

SKRIPSI
“PENGARUH PENCAMPURAN ETANOL PADA BAHAN
BAKAR TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN”

Disusun dan diajukan oleh :

WILLY JULIAN S.

D021 19 1067



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024



SKRIPSI
“PENGARUH PENCAMPURAN ETANOL PADA BAHAN BAKAR
TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN”

Disusun dan diajukan oleh :

WILLY JULIAN S.
D021 19 1067

Merupakan Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Mesin pada Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**PENGARUH PENCAMPURAN ETANOL PADA BAHAN BAKAR
TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN**

Disusun dan diajukan oleh:

**WILLY JULIAN S.
NIM D021191067**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam
rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 28 Mei 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui:

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
NIP. 19711221 199802 1 001

Pembimbing Pendamping



Ir. Baharuddin Mire, MT
NIP. 19550914 198702 1 001

Ketua Program Studi



Prof. Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT
NIP. 19720825 200003 1 001



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Willy Julian S.
NIM : D021 19 1067
Program Studi : Teknik Mesin
Jenjang : S1
Judul Skripsi : Pengaruh Pencampuran Etanol pada Bahan Bakar Terhadap Kinerja Mesin Bensin

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa bagian atau keseluruhan skripsi ini adalah hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Gowa, 04 Juni 2024
Yang membuat pernyataan



WILLY JULIAN S.



PENGARUH PENCAMPURAN ETANOL PADA BAHAN BAKAR TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN

Nama : Willy Julian S.
Nim : D021 19 1067
Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
Pembimbing II : Ir. Baharuddin Mire, MT

ABSTRAK

Bahan bakar adalah suatu bahan apapun yang bisa diubah menjadi energi. Mesin bensin adalah salah satu jenis mesin pembakaran dalam yang memanfaatkan energi dari proses pembakaran campuran udara-bahan bakar untuk dapat menghasilkan gerak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui proses pembakaran dan kinerja mesin bensin TV1 terhadap variasi beban dan campuran etanol pada bahan bakar. Dari hasil analisis yang diperoleh, Pada kinerja pembakaran mesin bensin dengan menggunakan variasi campuran etanol diketahui memberikan pengaruh pada titik SOB (start of burning) cenderung terjadi pada titik yang sama, meskipun tidak begitu signifikan, dan untuk EOB (ending of burning) terjadi pada titik yang sedikit berbeda. Untuk analisis tekanan silinder maksimum terjadi pada saat menggunakan bahan bakar pertalite E15 pada beban 12 kg. Pelepasan panas maksimum terjadi pada saat menggunakan bahan bakar pertamax E5 dengan beban 12 kg pada putaran 1500 rpm. Daya efektif maksimum diperoleh pada pembebanan 12 kg dengan menggunakan bahan bakar pertamax E10 sebesar 4,173 kW pada putaran 1800 rpm. Torsi maksimum diperoleh pada pembebanan 12 kg dengan menggunakan bahan bakar pertamax E15 sebesar 21,96 Nm pada putaran 1800 rpm. Konsumsi bahan bakar spesifik minimum diperoleh pada pembebanan 12 kg dengan menggunakan bahan bakar pertalite E10 sebesar 0,258 kg/kWh pada putaran 1500 rpm. Efisiensi volumetrik maksimum yang dihasilkan mesin adalah pada pembebanan 12 kg menggunakan bahan bakar pertamax E5 yaitu 38,69% pada putaran 1500 rpm. Efisiensi termal maksimum yang dihasilkan mesin adalah pada pembebanan 12 kg menggunakan bahan bakar pertalite E15 sebesar 33,486%

Kata Kunci: Etanol, daya efektif, efisiensi volumetrik, efisiensi termal, motor bensin, pertalite, pertamax, dan torsi.



THE EFFECT OF MIXING ETHANOL IN FUEL ON GASOLINE ENGINE PERFORMANCE

Nama : Willy Julian S.
Nim : D021 19 1067
Pembimbing I : Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT
Pembimbing II : Ir. Baharuddin Mire, MT

ABSTRACT

Fuel is any material that can be converted into energy. The gasoline engine is a type of internal combustion engine that utilizes energy from the combustion process of the air-fuel mixture to produce motion. The aim of this research is to determine the combustion process and performance of the TV1 gasoline engine with variations in load and ethanol mixture in the fuel. From the analysis results obtained, the combustion performance of gasoline engines using a variety of ethanol mixtures is known to have an influence on the SOB (start of burning) point which tends to occur at the same point, although not so significantly, and for EOB (end of burning) occurs at different point. For analysis, the maximum cylinder pressure occurs when using Pertalite E15 fuel at a load of 12 kg. The maximum heat release occurs when using Pertamina E5 fuel with a load of 12 kg at 1500 rpm. The maximum effective power is obtained at a load of 12 kg using Pertamina E10 fuel of 4.173 kW at 1800 rpm. The maximum torque obtained at a load of 12 kg using Pertamina E15 fuel is 21.96 Nm at 1800 rpm. The minimum specific fuel consumption obtained at a load of 12 kg using Pertalite E10 fuel is 0.258 kg/kWh at 1500 rpm. The maximum volumetric efficiency produced by the engine is at a load of 12 kg using Pertamina E5 fuel, is 38.69% at 1500 rpm. The maximum thermal efficiency produced by the engine is at a load of 12 kg using Pertalite E15 fuel of 33.486%

Keywords: Ethanol, effective power, volumetric efficiency, thermal efficiency, gasoline engine, pertalite fuel, pertamax fuel, and torque.



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atar berkat Rahmat serta kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, yang mengambil judul: PENGARUH PENCAMPURAN ETANOL PADA BAHAN BAKAR TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN.

Tujuan penulisan skripsi ini untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) bagi mahasiswa program S1 di program studi Jurusan Mesin Program Studi Teknik Mesin. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik juga saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini.

Terselesainya skripsi ini tidak terlepas dari bantuan banyak pihak, sehingga pada kesempatan ini dengan segala kerendahan hati dan penuh rasa hormat penulis menghanturkan bantuan moril maupun meteril baik langsung maupun tidak langsung dan penyusunan skripsi ini sehingga selesai, terutama kepada yang saya hormati:

1. Kepada Prof. Dr. Eng. Jalauddin ST., MT selaku Ketua Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
2. Kepada Prof. Dr. Eng. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT selaku pembimbing pertama yang telah memberikan kritik saran serta arahan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Kepada Ir. Baharuddin Mire, MT selaku pembimbing kedua atas segala bimbingan dan arahan serta masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Kepada teman-teman BRUZHLEZZ'19 yang selalu ada dan menemani penulis.
5. Kepada teman-teman di Laboratorium *Internal Combustion and Plasma* yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu namanya yang telah menemani penulis.



6. Kepada keluarga penulis tercinta nan terkasih, terima kasih atas dukungan dan doa yang tak pernah putus. Tak akan pernah mampu penulis sampai pada titik ini jika tanpa kehadiran kalian.

Akhir Kata penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tida langsung. Penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan menjadi bahan masukan dalam dunia Pendidikan

Gowa, 04 Juni 2024
Yang membuat pernyataan

Penulis



DAFTAR ISI

| | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| SKRIPSI | i |
| SKRIPSI | ii |
| LEMBAR PENGESAHAN | iii |
| PERNYATAAN KEASLIAN | iv |
| ABSTRAK | v |
| ABSTRACT | vi |
| KATA PENGANTAR | Error! Bookmark not defined. |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| DAFTAR SIMBOL | xvi |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3. Tujuan Penelitian..... | 4 |
| 1.4. Batasan Penelitian | 4 |
| 1.5. Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.6. Sistematika Penelitian..... | 5 |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1. Motor Bensin..... | 6 |
| 2.1.1. Pengertian Motor Bensin..... | 6 |
| 2.1.2. Motor Bensin 4 Langkah..... | 7 |
| 2.2. Siklus Otto | 9 |
| 2.3. Bahan Bakar | 10 |
| . Pengertian Bahan Bakar | 10 |
| . Bahan Bakar Etanol..... | 14 |
| . Bahan Bakar Pertamax | 16 |



| | |
|--|-----------|
| 2.3.4 Bahan Bakar Pertalite..... | 17 |
| 2.3.5. Bilangan Oktan | 18 |
| 2.4. Teori Pembakaran..... | 19 |
| 2.5. Dasar Perhitungan | 21 |
| BAB III METODOLOGI PENELITIAN | 26 |
| 3.1. Waktu dan Tempat | 26 |
| 3.2. Alat dan Bahan..... | 27 |
| 3.3.1. Alat yang Digunakan..... | 27 |
| 3.3.2. Bahan..... | 33 |
| 3.3. Prosedur Kerja..... | 33 |
| 3.4. Skema Penelitian | 36 |
| 3.5. Flowchart Penelitian | 38 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 39 |
| 4.1 Karakteristik Bahan Bakar dengan Pencampuran Etanol..... | 39 |
| 4.2 Perhitungan Kinerja Mesin | 40 |
| 4.3 Kinerja Pembakaran Mesin Bensin TV-1 | 49 |
| 4.3.1 Analisis Pembakaran Bahan Bakar | 49 |
| 4.3.2 Analisis Tekanan Silinder..... | 54 |
| 4.3.3 Analisis Pelepasan Panas (<i>Heat Release</i>)..... | 55 |
| 4.4 Kinerja Performa Mesin Bensin TV-1..... | 58 |
| a. Daya Efektif | 58 |
| b. Torsi..... | 59 |
| c. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) | 60 |
| d. Efisiensi Volumetrik..... | 62 |
| e. Efisiensi Termal | 63 |
| BAB V PENUTUP..... | 65 |
| 5.1 Kesimpulan | 65 |
| 5.2 Saran | 66 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 67 |
| LAMPIRAN..... | 69 |



DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-----------|--|----|
| Gambar 1 | Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah | 6 |
| Gambar 2 | Siklus Otto Ideal pada Mesin Bensin 4 Tak (<i>4-Stroke</i>) dan Diagram P- V Siklus Otto Ideal..... | 9 |
| Gambar 3 | Rumus Kimia Etanol..... | 14 |
| Gambar 4 | Fenomena Pembakaran Terhadap Sudut Engkol..... | 19 |
| Gambar 5 | Lokasi penelitian..... | 25 |
| Gambar 6 | Gelas Ukur..... | 26 |
| Gambar 7 | Wadah Penyimpanan | 26 |
| Gambar 8 | Timbangan skala 0,001 gr | 27 |
| Gambar 9 | <i>Stopwatch</i> | 27 |
| Gambar 10 | Bom Kalorimeter | 27 |
| Gambar 11 | <i>Magnetic Stirrer</i> | 28 |
| Gambar 12 | <i>Viscometer Ostwald</i> | 28 |
| Gambar 13 | Piknometer | 29 |
| Gambar 14 | Mesin Bensin TV-1..... | 29 |
| Gambar 15 | Panel Mesin | 30 |
| Gambar 16 | Komputer..... | 30 |
| Gambar 17 | Pompa | 31 |
| Gambar 18 | Etanol..... | 32 |
| Gambar 19 | Bahan Bakar | 32 |
| Gambar 20 | Skema Penelitian | 35 |
| Gambar 21 | Flowchart Penelitian | 36 |
| Gambar 22 | Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan etanol pada pertalite pada beban 6 kg dengan putaran mesin 1500 rpm..... | 47 |
| Gambar 23 | Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan etanol pada pertamax pada beban 6 kg dengan putaran mesin 1500 rpm..... | 48 |
| Gambar 24 | Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi | |



| | | |
|-----------|---|----|
| | penambahan etanol pada pertalite pada beban 9 kg dengan putaran mesin 1500 rpm..... | 48 |
| Gambar 25 | Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan etanol pada pertamax pada beban 9 kg dengan putaran mesin 1500 rpm..... | 49 |
| Gambar 26 | Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan etanol pada pertalite pada beban 12 kg dengan putaran mesin 1500 rpm..... | 49 |
| Gambar 27 | Perbandingan tekanan silinder terhadap sudut engkol dengan variasi penambahan etanol pada pertamax pada beban 12 kg dengan putaran mesin 1500 rpm..... | 50 |
| Gambar 28 | Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan variasi pencampuran etanol pada pertalite dengan putaran mesin 1800 rpm..... | 52 |
| Gambar 29 | Perbandingan tekanan silinder terhadap volume silinder dengan variasi pencampuran etanol pada pertamax dengan putaran mesin 1800 rpm..... | 52 |
| Gambar 30 | Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan pencampuran etanol pada pertalite dengan putaran mesin 1500 rpm | 53 |
| Gambar 31 | Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan pencampuran etanol pada pertamax dengan putaran mesin 1500 rpm | 54 |
| Gambar 32 | Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan pencampuran etanol pada pertalite dengan putaran mesin 1800 rpm | 54 |
| Gambar 33 | Perbandingan NHR terhadap sudut engkol dengan pencampuran etanol pada pertamax dengan putaran mesin 1800 rpm | 55 |
| Gambar 34 | Perbandingan daya efektif terhadap beban pada bahan bakar dengan variasi pencampuran etanol | 56 |
| Gambar 35 | Perbandingan torsi terhadap beban pada bahan bakar dengan variasi pencampuran etanol..... | 57 |
| 36 | Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap beban pada bahan bakar dengan variasi pencampuran etanol..... | 59 |



Gambar 37 Perbandingan efisiensi volumetrik terhadap beban pada bahan bakar dengan variasi pencampuran etanol60

Gambar 38 Perbandingan efisiensi termal terhadap beban pada bahan bakar dengan variasi pencampuran etanol61



DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Spesifikasi Biofuel Jenis Etanol Berdasarkan Keputusan Dirjen Migas No. 23204.K/10/DJM.S/2008..... | 14 |
| Tabel 2. Data Spesifikasi Bahan Bakar Pertamina | 17 |
| Tabel 3. Data Spesifikasi Bahan Bakar Peralite | 18 |
| Tabel 4. Jadwal penelitian | 26 |
| Tabel 5. Karakteristik bahan bakar hasil pencampuran etanol | 39 |
| Tabel 6. Fraksi massa terbakar pada variasi pencampuran etanol pada bahan bakar | 52 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1. Data Kinerja Pembakaran (Pertamax E5 beban 12 kg)..... | 69 |
| Lampiran 2. Data Perhitungan..... | 70 |
| Lampiran 3. Data Kinerja Mesin | 73 |
| Lampiran 4. Perbandingan daya efektif pada campuran bahan bakar dengan etanol | 74 |
| Lampiran 5. Perbandingan torsi pada campuran bahan bakar dengan etanol | 75 |
| Lampiran 6. Perbandingan konsumsi bahan bakar spesifik pada campuran bahan bakar dengan etanol..... | 76 |
| Lampiran 7. Perbandingan efisiensi volumetrik pada campuran bahan bakar dengan etanol | 77 |
| Lampiran 8. Perbandingan efisiensi termal pada campuran bahan bakar dengan etanol | 78 |



DAFTAR SIMBOL

| | | |
|-------------|--------------------------------------|-------------------|
| BP | Daya efektif | kW |
| η_m | Efisiensi mekanis | % |
| N | Putaran poros | rpm |
| n | Jumlah putaran persiklus | - |
| FC | Konsumsi bahan bakar | kg/h |
| VGU | Volume gelas ukur | cc |
| ρ_f | Massa jenis bahan bakar | kg/m ³ |
| SFC | Konsumsi bahan bakar spesifik | kg/kWh |
| Ma | Laju aliran udara aktual | kg/h |
| K | koefisien | - |
| C | kecepatan aliran udara | m/s |
| Do | Diameter orifice | mm |
| ho | Beda tekanan pada manometer | mmWc |
| ρ_a | Massa jenis udara pada kondisi masuk | kg/m ³ |
| Mth | Laju udara secara teoritis | kg/h |
| Vs | Volume silinder | cc |
| ρ_{ud} | Massa jenis udara | kg/m ³ |
| Ka | konstanta untuk motor 4 langkah | - |
| d | Diameter selinder | mm |
| s | Panjang langkah selinder | mm |
| Z | Jumlah silinder | - |
| AFR | Rasio udara-bahan bakar | - |
| η_{vo} | Efisiensi volumetrik | % |



| | | |
|-------------|-------------------------|-------|
| η_{th} | Efesiensi termal | % |
| Q_{tot} | Kalor total | kW |
| LHVbb | Nilai kalor bahan bakar | kJ/kg |



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia salah satunya pada sektor transportasi pada saat ini masih mengandalkan minyak bumi sebagai sumber energinya, sekarang ini cadangan minyak bumi yang dihasilkan Indonesia semakin sedikit sedangkan jumlah penduduk semakin bertambah disertai jumlah penggunaan kendaraan bermotor yang juga semakin meningkat, sehingga kebutuhan akan bahan bakar dari minyak bumi semakin meningkat pula. Kebutuhan minyak bumi yang semakin besar merupakan tantangan yang perlu diantisipasi dengan mencari sumber energi alternatif. Minyak bumi merupakan sumber energi yang tak terbarukan, butuh waktu jutaan bahkan ratusan juta tahun untuk mengkonversi bahan baku minyak bumi menjadi minyak bumi, peningkatan jumlah konsumsi minyak bumi menyebabkan menipisnya jumlah minyak bumi. (Darmawan, 2013). Berdasarkan data *Outlook* Energi Indonesia tahun 2019 memperlihatkan bahwa produksi minyak bumi pada tahun 2009 sebesar 346 juta barel (949 ribu bph) dan menjadi sekitar 283 juta barel (778 ribu bph) di tahun 2018. Dampak lain dari penggunaan minyak bumi adalah emisi. Total emisi CO₂ di dunia meningkat 63,35% dari tahun 1990 sampai 2018 sebesar 33513.25 Mt (*Metric tons*). (Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019)

Dengan menipisnya cadangan bahan bakar minyak (BBM), dibutuhkan penggunaan bahan bakar alternatif, di mana bahan bakar tersebut harus ekonomis, emisi yang dihasilkan aman bagi lingkungan dan memiliki nilai oktan yang tinggi. Dengan adanya dampak negatif yang ditimbulkan oleh pemakaian bensin yang mengandung timbal (TEL) terhadap lingkungan, maka penggunaan bensin dengan TEL sebagai bahan bakar motor bensin juga perlu diantisipasi dengan alternatif bahan bakar lain yang lebih aman. Salah satu bahan bakar alternatif yang dapat digunakan adalah bioetanol. Penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar alternatif ini diharapkan di satu sisi dapat mengurangi



dampak emisi gas buang kendaraan dan di sisi lain dapat mensubstitusi BBM. (Winarno, 2011)

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan oleh fermentasi glukosa yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Etanol merupakan kependekan dari etil alkohol (C_2H_5OH) sering disebut dengan *grain alcohol* atau alkohol. Etanol merupakan sumber energi terbarukan. Etanol dapat diproduksi sebagai bahan bakar dengan memfermentasi glukosa, yang diperoleh dari tumbuhan kaya karbohidrat, termasuk bahan dari selulosa, meskipun diperlukan tahap awal untuk mengubah struktur karbon menjadi karbohidrat. (Agariksa dkk, 2013). Etanol adalah hidrokarbon yang memiliki rantai pendek yang bisa dijadikan bahan bakar kendaraan, tetapi hanya sebatas zat aditif yang diharapkan dapat meningkatkan nilai oktan campuran bahan bakar tersebut. Etanol yang digunakan untuk campuran bahan bakar berasal dari hasil fermentasi biomassa yang mempunyai kandungan molase. Molase tersebut diproses sedemikian rupa untuk menghasilkan etanol. Penambahan etanol pada bahan bakar dapat memberikan manfaat yaitu dapat menaikkan bilangan oktan sehingga menaikkan efisiensi mesin, etanol juga mengandung oksigen sehingga dapat menyempurnakan pembakaran dan meminimalkan pencemaran udara. (Suhartoyo, 2021)

Terdapat berbagai penelitian yang mendukung keefektifan campuran etanol pada bahan bakar. Penelitian yang dilakukan oleh Agariksa dkk. (2013) melaporkan bahwa penggunaan etanol sebagai bahan bakar alternatif yang dicampurkan pada bahan bakar premium, yang menggunakan perbandingan campuran E0%, E15%, dan E25%, didapatkan bahwa penambahan etanol dapat mempengaruhi daya keluaran mesin, meskipun kenaikan dayanya sedikit, daya tertinggi yang mampu dihasilkan mesin ada pada campuran etanol 15% sebesar 9,02 kW. Sedangkan daya terendah ada pada campuran etanol 25% sebesar 7,53 kW. Pencampuran etanol dengan bensin dapat menurunkan konsumsi bahan bakar, pada campuran 0% didapatkan SFC sebesar 0,25 kg/kWh, dan daya terendah terdapat pada campuran etanol 15% sebesar 0,08 kg/kWh. Pencampuran etanol juga dapat meningkatkan efisiensi daya motor terhadap



energi yang mampu dihasilkan bahan bakar. Sedangkan Winarno (2011) melakukan penelitian campuran bahan bakar pertamax dan etanol pada motor bakar empat langkah 109cc dengan persentase etanol 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%, didapatkan bahwa terjadi kenaikan daya dan torsi dari semua jenis campuran bahan bakar yang diuji dibandingkan dengan pertamax. Adapun besarnya daya maksimum yang dihasilkan oleh bahan bakar campuran dengan prosentase bioethanol sebesar 20% mencapai 7,4 HP pada putaran 6947 rpm, sedangkan dengan bahan bakar pertamax hanya 7,1 HP pada putaran 7561 rpm. Namun pada putaran yang lebih tinggi, daya dan torsi yang dihasilkan oleh bahan bakar dengan persentase etanol masing-masing 15% dan 20% cenderung lebih rendah dari bahan bakar pertamax. Nilai SFC mengalami penurunan pada seluruh *range* putaran yang diuji seiring dengan naiknya persentase etanol dalam bahan bakar.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan etanol sebagai campuran bahan bakar bensin memberikan dampak yang positif dari kinerja mesin. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dikaji pengaruh penambahan etanol pada bahan bakar jenis pertalite dan pertamax dengan variasi campuran etanol.

Berdasarkan uraian diatas, maka pencampuran etanol pada bahan bakar bensin diharapkan mampu meningkatkan performa dan efisiensi mesin bensin. Karena latar belakang tersebut maka penelitian ini dilakukan dengan judul:

“PENGARUH PENCAMPURAN ETANOL PADA BAHAN BAKAR TERHADAP KINERJA MESIN BENSIN”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa masalah yang dapat dirumuskan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh pencampuran etanol pada bahan bakar terhadap karakteristik bahan bakar?
Bagaimana pengaruh pencampuran etanol pada bahan bakar terhadap proses pembakaran?



3. Bagaimana pengaruh pencampuran etanol pada bahan bakar terhadap performa mesin bensin?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai pada penelitian ini adalah untuk :

1. Menganalisis karakteristik bahan bakar dengan pencampuran etanol pada bahan bakar.
2. Menganalisis proses pembakaran yang dihasilkan dari pencampuran etanol pada bahan bakar.
3. Menganalisis performa mesin bensin yang diakibatkan dari pencampuran etanol pada bahan bakar.

1.4. Batasan Penelitian

Beberapa batasan penelitian yang perlu diperhatikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mesin yang digunakan adalah mesin bensin TV1.
2. Menggunakan mesin bensin satu silinder.
3. Rasio kompresi yang digunakan adalah rasio kompresi 10:1.
4. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian ini adalah pertamax dan pertalite murni dan kombinasi dengan etanol yang mempunyai kadar alkohol 99%, yaitu sebagai berikut: Pertamax murni atau tanpa kombinasi, E5 (kombinasi pertamax 95% dan etanol 5%), E10 (kombinasi pertamax 90% dan etanol 10%), dan E15 (kombinasi pertamax 85% dan etanol 15%). Kombinasi etanol yang sama juga digunakan pada bahan bakar pertalite.
5. Beban yang digunakan 6 kg, 9 kg, dan 12 kg.
6. Putaran mesin yang digunakan adalah 1500rpm dan 1800rpm.



Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan sebagai wadah pengaplikasian pengetahuan yang dimiliki, khususnya dalam bidang motor bakar.

2. Penelitian ini diharapkan memberi pengetahuan komposisi bahan bakar kombinasi etanol untuk mendapatkan performa mesin terbaik.
3. Penelitian ini diharapkan menjadi bahan informasi untuk penelitian selanjutnya yang kemudian bisa dikembangkan untuk penelitian lebih lanjut.

1.6. Sistematika Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, penulis menggunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan tentang landasan teori dan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan tema penelitian dan dasar-dasar teori yang mendukung penelitian.

BAB III: Metode Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode pengumpulan data, alat dan bahan yang digunakan, diagram alir penelitian serta langkah dan proses penelitian.

BAB IV: Hasil dan Pembahasan

Dalam bab ini berisi tentang pembahasan dari penelitian disertai dengan tabel dan grafik yang di dapatkan selama melakukan pengambilan data

BAB V : Penutup

Pada bab ini berisi mengenai kesimpulan dari analisa yang telah dilakukan saran untuk penelitian selanjutnya dan lampiran.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Motor Bensin

2.1.1. Pengertian Motor Bensin

Motor bensin adalah motor bakar yang merupakan salah satu jenis mesin kalor yang proses pembakarannya terjadi di dalam mesin itu sendiri sehingga gas pembakaran yang terjadi sekaligus sebagai fluida kerjanya. Motor bensin merupakan salah satu jenis mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang menggunakan penyalaan busi (*spark plug*) pada proses pembakarannya, dan dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin atau sejenisnya. Motor bensin bekerja dengan memanfaatkan energi kalor dari proses pembakaran menjadi energi mekanik. (Basyirun dkk, 2008)

Pada mesin bensin, langkah awal proses pembakaran dimulai ketika udara dan bahan bakar dicampur sebelum masuk ke ruang bakar, namun seiring perkembangan teknologi mesin bensin modern mengaplikasikan injeksi bahan bakar langsung ke silinder ruang bakar termasuk mesin bensin 2 tak untuk mendapatkan emisi gas buang yang ramah lingkungan. Pencampuran udara dan bahan bakar dilakukan oleh karburator atau sistem injeksi, keduanya mengalami perkembangan dari sistem manual sampai dengan penambahan sensor-sensor elektronik. Sistem Injeksi Bahan bakar di motor otto terjadi di luar silinder, tujuannya untuk mencampur udara dengan bahan bakar seproporsional mungkin. Hal ini disebut EFI (*Electronic Fuel Injection*). (Basyirun dkk, 2008)

Pada motor bensin sebelum terjadinya proses pembakaran, suhu gas dalam silinder tidak boleh terlalu tinggi. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari terjadinya detonasi dan pembakaran sendiri (*self-ignition*). Oleh sebab itu maka perbandingan kompresi pada mesin bensin dibatasi dan biasanya sampai dibawah 10. (Basyirun dkk, 2008)

Motor bensin atau mesin otto dari Nikolaus Otto adalah sebuah tipe mesin pembakaran dengan jenis pembakaran dalam yang dalam proses pembakarannya selalu menggunakan busi sebagai pemercik bunga api awal



dan dirancang untuk menggunakan bahan bakar bensin atau sejenisnya. Motor bensin juga sering disebut *spark ignition engine* yang berarti bahwa mesin ini memerlukan percikan bunga api untuk mengawali pembakaran di dalam silinder. Bunga api dipercikan ke dalam ruang bakar ketika piston beberapa derajat sebelum mencapai titik mati atas (TMA) sehingga terjadi kenaikan energi kalor dalam ruang bakar energi diubah menjadi energi mekanik yang akan digunakan untuk menggerakkan poros engkol. (Basyirun dkk, 2008)

Unjuk kerja motor bensin dipengaruhi oleh beberapa hal seperti besarnya perbandingan kompresi, tingkat homogenitas campuran bahan bakar dengan udara yang ada. Bilangan oktana atau angka oktan bensin dan tekanan udara masuk ruang bakar juga mempengaruhi. Semakin besar perbandingan udara dengan bahan bakar yang digunakan maka mesin akan semakin efisien akan tetapi semakin besar perbandingan dari kompresi akan menimbulkan *knocking* pada mesin yang menyebabkan bunyi berisik sehingga untuk memperbaiki kualitas campuran bahan bakar dengan udara maka alirannya harus dibuat turbulen agar tingkat homogenitas campuran akan lebih baik. (Basyirun dkk, 2008)

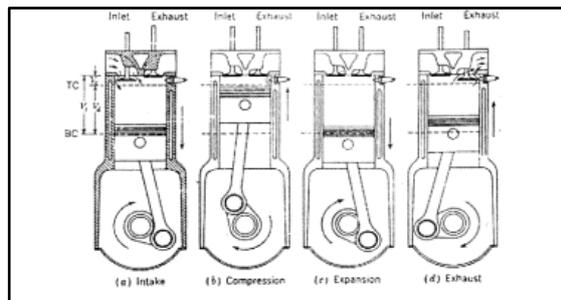
Motor bensin berbeda dengan motor diesel. Perbedaan itu terdapat pada metode pencampuran antara bahan bakar dengan udara. Perbedaan mencolok yang membedakan motor diesel dan motor bensin adalah pada saat langkah hisap tepatnya. Pada motor diesel ketika langkah hisap hanya udara saja yang dihisap ke dalam ruang bakar untuk kemudian udara tersebut dikompresi hingga mencapai suhu dan tekanan yang cukup tinggi dan akan disemprotkan bahan bakar (solar) ke dalam ruang bakar ketika piston hampir akan mencapai TMA, sedangkan pada motor bensin pada langkah hisap, udara dan bahan bakar telah dicampur sebelum masuk ke ruang bakar. (Basyirun dkk, 2008)

Motor Bensin 4 Langkah

Mesin 4 langkah adalah motor yang setiap siklus kerjanya diselesaikan 4 gerak bolak balik langkah piston atau 2 kali putaran poros engkol.



Langkah piston adalah gerak piston tertinggi disebut TMA (Titik Mati Atas) sampai yang terendah disebut TMB (Titik Mati Bawah). Sedangkan siklus kerja adalah rangkaian proses yang dilakukan oleh gerak bolak balik piston yang membentuk rangkaian siklus tertutup. (Raharjo, 2008)



Gambar 1 Siklus Kerja Motor Bensin Empat Langkah.
(Sumber: Wiratmaja, 2010)

Proses siklus kerja motor 4 langkah adalah sebagai berikut:

- Langkah hisap terjadi pada saat piston gerakan piston dari TMA (Titik Mati Atas) menuju TMB (Titik Mati Bawah) akan menghasilkan tekanan yang sangat rendah didalam ruang silinder sehingga campuran bahan bakar udara akan masuk mengisi silinder melalui katup masuk yang terbuka saat langkah isap sampai torak meninggalkan TMB, sementara katup buang dalam keadaan menutup.
- Langkah kompresi terjadi pada saat gerakan torak dari TMB atas TMA setelah langkah hisap, dimana katup hisap tertutup dan katup buang tertutup pada saat torak hampir mencapai TMA campuran bahan bakar dan udara dibakar.
- Langkah ekspansi atau usaha terjadi pada gerakan torak dari TMA ke TMB setelah kompresi dan pembakaran, dimana katup isap dan buang juga tertutup.
- Langkah buang terjadi pada gerakan torak dari TMB ke TMA setelah langkah kerja dimana katup hisap tertutup dan buang terbuka.

Ketika torak mencapai TMA, akan mulai bergerak lagi untuk persiapan berikutnya, yaitu langkah isap. Poros engkol telah melakukan dua putaran penuh dalam satu siklus terdiri dari empat langkah, isap, kompresi, usaha,



buang yang merupakan dasar kerja dari pada mesin empat langkah torak hanya satu langkah saja yang menghasilkan tenaga, yaitu langkah usaha. (Mendrofa, 2021)

2.2. Siklus Otto

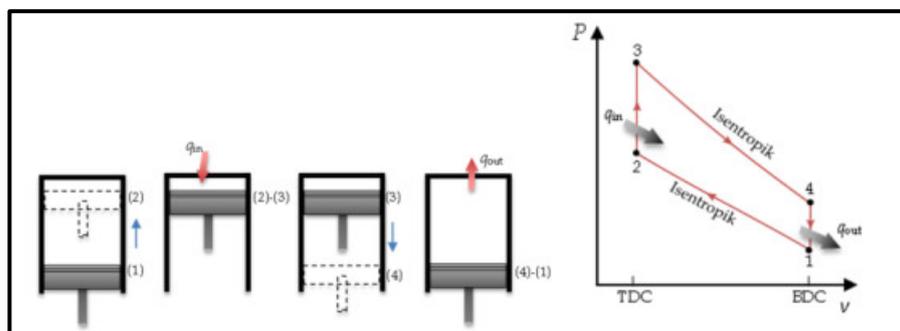
Siklus Otto merupakan siklus yang bekerja pada mesin bensin ideal. Mesin ini disebut juga mesin dengan pengapian cara percikan (*spark-ignition engines*). Bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar dan diberi percikan api (*spark*) sehingga terjadi pembakaran di ruang bakar. Pada Gambar 2.2 menunjukkan gerakan searah dari piston silinder di dalam ruang bakar dengan 4 langkah (2 kali siklus mekanikal) dan 2 kali putaran dari *crankshaft*. Siklus ini merupakan siklus Otto ideal yang terjadi pada mesin pembakaran dalam 4-*stroke* (4-tak). Adapun proses yang terjadi setiap langkahnya yaitu:

Langkah (1) ke (2) adalah proses kompresi secara isentropik dengan gerakan piston silinder dari TMB ke TMA,

Langkah (2) ke (3) terjadi penambahan kalor dengan volume konstan dan posisi piston silinder berada pada titik TMA,

Langkah (3) ke (4) merupakan proses ekspansi piston silinder ke titik TMB secara isentropik,

Langkah (4) ke (1) adalah proses pengeluaran kalor dengan volume konstan yang terjadi pada titik TMB,



Gambar 2 Siklus Otto Ideal pada Mesin Bensin 4 Tak (4-Stroke) dan Diagram P- V Siklus Otto Ideal

(Sumber: Sari T. P., 2022)



2.3. Bahan Bakar

2.3.1. Pengertian Bahan Bakar

Bahan bakar merupakan bahan – bahan yang digunakan dalam proses pembakaran. Tanpa adanya bahan bakar tersebut pembakaran tidak akan mungkin dapat berlangsung, Sifat pada masing-masing bahan bakar berbeda. Sifat ini akan menentukan dalam proses pembakarannya, sifat yang kurang menguntungkan dapat disempurnakan dengan menambahkan bahan kimia ke dalam bahan bakar tersebut (Suprpto, 2004:33).

Sedangkan menurut para ahli yang lain, bahan bakar yang digunakan pada mesin pembakaran dalam dibedakan menjadi tiga yaitu gas, cair, dan padat. Komposisi utama dari bahan bakar terdiri dari hydrogen dan karbon. Biasanya sering disebut sebagai hidrokarbon. Rumus kimia dari bahan bakar adalah C_mH_n . Namun demikian hingga saat ini bahan bakar yang paling sering dipakai adalah bahan bakar mineral cair. Hal ini dilakukan karena banyaknya keuntungan – keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan bahan bakar dengan jenis mineral salah satunya adalah sifat zat cair yang menyesuaikan tempat atau wadahnya. (Maleev, 1945)

Sedangkan bila didefinisikan secara umum 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 eksotermal dan reaksi nuklir (seperti fisi nuklir atau fusi nuklir). Hidrokarbon (termasuk didalamnya bensin dan solar) sejauh ini merupakan jenis bahan bakar yang paling sering digunakan manusia, bahan bakar lainnya yang bisa dipakai adalah logam radioaktif. Jenis bahan bakar berdasarkan bentuk dan wujudnya:

Bahan Bakar Padat

Bahan bakar padat merupakan bahan bakar berbentuk padat dan kebanyakan menjadi sumber energi panas, misalnya kayu dan batubara.



Energi panas yang dihasilkan bisa digunakan untuk memanaskan air menjadi uap untuk menggerakkan peralatan dan menyediakan energi. (Wirantara, 2019)

- Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair adalah bahan bakar yang strukturnya tidak rapat, jika dibandingkan dengan bahan bakar padat molekulnya dapat bergerak bebas. Contoh dari bahan bakar cair adalah bensin/gasolin/premium, minyak solar, minyak tanah. Bahan bakar cair yang biasa dipakai dalam industri, transportasi maupun rumah tangga adalah fraksi minyak bumi. (Wirantara, 2019)

- Bahan Bakar Gas

Bahan bakar gas ada dua jenis, yakni *Compressed Natural Gas* (CNG) dan *Liquid Petroleum Gas* (LPG). CNG pada dasarnya terdiri dari metana, LPG adalah campuran dari propana, butana dan bahan kimia lainnya. LPG yang digunakan untuk kompor rumah tangga sama bahannya dengan bahan bakar gas yang biasa digunakan untuk sebagian kendaraan bermotor. (Wirantara, 2019)

Adapun sifat fisik bahan bakar perlu diketahui adalah sebagai berikut:

- (a) 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 kalorimeter 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 dkk, 2010).

Nilai kalor merupakan besarnya energi kalor yang diserap oleh air tiap satuan massa bahan bakar.



$$Q = m C \Delta T \quad (2.1)$$

dimana:

$Q = \text{kalor yang diserap oleh air (kJ)}$

$m = \text{massa air (Kg)}$

$C = \text{kalor jenis air (kJ/KgK)}$

$\Delta T = \text{kenaikan temperatur air (K)}$

Massa air diketahui dari volume air dalam *vessel calorimeter*. Air sebagai media 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.

$$\text{koreksi radiasi} = n \cdot v^1 + \left(\frac{-v + v^1}{2} \right) \quad (2.2)$$

dimana:

$n = \text{jarak waktu dari pembakaran sampai temperatur maksimum}$

$v^1 = \text{rata-rata penurunan temperatur pada akhir percobaan}$

$v = \text{rata-rata kenaikan temperatur pada awal percobaan}$

Hasil dari koreksi radiasi dijumlahkan dengan nilai ΔT untuk menghasilkan $\Delta T_{corrected}$.



$$\Delta T \text{ corrected} = \Delta T + \text{koreksi radiasi} \quad (2.3)$$

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.

$$\text{nilai kalor bahan bakar} = \frac{\text{kalor yang diserap}}{\text{massa sampel bahan bakar}} \quad (2.4)$$

(b) Viskositas

Fluida yang mengalir melalui sebuah pipa dapat dipandang terdiri atas lapisan–lapisan tipis zat alir 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.

(c) 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.



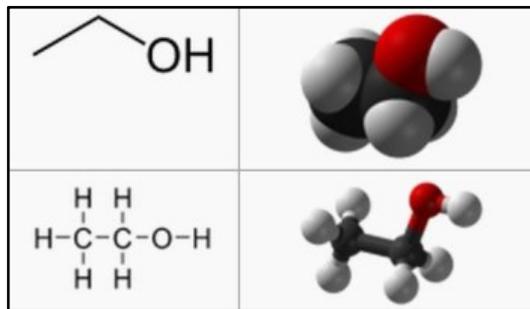
$$\rho = \frac{m_{sampel} - m_{aquades}}{V_{piknometer}} + \rho_{aquades} \quad (2.5)$$

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)

2.3.2. Bahan Bakar Etanol

Etanol dipasaran dikenal dengan nama alkohol. Etanol memiliki rumus molekul C₂H₅OH. Etanol atau alkohol ini adalah bahan kimia dalam bentuk cairan yang bening, tidak berwarna, mudah menguap, memiliki aroma yang tajam, dan terasa pedih di kulit. (Wiratmaja, 2010)



Gambar 3 Rumus Kimia Etanol
(Sumber: rumuskimia.net)

Etanol adalah salah satu bahan bakar alternatif yang memiliki keunggulan seperti ramah lingkungan serta menghasilkan gas emisi karbon yang rendah dibandingkan dengan bensin atau sejenisnya (sampai 85% lebih rendah). Etanol dapat dibuat dari etilen atau dari fermentasi (peragian) biji padi-padian dan gula. Banyak diantaranya dibuat dari jagung, gula, tebu, dan bahkan

ulosa bahan kimia untuk cat (kayu dan kertas). (Kristanto, 2015)

Penggunaan etanol sebagai campuran bensin memiliki keunggulan sebagai berikut: (FH Wisanggeni, 2018)



- Meningkatkan bilangan oktan (dapat menggantikan TEL sebagai aditif sehingga mengurangi emisi logam berat timbal)
- Menghasilkan pembakaran lebih sempurna (mengurangi emisi gas karbon monoksida)
- Mengurangi emisi gas buang karbondioksida serta senyawa sulfur sehingga mengurangi hujan asam.

Terdapat beberapa cara penggunaan etanol untuk campuran bensin sebagai berikut: (FH Wisanggeni, 2018)

- *Hydrous* etanol (96% volume), yaitu etanol yang masih mengandung air sebesar 4%
- *Anhydrous* etanol yaitu etanol bebas air dan memiliki kemurnian 99%. Etanol ini dapat dicampur dengan bensin konvensional dengan kadar antara 5%-85%. Pada bensin dengan campuran etanol 5-10%, bahan bakar ini dapat langsung digunakan pada mesin kendaraan tanpa perlu ada modifikasi. Campuran yang umum digunakan adalah 10% etanol dan 90% bensin (dikenal dengan nama E-10). Campuran etanol dengan kadar yang lebih tinggi (kadar etanol 85% atau dikenal dengan nama E-85) hanya bisa digunakan pada mesin kendaraan yang sudah dimodifikasi yang dikenal dengan nama *flexible fuel vehicle*. Modifikasi umumnya dilakukan pada tangki BBM dengan sistem injeksi BBM.



Tabel 1 Spesifikasi Biofuel Jenis Etanol Berdasarkan Keputusan Dirjen Migas No. 23204.K/10/DJM.S/2008

| No | Sifat | Unit, min/max | Spesifikasi |
|----|---------------------------------------|----------------------|--|
| 1 | Kadar etanol | %-v, min | 99,5 (sebelum denaturasi) 94,0 (setelah denaturasi) |
| 2 | Kadar methanol | mg/L, max | 300 |
| 3 | Kadar air | %-v, max | 1 |
| 4 | Kadar denaturan | %-v, min %-v, max | 2 5 |
| 5 | Kadar tembaga (Cu) | mg/Kg, max | 0,1 |
| 6 | Keasaman sebagai CH ₃ COOH | mg/L, max | 30 |
| 7 | Tampakan | | Jernih dan terang, tidak ada endapan dan kotoran |
| 8 | Kadar ion klorida (Cl ⁻) | mg/L, max | 40 |
| 9 | Kandungan Belerang (S) | mg/L, max | 50 |
| 10 | Kadar getah (gum), dicuci | mg/100 ml, max | 5,0 |
| 11 | Phe | | 6,5 – 9,0 |

2.3.3. Bahan Bakar Pertamax

Pertamax merupakan bahan bakar ramah lingkungan beroktan tinggi yang memiliki RON 92. Pertamax mempunyai sifat-sifat yang menguntungkan, diantaranya memiliki stabilitas oksidasi yang tinggi serta kandungan olefin, *aromatic* dan *benzene*-nya pada level yang rendah. Dengan demikian jenis bahan bakar ini dapat menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna pada mesin. (Prasetya dkk, 2019)

Formula baru dari pertamax yang terbuat dari bahan baku berkualitas tinggi memastikan mesin kendaraan bermotor bekerja dengan lebih baik, lebih bertenaga, “*knock free*”, rendah emisi, dan memungkinkan penghematan pemakaian bahan bakar. Pertamax ditujukan untuk kendaraan yang mempersyaratkan penggunaan bahan bakar beroktan tinggi dan tanpa timbal (*unleaded*). Pertamax juga direkomendasikan untuk kendaraan yang

produksi diatas tahun 1990 terutama yang telah menggunakan teknologi injeksi dengan *electronic fuel injection* dan *catalytic converters*. (Winarno, 2011)



Tabel 2 Data Spesifikasi Bahan Bakar Pertamax

| 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 ³⁾ | 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 Benzena | % 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 | |
| | Residu | % vol | - | 2.0 | |
| 13 | Sedimen | mg/l | - | 1 | ASTM D5452 |
| 14 | Unwashed Gum | mg/100 ml | - | 70 | ASTM D381 |
| 15 | Washed Gum | mg/100 ml | - | 5 | ASTM D381 |
| 16 | Tekanan Uap | kPa | 45 | 60 | ASTM D5191 atau ASTM D323 |
| 17 | Berat Jenis (pada suhu 15 °C) | kg/m ³ | 715 | 770 | ASTM D4052 atau ASTM D1298 |
| 18 | Korosi Bilah Tembaga | merit | Kelas 1 | | ASTM D130 |
| 19 | Uji Doctor | | Negatif | | IP 30 |
| 20 | Sulfur Mercaptan | % massa | - | 0.002 | ASTM D3227 |
| 21 | Penampilan Visual | | Jernih dan Terang | | |
| 22 | Warna | | Biru | | |
| 23 | Kandungan Pewarna | gr/100 l | - | 0.13 | |

2.3.4 Bahan Bakar Pertalite

Pertalite adalah merupakan Bahan bakar minyak (BBM) jenis baru yang diproduksi Pertamina, Jika dibandingkan dengan premium Pertalite memiliki kualitas bahan bakar lebih sebab memiliki kadar Research Oktan Number (RON) 90, di atas Premium, yang hanya RON 88. Pertalite merupakan produk yang lebih bersih dan ramah terhadap lingkungan. kualitas dari Pertalite yang lebih bagus. serta diproduksi untuk cocok dengan segala jenis kendaraan.

Pertalite adalah bahan bakar minyak dari Pertamina dengan RON 90. Pertalite dihasilkan dengan penambahan zat aditif dalam proses pengolahannya di kilang minyak. Pertalite direkomendasikan untuk kendaraan yang memiliki kompresi 9,1-10,1 dan mobil tahun 2000 ke atas, terutama yang telah menggunakan teknologi setara dengan *Electronic Fuel Injection* (EFI) dan *catalytic converters* (pengubah katalitik). (Matondang, 2017)



Tabel 3 Data Spesifikasi Bahan Bakar Pertalite

| No. | KARAKTERISTIK | SATUAN | BATASAN MIN | BATASAN MAX | METODE UJI |
|-----|---------------------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|---|
| 1 | Bilangan Oktana Riset | RON | 90.0 | - | ASTM D2699 |
| 2 | Stabilitas Oksidasi | menit | 360 | - | ASTM D525 |
| 3 | Kandungan Sulfur | % m/m | - | 0.05 ¹⁾ | ASTM D2622 atau ASTM D4294 atau ASTM D5453 atau ASTM D7039 |
| 4 | Sulfur Mercaptan | %m/m | | 0.002 ²⁾ | ASTM D3227 |
| 5 | Kandungan Timbal (Pb) | g/l | Dilaporkan | | ASTM D3237 atau ASTM D5059 |
| | | | Injeksi timbal tidak diizinkan | | |
| 6 | Kandungan Logam - Mangan - Besi | mg/l | - | 1 ³⁾ | ASTM D3831 atau ASTM D5185 atau UOP 391 |
| | | | - | 1 ³⁾ | |
| | | | - | 1 ³⁾ | |
| 7 | Kandungan Oksigen | % m/m | - | 2.7 ⁴⁾ | ASTM D4815 atau ASTM D6839 atau ASTM D5599 |
| 8 | Kandungan Olefin | % v/v | Dilaporkan | | ASTM D1319 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730 |
| 9 | Kandungan Aromatik | % v/v | Dilaporkan | | ASTM D1319 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730 atau ASTM D5580 |
| 10 | Kandungan Benzena | % v/v | Dilaporkan | | ASTM D5580 atau ASTM D6839 atau ASTM D6730 atau ASTM D3606 |
| 11 | Distilasi : | | | | ASTM D86 |
| | 10% Vol Penguapan | °C | - | 74 | |
| | 50% Vol Penguapan | °C | 77 | 125 | |
| | 90% Vol Penguapan | °C | - | 180 | |
| | Titik Didih Akhir | °C | - | 215 | |
| | Residu | % vol | - | 2.0 | |
| 12 | Sedimen | mg/l | - | 1 | ASTM D5452 |
| 13 | Unwashed Gum | mg/100ml | - | 70 | ASTM D381 |
| 14 | Washed Gum | mg/100ml | - | 5 | ASTM D381 |
| 15 | Tekanan Uap | kPa | 45 | 69 | ASTM D5191 atau ASTM D323 |
| 16 | Berat Jenis (pada suhu 15 °C) | kg/m ³ | 715 | 770 | ASTM D4052 atau ASTM D1298 |
| 17 | Korosi Bilah Tembaga | merit | | Kelas 1b | ASTM D130 |
| 18 | Penampilan Visual | | | Jernih dan Terang | Visual |
| 19 | Warna | | | Hijau | Visual |

2.3.5. Bilangan Oktan

Bilangan oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Karena besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi (dan bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi *knocking* atau ketukan di dalam mesin. *Knocking* ini akan menyebabkan mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus dihindari. (Naryanto, 2021)

Bilangan oktan diperoleh dengan cara membandingkan bahan bakar uji dengan bahan bakar referensi yang diuji dengan menggunakan mesin CFR (*Cooperative Fuel Research*) yang dioperasikan pada kondisi tertentu. Dalam gujian dan pengetesan bilangan oktana, terdapat berbagai tipe penilaian ini sebagai berikut:



1. *Research Octane Number (RON)*

Metode *Research Octane Number (RON)* adalah tipe penilaian oktan yang paling umum di seluruh dunia. RON ditentukan dengan menjalankan tes bahan bakar dalam mesin dengan putaran 600 rpm, dan menaikkan rasio kompresi di bawah kondisi yang terkendali, dan membandingkan hasilnya secara keseluruhan untuk campuran iso-oktana (2,2,4-trimetilpentana) dan n-heptana. (Naryanto, 2021)

2. *Motor Octane Number (MON)*

MON merupakan pengujian yang lebih baik tentang bagaimana perilaku bahan bakar ketika mengalami pembebanan seperti yang dilakukan pada 900 rpm, bukannya pada 600 rpm seperti pada pengujian RON. Pengujian MON menggunakan mesin uji yang sama dengan yang digunakan pada pengujian RON, tetapi dengan memanaskan campuran bahan bakar terlebih dahulu, kecepatan mesin yang lebih tinggi, dan variabel waktu pembakaran untuk menitikberatkan secara lebih lanjut pada daya tahan bahan bakar dari *knocking*. Tergantung pada komposisi bahan bakar, MON pada bensin modern berkisar 8 sampai 10 poin lebih rendah dari RON. (Naryanto, 2021)

3. *Anti-Knock Index (AKI)*

Di negara Amerika Serikat, Kanada, dan beberapa negara lain, nilai oktan dari bahan bakar adalah nilai rata-rata dari RON dan MON, yang disebut *Anti-Knock Index (AKI)*, atau disebut juga *Road Octane Number (RdON)*, *Pump Octane Number (PON)*, atau $(R+M)/2$. (Naryanto, 2021)

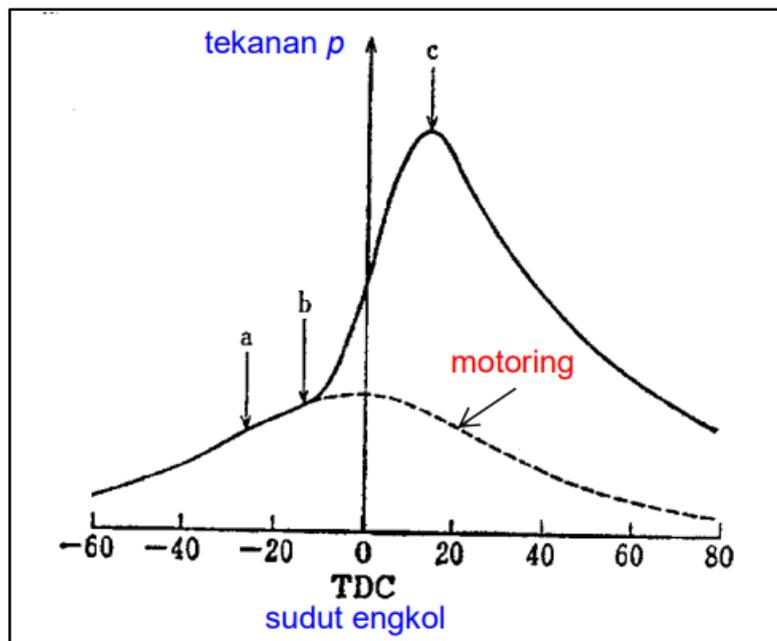
2.4. Teori Pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi kimia yang terjadi antara suatu bahan bakar dan oksigen yang mengakibatkan produksi panas yang tampak dalam bentuk cahaya berpendar ataupun api. Agar sebuah proses pembakaran bisa terjadi, proses tersebut harus memenuhi syarat segitiga pembakaran, apabila salah satu dari ketiga syarat ini tidak terpenuhi maka tidak akan terjadi proses pembakaran. Syarat terjadinya pembakaran adalah sebagai berikut: (Naryanto, 2021)



1. Bahan Bakar, adalah suatu senyawa yang mengandung unsur karbon, misalnya: Bensin, hidrogen, dan batu bara
2. Sumber Panas (*Heat Source*) adalah sumber panas untuk menginisiasi terjadinya pembakaran.
3. *Oxidizer*, adalah zat aditif yang proses pengoksidasian bahan bakar misalnya: Oksigen, udara.

Proses pembakaran dimulai dari busi dimana energi yang dihasilkan dari pembakaran akibat percikan busi lebih besar dari energi yang hilang ke dinding silinder. Apabila proses pembakaran bisa dimulai dengan baik maka akan terbentuk api berbentuk bola. Api mengalami propagasi (perambatan) ke arah *unburned gas* (gas belum terbakar) dengan kecepatan tertentu yang disebut *flame speed* (kecepatan api). Kecepatan ini akan meningkat seiring dengan meningkatnya tingkat turbulensi. *Unburned gas* mengalami kompresi, terbakar dan berubah menjadi *burned gas*. Api akan padam pada daerah di dekat dinding akibat adanya rugi kalor ke dinding silinder. Fenomena ini disebut *wall-quenching*. (Naryanto, 2021)



Gambar 4 Fenomena Pembakaran Terhadap Sudut Engkol
(Sumber: Naryanto, 2021)



- a : penyalaan busi dengan jangka waktu $\pm 100 \mu\text{s}$ dengan energi penyalaan 40~80 mJ (Naryanto, 2021)
- b : terjadi kenaikan tekanan secara drastis \rightarrow menunjukkan mulai terjadi pembakaran. (Naryanto, 2021)
- a-b: terjadi keterlambatan penyalaan ($\pm 1/600 \text{ sec}$) yang tergantung kepada rasio ekuivalen, kondisi aliran di sekitar busi, temperatur dan tekanan awal campuran. Apabila busi dinyalakan tapi tidak terjadi proses pembakaran terjadi *misfire* yang akan tergantung kepada kondisi campuran, kondisi aliran, kondisi bunga api, bentuk dan jarak elektroda (jarak terlalu sempit \rightarrow *quenching*, terlalu lebar \rightarrow pengaruh aliran sekitar busi sangat besar). (Naryanto, 2021)
- b-c: waktu yang diperlukan api untuk propagasi ke seluruh bagian silinder yang tergantung kepada *flame speed* (maksimum pada daerah sedikit kaya) dan kondisi aliran. Pada prinsipnya semakin besar semakin baik. (Naryanto, 2021)

2.5. Dasar Perhitungan

Adapun parameter-paramter yang akan dijadikan sebagai perhitungan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

a. Daya Efektif

Daya efektif adalah daya poros yang digunakan untuk mengangkat beban pada mesin yang diperoleh dari hasil pengukuran torsi dikalikan dengan kecepatan sudut putaran mesin (RPM).

$$BP = \frac{T \cdot N}{9549,3} \text{ (kW)} \quad (2.6)$$

Keterangan:

BP = Daya Efektif, (BP)

N = Putaran Poros, (rpm)

T = Torsi (N.m)



b. Komsumsi Bahan Bakar (FC)

Konsumsi bahan bakar adalah nilai yang menunjukkan nilai pemakaian bahan bakar yang dihitung dengan cara mengukur waktu yang diperlukan oleh mesin untuk menghabiskan sejumlah bahan bakar yang ada pada gelas ukur, yang mana dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$FC = \frac{V_{GU} \cdot 10^{-6} \cdot \rho_f \cdot 3600}{t} \text{ (kg/h)} \quad (2.7)$$

Keterangan:

| | | |
|------------------|---|---|
| FC | = | Konsumsi Bahan Bakar (kg/h) |
| VGU | = | Konsumsi bahan bakar pada gelas ukur (cc/min) |
| ρ_f | = | Massa jenis bahan bakar, (kg/m ³) |
| 10 ⁻⁶ | = | Faktor Koversi cc ke m ³ |
| 3600 | = | Faktor Konversi detik ke jam |
| t | = | Waktu komsumsi bahan bakar (s) |

c. Komsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah nilai yang menyatakan banyaknya bahan yang diperlukan mesin dalam setiap satuan waktu untuk menghabiskan 1 kW konsumsi bahan bakar spesifik. Paramater ini dapat digunakan sebagai penjelasan untuk mengukur ekonomisnya suatu mesin. Dikatakan ekonomis jika nilai SFC semakin turun akan tetapi konsumsi bahan bakar spesifik yang diubah dari energi kalor suplai nilainya naik untuk menghitung nilai konsumsi bahan bakar dapat menggunakan persamaan berikut:

$$SFC = \frac{FC}{BP} \text{ (kg/kWh)} \quad (2.8)$$



Keterangan :

SFC = *Specific Fuel Consumption* (kg/kW.h)

BP = Daya Efektif, (kg/h)

FC = Komsumsi Bahan Bakar (kg/h)

d. Laju Aliran Udara Aktual (M_a)

Untuk mengukur jumlah pemakaian udara sebenarnya, digunakan sebuah plat *orifice* sisi tajam dengan diameter 20 mm yang dihubungkan dengan sebuah manometer presisi. Perbedaan tekanan akibat aliran udara yang melintasi plat *orifice* diukur oleh manometer, menggambarkan konsumsi udara yang sanggup dihisap oleh mesin selama langkah pemasukan. Maka dari itu persamaan M_a adalah:

$$M_{a_{act}} = K_d \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_o^2 \cdot 10^{-6} \cdot 3600 \cdot 4,4295 \sqrt{h_o \cdot \rho_{ud}} \text{ (kg/h)} \quad (2.9)$$

Keterangan :

M_a = Laju aliran udara aktual (Kg/h)

K_d = Koefisien *discharge orifice* = 0,6

D_o = Diameter orifice = 20 mm

10^{-6} = Faktor konversi dari mm^2 ke m^2

h_o = Beda tekanan pada manometer (mmWc)

ρ_{ud} = Massa jenis udara pada kondisi masuk, (kg/m^3)

3600 = Faktor konversi detik ke jam

e. Laju Aliran Udara Teoritis (M_{th})

Banyaknya bahan bakar yang dapat terbakar sangat bergantung pada jumlah udara yang terisap 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:

$$M_{th} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot s \cdot \frac{N}{n} \cdot 60 \cdot 10^{-9} \cdot \rho_{ud} \text{ (kg/h)} \quad (2. 10)$$

Keterangan:

M_{th} = Laju aliran udara teoritis

10^{-9} = Faktor konversi dari mm^3

N = Putaran poros (rpm)

ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)

D = Diameter silinder (87,5 mm)

S = Panjang langkah silinder (110 mm)

n = Jumlah putaran persiklus (2 untuk motor 4 langkah)

f. Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR_{act})

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

$$AFR_{act} = \frac{Ma_{act}}{FC} \quad (2. 11)$$

Keterangan:

Ma = Konsumsi udara aktual (kg/h)

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/h)

g. Efisiensi Volumetris (η_{vol})

Efisiensi volumetris adalah perbandingan antara jumlah udara terisap sebenarnya pada proses pengisapan, dengan jumlah udara teoritis yang mengisi volume langkah pada saat temperatur dan tekanan sama. Dengan demikian η_{vo} dapat di rumuskan sebagai berikut:



$$\eta_{vol} = \frac{Ma_{act}}{M_{th}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Keterangan:

Ma_{act} = Konsumsi udara aktual (kg/h)

Ma_{th} = Konsumsi udara teoritis (kg/h)

h. Efisiensi Termal (η_{th})

Efisiensi termal didefinisikan sebagai perbandingan antara besarnya energi kalor yang diubah menjadi daya dengan jumlah kalor bahan bakar yang disuplai ke dalam silinder. Parameter ini menunjukkan kemampuan suatu mesin untuk mengkonversi energi kalor dari bahan bakar menjadi energi mekanik. η_{th} dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Q_{tot} = \frac{FC \times LHV_{bb}}{3600} \quad (2.13)$$

$$\eta_{th} = \frac{BP}{Q_{tot}} \times 100\% \quad (2.14)$$

Keterangan :

BP = Daya Efektif (kW)

Q_{tot} = Kalor yang di suplai, (kW)

LHV_{bb} = Nilai kalor bahan bakar (kJ/kg)

FC = Konsumsi bahan bakar (kg/h)

3600 = Faktor konversi jam ke detik

