



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH INJEKSI *DISTILLATE* SEBAGAI BAHAN BAKAR
TAMBAHAN PADA GENSET BERBAHAN BAKAR BENSIN**

SKRIPSI

FARIZA INDRIANTO

0806368515

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH INJEKSI *DISTILLATE* SEBAGAI BAHAN BAKAR
TAMBAHAN PADA GENSET BERBAHAN BAKAR BENSIN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

FARIZA INDRIANTO

0806368515

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JUNI 2011**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Fariza Indrianto

NPM : 0806368515

Tanda Tangan :



Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Fariza Indrianto
NPM : 0806368515
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengaruh Injeksi *Distillate* Sebagai Bahan Bakar Tambahan
Pada Genset Berbahan Bakar Bensin.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng

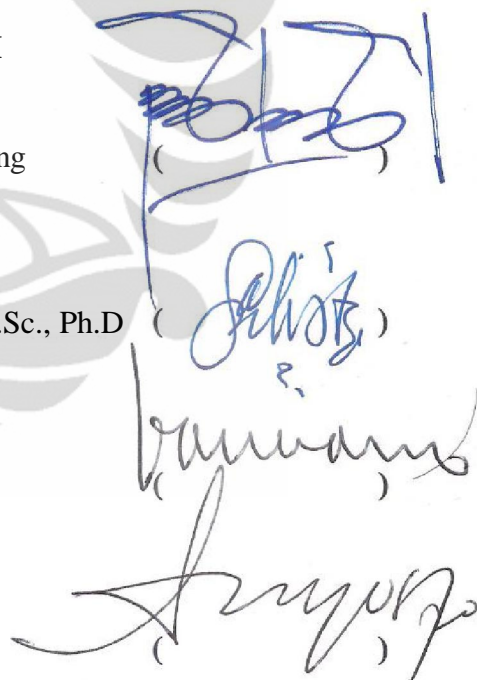
Penguji : Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, M.Sc., Ph.D

Penguji : Dr. Ir. R. Danardono A.S., DEA

Penguji : Dr. Ir. Adi Surjosatyo, M.Eng

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2011



Handwritten signatures of the examiners and supervisor, including Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, Prof. Dr. Ir. Yulianto S. Nugroho, Dr. Ir. R. Danardono A.S., and Dr. Ir. Adi Surjosatyo.

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT. yang telah memberikan nikmat serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan skripsi yang berjudul “Pengaruh Injeksi *Distillate* Sebagai Bahan Bakar Tambahan Pada Genset Berbahan Bakar Bensin”.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. **Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng** sebagai dosen pembimbing atas arahan dan pemikiran. Tak lupa untuk motivasi dan wawasan kehidupan yang selalu ia tekankan dalam setiap pertemuan, Thank’s prof.
2. **Ayah Ibu**, atas kesabaran dan ketangguhannya dalam membesarkanku. Dan tak lupa pula untuk airmata yang selalu menetes dari doa yang mereka panjatkan untukku.
3. **Dosen Teknik Mesin**, thank’s atas didikan, tuntunan dan ilmu yang kau berikan, makasih pula untuk nilainya. **Staf Karyawan Teknik Mesin**, thank’s untuk pelayanan dan dedikasimu.
4. **Panji, Ariel dan Jarot**, yang berada di belakang layar dalam pembuatan skripsi ini.
5. **Ehul, Raksa serta Rino**, teman satu tim yang telah melewati suka dukanya penelitian. Sungguh skripsi yang tak mudah!
6. **Seluruh Pihak**, atas dukungan, peminjaman alatnya, saran dan lain sebagainya yang penulis tidak dapat sebutkan namanya satu persatu, karena penulis juga lupa siapa saja orang tersebut.

Depok, Juni 2011

Penulis

(Fariza Indrianto)

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fariza Indrianto
NPM : 0806368515
Program Studi : Ekstensi Teknik Mesin
Departemen : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH INJEKSI *DISTILLATE* SEBAGAI BAHAN BAKAR TAMBAHAN PADA GENSET BERBAHAN BAKAR BENSIN

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Juni 2011

Yang menyatakan,



(Fariza Indrianto)

Abstrak

Nama : Fariza Indrianto
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengaruh Injeksi *Distillate* Sebagai Bahan Bakar Tambahan
Pada Genset Berbahan Bakar Bensin

Keterbatasan bahan bakar minyak bumi memaksa manusia untuk mencari sumber energi alternatif. Dan yang paling memungkinkan untuk Indonesia adalah energi bioetanol yang dapat diperoleh dari tebu, gandum, umbi dan jagung. Tanaman tersebut dapat tumbuh subur karena iklim tropis Indonesia, namun masih rendahnya teknologi dan belum diproduksinya secara massal membuat produk bioetanol terkesan mahal. Oleh karena itu diperlukan teknologi sederhana yang dapat memproduksi etanol berkadar rendah (*low grade ethanol*) menjadi tinggi, yaitu dengan destilasi.

Dalam penelitian ini memanfaatkan hasil destilasi (*distillate*) alkohol berkadar rendah sebagai bahan bakar tambahan pada genset berbahan bakar bensin. Digunakan injeksi *distillate* sebesar 10%, 20% dan 30% setelah karburator sebelum ruang bakar, kemudian diukur prestasinya untuk dibandingkan dan dianalisa pengaruh yang terjadi.

Kata kunci:

Energi alternative, Bioethanol, *distillate*, genset, injeksi dan prestasi.

Abstract

Name : Fariza Indrianto
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Affects of Distillate Injection as Additional Fuel on Gasoline
Genset

The limited oil resource forces humans to seek for alternative energy sources. The most possible alternative for Indonesia is through the bioethanol energy from sugar canes, wheats, roots, and corns. Those plants are fertile to be grown in Indonesian tropical climate, however the low technology and absence of massal production make the high cost for bioethanol production. Therefore, it needs simple technology for producing the low grade ethanol into the high grade, such as by distillation.

This research uses the distillate of low grade alcohol as additional fuel on gasoline genset. It was used the distillate injection in the amount of 10%, 20% and 30% after the carburator before the combustion chamber, then the performance was measured to be compared and analyzed on the occuring affects.

Key words:

Alternative Energy, Bioethanol, distillate, genset, injection and performance.

DAFTAR ISI

| | |
|---|------|
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN | iii |
| UCAPAN TERIMA KASIH | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI | v |
| ABSTRAK | vi |
| ABSTRACT | vii |
| DAFTAR ISI | viii |
| DAFTAR TABEL | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN | xiv |
| DAFTAR NOTASI | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | |
| 1.1. Latar Belakang | 1 |
| 1.2. Permasalahan | 2 |
| 1.3. Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4. Batasan Masalah | 2 |
| 1.5. Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II DASAR TEORI | |
| 2.1. Motor Pembakaran Dalam | 4 |
| 2.1.1. Pengertian | 4 |
| 2.1.2. Prinsip kerja | 4 |
| 2.1.3. Bagian-bagian Mesin | 6 |
| 2.1.4. Siklus | 9 |
| 2.2. Performa Motor | 11 |
| 2.2.1. Brake Horse Power (BHP)..... | 12 |
| 2.2.2. Brake Mean Effective Pressure (BMEP) | 12 |
| 2.2.3. Specific Fuel Consumption (SFC) | 13 |
| 2.2.4. Efisiensi Thermal | 13 |
| 2.3. Bioetanol | 15 |
| 2.3.1. Sifat | 17 |
| 2.3.2. Gasohol | 18 |

| | |
|---|----|
| 2.4. Kaburator | 19 |
| 2.4.1. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar | 19 |
| 2.4.2. Prinsip Kerja Karburator | 19 |
| 2.4.3. Konstruksi Karburator | 20 |
| 2.5. Destilator | 20 |
| 2.5.1. Evaporator | 21 |
| 2.5.2. Separator | 21 |
| 2.5.3. Kondensor | 22 |
| 2.6. Gas Buang | 22 |
| 2.6.1. Alat Pendeteksi Gas Buang | 22 |
| 1. Bagian-bagian gas analyzer | 23 |
| 2. Prinsip Kerja | 24 |
| 3. Penggunaan Alat | 25 |
| 4. Analisa Hasil Keluaran Gas Buang | 26 |
| 2.6.2. Bahaya Gas buang | 28 |
| 1. Polusi Udara | 28 |
| 2. Emisi dan Gas Polutan | 29 |
| BAB III METODOLOGI | |
| 3.1. Flow Chart | 30 |
| 3.2. Persiapan Mesin | 31 |
| 3.2.1. Jenis Mesin | 31 |
| 3.2.2. Sistikim Injeksi | 32 |
| 3.2.3. Gas Analyzer | 35 |
| 3.3. Persiapan Bahan Bakar | 36 |
| 3.4. Proses Penelitian | 36 |
| 3.4.1. Pengisian Bahan Bakar | 36 |
| 3.4.2. Pengisian Destilator | 37 |
| 3.4.3. Penyesuaian Beban Kerja | 37 |
| 3.4.4. Pengendalian RPM | 38 |
| 3.4.5. Penambahan Bahan Bakar Alkohol | 39 |
| 3.4.6. Pengendalian Tempratur Evaporator | 40 |
| 3.5. Proses Pengambilan Data | 41 |
| 3.5.1. Data Gas Buang | 42 |
| 3.5.2. Data Konsumsi Bahan Bakar | 42 |

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

| | |
|--|----|
| 4.1. Hasil Penelitian | 43 |
| 4.1.1. Alkohol Sebagai Bahan Bakar Utama | 43 |
| 1. Fuel Consumption | 43 |
| 2. Hasil Gas Anayzer | 44 |
| 4.1.2. Alkohol Sebagai Bahan Bakar Tambahan | 44 |
| 1. Fuel Consumption | 44 |
| 2. Hasil Gas Anayzer | 45 |
| 4.1.3. Perhitungan Nilai 'Q' | 45 |
| 1. Nilai Kalor Pada Beban Stasioner Tanpa Penambahan Alkohol | 46 |
| 2. Nilai Kalor Pada Beban Stasioner Dengan Penambahan Alkohol 10% | 46 |
| 3. Nilai Kalor Seluruh Penelitian | 47 |
| 4.1.4. Sankey Diagram | 48 |
| 4.2. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Bensin | 50 |
| 4.3. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi CO ₂ | 51 |
| 4.4. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi CO | 52 |
| 4.5. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi HC | 53 |
| 4.6. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi O ₂ | 54 |
| 4.7. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Lambda | 54 |
| BAB V KESIMPULAN | |
| 5.1. Saran | 56 |
| DAFTAR PUSTAKA | 57 |

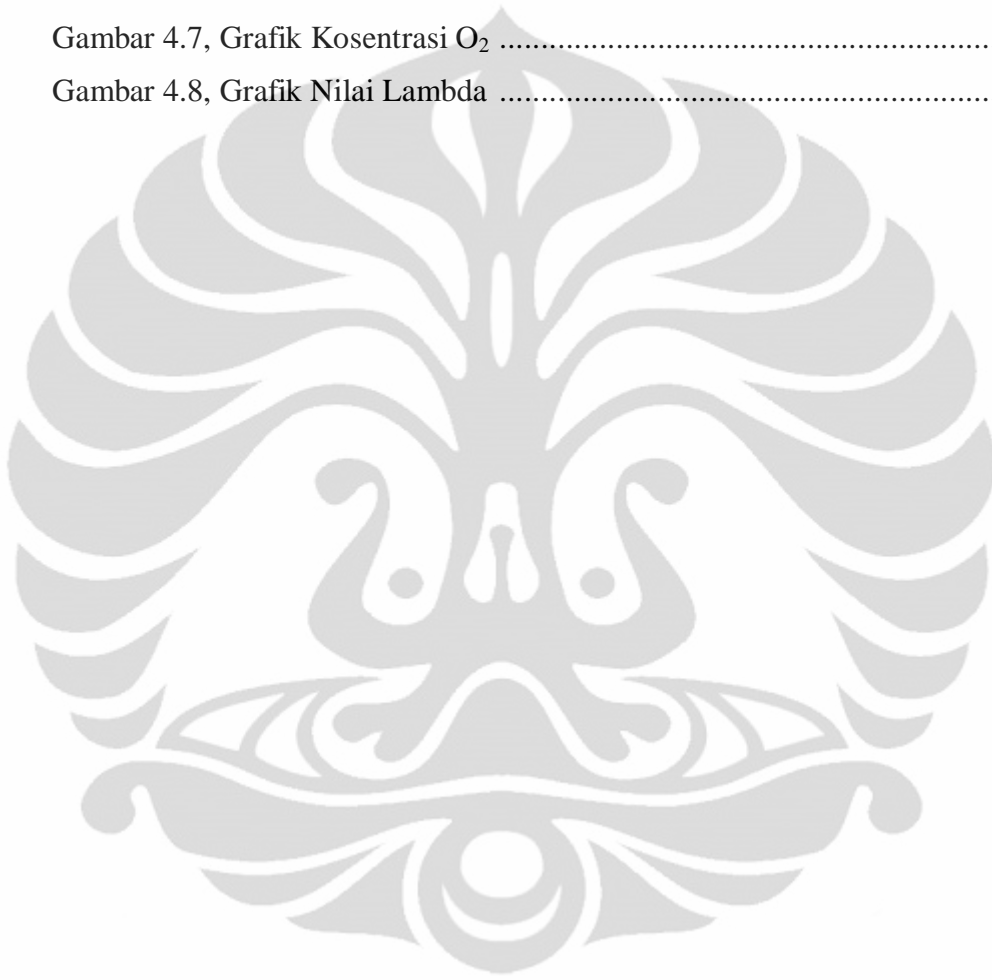
DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 2.1, Kadar Bioetanol dari Berbagai Bahan | 16 |
| Tabel 2.2, Heating Value Berbagai Bahan Bakar | 17 |
| Tabel 3.1, Spesifikasi Genset | 32 |
| Tabel 3.2, Spesifikasi Gas Analyzer | 35 |
| Tabel 4.1, Hasil Gas Analyzer Alkohol 80% | 44 |
| Tabel 4.2, Konsumsi Bahan Bakar Bensin (L/h) | 44 |
| Tabel 4.3, Hasil Gas Analyzer | 45 |
| Tabel 4.4, Nilai Kalor Seluruh Penelitian (KJ/s) | 47 |
| Tabel 4.5, Prosentase Perubahan Nilai Kalor (%) | 47 |
| Tabel 4.6, Nilai Balance Energy | 50 |
| Tabel 4.7, Nilai Pengurangan Bahan Bakar Bensin (L/h) | 51 |
| Tabel 4.8, Nilai Pengurangan Kosentrasi CO ₂ (% Volume) | 51 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1, Langkah Hisap | 5 |
| Gambar 2.2, Langkah Tekan | 5 |
| Gambar 2.3, Langkah Kerja | 5 |
| Gambar 2.4, Langkah Buang | 6 |
| Gambar 2.5, Bagian-Bagian Pada Gas Engine | 6 |
| Gambar 2.6, Siklus Spark Ignition | 9 |
| Gambar 2.7, Contoh Fermentasi | 16 |
| Gambar 2.8, Pompa (Semprotan) Obat Nyamuk | 19 |
| Gambar 2.9, Konstruksi Dasar Kaburator | 20 |
| Gambar 2.10, Destilator Sederhana | 21 |
| Gambar 2.11, Gas Analyzer | 23 |
| Gambar 2.12, Bagian-Bagian Pada Gas Analyzer | 23 |
| Gambar 2.13, Bagian Dalam Gas Analyzer | 24 |
| Gambar 2.14, Grafik Kosentrasi Gas Buang Berdasar AFR | 27 |
| Gambar 3.1, Flow Chart | 31 |
| Gambar 3.2, Genset Seagent SA 1500AX | 31 |
| Gambar 3.3, Infuse | 33 |
| Gambar 3.4, Tempat Penampungan | 33 |
| Gambar 3.5, Skema Sistim Injeksi | 34 |
| Gambar 3.6, Alat Pemasukan Bahan Bakar Sekunder | 34 |
| Gambar 3.7, Letak Alat Injeksi | 35 |
| Gambar 3.8, Tempat Penampungan Bahan Bakar | 36 |
| Gambar 3.9, Alkohol Meter | 37 |
| Gambar 3.10, Lamp Board | 37 |
| Gambar 3.11, Skema Lamp Board | 38 |
| Gambar 3.12, Control Manual Pada Kaburator | 38 |
| Gambar 3.13, Part Pengatur Tetesan Infuse Yang Jatuh | 39 |
| Gambar 3.14, Program Excel Untuk Mengetahui Jumlah Tetes Yang Masuk | 40 |
| Gambar 3.15, Sistim Bypass Pada Gas Buang | 40 |
| Gambar 3.16, Form Pengambilan Data | 41 |
| Gambar 3.17, Stopwatch | 42 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.1, Grafik Fuel Consumption Alkohol 80% | 43 |
| Gambar 4.2, Sankey Diagram Untuk Beban 100W | 49 |
| Gambar 4.3, Grafik Fuel Consumption Setiap Tingkatan Injeksi | 50 |
| Gambar 4.4, Grafik Kosentrasi CO ₂ | 51 |
| Gambar 4.5, Grafik Kosentrasi CO | 52 |
| Gambar 4.6, Grafik Kosentrasi HC | 53 |
| Gambar 4.7, Grafik Kosentrasi O ₂ | 54 |
| Gambar 4.8, Grafik Nilai Lambda | 54 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| LAMPIRAN 1 , Grafik Kosentrasi Gas Buang Berdasar AFR | 58 |
| LAMPIRAN 2 , Kesetimbangan Uap-Cair Campuran Etanol Dengan Air | 59 |
| LAMPIRAN 3 , Properties of fuel | 60 |
| LAMPIRAN 4 , Characteristics of Chemically Pure Fuels | 61 |
| LAMPIRAN 5 , Biaya Penelitian | 62 |
| LAMPIRAN 6 , Destilator | 63 |
| LAMPIRAN 7 , Evaporator | 64 |
| LAMPIRAN 8 , Separator | 65 |
| LAMPIRAN 9 , Condensor | 66 |

DAFTAR NOTASI

| Simbol | Keterangan | Dimensi |
|-----------|------------------------|------------|
| c | Kalor Jenis | [KJ/Kg.°C] |
| c_A | Kalor Jenis Alkohol | [KJ/Kg.°C] |
| c_W | Kalor Jenis Air | [KJ/Kg.°C] |
| Q_{in} | Kalor yang masuk | [KJ/s] |
| Q_{HV} | Heating Value | [KJ/Kg] |
| Q_{HVB} | Heating Value Bensin | [KJ/Kg] |
| Q_{HVA} | Heating Value Alkohol | [KJ/Kg] |
| Q_s | Kalor Sensibel | [KJ] |
| Q_{sa} | Kalor Sensibel Alkohol | [KJ] |
| Q_{sw} | Kalor Sensibel Air | [KJ] |
| ρ | Densitas, Massa jenis | [Kg/L] |
| ρ_B | Densitas Bensin | [Kg/L] |
| ρ_A | Densitas Alkohol | [Kg/L] |
| ρ_W | Densitas Air | [Kg/L] |
| m | Massa | [Kg] |
| \dot{m} | Fuel Consumption | [L/h] |
| T | Perbedaan Temperature | [°C] |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Energi merupakan salah satu permasalahan utama dunia pada abad ke-21. Sampai saat ini bahan bakar minyak masih menjadi konsumsi utama negara-negara dunia. Minyak bumi dapat menjadi senjata politik yang menakutkan karena sektor industri dunia sangat bergantung kepada pasokan minyak bumi. Bahkan ada negara yang sengaja menyerang negara lain hanya untuk menguasai lahan minyak buminya. Hal itu Karena ketersediaan minyak bumi menjadi hal yang sangat vital untuk menjaga keberlangsungan industri di negaranya.

Oleh sebab itu suatu negara perlu mencari sumber energi lain selain minyak bumi, seperti halnya negara Brazil yang sudah menggunakan alkohol sebagai sumber energy alternatif. Brazil walaupun tidak menggunakan alkohol murni dalam sektor transportasinya, setidaknya alkohol di Brazil sudah digunakan untuk campuran bensin sebanyak 25%. Hal ini memungkinkan bagi Brazil untuk memproduksi alkohol dalam jumlah besar, mengingat keadaan pertanian yang ada di negara ini mengalami surplus gula tebu.

Bukan tidak mungkin negara Indonesia mengikuti langkah Brazil, hal ini karena negara kita memiliki kekayaan hayati yang melimpah. Bahan-bahan seperti nira, tebu, jagung, singkong, umbi dan bahan lainnya dapat dengan mudah ditanam untuk diolah menjadi alkohol. Namun kembali lagi mengenai teknologi pengolahannya yang masih manual dan produksinya yang masih terbatas, membuat bahan bioetanol menjadi lebih tinggi harganya daripada premium.

Padahal sebenarnya energi yang dihasilkan dari etanol ini nilai oktannya mencapai 104 dan jika dicampur dengan bensin nilainya dapat mencapai 118. Bandingkan dengan premium yang nilai oktannya hanya 87, tentu hal ini sangat menguntungkan. Oleh karenanya perlu teknologi yang mengakomodir alcohol tanpa harus membeli alkohol murni, salah satunya dengan destilasi.

Destilasi adalah proses pemurnian, dimana alkohol dengan kadar rendah dapat dijadikan alkohol kadar tinggi. Prosesnya seperti halnya penyulingan, cairan yang terdiri dari dua jenis dipanaskan sampai menguap kemudian dicairkan

kembali dengan *heat exchanger*. Proses ini dapat terjadi karena perbedaan titik didih dari fluida yang akan dimurnikan.

Proses destilasi ini pun digunakan dalam penelitian ini, yaitu untuk memurnikan alkohol berkadar rendah supaya memiliki kadar yang tinggi. Namun setelah alkohol berkadar tinggi diperoleh, ia tidak dicampur dengan bensin untuk memperoleh gasohol. Karena pencampuran manual tidak akan membuat molekul gasoline dan alkohol tercampur dengan sempurna.

Oleh karenanya untuk memperoleh gasohol tanpa pencampuran, penulis menginjeksikan langsung alkohol yang dihasilkan dari destilasi ke saluran pembakaran.

1.2. Permasalahan

Dari penelitian yang dilakukan oleh Syaehul Akbar, dibuktikan bahwa hasil dari destilasi yang berkadar alkohol 80% saja dapat dijadikan sebagai bahan bakar. Namun apabila alkohol diinjeksikan sebagai bahan bakar tambahan dari bensin apakah masih dapat berfungsi. Akankah penambahan bahan bakar ini memperbaiki performa mesin, tidak berpengaruh atau mungkin kejadian sebaliknya yang terjadi.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa mesin yang ditimbulkan dari penambahan bahan bakar alkohol. Nilai penambahan yang digunakan yaitu 10%, 20% dan 30% dari bahan bakar utama berupa bensin. Nantinya akan dicari performa yang paling baik dari ketiga variable yang digunakan.

1.4. Batasan Masalah

Agar penyelesaian permasalahan ini dapat terarah dan tidak meluas, maka analisa permasalahan perlu dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan dalam batas kemampuan mesin yang di pakai.
2. Beban yang digunakan dianggap stabil pada nilainya.
3. RPM di set pada 3200, dan dianggap konstan.
4. Alkohol yang di injeksikan dianggap konstan pada 10%, 20% dan 30%.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian adalah seperti di bawah ini:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi tentang latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian dan sistematika penelitian.

BAB II DASAR TEORI

Bab ini berisi tentang teori-teori yang menunjang penelitian dan dapat digunakan sebagai analisa data hasil penelitian.

BAB III METODOLOGI

Bab ini menjelaskan tentang metode yang digunakan dan serta langkah langkah yang dilakukan selama melakukan penelitian.

BAB VI HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi kumpulan data yang di dapat dari penelitian kemudian akan dibahas dan dianalisa.

BAB VI KESIMPULAN

Bab ini merupakan bagian akhir laporan berisi tentang kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini serta saran-saran yang perlu disampaikan.

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Motor Pembakaran Dalam

2.1.1. Pengertian

Motor pembakaran dalam adalah motor yang mengkonversi energi kimia menjadi energi mekanik. Otto dan diesel termasuk dalam jenisnya, bila Otto menggunakan bensin sebagai bahan bakarnya lain halnya dengan diesel yang menggunakan solar sebagai bahan bakarnya dan dinyalakan tidak menggunakan busi (*spark plug*) melainkan dengan kompresi yang tinggi dimana bahan bakar solar nantinya dapat terbakar dengan sendirinya.

Dalam penelitian ini genset yang dipakai menggunakan prinsip Otto, dengan kapasitas sampai dengan 850 W. Istilah genset yang dikenal orang merupakan kependekan dari *generator set*, yaitu sebuah generator listrik yang di-couple dengan motor bakar. Energi listrik dihasilkan dari generator yang digerakkan oleh motor Otto dengan sumber berupa energi kimia.

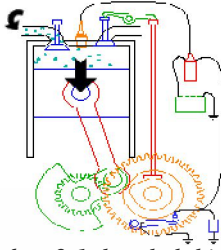
Energi kimia, yang berupa bensin, dibakar dengan udara bertekanan di dalam ruang bakar. Dari pembakaran di dalam motor Otto ini nantinya akan mendorong mekanisme torak yang hasil akhirnya berupa energi mekanik dari putaran *shaft*.

2.1.2. Prinsip kerja

Mekanisme inti dari motor Otto terletak pada proses pembakarannya yang terjadi di dalam *engine blok*, yaitu ketika terjadi satu kali pembakaran bensin akan dihasilkan empat langkah piston (kita mengenalnya dengan istilah empat tak). Adapun empat langkah tersebut adalah langkah hisap, kompresi, kerja dan buang. Masing-masing merupakan satu langkah translasi penuh dari piston.

Dengan mekanisme *connecting rod* yang berada pada *crankshaft* mesin, maka empat langkah translasi piston tersebut akan menghasilkan dua putaran penuh pada poros mesin. Adapun keempat langkah piston tersebut dijelaskan sebagai berikut:

1. Langkah hisap (*intake*)

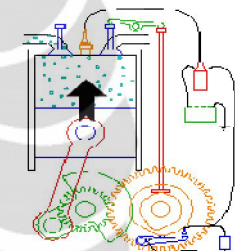


Gambar 2.1, langkah hisap

Selama langkah hisap, piston bergerak ke bawah, dan bersamaan dengan itu terbuka katup inlet dan untuk katup exhaustnya dalam keadaan tertutup. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya volume pada ruang bakar dan akan membuat keadaan dalam ruang silinder menjadi *vacum*. Akibatnya adalah perbedaan tekanan antara intake sistem (yang berada pada tekanan atmosfer) dengan tekanan *vacum* (yang berada didalam ruang bakar). Oleh karenanya campuran udara dan bahan bakar yang berada di saluran inlet akan dipaksa masuk dalam ruang bakar.

2. Langkah Tekan (*compression*)

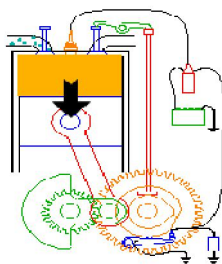
Saat piston mencapai BDC (*butom dead center/ titik mati bawah*) kedua valve tertutup, kemudian piston mulai bergerak kearah TDC (*top dead center/ titik mati atas*). Dengan naiknya piston ke TDC maka akan mengakibatkan volume dari silinder berkurang, maka campuran bahan bakar dan udara akan terkompresi. Dengan adanya kompresi ini maka tekanan dan tempratur dalam silinder akan naik.



Gambar 2.2, langkah Tekan

Pada saat piston akan menyentuh TDC, busi/ pemantik dinyalakan yang menyebabkan ledakan. Proses pemantikan sebelum piston menyentuh TDC amatlah penting, karena proses penyalaan membutuhkan waktu agar api dapat membakar seluruh campuran bahan bakar.

3. Langkah kerja (*work*)



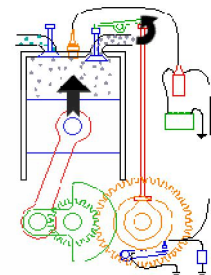
Gambar 2.3, langkah kerja

Dengan timbulnya ledakan maka tempratur dalam silinder akan naik sangat tinggi begitupula dengan tekanannya. Naiknya tekanan ini dimanfaatkan untuk mendorong kembali piston dari TDC kearah BDC. Gaya dorong ini sangat tinggi yang dapat membuat piston bergerak naik turun selama dua kali, selama gerakan duakali tersebut *shaft* akan berputar sebanyak dua putaran pula.

Langkah inilah yang digunakan sebagai langkah untuk menghasilkan tenaga dalam motor bakar, olehkarennya dinamakan langkah kerja.

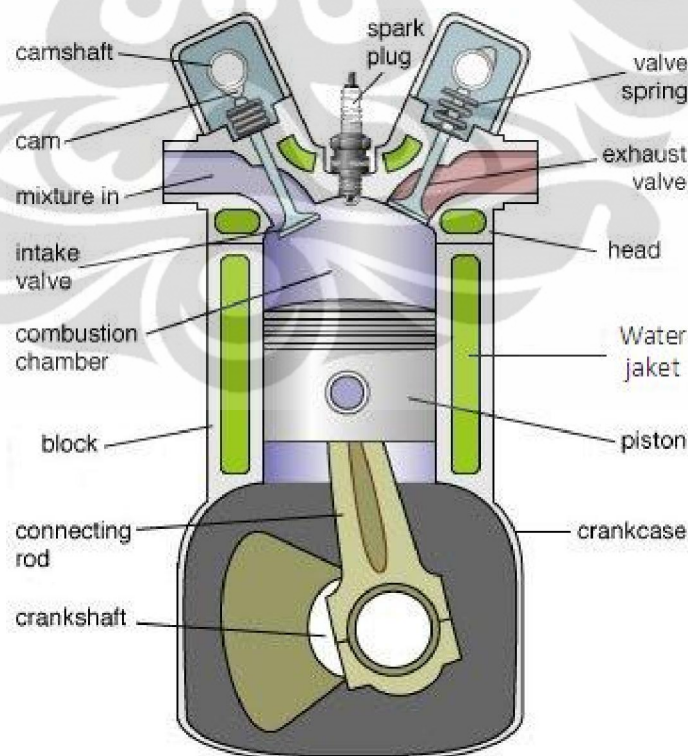
4. Langkah buang (*exhaust*)

Sesaat langkah kerja berakhir, katup buang terbuka oleh mekanisme *cam lifter*. Pada saat ini tekanan dan temperatur di dalam ruang bakar akan lebih tinggi dibanding dengan sekitarnya. Pada saat katup *exhaust* di buka, perbedaan tekanan ini memaksa gas panas dalam ruang bakar terdorong keluar, ditambah lagi dengan mekanisme piston yang bergerak ke TDC maka semua gas yang berada dalam ruang bakar akan terdorong keluar. Kemudian langkah pertama terulang kembali dimana bahan bakar dan udara dipaksa masuk dalam ruang bakar. Terus-menerus langkah bergiliran terjadi yang membuat mesin dapat berputar.



Gambar 2.4, langkah buang

2.1.3. Bagian-bagian Mesin



Gambar 2.5, Bagian-Bagian Pada Gas Engine
(sumber : <http://qwikstep.eu/search/parts-of-ic-engine.html>)

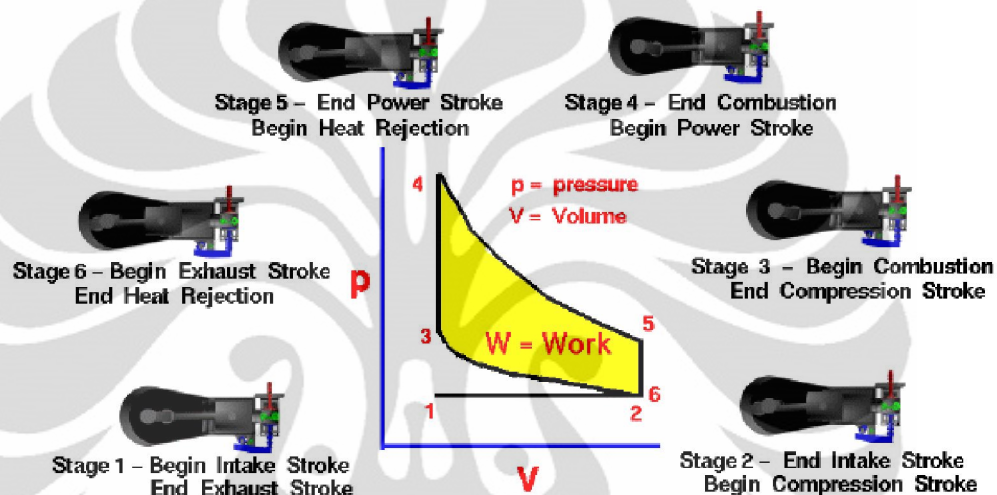
Berikut adalah list dari sebagian besar bagian motor pembakaran dalam jenis reciprocating:

- a. **Block, body** dari mesin yang terdiri dari silinder, terbuat dari cast iron atau aluminium. Di beberapa mesin tipe lama, valep dan *valve port* berada di dalam *block*. Blok mesin dengan sistem pendinginan air terdapat selongsong *water jacket* diskitar silinder. Untuk sistem pendinginan udara, sekeliling mesin memiliki sirip (*fin*) udara.
- b. **Camshaft, shaft** yang berputar yang berfungsi untuk dapat mendorong valep membuka dan menutup selama mesin bekerja, ia biasanya disambungkan langsung atau dengan mekanisme mekanikal atau hidrolis ke komponen *push rods, rocker arms, tappets*. Kebanyakan mesin kendaraan memiliki satu atau lebih *camshaft* yang berada di kepala mesin. Beberapa mesin yang lama memiliki *camshaft* yang berada di crankshaft. *Camshafts* sebaian besar terbuat dari baja tempa atau cast iron. Ia digerakan dengan belt atau dengan rantai (*timing chain*). Di dalam mesin empat langkan *camshaft* berputar setengah dari kecepatan mesin.
- c. **Catalytic converter**, ruangan yang berada pada saluran keluar yang terdiri dari *catalytic material* yang dapat mengurangi emisi dengan reaksi kimia.
- d. **Combustion chamber**, ruangan yang berada antara *head* mesin dengan ujung piston dimana pembakaran terjadi. *Combustion chamber* (ruang pembakaran) volumenya bisa berubah dari yang paling kecil ketika piston berada pada TDC kemudian terus bertambah volumenya ketika sampai ke BDC. Terminologi 'silinder' biasanya sinonim dari volume ruang bakar ini.
- e. **Connecting rod**, mekanisme penyambung piston dengan *crankshaft*, biasanya terbuat dari baja, paduan tempa atau aluminium.
- f. **Connecting rod bearing**, bearing yang memasangkan *connecting rod* ke *crankshaft*.
- g. **Carankcase**, bagian dari blok mesin yang dikelilingi dengan crankshaft. Di beberapa mesin tempat penyimpanan oli biasanya bagian dari crankshaft ini.
- h. **Crank shaft, shaft** yang berputar sebagai keluar dari kerja mesin. *Crankshaft* digabungkan dengan blok mesin menggunakan bearing utama. Ia dapat berputar dengan Bergeraknya piston yang dihubungkan dengan *conecting rod*.

- i. **Cylinders**, adalah selongsong dari blok mesin yang menjadi jalan dari piston dapat bergerak ke atas dan ke bawah. Dinding silinder ini merupakan permukaan yang keras dan halus. Dalam beberapa mesin ada yang permukaan silidnya di knurling, dengan tujuan untuk tetap memberikan permukaan pelumas film pada dinding.
- j. **Exhaus manifold**, sistem pemipaan yang mengalirkan gas keluar dari sistem silinder, biasanya terbuat dari *cast iron*.
- k. **Flywheel**, massa berputar yang memiliki momen inersia sangat besar, digabungkan dengan *crankshaft* dari engine. Tujuan dari *flywheel* ini adalah untuk menyimpan energi.
- l. **Head**, bagian yang dekat dengan silinder, biasanya terdiri dari ruangan yang kecil dari *combustion chamber*.
- m. **Piston**, bagian yang memenuhi silinder yang bergerak naik dan turun di dalam silinder. Piston ini mentransmisikan tekanan dalam *combustion chamber* ke *crankshaft* agar berputar. bagian atas dari piston disebut dengan *crown* (mahkota) dan sisi sampingnya di namakan skirt. Piston terbuat dari cast iron, baja atau aluminium.
- n. **Piston ring**, cincin metal yang terdapat di sebelah piston. Tujuan dari ring ini adalah untuk membentuk lapisan antara piston dan silinder dan untuk mencegah kebocoran tekanan tinggi gas dari ruang bakar.
- o. **Push rod**, tansmisi mekanikal antar *chamshaf* dan valep diatas mesin yang dapat membuat valep dapat membuka dan menutup.
- p. **Valves**, digunakan untuk memasukan atau mengeluarkan aliran dari silinder. Valve biasanya terdiri dari baja tempa.
- q. **Water jaket**, sistem dari cairan yang dapat mengalir sepanjang silinder, biasanya bagian dari mesin dan *head*. *Engine colant* mengalir sepanjang water jacket dan tetap menjaga diding silinder dari *overheating*.

2.1.4. Siklus

Dengan adanya siklus termodinamika, maka kita akan mudah untuk diperkirakan berapa daya yang dihasilkan dan power yang di butuhkan dari satu kali kerja mesin. Siklus termodinamika pada mesin gas ini dibawah ini membandingkan antara Tekanan (P) dengan volume (V). Namun siklus yang tertera di bawah ini adalah siklus ideal, siklus yang merupakan penyederhanaan dari siklus yang sebenarnya terjadi didalam gas engine.



Gambar 2.6, Siklus Spark Ignition
(Sumber : Motor Pembakaran Dalam, Bambang Sugiarto)

Kalau pembagian sebelumnya untuk satu kali pembakaran akan menghasilkan empat langkah piston. Namun dalam satu kali pembakaran disini akan dibagi menjadi enam tahap agar mempermudah penjelasan mengenai siklus termodinamika yang terjadi. Enam langkah tersebut akan dijabarkan sebagai berikut:

- Tahap 1 : permulaan langkah hisap mesin. Tekanan mendekati tekanan atmosfer dan volume gas pada titik minimum dengan piston berada di sisi kanan. Antara tahap 1 dan 2, piston bergerak ke arah kiri, tekanan konstan dan volume gas meningkat seketika itu pula campuran udara dan bahan bakar masuk ke silinder melalui katup hisap.
- Tahap 2 : dimulai langkah kompresi isentropis serta penutupan katup hisap. Antara tahap 2 dan 3, piston kembali bergerak ke arah kanan,

volume gas berkurang dan tekanan meningkat karena pada gas dilakukan kerja oleh piston.

- Tahap 3 : dimulai pembakaran campuran udara dan bahan bakar. Pembakaran terjadi sangat cepat dan volume konstan. Kalor dilepaskan selama pembakaran sehingga menaikkan nilai tekanan dan temperatur.
- Tahap 4 : dimulai langkah kerja dari mesin. Antara tahap 4 dan 5, piston kembali bergerak ke kiri, dengan demikian volume bertambah dan tekanan menurun oleh karena kerja yang dilakukan oleh gas.
- Tahap 5 : katup buang terbuka dan kalor residu pada gas berpindah ke lingkungan. Volume konstan dan tekanan menyesuaikan kembali ke kondisi atmosfer.
- Tahap 6 : dimulai langkah buang selama piston kembali bergerak ke kanan, volume menurun dan tekanan konstan. Di akhir langkah buang, kondisi kembali ke tahap 1 dan proses berulang dengan sendirinya. Selama siklus berjalan, kerja yang dilakukan piston pada gas terjadi antara tahap 2 dan 3. Kerja yang dilakukan gas pada piston terjadi pada tahap 4 dan 5.

Perbedaan antara kerja yang dilakukan oleh gas dan kerja yang dilakukan pada piston adalah merupakan kerja yang dihasilkan siklus. Kerja tersebut bila dikalikan dengan laju siklus (siklus per detik) akan menghasilkan daya (Power) mesin. Namun Pembahasan diatas ditujukan untuk siklus Otto ideal dimana kalor yang masuk dan keluar gas selama langkah kompresi dan langkah kerja diabaikan, kemudian kerugian akibat gesekan dianggap tidak berpengaruh dan pembakaran yang sangat cepat diasumsikan terjadi pada volume konstan. Pada kenyataannya, siklus ideal tidak pernah terjadi dan pada tiap-tiap proses akan selalu mengalami kerugian (*losses*). Kerugian-kerugian ini biasanya dihitung guna mendapatkan faktor efisiensi yang akan mengubah hasil dari siklus ideal.

Untuk siklus aktual, bentuk diagram P-V hampir serupa dengan diagram pada siklus ideal hanya saja area kerja (*Work*) selalu lebih kecil dari nilai idealnya.

2.2. Performa Motor

Perhitungan performa mesin adalah hal yang sangat penting dimana setiap mesin akan dinilai berapa nilai kerja yang dihasilkan dari mesin tersebut. Kerja tersebut akan menjadi tolak ukur apakah mesin tersebut layak pakai (dalam hal ini memiliki efisiensi tinggi) atau tidak layak pakai (karena daya yang dihasilkan lebih rendah dari nilai konsumsi bahan bakar yang digunakan). Nilai kerja tersebut bila dikalikan jarak kerjanya akan dihasilkan daya dan nilai daya ini yang biasanya dijadikan perhitungan performa mesin.

Ada berbagai macam cara untuk menghitung daya pada mesin, baik dengan batuan siklus daya gas atau dengan perhitungan langsung dari putaran mesinnya. Untuk perhitungan dengan siklus daya gas biasanya perlu diketahui dahulu siklus dan nilai-nilai yang membentuk siklus tersebut (*pressure, temprature, work* dan *volume*). kemudian dengan perhitungan thermodynamika dapat di hitung nilai W_{net} maupun efisiensinya. Adapun salah satu perumusan untuk menentukan daya secara thermodynamika dapat dinyatakan dengan rumus:

$$= \dots = (\dots).$$

Dimana,

P = pressure

A_p = area yang berhadapan dengan piston

X = jarak pergerakan piston

.

dv adalah defferensial volume dari piston yang bergerak sepanjang dx , jadi dayanya dapat di tuliskan.

=

Namun perhitungan secara thermodynamika biasanya dilakukan di laboraturium karena didukung oleh alat pengukur. Oleh karenanya dapat

dilakukan perhitungan langsung dengan objek poros mesin dari motor bakar. Perumusan yang biasa digunakan adalah :

$$= 2 \dots (\quad)$$

Dimana :

W = Daya yang dihasilkan (Watt)

N = Putaran poros mesin (rpm)

T = Torsi (N.m)

Dari persamaan diatas maka kita perlu menentukan nilai dari N (putaran) dan torsinya. Namun untuk beberapa gas engine dewasa ini biasanya daya outputnya sudah dapat diketahui dari display komputer, hal ini dikarenakan mesin telah di lengkapi sensor yang dapat menghitung daya yang dihasilkan.

Perumusan diatas biasanya dikenal dengan *Brake Horse Power* (BHP), walaupun ada metode lain untuk menentukan nilai ini, tetapi metode ini dianggap paling mudah karena lebih cepat menghitung nilainya.

2.2.1. Brake Horse Power (BHP)

Brake Horse Power, pada dasarnya digunakan untuk mengukur daya pada poros mesin. Daya ini merupakan daya yang dihasilkan mesin dengan beban-beban tertentu (inersia mobil, gesekan udara, dll.). Namun dalam penelitian ini BHP yang digunakan adalah perhitungan dari daya listrik yang dihasilkan. Hal ini karena dalam mesin genset output putaran dari porosnya sudah dikopel dengan generator, sehingga sulit untuk memasang dynamometer.

Adapun perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut sebagai berikut:

$$= = \dots (\quad)$$

Keterangan,

BHP = = Daya Terukur (Watt)

V = Voltase (V)

I = Arus (A)

2.2.2. Brake Mean Effective Pressure (BMEP)

Brake Mean Effective Pressure (BMEP) merupakan suatu parameter pengukuran yang sangat efektif dalam membandingkan antara kinerja mesin satu dengan mesin yang lainnya untuk ukuran yang sama. Mesin yang memiliki BMEP lebih besar akan menghasilkan kerja per-cycle lebih besar sehingga performanya lebih baik. Persamaan untuk mendapatkan nilai Brake Mean Effective Pressure (BMEP) adalah :

$$= \frac{.60.}{.} ()$$

Dimana :

BMEP = Tekanan efektif rata-rata (KPa)

= Daya Terukur (Watt)

Vd = Volume displacement mesin (L)

n = Putaran (rpm)

Nr = Banyaknya putaran crank per siklus (putaran/siklus)

2 untuk mesin 4-langkah

1 untuk mesin 2-langkah.

Nilai maksimum BMEP dapat digunakan untuk menghitung seberapa besar Volume Displacement mesin untuk mendapatkan daya atau torsi yang diberikan pada kecepatan tertentu.

2.2.3. Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption (SFC) merupakan parameter yang biasa digunakan pada motor pembakaran dalam untuk menggambarkan pemakaian bahan bakar. SFC didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran massa bahan bakar terhadap daya yang dihasilkan (output). Dapat pula dikatakan bahwa *Specific Fuel Consumption* (SFC) menyatakan seberapa efisien bahan bakar yang disuplai ke mesin untuk dijadikan daya output. Satuan dalam Sistem Internasional (SI) adalah kg/kWh.

Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan SFC adalah sebagai berikut :

$$= \frac{\dots}{735,5} \left(\frac{\dots}{\dots} \right)$$

Sedangkan untuk FC adalah,

$$= \frac{\dots \cdot 3600}{\dots} \left(\frac{\dots}{\dots} \right)$$

Dimana :

SFC = bahan bakar yang digunakan secara spesifik (L/HP.h)

FC = bahan bakar yang digunakan (L/h)

= daya poros efektif (Watt)

Vf = volume yang di konsumsi (L)

t = waktu konsumsi (s)

2.2.4. Efisiensi Thermal

Efisiensi Thermal dapat diartikan sebagai perbandingan antara daya yang dihasilkan dengan nilai dari bahan bakar. Setiap bahan bakar memiliki nilai kalor (*energy*) yang diperoleh dari hasil laboratorium. Bila nilai energi tersebut dikalikan dengan jumlah bahan bakar yang masuk akan menghasilkan suatu nilai energi pula. Dan apabila energi yang dihasilkan oleh motor bakar nilainya mendekati nilai hitung energi bahan bakar, maka dikatakan mesin tersebut memiliki efisiensi termal yang tinggi, pun sebaliknya demikian.

Adapun perumusan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$= \frac{\dots}{\dots}$$

Dimana :

= Efisiensi Thermal

= daya terukur (Watt)

= Kalor Masuk (KJ/s)

= Laju Aliran Bahan Bakar (L/h)

= Nilai Kalor Bahan Bakar (KJ/Kg)

2.3. Bioetanol

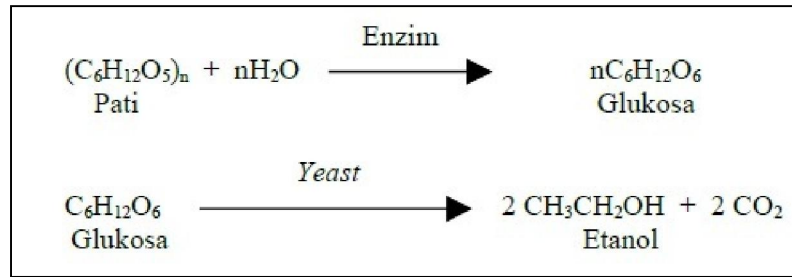
Energi kimia yang digunakan dalam motor otto tidak hanya berasal dari gasoline atau lebih dikenal dengan bensin. Karena bensin berasal dari minyak bumi yang merupakan hasil pengendapan bertahun-tahun hewan purba di dalam perut bumi, tentu saja keberadaanya pun terbatas. Oleh karenanya telah dikembangkan bahan bakar alternatif yang salah satunya yaitu bioetanol.

Methanol (methyl alcohol) dan ethanol (ethyl alcohol) adalah jenis dari alkohol. Alkohol merupakan senyawa kimia dengan grup hydroxyl berdampingan dengan atom carbon, biasanya bersanding dengan atom carbon atau hydrogen. Mengapa alkohol begitu penting karena alkohol memiliki sifat yang dapat menggantikan bensin, disamping kelebihanannya sebagai berikut:

1. Memiliki nilai oktan yang tinggi dengan anti-knock index number lebih dari 100.
2. Secara umum memiliki emisi yang rendah dibanding dengan gasoline.
3. Ketika di bakar, ia akan membentuk banyak molekul di exhaust, yang akan memberikan tekanan yang tinggi dan power yang besar di langkah ekspansi.
4. Kandungan sulfur yang rendah.

Etanol dibuat dari fermentasi gula, namun ada pula yang dibuat dari hasil penyulingan minyak bumi. Sedangkan definisi bioetanol lebih ke etanol yang dibuat bahan tumbuh-tumbuhan atau biomass. Bioetanol pada umumnya terbuat dari bahan dasar pati-patian seperti singkong, adapula yang berbahan dasar tetes tebu, biomasa dan lain lain sejenisnya. Proses pembuatan sama dengan etanol, yaitu difermentasikan agar menjadi alkohol.

Proses fermentasi dimaksudkan untuk mengubah glukosa menjadi etanol dengan menggunakan *yeast*. Alkohol yang diperoleh dari proses fermentasi ini biasanya alcohol dengan kadar 8–10 persen volume. Reaksi pembuatan etanol dengan fermentasi sebagai berikut:



Gambar 2.7, Contoh Fermentasi

Bahan baku yang sering digunakan untuk pembuatan etanol dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu :

a. *Bahan bergula (sugary materials) :*

Tebu dan sisa produknya (molase, bagase), gula bit, tapioca, kentang manis, sorghum manis, dll.

b. *Bahan-bahan berpati (starchy materials) :*

Tapioka, maizena, barley, gandum, padi, kentang, jagung dan ubi kayu

c. *Bahan-bahan lignoselulosa (lignosellulosic material) :*

Sumber selulosa dan lignoselulosa berasal dari limbah pertanian dan kayu. Dari berbagai bahan baku tersebut akan dipilih bahan baku yang paling efisien untuk dibuat bioetanol.

Tabel 2.1, Kadar Bioetanol dari Berbagai Bahan

| Sumber | Berat | Kandungan Pati | Jumlah Bioetanol | Perbandingan |
|------------|-------|----------------|------------------|--------------|
| | (kg) | (kg) | (liter) | Hasil |
| Ubi Kayu | 1000 | 240-300 | 166,5 | 6,5:1 |
| Ubi Jalar | 1000 | 150-200 | 125 | 8:1 |
| Jagung | 1000 | 600-700 | 400 | 2,5:1 |
| Sagu | 1000 | 120-160 | 90 | 12:1 |
| Tetes Tebu | 1000 | 450-520 | 250 | 4:1 |
| Tebu | 1000 | 110 | 67 | 15:1 |

Tabel 2.1, menunjukkan bahwa bahan baku yang memiliki efisiensi tertinggi adalah jagung, kemudian disusul dengan tetes tebu dan ubi kayu, sedangkan tebu memiliki efisiensi paling rendah. Hal ini terlihat menunjang dan ada hubungannya dengan kebijakan Amerika yang memilih jagung sebagai bahan baku produksi bioetanol bukan tetes tebu atau gula. Namun biaya pengolahan bioetanol dari

jagung atau bahan berpati biasanya relatif mahal karena membutuhkan proses dan peralatan tambahan sebelum proses fermentasi.

2.3.1. Sifat

Tabel 2.2, Heating Value Berbagai Bahan Bakar

| Fuel | Molecular Weight | Heating Value | | Octane Number | | Cetane Number | |
|------------------------------|-------------------------------------|---------------|-------------|---------------|-------|---------------|-------|
| | | HHV (kJ/kg) | LHV (kJ/kg) | MON | RON | | |
| gasoline | C ₈ H ₁₅ | 111 | 47300 | 43000 | 80-91 | 92-99 | |
| light diesel | C _{12.3} H _{22.2} | 170 | 44800 | 42500 | | | 40-55 |
| heavy diesel | C _{14.6} H _{24.8} | 200 | 43800 | 41400 | | | 35-50 |
| isooctane | C ₈ H ₁₈ | 114 | 47810 | 44300 | 100 | 100 | |
| methanol | CH ₃ OH | 32 | 22540 | 20050 | 92 | 106 | |
| ethanol | C ₂ H ₅ OH | 46 | 29710 | 26950 | 89 | 107 | |
| methane | CH ₄ | 16 | 55260 | 49770 | 120 | 120 | |
| propane | C ₃ H ₈ | 44 | 50180 | 46190 | 97 | 112 | |
| nitromethane | CH ₃ NO ₂ | 61 | 12000 | 10920 | | | |
| heptane | C ₇ H ₁₆ | 100 | 48070 | 44560 | 0 | 0 | |
| cetane | C ₁₆ H ₃₄ | 226 | 47280 | 43980 | | | 100 |
| heptamethylnonane | C ₁₂ H ₃₄ | 178 | | | | | 15 |
| α -methyl-naphthalene | C ₁₁ H ₁₀ | 142 | | | | | 0 |
| carbon monoxide | CO | 28 | 10100 | 10100 | | | |
| coal (carbon) | C | 12 | 33800 | 33800 | | | |
| butene-1 | C ₄ H ₈ | 56 | 48210 | 45040 | 80 | 99 | |
| triptane | C ₇ H ₁₆ | 100 | 47950 | 44440 | 101 | 112 | |
| isodecane | C ₁₀ H ₂₂ | 142 | 47590 | 44220 | 92 | 113 | |
| toluene | C ₇ H ₈ | 92 | 42500 | 40600 | 109 | 120 | |
| hydrogen | H ₂ | 2 | 141800 | 120000 | | 90 | |

(Sumber : Engineering Fundamental Of Internal Combustion Engine, Willard W Pulkabek)

Etanol memiliki berat jenis sebesar 0,7850 g/ml (15°C) dan titik didih sebesar 78.4°C pada tekanan 766 mmHg. Etanol larut dalam air dan eter dan mempunyai panas pembakaran 328 Kkal. Menurut Paturau (1981), fermentasi etanol membutuhkan waktu 30-72 jam. Prescott and Dunn (1981) menyatakan bahwa waktu fermentasi etanol yang dibutuhkan adalah 3 hingga 7 hari. Frazier and Westhoff (1978) menambahkan suhu optimum fermentasi 25-30°C dan kadar gula 10-18 %. Sedangkan Etil-Alkohol (CH₃CH₂OH) dikenal juga dengan nama alkohol adalah suatu cairan tidak berwarna dengan bau yang khas. Di dalam perdagangan kualitas alkohol di kenal dengan beberapa tingkatan, yaitu:

a. Alkohol Teknis (96,5°GL)

Digunakan terutama untuk kepentingan industri sebagai bahan pelarut organik, bahan baku maupun bahan antara produksi berbagai senyawa organik lainnya. Alkohol teknis biasanya terdenaturasi memakai ½ -1 % piridin dan diberi warna memakai 0,0005% metal violet.

Etanol bersifat Azeotrop (*constant boiling mixture*), Ketika campuran azeotrop dididihkan, fasa uap yang dihasilkan memiliki komposisi yang sama dengan fasa cairnya. Karena itu pemurnian etanol yang mengandung air dengan cara penyulingan biasa hanya mampu menghasilkan etanol dengan kemurnian 96%.

b. Alkohol Murni (96,0 – 96,5 °GL)

Digunakan terutama untuk kepentingan farmasi dan konsumsi misal untuk minuman keras.

c. Alkohol Absolut (99,7 – 99,8 °GL)

Digunakan di dalam pembuatan sejumlah besar obat-obatan dan juga sebagai bahan antara didalam pembuatan senyawa-senyawa lain skala laboratorium. Alkohol jenis ini disebut *Fuel Grade Ethanol* (F.G.E) atau *anhydrous ethanol* yaitu etanol yang bebas air atau hanya mengandung air minimal. Alkohol absolut terdenaturasi digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dan motor bensin lainnya.

2.3.2. Gasohol

Bioetanol bersifat multi-guna karena bila dicampurkan dengan bensin pada komposisi berapapun memberikan dampak yang positif. Pencampuran bioetanol absolut sebanyak 10 % dengan bensin 90%, sering disebut Gasohol E-10. Gasohol singkatan dari *gasoline* (bensin) plus alkohol (bioetanol). Etanol absolut memiliki angka oktan (ON) 117, sedangkan Premium hanya 87-88. Gasohol E-10 secara proporsional memiliki ON 92 atau setara Pertamina. Pada komposisi ini bioetanol dikenal sebagai octan enhancer (aditif) yang paling ramah lingkungan dan di negara-negara maju telah menggeser penggunaan Tetra Ethyl Lead (TEL) maupun Methyl Tertiary Butyl Ether (MTBE).

Pencampuran sampai dengan 24 % masih dapat menggunakan mobil bensin konvensional. Di atas itu, diperlukan mobil khusus yang telah banyak diproduksi di AS maupun Brazil. Yang populer dan diminati saat ini adalah *Flexible-Fuel Vehicle* (FFV). Ini sejenis “mobil cerdas” karena dilengkapi dengan sensor dan panel otomatisasi yang dapat mengatur mesin untuk menggunakan campuran bensin-bioetanol pada komposisi berapapun.

2.4. Kaburator

Bahan bakar yang dikirim kedalam silinder untuk mesin harus ada dalam kondisi mudah terbakar agar dapat menghasilkan efisiensi tenaga yang maksimum. Bensin sedikit sulit terbakar bila tidak diubah ke dalam bentuk gas. Bensin tidak dapat terbakar dengan sendirinya, harus dicampur dengan udara dalam perbandingan yang tepat.

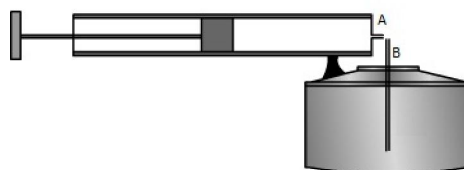
2.4.1. Perbandingan Udara dan Bahan Bakar

Perbandingan udara dan bahan bakar dinyatakan dalam volume atau berat dari bagian udara dan bahan bakar. Pada umumnya, perbandingan udara dan bahan bakar dinyatakan berdasarkan perbandingan berat udara dengan berat bahan bakar.

Perbandingan udara dan bahan bakar dalam teorinya adalah 14.7:1, yaitu lima belas untuk udara berbanding satu untuk bensin. Tetapi pada kenyataannya, mesin memerlukan campuran udara dan bahan bakar dalam perbandingan yang berbeda-beda tergantung pada temperatur, kecepatan mesin, beban dan kondisi lainnya.

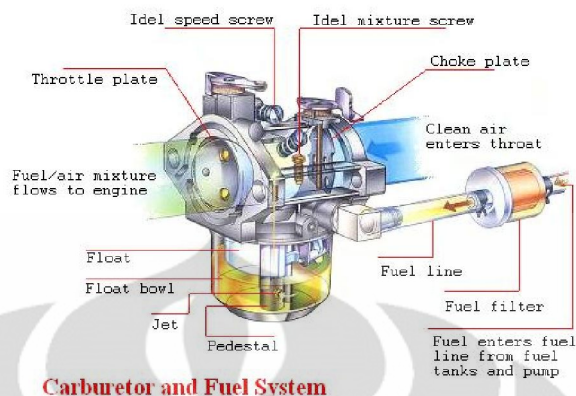
2.4.2. Prinsip Kerja Karburator

Dasar kerja pada karburator sama dengan prinsip semprotan obat nyamuk. Ketika udara ditiup dengan mendorong pompa, udara akan bertiup kencang melalui pipa A. Sehingga daerah yang dilalui aliran pipa A akan mengalami penambahan kecepatan sedangkan tekanan didaerah tersebut akan turun, sehingga cairan yang berada di dalam tabung akan tersedot melalui pipa B. Hal ini karena didalam tabung (dibawah pipa B) tekananya lebih besar daripada diatas pipa B yang menyebabkan cairan mengalir, kemudian tersembur.



Gambar 2.8, Pompa (Semprotan) Obat Nyamuk

2.4.3. Konstruksi Karburator



Gambar 2.9, Konstruksi Karburator

(sumber: <https://royskots.wordpress.com/2009/07/16/teori-karburator/>)

Gambar 2.9 diatas memperlihatkan bentuk karburator. Bila torak bergerak ke bawah di dalam silinder selama langkah hisap pada mesin, akan menyebabkan kevakuman didalam ruang bakar. Dengan terjadinya vakum ini, udara masuk ke ruang bakar melalui karburator. Besarnya udara yang masuk ke silinder diatur oleh katup *throttle* yang gerakannya diatur oleh pedal akselerasi.

Bertambah cepatnya aliran udara yang masuk melalui saluran yang sempit (disebut venturi), tekanan pada venturi menjadi rendah. Hal ini menyebabkan bensin dalam ruang pelampung mengalir keluar melalui saluran utama (saluran *jet* pada gambar) ke ruang bakar.

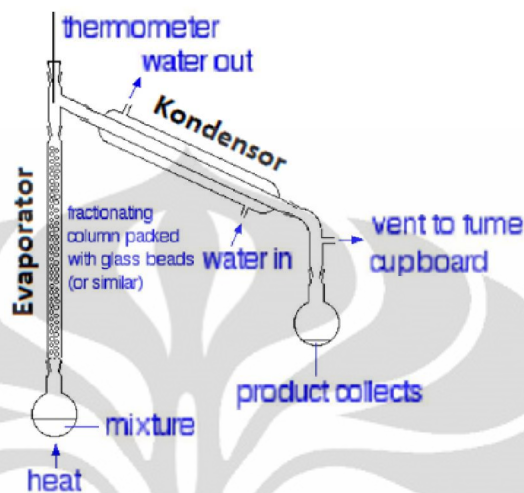
Jumlah udara maksimum yang masuk ke karburator terjadi saat mesin berputar pada kecepatan tinggi dengan posisi katup *throttle* terbuka penuh. Kecepatan udara yang bergerak melalui venturi bertambah dan memperbesar jumlah bensin yang keluar melalui saluran *jet*.

2.5. Destilator

Distilasi adalah proses pemisahan antara dua atau lebih komponen cairan yang berada dalam suatu campuran dengan menggunakan perbedaan volatilitas relatif atau perbedaan titik didih. Semakin besar perbedaan pada nilai volatilitas relatif maka semakin besar pula ketidaklinieran dan akan semakin mudah suatu campuran dipisahkan menggunakan proses distilasi.

Distilasi terdapat dua proses yaitu proses penguapan dari campuran cairan dalam suatu bejana dan proses penghilangan uap dari bejana dengan kondensasi.

Oleh karena perbedaan volatilitas relatif atau titik didih, uap akan kaya dengan komponen yang lebih ringan dan cairan akan kaya dengan komponen yang lebih berat.



Gambar 2.10, Destilator Sederhana

2.5.1. Evaporator

Evaporator bila diambil dari dasar namanya berarti evap, yang artinya uap. Jadi evaporator disini adalah alat (penukar kalor) yang dapat menguapkan fluida. Dalam destilator peranan evaporator sangat besar, yaitu memisahkan dua fluida yang memiliki perbedaan titik didih. Fluida dengan titik didih lebih rendah akan lebih cepat menguap selanjutnya menuju ruang kondensasi untuk dikembalikan fasenya menjadi cair. Fase cair yang terbentuk akan memiliki nilai konsentrasi lebih besar karena fluida dengan titik didih yang lebih tinggi belum sempat menguap. Namun apabila telah mencapai temperatur titik didih fluida tertinggi, biasanya konsentrasi fluida pertama akan menurun.

2.5.2. Separator

Separator dapat diartikan sebagai alat untuk memisahkan fluida yang tidak saling larut karena perbedaan densitasnya. Separator memiliki peranan yang tidak kalah penting walau tidak masuk dalam susunan utama destilator pada umumnya. Namun keberadaannya dapat ditambahkan pada destilator guna memperoleh kadar pemurnian yang lebih baik.

Ada berbagai macam cara pemisahan fluida pada separator, sentrifugal, grafitasi, impingement bahkan elektrostatis. Untuk separator yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode grafitasi.

Dalam keadaan murni, air memiliki titik didih 100°C sedangkan etanol 78.4°C . Ketika campuran etanol dan air dididihkan, maka etanol akan menguap terlebih dahulu dengan meninggalkan air. Kemudian pada saat melewati separator air yang densitasnya lebih tinggi (1 kg/L) dibanding dengan etanol (0.7850 Kg/L) akan berada dibawah, kemudian jaring-jaring yang dipasang pada separator berfungsi untuk mempersulit partikel air untuk lewat, sehingga etanol akan lebih murni ketika melewati separator.

2.5.3. Kondensor

Kondensor berfungsi seperti layaknya *heat exchanger*, yaitu memindahkan panas dari etanol yang memiliki fase uap ke air yang disirkulasikan. Tujuannya adalah merubah fase uap etanol menjadi cair kembali.

2.6. Gas Buang

Gas buang merupakan campuran bahan bakar dan udara yang telah diambil energinya lalu dikeluarkan lewat *exhaust* agar dalam ruang bakar dapat diisi kembali oleh gas yang baru. Gas tersebut tidak hanya berakhir di udara, melainkan dapat di teliti lewat suatu alat yang nantinya dapat komposisi apa yang ada dalam gas buang tersebut. Tujuannya adalah lewat hasil komposisi gas ini maka dapat dianalisa apakah mesin dalam performa yang baik atau sebaliknya, selain itu pula dapat diketahui ramah tidaknya bahan bakarnya. Berapa banyak bahan bakar akan menghasilkan polutan bagi udara, lalu apa bila bahan bakarnya diganti apakah akan tetap sama atau justru terjadi perbedaan, semua itu dapat di analisa lewat gas buang.

2.6.1. Alat Pendeteksi Gas Buang

Alat penguji emisi gas buang tersebut dibagi menjadi dua, untuk kendaraan bermotor dengan berbahan bakar bensin (motor *Otto*) dinamakan *Exhaust Gas Analyzer*, dan untuk yang berbahan bakar solar (motor *Diesel*) dinamakan *Smoke Analyzer*.

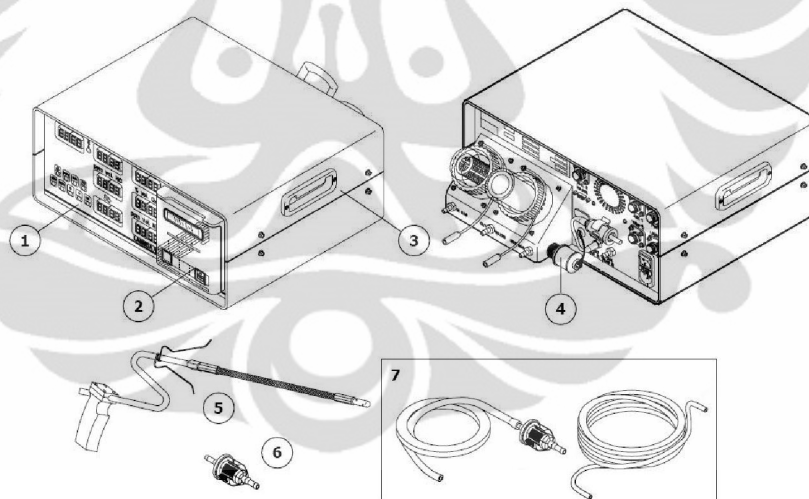
Performa suatu mesin dapat diketahui gas analyzer dengan jalan mengetahui apakah pembakaran pada mesin terjadi secara sempurna atau tidak. Yaitu lewat

kadar CO₂ yang dihasilkan, apabila terjadi pembakaran sempurna maka CO₂ akan dihasilkan lebih banyak daripada CO. Sedangkan sempurna atau tidaknya pembakaran pada mesin tergantung pada campuran bahan bakar dengan udara, apakah campurannya terlalu banyak bahan bakarnya (campuran *rich*) atau terlalu banyak udaranya (campuran *lean*).

1. Bagian-bagian gas analyzer



Gambar 2.11, Gas Analyzer



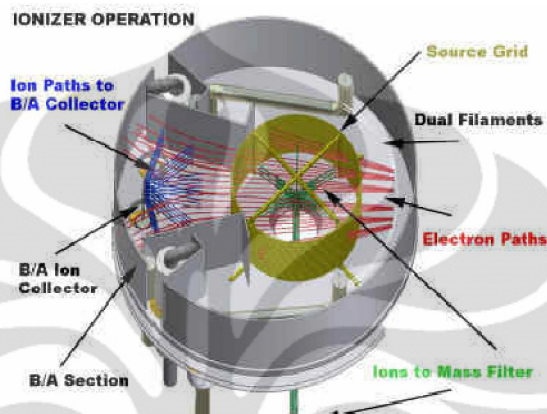
Gambar 2.12, Bagian-Bagian Pada Gas Analyzer

Keterangan :

1. Panel depan
2. Print
3. Cover penutup
4. Sensor oksigen
5. Probe
6. Selang gas

2. Prinsip Kerja

Gas analyzer merupakan rangkaian peralatan yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas buang dalam bentuk CO₂, CO, NO_x dan HC dan juga kadar O₂ yang ikut terbuang. Metode yang umum digunakan dalam proses pendeteksian keberadaan gas buang adalah melalui metode ionisasi.



Gambar 2.13, Bagian Dalam Gas Analyzer
(Sumber : Motor Pembakaran Dalam, Bambang Sugiarto)

Langkah awal untuk menganalisa gas ini adalah dengan pembentukan ion, dimana saat molekul gas dalam ukuran beberapa mikrometer atau lebih (<10-3 Torr) memasuki sebuah *vacuum system*, sekumpulan elektron dengan tingkat energi yang sesuai akan membentuk sekumpulan ion positif dengan laju pembentukan yang sesuai dengan temperatur, tekanan dan karakteristik dari molekul gas yang masuk. Sumber elektron ini adalah sebuah filamen panas dengan energi sebesar 70 eV dengan arus beberapa miliampere.

Elektron yang dihasilkan oleh *source grid* kemudian melalui *before/after (B/A) gauge* untuk kemudian menghasilkan lebih banyak ion. Ion-ion ini kemudian menumbuk *collector wire* untuk kemudian menghasilkan arus yang besarnya sesuai dengan tekanan gas total. Setelah tahap ini dilewati, serangkaian ion telah terbentuk dan secara elektrostatis diarahkan menuju filter massa.

Langkah selanjutnya adalah penyaringan ion, dengan empat pasang kutub yang terdiri dari susunan empat batangan logam dengan voltase yang dapat diubah-ubah setiap saat digunakan untuk menyaring ion yang masuk berdasarkan massanya. Penyaring massa ini haruslah dibuat seteliti mungkin dan memiliki ketepatan penyaringan sepanjang komponennya.

Ion yang telah di saring kemudian di deteksi, ion yang telah melalui penyaring massa akan digerakkan menuju *Faraday cup* dan arus yang mengalir didalamnya diukur dengan menggunakan ammeter yang sangat sensitif.

Arus yang terbentuk dari ion-ion sangatlah lemah oleh karenanya perlu di perkuat dengan penguat sinyal. Sebagai contoh: pada tekanan 10-11 Torr, arus yang terbaca pada *Faraday detector* adalah sebesar 10-14 Ampere. Ion yang terbentuk merupakan ion yang sesuai dengan karakteristik molekul asap yang masuk kedalam *gas analyzer* sehingga pada tampilan keluarannya dapat diketahui jenis gas yang terkandung.

3. Penggunaan Alat

Gas analyzer yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah berasal dari pabrikan tecnotes asal itali dengan tipe 488 yang di produksi tahun 1997. Sebelum digunakan untuk penelitian maka hal yang perlu di ketahui adalah bagaimana penggunaan alat tersebut. Berikut adalah langkah langkah yang harus dijalankan untuk menggunakan alat tersebut:

a. Prosedur penghidupan

1. Menghubungkan kabel utama gas analyzer ke sumber tegangan.
2. Untuk menyalakannya, tekan tombol 'on/off' yang berada pada bagian belakang gas analyzer.
3. Setelah alat menyala, maka pada display akan tertera kode '01' yang berarti alat sedang mengalami proses pemanasan. Adapun pemanasan alat akan berlangsung selama 15 menit.
4. Selanjutnya, pada alat akan muncul kode '21' yang artinya alat akan melakukan proses kalibrasi otomatis.
5. Setelah itu, alat akan mengukur kandungan O₂ di udara bebas (sekitar 21%). Kemudian tekan tombol pump untuk menampilkan kode '03' yang berarti gas analyzer berada dalam kondisi stand by dan siap digunakan.

b. Prosedur pengoprasian

1. Memasangkan kabel pengukur kecepatan putaran mesin pada kebel busi dengan memperhatikan arah tanda panah.

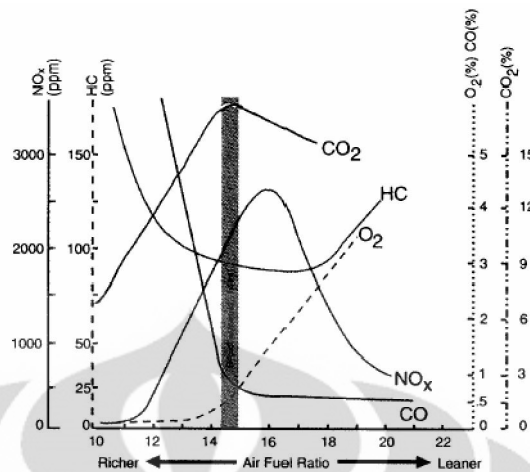
2. Memasukan probe kedalam kenalpot lalu tekan tombol pump dan alat akan segera melakukan pengukuran.
3. Menunggu hingga seluruh komponen sudah tampil di layar lalu tekan 'print' untuk mencetak hasil pengukuran.
4. Mengeluarkan probe dari kenalpot jika sudah selesai pengukuran.
5. Menekan tombol pump setelah proses mencetak selesai agar alat kembali ke posisi stanby.
6. Hal hal yang perlu di perhatikan selama proses pengukuran.
 - Kode '71' vacum too low atau '72' vacuum too high berarti aliran gas analyzer yang masuk kedalam alat tersebut tersumbat.
 - Kode '81' voltage too high atau '82' voltage too low artinya tegangan yang masuk ke alat terlalu besar atau terlalu kecil.
 - Kode '92' span O2 factor artinya sensor oksigen alat ini terlepas.
 - Kode '00' akan muncul bila alat ini membutuhkan set ulang
 - Kode '62' atal sedang melakukan tes kebocoran. Apabila setelah tanda tersebut muncul kode '65' berarti alat mengalami kebocoran.

c. Prosedur mematikan

1. Bila ingin mematikan, pastikan alat berada dalam keadaan stamby. (kode '03' lalu tekan tombol 'on/off' yang berada di belakang alat)
2. Lepaskan kabel utama dari sumber listrik
3. Membersihkan embun pada selang dan filter pemisah kondensasi serta sisa karbon pada probe dengan menyemprotkan aliran udara dari kompresor agar alat tidak mampat pada saat akan digunakan kembali.

4. Analisa Hasil Keluaran Gas Buang

Hasil keluaran *gas analyzer* adalah berupa konsentrasi gas-gas CO₂, CO, NO_x, O₂ dan HC. Dari hasil yang didapatkan, secara umum akan menghasilkan korelasi antara rasio A/F dengan konsentrasi keluaran gas-gas tersebut. Korelasi tersebut dinyatakan dalam grafik berikut:



Gambar 2.14, Grafik Konsentrasi Gas Buang Berdasar AFR
(Sumber : Motor Pembakaran Dalam, Bambang Sugiarto)

Terlihat pada grafik disamping bahwa konsentrasi O_2 yang terukur memberikan nilai yang terendah pada saat A/F rasio pada level *rich* dan sebaliknya. Hal ini dapat dengan wajar dipahami, mengingat pada campuran *rich* jumlah bahan bakar lebih banyak dibandingkan dengan jumlah udara sehingga udara yang ada digunakan seluruhnya untuk membakar bahan bakar yang ada. Hal yang sebaliknya terjadi pada campuran *lean*.

Konsentrasi CO pada campuran rich menunjukkan nilai yang tinggi, hal ini disebabkan jumlah udara adalah rendah sehingga banyak terbentuk gas CO yang terbentuk akibat gagalnya pembentukan CO_2 karena kurangnya udara. Hal yang sebaliknya terjadi pada campuran *lean*, pada campuran ini kadar CO sangat berkurang drastis karena banyak tersedianya udara sehingga CO_2 dapat dengan mudah terbentuk.

Pada campuran kaya, konsentrasi CO_2 terus meningkat sampai nilai tertentu untuk kemudian mencapai nilai maksimum pada nilai A/F rasio tertentu dan kemudian menurun saat memasuki daerah campuran yang semakin kurus. Hal ini dapat disebabkan karena pada daerah campuran yang kaya, terdapat banyak bahan bakar yang tidak terbakar, hal ini menunjukkan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya jumlah udara pada campuran.

Konsentrasi HC pada campuran kaya menunjukkan nilai yang tinggi dan sebaliknya pada campuran yang kurus. Hal ini sangatlah wajar mengingat HC menunjukkan konsentrasi dari *unburned fuel*.

Konsentrasi NO_x menunjukkan nilai yang meningkat pada campuran yang kurus karena gas jenis ini memang terbentuk secara maksimal pada pembebanan mesin yang tinggi dan pada campuran yang kurus.

Dari analisa yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa campuran udara dengan bahan bakar, (A/F) rasio memberikan nilai yang optimum untuk kinerja mesin kendaraan pada nilai perbandingan 14,7 : 1. Hal ini dapat ditunjukkan dari tingginya konsentrasi CO_2 pada nilai A/F rasio tersebut dan telah diketahui sebelumnya bahwa tingginya konsentrasi CO_2 yang terbentuk menunjukkan pembakaran yang terjadi adalah pembakaran yang sempurna.

2.6.2. Bahaya Gas buang

1. Polusi udara

Dengan berkembangnya populasi manusia, *power plant*, pabrik dan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor sedari dulu selalu mencemaskan bagi lingkungan. Hal ini sudah tidak dapat dipungkiri lagi, dimulai tahun 1940 polusi udara pertamakali diketahui di Los Angels California. Dua keadaan yang terjadi disana adalah meningkatnya jumlah populasi didukung dengan kondisi alam di daerah tersebut. Populasi yang bertumbuh pesat mendorong tumbuhnya pabrik-pabrik dan *power plant*, sementara di sana menjadi kawasan yang penuh kendaraan pada waktu itu. Asap dan polusi lain berasal dari pabrik dan kendaraan-kendaraan akan bergabung dengan kabut yang bersal dari laut dan kabut asaplah hasilnya.

Kemudian pada tahun 1950, permasalahan mengenai kabut asap jumlahnya selalu naik bersamaan dengan berkembangnya populasi mobil. Hal ini lah yang menjadi tanda kenapa kendaraan dikenal sebagai penyebab paling besar. Dan pada tahun 1960an peraturan mengenai emisi standar mengenai gas buang yang dihasilkan mulai di paksakan di California kemudian standar emisi ini diikuti disebagian Amerika, Eropa dan Jepang. Dengan mengelola mesin dengan gas buang yang lebih efisien, angka polusi dapat di tekan ke angka 95% selama tahun 1970 sampai 1980. Pada awal tahun 1980 bahan bakar yang efisien mulai dikembangkan dengan menambah zat adiktif, yang nantinya akan mengkonsumsi bahan bakar yang jumlahnya setengah dari konsumsi bahan bakar biasanya. Akan

tetapi karena pada saat itu jumlah kendaraan meningkat pesat, akhirnya justru penggunaan zat ini menjadi tidak berguna untuk mengurangi penggunaan bahan bakar.

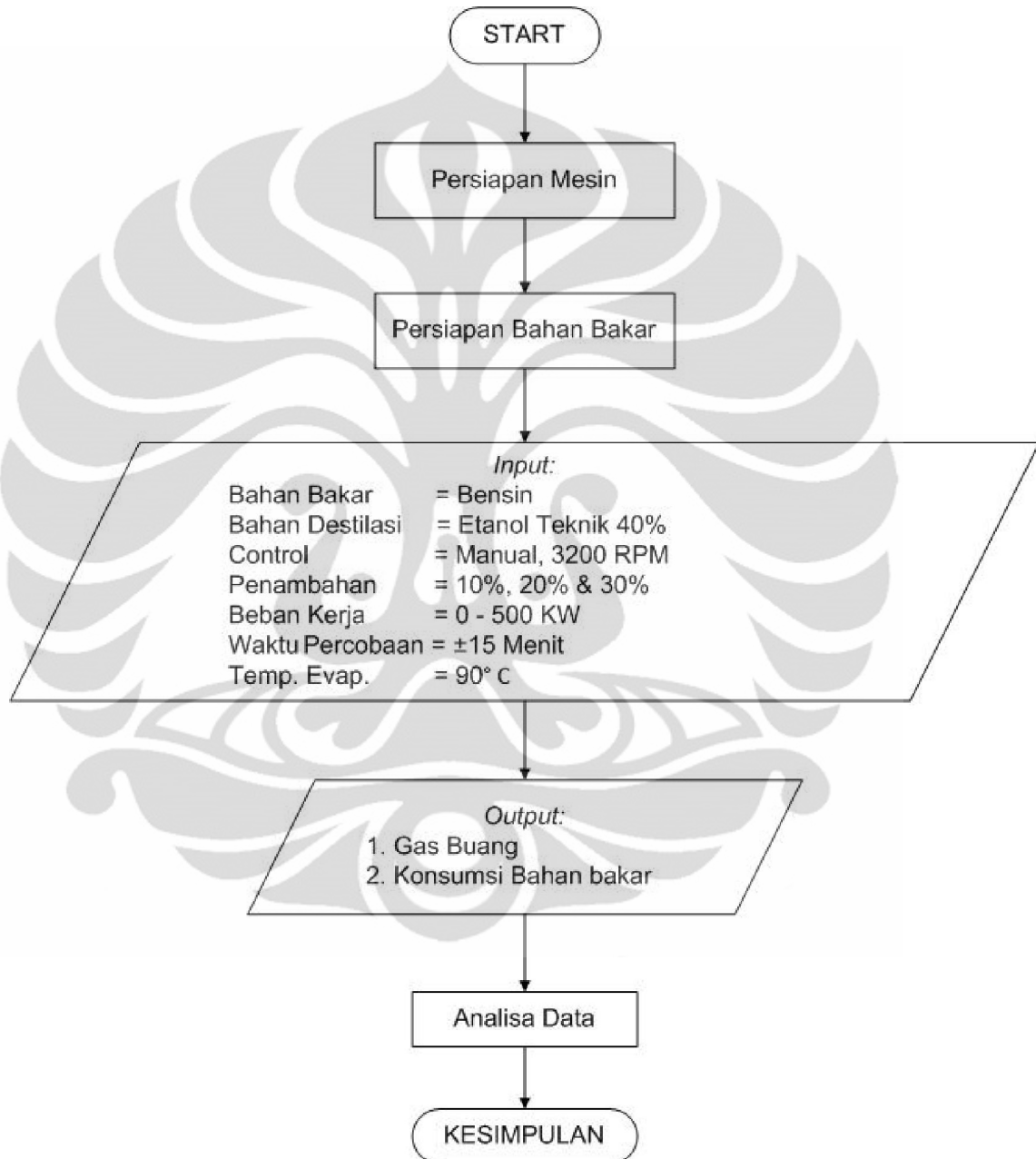
Terlebih lagi pengurangan polusi udara akan membutuhkan banyak biaya dan akan amat sukar untuk melakukannya selama populasi manusia terus bertambah. Olehkarnanya di butuhkan peraturan yang tegas untuk standar emisi gas buang seperti yang dilakukan di California dan sebagian besar Amerika, serta banyak belahan dunia lain yang turut serta menegaskan peraturan ini. Walaupun polusi udara telah menjadi masalah global, masih ada saja negara yang belum memiliki peraturan mengenai emisi standar.

2. Emisi dan Gas Polutan

Emisi ini akan mencemarkan alam dan juga menjadi penyebab global warming, hujan asam, asap, bau tak sedap serta gangguan pernapasan lainnya. Masalah utama yang terjadi adalah pembakaran tidak terjadi pada keadaan stoikiometrik, berurainya nitrogen serta tak murninya bahan bakar dan udaranya. Emisi ini dibagi menjadi hidrokarbon (HC), carbon monoksida (CO), oksida nitrogen (NO_x), sulfur dan solid carbon partikel lainnya. Idealnya sekarang ini mesin pembakaran dalam sudah dapat dikembangkan dengan sedikit emisi yang dikeluarkan, yang nantinya gas tersebut dapat di buang ke lingkungan tanpa menimbulkan efek yang buruk. Dengan teknologi sekarang ini, seharusnya ini menjadi hal yang nyata karena itu pengelolaan gas buang akan menjadi sangat penting.

BAB III METODOLOGI

3.1. Flow Chart



Gambar 3.1, Flow Chart

3.2. Persiapan Mesin

Sebelum melakukan percobaan maka dilakukan pengecekan terhadap kondisi mesin, apakah mesin dapat berfungsi dengan baik atau terdapat masalah di dalamnya. Hal yang dilakukan adalah *warming up*, yaitu menyalakan mesin terlebih dahulu sebelum percobaan. Hal ini penting karena pada saat mesin bermasalah atau bahkan sampai mati pada saat pengambilan data, maka akan mengganggu data yang diperoleh terutama data yang menggunakan waktu sebagai acuan.

Begitupula dengan destilator, perlu di cek antar bagian evaporator, separator dan kondenser terutama pada sambungan. Beberapa sensor yang menempel pun harus di pastikan tidak mengalami kebocoran. Karena bila kebocoran terjadi baik di sambungan atau di tempat peletakan sensor, ia akan mempengaruhi kualitas dari hasil destilasi dan bila hal ini terjadi maka penelitian dihentikan kemudian diulang kembali setelah kebocoran diperbaiki. Hal ini dilakukan guna memperoleh data yang dapat di pertanggung jawabkan dari penelitian ini.

3.2.1. Jenis Mesin



Gambar 3.2, Genset Seagent SA 1500AX

Karena mesin lama jenis Sumura ET 1500 mengalami kerusakan maka mesin diganti dengan merek Seagent dengan spesifikasi yang sama, yaitu:

Tabel 3.1, Spesifikasi Genset

| Generator | |
|-------------------|--|
| Type | Single Phase, Brushless, Capacitor Type, AC |
| Voltage | 220 V/50 Hz |
| Max Power | 0.9 KW/50 Hz |
| Rated Power | 0.85 KW/50 Hz |
| Engine | |
| Type | 1 Cylinder, 4-stroke, Forced air cooling gas |
| Model | Seagent, SA 1500 AX |
| Bore | 5.27 cm |
| Stroke | 3.7 cm |
| Displacement | 80.7 cc |
| Rated Power | 1.17 KW/3000 rpm, 1.32 KW/3600 rpm |
| Bahan Bakar | Bensin tanpa timbal |
| Oli | SAE 15W-40SF |
| FuelTank Capacity | 5.5 L |
| Dimensi | 450 x 350 x 365 (mm) |
| Berat Bersih | 26 Kg |
| Pembelian | 4 Maret 2011 |

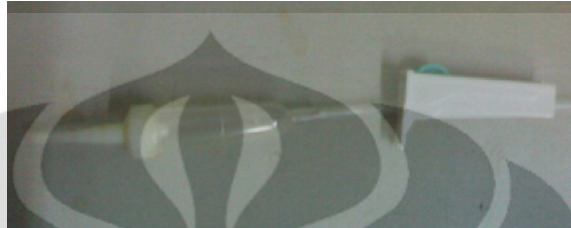
3.2.2. Sistim Injeksi

Sistim injeksi disini untuk memasukan bahan bakar sekunder berupa alkohol kedalam mesin. Berbagai pemikiran dicurahkan disini, akan menggunakan pompa injeksi atau dengan cara manual saja yaitu membiarkan alkohol masuk dengan sendirinya memanfaatkan gaya isap dari piston. Alasan tidak menggunakan pompa injeksi adalah tidak dapat terukurnya jumlah bahan bakar yang masuk kedalam mesin, padahal penulis membutuhkan nilai pasti 10 sampai 30 persen.

Dipakailah sistim manual, dengan pertimbangan banyaknya bahan bakar yang masuk dapat terukur. Namun timbul pertanyaan pula sebelum menggunakan sistim ini, apakah bahan bakar sekunder akan benar-benar masuk ke mesin dan kemudian apakah bahan bakar tersebut dapat mengalami pengkabutan atau hanya jatuh secara menetes pada mesin.

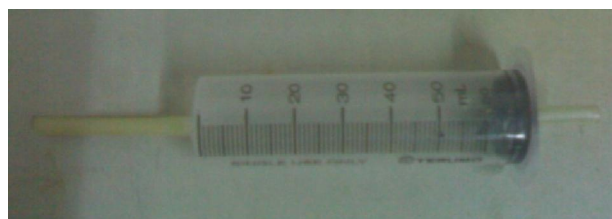
Kita tidak akan pernah tahu sampai kita mencoba, berbekal motivasi tersebut akhirnya penulis mencobannya. Diawali dengan pemasangan saluran infuse pada outputan destilasi. Infuse disini digunakan karena sifatnya yang

menghasilkan tetesan ketika mengalir, sehingga dapat dihitung volume setiap tetesnya yang akhirnya penulis akan tahu jumlah bahan bakar sekunder yang masuk ke mesin. Disamping itu sifat infuse yang mudah diatur berapa kecepatan tetes yang akan mengalir, membuat sistim ini dipilih untuk penelitian.

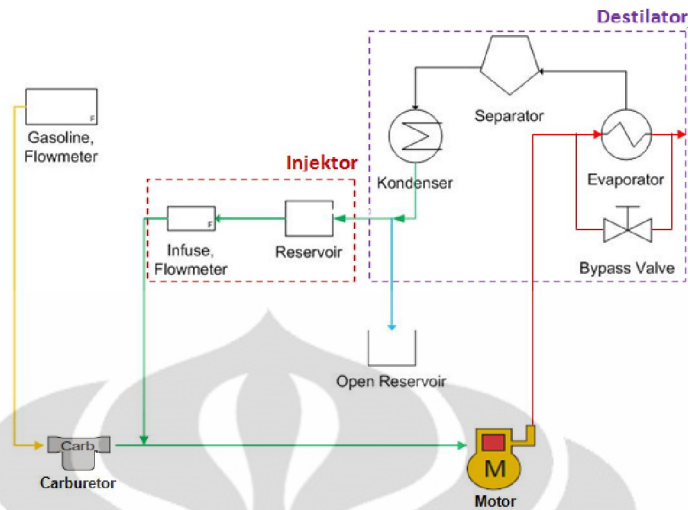


Gambar 3.3, Infuse

Kemudian untuk mengatasi perbedaan laju konsumsi bahan bakar sekunder yang akan diinjeksi ke mesin dengan laju produksi destilator, maka perlu dibuat tempat penampungan (*reservoir*). Reservoir disini akan menampung hasil destilasi sebelum digunakan oleh injektor. Dipilih volume 50 ml karena kadar alcohol yang dihasilkan destilator tidaklah mutlak sama, dari 250 ml yang diambil dari destilator maka nilai 50 ml terakhir memiliki kadar yang lebih rendah sedangkan 50 ml pertama memiliki kadar yang tinggi. Oleh karena penulis ingin menjaga kualitas alcohol yang masuk ke injektor, maka dipakai *reservoir* dengan volume 50 ml yang dibuat dari suntikan. Mengapa dipilih suntikan? karena pada suntikan memiliki kombinasi yang baik antara plastik dan karet sehingga fluida hanya mengalir lewat satu sisi. Berbeda apabila membuat reservoir dengan bahan-bahan yang disatukan menggunakan lem, lem yang digunakan biasanya bereaksi dengan alcohol dan akan menghasilkan kebocoran.



Gambar 3.4, Tempat Penampungan



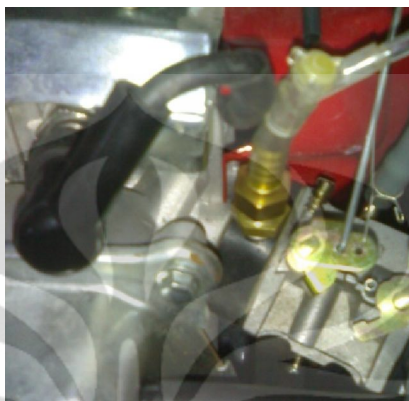
Gambar 3.5, Skema Sistim Injeksi

Gambar 3.5 di atas menunjukkan skema dari sistim injeksi secara keseluruhan. Ditempatkan *open reservoir* bertujuan untuk menghindari kepenuhan pada reservoir 50 ml. Kemudian untuk memasukan bahan bakar sekunder setelah *carburetor* diperlukan sebuah alat yang dapat mengkabutkan bahan bakar. Oleh karena itu dibuat sebuah silinder yang masuk diantara saluran kaburator dan ruang bakar, dengan tujuan silinder tersebut mengurangi luasan tempat masuk sehingga bahan bakar yang masuk akan mengalami kenaikan kecepatan dan penurunan tekanan. Penurunan tekanan tersebut diharapkan nantinya akan menarik bahan bakar sekunder dari dalam silinder.



Gambar 3.6, Alat Pemasukan Bahan Bakar Sekunder

Dengan tertariknya bahan bakar sekunder berupa alkohol dari lubang kecil yang dibuat diantara silinder, diharapkan keluarannya tersebut tidak berupa tetesan melainkan seperti *spray*. Prinsip ini meniru semprotan obat nyamuk, sehingga diharapkan keluarannya berbentuk *spray* dan mengalami pengkabutan.



Gambar 3.7, Letak Alat Injeksi Setelah Karburator dan Sebelum Ruang Bakar (dari kiri ke kanan)

3.2.3. Gas Analyzer

Dibawah ini adalah spesifikasi dari gas analyzer yang digunakan dalam penelitian:

Tabel 3.2, Spesifikasi Gas Analyzer

| | | | |
|----------------------|---|-------------------------------------|----------------|
| Merek | : | Tecnotest | |
| Model | : | 488 | |
| Jenis | : | Multi Gas Tester Dengan Infra Merah | |
| Negara Pembuat | : | Italia | |
| Tahun Pembelian | : | 1997 | |
| Jangkauan pengukuran | | | |
| - CO | : | 0 – 9,99 | % vol res 0,01 |
| - CO ₂ | : | 0 – 19,99 | % vol res 0,1 |
| - HC | : | 0 – 9999 | Ppm vol res 1 |
| - O ₂ | : | 0 – 4 | % vol res 0,01 |
| | : | 4 – 25,0 | % vol res 0,1 |
| - NO _x | : | 0 – 2000 | Ppm vol res 5 |
| - Lambda | : | 0,500 – 2,000 | Res 0,001 |
| - Temp. Operasi | : | 5 – 40 | °C |
| Hisapan yang di test | : | 8 | L/menit |
| Waktu respons | : | < 10 | detik |
| Dimensi | : | 400 x 180 x 420 | mm |
| Berat | : | 13,5 | Kg |
| Waktu pemanasan | : | < 15 | Menit |
| Sumber tegangan | : | 110/220/240 | V |
| | : | 50/60 | Hz |

3.3. Persiapan Bahan Bakar

Bahan bakar dipersiapkan dengan tujuan pada saat melakukan percobaan tidak terhambat karena kurangnya bahan bakar, mengingat dalam satu kali penelitian membutuhkan bahan destilasi berupa minuman keras yang harganya tidak murah.

Untuk bahan bakar yang digunakan disini adalah bensin jenis premium yang di beli di SPBU terdekat. Hal yang perlu diperhatikan lainnya adalah bahan untuk pengisian destilator, biasanya kita persiapkan juga sebelum melakukan percobaan. Penulis mempersiapkan alkohol 95% dan juga akuades yang dibeli ditoko kimia.

3.4. Proses Penelitian

3.4.1. Pengisian Bahan Bakar



Gambar 3.8, Tempat Penampungan Bahan Bakar

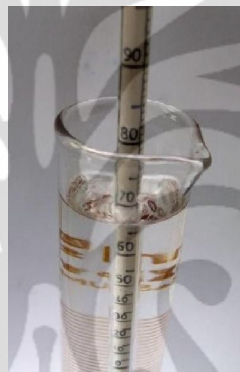
Tangki pengisian bahan bakar telah di modifikasi dari kondisi standarnya, hal ini karena penulis membutuhkan data flowrate dari bahan bakar. Maka hal yang memungkinkan adalah menggantinya dengan suatu tempat yang dapat terukur berapa volume yang berkurang. Oleh karenanya dipilihlah tempat minum bayi yang memiliki skala volume, namun penulis tidak mengurangi faktor ketelitian. Sebelum digunakan tempat minum tersebut dilakukan kalibrasi terhadap ukurannya dan ternyata didapat nilai yang sama dengan gelas ukur, setelah yakin dengan kalibrasi tersebut, maka dipakailah alat ini.

Tempat pengisiannya terletak diatas, sengaja kita beri ruang dan corong untuk memudahkan pengisian disamping itu kalau terjadi kekurangan bahan bakar akan mudah diisi kembali.

3.4.2. Pengisian Destilator

Proses pengisian pada destilator tidak kalah pentingnya, karena apabila skrup penutup lupa dikencangkan akan terjadi kebocoran dan kalau hal ini terjadi maka percobaan harus dihentikan dan diulang kembali. Maka sebelum memulai percobaan penulis memastikan kekencangan dari penutup untuk setiap salurannya.

Kemudian untuk mendapatkan data yang seragam di titik awal, maka setelah digunakan untuk satu kali percobaan, sebelum melakukan percobaan selanjutnya temperatur destilator, terutama pada evaporator harus dikembalikan ke suhu awal yaitu temperatur kamar.



Gambar 3.9, Alcohol Meter

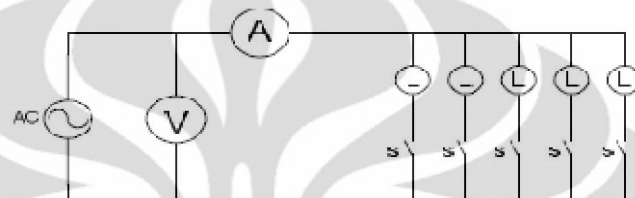
Hal lain yang harus diperhatikan adalah kadar untuk alkoholnya. Karena kadar alkohol dalam setiap percobaan ditetapkan 40% maka penulis harus mencampurkan alkohol 95% dengan akuades dengan perbandingan tertentu supaya dapat nilai 40%. Untuk memastikan nilai 40% digunakan alcohol meter.

3.4.3. Penyesuaian Beban Kerja



Gambar 3.10, Lamp Board

Dalam penelitian ini, digunakan beban mulai dari stasioner yaitu kondisi tanpa beban sampai dengan beban 500W. Alat yang digunakan seperti gambar diatas, prinsipnya sama dengan *loadbank*. Penggunaanya sangat sederhana, penulis tinggal menekan saklar untuk beban yang di butuhkan. Semakin banyak beban maka saklar lampu yang dinyalakan akan semakin banyak. Alat ini disusun dengan lima saklar lampu yang masing-masing 100W, sedangkan untuk gambar skemanya dapat dilihat dibawah ini.



Gambar 3.11, Skema Lamp Board

Keterangan : A. Amper Meter
 V. Volt Meter
 L. Lampu @ 100W
 S. Saklar
 AC. Sumber tegangan AC, diperoleh dari genset

3.4.4. Pengendalian RPM

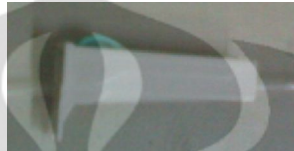
Untuk setingan pabrik, genset seagent ini memiliki *governor* yang dapat mengatur RPM secara otomatis sesuai beban kerja dan akan menjaga nilai RPM konstan di 3200. Namun ketika dicoba sistim injeksi, range *governor* menjadi semakin besar sehingga mesin mengalami kendala. Olehkarenanya pada penelitian ini seting otomatis *governor* dimatikan dan digunakan seting manual untuk menjaga RPM 3200.



Gambar 3.12, Control Manual Pada Kaburator, (A).Tempat yang baru, paten (B). Governor

Adapun cara yang dilakukan adalah memindahkan kontrol bahan bakar dan udara dari *governor* ketempat lain yang paten (tidak berubah). Dengan demikian ketika mesin dinyalakan maka kontrol tersebut tinggal di seting untuk mendapatkan nilai RPM 3200.

3.4.5. Penambahan Bahan Bakar Alkohol



Gambar 3.13, Part Pengatur Tetesan Infuse Yang Jatuh

Penambahan bahan bakar alkohol pada mesin sebenarnya sangatlah mudah, tinggal menggeser *roll* yang berada di bawah infuse maka alkohol akan mengalir. Banyaknya aliran pun ditentukan oleh part ini.

Namun sebelum mengeser roll ini, perlu diketahui berapa volume untuk satu tetesnya. Hal ini penting karena penulis akan menambahkan banyaknya alkohol yang masuk (10 sampai 30 persen) dengan acuan *fuel consumption* dari bensin. Adapun cara menghitung berapa volume satu tetesnya adalah dengan menuangkan fluida kedalam gelas ukur sebanyak 10 ml dengan menghitung jumlah tetesan yang mengalir. Untuk mengurangi kesalahan, langkah diatas dilakukan sebanyak tiga kali, Kemudian penulis menghitungnya:

$$\begin{aligned} 10 \text{ ml} &= 241.33 \text{ Tetes} \\ 1 \text{ Tetes} &= 10 \text{ ml}/241.33 \\ &= 0.0414 \text{ ml} \end{aligned}$$

Setelah di dapat nilai tersebut, maka hal yang dilakukan adalah mengetahui berapa jumlah tetes yang akan dimasukan kedalam mesin. Tentu jumlah yang masuk harus dihitung dahulu dengan acuan *fuel consumption* dari bensin, untuk mempermudah hal tersebut perhitungan dilakukan di dalam *Microsoft excel*. Nantinya tinggal memasukan waktu dari *fuel consumption* bensin makan berapa nilai tetesan untuk 10%, 20% sampai 30% dapat ditampilkan.

| BB Utama | 10% | 20% | 30% | |
|--------------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | 0:01:01 | 4.09 | 8.18 | 12.27 |
| 2 | 0:00:50 | | | |
| 3 | 0:01:06 | | | |
| Time | 0:00:59 | 0:01:05 | 0:01:11 | 0:01:17 |
| Rata² [Menit/10ml] | 0.98 | | | |
| [ml/menit] | 10.17 | 1.02 | 2.03 | 3.05 |
| [ml/scond] | 0.17 | 0.02 | 0.03 | 0.05 |
| [l/10 scond] | | 0.17 | 0.34 | 0.51 |
| Time / detik | | 2.44 | 1.22 | 0.81 |

Gambar 3.14, Program Excel Untuk Mengetahui Jumlah Tetes Yang Masuk

Dari gambar di atas terdapat kotak berwarna kuning, kotak ini berisi inputan *fuel consumption* dari bensin, yaitu berapa waktu yang dibutuhkan untuk menuruni satu strip yang nilainya 10 ml. Kemudian kotak abu-abu yang berada di sampingnya berisi nilai tetes yang harus masuk selama 10 detik, sedangkan kotak abu-abu di bawahnya menandakan jarak waktu (detik) untuk setiap tetesnya.

Dalam penambahan alkohol, *carburetor* tetap pada kondisi *standard* dan tidak dirubah setingnya, hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan data yang dapat diperbandingkan disamping mempercepat proses pengambilan data.

3.4.6. Pengendalian Temperatur Evaporator

Pengendalian temperature evaporator melalui termokopel yang tertanam pada evaporator, hal ini dilakukan karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Syaehul Akbar dan Raksa Aulia Rahman menunjukkan bahwa untuk kadar dan laju produksi alkohol terbaik diperoleh di nilai 90°C.



Gambar 3.15, Sistem Bypass Pada Gas Buang

Sistim pengaturannya sangat sederhana, pada outputan gas buang diberikan saluran *bypass* yang ditutup oleh *valve*. Apabila tempratur pada evaporator mendekati nilai 90°C maka katup ini dibuka perlahan, agar kalor yang diterima oleh evaporator berkurang. Begitupula sebaliknya, hal ini dilakukan terus-menerus sampai diperoleh nilai maksimal pada evaporator 90°C.

3.5. Proses Pengambilan Data

Setelah semua proses diatas selesai, kemudian mesin dinyalakan dan proses yang terakhir adalah pengambilan data. Untuk mempermudah pendokumentasian, maka sebelum pengambilan data dilakukan pembuatan *form* untuk data apa saja yang akan diambil selama penelitian. Hal ini penting karena untuk menjaga data tersimpan dengan rapih dan tidak terjadi kekeliruan selama pencatatan.

| | |
|---|--------------------------|
| Tgl : Bahan Bakar : Bahan Destilasi : Kadar Alkohol : Beban : | Masa jenis BB : Rpm : |
|---|--------------------------|

| <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ket</th> <th rowspan="2">No</th> <th rowspan="2">B. Bakar [m] 10 m/menit</th> <th colspan="5">Gas Buang</th> </tr> <tr> <th>CO</th> <th>CO₂</th> <th>HC</th> <th>O₂</th> <th>NO_x</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Without Add</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Add 10%</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Add 20%</td><td>11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Add 30%</td><td>16</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> | Ket | No | B. Bakar [m] 10 m/menit | Gas Buang | | | | | CO | CO ₂ | HC | O ₂ | NO _x | Without Add | 1 | | | | | | | 2 | | | | | | | 3 | | | | | | | 4 | | | | | | | 5 | | | | | | | Add 10% | 6 | | | | | | | 7 | | | | | | | 8 | | | | | | | 9 | | | | | | | 10 | | | | | | | Add 20% | 11 | | | | | | | 12 | | | | | | | 13 | | | | | | | 14 | | | | | | | 15 | | | | | | | Add 30% | 16 | | | | | | | 17 | | | | | | | 18 | | | | | | | 19 | | | | | | | 20 | | | | | | | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Ket</th> <th rowspan="2">No</th> <th rowspan="2">Additional Tetes/10 Sccond</th> <th colspan="2">Days Out</th> </tr> <tr> <th>V</th> <th>I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Without Add</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Add 10%</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Add 20%</td><td>11</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>12</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>13</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>15</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td rowspan="5" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Add 30%</td><td>16</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>17</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>18</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>19</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>20</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table> | Ket | No | Additional Tetes/10 Sccond | Days Out | | V | I | Without Add | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | | 5 | | | | Add 10% | 6 | | | | 7 | | | | 8 | | | | 9 | | | | 10 | | | | Add 20% | 11 | | | | 12 | | | | 13 | | | | 14 | | | | 15 | | | | Add 30% | 16 | | | | 17 | | | | 18 | | | | 19 | | | | 20 | | | |
|--|-----|-------------------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------------|-----------------|--|----|-----------------|----|----------------|-----------------|-------------|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---------|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|---|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|---------|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|---------|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|----|--|--|--|--|--|--|---|-----|----|-------------------------------|----------|--|---|---|-------------|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|---------|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|---|--|--|--|----|--|--|--|---------|----|--|--|--|----|--|--|--|----|--|--|--|----|--|--|--|----|--|--|--|---------|----|--|--|--|----|--|--|--|----|--|--|--|----|--|--|--|----|--|--|--|
| Ket | | | | No | B. Bakar [m] 10 m/menit | Gas Buang | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | CO | CO ₂ | HC | | | O ₂ | NO _x | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Without Add | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Add 10% | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Add 20% | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Add 30% | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ket | No | Additional Tetes/10 Sccond | Days Out | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | V | I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Without Add | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Add 10% | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Add 20% | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Add 30% | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Gambar 3.16, Form Pengambilan Data

Form tersebut terdapat dua bagian yang dipisah oleh garis putus-putus, garis tersebut berfungsi untuk tempat merobek kertas. Jadi pada saat pengambilan data ada dua orang yang mencatat, untuk gas buang dan satu lagi untuk pengecekan *secondary fuel* yang masuk.

3.5.1. Data Gas Buang

Untuk pencatatan data gas buang terdapat di *display* gas analyzer, penulis tinggal memasukkan angkannya kedalam foam yang telah tersedia. Yang perlu diperhatikan disini karena data gas analyzer berubah-ubah, maka data yang dimasukan adalah data yang dilihat oleh penulis, namun penulis tidak hanya mengambil satu data saja melainkan tiga data untuk dirata-rata.

3.5.2. Data Konsumsi Bahan Bakar

Untuk data konsumsi bahan bakar, seperti yang sudah diutarakan sebelumnya data yang diambil hanya waktu untuk setiap sepuluh milliliter. Waktu tersebut diperoleh dari *stopwatch*.



Gambar 3.17, Stopwatch

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

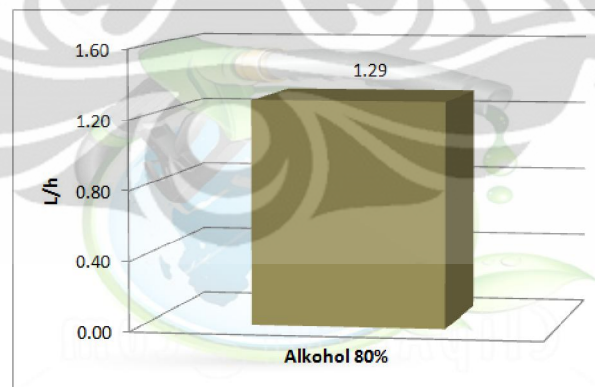
Penelitian dilakukan di Laborturium Thermodynamika FT-UI dengan Genset Seagent SA 1500AX. Dengan dilakukan tiga kali pengamatan maka diperoleh data sebagai berikut:

4.1.1. Alkohol Sebagai Bahan Bakar Utama

Data disini hanya sebagai data sekunder yang diperuntukan untuk perbandingan. Data ini diperoleh bersama Syaehul Akbar yang merupakan rekan satu tim penulis. Dipergunakannya data dibawah ini hanya sebagai pembanding untuk bahan bakar yang menggunakan alkohol murni 80% dengan alkohol diatas 80% yang diinjeksikan sebagai bahan bakar campuran bensin.

Penelitian ini menggunakan alkohol sebagai bahan bakar utama, namun tanpa injeksi kedalam mesin. Adapun data yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Fuel Consumption



Gambar 4.1, Grafik Fuel Consumption Alkohol 80%

Data ini diperoleh dengan menggunakan bahan destilasi berupa alkohol 40%, namun bahan bakar yang digunakan bukanlah bensin, Melainkan alkohol hasil destilasi yang berkadar 80%.

2. Hasil Gas Analyzer

Tabel 4.1, Hasil Gas Analyzer Alcohol 80%

| CO | CO ₂ | O ₂ | HC | Lambda |
|----------|-----------------|----------------|------------|--------|
| % volume | | | ppm volume | |
| 1.232 | 9.08 | 0.23 | 144.4 | 0.957 |

Untuk hasil dari gas analyzernya, dapat dilihat di tabel yang berada diatas. Kedua data ini diperoleh dengan *control* evaporator sebesar 90°C, sama kondisinya dengan penelitian injeksi alkohol.

4.1.2. Alkohol Sebagai Bahan Bakar Tambahan

Data dibawah ini merupakan data utama yang diambil dari penelitian. Menggunakan metode seperti yang telah di ungkapkan pada bab sebelumnya maka diperoleh data sebagai berikut:

1. Fuel Consumption

Tabel 4.2, Konsumsi Bahan Bakar Bensin (L/h)

| | Beban | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Stas. | 100 W | 200 W | 300 W | 400 W | 500 W |
| Without add | 0.33 | 0.33 | 0.47 | 0.67 | 0.49 | 0.61 |
| Add 10% | 0.30 | 0.30 | 0.44 | 0.65 | 0.49 | 0.53 |
| Add 20% | 0.31 | 0.31 | 0.42 | 0.65 | 0.46 | 0.52 |
| Add 30% | 0.31 | 0.32 | 0.44 | 0.69 | 0.48 | 0.53 |

Data diatas diperoleh dari beban stasioner sampai 500W, dengan menggunakan bensin sebagai bahan bakar utama. Pada baris pertama yang bertuliskan 'without add' mesin dijalankan dengan bahan bakar murni dari bensin tanpa injeksi alkohol. Sedangkan baris kedua mesin dinyalakan dengan bahan bakar bensin dan alkohol 10%, dikenal pula dengan gasohol atau dengan istilah lain E10, namun tidaklah murni E10 karena *destillat* yang diinjeksikan masih mengandung akuades sekitar 20%. Berurutan sampai baris ketiga bensin ditambahkan dengan injeksi alkohol sebesar 30%.

Bila dibandingkan dengan *fuel consumption* dengan alkohol sebagai bahan bakar utama (grafik 4.1), terlihat bahwa sistim injeksi ini lebih irit bahan bakar. Hal ini dikarenakan energi yang dikandung alkohol (*Heating Value*) lebih rendah daripada bensin, namun keuntungannya adalah lebih ramah lingkungan dibanding

bensin. Dengan sistim injeksi, berusaha dikombinasikan kedua unsur ini. Agar ramah lingkungan tapi tetap tinggi nilai energinya.

2. Hasil Gas Anayzer

Tabel 4.3, Hasil Gas Analyzer

| | | | Beban | | | | | |
|-----------------|------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | Stas. | 100 W | 200 W | 300 W | 400 W | 500 W |
| CO | % volume | Without add | 0.47 | 0.48 | 3.71 | 7.72 | 2.43 | 3.20 |
| | | Add 10% | 0.40 | 0.36 | 5.18 | 6.71 | 3.13 | 3.20 |
| | | Add 20% | 0.44 | 1.69 | 4.39 | 6.97 | 4.81 | 2.82 |
| | | Add 30% | 0.41 | 2.36 | 5.35 | 7.05 | 3.95 | 2.66 |
| CO ₂ | % volume | Without add | 7.7 | 9.1 | 6.0 | 4.7 | 4.8 | 4.7 |
| | | Add 10% | 7.8 | 8.4 | 5.1 | 4.6 | 4.6 | 4.8 |
| | | Add 20% | 7.6 | 8.2 | 5.5 | 4.5 | 3.8 | 4.7 |
| | | Add 30% | 7.2 | 8.0 | 5.0 | 4.4 | 4.0 | 4.4 |
| O ₂ | % volume | Without add | 0.14 | 0.19 | 0.18 | 0.17 | 0.19 | 0.16 |
| | | Add 10% | 0.12 | 0.19 | 0.21 | 0.15 | 0.14 | 0.12 |
| | | Add 20% | 0.12 | 0.18 | 0.18 | 0.14 | 0.21 | 0.14 |
| | | Add 30% | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.12 | 0.12 | 0.14 |
| HC | ppm volume | Without add | 672 | 132 | 167 | 620 | 133 | 139 |
| | | Add 10% | 444 | 272 | 245 | 295 | 191 | 240 |
| | | Add 20% | 634 | 146 | 188 | 403 | 170 | 247 |
| | | Add 30% | 779 | 144 | 290 | 494 | 196 | 189 |
| Lambda | | Without add | 0.929 | 0.984 | 0.825 | 0.679 | 0.842 | 0.822 |
| | | Add 10% | 0.953 | 0.971 | 0.761 | 0.702 | 0.799 | 0.612 |
| | | Add 20% | 0.944 | 0.934 | 0.797 | 0.689 | 0.770 | 0.824 |
| | | Add 30% | 0.932 | 0.910 | 0.757 | 0.683 | 0.761 | 0.828 |

Tabel 4.3 diatas menunjukkan hasil dari gas analyzer secara keseluruhan selama penelitian berlangsung. Data diatas sudah merupakan rata-rata dari tiga pengamatan yang penulis lakukan.

4.1.3. Perhitungan Nilai 'Q'

Perhitungan nilai kalor dimaksudkan untuk mengetahui apakah selama proses pembakaran energi yang berada di ruang bakar tetap atau berubah dengan ditambahkan bahan bakar alkohol.

Energi bersifat kekal, artinya tidak berubah, hal ini yang menjadi landasan. Ketika bensin dicampurkan dengan alkohol 10%, alkohol tersebut harus bisa menggantikan nilai energi dari bensin yang berkurang. Namun konsep penambahan alkohol dari 10% sampai 30% yang dilakukan dalam penelitian ini bukan berdasarkan besarnya energi, melainkan melalui perhitungan massa. Perhitungan

nilai Q_{in} (nilai kalor yang masuk) disini hanya untuk membandingkan apakah terjadi *energy balance* dalam penelitian ini.

Diketahui persamaan untuk nilai kalor:

$$= \dots \dots \dots (4.1)$$

Dimana : Q_{in} = Kalor yang masuk (KJ/s)
 ρ = Densitas, massa jenis (Kg/L)
 F = Fuel Consumption (L/h)

Q_{HV} = Heating Value (KJ/Kg)
 Diketahui : ρ_B = Densitas Bensin = 0.7350 Kg/L
 ρ_A = Densitas Alkohol = 0.7850 Kg/L
 Q_{HVB} = Heating Value Bensin = 43000 KJ/Kg
 Q_{HVA} = Heating Value Alkohol = 26950 KJ/Kg

1. Nilai Kalor Pada Beban Stasioner Tanpa Penambahan Alkohol

$$\begin{aligned} &= \dots \dots \dots \\ &= 0.7350 \text{ Kg/L} * 0.33 \text{ L/h} * 43000 \text{ KJ/Kg} \\ &= 10429.65 \text{ KJ/h} \\ &= 2.9 \text{ KJ/s} \end{aligned}$$

Pada beban setasioner tanpa penambahan alkohol berarti bahan bakar yang digunakan murni bensin, jadi *fuel consumption* adalah murni dari bensin. Diperolehlah nilai seperti diatas.

2. Nilai Kalor Pada Beban Stasioner Dengan Penambahan Alkohol 10%

Untuk bensin ($Q_{in B}$)

$$\begin{aligned} &= \dots \dots \dots \\ &= 0.7350 \text{ Kg/L} * 0.30 \text{ L/h} * 43000 \text{ KJ/Kg} \\ &= 9481.5 \text{ KJ/h} \\ &= 2.6 \text{ KJ/s} \end{aligned}$$

Untuk Alkohol 10% ($Q_{in A}$)

$$\begin{aligned} &= \dots \dots \dots \\ &= (0.7350 * 86\%) \text{ Kg/L} * (0.33 * 10\%) \text{ L/h} * 26950 \text{ KJ/Kg} \\ &= 600.4 \text{ KJ/h} \\ &= 0.17 \text{ KJ/s} \end{aligned}$$

Total Nilai Kalor

$$\begin{aligned} &= \dots \dots \dots + \dots \dots \dots \\ &= 2.6 \text{ KJ/s} + 0.17 \text{ KJ/s} \\ &= 2.77 \text{ KJ/s} \\ &= 2.8 \text{ KJ/s} \end{aligned}$$

Untuk beban stasioner dengan penambahan alkohol 10%, memiliki arti bahan bakar yang digunakan adalah bensin sebanyak 90% sedangkan sisanya alkohol. Jadi ada dua bahan bakar yang masuk, olehkarenanya dihitunglah keduanya menggunakan persamaan (4.1). Dan terlihat nilai yang dihasilkan dari keduanya ternyata *relative* sama, berarti terjadi *balance energy*. Namun pertanyaannya apakah untuk nilai yang lain demikian? Maka penulis akan tampilkan semua perhitungan pada tabel dibawah ini.

3. Nilai Kalor Seluruh Penelitian

Tabel 4.4, Nilai Kalor Seluruh Penelitian (KJ/s)

| | Beban | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Stas. | 100 W | 200 W | 300 W | 400 W | 500 W |
| Without add | 2.87 | 2.87 | 4.16 | 5.85 | 4.33 | 5.36 |
| Add 10% | 2.76 | 2.80 | 4.09 | 6.08 | 4.51 | 4.95 |
| Add 20% | 3.08 | 3.08 | 4.15 | 6.41 | 4.53 | 5.19 |
| Add 30% | 3.06 | 3.12 | 4.38 | 6.74 | 4.69 | 5.26 |

Bila dilihat dari data diatas, terjadi variasi nilai namun perbedaannya boleh dikatakan tidaklah terlalu jauh. Variasi nilai disini lebih disebabkan karena perhitungan yang lebih detail yang dilakukan *Microsoft Excel*.

Nilai kalor adalah nilai dari energi, sehingga semakin nilai kalor tinggi maka energi yang dibangkitkan dari mesin pun akan tinggi. Dan bila dilihat dari data diatas, kecenderungan untuk nilai injeksi 10% nilai kalornya mengalami penurunan. Kemudian untuk nilai 20% sampai 30% cenderung naik, artinya energi yang dihasilkan lebih besar.

Walaupun mengalami kenaikan atau penurunan, perubahan nilai tersebut boleh dikatakan tidaklah terlalu signifikan. Hal ini dapat dibuktikan dengan prosentase perubahannya tidak lebih dari 10%. Dari beberapa data menunjukan nilai perubahan dibawah angka 10% walau ada satu data yang mengalami perubahan sebesar 15% di beban 300W.

Tabel 4.5, Prosentase Perubahan Nilai Kalor (%)

| | Beban | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Stas. | 100 W | 200 W | 300 W | 400 W | 500 W |
| Without add | - | - | - | - | - | - |
| Add 10% | 4.1 | 2.6 | 1.6 | 3.9 | 4.1 | 7.5 |
| Add 20% | 7.2 | 7.0 | 0.2 | 9.6 | 4.6 | 3.1 |
| Add 30% | 6.3 | 8.7 | 5.2 | 15.2 | 8.3 | 1.9 |

4.1.4. Sankey Diagram

Sankey diagram disini digunakan menggambarkan aliran energi secara proporsional, baik energi input dan outputnya. Energi inputannya berupa energi kimia dari bahan bakar (Q_{in}) kemudian energy output utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kerja dari motor (BHP) dan energi pada evaporator.

Untuk nilai Q_{in} telah dihitung pada subbab sebelumnya sedangkan untuk nilai BHPnya dihitung secara proporsional. Hal ini dikarenakan motor bakar *dicouple* langsung dengan generator sehingga torsi yang digunakan untuk mengukur BHP tidak dapat terukur, sedangkan nilai beban (menggunakan *lamp board*) merupakan energi listrik. Olehkarenannya diperlukan konversi nilai dari elektrik generator ke BHP dengan perhitungan proporsional. Merujuk pada table 3.1, terlihat motor mampu menghasilkan energy sebesar 1.17 KW sedangkan energi listrik yang dihasilkan dari generator sebesar 0.85 KW, maka diperoleh nilai proporsional sebesar 1.38 energi mekanik berbanding energi listrik. Perhitungan BHP pada tabel 4.6 menggunakan nilai proporsional ini.

Sedangkan untuk perhitungan energi pada evaporator digunakan persamaan kalor jenis/ *specific calor* ($m \cdot c \cdot T$) dengan asumsi fluida tidak berubah menjadi uap. Karena bila perhitungan uap kalor dimasukan maka penulis harus menggunakan persamaan kalor laten yang kondisi uapnya dihitung dengan grafik azeotrop yang ada pada lampiran 2, perhitungan tersebut akan terlalu detail. Olehkarenannya penulis menghitung nilai energi evaporator secara umum seperti dibawah ini:

Diketahui persamaan untuk kalor jenis:

$$= \dots \dots \dots (4.2)$$

Dimana : Q_s = Kalor Sensibel (KJ)
 m = Massa (Kg)
 c = Kalor Jenis (KJ/Kg. $^{\circ}$ C)
 T = Perbedaan Temperature = 83-28 = 55 $^{\circ}$ C
 Diketahui : B = Densitas Bensin = 0.7350 Kg/L
 A = Densitas Alkohol = 0.7850 Kg/L
 w = Densitas Air = 1 Kg/L
 c_A = Kalor Jenis Alkohol = 2.4 KJ/Kg. $^{\circ}$ C
 c_w = Kalor Jenis Air = 4.2 KJ/Kg. $^{\circ}$ C

Perhitungan energi evaporator untuk beban 100W:

Untuk Air (Q_{sw})

$$\begin{aligned}
 &= \dots \\
 &= v \cdot w \cdot c_w \cdot T \\
 &= 0.6 \text{ L} \cdot 1 \text{ Kg/L} \cdot 4.2 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 55 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &= 138.14 \text{ KJ}
 \end{aligned}$$

Untuk Alkohol (Q_{sa})

$$\begin{aligned}
 &= \dots \\
 &= v \cdot A \cdot c_A \cdot T \\
 &= 0.4 \text{ L} \cdot 0.7850 \text{ Kg/L} \cdot 2.4 \text{ KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C} \cdot 55 \text{ }^\circ\text{C} \\
 &= 41.45 \text{ KJ}
 \end{aligned}$$

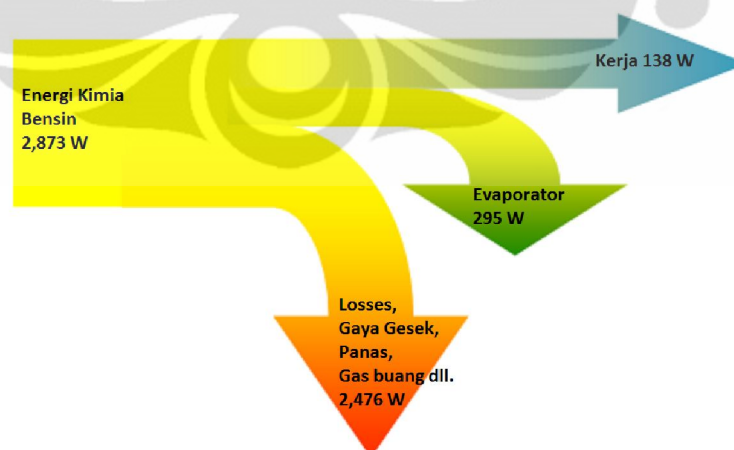
Untuk Q total (Q_t)

$$\begin{aligned}
 &= + \\
 &= 138.14 \text{ KJ} + 41.45 \text{ KJ} \\
 &= 179.59 \text{ KJ}
 \end{aligned}$$

Perhitungan nilai q , untuk menyamakan satuan berupa watt (joules/s) maka nilai kalor jenis tadi dibagi dengan waktu (t) selama kenaikan temperatur 83°C , yaitu:

$$\begin{aligned}
 q &= Q/t \\
 &= 176.75 \text{ KJ} / 609 \text{ s} \\
 &= 294.9 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Kemudian setelah didapat nilai energi evaporator dan kerja motor, dibuatlah diagram senkey seperti dibawah ini:



Gambar 4.2, Senkey Diagram Untuk Beban 100W

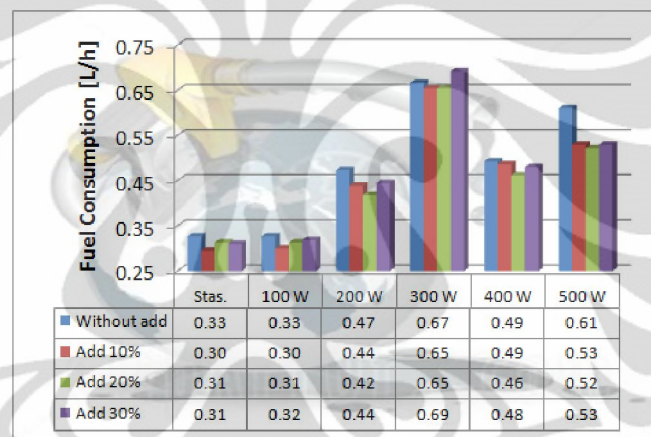
Sedangkan untuk perhitungan lengkapnya mengenai *balance energy*, disertakan pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.6, Nilai Balance Energy

| Beban | FC [L/h] | Qin [W] | BHP' [W] | Water | | | | Alkohol | | | | Time [s] | q [W] | η [%] |
|-----------|----------|----------|----------|-------|--------|-----------------|----------|---------|--------|-----------------|----------|----------|-------|------------|
| | | | | V [L] | M [kg] | ΔT [°C] | Qsw [KJ] | V [L] | M [kg] | ΔT [°C] | Qsa [KJ] | | | |
| Stasioner | 0.33 | 2,873.18 | 0.00 | 0.6 | 0.6 | 55 | 138.14 | 0.4 | 0.314 | 55 | 41.45 | 664 | 270.5 | 9 |
| 100 W | 0.33 | 2,873.18 | 137.65 | 0.6 | 0.6 | 55 | 138.14 | 0.4 | 0.314 | 55 | 41.45 | 609 | 294.9 | 15 |
| 200 W | 0.47 | 4,158.55 | 275.29 | 0.6 | 0.6 | 55 | 138.14 | 0.4 | 0.314 | 55 | 41.45 | 566 | 317.3 | 14 |
| 300 W | 0.67 | 5,852.78 | 412.94 | 0.6 | 0.6 | 55 | 138.14 | 0.4 | 0.314 | 55 | 41.45 | 601 | 298.8 | 12 |
| 400 W | 0.49 | 4,329.45 | 550.59 | 0.6 | 0.6 | 55 | 138.14 | 0.4 | 0.314 | 55 | 41.45 | 717 | 250.5 | 19 |
| 500 W | 0.61 | 5,356.78 | 688.24 | 0.6 | 0.6 | 55 | 138.14 | 0.4 | 0.314 | 55 | 41.45 | 679 | 264.5 | 18 |

' BHP, perhitungannya dilakukan secara proporsional.

4.2. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Bensin



Gambar 4.3, Grafik Fuel Consumption Setiap Tingkatan Injeksi

Dari data diatas menunjukkan bahwa sistim injeksi menghasilkan perbedaan dalam performa, yang salah satunya membuat bahan bakar utama lebih irit. Terlihat untuk setiap tingkatan injeksi bahan bakar bensin mengalami penurunan dalam penggunaannya.

Berapa nilai penurunan tertinggi tidak dapat terlihat hanya dengan melihat grafik, karena nilai perbedaanya terkesan tidak membentuk *trend* untuk setiap kenaikan beban. Olehkarenanya perlu perhitungan sederhana melalui statistik untuk menentukan perbedaanya.

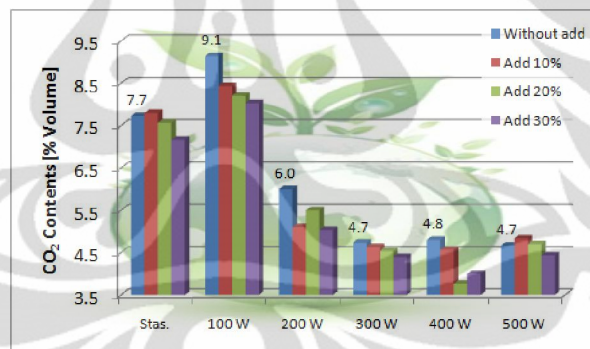
Tabel 4.7, Nilai Pengurangan Bahan Bakar Bensin (L/h)

| | Beban | | | | | | Rata-rata |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | Stas. | 100 W | 200 W | 300 W | 400 W | 500 W | |
| Without add | - | - | - | - | - | - | - |
| Add 10% | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.08 | 0.039 |
| Add 20% | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 0.03 | 0.09 | 0.043 |
| Add 30% | 0.02 | 0.01 | 0.03 | -0.03 | 0.01 | 0.08 | 0.025 |

Dari statistik diatas menunjukkan nilai penurunan bensin tertinggi pada injeksi alkohol sebanyak 20%, diikuti dengan nilai 10% dan terakhir 30%. Namun *point* penting yang perlu diingat disini, data diatas diambil tanpa merubah setingan kaburator.

Kalau setingan kaburator dirubah, tidak menutup kemungkinan nilai pengurangan tertinggi berada di injeksi 30% dan terendah di 10%. Hal ini sangat mungkin mengingat penelitian sebelumnya yang berhasil menggunakan 100% alkohol dengan kadar 80% sebagai bahan bakar utamanya.

4.3. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi CO₂

Gambar 4.4, Grafik Kosentrasi CO₂

Bila dilihat kecenderungan dari grafik kosentrasi CO₂ diatas mengalami penurunan walau ada beberapa yang mengalami kenaikan. Namun untuk memastikannya penulis buktikan penurunan kosentrasi CO₂ dengan statistik.

Tabel 4.8, Nilai Pengurangan Kosentrasi CO₂ (% Volume)

| | Beban | | | | | | Rata-rata |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| | Stas. | 100 W | 200 W | 300 W | 400 W | 500 W | |
| Without a | - | - | - | - | - | - | - |
| Add 10% | -0.07 | 0.70 | 0.90 | 0.10 | 0.23 | -0.17 | 0.340 |
| Add 20% | 0.17 | 0.93 | 0.50 | 0.20 | 1.03 | -0.03 | 0.560 |
| Add 30% | 0.57 | 1.10 | 0.97 | 0.33 | 0.80 | 0.23 | 0.800 |

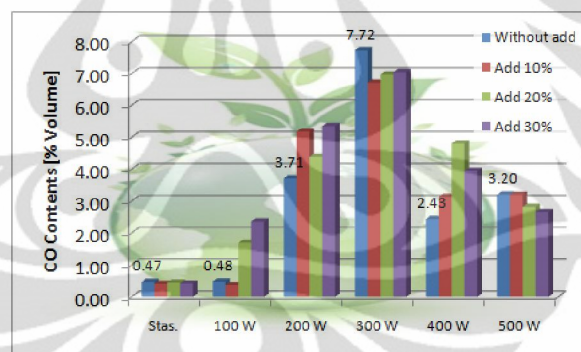
Dari tabel diatas nilai negatif menunjukkan kenaikan kosentrasi CO₂ sedangkan nilai positifnya menunjukkan penurunan nilai. Walau ada kenaikan

kosentrasi bila di rata-rata hasilnya menunjukkan penurunan nilai CO₂ sebanding dengan penambahan alkohol sebagai bahan bakar.

Yang menjadi penekanan disini, CO₂ menandakan pembakaran sempurna. Jika pembakaran sempurna terjadi maka gas yang keluar adalah CO₂ dan H₂O serta N₂. Pada pembakaran sempurna akan menghasilkan nilai CO₂ maksimal. Dan karena mesin tidak mengalami perubahan setingan (dalam kondisi standarnya mesin diperuntukan untuk bahan bakar bensin, jadi bensin disini dianggap mengalami pembakaran sempurna) penurunan kosentrasi CO₂ menandakan terjadinya pembakaran yang tidak sempurna di dalam ruang bakar.

Pembakaran tidak sempurna tersebut dapat berupa campuran *rich* (kaya) ataupun *lean* (miskin), yang pasti dengan pembakaran tidak sempurna maka tenaga yang dihasilkanpun tidak maksimum oleh karenanya diperlukan penyetulan kaburator agar diperoleh AFR yang tepat untuk bensin dengan injeksi alkohol.

4.4. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi CO



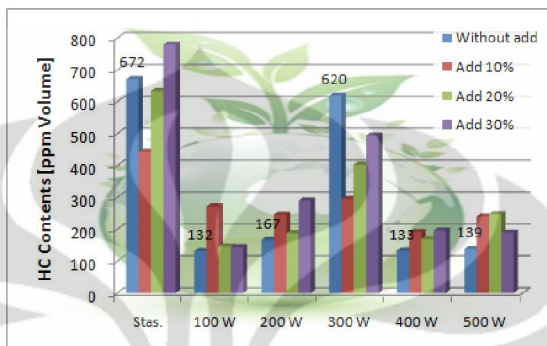
Gambar 4.5, Grafik Kosentrasi CO

CO yang keluar dari mesin menunjukkan pembakaran yang berada dalam kondisi *rich* (kaya bahan bakar), sehingga gas yang keluar bukannya CO₂ seperti pada pembakaran sempurna melainkan CO dan biasanya akan disertai pula dengan HC.

Berpedoman pada grafik diatas terdapat dua *trend*, naik dan turun. Tiga bagian yang menunjukkan kenaikan kosentrasi CO ketika diinjeksikan alkohol yaitu untuk beban 100W, 200W dan 400W. Ketiga bagian ini dapat dikatakan mengalami kondisi pembakaran yang *rich* selama pembakaran ketika ditambahkan alkohol kedalam ruang bakar.

Tiga bagian selanjutnya yaitu beban stasioner, 300W dan 500W mengalami kebalikan dari sebelumnya, berada dalam kondisi *lean* saat alkohol ditambahkan keruang bakar.

4.5. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi HC



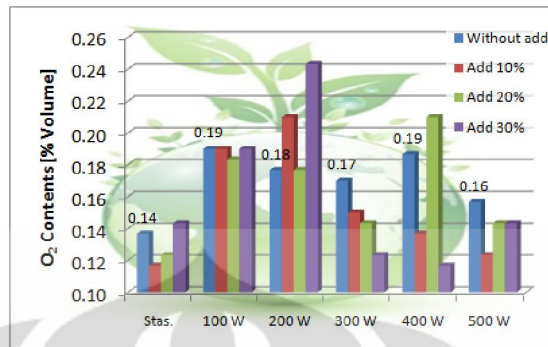
Gambar 4.6, Grafik Kosentrasi HC

Seperti dijelaskan sebelumnya, ketika pembakaran dalam kondisi *rich* maka gas yang keluar adalah CO dan HC. CO terbentuk dari kurangnya oksigen (O_2) dari yang seharusnya terbentuk CO_2 , kemudian karena bahan bakar tidak terbakar sempurna maka akan keluarlah bahan bakar lewat saluran *exhaust* yang dikenal dengan HC.

Dari grafik diatas semakin memperkuat bahwa pada beban 100W, 200W dan 400W mengalami kondisi *rich* selama penambahan alkohol karena diikuti pula dengan kosentrasi HC yang meningkat.

Kemudian untuk tiga bagian lainnya pun mengalami penurunan, yang berarti kondisi pembakarannya *lean* selama penambahan alkohol. Namun pada beban 500W mengalami kenaikan, dan bila dikembalikan kepada grafik *standard* untuk hasil gas buang (gambar 2.14). Pada kondisi *lean* HC pun dapat mengalami kenaikan.

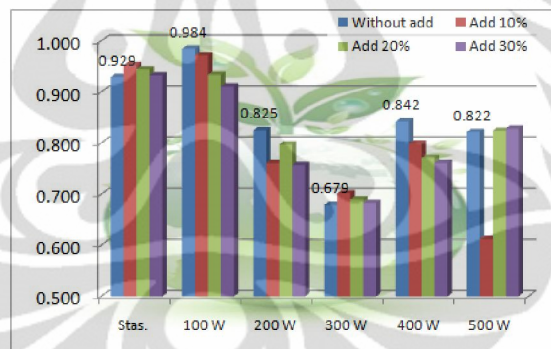
4.6. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Kosentrasi O_2



Gambar 4.7, Grafik Kosentrasi O_2

Bila dilihat grafik diatas, perbedaan nilainya sangat kecil hanya berkisar 0.1%. Padahal bila dibandingkan dengan gambar 2.14, untuk memperoleh efek yang dihasilkan dari perubahan O_2 diperlukan perbedaan paling tidak 4%. Olehkarenannya penulis tidak memberi tanggapan atas grafik diatas.

4.7. Pengaruh Penambahan Alkohol Terhadap Lambda



Gambar 4.8, Grafik Nilai Lambda

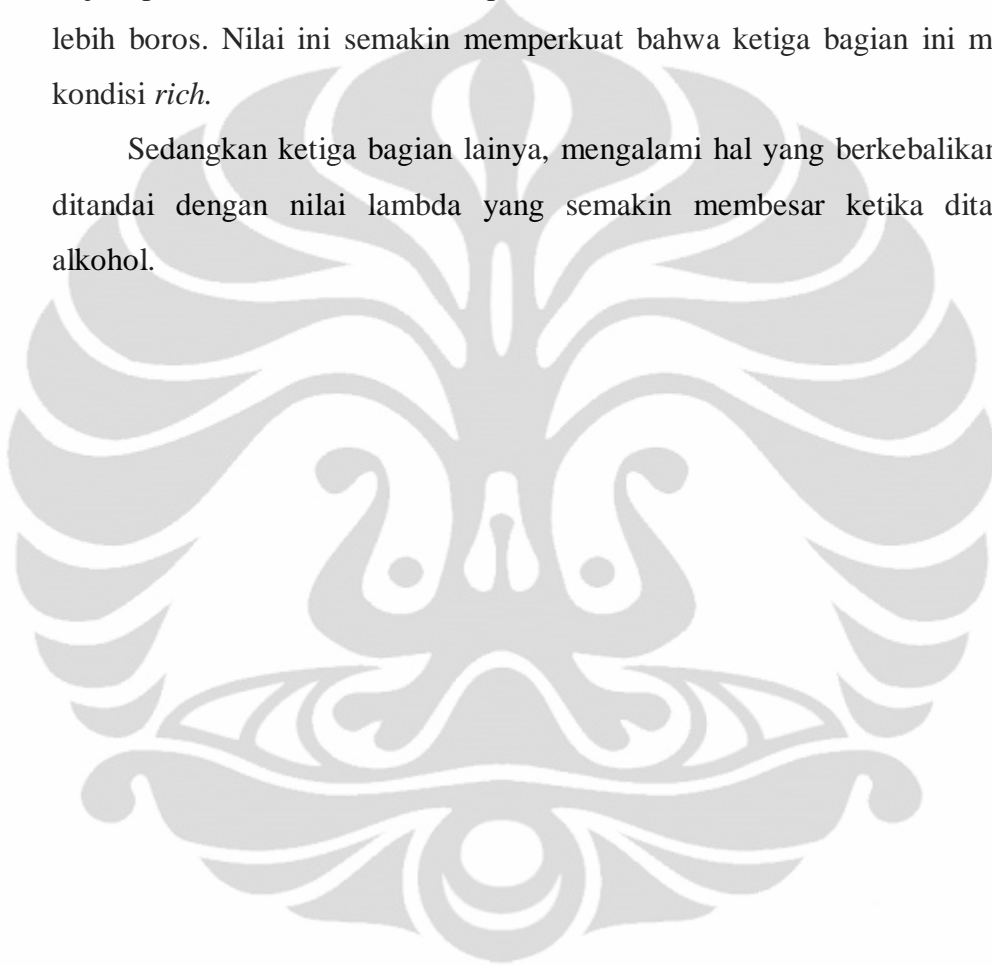
Nilai Lambda berkaitan dengan perbandingan antara campuran udara dan bahan bakar yang terbuang lewat asap knalpot. Nilai idealnya 1. Jika lebih besar dari 1, artinya setelan bahan bakar irit. Jika lebih dari 1,1, berarti bahan bakar terlalu irit. Sedangkan saat lamda kurang dari 0.95 maka bahan bakar boros, saat kurang dari 0.85 menandakan bahan bakar terlalu boros.

Bila diperhatikan diagram yang berwarna biru saja (bensin tanpa alkohol) menandakan pembakaran yang *relative* baik berada pada stasioner dan beban 100W, sedangkan untuk beban lainnya *relative* kurang baik. Hal ini pantas kalau

terjadi kenaikan *fuel consumption* pada beban 300W melebihi beban 400W dan 500W, ternyata pada beban 300W mengalami pemborosan bahan bakar.

Dari yang diutarakan sebelumnya bawa pada beban 100W, 200W dan 400W kondisi campuran dalam keadaan *rich* ketika ditambahkan alcohol. Bila kemudian melihat pada grafik 4.8 diatas, terlihat pada tiga bagian yang telah disebutkan terjadi penurunan lambda selama penambahan alcohol, hal ini berarti bahan bakar lebih boros. Nilai ini semakin memperkuat bahwa ketiga bagian ini mengalami kondisi *rich*.

Sedangkan ketiga bagian lainnya, mengalami hal yang berkebalikan. Hal ini ditandai dengan nilai lambda yang semakin membesar ketika ditambahkan alcohol.



BAB V

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap injeksi alkohol pada mesin genset berbahan bakar bensin diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengaruh dari injeksi alkohol mengurangi jumlah bahan bakar utama yaitu bensin. Rata-rata penurunan terbesar pada injeksi 20%, yaitu bensin mengalami pengurangan 0.043 L/h, sedangkan untuk 10% pengurangannya 0.039 L/h dan untuk injeksi 30% berkurang 0.025 L/h.
2. Berkurangnya nilai CO₂ sebanding dengan kenaikan injeksi alkohol mengindikasikan bahwa mesin dalam pembakaran yang tidak sempurna, olehkarenanya dibutuhkan seting pada kaburator. Rata-rata pengurangan nilai CO₂ terhadap kenaikan injeksi alkohol adalah 0.34, 0.56 dan 0.8 dalam satuan % volume.
3. Semakin banyak alkohol yang diinjeksikan akan berakibat naiknya RPM motor.

5.1. Saran

Penelitian injeksi alkohol pada genset berbahan bakar bensin ini menunjukkan bahwa alkohol mampu sebagai bahan bakar tambahan yang fungsinya memperbaiki performa motor. Dengan demikian tujuan akhir dari rangkaian penelitian untuk mengaplikasikan destilator pada motor dinamik dapat terwujud. Namun diperlukan beberapa pertimbangan:

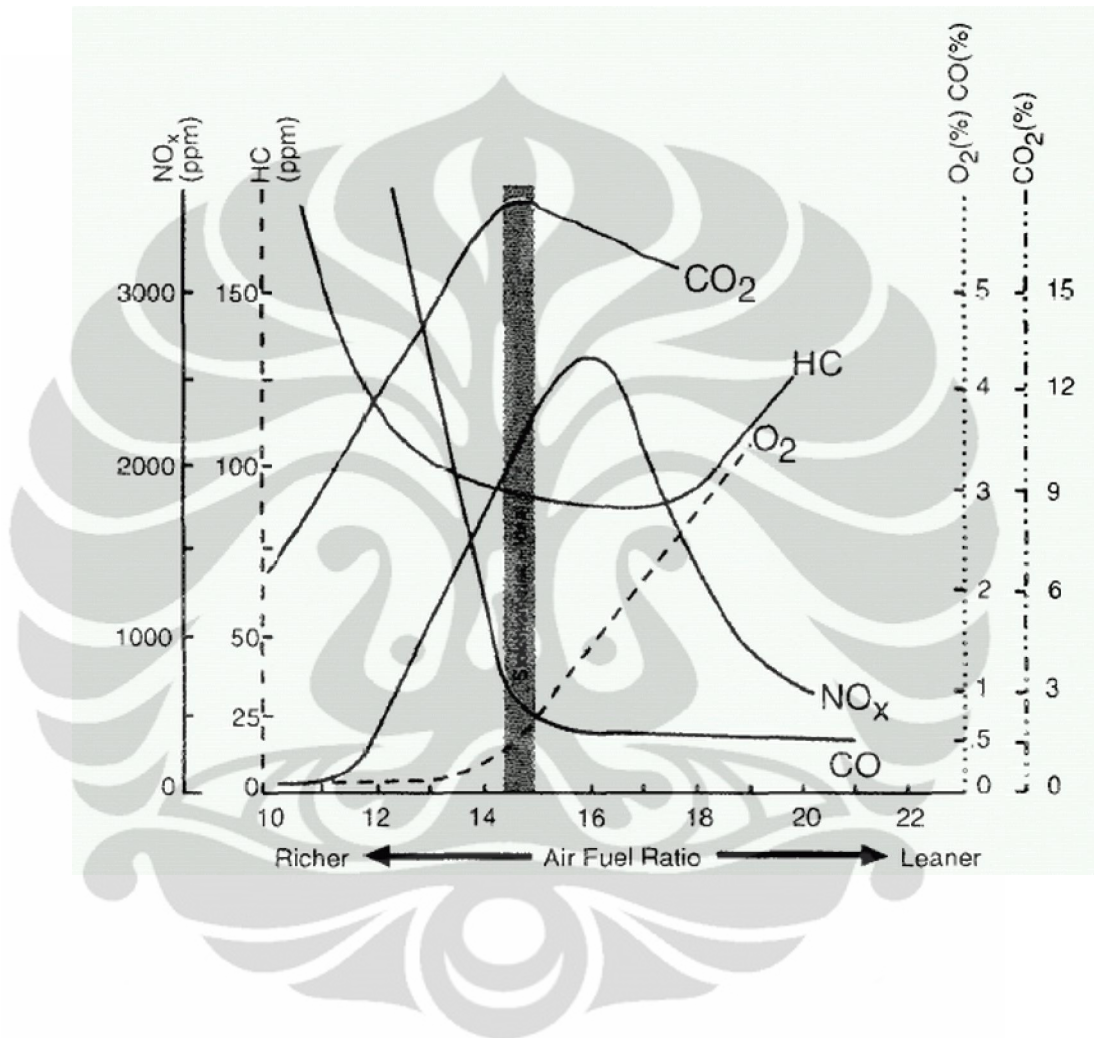
1. Perlu desain ulang destilator yang mini namun memiliki kemampuan maksi, untuk itu perlu menerapkan hasil-hasil dari penelitian sebelumnya pada destilator, seperti berapa temperatur evaporator yang ideal.
2. Perlu dilakukan penelitian terhadap injeksi alkohol dengan menyesuaikan setingan kaburator agar diperoleh pembakaran yang baik, dengan demikian dapat ditentukan berapa besar injeksi yang akan dimasukan kedalam mesin dengan tidak lupa memperhatikan hasil destilasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrinaldi. 2010. *Rancang bangun compact destilator low grade Ethanol dengan memanfaatkan gas buang Motor bakar*. Skripsi: DTM FT-UI.
- Cengel, Yunus A. and Boles, Michael A. 2002. *Thermodynamics*. forth edition. New York: Mc Graw Hill.
- Najafi, G., dkk. 2009. *Performance and exhaust emissions of a gasoline engine with ethanol blended gasoline fuels using artificial neural network*. Jurnal: Science Direct.
- Pulkabek, Willard W. 2004. *Engineering Fundamental Of Internal Combustion Engine*. New Jersey: Upper Saddle River.
- Rogowski, A. R. 1979. *Element Of Internal-Combustion Engine*. New York: Mc Graw Hill.
- Sugiarto, Bambang. 2003. *Motor Pembakaran Dalam*. ISBN 979-97726-7-2
<http://www.google.com> diakses tanggal 7 juni 2011 pukul 10.00 Wib.
<http://en.wikipedia.org/wiki/Alcohol> diakses tanggal 27 april 2011 pukul 08.00 Wib.
www.anneahira.com/bahan-bakar-etanol.htm diakses tanggal 27 april 2011 pukul 08.00 Wib.

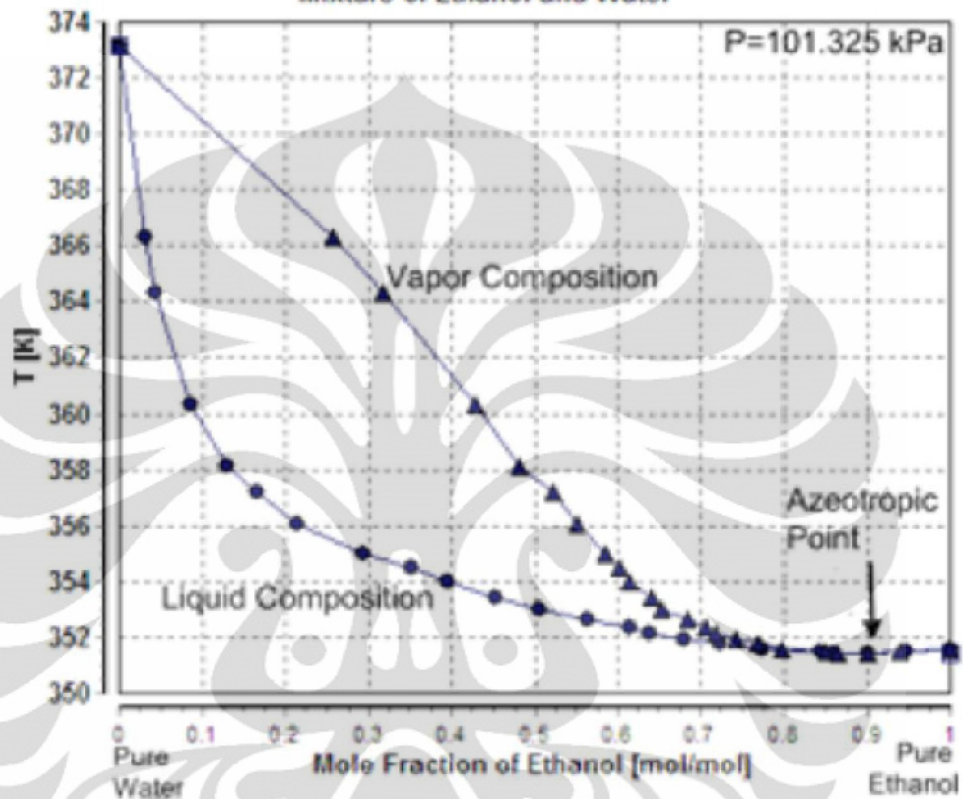
LAMPIRAN 1

Grafik Kosentrasi Gas Buang Berdasar AFR



LAMPIRAN 2

Keseimbangan Uap-Cair Campuran Etanol Dengan Air



LAMPIRAN 3

Properties Of Fuel

TABLE A-2 PROPERTIES OF FUELS

| Fuel | Molecular Weight | Heating Value | | Stoichiometric (AF) _s | Stoichiometric (FA) _s | Octane Number | | Heat of Vaporization (kJ/kg) | Cetane Number |
|------------------------------|------------------|---------------|-------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------|-------|------------------------------|---------------|
| | | HHV (kJ/kg) | LHV (kJ/kg) | | | MON | RON | | |
| gasoline | 111 | 47300 | 43000 | 14.6 | 0.068 | 80-91 | 92-99 | 307 | 40-55 |
| light diesel | 170 | 44800 | 42500 | 14.5 | 0.069 | | | 270 | 35-50 |
| heavy diesel | 200 | 43800 | 41400 | 14.5 | 0.069 | | | 230 | |
| isooctane | 114 | 47810 | 44300 | 15.1 | 0.066 | 100 | 100 | 290 | |
| methanol | 32 | 22540 | 20050 | 6.5 | 0.155 | 92 | 106 | 1147 | |
| ethanol | 46 | 29710 | 26950 | 9.0 | 0.111 | 89 | 107 | 873 | |
| methane | 16 | 55260 | 49770 | 17.2 | 0.058 | 120 | 120 | 509 | |
| propane | 44 | 50180 | 46190 | 15.7 | 0.064 | 97 | 112 | 426 | |
| nitromethane | 61 | 12000 | 10920 | 1.7 | 0.588 | | | 623 | |
| heptane | 100 | 48070 | 44560 | 15.2 | 0.066 | 0 | 0 | 316 | 100 |
| cetane | 226 | 47280 | 43980 | 15.0 | 0.066 | | | 292 | 15 |
| heptamethylnonane | 178 | | | 15.9 | 0.063 | | | | 0 |
| α -methyl-naphthalene | 142 | | | 13.1 | 0.076 | | | | |
| carbon monoxide | 28 | 10100 | 10100 | 2.5 | 0.405 | | | | |
| coal (carbon) | 12 | 33800 | 33800 | 11.5 | 0.087 | | | | |
| butene-1 | 56 | 48210 | 45040 | 14.8 | 0.068 | 80 | 99 | 390 | |
| triptane | 100 | 47950 | 44440 | 15.2 | 0.066 | 101 | 112 | 288 | |
| isodecane | 142 | 47590 | 44220 | 15.1 | 0.066 | 92 | 113 | | |
| toluene | 92 | 42500 | 40600 | 13.5 | 0.074 | 109 | 120 | 412 | |
| hydrogen | 2 | 141800 | 120000 | 34.5 | 0.029 | | 90 | | |

LAMPIRAN 4

| Characteristics of chemically pure fuels | | | | | | | | | |
|--|------------------|------------------------------|------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | Chemical formula | Chemical weight (Lb/mole) | Specific gravity | Boiling point (C) | Latent heat (KJ/Kg) | Combustion energy (KJ/Kg) | Vapor pressure @100F (Kpa) | Solubility part in 100 part H2O | Stoichio metric air-fuel-ratio |
| Methyl alcohol | CH3OH | 32 | 0.79 | 65 | 1,170.01 | 23,865.36 | 31.72 | infinite | 6.5 |
| Ethyl alcohol | CH3CH2(OH) | 46.1 | 0.79 | 78 | 921.12 | 30,610.93 | 15.17 | infinite | 9 |
| Butyl alcohol | C2H5CH2CH2(OH) | 74.1 | 0.81 | 117 | 432.65 | 36,681.94 | 2.07 | 9 | 11.2 |
| Octane | C8H18 | 114 | 0.7 | 210 | 360.54 | 48,265.71 | 11.86 | insoluble | 15.2 |
| Hexadecane | C16H34 | 240 | 0.79 | 287 | -- | 47,265.50 | 23.86 | insoluble | 15 |



LAMPIRAN 5

Biaya Penelitian

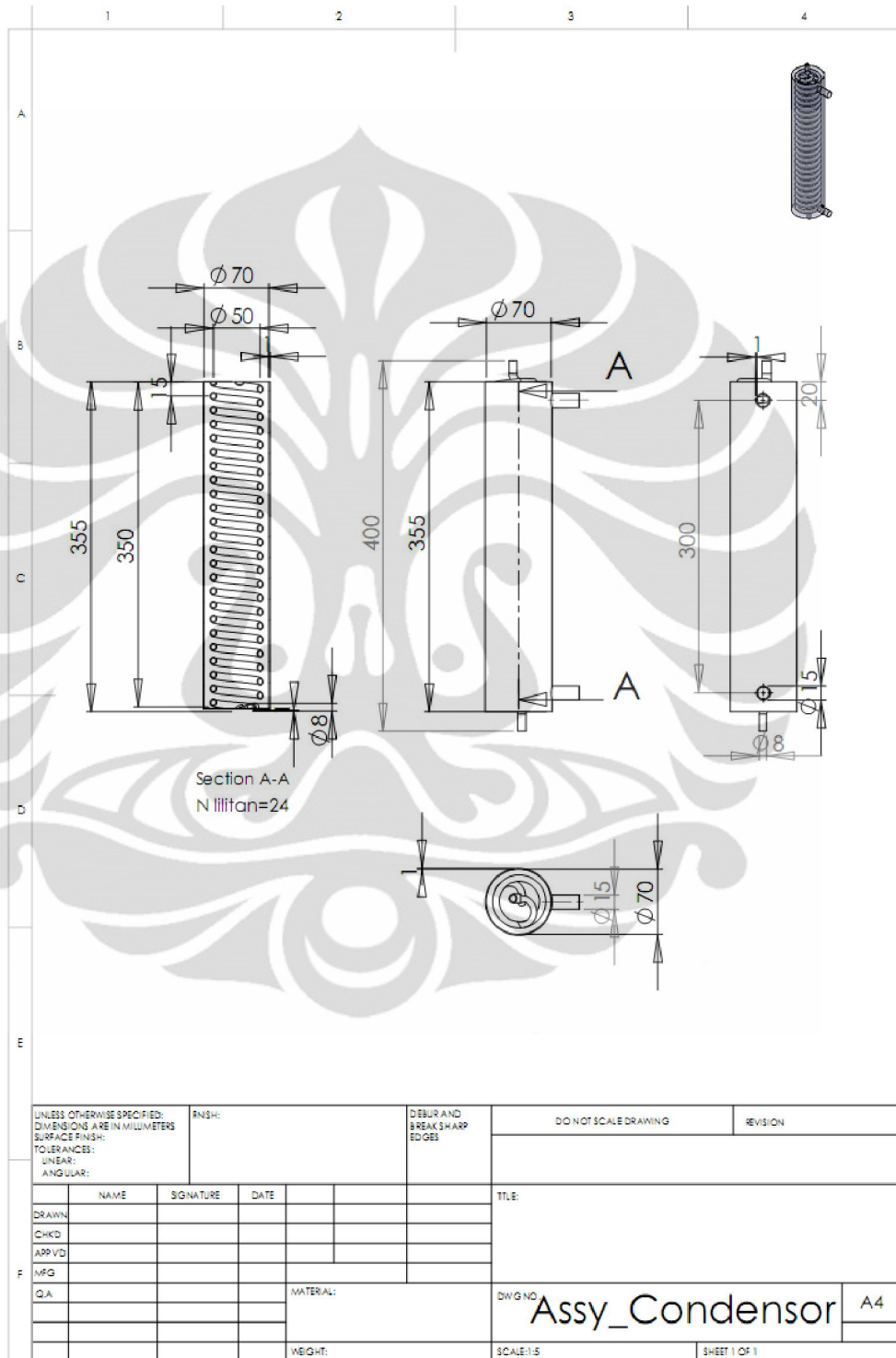
| No | Tanggal | Pembelian | Harga |
|--------------|-----------|-------------------|----------------|
| 1 | 18-May-11 | set kran hatto | 15,000 |
| 2 | 18-May-11 | v shok | 5,000 |
| 3 | 19-May-11 | Split 50 ml | 12,500 |
| 4 | 19-May-11 | Lem Pvc | 6,000 |
| 5 | 23-May-11 | DN 1/4 | 12,000 |
| 6 | 24-May-11 | Alkaline | 20,000 |
| 7 | 25-May-11 | Alkohol, akuades* | 150,000 |
| 8 | 26-May-11 | Bensin 3L* | 18,000 |
| Total | | | 238,500 |

Ket: * Tambahan, ada sisa penelitian sebelumnya

LAMPIRAN 6**Destilator**

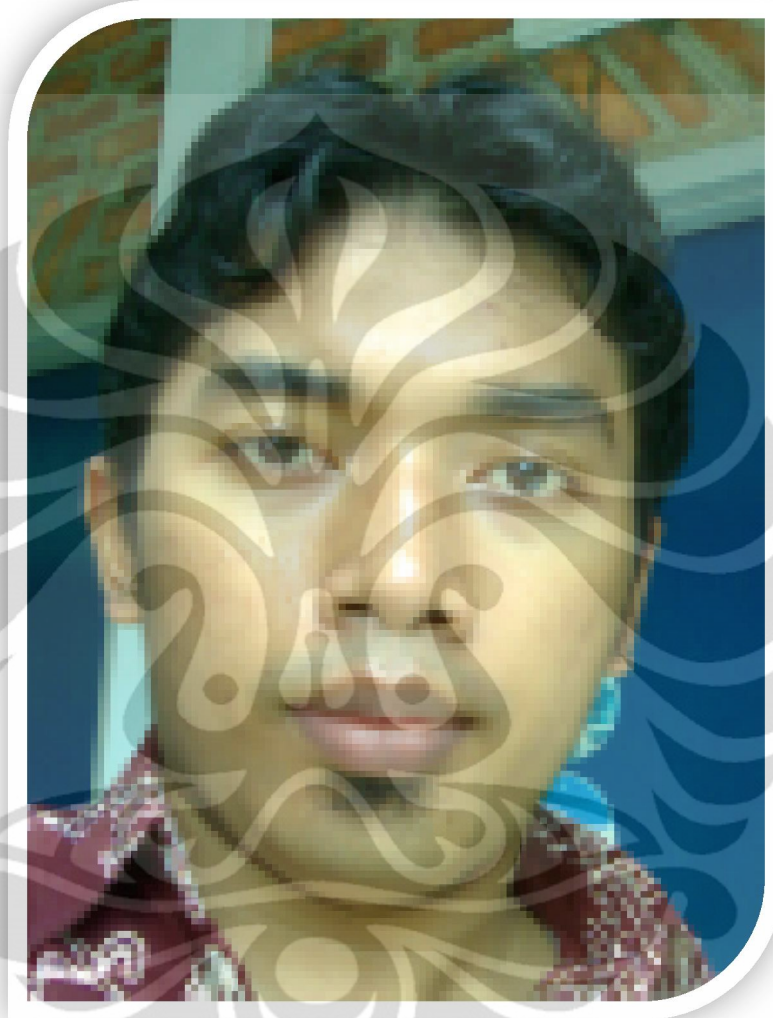
LAMPIRAN 9

Condensor



LAMPIRAN 10

Teammate



Fariza Indrianto



Syaehul Akbar



Raksa A. Rahman