 40 tahun terakhir ini. Khususnya, methanol telah menjadi topik banyak penelitian tentang pemanfaatannya sebagai pengganti bahan bakar minyak. Methanol dapat diperoleh dari batu bara dengan harga produksinya sama dengan biaya pembuatan bensin (K Venkatesvwarlu, 2009).

Nilai oktan tinggi dari alcohol (~108.7) dan adanya oksigen pada struktur molekulnya menghasilkan pembakaran efisiensi tinggi dan rendah emisi. Alkohol juga memiliki nilai *LHV* yang rendah, sehingga campuran alcohol-udara pada *intake-manifold* relatif lebih dingin dibandingkan campuran bensin-udara. Hal ini mengakibatkan terbentuknya emisi senyawa nitrogen oksida (NO_x) relative lebih rendah. (M. Eyidogan, 2010)

Berdasarkan penjelasan di atas, penulis melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh bahan bakar campuran methanol-bensin atau gasohol terhadap kinerja mesin bensin dengan judul **“PENGARUH PENAMBAHAN METHANOL PADA PERTAMAX TERHADAP KINERJA DAN EMISI MESIN BENSIN”**.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh penambahan methanol pada Pertamina terhadap kinerja dan karakteristik pembakaran dari mesin bensin ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan methanol pada Pertamina terhadap kadar emisi gas buang dari mesin bensin ?

I.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh penambahan methanol pada Pertamina terhadap kinerja dan karakteristik pembakaran dari motor bensin.

2. Menganalisis pengaruh penambahan methanol pada Pertamina terhadap kadar emisi gas buang dari motor bensin.

I.4 Batasan Masalah

1. Bahan bakar bensin yang digunakan adalah Pertamina yang mempunyai *research octane number* (RON) 92.
2. Variasi konsentrasi methanol pada Pertamina yang digunakan adalah 10%, 15% dan 20%.
3. Mesin bekerja dengan variasi rasio kompresi 6 : 1, 8 : 1, dan 10 : 1.
4. Mesin bekerja dengan variasi putaran 1200, 1400, 1600, dan 1800 rpm dengan beban 5kg.
5. Parameter karakteristik yang diuji adalah massa jenis, dan nilai kalor.
6. Parameter kinerja yang diuji adalah daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termal dan efisiensi mekanik.
7. Parameter uji emisi tersebut meliputi kadar CO (Karbon Monoksida), CO₂ (Karbon dioksida), dan HC (Hidrokarbon).
8. Mesin yang digunakan adalah mesin bensin TV1.

I.5 Manfaat Penelitian

1. Bagi penulis adalah sebagai wadah pengaplikasian pengetahuan yang dimiliki, khususnya dalam bidang motor bakar.
2. Bagi akademik adalah sebagai bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.
3. Bagi masyarakat umum adalah sebagai acuan dalam penggunaan bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Motor Bensin (*Spark Ignition Internal Combustion Engine*)

Motor bensin merupakan mesin *reciprocating* yang paling umum digunakan oleh kendaraan dan mesin – mesin kecil lainnya seperti gergaji mesin. Mesin bensin juga seringkali dijadikan pembangkit listrik kecil.

Motor bensin dapat menggunakan beragam jenis bahan bakar. Paling umum adalah bensin atau petrol, namun bisa juga menggunakan bahan bakar dalam bentuk gas maupun cair seperti gas alam, propan, *biogas*. Bahan bakar cair, bensin dipilih karena memiliki densitas energi yang tinggi. Namun untuk penggunaan stasioner lebih sering menggunakan bahan bakar gas.

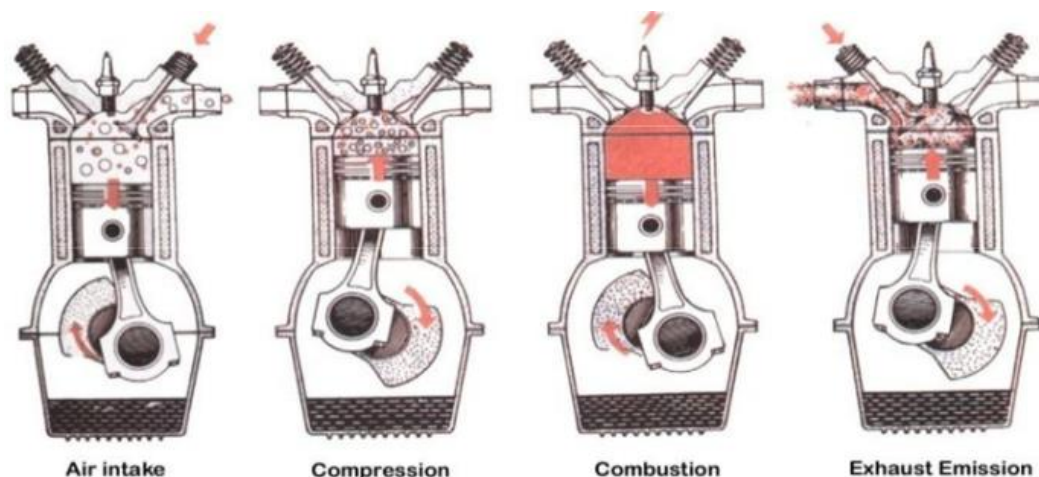
Motor bensin terbagi menjadi dua macam berdasarkan Langkah kerjanya, yaitu motor 4 langkah dan motor 2 langkah. Motor bensin 2 langkah cocok digunakan pada alat – alat kecil dan sepeda motor. (P. Breeze, 2018)

II.2 Karakteristik Motor Bensin

Mesin Otto merupakan mesin pembakaran dalam yang menggunakan percikan busi (*Spark Ignition*) untuk proses pembakaran, dirancang untuk menggunakan bahan bakar *gasoline* atau yang sejenis. Mesin Otto berbeda dengan mesin Diesel dalam metode pencampuran bahan bakar dengan udara, dan mesin Otto butuh penyalaan busi untuk proses pembakaran. Pada mesin Diesel, udara dikompresi tinggi dalam ruang bakar dan sehingga udara tersebut panas, bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar di akhir langkah kompresi untuk bercampur dengan udara panas, pada saat kombinasi antara jumlah udara, jumlah bahan bakar, dan temperatur dalam kondisi tepat maka campuran udara dan bakar tersebut akan terbakar dengan sendirinya. Siklus Otto (ideal) pembakaran tersebut dimisalkan dengan pemasukan panas pada volume konstan (Robertus dkk, 2013).

II.3 Siklus Kerja Motor 4 Langkah

Motor empat langkah adalah motor yang setiap siklus kerjanya diselesaikan dalam empat kali gerak bolak balik langkah piston atau dua kali putaran poros engkol (crank shaft). Langkah piston adalah gerak piston tertinggi/teratas disebut titik mati atas (TMA) sampai yang terendah/terbawah disebut titik mati bawah (TMB). Sedangkan siklus kerja adalah rangkaian proses yang dilakukan oleh gerak bolak-balik translasi torak (piston) yang membentuk rangkaian siklus tertutup. Proses siklus motor empat langkah dilakukan oleh gerak torak (piston) dalam silinder tertutup, yang bekerja sesuai dengan pengaturan gerak katup atau mekanisme katup pada katup isap dan katup buang. (Fitri Wijayanti, 2014)



Gambar 2.1 Prinsip kerja motor bensin 4 langkah.

Sumber : Jurnal ilmiah *Analisis Pengaruh Bentuk Permukaan Piston terhadap Kinerja Motor Bensin*

Langkah kerja motor empat langkah adalah langkah isap, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah buang, lebih jelasnya dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Langkah Hisap (*Air Intake*)

Torak (piston) bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Katup isap dibuka dan katup buang ditutup, sehingga tekanan di dalam silinder menjadi tekanan rendah atau vacuum selanjutnya campuran udara dan bahan bakar terisap masuk melalui katup isap untuk mengisi ruang silinder. (Fitri Wijayanti, 2014)

2. Langkah Kompresi (*Compression*)

Torak (piston) bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA). Katup isap dan katup buang ditutup. Pada proses ini campuran bahan bakar dan udara ditekan atau kompresi, akibatnya tekanan dan temperaturnya naik sehingga akan memudahkan proses pembakaran. (Fitri Wijayanti, 2014)

3. Langkah Kerja (*Combustion*)

Torak (piston) bergerak dari titik mati atas (TMA) menuju titik mati bawah (TMB). Katup isap dan katup buang masih ditutup. Sesaat piston menjelang titik mati atas busi pijar menyalakan percikan api seketika campuran bahan bakar dan udara terbakar secara cepat berupa ledakan. Dengan terjadinya ledakan menghasilkan tekanan sangat tinggi untuk mendorong piston ke bawah, sebagai tenaga atau usaha yang dihasilkan mesin. (Fitri Wijayanti, 2014)

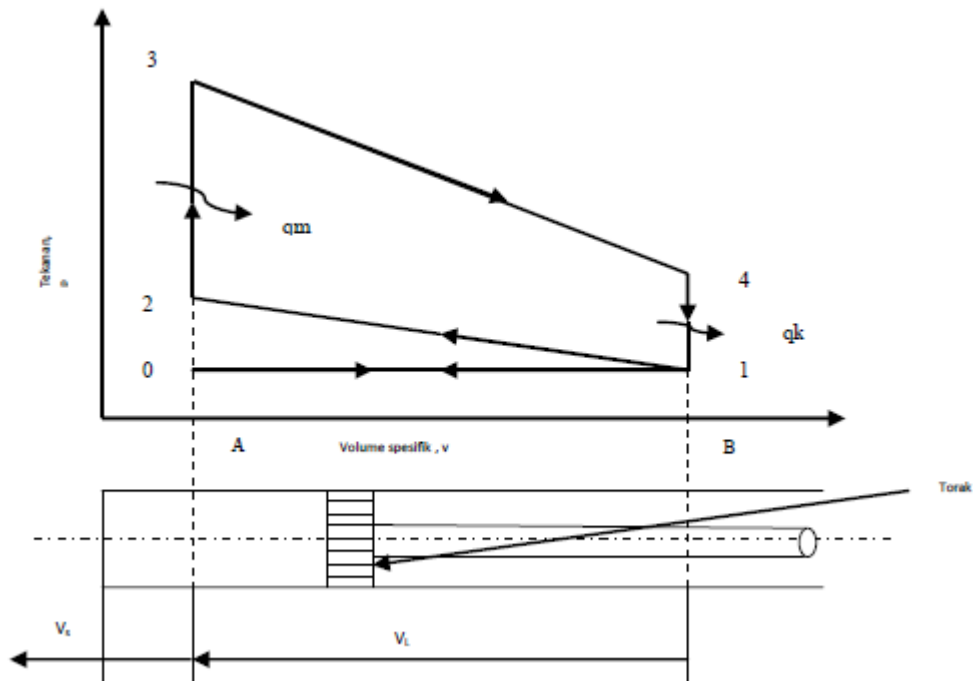
4. Langkah Buang (*Exhaust*)

Torak (piston) bergerak dari titik mati bawah (TMB) menuju titik mati atas (TMA). Katup isap ditutup dan katup buang dibuka. Pada langkah/proses ini gas-gas bekas pembakaran didorong torak (piston) ke atas sampai TMA selanjutnya dibuang melewati katup buang. Dalam satu siklus kerja motor, poros engkol berputar dua kali putaran atau empat kali gerak bolak-balik torak. (Fitri Wijayanti, 2014)

II.4 Siklus Otto

Proses termodinamika dan kimia yang terjadi dalam motor bakar torak sangat kompleks untuk di analisis. Menurut Wiranto Arismunandar, untuk memudahkan analisis tersebut kita perlu membayangkan suatu keadaan yang ideal. Makin ideal suatu keadaan makin mudah dianalisis, tetapi akan makin jauh menyimpang dari keadaan aktual. Dianalisis siklus udara, khususnya pada motor bakar torak, akan dibahas siklus udara volume konstan (siklus Otto). Siklus ini menggambarkan

grafik P vs v seperti terlihat pada **gambar 2.2**. Sifat ideal yang dipergunakan serta keterangan mengenai proses siklusnya adalah sebagai berikut :



Gambar 2.2 Diagram P vs V dari volume konstan.

Sumber : Wiranto A., 1988

1. Fluida kerja dianggap sebagai gas ideal dengan kalor spesifik yang konstan.
2. Langkah isap (0-1) merupakan proses tekanan konstan.
3. Langkah kompresi (1-2) ialah proses isintropik.
4. Proses pembakaran volume konstan (2-3) dianggap sebagai proses pemasukan kalor pada volume konstan.
5. Langkah kerja (3-4) ialah proses isontropik.
6. Proses pembuangan (4-1) dianggap sebagai proses pengeluaran kalor pada volume konstan.
7. Langkah buang (1-0) ialah proses tekanana konstan..

8. Siklus dianggap tertutup artinya siklus ini berlangsung dengan fluida kerja yang sama atau gas yang berbeda di dalam silinder pada titik satu dapat dikeluarkan dari dalam silinder pada waktu langkah buang, tetapi pada langkah isap berikutnya akan masuk sejumlah fluida kerja yang sama.

II.5 Variabel Rasio Kompresi (VCR)

Motor bensin terhubung ke *dynamometer* tipe arus Eddy untuk mengukur. Rasio kompresi dapat diubah tanpa menghentikan mesin dan tanpa mengubah geometri ruang bakar dengan pengaturan blok silinder miring yang dirancang khusus. Pengaturan dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk tekanan pembakaran dan pengukuran sudut engkol. Sinyal-sinyal ini dihubungkan ke komputer melalui indikator mesin. Ketentuan juga dibuat untuk menghubungkan aliran udara, aliran bahan bakar, suhu dan pengukuran beban. Pengaturan memiliki panel yang berdiri sendiri di kotak yang terdiri dari kotak udara, dua tangki bahan bakar untuk uji campuran, manometer, pengukur bahan bakar, pemancar untuk pengukuran aliran udara dan bahan bakar, indikator proses dan mesin indikator. Rotameter disediakan untuk air pendingin dan aliran air kalorimeter pengukuran. (Anonim, 2014)

Mesin yang digunakan adalah mesin bensin TV1 silinder tunggal empat langkah, vertikal, berpendingin air, disedot alami, injeksi langsung mesin bensin. Transduser tekanan digunakan untuk memantau tekanan injeksi. Peralatan mesin dihubungkan dengan perangkat pengukuran emisi gas, alat analisis gas, dilengkapi dengan instrumen yang diperlukan untuk mengukur tekanan pembakaran dan sudut engkol. Sinyal-sinyal ini dihubungkan ke komputer melalui indikator sensor mesin perangkat lunak. Udara atmosfer memasuki *intake manifold* mesin melalui saringan udara dan kotak udara. Udara sensor aliran dilengkapi dengan kotak udara memberi masukan untuk konsumsi udara ke sistem akuisisi data. Semua input seperti konsumsi udara dan bahan bakar, rem mesin daya, tekanan silinder dan sudut engkol direkam oleh sistem akuisisi data, yang disimpan dalam komputer dan

ditampilkan di monitor. Thermokopel dalam bersama dengan indikator suhu terhubung pada pipa knalpot untuk mengukur suhu knalpot gas. Kepadatan asap knalpot diukur dengan termokopel. (Anonim,2014)

II.6 Perbandingan Rasio Kompresi

Perbandingan kompresi merupakan perbandingan banyak campuran bahan bakar dan udara yang masuk didalam silinder pada langkah hisap, dan yang dimanfaatkan pada langkah kompresi.

$$PK = (V_L + V_c) / V_c \dots\dots\dots (1)$$

Dimana,

PK = Perbandingan kompresi

V_L = Volume langkah

V_c = Volume kompresi

Angka perbandingan kompresi yang tinggi mengakibatkan tekanan awal pembakaran menjadi lebih tinggi. Dengan tekanan awal pembakaran yang tinggi berarti tekanan maksimum yang dihasilkan oleh pembakaran akan menjadi lebih tinggi sehingga tenaga yang dihasilkan menjadi lebih besar. Apabila gaya yang mendorong lebih besar maka lebih besar pula momen yang dihasilkan pada poros engkol (Irwan, 2015).

Semakin tinggi nilai perbandingan kompresi semakin tinggi pula nilai tekanan kompresi. Pengaruh tekanan kompresi terhadap mesin adalah semakin besar tekanan kompresi semakin besar pula tenaga yang dihasilkan oleh mesin. Motor dengan perbandingan kompresi yang tinggi mempunyai kelemahan yakni dengan tingginya tekanan pada akhir kompresi atau tekanan awal pembakaran berarti suhu dalam ruang kompresi juga akan naik. Apabila hal ini terjadi maka dapat terjadi detonasi jika tekanan kompresi yang tinggi tidak diikuti dengan pemakaian bahan bakar yang beroktan tinggi. (Irwan, 2015).

II.7 Rasio Udara – Bahan Bakar (*AFR*)

Menurut Jhon Heywood, dalam pengujian mesin, baik laju aliran massa udara dan laju aliran massa bahan bakar biasanya diukur. Rasio laju aliran ini berguna dalam mendefinisikan mesin dalam kondisi beroperasi.

$$AFR = \frac{M_a}{F_C} \dots\dots\dots (2)$$

Rentang operasi normal untuk mesin SI konvensional yang menggunakan bahan bakar bensin adalah ($12 \leq AFR \leq 18$) sedangkan mesin bahan bakar diesel pada ($18 \leq AFR \leq 70$). (J. B. Heywood, 1989)

II.8 Efisiensi Pembakaran

Meskipun aliran udara dan bahan bakar ke mesin dikendalikan sesuai pada kondisi stoikiometri, pembakaran tidak dapat sempurna, dan emisi berupa CO₂, H₂O, dan NO_x dijumpai dalam produk buang. Hal ini disebabkan karena waktu yang singkat untuk setiap siklus pada pencampuran udara dan bahan bakar. Beberapa molekul bahan bakar tidak dapat bereaksi dengan oksigen sehingga sebagian bahan bakar maupun oksigen menjadi emisi.

Secara aktual, gas buang dari pembakaran mesin menghasilkan emisi seperti CO, CO₂, H₂O, HC, NO_x. Saat beroperasi dengan campuran miskin, jumlah produk pembakaran yang tidak sempurna relatif kecil. Tetapi, saat beroperasi dengan campuran kaya, maka nilai emisi menjadi lebih besar karena jumlah oksigen tidak cukup untuk membakar semua bahan bakar. (Philip, 2015)

II.9 Hidrokarbon

Hidrokarbon merupakan senyawa ikatan hidrogen dan karbon yang dapat terbakar (dioksidasi), membentuk air (H₂O) dan karbondioksida (CO₂). Bahan bakar hidrokarbon mempunyai variasi berat karbon dari 83% sampai 87% dan berat

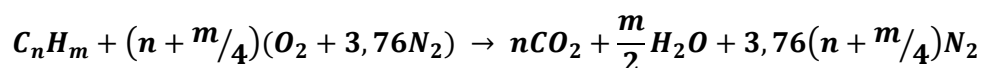
hidrogen dari 11% samai 14%. Pada umumnya bobot molekular komponen yang lebih besar mempunyai temperatur didih lebih tinggi (philip, 2015).

Bahan bakar bensin merupakan campuran senyawa hidrokarbon cair dengan nilai *volatile* yang tinggi. Bensin terdiri dari parafin, naptalene aromatik,dan olifin, bersama-sama dengan beberapa senyawa organik lain dan kontaminan. Struktur molekulnya terdiri dari C4-C9 (parafin, alifin, naftalen, dan aromatik). Beberapa karakteristik penting bahan bakar hidrokarbon diantaranya volatilitas, nilai oktan serta kandungan energi. Karakteristik nilai oktan merupakan ukuran seberapa tahan bensin terhadap ledakan prematur (*prematuur detonation*) atau ketukan (*knoking*).

Angka oktan adalah suatu bilangan yang menunjukkan tahanan suatu bahan bakar terhadap detonasi. Bahan bakar dengan angka oktan yang tinggi dapat dipakai pada motor dengan kompresi yang lebih tinggi dan akan menghasilkan tenaga yang lebih tinggi. Maka dari itu penggunaan bahan bakar dengan oktan yang lebih tinggi akan mengurangi kemungkinan terjadinya detonasi, sehingga campuran bahan bakar dan udara yang dikompresikan dapat optimal dan tenaga yang dihasilkan motor akan lebih besar serta konsumsi bahan bakar menjadi lebih irit. (Irwan, 2015).

Pertamax merupakan bahan bakar bensin dengan angka oktan minimal 92 yang diproduksi sesuai dengan Keputusan Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi Np.3674/K24/DJM/2006 tanggal 17 Maret 2006 tentang Spesifikasi Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin. Pertamax direkomendasikan digunakan pada kendaraan bermotor bensin dengan rasio kompresi 10:1 hingga 11:1. (Pertamina)

Adapun reaksi pembakaran teoritis bahan bakar hidrokarbon secara umum adalah:



nilai 3,76 merupakan hasil dari perbandingan jumlah mol N dengan O yang terdapat di atmosfer.

Adapun sifat fisik bahan bakar perlu diketahui adalah sebagai berikut :

II.9.1 Nilai Kalor

Nilai kalor atau *heating value* adalah jumlah energi yang dilepaskan pada proses pembakaran persatuan volume atau persatuan massanya. Nilai kalor bahan bakar menentukan jumlah konsumsi bahan bakar tiap satuan waktu. Makin tinggi nilai kalor bahan bakar menunjukkan bahwa pemakaian bahan bakar menjadi semakin sedikit. Nilai kalor bahan bakar ditentukan berdasarkan hasil pengukuran dengan *calorimeter* yang dilakukan dengan membakar bahan bakar dan udara pada temperatur normal, sementara itu dilakukan pengukuran jumlah kalor yang terjadi sampai temperatur dari gas hasil pembakaran turun kembali ke temperatur normal. (Hassan, Hussein, dan Osman, 2010)

$$Q = m C \Delta T \dots\dots\dots (3)$$

- dimana:
- Q = kalor yang diserap oleh air (kJ)
 - m = massa air (Kg)
 - C = kalor jenis air (kJ/KgK)
 - ΔT = kenaikan temperatur air (K)

Massa air diketahui dari volume air dalam *vessel calorimeter*. Air sebagaimedia penyerap kalor dan parameter utama pengukuran nilai kalor. Untuk 3700 ml air diketahui massanya seberat 3,7 kg pada massa jenis 1 kg/ltr. Nilai kalor jenis dari air merupakan ketetapan dengan nilai 4,18 kJ/kgK.

Nilai ΔT diperoleh dari pengukuran kenaikan temperatur air menggunakan termometer backman. ΔT merupakan selisih dari nilai temperatur maksimum yang dicapai dengan nilai pembacaan termometer di menit terakhir sebelum proses pembakaran. Koreksi radiasi dihitung dari rata-rata perubahan temperatur air sebelum bahan bakar terbakar dan setelah mencapai temperatur maksimum

$$koreksi\ radiasi = n \cdot v^1 + \left(\frac{-v+v^1}{2}\right) \dots\dots\dots (4)$$

dimana : n = Jarak waktu dari pembakaran sampai temperature maksimum

 v¹ = rata-rata penurunan temperatur pada akhir percobaan

 v = rata-rata kenaikan temperatur pada awal percobaan

Hasil dari koreksi radiasi dijumlahkan dengan nilai ΔT untuk menghasilkan ΔT *corrected*

$$\Delta T\ corrected = \Delta T + koreksi\ radiasi \dots\dots\dots (5)$$

Sehingga kalor yang diserap oleh air dapat dihitung dengan mengalikan massa air dengan kalor jenis air dan kenaikan temperatur *corrected*. Selanjutnya untuk menghitung nilai kalor tiap satu gram bahan bakar, maka nilai Q_{air} dibagi dengan massa bahan bakar yang digunakan.

$$nilai\ kalor\ bahan\ bakar = \frac{kalor\ yang\ diserap}{massa\ sampel\ bahan\ bakar} \dots\dots\dots (6)$$

II.9.2 Viskositas

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri atas lapisan–lapisan tipis zatalir yang bergerak dengan laju berbeda–beda sebagai akibat adanya gaya kohesi maupun adhesi. Gesekan internal di dalam fluida dinyatakan dengan besaran viskositas atau kekentalan dalam satuan poise. Viskositas juga bisa diartikan kemampuan suatu zat untuk mengalir pada suatu media tertentu. Salah satu cara untuk mengukur besarnya nilai viskositas zat cair adalah dengan menggunakan viskosimeter *Brookfield*.

III.9.3 Massa Jenis (Densitas)

Massa jenis atau densitas adalah pengukuran massa tiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa tiap volumenya. Massa jenis rata-rata suatu benda adalah total massa

dibagi dengan total volumenya. Sebuah benda yang memiliki massa jenis yang lebih tinggi akan memiliki volume yang lebih rendah dari pada benda bermassa sama yang memiliki massa jenis lebih rendah. Satuan SI massa jenis adalah kg/m^3 . Massa jenis berfungsi untuk menentukan suatu zat karena setiap zat memiliki massa jenis yang berbeda. Suatu zat berapapun massanya dan berapapun volumenya akan memiliki massa jenis yang sama (Santoso, 2010)

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (7)$$

$$\rho = \frac{m_{sampel} - m_{aquades}}{V_{piknometer}} + \rho_{aquades} \dots\dots\dots (8)$$

- dimana:
- ρ = Massa jenis (gr/ml)
 - m_{samp} = Massa minyak (gr)
 - m_{aqua} = Massa minyak (gr)
 - V_{pikno} = Volume piknometer (ml)
 - ρ_{aqua} = Massa jenis aquades pada temperature 40°C (gr/ml)

II.9.4 Titik Nyala (*Flash Point*)

Titik nyala adalah titik temperatur pada keadaan di mana uap di atas permukaan bahan bakar akan terbakar dengan cepat (meledak). Titik nyala menunjukkan kemudahan bahan bakar untuk terbakar. Makin tinggi titik nyala, maka bahan bakar semakin sulit terbakar. Menurut Standar Nasional Indonesia memiliki batas standard minimal sebesar 1000°C . (Juanda, 2017)

II.10 Methanol

Methanol atau Methyl Alkohol dikenal juga dengan alcohol kayu adalah senyawa kimia dengan rumus kimia CH_3OH . Methanol adalah Alkohol yang paling sederhana dan ringan, mudah menguap, tidak berwarna serta mudah terbakar.

Methanol digunakan untuk anti beku, pelarut, bahan bakar dan sebagai denaturant untuk Ethyl Alkohol. (Datta, 2012)

Methanol (methyl alcohol) yang merupakan keluarga alkohol yang salah satu atom hidrogennya diganti dengan OH radikal adalah suatu sumber energi yang dapat diproduksi selain dari gas alam dan batu bara, dapat juga dibuat dari biomassa dan sangat potensial sebagai bahan bakar alternatif.

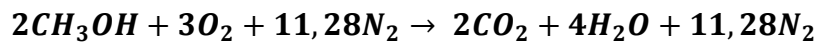
| Sl. No. | Property | Methanol |
|---------|---|--------------------|
| 1. | Formula | CH ₃ OH |
| 2. | Boiling Point (°C) | 338 |
| 3. | Freezing Point (°C) | -97.8 |
| 4. | Vapour Pressure at 38°C | 4.6 |
| 5. | Specific Gravity at 16°C | 0.796 |
| 6. | Coefficient of expansion at 19°C and 1 atm | 0.00065 |
| 7. | Viscosity at 20°C and 1 atm | 0.596 |
| 8. | Specific Heat of liquid at 25°C and 1 atm (kJ/kg) | 0.6 |
| 9. | Latent heat of vapourisation at 1 atm (kJ/kg) | 2.01 |
| 10. | Octane number | |
| | Research | 106 |
| | Motor | 92 |
| 11. | Energy Density (MJ/kg) | 20.100 |
| 12. | Flash Point (°C) | 14 |
| 13. | Flammability limits in air (% vol) | |
| | Lean | 7 |
| | Rich | 36 |
| 14. | Auto ignition Temperature(°C) | 740 |
| 15. | Stoichiometric A/F ratio | 6.45 |

Tabel 2.1 Tabel Karakteristik Methanol

Sumber : (Datta, 2012)

Penggunaan Methanol sebagai energi alternatif khususnya untuk kendaraan bermotor perlu dikaji, selain itu sebagai diversifikasi energi. Hal ini disebabkan oleh besarnya sumber energi tersebut di Indonesia. Methanol selain sebagai sumber energi yang dapat diperbaharui juga merupakan energi yang bersih dan ramah lingkungan, sehingga methanol menjadi salah satu bahan bakar alternatif yang menjanjikan (Prasetyo,2003).

Menurut (Rifai, Muhammad and Sinaga, Nazarudin, 2018) dengan bantuan sinar matahari uap dari pembakaran methanol akan teroksidasi oleh oksigen dan menjadi karbon dioksida dan air. Berikut ini adalah reaksi kimia karbon dioksida dan air yang dihasilkan dari methanol yang terbakar secara stoikiometrik:



II.11 Parameter Perhitungan Kinerja Motor Bakar

Mengacu pada Modul Praktikum Motor Bakar Laboratorium Motor Bakar Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. (Anonim, 2008) Adapun parameter kinerja motor bakar bensin dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut :

II.11.1 Daya Efektif (kW)

Daya motor merupakan salah satu parameter dalam menentukan performa motor. Perbandingan perhitungan daya terhadap berbagai macam motor tergantung pada putaran mesin dan momen putar, semakin cepat putaran mesin, rpm yang dihasilkan akan semakin besar, sehingga daya yang dihasilkan juga semakin besar, begitu juga momen putar motornya, semakin banyak jumlah gigi pada roda giginya semakin besar torsi yang terjadi. Dengan demikian, jumlah putaran (rpm) dan besarnya momen putar atau torsi mempengaruhi daya motor yang dihasilkan oleh sebuah motor (Sugeng, 2013).

$$BP = \frac{1}{1000} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot T}{60} (kW)$$

$$BP = 0,1047 \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot T (kW) \dots\dots\dots (9)$$

- dimana :
- BP = Daya efektif (kW)
 - N = Putaran poros (rpm)
 - T = Momen Torsi (N.m)

0,1047 = Kecepatan sudut, (rad/s)

10^{-3} = Faktor konversi Watt ke kW

60 = Konversi detik ke menit

II.11.2 Komsumsi bahan Bakar (kg/h)

Konsumsi bahan bakar menunjukkan jumlah pemakaian bahan bakar yang dihitung dengan jalan mengukur waktu yang diperlukan oleh mesin untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar yang terdapat pada gelas ukur, dapat dihitung dengan persamaan:

$$FC = \frac{VGU \cdot 10^{-3} \cdot \rho_f \cdot 3600}{W} \left(\frac{kg}{h} \right) \dots\dots\dots (10)$$

dimana : FC = Komsumsi Bahan Bakar (kg/h)

VGU = Volume gelas ukur (VGU = 15 cc)

ρ_f = Massa jenis bahan bakar (kg/m³)

10^{-3} = Faktor konversi cc ke dm^3

3600 = Faktor konversi detik ke jam

W = Waktu komsumsi bahan bakar (s)

II.11.3 Komsumsi Bahan Bakar Spesifik (kg/kW.h)

Konsumsi bahan bakar spesifik menyatakan jumlah bahan bakar untuk menghasilkan satu kW setiap satu satuan waktu pada beban tertentu. SFC merupakan parameter keekonomisan suatu motor bakar. Parameter ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$SFC = \frac{FC}{BP} (kg/kW.h) \dots\dots\dots (11)$$

dimana : SFC = Komsumsi bahan bakar spesifik, (kg/kW.h)

FC = Komsumsi bahan bakar (kg/h)

II.11.4 Laju Aliran Udara Aktual (kg/h)

Jumlah pemakaian udara sebenarnya diukur menggunakan sebuah plat orifice sisi tajam dengan diameter 20 mm yang dihubungkan sebuah manometer presisi. Perbedaan tekanan akibat aliran udara melintasi plat orifice diukur oleh manometer, menggambarkan konsumsi udara yang sanggup dihisap oleh mesin selama langkah pemasukan. Laju aliran udara actual dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Ma = kd \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Do^2 \cdot C \cdot \rho_a \text{ (kg/h)} \dots\dots\dots (12)$$

Hubungan antara beda tekanan dengan ekspansi gas diberikan oleh persamaan berikut :

$$Ho = \frac{\rho_a \cdot C}{2} \text{ (N/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (13)$$

Karena beda tekanan pada manometer terukur dalam dimensi mmH₂O, dimana 1 mmH₂O = 9,81 N/m², maka persamaan menjadi,

$$C = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot ho}{\rho_a}} \dots\dots\dots (14)$$

Dari hasil pengujian ternyata bahwa beda tekanan pada manometer dan kondisi ruangan merupakan variabel, maka persamaan menjadi,

$$Ma = Kd \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Do^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \cdot \sqrt{ho \cdot \rho_{ud}} \text{ (kg/h)} \dots\dots\dots (15)$$

dimana : M_a = Laju aliran udara aktual (kg/h)

K_d = Koefisien discharge (0,6)

H_o = Beda tekanan pada manometer (mmH₂O)

ρ_{ud} = Massa jenis udara (kg/m³)

10^{-6} = Faktor konversi dari mm² ke m²

D_o = Diameter orifice (20 mm)

II.11.5 Laju Aliran Udara Teoritis (kg/h)

Banyaknya bahan bakar yang dapat terbakar sangat bergantung pada jumlah udara yang terhisap selama langkah pemasukan, karena itu perlu diperhatikan berapa jumlah udara yang dikonsumsi selama pemasukan. Dalam keadaan teoritis, jumlah massa udara yang dapat masuk ke dalam ruangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M_{th} = \frac{V_s \cdot 10^{-3} \cdot N \cdot 60 \cdot \rho_{ud}}{K_a} \text{ (kg/h)} \dots\dots\dots (16)$$

dan,

$$V_s = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot s \cdot z}{4 \cdot 10^6} \dots\dots\dots (17)$$

- dimana :
- M_{th} = Laju udara secara teoritis (kg/h)
 - V_s = Volume selinder (mm^3)
 - 10^{-3} = Faktor konversi dari cc ke liter
 - K_a = 2 (konstanta untuk motor 4 langkah)
 - d = Diameter selinder (87,5 mm)
 - s = Panjang langkah selinder (110 mm)
 - z = Jumlah selinder

II.11.6 Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

Perbandingan udara bahan bakar sangat penting bagi pembakaran sempurna. Konsumsi udara bahan bakar yang dihasilkan, akan sangat mempengaruhi laju dari pembakaran dan energi yang dihasilkan. Secara umum *air-fuel ratio* (AFR) dapat dihitung dengan persamaan :

$$AFR = \frac{M_a}{F_C} \dots\dots\dots (18)$$

II.11.7 Efisiensi Volumetrik (%)

Efisiensi volumetrik adalah perbandingan antara jumlah udara terhisap sebenarnya pada proses penghisapan, dengan jumlah udara teoritis yang mengisi volume langkah pada saat temperatur dan tekanan sama. Dengan demikian efisiensi volumetric (η_{vo}) dapat di rumuskan sebagai berikut :

$$\eta_{vo} = \frac{Ma}{Mth} \cdot 100 \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (19)$$

II.11.8 Efisiensi Thermis (%)

Efisiensi thermis didefenisikan sebagai perbandingan besarnya energi kalor yang diubah menjadi daya efektif dengan jumlah kalor bahan bakar yang disuplai ke dalam selinder. Parameter ini menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk mengkonversi energi kalor dari bahan bakar menjadi energi mekanik. Efisiensi thermis (η_{th}) dapat dihitug dengan rumus berikut,

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} \quad (\%) \quad \dots\dots\dots (20)$$

dan,

$$Q_{tot} = \frac{FC \cdot LHV_{bb}}{3600} \quad (kW) \quad \dots\dots\dots (21)$$

dimana : LHV_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (kj/kg)