

STUDI KINERJA MESIN OTTO MENGGUNAKAN BAHAN BAKAR BENSIN DAN ETANOL 96%

Hotlan M. Nababan¹, Himsar Ambarita², Tulus B. Sitorus³

Email: hotlan_views@yahoo.com

^{1,2,3} Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 Medan Indonesia

ABSTRAK

Pengujian langsung di lapangan merupakan cara paling efektif untuk mengetahui performa mesin, dalam hal ini adalah mesin otto empat langkah berkapasitas 109,1 cc menggunakan hidrolik dynamometer dengan variasi bahan bakar bensin dan etanol 96%. Untuk kecepatan dan beban yang sama maka bahan bakar bensin lebih efisien dimana efisiensi termalnya mencapai 36,60%. Uji emisi gas buang dengan bahan bakar bensin memiliki kadar gas buang karbon monoksida (CO) lebih tinggi dibandingkan bahan bakar etanol 96% sedangkan untuk uji emisi gas buang dengan bahan bakar etanol 96% memiliki kadar gas buang karbon dioksida (CO₂) dan oksigen (O₂) lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin.

Kata kunci : Studi Kinerja, Mesin Otto, Bensin dan Etanol 96%.

1. Pendahuluan

Bahan bakar etanol yang merupakan salah satu energi alternatif yang sudah dipergunakan sejak zaman pra-sejarah namun baru digunakan sebagai bahan bakar mobil sejak awal abad ke-20 di Amerika, namun karena beberapa faktor penggunaan etanol ini dihentikan dan kemudian kembali digunakan sebagai campuran bahan bakar bensin di Brasil tahun 1970-an. Bahan bakar etanol digunakan pada proses pembakaran motor otto (bensin).

Pada motor bensin untuk mendapatkan energi termal diperlukan proses pembakaran dengan menggunakan campuran bahan bakar dan udara di dalam mesin, sehingga motor bensin disebut juga sebagai motor pembakaran dalam (Internal Combustion Engine). Di dalam proses pembakaran ini gas hasil pembakaran yang terjadi sekaligus berfungsi sebagai fluida kerja. Pada motor bensin campuran bahan bakar dan udara terjadi di dalam karburator, kemudian diisap masuk ke dalam silinder selama langkah pengisapan. Kemudian campuran tersebut dimampatkan (dikompresikan) oleh torak dalam silinder dan pada akhir langkah

kompresi terjadi loncatan bunga api listrik dari busi, akibatnya campuran bahan bakar dan udara terbakar sehingga diperoleh tenaga panas yang kemudian dikonversikan menjadi tenaga mekanik. Tenaga mekanik tersebut dapat menimbulkan gerak translasi pada torak dan gerak rotasi pada poros engkol, yang pada akhirnya mesin dapat menghasilkan energi gerak secara berkesinambungan.

Dewasa ini konsumsi bahan bakar untuk keperluan manusia semakin meningkat dimana kebutuhan manusia menggunakan mesin-mesin motor bakar dan peralatan-peralatan yang membutuhkan bahan bakar semakin meningkat juga dan ini merupakan suatu tantangan global yang berat.

Oleh karena itu, masalah dan tantangan yang timbul diakibatkan oleh cadangan minyak bumi yang terbatas dan harganya yang semakin melambung, belakangan ini marak dilakukan riset dan penelitian dan kegiatan – kegiatan yang berhubungan dengan penghematan bahan bakar dalam rangka peningkatan efisiensi pemakaian bahan bakar. Salah satu kegiatan yang mengundang banyak

orang untuk melakukan penghematan energi adalah Shell Eco-marathon, dimana kegiatan ini merupakan reguler tahunan yang menantang tim mahasiswa dari seluruh dunia untuk merancang dan membangun kendaraan yang paling hemat energi untuk bersaing dengan kendaraan tim lain, dimana pemenangnya adalah kendaraan yang dapat bergerak dengan jarak terjauh dengan menggunakan bahan bakar atau energi paling sedikit.

Penggunaan bahan bakar juga sangat variatif dalam kegiatan ini seperti *gasoline*, etanol, hydrogen, dll. Pada kesempatan kegiatan tahunan yang diselenggarakan oleh perusahaan Shell dalam perancangannya mesin "MESIN USU" memilih untuk menggunakan bahan bakar *gasoline*. Namun Karena penggunaan bahan bakar *gasoline* yang umum di Indonesia adalah bensin (RON 88) sedangkan pada kompetisi Shell Eco-marathon Asia adalah *gasoline* shell (RON 95). Dalam riset ini akan dibandingkan kinerja atau performansi mesin sepeda motor menggunakan *gasoline* (RON88) dengan etanol 96% (RON 117). Dengan demikian perlu diadakannya pengujian performansi untuk mendapatkan hasil yang terbaik dari kedua bahan bakar tersebut.

2. Tinjauan Pustaka

Pada motor bakar berdasarkan sistem penyalannya terbagi spark ignition dan compression ignition dan berdasarkan siklus kerjanya terbagi menjadi motor empat langkah dan dua langkah. Sistem penyalan spark ignition (SI) merupakan metode penyalan bahan bakar dengan bantuan api dari luar. Penyalan ini menggunakan busi sebagai sumber api. Setelah campuran udara dan bahan bakar mencapai kompresi tertentu, dan dengan tekanan dan temperatur tertentu maka busi dinyalakan sehingga terjadi reaksi pembakaran dan menghasilkan tenaga untuk mendorong torak ke posisi semula. Compression ignition (CI) merupakan penyalan campuran bahan bakar dengan kalor kompresi yang sangat tinggi sehingga mencapai

temperature dan tekanan yang cukup tinggi yang memungkinkan terjadinya pembakaran sendiri yang akan menghasilkan tenaga untuk mendorong piston.

Motor Diesel atau sering disebut mesin penyalan kompresi (Compression Ignition Engine) ditemukan pada tahun 1892 oleh Rudolf Diesel. Mesin diesel termasuk mesin pembakaran dalam yang tidak membutuhkan loncatan api listrik seperti pada motor bensin. Prinsip kerja pembakaran motor diesel yaitu udara segar dihisap masuk kedalam silinder atau ruang bakar kemudian udara tersebut dikompresi oleh torak sehingga udara memiliki temperatur dan tekanan yang tinggi, dan sebelum torak mencapai titik mati atas, bahan bakar disemprotkan ke ruang bakar dan terjadilah pembakaran.

Pembakaran bahan bakar dan udara ini menghasilkan daya dan menggerakkan torak secara bolak balik kemudian gerakan ini diubah menjadi gerakan berputar oleh poros engkol. Daya dari mesin sangat dipengaruhi oleh faktor bahan bakar dan udara, mulai dari karakteristiknya sampai perbandingan campuran keduanya. Koefisien kelebihan udara dengan simbol α merupakan koefisien yang digunakan untuk menyatakan apakah banyaknya udara yang digunakan sesuai dengan harga stokiometrinya. Campuran dianggap stokiometri jika $\alpha = 1$, campuran kaya bila $\alpha < 1$, dan campuran miskin bila $\alpha > 1$. Pada umumnya untuk motor diesel, harga koefisien kelebihan udaranya lebih besar dari 1 ($\alpha > 1$). Besar kecilnya jumlah energi kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran bergantung pada komposisi campuran bahan bakar-udara yang diberikan. Selain faktor bahan bakar dan udara, rasio kompresi juga sangat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh mesin, dimana semakin besar rasio kompresi maka semakin besar pula daya yang akan dihasilkan, rasio kompresi adalah perbandingan antara volume langkah torak dan volume sisa pada ruang bakar. Menurut

Willard W.P (1996) rasio kompresi motor diesel berada pada harga $r = 12-24$, walaupun rasio kompresi mempengaruhi daya yang dihasilkan kita tidak bisa serta merta meningkatkan harga dari rasio kompresi hal ini disebabkan karena karakteristik bahan bakar yaitu tergantung angka cetane (motor diesel) dan angka oktan (motor bensin). Jika rasio kompresi terlalu tinggi maka akan terjadi knocking atau ketukan yang bisa berbalik menurunkan daya.

Daya mesin merupakan tujuan yang harus dicapai semaksimal mungkin karena dari daya kita bisa mengetahui bagaimana prestasi mesin yang telah dicapai. Selain daya, untuk mengevaluasi prestasi mesin masih ada parameter lain yang perlu diperhatikan antara lain konsumsi bahan bakar spesifik, efisiensi termis, efisiensi volumetris, dan efisiensi mekanis.

Menurut Willard W.P (1996) efisiensi termis motor diesel berada di bawah 50% sedangkan menurut Khovakh (1979), efisiensi termis berkisar pada 29% - 42% dan sisanya adalah kerugian-kerugian energi. Energi kalor yang dimanfaatkan oleh mesin tidaklah terlalu besar, sisanya merupakan kerugian - kerugian energi, diantaranya energi kalor yang hilang akibat pendinginan mesin, energi kalor yang hilang bersama gas buang, energi kalor yang hilang akibat pembakaran tidak sempurna, energi kalor yang hilang karena kebocoran gas, dan kehilangan lainnya akibat radiasi dan konveksi.

Pada motor otto terjadi konversi energi dari energi panas ke energi mekanik yang berupa gerak reciprocating piston. Energi panas tersebut diperoleh dari pembakaran sejumlah bahan bakar yang telah bercampur dengan udara dengan diawali oleh percikan bunga api dari busi (spark plug). Pada proses tersebut terjadi reaksi kimia yang cepat antara hidrogen dan karbon pada bahan bakar dengan oksigen yang terkandung dalam udara. Sedangkan kondisi yang dibutuhkan pada proses pembakaran adalah :

- Adanya campuran yang dapat terbakar.
- Adanya perlengkapan untuk memulai pembakaran, perlengkapan tersebut adalah busi (spark plug).
- Fase stabilisasi dan perambatan nyala di dalam ruang bakar.

Untuk itu ruang bakar harus mampu mengontrol pembakaran campuran udara-bahan bakar untuk mendapatkan tekanan maksimal pada awal langkah kompresi, proses yang bebas vibrasi pada komponen engine, proses yang tidak menimbulkan knocking, pada pendinginan mengalami losses minimal, emisi gas buang minimal.

Proses pembakaran pada motor bensin umumnya dibagi dalam empat fase berdasarkan jumlah pelepasan energi hasil pembakaran, yaitu:

1. Fase pencetusan bunga api. Adalah fase dimana sejumlah energi panas dilepaskan melalui electrode busi untuk mengawali pembakaran.
2. Fase pembentukan nyala (*flame development phase*). Fase yang berawal dari sesaat setelah bunga api dicetuskan sampai suatu kondisi dimana sejumlah kecil massa gas di dalam silinder terbakar dan melepaskan kira-kira 10 % energi pembakaran.
3. Fase perambatan nyala (*rapid burning phase*).
4. Fase pemadaman nyala (*flame extinguishing phase*) atau akhir proses pembakaran.

Mesin otto 2 langkah belakangan ini penggunaannya sudah sangat sedikit dikarenakan emisi gas buang yang relatif lebih besar dibandingkan dengan mesin otto 4 langkah. Cara kerja pada mesin otto 2 langkah sangat simpel, hakekatnya mesin motor 2 langkah pada sebuah ruang pembakarannya terjadi dua kali langkah piston. Langkah buang dan langkah isap terjadi pada saat torak berada disekitar TMB. Lubang isap dan lubang buang pada dinding silinder dibuka dan ditutup oleh torak itu sendiri,

berikut dijelaskan 2 istilah dalam mesin otto 2 langkah.

Mesin empat langkah adalah mesin pembakaran dalam yang dalam satu siklus pembakaran terjadi empat langkah piston. Empat langkah tersebut meliputi, langkah hisap (pemasukan), kompresi, tenaga dan langkah buang yang secara keseluruhan memerlukan dua putaran poros engkol (*crankshaft*) per satu siklus pada mesin otto.

Pada motor empat langkah, proses kerja motor diselesaikan dalam empat langkah piston.

- Langkah pertama yaitu piston bergerak dari TMA ke TMB, disebut langkah pengisian.
- Langkah kedua yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA disebut langkah kompresi.
- Langkah ketiga piston bergerak dari TMA ke TMB disebut langkah usaha. Pada langkah usaha ini terjadilah proses pembakaran bahan bakar (campuran udara dan bahan bakar) di dalam silinder motor/ruang pembakaran yang menghasilkan tenaga yang mendorong piston dari TMA ke TMB.
- Langkah keempat yaitu piston bergerak dari TMB ke TMA disebut langkah pembuangan. Gas hasil pembakaran didorong oleh piston keluar silinder motor. Jadi pada motor empat langkah proses kerja motor untuk menghasilkan satu langkah usaha (yang menghasilkan tenaga) diperlukan empat langkah piston.

Parameter mekanik yang termasuk dalam subbab ini adalah torsi, daya, perbandingan udara bahan bakar, konsumsi bahan bakar spesifik dan efisiensi dari pembakaran di dalam mesin.

Torsi dan Daya

Torsi yang dihasilkan suatu mesin dapat diukur dengan menggunakan dinamometer yang dikopel dengan poros output mesin. Oleh karena sifat dinamometer yang

bertindak seolah-olah seperti sebuah rem dalam sebuah mesin, maka daya yang dihasilkan poros output ini sering juga disebut dengan *brake power*. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak momen dan memiliki satuan N-m atau lbf-ft.

Daya didefinisikan sebagai usaha dari mesin per satuan waktu.

$$W = \frac{2\pi N\tau}{60000} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana :

\dot{W} = Daya poros (kW)

N = Putaran mesin (rpm)

τ = Torsi (Nm)

Perbandingan Udara Bahan Bakar (AFR)

Air-Fuel Ratio adalah parameter yang digunakan untuk mendeskripsikan rasio campuran udara dengan bahan bakar:

$$AFR = \frac{m_a}{m_f} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\dot{m}_f = \frac{m_f N_c N}{60.n} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$m_f = \frac{m_a}{AFR} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$m_a = \frac{P_i (V_d+V_c)}{R T_i} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$r_c = \frac{V_d+V_c}{V_c} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

m_a = Massa udara (kg/siklus)

\dot{m}_a = Laju aliran udara ke mesin (kg/sec)

m_f – Massa bahan bakar (kg/siklus)

\dot{m}_f = Laju aliran bahan bakar ke mesin (kg/sec)

N_c = Jumlah silinder

N = Putaran mesin (rpm)

$n = 2$ (rev/sec) untuk 4 langkah dan 1 (rev/sec) untuk 2 langkah

P_i = Tekanan udara masuk silinder (85-90 kPa)

Vd = Volume *displacement* (m^3)
 Vc = Volume *clearance* (m^3)
 R = Konstanta gas ideal (0,287 kJ/kg.K)
 T_i = Temperatur udara masuk silinder (333 K)
 r_c = 8 – 11 untuk mesin pengapian busi (*Spark Ignition Engine*) modern
 = 12 – 24 untuk mesin pengapian kompresi (*Compression Ignition Engine*).

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Konsumsi bahan bakar spesifik didefinisikan dengan :

$$sfc = \dot{m}_f / \dot{W} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana:

sfc = Konsumsi bahan bakar spesifik / *Specific Fuel Consumption* (gm/kWh)
 \dot{m}_f = Laju aliran bahan bakar ke mesin
 \dot{W} = Daya poros (kW)

Efisiensi Mesin

Waktu yang diperlukan untuk proses pembakaran suatu siklus mesin sangatlah singkat dan pada umumnya tidak semua bahan bakar habis terbakar oleh oksigen atau bahkan temperatur sekitar tidak mendukung reaksi kimia yang terjadi.

Kemungkinan terburuk sebahagian kecil molekul bahan bakar tidak bereaksi dan terbawa ke aliran pembuangan (*exhaust*). Efisiensi pembakaran η_c menerangkan seberapa banyak bahan bakar yang bereaksi dan terbakar. η_c memiliki nilai yang berkisar dari 0.95 sampai 0.98 ketika mesin bekerja. Untuk satu siklus mesin pada satu silinder, panas yang ditambahkan adalah :

$$Q_{in} = \dot{m}_f Q_{HV} \eta_c \dots\dots\dots(2.8)$$

Untuk keadaan *steady* :

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f Q_{HV} \eta_c \dots\dots\dots(2.9)$$

Efisiensi termalnya adalah :

$$\eta_c = W / Q_{in} = \dot{W} / \dot{Q}_{in} = \eta_f / \eta_c \dots\dots\dots(2.10)$$

Dimana:

\dot{W} = Daya poros
 m_f = massa bahan bakar
 \dot{m}_f = Laju aliran bahan bakar ke ruang bakar
 Q_{HV} – Nilai kalor dari bahan bakar (44400 Kj/kg)
 η_c = Efisiensi pembakaran (0,95 - 0,98)

Bahan bakar Etanol pertama kali dibuat secara sintetik pada tahun 1826 secara terpisah oleh Henry Hennel dari Britania Raya dan S.G. Sérullas dari Perancis. Pada tahun 1828, Michael Faraday berhasil membuat etanol dari hidrasi etilena yang dikatalisis oleh asam. Proses ini mirip dengan proses sintesis etanol industri modern. Etanol telah digunakan sebagai bahan bakar lampu di Amerika Serikat sejak tahun 1840, namun pajak yang dikenakan pada alkohol industri semasa Perang Saudara Amerika membuat penggunaannya tidak ekonomis. Pajak ini dihapuskan pada tahun 1906 dan sejak tahun 1908 otomobil Ford Model T telah dapat dijalankan menggunakan etanol. Namun, dengan adanya pelarangan minuman beralkohol pada tahun 1920, para penjual bahan bakar etanol dituduh berkomplot dengan penghasil minuman alkohol ilegal, dan bahan bakar etanol kemudian ditinggalkan penggunaannya sampai dengan akhir abad ke-20.

Bioetanol adalah etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa yang dilanjutkan dengan proses destilasi. Etanol merupakan kependekan dari etil alkohol (C₂H₅OH); sering pula disebut *grain alcohol* atau alkohol. Wujud dari etanol berupa cairan yang tidak berwarna, mudah menguap dan mempunyai bau yang khas. Berat jenisnya adalah sebesar 0,7939 g/ml, dan titik didihnya 78,320 °C pada tekanan 766 mmHg. Sifat lainnya adalah larut dalam air dan eter, serta

mempunyai panas pembakaran 7093.72 kkal. Etanol digunakan dalam beragam industri seperti sebagai bahan baku industri turunan alkohol, campuran untuk minuman keras seperti sake tau gin, bahan baku farmasi dan kosmetik, dan campuran bahan bakar kendaraan, peningkat oktan, dan bensin alkohol (gasohol).

Pemakaian etanol sebagai sumber energi dalam industri dan kendaraan akan sangat mengurangi pembuangan gas CO₂ yang mengakibatkan pemanasan global. Cepat atau lambat sumber minyak (fossil *fuel*) akan habis karena depositnya terbatas. Minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Keterbatasan itu mendorong negara industri melirik etanol (biofuel) sebagai sumber energi alternatif. Selain terus-menerus dapat diproduksi oleh mikroorganisme, etanol juga ramah lingkungan.

Beberapa keunggulan dari penggunaan etanol sebagai bahan bakar yaitu:

1. Diproduksi dari tanaman yang bersifat *renewable*.
2. Mengandung kadar oksigen sekitar 35% sehingga dapat terbakar lebih sempurna.
3. Penggunaan gasohol dapat menurunkan emisi gas rumah kaca.
4. Pembakaran tidak menghasilkan partikel timbal dan benzena yang bersifat
5. karsinogenik (penyebab kanker).
6. Mengurangi emisi *fine-particulates* yang membahayakan kesehatan manusia.
7. Mudah larut dalam air dan tidak mencemari air permukaan dan air tanah.

Proses destilasi dapat menghasilkan etanol dengan kadar 96%, untuk digunakan sebagai bahan bakar perlu lebih dimurnikan lagi hingga mencapai 99,5% yang sering disebut *Fuel Grade Ethanol* (FGE). Mengingat pemanfaatan etanol yang beraneka ragam, maka kadar etanol yang dimanfaatkan harus berbeda sesuai dengan penggunaannya. Etanol yang

mempunyai kadar 90-96,5% dapat digunakan pada industri, sedangkan etanol yang mempunyai kadar 96-99,5% dapat digunakan sebagai campuran untuk minuman keras dan bahan dasar industri farmasi. Etanol yang dimanfaatkan sebagai campuran bahan bakar untuk kendaraan yang harus betul-betul kering dan *anhydrous* supaya tidak korosif, sehingga etanol harus mempunyai kadar sebesar 99,5-100%. Perbedaan besarnya kadar akan berpengaruh terhadap proses pengolahan karbohidrat menjadi glukosa larut air.

Pembuatan bioetanol yang menggunakan bahan baku tanaman yang mengandung pati, dilakukan dengan cara mengubah pati menjadi gula (glukosa) larut air. Bioetanol yang dihasilkan dari proses fermentasi biasanya masih mengandung gas-gas antara lain CO₂ dan aldehyde. Gas CO₂ pada hasil fermentasi tersebut biasanya mencapai 35 %, sehingga untuk memperoleh bioetanol yang berkualitas baik, maka bioetanol tersebut harus dibersihkan dari gas tersebut. Proses pembersihan CO₂ dilakukan dengan menyaring bioetanol yang terikat oleh CO₂, sehingga dapat diperoleh bioetanol yang bersih dari gas CO₂.

Pada umumnya bioetanol atau alcohol yang dihasilkan dari proses fermentasi yang mempunyai kemurnian sekitar 30 – 40%, sehingga harus dimurnikan lagi. Agar mendapatkan kadar bioetanol lebih dari 95% dan dapat dipergunakan sebagai bahan bakar, alcohol hasil fermentasi yang mempunyai kemurnian sekitar 30 – 40% tersebut harus melewati proses destilasi untuk memisahkan alcohol dengan air.

Analisa Ketidakpastian merupakan Suatu cara atau metode untuk menaksir ketidakpastian dalam hasil-hasil eksperimen telah dikemukakan oleh Kline dan McClintock. Metode ini didasarkan atas spesifikasi yang teliti ketidakpastian dalam berbagai pengukuran primer eksperimen. Umpamanya, suatu bacaan tekanan tertentu mungkin dinyatakan sebagai:

$$P = 100 \text{ kN/m}^2 \pm 1 \text{ kN/m}^2$$

Bila tanda plus atau minus itu digunakan untuk menyatakan ketidakpastian, orang yang membuat penandaan itu sebenarnya menyatakan berapa menurut pendapatnya derajat ketelitian pengukuran yang dilakukannya itu. Perlu dicatat bahwa spesifikasi itu sendiri tidak pasti, karena pelaku eksperimen itu tentunya tidak pasti mengenai ketelitian dalam pengukurannya.

Bila instrumen itu baru saja dikalibrasi secara seksama, dengan tingkat presisi yang tinggi, eksperimentalis itu mungkin dapat memberikan tingkat ketidakpastian pengukuran yang lebih baik dari bila pengukuran dilakukan dengan pengukur atau instrumen lain yang riwayat kalibrasinya tidak diketahui. Sebagai cara yang lebih baik dalam memberikan spesifikasi ketidakpastian suatu pengukuran, Kline dan McClintock menyarankan agar pelaku eksperimen menyatakan taruhan (kemungkinan) ketidakpastian itu. Jadi, persamaan diatas tadi dapat ditulis:

$$P = 100 \text{ kN/m}^2 \pm 1 \text{ kN/m}^2 \text{ (20 banding 1)}$$

Dengan kata lain, pelaku eksperimen berani bertaruh dengan kemungkinan 20 banding 1 pengukuran itu akan berada dalam $\pm 1 \text{ kN/m}^2$. Perlu dicatat bahwa spesifikasi taruhannya itu hanya bisa dilakukan eksperimentalis itu atas dasar pengalaman laboratorium keseluruhan.

Umpamakan seperangkat pengukuran dilakukan dimana ketidakpastian masing-masing pengukuran dapat dinyatakan dengan taruhan yang sama. Perangkat pengukuran ini lalu digunakan untuk menghitung hasil eksperimen yang dikehendaki. Kita ingin menaksir ketidakpastian dalam perhitungan atas dasar ketidakpastian dalam pengukuran-pengukuran primer. Hasil R ialah suatu fungsi dari variabel tak tergantung atau (*independent*) $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. jadi,

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \dots\dots\dots(2.11)$$

Umpamakan W_R ialah ketidakpastian dalam hasil w_1, w_2, \dots, w_n ketidakpastian dalam variabel tak-tergantung itu mempunyai taruhan yang sama, maka ketidakpastian dalam hasil yang mempunyai taruhan itu diberikan rujukan sebagai berikut:

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Emisi Gas Buang

Emisi gas buang didefinisikan sebagai gas yang diemisikan oleh kendaraan, gas dari sistem pembuangan (knalpot) merupakan sumber utama tetapi juga dari epeporasi bahan bakar, tangki bahan bakar dan *blow by gas*. Jika pembakaran bahan bakar dan udara secara sempurna, maka yang akan dihasilkan adalah gas karbon dioksida (CO₂) dan uap air (H₂O) yang tidak berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Namun, pada kenyataannya pembekaran sempurna sulit terjadi, sehingga gas yang bersifat racun seperti : CO, NO₂, HC, dan lainnya muncul dari sisa pembakaran.

Karbon Monoksida (CO)

Gas karbon monoksida berasal dari pembakaran tak sempurna bahan bakar dalam kendaraan bermotor. Gas buang hasil pembakaran bensin dari kendaraan bermotor mengandung 10.000 sampai 40.000 ppm CO. Gas ini tidak berwarna dan tidak berbau, oleh karena itu, kehadirannya tidak segera diketahui. Gas itu bersifat racun, dapat menimbulkan rasa sakit pada mata, saluran pernafasan, dan paru-paru. Bila masuk ke dalam darah melalui pernafasan, CO bereaksi dengan hemoglobin dalam darah membentuk COHb. Karbon monoksida mempunyai afinitas terhadap hemoglobin dalam darah (COHb) yang lebih tinggi daripada oksigen; dengan demikian mengurangi

kemampuan darah untuk membawa oksigen. Kekurangan oksigen dalam aliran darah dan jaringan tubuh akan menurunkan kinerja tubuh dan pada akhirnya dapat menimbulkan kerusakan pada organ-organ tubuh.

Nitrogen Oksida (NOx)

Campuran NO dan NO₂ sebagai pencemar udara biasa ditandai dengan lambang NOx. NOx di udara tidak beracun secara langsung pada manusia, tetapi NOx ini bereaksi dengan bahan-bahan pencemar lain dan menimbulkan fenomena asbut (asap-kabut) atau smog dalam bahasa Inggris. Asbut ini mengakibatkan mata perih, nafas sesak dan tanaman layu. Asbut adalah campuran rumit yang terdiri dari berbagai gas dan partikel-partikel zat cair dan zat padat. Asbut dihasilkan dari serentetan reaksi fotokimia (yaitu reaksi kimia di bawah pengaruh energi sinar matahari). NO (g) dan O (g). NO₂ (g) + sinar matahari. Motor bakar, juga menghasilkan hidrokarbon yang tidak terbakar akibat reaksi pembakaran di dalam motor kurang sempurna. Hidrokarbon ini dapat bereaksi dengan atom oksigen yang dihasilkan dari dekomposisi fotokimia NO₂. Reaksi ini menghasilkan radikal hidrokarbon bebas yang sangat reaktif. Radikal ini bereaksi dengan NO dan menghasilkan NO₂ lagi, dan serentetan reaksi berulang lagi dan menghasilkan ozon. Radikal bebas itu juga bereaksi dengan O₂ dan N₂ dan menghasilkan senyawa yang disebut peroksiasilnitrat (PAN). PAN juga memberi efek asbut dan menimbulkan rasa perih di mata.

Hidrokarbon (HC)

Pembakaran tak sempurna pada kendaraan juga menghasilkan gas buang yang mengandung hidrokarbon, termasuk di dalamnya senyawa alifatik dan aromatik yang terdapat dalam bahan bakar. Senyawa alifatik terdapat dalam beberapa macam gugus yaitu alkana, alkena, alkuna. Oleh karena itu penelitian terhadap polutan alkena menjadi sangat penting, terlebih lagi dengan munculnya polutan sekunder

yang berasal dari reaksi fotokimia alkena, seperti peroksiasetil nitrat (PAN) dan ozon (O₃). Salah satu senyawa alkena yang cukup banyak terdapat pada gas buang kendaraan adalah etilen. Penelitian menunjukkan bahwa etilen dapat mengganggu pertumbuhan tomat dan lada, juga merusak struktur dari anggrek. Alkuna, meskipun lebih reaktif dari alkena namun jarang ditemukan di udara bebas dan tidak menjadi masalah utama dalam pencemaran udara akibat gas buang kendaraan.

Phase Change material adalah materi yang mengalami perubahan fasa ketika menyerap dan melepaskan panas (kalor laten) dimana struktur atau susunan kimianya tidak mengalami perubahan. Perubahan fasa inilah yang menjadi alasan utama penggunaan PCM karena pada kondisi ini temperatur PCM konstan.

3. Perumusan Masalah

Untuk mendapatkan tujuan penelitian ini, Prosedur pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Mesin "MESIN USU" dipasang kembali ke sepeda motor
2. Pemasangan tachometer pada sepeda motor
3. Sepeda motor diuji dengan variasi bahan bakar, beban dan kecepatan untuk mendapatkan data putaran mesin sebagai berikut

Tabel 1. Format pengujian kecepatan terhadap putaran mesin dengan variasi bahan bakar Bensin (RON 88) dan Etanol 96% (RON 117)

Jenis Bahan Bakar	Beban		
	Pengemudi	N	
Bensin	60	kg	rpm
			2170
			2562
			3370
			4360
			5208
		5953	

		2180
		2581
	70	3389
		4377
		5371
		6029
		2260
		2668
	90	3497
		4452
		5387
		6187
		2133
		2485
	60	3514
		4340
		5005
		6000
		2222
		2585
	70	3515
		4377
		5215
		6097
		2244
		2630
	90	3489
		4484
		5262
		6159

Etanol 96%

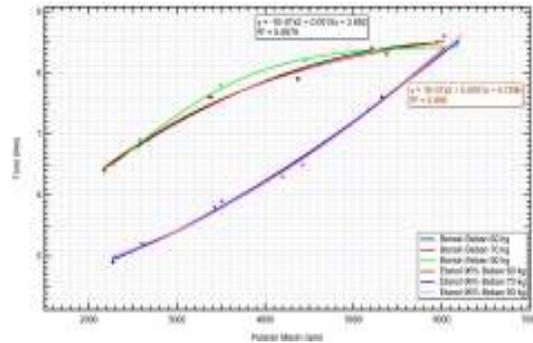
4. Pengujian emisi gas buang kendaraan sesuai dengan putaran mesin yang sudah didapatkan dari pengujian sebelumnya dengan variasi bahan bakar premium dan Etanol 96%
5. Pengujian perbandingan udara dan bahan bakar kendaraan sesuai dengan putaran mesin yang sudah didapatkan dari pengujian sebelumnya dengan variasi bahan bakar premium dan Etanol 96%
6. Mesin dibuka dan dipasang pada alat uji torsi untuk melakukan pengujian torsi
7. Alat uji torsi diseimbangkan dengan pemberian beban sebesar 2692 gram

8. Torsi diukur dengan variasi rpm yang sudah didapatkan dengan variasi bahan bakar premium dan Etanol 96%
9. Semua data dicatat dan dianalisis
10. Selesai

4. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian uji kinerja mesin otto ini dilakukan secara langsung dengan menggunakan variasi bahan bakar bensin (RON 88) dan Etanol 96% (RON 117), beban pengemudi dan kecepatan kendaraan untuk mendapat data-data dibawah ini:

Torsi



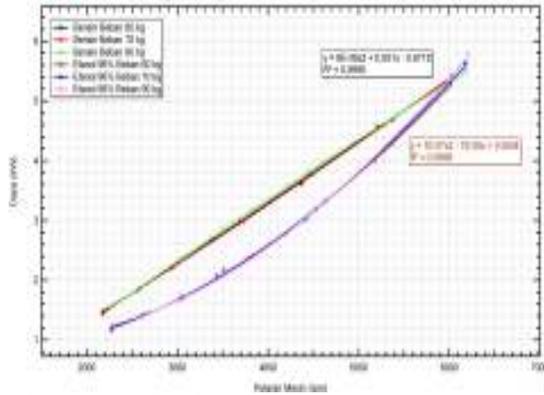
Gambar 1. Grafik Torsi vs putaran mesin

Dari grafik diatas dapat dilihat besarnya torsi untuk masing-masing pengujian, untuk bahan bakar bensin (RON 88) torsi terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg dan 70 kg putaran mesin 2170 rpm dan 2180 rpm yaitu sebesar 6,4 Nm sedangkan torsi tertinggi terjadi pada pembebanan 70 kg putaran mesin 6029 rpm yaitu sebesar 8,6 Nm. Untuk Etanol 96% (RON 117) torsi terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2269 rpm yaitu sebesar 4,9 Nm sedangkan torsi tertinggi terjadi pada pembebanan 90 kg putaran mesin 6210 rpm yaitu sebesar 8,6 Nm.

Besar kecilnya torsi dipengaruhi oleh putaran dan beban mesin. Semakin berat beban pengemudi yang diberikan maka semakin besar pula torsi yang dibutuhkan untuk mencapai kecepatan yang lebih tinggi.

Untuk hasil pengujian besarnya torsi yang dihasilkan mengalami kecenderungan peningkatan seiring kecepatan kendaraan dan pembebanan pengemudinya.

Daya



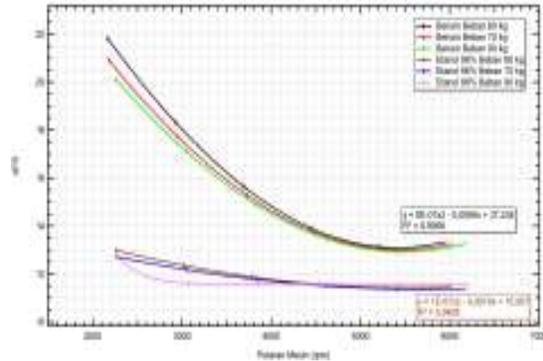
Gambar 2. Grafik daya vs putaran mesin

Dari hasil perhitungan dan grafik diatas dapat dilihat besarnya daya untuk masing-masing perhitungan, untuk bahan bakar bensin (RON 88) daya terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2170 rpm yaitu sebesar 1,45 kW sedangkan daya tertinggi terjadi pada pembebanan 90 kg putaran mesin 6187 rpm yaitu sebesar 5,51 kW. Untuk Etanol 96% (RON 117) daya terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2269 rpm yaitu sebesar 1,16 kW sedangkan daya tertinggi terjadi pada pembebanan 90 kg putaran mesin 6210 rpm yaitu sebesar 5,59 kW.

Besar kecil daya mesin bergantung pada besar kecil torsi yang didapat. Daya yang dihasilkan mesin dipengaruhi oleh putaran poros engkol yang terjadi akibat dorongan piston yang dihasilkan karena adanya pembakaran bahan bakar dengan udara. Jika konsumsi bahan bakar dan udara diperbesar maka akan semakin besar daya yang akan dihasilkan mesin.

Untuk hasil pengujian besarnya daya yang dihasilkan mengalami kecenderungan peningkatan seiring kecepatan kendaraan dan pembebanan pengemudinya.

Perbandingan Udara dengan Bahan Bakar (AFR)



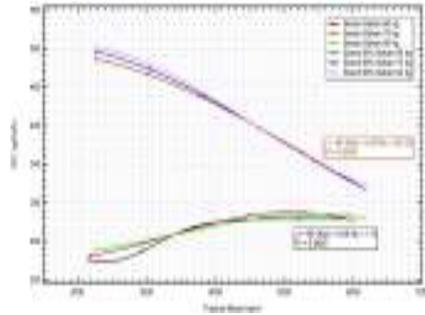
Gambar 3. Grafik AFR vs putaran mesin

Dari grafik diatas dapat dilihat besarnya AFR untuk masing-masing pengujian, untuk bahan bakar bensin (RON 88) AFR terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2170 rpm yaitu sebesar 21,6 sedangkan AFR tertinggi terjadi pada pembebanan 70 kg dan 90 kg putaran mesin 6029 rpm dan 6187 rpm yaitu sebesar 13,1. Untuk Etanol 96% (RON 117) AFR terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2269 rpm yaitu sebesar 13,2 sedangkan AFR tertinggi terjadi pada pembebanan 70 kg putaran mesin 6179 rpm dan pembebanan 90 kg putaran mesin 6210 rpm yaitu sebesar 11,3.

Semakin tinggi putaran dan beban mesin, maka semakin kecil perbandingan udara dan bahan bakar. Ini disebabkan karena pada putaran dan beban maksimal terjadi proses pembakaran yang sangat cepat dimana diperlukan bahan bakar dengan jumlah besar, sehingga diperlukan udara yang besar pula untuk mengimbangi bahan bakar tadi pada keadaan ideal perbandingan udara dan bahan bakar adalah 14,7.

Untuk hasil pengujian besarnya nilai AFR mengalami kecenderungan penurunan seiring kecepatan kendaraan dan pembebanan pengemudinya.

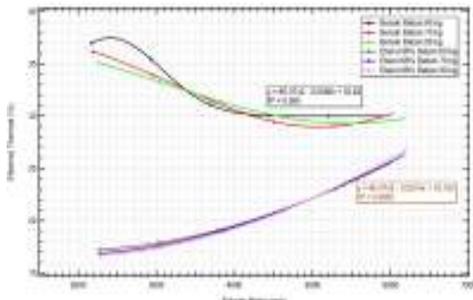
Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC)



Gambar 4. Grafik SFC vs putaran mesin

Dari hasil perhitungan dan grafik diatas dapat dilihat besarnya *Specific Fuel Consumption* (SFC) untuk masing-masing perhitungan, untuk bahan bakar bensin (RON 88) SFC terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2562 rpm yaitu sebesar 224,28 gr/kWh sedangkan SFC tertinggi terjadi pada pembebanan 70 kg dan 90 kg putaran mesin 5371 rpm dan 5387 rpm yaitu sebesar 285,36 gr/kWh. Untuk Etanol 96% (RON 117) SFC terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 90 kg putaran mesin 6210 rpm yaitu sebesar 321,71 gr/kWh sedangkan SFC tertinggi terjadi pada pembebanan 90 kg putaran mesin 2675 rpm yaitu sebesar 509,52 gr/kWh. Konsumsi bahan bakar spesifik dipengaruhi oleh putaran mesin, semakin tinggi putaran mesin mesin maka konsumsi bahan bakar spesifik juga akan meningkat atau sebaliknya. Hal ini disebabkan oleh laju aliran bahan bakar yang akan semakin besar pada putaran mesin tinggi.

Effisiensi Termal



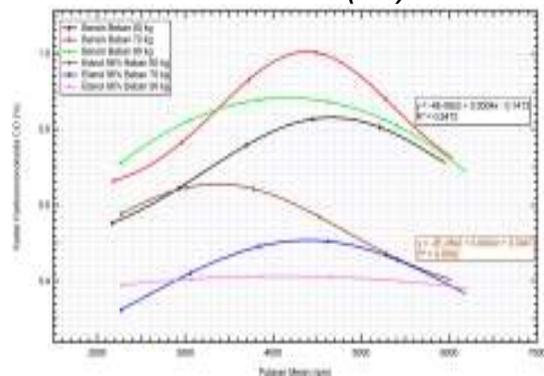
Gambar 5. Grafik efisiensi termal vs putaran mesin

Dari hasil perhitungan dan grafik diatas dapat dilihat besarnya efisiensi termal untuk masing-masing perhitungan, untuk bahan bakar bensin (RON 88) efisiensi termal terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 70 kg dan 90 kg putaran mesin 5371 rpm dan 5387 rpm yaitu sebesar 29,29 % sedangkan efisiensi termal tertinggi terjadi pada pembebanan 60 kg putaran mesin 2562 rpm yaitu sebesar 37,27 %. Untuk Etanol 96% (RON 117) efisiensi terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 90 kg putaran mesin 2675 rpm yaitu sebesar 16,41 % sedangkan efisiensi termal tertinggi terjadi pada pembebanan 90 kg putaran mesin 6210 rpm yaitu sebesar 25,98 %.

Beberapa faktor yang sangat mempengaruhi tinggi rendahnya efisiensi termal dari suatu mesin diantaranya adalah

- perbandingan antara bahan bakar dan udara (AFR) semakin tinggi AFR maka efisiensi akan meningkat dimana laju aliran bahan bakar akan semakin kecil
- nilai kalor bahan bakar
- rasio kompresi

Kadar Karbonmonoksida (CO)



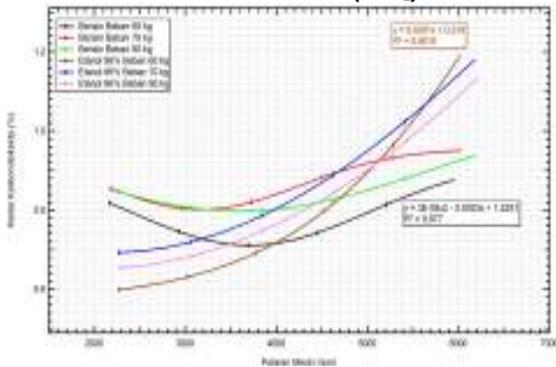
Gambar 6. Grafik kadar CO vs putaran mesin

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat besarnya kadar karbon monoksida (CO) untuk masing-masing pengujian, untuk bahan bakar bensin kadar karbon monoksida terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2562 rpm yaitu

sebesar 0,548% sedangkan kadar karbon monoksida tertinggi terjadi pada pembebanan 70 kg putaran mesin 4377 rpm yaitu sebesar 0,99%. Untuk etanol 96% kadar karbon monoksida terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2222 rpm yaitu sebesar 0,325% sedangkan kadar karbon monoksida tertinggi terjadi pada pembebanan 60 kg putaran mesin 4340 rpm yaitu sebesar 0,647%.

Gas karbon monoksida adalah gas paling berbahaya yang dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dimana sifatnya tidak berbau, tidak berwarna namun beracun. Umumnya kandungan gas karbon monoksida dalam emisi gas buang adalah 0,2% – 5%, hal ini ditimbulkan karena tidak cukupnya gas oksigen untuk mengubah karbon menjadi karbon dioksida. Biasanya pencampuran bahan bakar dan oksigen yang tidak baik akan menghasilkan gas karbon monoksida hal ini terjadi pada pembakaran kaya dimana jumlah bahan bakar sangat tinggi dibanding gas oksigen yang idealnya (14,7 : 1).

Kadar Karbondioksida (CO₂)



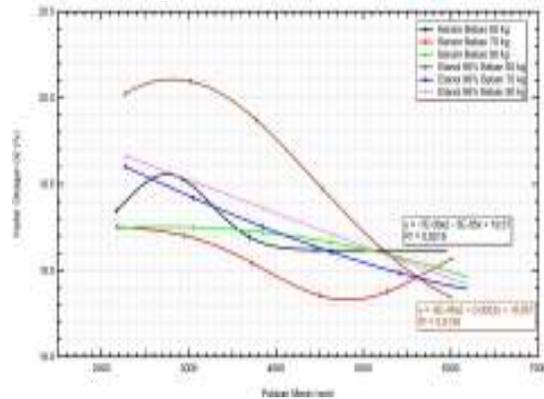
Gambar 7. Grafik kadar CO₂ vs putaran mesin

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat besarnya kadar karbon dioksida (CO₂) untuk masing-masing pengujian, untuk bahan bakar bensin kadar karbon dioksida terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 3370 rpm dan 4360 rpm yaitu sebesar 0,73% sedangkan kadar karbon dioksida tertinggi terjadi pada

pembebanan 90 kg putaran mesin 6187 rpm yaitu sebesar 0,94%. Untuk bahan bakar etanol 96% kadar karbon dioksida terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 60 kg putaran mesin 2133 rpm yaitu sebesar 0,59% sedangkan kadar karbon dioksida tertinggi terjadi pada pembebanan 60 kg putaran mesin 6000 rpm yaitu sebesar 1,19%.

Gas karbon dioksida adalah gas yang dihasilkan dari pembakaran sempurna, dimana pencampuran bahan bakar dan udara stoikometri. Pencampuran bahan bakar dan oksigen yang tidak baik akan menghasilkan gas karbon monoksida.

Kadar Oksigen (O₂)



Gambar 8. Grafik kadar O₂ vs putaran mesin

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat besarnya kadar oksigen (O₂) untuk masing-masing pengujian, untuk bahan bakar bensin kadar oksigen terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 70 kg putaran mesin 4377 rpm yaitu sebesar 18,87% sedangkan kadar oksigen tertinggi terjadi pada pembebanan 60 kg putaran mesin 2562 rpm yaitu sebesar 19,53%. Untuk bahan bakar etanol 96% kadar oksigen terendah terjadi pada pembebanan pengemudi 90 kg putaran mesin 6159 rpm yaitu sebesar 18,86% sedangkan kadar oksigen tertinggi terjadi pada pembebanan 60 kg putaran mesin 2485 rpm yaitu sebesar 20,15%.

Tanpa oksigen maka proses pembakaran tidak bisa terjadi,

pembakaran pada mesin otto terjadi dimana oksigen bercampur dengan bahan bakar, jumlah oksigen biasanya akan menurun seiring meningkatnya putaran mesin dikarenakan proses pembakaran yang semakin cepat dan jumlah bahan bakar yang semakin kaya, oleh karena itu dalam beberapa hal mesin ditambahkan *turbocharger* atau *supercharger* untuk menambah pasokan udara kedalam ruang bakar.

5. Kesimpulan dan Saran

Dari hasil pengujian dan analisis data, adapun kesimpulan yang dihasilkan dari pengujian ini adalah :

Untuk beban dan putaran mesin yang sama maka bahan bakar bensin memiliki torsi yang lebih besar dibandingkan bahan bakar etanol 96% dimana torsinya mencapai 8,6 Nm.

Untuk beban dan putaran mesin yang sama maka bahan bakar etanol 96% memiliki daya yang lebih besar dibandingkan bahan bakar bensin dimana dayanya mencapai 5,59 kW.

Untuk beban dan putaran mesin yang sama maka bahan bakar etanol 96% memiliki *Air Fuel Ratio* (AFR) yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin dimana AFR nya mencapai 11,3.

Untuk beban dan putaran mesin yang sama maka bahan bakar etanol 96% memiliki *Specific Fuel Consumption* (SFC) yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin dimana SFC nya mencapai 509,52 gr/kWh.

Untuk beban dan putaran mesin yang sama maka bahan bakar etanol 96% memiliki *effisiensi* yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin dimana effisiensinya mencapai 25,98%.

Untuk beban dan putaran mesin yang sama maka uji emisi gas buang dengan bahan bakar bensin memiliki kadar gas buang karbon monoksida (CO) lebih tinggi dibandingkan bahan bakar etanol 96% sedangkan untuk uji emisi gas buang dengan bahan bakar etanol 96% memiliki kadar gas buang karbon dioksida (CO₂) dan oksigen (O₂) lebih tinggi dibandingkan bahan bakar bensin.

Hasil ini menunjukkan bahwa bahan bakar etanol 96% lebih ramah lingkungan dibandingkan bensin.

Jumlah energi radiasi total yang diterima kolektor mulai pukul 08.00-17.00 WIB adalah 16,65 MJ/m². Radiasi pengukuran lebih kecil dibandingkan dengan radiasi teoritis. Panas hilang total kolektor adalah 12,19 MJ (panas hilang sisi dinding dan alas 1,10 MJ, panas hilang melalui permukaan kaca 1,71 MJ, dan panas hilang radiasi 9,38 MJ). Energi yang diserap stearic acid adalah 13,8 MJ. Dengan demikian efisiensi kolektor adalah 41,8 %.

Untuk penelitian selanjutnya, proses pengambilan data adalah faktor utama penentu dari persentase ralat kesalahan pengolahan data sehingga pada saat pengambilan data harus dilakukan berulang-ulang kali sampai diperoleh data yang benar.

Pada pengujian selanjutnya, alat ukur torsi sebaiknya menggunakan yang dapat di instalasi langsung dengan kendaraan uji untuk mendapat data yang lebih akurat dan menggunakan alat uji yang memiliki akurasi tinggi sehingga akan mengurangi persentase ralat kesalahan.

Untuk pengujian selanjutnya, nilai kalor bahan bakar perlu di uji untuk hasil yang lebih baik dan akurat.

Harapannya pengujian ini dapat dilanjutkan dan didalami untuk mendapatkan performansi terbaik dari mesin "MESIN USU" kedepannya.

Daftar Pustaka

1. Arismunandar. Wiranto, 1988. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
2. Heywood. John B. 1998. *Internal Combustion Engines Fundamental*. New York.
3. <http://tutorialteknik.blogspot.com/2011/05/siklus-otto-ideal.html>
4. <http://wordpress.com/2009/12/mesin-2-langkah>.
5. <http://motomodif-world.blogspot.com>
6. <http://id.wikipedia.org/wiki/Etanol>
7. <http://www.penixtech.com>
8. Khovakh. M., 1977. *Motor Vehicle Engines*. Mir Publisher. USSR,

- Moscow.
9. McCormick, R., Parish, R. & Milestone. 2001. *Report: Technical Barriers to the Use of Ethanol in Diesel Fuel*, National Renewable Energy Laboratory NREL, USA, Milestone Report NREL/MP-540-32674.
 10. Mollenhauer Klaus & Tchoeke Helmut, 2009. *Handbook of Diesel Engines*. Springer, Germany.
 11. Pulkrabek, Willard W. 1997. *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey. Prentice Hall.
 12. Shigley, dkk (Terjemahan Gandhi Harahap). (1991). *Perencanaan Teknik Mesin, Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
 13. www. [asian](http://asiancleanfuelassociation.com) clean fuel association.com
 14. Y. A. Cengel and M. A. Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, 5th ed, McGraw-Hill, 2006.