



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFISIENSI PEMBAKARAN BENSIN PADA MESIN GENSET DENGAN
PENAMBAHAN GAS HIDROGEN-OKSIGEN DARI HASIL
ELEKTROLISIS PLASMA**

SKRIPSI

**VICTOR R. CH. PINONTOAN
0806321423**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**EFISIENSI PEMBAKARAN BENSIN PADA MESIN GENSET DENGAN
PENAMBAHAN GAS HIDROGEN-OKSIGEN DARI HASIL
ELEKTROLISIS PLASMA**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**VICTOR R. CH. PINONTOAN
0806321423**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Victor R. Ch. Pinontoan

NPM : 0806321423

Tanda Tangan : 

Tanggal : 5 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Victor R. Ch. Pinontoan
NPM : 0806321423
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Efisiensi Pembakaran bensin pada Mesin Genset dengan Penambahan Gas Hidrogen-Oksigen dari Hasil Elektrolisis Plasma

Telah berhasil dipertahankan sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

Dewan Penguji

Pembimbing : Dr. Ir. Nelson saksono, M.T

Penguji I : Ir. Yuliusman, M.Eng

Penguji II : Dr. Ing. Donni Adinata, ST

Penguji III : M. Ibadurrohman, ST, MT, Msc



Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 5 JULY 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan yang Maha Kuasa atas segala hikmat dan penyertaanNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik-baiknya.

Skripsi dengan judul “Efisiensi Pembakaran bensin pada Mesin Genset dengan Penambahan Gas Hidrogen-Oksigen dari Hasil Elektrolisis Plasma” disusun untuk melengkapi syarat menyelesaikan studi program Sarjana pada Departemen Teknik Kimia Fakultas teknik Universitas Indonesia.

Makalah ini terwujud atas dukungan dan kerjasama dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis secara khusus ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Widodo Wahyu Purwanto, DEA., selaku ketua Departemen Teknik Kimia FTUI.
2. Dr. Ir. Nelson Saksono, MT, selaku dosen pembimbing skripsi.
3. Prof. Dr. Ir. Setijo Bismo, DEA, selaku pembimbing akademis
4. Seluruh staf dosen Teknik Kimia FT UI yang telah memberikan ilmu dan bantuan yang baik bagi penulis.
5. Keluarga yang selalu memberikan dukungan, doa, serta semangat yang selalu mengalir tanpa henti kepada penulis.
6. Rekan kerja satu tim Taher Batubara dan laboran mbak Tiwi atas kerja sama dan bantuannya dalam penyusunan Skripsi ini.
7. Seluruh Keluarga Kamuka Parwata, yang telah memberikan dukungan semangat dan sukacita meyun Skripsi ini.
8. Sahabat-sahabat saya Fami, Widio, Pindo, Gerry, Firzi, Bimo, Syaugi, Iqbal, Faris, Denis, Riza, Eki, Ernest, Feizal, Hamsir, Adiseno, Adeni, Lutfi, Nadim, Mach, Alfi yang telah memberikan semangat dan suka cita dalam menyusun laporan ini.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan laporan ini, kritik dan saran yang membangun penulis terima dengan senang hati. Semoga laporan ini dapat memberikan manfaat kepada pembacanya.

Depok, 3 Juli 2012

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Victor R. Ch. Pinontoan

NPM : 0806321423

Program Studi : Teknik Kimia

Departemen : Teknik Kimia

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

Efisiensi Pembakaran bensin pada Mesin Genset dengan Penambahan Gas Hidrogen-Oksigen dari Hasil Elektrolisis Plasma

Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/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 : 5 Juli 2012

Yang Menyatakan



Victor Pinontoan

ABSTRAK

Nama : Victor Pinontoan

Program Studi : Teknik Kimia

Judul : Efisiensi Pembakaran bensin pada Mesin Genset dengan Penambahan Gas Hidrogen-Oksigen dari Hasil Elektrolisis Plasma

Metode elektrolisis plasma adalah proses elektrolisis dengan menaikkan tegangan elektroda hingga terbentuk bunga api listrik (plasma) dalam larutan. Plasma menyebabkan disosiasi homolitik molekul air menjadi gas hidrogen (H_2) dan oksigen (O_2). Produktivitas H_2 dan O_2 yang dihasilkan melalui proses elektrolisis plasma jauh lebih besar dibanding proses elektrolisis konvensional. Generator hidrogen-oksigen (GHO) dengan metode elektrolisis plasma sangat tepat diterapkan pada motor bakar bensin, karena penambahan H_2 dan O_2 dapat meningkatkan efektivitas proses pembakaran bensin secara signifikan. Penelitian ini menggunakan kondisi terbaik dari laju alir hidrogen oksigen yang akan diinjeksikan ke motor bakar. Hasil penelitian awal pengusul telah berhasil mendapatkan produksi > 1 L/menit dengan konsumsi energi < 750 W, sehingga alat ini layak diaplikasikan pada genset dengan daya 2500 watt dan berbahan bakar bensin.

Kata kunci : generator set, hidrogen, elektrolisis plasma, bensin

ABSTRACT

Name : Victor Pinontoan
Study Program : Teknik Kimia
Topic : Efficiency of gasoline burning in Genset engine with addition of Gas Hydrogen-Oxygen from Generator Plasma Electrolysis of Results

Plasma electrolysis method is a process of electrolysis to raise the voltage electrode to form an electric spark (plasma) in solution. Plasma homolitic cause dissociation of water molecules into hydrogen gas (H₂) and oxygen (O₂). Productivity H₂ and O₂ produced by plasma electrolysis process is much larger than the conventional electrolysis process. Hydrogen-oxygen generator (GHO) by plasma electrolysis method is appropriately applied to the motor gasoline, because the addition of H₂ and O₂ can increase the effectiveness of gasoline combustion process significantly. This study use the best flow rate of hydrogen and oxygen to be injected into motor fuel. The preliminary results were proponents have managed to get production of > 1 L / minute with energy consumption <750 W, so that the tool is appropriate applied the 2500 watt generator with power and gasoline.

Keywords : Generator Set, Hydrogen, Plasma Electrolysis, Gasoline

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL.....	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR GRAFIK.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Generator Set.....	5
2.1.1 Mesin Pada Genset.....	5
2.1.2Perlengkapan Genset.....	9
2.1.3Parameter kerja Genset.....	11
2.1.4Emisi Gas buang.....	13
2.2 Pembakaran.....	14
2.2.1 Sistem pembakaran.....	15
2.2.2 <i>Air Fuel Ratio</i>	16

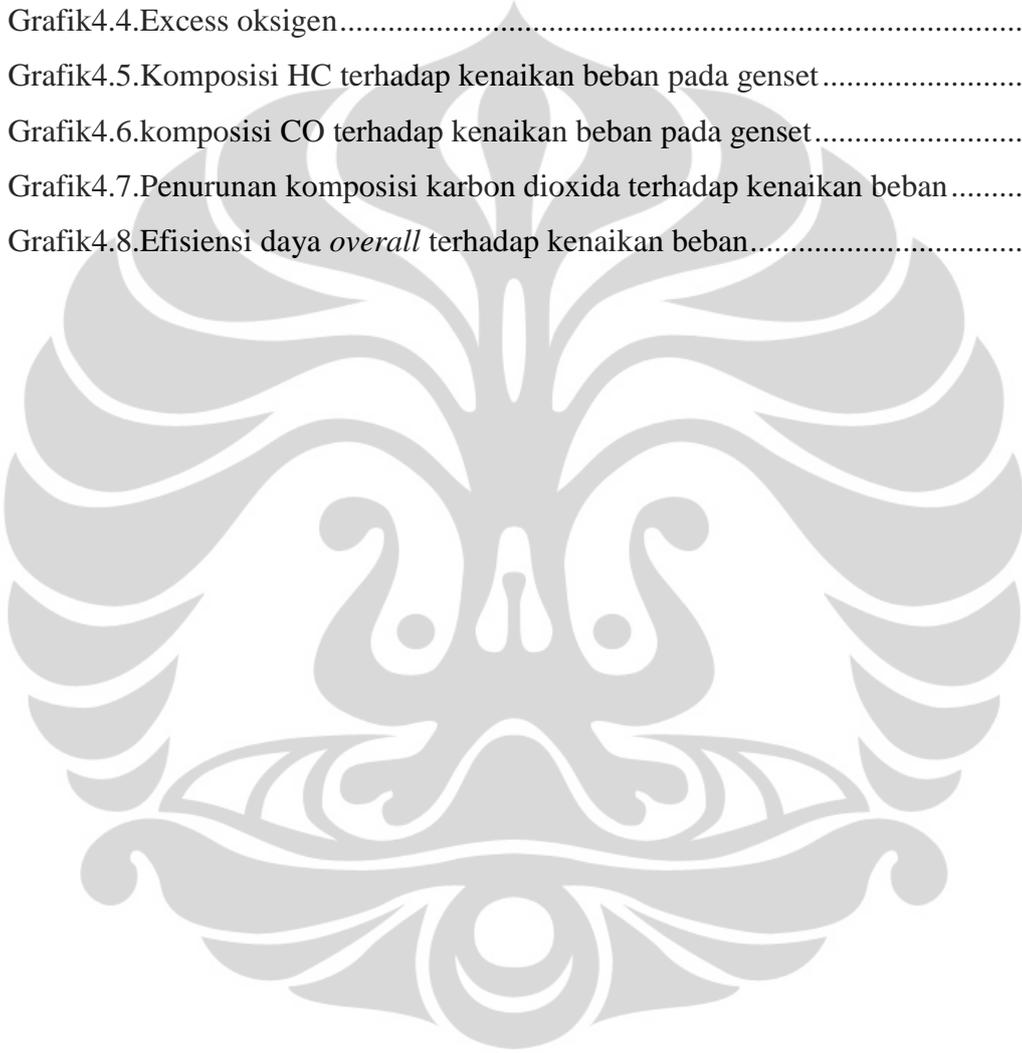
2.2.1 Gas hasil pembakaran	18
2.3 Elektrolisis	29
2.3.1 Elektrolisis Plasma.....	20
2.4 Hidrogen	20
2.4.1 Keunggulan sifat hidrogen dibandingkan bahan bakar lain.....	21
2.5 Oksigen	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1 Rancangan alur penelitian.....	27
3.2 Alat Uji dan Bahan	28
3.2.1 Mensin Genset	28
3.2.2 Gas analyzer.....	28
3.2.2 Alat elektrolisis plasma <i>glow discharge</i>	29
3.2.2 Komponen pendukung.....	30
3.2.2 Bahan	31
3.2.2 <i>Lamp Board</i> (Beban).....	31
3.3 Variabel penelitian.....	31
3.4 Prosedur Penelitian	30
3.4.1 Menghubungkan GHO ke Genset.....	31
3.4.1 Metode Pengujian	32
BAB IV PEMBAHASAN.....	36
4.1 Generator hidrogen oksigen dengan metode elektrolisis plasma	34
4.2 Pengaruh laju alir injeksi hidrogen oksigen terhadap efisiensi bensin ...	35
4.3 Pengaruh pembebanan pada genset terhadap peran hidrogen oksigen dalam mengurangi konsumsi bahan bakar	37
4.4 Penurunan emisi gas buang dengan penambahan hidrogen dan oksigen.	40
4.4.1 Emisi gas buan HC takterbakar.....	41
4.4.2 Emisi gas buang Carbon Monoxida.....	42
4.4.2 Emisi gas buang Carbon Dioxida	44
4.1 <i>Efisiensi Overall</i>	45
BAB V KESIMPULAN dan SARAN.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Langkah hisap motor bakar bensin.....	6
Gambar 2.2. Langkah kompresi motor bakar bensin	7
Gambar 2.3. Langkah kerja motor bakar bensin	7
Gambar 2.4. Langkah buang motor bakar bensin	8
Gambar 2.5. Sistem penyaluran bahan bakar pada genset.....	9
Gambar 2.6. Voltage Regulator	10
Gambar 2.7. Sentrifugal Governor.....	11
Gambar 2.8. Pompa bahan bakar dihubungkan dengan governor	12
Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	27
Gambar 3.2. Skema konfigurasi GHO dan Genset	32
Gambar 4.1. <i>Fuel Air ratio</i>	41

DAFTAR GRAFIK

Grafik4.1.Energi per ml hidrogen terhadap tegangan pada GHO.....	36
Grafik4.2.Pengurangan konsumsi bensin terhadap kenaikan laju alir hidrogen....	38
Grafik4.3.Efisiensi konsumsi bensin sebelum dan setelah injeksi hidrogen terhadap kenaikan beban.....	40
Grafik4.4.Excess oksigen.....	42
Grafik4.5.Komposisi HC terhadap kenaikan beban pada genset.....	43
Grafik4.6.komposisi CO terhadap kenaikan beban pada genset.....	45
Grafik4.7.Penurunan komposisi karbon dioksida terhadap kenaikan beban.....	46
Grafik4.8.Efisiensi daya <i>overall</i> terhadap kenaikan beban.....	47

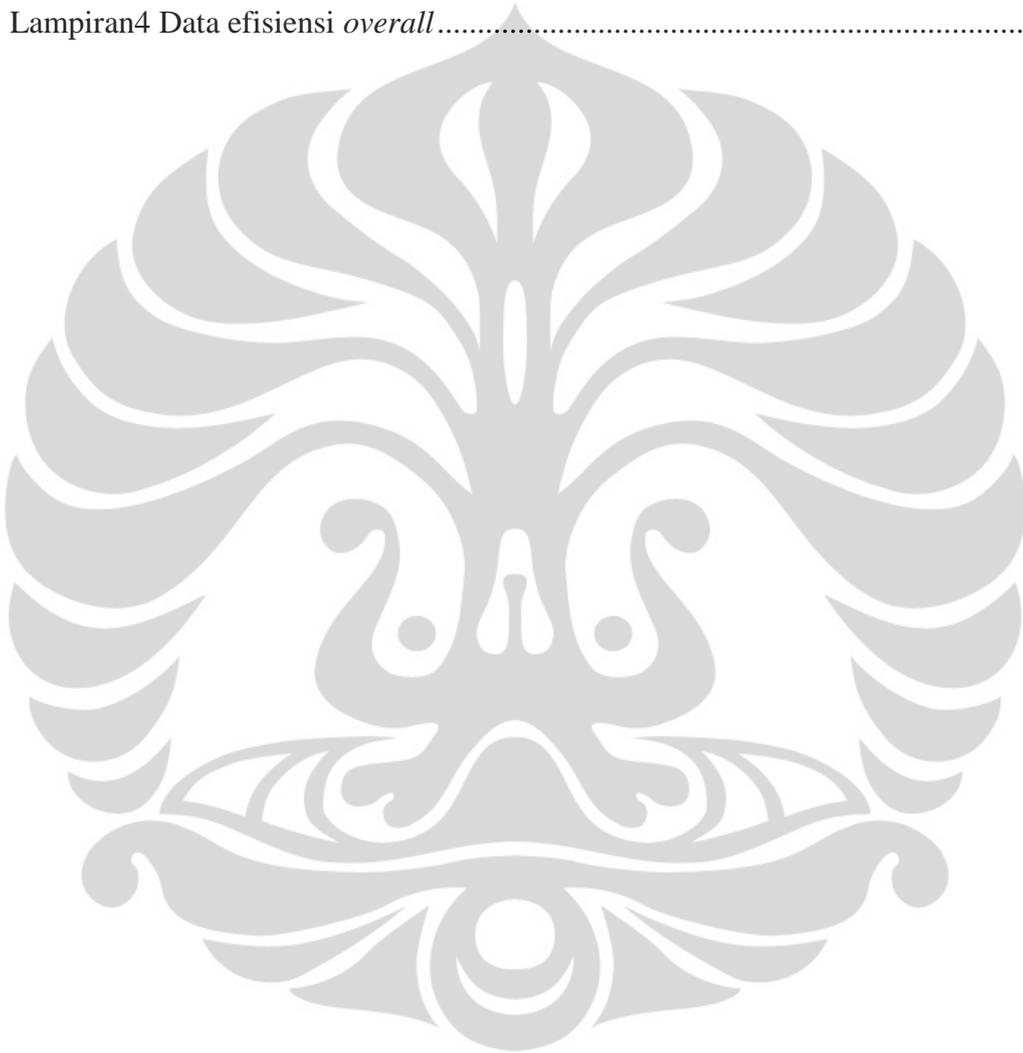


DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Nilai ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor	15
Tabel 2.2. pengaruh AFR terhadap kinerja motor bensin	17
Tabel 2.3. Perbandingan campuran udara dan bensin sesuai kondisi kerja	18
Tabel 2.4. Emisi gas pembakaran bahan bakar fosil dan pengaruh terhadap lingkungan	19
Tabel 2.5. Sifat fisika dan kimia hidrogen	22
Tabel 2.6. <i>Flammability limits</i> bahan bakar	23
Tabel 2.7. Nilai oktan bahan bakar	25
Tabel 2.8. Sifat-sifat hidrogen dan bensin	25
Tabel 2.9. Sifat-sifat fisika dan kimia oksigen	26
Tabel 4.1 Pengaruh laju alir hidrogen terhadap konsumsi bensin	47

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data produktivitas elektrolisis plasma.....	50
Lampiran 2 Data pengaruh laju alir hidrogen terhadap efisiensi bahan bakar.....	51
Lampiran 3 Data konsumsi bensin dengan variasi tegangan genset.....	53
Lampiran 4 Data efisiensi <i>overall</i>	55



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Bahan bakar fosil terutama minyak bumi saat ini masih memasok 80 % kebutuhan energi dunia. Dampak negatif yang timbul adalah meningkatnya suhu bumi akibat bertambahnya emisi gas buang NO_x, CO, CO₂, dan Hidrokarbon tak terbakar hasil pembakaran. Selain itu cadangan minyak bumi saat ini sudah menipis sehingga dapat menimbulkan krisis energi untuk 20 tahun ke depan. Untuk itu diperlukan usaha-usaha untuk melakukan penghematan konsumsi minyak bumi antara lain dengan meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses pembakaran minyak bumi dan sekaligus dapat menekan emisi gas buang yang membahayakan lingkungan.

Metode penambahan gas hidrogen dan oksigen pada proses pembakaran (*internal combustion*) merupakan metode yang dapat meningkatkan efektivitas pembakaran minyak bumi khususnya bensin tanpa memerlukan biaya yang besar. Hidrogen memiliki sifat-sifat yang sangat menjanjikan dalam meningkatkan kinerja motor bakar dan menekan emisi gas buang. Hidrogen dapat terbakar pada rasio bahan bakar udara (F/A ratio) yang sangat rendah yaitu hanya seperlima belas dari F/A ratio bensin, sehingga penambahan hidrogen pada bensin dapat menurunkan F/A ratio (Gregoire 17 February 2005; Forest 2001). Penambahan oksigen pada campuran udara bahan bakar akan menyebabkan pembakaran lebih sempurna sehingga dapat menekan emisi gas buang CO, dan hidrokarbon tak terbakar dalam jumlah yang signifikan. Penambahan Hidrogen dan oksigen sebanyak 6,7 ml/s dari proses elektrolisis merupakan jumlah minimal untuk mendapatkan peningkatan kinerja pembakaran pada motor bakar bensin dengan kapasitas silinder 160 cc (Andrea, 2004).

Hidrogen dapat dihasilkan dari beberapa proses utama yaitu hidrokarbon reforming dengan bahan baku hidrokarbon, proses gasifikasi biomassa dengan bahan baku biomassa, dan proses elektrolisis dengan bahan baku air (Holladay, 2009). Proses hidrokarbon *reforming* hanya cocok untuk produksi hidrogen dengan kapasitas besar, sedangkan proses gasifikasi biomassa membutuhkan lahan dan

bahan baku yang besar, sehingga kedua proses tersebut tidak cocok jika diterapkan pada alat Generator hidrogen untuk motor bakar.

Proses elektrolisis air adalah cara paling sederhana untuk menghasilkan hidrogen dan dapat dibuat dalam skala kecil serta tidak membutuhkan ruang yang besar sehingga dapat diaplikasikan untuk sistem motor bakar. Produktivitas hidrogen yang rendah dan konsumsi listrik yang tinggi masih menjadi kendala pada proses elektrolisis untuk dikembangkan menjadi Generator Hidrogen-Oksigen (GHO) untuk motor bakar. Menurut Elektrolisis Faraday, untuk menghasilkan 1 mol hidrogen pada 1 atm dan 25°C memerlukan energi listrik sebesar 45,96 Kwh/ Nm³ H₂ (Holladay, 2009).

Metode elektrolisis plasma adalah proses elektrolisis dengan menaikkan tegangan elektroda hingga terbentuk bunga api listrik (plasma) dalam larutan. Plasma menyebabkan disosiasi homolitik molekul air menghasilkan atom hidrogen dan radikal hidroksil yang pada akhirnya akan meningkatkan pemutusan molekul air menjadi H₂ dan O₂ (*air splitting*).

Produktivitas hidrogen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis plasma jauh lebih besar dibanding proses elektrolisis Faraday. Dengan menggunakan larutan KOH 0,1 M pada suhu 85 °C dan tegangan 300 V, mendapatkan peningkatan produksi hidrogen hingga 13,4 kali lebih besar dibanding proses elektrolisis Faraday untuk jumlah energi listrik yang sama (Saksono, 2010).

Generator Elektrolisis plasma ini yang menggunakan daya yang kecil akan di rancang agar dapat *applicable* untuk motor bakar bensin (*Internal Cumbastion Engine*). Injeksi Hidrogen dan Oksigen akan di rancang sedemikian rupa agar gas-gas tersebut tidak mengalami difusi karena berkontraksi dengan udara. Penginjeksian ini akan di lakukan di *manifold* (tempat masuknya udara) yang akan di berikan katup untuk mencegah udara masuk ke dalam Generator tersebut.

1.2. Perumusan Masalah :

Ruang lingkup masalah yang akan diselesaikan pada tulisan ini diantaranya adalah :

1. Bagaimana pengaruh kenaikan tegangan pada reaktor elektrolisis plasma terhadap meningkatnya laju alir hidrogen dan oksigen.

2. Bagaimana mengaplikasikan reaktor elektrolisis plasma ke dalam mesin genset berdaya 2500 W
3. Bagaimana melihat pengaruh penambahan oksigen dan hidrogen ke mesin genset terhadap konsumsi bahan bakar, emisi gas buang, serta kestabilan mesin genset.

1.3. Tujuan Penelitian :

1. Membandingkan perubahan komposisi gas buang yang ada di kendaraan bermotor dengan dan tanpa penambahan gas hasil elektrolisis plasma.
2. Menyelidiki pengaruh pembebanan terhadap efisiensi pembakaran dengan dan tanpa injeksi gas hasil elektrolisis
3. Mendapatkan efisiensi keseluruhan sistem dari Generator elektrolisis plasma dengan Generator set

1.4. Batasan Masalah :

Penelitian mengenai pengaruh penambahan Hidrogen – Oksigen dari elektrolisis plasma pada mesin genset ini akan dibatasi pada :

- a. Alat GHO yang akan digunakan adalah mengacu pada rancang bangun reaktor elektrolisis plasma yang telah dibuat tim peneliti dengan pembimbing Dr.Ir. Nelson Saksono,MT
- b. Larutan elektrolit yang digunakan adalah KOH dengan aditif etanol.
- c. Elektroda yang digunakan adalah logam *stainless steel*
- d. Produktivitas alat GHO hanya dilihat pada jumlah H₂ dan O₂ yang dihasilkan dan energi listrik yang dibutuhkan.
- e. Motor bakar yang digunakan adalah Generator listrik (genset) 4 langkah satu silinder dengan daya 2500 W
- f. Pengamatan terhadap motor bakar hanya dilakukan terhadap konsumsi bensin dan komposisi gas buang.
- g. Bahan bakar yang digunakan adalah Bensin.

1.5. Sistematika Penulisan :

Sistematika penulisan dalam makalah seminar ini dilakukan dengan membagi tulisan menjadi tiga bab utama, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan yang digunakan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang tinjauan pustaka atau teori dasar yang berkaitan dengan topik penelitian penulis.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menginformasikan penjelasan tentang metodologi dan tahap-tahap penelitian yang akan dilakukan dari awal hingga akhir dan memuat bahan/ alat yang digunakan, serta prosedur penelitian.

BAB IV : PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil dari penelitian yang telah dilakukan berdasarkan prosedur yang tertera di Bab III. Dalam bab ini juga terdapat analisis dan pembahasan dari hasil penelitian yang telah diperoleh.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi rangkuman keseluruhan dari penelitian yang telah dilakukan, serta mengacu pada hasil yang telah diperoleh. Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Semakin besarnya kebutuhan bahan bakar bensin sebagai bahan bakar mesin kendaraan bermotor, menyebabkan krisis persediaan cadangan energi tak terbarukan tersebut. Hal ini mendorong penelitian-penelitian lebih lanjut mengenai efisiensi penggunaan bahan bakar agar konsumsinya menjadi lebih hemat. Gas hidrogen merupakan salah satu sumber energi alternatif yang cocok sebagai suplemen bahan bakar dalam *internal combustion engine (spark ignition engine dan compression ignition engine)*.

Dalam Bab ini akan ditulis teori-teori yang dapat mendukung penelitian ini seperti cara kerja generator set, membahas tentang hidrogen, proses pembakaran pada mesin, serta tentang elektrolisis plasma.

2.1 Generator Set

Generator adalah suatu mesin listrik yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, prinsip kerja dari generator adalah gerakan mesin akan diubah secara bersamaan dengan dinamo dan alternator menjadi energi listrik. Energi listrik ini kemudian disimpan dalam baterai untuk digunakan.

2.1.1 Mesin Pada Genset

Mesin bensin adalah mesin yang bekerja dengan cara memasukan panas dari percikan bunga api listrik dari busi pada campuran udara dan bahan bakar yang dikompresikan.

Perbedaan mesin genset dengan mesin pada kendaraan bermotor adalah pada genset RPM stabil secara otomatis. Pada saat penambahan beban maka bahan bakar akan terhisap lebih cepat, sehingga mesin tetap stabil. Akan tetapi pada Genset yang berubah hanyalah komposisi bahan bakar, sedangkan udara tetap.

2.1.1.a Prinsip Kerja mesin

Piston bergerak naik turun di dalam silinder dalam *gerakan reciprocating*. Titik tertinggi yang dicapai oleh piston tersebut disebut titik mati atas (TMA) dan titik terendah disebut titik mati bawah (TMB). Gerakan dari TMA ke TMB disebut langkah piston (*stroke*). Pada motor bakar 4 langkah mempunyai 4 langkah dalam satu gerakan yaitu langkah penghisapan, langkah kompresi, langkah kerja dan langkah pembuangan. Berikut adalah langkah-langkah proses kerja motor bakar bensin:

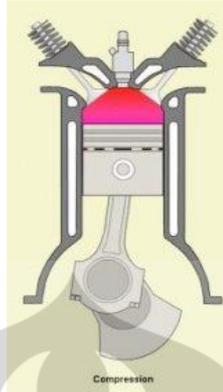
- **Langkah Hisap**



Gambar 2.1. Langkah hisap motor bakar bensin
(Sumber: Shell Canada gasoline_engine)

Pada gerak hisap, *campuran udara - bensin dihisap ke dalam silinder*. Bila jarum dilepas dari sebuah alat suntik dan plunyer ditarik sedikit sambil menutup bagian ujung yang terbuka dengan jari (alat suntik akan rusak bila plunyer ditarik dengan tiba-tiba), dengan membebaskan jari akan menyebabkan udara masuk ke alat suntik ini dan akan terdengar suara letupan. Hal ini terjadi sebab tekanan di dalam lebih rendah dari tekanan udara luar. Hal yang sama juga terjadi di mesin, piston dalam gerakan turun dari TMA ke TMB menyebabkan kehampaan di dalam silinder, dengan demikian campuran udara bensin dihisap ke dalam. Selama langkah piston ini, katup hisap akan membuka dan katup buang menutup (Suyanto, 1989).

- **Langkah Kompresi**



Gambar 2.2. Langkah kompresi motor bakar bensin
(Sumber: Shell Canada gasoline_engine)

Dalam gerakan ini campuran udara bensin yang di dalam silinder dimampatkan oleh piston yang bergerak ke atas dari TMB ke TMA. Kedua katup hisap dan katup buang akan menutup selama gerakan tekanan dan suhu campuran udara bensin menjadi naik. Bila tekanan campuran udara bensin ini ditambah lagi, tekanan serta ledakan yang lebih besar lagi dari tenaga yang kuat ini akan mendorong piston ke bawah. Sekarang piston sudah melakukan dua gerakan atau satu putaran, dan poros engkol berputar satu putaran (Heywood, 1988).

- **Langkah kerja**



Gambar 2.3. Langkah kerja motor bakar bensin
(Sumber: Shell Canada gasoline_engine)

Dalam gerakan ini, *campuran udara bensin yang dihisap telah dibakar dan menyebabkan terbakar sehingga menghasilkan tenaga yang mendorong piston ke bawah meneruskan tenaga penggerak yang nyata. Selama gerak ini katup hisap dan katup buang masih tertutup. Piston telah melakukan tiga langkah dan poros engkol berputar satu setengah putaran (Heywood, 1988).*

- **Langkah buang**



Gambar 2.4. Langkah buang motor bakar bensin
(Sumber: Shell Canada gasoline_engine)

Dalam gerak ini, *piston terdorong ke bawah, ke TMB dan naik kembali ke TMA untuk mendorong gas-gas yang telah terbakar dari silinder. Selama gerak ini kerja katup buang saja yang terbuka (Heywood, 1988). Menurut Suyanto (1989), bila piston mencapai TMA sesudah melakukan pekerjaan seperti di atas, piston akan kembali pada keadaan untuk memulai gerak hisap. Sekarang motor telah melakukan 4 gerakan penuh, hisap-kompresi-kerja-buang. Poros engkol berputar 2 putaran, dan telah menghasilkan satu tenaga.*

2.1.2 Perlengkapan Genset

Genset harus dilengkapi dengan peralatan-peralatan yang menunjang, agar mempunyai :

- a. Kestabilan baik tegangan maupun putarannya bila sewaktu-waktu terjadi perubahan beban mesin harus tetap stabil.

- b. Indikator-indikator yang menunjukkan keadaan Genset setiap saat, Pemutus arus dan pelepas beban yang bekerja secara otomatis dan manual.
- c. *Emergency stop* ialah suatu alat/ tombol yang akan mematikan mesin kapan saja yang diinginkan

2.1.2.a Voltage Regulator

Voltage Regulator adalah suatu alat yang berfungsi untuk menjaga agar tegangan output dari generator tetap konstan sesuai yang diinginkan. VR secara langsung/tidak langsung memberikan arus searah kepada kumparan rotor sehingga menimbulkan tegangan pada output gulungan stator. Kalau terjadi tegangan outputnya diteruskan ke gulungan stator. Kalau terjadi penurunan tegangan karena kenaikan beban maka VR akan menaikkan tegangan outputnya diteruskan ke gulungan rotor sehingga tegangan induksi stator akan naik sampai level semula. Begitupun jika ada kenaikan tegangan (beban turun), oleh karena VR hanya berfungsi sebagai pengatur tegangan maka alat ini akan bekerja pada frekuensi atau mesin pada keadaan ratingnya (putaran normal).



Gambar 2.6 Voltage Regulator

(Sumber: <http://turbininstrument.wordpress.com>)

Di dalam AVR, ada *Mutual Reactor* (MT) yaitu semacam trafo jenis CT (*Current Transformer*) yang menghasilkan arus listrik berdasarkan besaran arus beban yang melaluinya (secara rangkaian seri). Arus listrik yang dihasilkan ini digunakan untuk memperkuat medan magnet pada belitan rotor. Sehingga untuk beban yang besar, arus yang dihasilkan juga besar.

2.1.1.b Governor

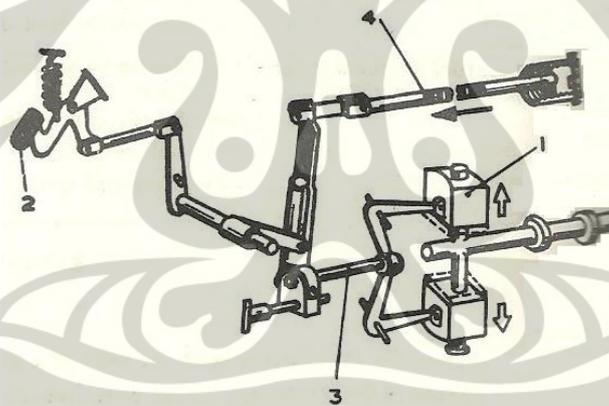
Seperti hanya VR, alat pengatur putaran (*Governor*) berfungsi untuk mengatur atau mempertahankan putaran mesin agar dalam kecepatan yang tetap. Jika ada kenaikan beban, mesin bertendensi menurunkan putarannya dan *Governor* akan memberikan signal kepada katup pembuka bahan bakar. Sehingga bahan bakar yang masuk ke dalam *Injector* bertambah banyak, sehingga mesin akan berputar normal kembali dan tidak terjadi penurunan putaran, sebaliknya kalau ada penuruanan beban mesin akan berputar melebihi ratingnya. *Governor* akan mengirim signal kepada katup bahan bakar agar mengurangi bahan bakar yang masuk sehingga mesin berputar normal.

$$\text{Speed drop} = \frac{f_0 - f_l}{f_l} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

f_0 = Frekuensi saat beban kosong

f_l = Frekuensi saat beban penuh



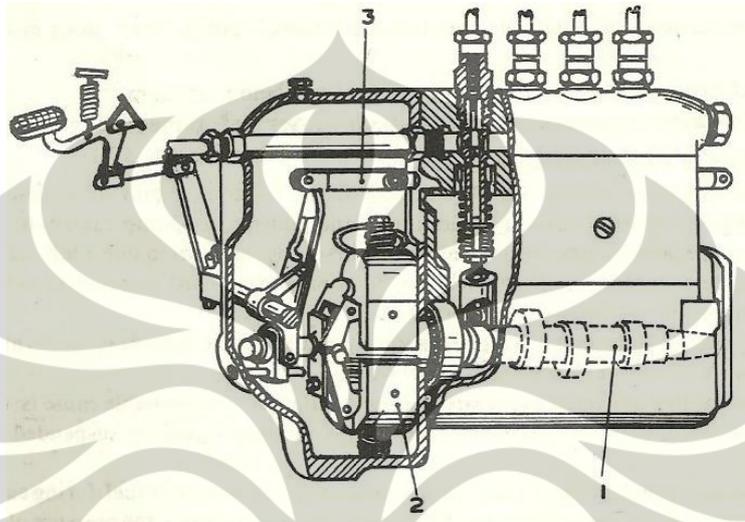
1. *Ball weight*; 2. *Acelerator pedal*; 3. *Rod*; 4. *Control rod*

Gambar 2.7 Sentrifugal *governor* secara sederhana

(Sumber : S, Srinivasan. 1994. *Automotive Mechanics*. New Delhi : Tata Mc-Graw Hill Publishing Company Limited.)

Camshaft dari pompa dihubungkan dengan dua *ball weights*. Ketika *shaft* berputar, *ball weights* ini berputar pada kecepatan yang sama dengan camshaft. *Ball weights* ini berputar mengikuti gaya sentrifugal. *Ball weights* ini dihubungkan dengan sebuah bantalan (*collar*) dan mekanisme kerja yang saling terhubung.

Ketika *ball weights* bergerak keluar, rod bergerak ke kanan. Pergerakan ini mengontrol pergerakan control rod dari pompa bahan bakar. Ketika control rod bergerak ke kiri (4), ini artinya bergerak ke arah perhentian aliran bahan bakar ke tangki, artinya suplai bahan bakar tertutup. Kecepatan mesin menjadi lambat dan mencegah mesin bergerak lebih cepat.



1. *Camshaft*; 2. *Ball Weights*; 3. *Control rod*.

Gambar 2.8. Pompa bahan bakar yang dihubungkan dengan sentrifugal governor.

(Sumber : S, Srinivasan. 1994. *Automotive Mechanics*. New Delhi : Tata Mc-Graw Hill Publishing Company Limited.)

2.1.3 Parameter kerja Genset.

Beberapa parameter yang dicatat selama pengujian unjuk kerja Genset digunakan sebagai data mentah yang kemudian diolah menjadi data hasil pengujian. Dari data hasil pengujian akan terlihat ada tidaknya peningkatan atau penurunan performa mesin yang diuji dengan menggunakan gas elektrolisis plasma. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan dengan parameter *Fuel Consumption*, *Specific Fuel Consumption*, Daya, Efisiensi thermal dan kualitas gas buang yang pada pengujian ini akan kapasitasnya. Berikut ini akan diuraikan metode perhitungannya :

1. Jumlah Input Bahan Bakar

Jumlah kalor masuk (Q_{in}) dirumuskan :

$$Q_{in} = mf * LHV \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan :

Q_{in} = Jumlah kalor rmasuk (kJ)

mf = Jumlah bahan bakar (kg)

LHV = Nili kalor bawah bahan bakar (kJ / kg)

2.1.4 Emisi Gas Buang

Pada pengujian Genset berdaya 2500 W ini sebagai parameter untuk gas buang adalah konsentrasi CO, CO₂, NO_x, dan Hidrokarbon tidak terbakar. Konsentrasi emisi gas buang yang dihasilkan oleh genset diukur menggunakan gas analyzer.

2.1.4.a CO (Carbon Monoksida)

CO adalah gas yang tidak berbau, tidak berasa, dan sukar larut dalam air. Gas CO dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar yang terjadi akibat kekurangan oksigen atau udara dari jumlah yang diperlukan. Gas CO ini bersifat racun bagi tubuh karena bila masuk ke dalam darah, CO dapat bereaksi dengan Hemoglobin (Hb) untuk membentuk karboksihemoglobin (COHb). Bila reaksi tersebut terjadi, maka kemampuan darah mengangkut O₂ untuk kepentingan pembakaran dalam tubuh akan menjadi berkurang. Hal ini disebabkan kemampuan Hb untuk mengikat CO jauh lebih besar dibandingkan kemampuan Hb untuk mengikat O₂. Persentase CO sebanyak 0,3 % sudah merupakan racun yang sangat berbahaya karena apabila terhirup selama setengah jam secara terus menerus dapat mengakibatkan kematian. Selain itu kandungan COHb dalam darah dapat mengakibatkan terganggunya sistem urat syaraf dan fungsi tubuh pada konsentrasi rendah (2 – 10 %) antara lain : penampilan agak tidak normal, mempengaruhi sistem syaraf sentral, reaksi panca indera tidak normal, benda kelihatan agak kabur, perubahan fungsi jantung dan pulmonari. Jika terdapat konsentrasi tinggi COHb dalam darah (> 10 %) dapat mengakibatkan kematian. Pengaruh konsentrasi gas CO di udara sampai dengan 100 ppm terhadap tanaman hampir tidak ada, khususnya pada tanaman tingkat tinggi. Bila konsentrasi gas CO di udara mencapai 2000 ppm dan waktu kontak lebih dari 24

jam, akan mempengaruhi fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas yang ada pada lingkungan terutama yang terdapat pada akar tanaman. Besarnya emisi gas CO untuk mesin bensin yang menggunakan karburator berkisar antara 1,5% – 3,5% dan untuk mesin yang menggunakan EFI (*Electronic Fuel Injection*) berkisar antara 0,5% - 1,5%.

Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-35/MENLH/10/1993 yang diperbaharui dengan PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP NO. 05 TAHUN 2006 menyatakan nilai ambang batas kandungan CO gas buang pada kendaraan bermotor selain sepeda motor dengan bahan bakar premium ditentukan maksimal 4,5 %, Sedangkan untuk wilayah Propinsi Jawa Tengah sebesar 4,2 %.

Tabel 2.1. Nilai ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter			Metoda Uji
		CO (%)	HC (ppm)	Opasitas (% HSU)	
Berpenggerak motor bakar cetus api (bensin)	< 2007	4,5	1200		Idle
	≤ 2007	1,5	200		
Berpenggerak motor bakar penyalan kompresi (diesel)					Percepatan Bebas
GVW ≤ 3.5 ton	< 2010			70	
	≥ 2010			40	
GVW > 3.5 ton	< 2010			70	
	≤ 2010			50	

(Sumber: Hariyono, 2007)

Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bensin terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. Hal ini terjadi apabila campuran udara dan bahan bakar lebih gemuk dari campuran *stoichiometric*, dan dapat terjadi selama idling, pada beban rendah dan output maksimum (Soenarta, 1995).

2.1.4.b HC (Hydrocarbon)

HC adalah gas yang merupakan ikatan unsur dari karbon dan hidrogen. Sumber penghasil utama gas HC pada kendaraan bermotor adalah uap bahan bakar yang belum terbakar sempurna dan hidrokarbon yang hanya bereaksi sedikit dengan oksigen yang ikut keluar bersama dengan gas buang. Jika campuran udara bahan bakar tidak terbakar sempurna didekat dinding silinder dimana

apinya lemah dan suhunya rendah. Hidrokarbon dapat keluar tidak hanya kalau campuran udara bahan bakarnya gemuk, tetapi bisa saja kalau campurannya kurus seperti grafik di atas. Kepekatan gas buang yang sangat tinggi dapat merusak sistem pernapasan manusia (Soenarta, 1995).

2.1.4.c NO_x (Nitrogen Oksida)

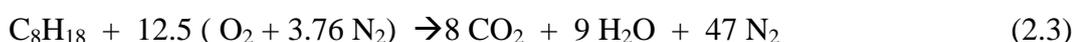
NO_x adalah emisi yang dihasilkan oleh pembakaran yang terjadi pada temperatur tinggi. NO_x akan bertambah pada motor dengan perbandingan kompresi tinggi dan campuran bahan bakar dengan udara yang kurus. NO_x dapat menyebabkan kerusakan pada paru-paru (Suyanto, 1989).

2.2 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia yang cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar, disertai timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor. Pembakaran spontan adalah pembakaran dimana bahan mengalami oksidasi perlahan-lahan sehingga kalor yang dihasilkan tidak dilepaskan, akan tetapi dipakai untuk menaikkan suhu bahan secara pelan-pelan sampai mencapai suhu nyala. Pembakaran sempurna adalah pembakaran dimana semua konstituen yang dapat terbakar di dalam bahan bakar membentuk gas CO₂, air (= H₂O), dan gas SO₂, sehingga tak ada lagi bahan yang dapat terbakar tersisa (M Alsayed, 2008).

Pada Reaksi pembakaran hidrokarbon dalam hal ini bensin (C₈H₁₈) dengan udara tidak sepenuhnya dihasilkan CO₂ dan H₂O saja. Ada juga keluaran yang tidak diharapkan seperti hidrokarbon tak terbakar, gas nitrogen, panas eksotermik, CO dan gas-gas lainnya. Pada jumlah udara teoritis dihasilkan 21% senyawa CO₂, 78% Nitrogen, and 1% gas yang lain dan panas eksotermik ((NASA-TN-D-8487) 1977).

Udara tidak hanya terdiri dari oksigen (O₂) saja tetapi juga terdapat unsur lain yaitu nitrogen (N₂) sebesar 79% dari volume udara. Sedangkan oksigen hanya sebesar 21%, sehingga persamaan reaksi menjadi:



Pembakaran di atas dikatakan sempurna apabila reaktan (gasoline) habis terbakar membentuk karbon dioksida (CO_2) dan uap air (H_2O). Hal tersebut dapat terjadi bila campuran bahan bakar dan oksigen (dari udara) mempunyai perbandingan yang tepat, sehingga tidak diperoleh sisa. Bila oksigen terlalu banyak, dikatakan campuran “lean” (miskin). Pembakaran ini menghasilkan api oksidasi. Sebaliknya, bila bahan bakarnya terlalu banyak (atau tidak cukup oksigen), dikatakan campuran “rich” (kaya). Pembakaran ini menghasilkan api reduksi dan produknya bukan lagi hanya CO_2 dan H_2O tetapi juga carbon monoksida (CO) bahan bakar yang tidak terbakar. Api reduksi ditandai oleh lidah api panjang, kadang-kadang sampai terlihat berasap. Keadaan ini disebut pembakaran tidak sempurna.

2.2.1 Sistem pembakaran

Proses pembakaran dibagi menjadi 4 periode:

a) Periode 1: Waktu pembakaran tertunda (ignition delay) (A -B)

Pada periode ini disebut fase persiapan pembakaran, karena partikel-partikel bahan bakar yang diinjeksikan bercampur dengan udara di dalam silinder agar mudah terbakar.

b) Periode 2: Perambatan api (B-C)

Pada periode 2 ini campuran bahan bakar dan udara tersebut akan terbakar di beberapa tempat. Nyala api akan merambat dengan kecepatan tinggi sehingga seolah-olah campuran terbakar sekaligus, sehingga menyebabkan tekanan dalam silinder naik. Periode ini sering disebut periode ini sering disebut pembakaran letup.

c) Periode 3: Pembakaran langsung (C-D)

Akibat nyala api dalam silinder, maka bahan bakar yang diinjeksikan langsung terbakar. Pembakaran langsung ini dapat dikontrol dari jumlah bahan bakar yang diinjeksikan, sehingga periode ini sering disebut periode pembakaran dikontrol.

d) Periode 4: Pembakaran lanjut (D-E)

Injeksi berakhir di titik D, tetapi bahan bakar belum terbakar semua. Jadi walaupun injeksi telah berakhir, pembakaran masih tetap berlangsung. Bila

pembakaran lanjut terlalu lama, temperatur gas buang akan tinggi menyebabkan efisiensi panas turun

2.2.2 Air Fuel Ratio

Air fuel Ratio (AFR) atau rasio udara dan bahan bakar bensin mencapai 14,7. Artinya satu bagian bahan bakar membutuhkan 14,7 bagian udara untuk melayani proses pembakaran di dalam silinder. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat pengaruh AFR terhadap kinerja motor bensin.

Tabel 2.2. Pengaruh AFR terhadap kinerja motor bensin.

AFR terlalu kurus	tenaga mesin menjadi sangat lemah
	sering menimbulkan detonasi
	mesin cepat panas
	sering terjadi misfire
AFR kurang	membuat kerusakan pada silinder ruang bakar
	tenaga mesin berkurang
	terkadang terjadi detonasi
AFR ideal	konsumsi bensin irit
AFR kaya	kondisi paling ideal
	bensin agak boros
	mesin lebih bertenaga
AFR terlalu kaya	tidak terjadi detonasi
	bensin sangat boros
	asap knalpot berwarna hitam
	asap pedih di mata
	sering terjadi misfire
	terjadi penumpukan kerak di ruang bakar

(Sumber : Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev 0, December 2001)

Pemakaian udara yang tidak stoikiometris, dikenal istilah *Equivalent Ratio* (ER). *Equivalent Ratio* (ER) adalah perbandingan antara jumlah (bahan bakar/ udara) yang digunakan dan jumlah (bahan bakar/ udara) stoikiometris (M Alsayed, 2008).

Dengan demikian maka:

ER (λ) = 1, berarti reaksi stoikiometris tetap sama dengan harga AFR ideal.

ER (λ) < 1, berarti pemakaian udara kurang dari keperluan reaksi stoikiometris (campuran kaya)

ER(lamda) >1, berarti pemakaian udara lebih dari keperluan reaksi stoikiometris (campuran miskin)

Pada umumnya perbandingan udara dan bahan bakar dinyatakan berdasarkan perbandingan berat udara dengan berat bahan bakar. Perbandingan udara dan bahan bakar yang sempurna atau *air fuel ratio* (AFR) adalah 15 : 1, yaitu 15 udara berbanding 1 bahan bakar. Tetapi pada praktiknya, mesin membutuhkan campuran udara dan bahan bakar dalam perbandingan yang berbeda-beda. Ini bergantung pada temperatur, kecepatan mesin dan kondisi lainnya. Pada Tabel 2.3 adalah perbandingan campuran udara dan bensin secara teoritis yang dibutuhkan mesin sesuai kondisi kerja.

Tabel 2.3. Perbandingan campuran udara dan bensin secara teoritis yang dibutuhkan mesin sesuai kondisi kerja.

KONDISI KERJA MESIN	AIR-FUEL RATIO (AFR)
Saat start temperatur 0° Celsius	1 : 1
Saat start temperatur 20° Celsius	5 : 1
Idling	11 : 1
Putaran lambat	12-13 : 1
Akselerasi	8 : 1
Putaran Max (beban penuh)	12-13 : 1
Pemakaian ekonomis	15 : 1

(Sumber : Hydrogen Fuel Cell Engines and Related Technologies: Rev 0, December 2001)

Hal lain yang berhubungan erat dengan AFR adalah emisi gas buang yang dihasilkan. Dilihat dari sisi emisi gas buang, gas NO_x yang dihasilkan dari pembakaran mesin diesel mengandung kelebihan oksigen karena mesin dioperasikan dengan AFR yang lebih kurus dari AFR secara teoritis yang mencapai 1 : 14,7. Normalnya konsentrasi oksigen di gas buang adalah 1 – 2 %. Tingginya konsentrasi oksigen di gas buang akan menyebabkan tingginya konsentrasi senyawa NO_x. Senyawa NO_x ini sangat tidak stabil dan bila terlepas ke udara bebas, akan berikatan dengan oksigen untuk membentuk Nitrat oksida (NO₂). Inilah yang amat berbahaya karena senyawa ini amat beracun dan bila

terkena air akan membentuk asam nitrat. Keuntungan lain dari AFR yang kurus pada mesin adalah rendahnya kandungan Karbon monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) pada gas buang.

2.2.3 Gas Hasil Pembakaran

Pembakaran pada bahan bakar fosil menghasilkan senyawa CO_2 , CO, NO_x , N_2 , H_2O dan Hidrokarbon yang terbakar. Struktur kimia dan pengaruhnya disajikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Emisi gas pembakaran bahan bakar fosil dan pengaruhnya bagi lingkungan

Emisi	Sumber	Pengaruh
CO_2 (Karbon dioksida)	Pembakaran Sempurna Bahan Bakar Karbon	Pemanasan global
CO (Karbon monoksida)	Pembakaran tidak sempurna bahan bakar karbon	Asap / kabut
SO_2 (Sulphur dioksida)	Pembakaran bahan bakar yang mengandung Sulphur	Asap / kabut, hujan asam
NO_x (Nitrogen oksida)	Produk samping dari kebanyakan proses pembakaran	Hujan asam
N_2O (Nitrous oksida)	Produk samping dari kebanyakan proses pembakaran	Pemanasan global
H_2O (Air)	Pembakaran bahan bakar yang mengandung hidrogen	Kabut lokal (uap air)
Hidrokarbon (HC)	Pembakaran bahan bakar tidak sempurna dan substansi-substansi yang mengandung karbon.	Paparan langsung dapat membahayakan mata, hidung, dan tenggorokan.

(Sumber:Arvind Atreya, ; Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC), 2001)

2.3 Elektrolisis

Elektrolisis adalah peristiwa penguraian elektrolit dalam sel elektrolisis oleh arus listrik. Prinsip dasar elektrolisis berlawanan dengan sel volta, yakni: proses elektrolisis, mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Reaksi elektrolisis merupakan reaksi tidak spontan karena melibatkan energi listrik dari luar. Pada elektrolisis komersial yang dilakukan pada suhu rendah memiliki efisiensi 56 – 73 % (pada kondisi operasi 70,1 – 53,4 kWh / kg H_2 pda 1 atm dan 25°C). Elektrolisis yang menjadi inti dari konsep perubahan energi dari

energi listrik menjadi energi kimia dalam bentuk hidrogen dengan oksigen sebagai produk sampingan.

Melalui proses elektrolisis, idealnya satu mol air dapat menghasilkan satu mol hidrogen dan $\frac{1}{2}$ mol oksigen pada suhu 25°C dan 1 atm. Perubahan entalpi yang terjadi adalah 285,83 kJ sedangkan perubahan entropi ($T \Delta S$) yang terjadi adalah 48,7 kJ. Energi yang diperlukan (disediakan oleh energi listrik dari luar sistem) untuk mengelektrolisis air hanya energi bebas Gibbs saja sebab perubahan entropi dapat diperoleh dari lingkungan. Oleh karena itu, energi yang dibutuhkan menjadi :

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \dots\dots\dots (2.4)$$

Sehingga energi listrik yang diperlukan untuk elektrolisis menjadi 231,7 kJ / mol H_2 produk. Oleh karena itu, elektrolisis air untuk membentuk hidrogen memiliki beberapa kekurangan diantaranya adalah konsumsi energi listrik yang besar.

Reaksi reduksi terjadi pada air yang teradsorpsi pada katoda yang bermuatan negatif dengan elektron (e^-) dari katoda diberikan kepada kation hidrogen untuk membentuk gas hidrogen menurut reaksi diatas. Sedangkan pada anoda yang bermuatan positif, terjadi reaksi oksidasi yang menghasilkan gas oksigen dan memberikan elektron ke katoda sesuai dengan reaksi :



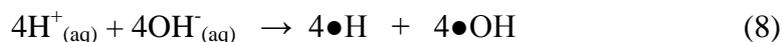
Akan tetapi tidak semua reaksi setengah reaksi harus disetarakan dengan penambahan asam atau basa.



2.3.1 Elektrolisis Plasma

Proses elektrolisis plasma pada dasarnya adalah proses elektrolisis, namun dengan dengan menaikkan tegangan elektroda hingga terbentuk bunga api listrik (plasma) dalam larutan. Plasma menyebabkan disosiasi homolitik molekul air menghasilkan atom hidrogen ($(\bullet\text{H})$) dan radikal hidroksil ($(\bullet\text{OH})$) yang pada

akhirnya akan meningkatkan pemutusan molekul air menjadi H₂ dan O₂ (*air splitting*). Berikut persamaan reaksi yang terjadi:



Jumlah oksigen dan hidrogen yang dihasilkan dari elektrolisis plasma melebihi hukum Faraday (elektrolisis konvensional). Biasanya, pembentukan plasma dapat dibentuk jika tegangan ditingkatkan hingga 140 V pada suhu yang tinggi.

Pada elektrolisis larutan metanol – air, air dan metanol akan menguap dan lapisan gas terbentuk disekitar elektroda. Ketika potensial antara elektroda cukup tinggi, ikatan di lapisan gas akan putus dan plasma *glow discharge* akan muncul di lapisan gas. Molekul air dan elektrolit seperti metanol di lapisan plasma akan terdekomposisi menjadi hidrogen, oksigen, karbon dioksida, dan karbon oksida (Kabeshima H, dkk, 2003).

Saksono dengan menggunakan larutan KOH 0,1 M pada suhu 85 °C dan tegangan 300 V, mendapatkan peningkatan produksi hidrogen hingga 13,4 kali lebih besar dibanding proses elektrolisis Faraday untuk jumlah energi listrik yang sama (Saksono. N 2010) Pada percobaan tersebut berhasil memproduksi 10 ml/s H₂ dan O₂ dengan konsumsi daya listrik rata-rata sebesar 600 watt.

2.4 Hidrogen

Hidrogen (bahasa Latin: hidrogenium, dari bahasa Yunani: hydro: air, genes: membentuk) adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol H dan nomor atom 1. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berwarna, tidak berbau, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan massa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. Tabel 2.5 menunjukkan sifat-sifat fisika dan kimia secara lengkap dari gas hidrogen.

Tabel 2.5. Sifat fisika dan kimia hidrogen

Fase Massa Jenis	Gas
Massa Jenis	(0°C; 101,325kPa) 0,08988 g/L
Titik Lebur	14,01 K (-259,14 °C; -434,45 °F)
Titik Didih	20,28 K (-252,87 °C; -423,17 °F)
Kalor Peleburan	(H ₂) 0,117 kJ/mol
Kapasitas Kalor	(25°C) (H ₂) 28,836 J/(mol.K)
Suhu Kritis	32,19 K
Tekanan Kritis	1,315 mPa
Density Kritis	30,12 g/mL

(Sumber: <http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/HY/hidrogen.html>)

2.4.1 Keunggulan Sifat Hidrogen Dibandingkan Bahan Bakar Lain

Terdapat perbedaan sifat yang besar antara hidrogen dengan bensin, sifat tersebut sangat mempengaruhi proses pembakaran pada *internal combustion engine* (ICE). Sifat-sifat tersebut menyebabkan hidrogen lebih unggul dibandingkan dengan bensin. Hidrogen merupakan bahan bakar yang mudah terdispersi dalam udara sehingga sangat mudah terbakar. Di sisi lain bensin lebih sulit terbakar, karena memiliki kerapatan yang lebih besar sehingga lebih sulit terdispersi dalam udara. Hal ini menyebabkan pembakaran bensin relatif lebih lambat dibandingkan hidrogen.

Berikut adalah sifat-sifat hidrogen lainnya yang mempengaruhi perkembangan teknologi ICE :

2.4.1.a Jangkauan *Flammability* yang Luas

Dibandingkan dengan bahan bakar lain, hidrogen memiliki jangkauan flammability yang luas. Perhatikan Tabel 2.6

Tabel 2.6. Flammability limits bahan bakar

No.	Bahan Bakar	Lower Explosive Limits (%)	Upper Explosive Limits (%)
1	Hidrogen	4	75
2	Metana	5,3	15
3	Propana	2,2	9,6
4	Metanol	6	36,5
5	Bensin	1	7,6
6	Solar	0,6	5,5

(Sumber: Roger Sierens (2005))

Seperti yang dapat dilihat, *flammability limits* (komposisi campuran untuk pengapian dan propagasi nyala api) yang sangat luas untuk hidrogen (antara 4 dan 75% hidrogen dalam campuran) dibandingkan dengan bensin (antara 1 dan 7,6%) dan solar (antara 0,6 dan 5,5%). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun perbandingan jumlah bahan bakar dengan udara jauh dari stoikiometri, proses pembakaran tetap terjadi. Akibatnya pembakaran berlangsung sempurna untuk gas hidrogen, sehingga konsumsi bahan bakar saat mesin dijalankan menjadi lebih hemat dan efisien. Selain itu menyebabkan temperatur pembakaran menjadi lebih rendah sehingga menurunkan emisi bahan pencemar oksida nitrat (NO_x).

2.4.1.b Energi *Ignition* Rendah

Jumlah energi yang diperlukan untuk menyalakan hidrogen lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk mengalakan bensin (0,02 MJ untuk hidrogen dan 0,24 MJ untuk bensin). Kelebihannya adalah penyalaan akan tetap terjadi meskipun campuran miskin bahan bakar dan memungkinkan terjadinya penyalaan dengan cepat. Kelemahannya adalah dapat menyebabkan masalah pada pengapian dini dan *flash back* (penyalaan balik), yaitu terjadinya penyalaan bahan bakar yang disebabkan adanya sumber panas pada silinder (College of the Desert, 2001).

2.4.1.c Jarak *Quenching* Rendah

Hidrogen memiliki jarak quenching yang rendah (0,64 mm untuk hidrogen dan 2,0 untuk bensin), berdasarkan jarak dari dinding silinder internal ke sumber api. Ini berarti bahwa lebih sulit memadamkan api hidrogen dari pada nyala bahan bakar yang lainnya (College of the Desert, 2001).

2.4.1.d *Flame Speed* Tinggi

Hidrogen terbakar dengan kecepatan api yang tinggi, menyebabkan kerja mesin hidrogen lebih dekat dengan siklus mesin termodinamika ideal (rasio kekuatan bahan bakar paling efisien) ketika pencampuran bahan bakar mencapai stoikiometri. Namun, bila mesin berjalan (campuran miskin bahan bakar) dapat meningkatkan nilai ekonomis bahan bakar, hal ini menyebabkan *flame speed* menurun secara signifikan (College of the Desert, 2001).

2.4.1.e Difusifitas Tinggi

Hidrogen menyebar dengan cepat ke udara, sehingga memungkinkan untuk pencampuran bahan bakar dengan udara menjadi lebih homogen, dan memungkinkan penurunan *issue safety major* dari kebocoran hidrogen (College of the Desert, 2001).

2.4.1.f Densitas Rendah

Implikasi yang paling penting dari densitas yang rendah untuk hidrogen bahwa membutuhkan volume yang sangat besar untuk proses penyimpanan hidrogen (College of the Desert, 2001).

2.4.1.g Nilai Oktan

Tingkat oktan menunjukkan ketahanan suatu bahan bakar terhadap efek knocking pada mesin kendaraan (motor bakar). Knocking mesin dapat merusak mesin cukup cepat. Beberapa kendaraan memiliki standar bahan bakar beroktan tinggi, bila kendaraan tersebut dipaksa mengkonsumsi bahan bakar beroktan rendah, maka menimbulkan efek knocking pada mesin. Hidrogen memiliki tingkat

oktan yang lebih besar dibandingkan dengan bensin dan solar, hal tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Nilai oktan bahan bakar

Bahan Bakar	Octane Number
Hidrogen	>130
Metana	135
Propana	108
Octana	100
Bensin	88
Solar	15 – 25

(Sumber: Suhirta (2008))

Perbandingan sifat fisika secara dari hidrogen dan bensin yang mempengaruhi proses pembakaran dalam mesin terdapat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Sifat - sifat hidrogen dan bensin

Property	Hidrogen	Gasoline
Specific Gravity at STP relative to air	0,07	~4,0
Normal Boiling Point (K)	20,3	310-478
Critical Pressure (atm)	12,8	24,5-27
Density of Liquid at STP (kg/L)	0,0708	~0,70
Density of Gas at STP (kg/m ³)	0,838	~4,40
Density Ratio, STP	845	~150
Octane Rating	130+	86-110
Thermal Diffusivity in STP air (cm ² /s)	0,61	~0,05
Diffusion Velocity in STP air (cm/s)	~2	~0,34
Quenching Gas in STP air (mm)	0,64	2
Limits of Flammability in air Vol. (%)	4,0-75	1-7,6
Limits of Detonation in air Vol. (%)	18,3-59	1,1-3,3
Minimum Energy for Ignition in air (mJ)	0,02	0,24
Auto-Ignition Temperature (K)	858	501-744
Maximum Burning Velocity in STP air	278	37-43
Flame Temperatur in air (K)	2318	2470

(Sumber: Dempsey, 2001)

2.5 Oksigen

Oksigen atau zat asam adalah unsur kimia dalam sistem tabel periodik yang mempunyai lambang O dan nomor atom 8. Zat ini ditemukan tidak hanya di bumi tetapi diseluruh alam semesta. Di bumi, zat ini biasa berikatan denganzat lain secara kovalen atau ionik. Oksigen adalah satu dari dua komponen utama udara, dihasilkan dari tanaman selama proses fotosintesis, dan sangat diperlukan untuk pernafasan aerobik pada hewan dan manusia.

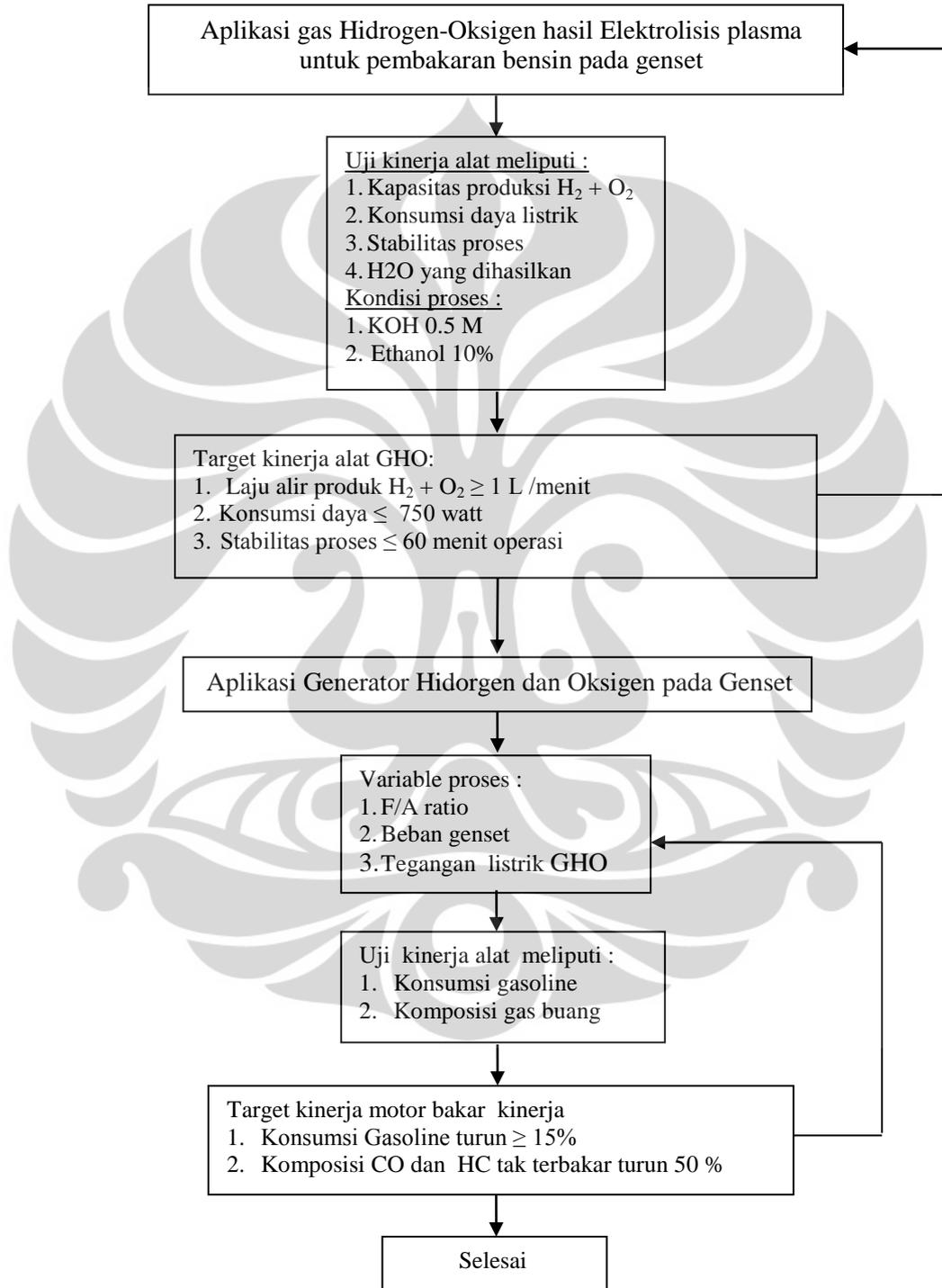
Tabel 2.9. Sifat fisika dan kimia oksigen

Fase Massa Jenis	Gas
Massa Jenis	(0°C;101,325kPa) 1,429 g/L
Titik Lebur	54,36 K (-218,79 °C; -361,82 °F)
Titi Didih	90,20 K (-182,95 °C; -297,31 °F)
Kalor Peleburan	(O ₂) 0,444 kJ/mol
Kapasitas Kalor	(25°C) (O ₂) 29,378 J/(mol.K)

(Sumber: <http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/HY/oxygen.html>)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram alir riset keseluruhan

Diagram alir penelitian ini mengambil acuan dari penelitian Dr.Ir. Nelson Saksono, MT tahun 2011 dengan modifikasi kondisi proses GHO dan variabel pada genset yaitu beban genset serta laju alir konsumsi bensin.

3.2. ALAT DAN BAHAN PENELITIAN

Peralatan uji yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah :

3.2.1 Mesin genset dengan spesifikasi :

1.1. Dimensi

Berat	: 70Kg
Panjang	: 68Cm
Lebar	: 51Cm
Tinggi	: 54Cm

1.2. Model

Bahan bakar	: Bensin
Frekuensi	: 50 Hz
Putaran	: 7200 RPM
Daya	: 2500 Watt
Tegangan	: 220 V
Arus	: 10 A

1.3. Operasi

Suhu	
Suhu terendah	: -20 F (-29°C)
Suhu Tertinggi	: 120 F (49°C)

1.4. Mesin

Desain	: 4 langkah, Single silinder, OHV
Perpindahan	: 12 in ³ (197 cm ³)
Daya	: 7,0 bhp (maksimum) pada 3600 r/menit

1.5. Pembakaran

Konsumsi bahan bakar rata-rata	: 1,7 L/Hour
--------------------------------	--------------

1.6. Alternator

Regulator Voltasi	: Elektronik
DC brush	: Elektrographite

3.2.2 Gas analyzer dengan spesifikasi .:

Merek	: Technotest
Model	: 488
Jenis	: Multigas tester dengan infra merah
Negara pembuat	: Italia
Tahun produksi	: 1997
Jangkauan pengukuran	
- CO	: 0 – 9,99 % Volume res 0,01
- CO ₂	: 0 – 19,9 % Volume res 0,1
- HC	: 0 – 9999 ppm Volume res 1
- O ₂	: 0 – 4 % Volume res 0,01
- SO ₂	: 4 – 25,0 % Volume res 0,1
- NO _x	: 0 – 2000 ppm Volume res 5
- Lambda	: 0,5 – 2000 res 0,001
- Suhu Operasi	: 5 – 40°C
Hisapan gas yang dites	: 8 L/Menit
Waktu respon	: < 10 detik (untuk panjang robe 3 m)
Dimensi	: 400 x 180 x 420 mm
Berat	: 13,5 Kg
Waktu pemanasan	: maksimal 15 menit
Sumber tegangan	: 110/220/240 V, 50/60 Hz

3.2.3 Alat Elektrolisis plasma Glow Discharge

- Housing Filter sebagai wadah reaktor dengan diameter 8 cm dan tinggi 25 cm.
- Elektroda stainless steel dengan panjang 18 cm dan diameter 0,5 cm digunakan untuk anoda, logam di bagian atas reaktor.
- Elektroda wolfram dengan panjang 13 cm dan diameter 0,5 cm digunakan untuk katoda, logam di bagian bawah reaktor.
- Selubung jala stainless steel sebagai pelapis anoda dari korosi dengan lebar 4 cm dan panjang 7 cm, anoda dilapisi sepanjang 7 cm.
- Akrilik silinder sebagai penangkap gas hidrogen dan pembatas ruang anoda dengan katoda dengan diameter 5 cm dan tinggi 20 cm.

- f. Termometer
- g. Kumparan pipa tembaga sebagai pengontak aliran panas dari larutan dengan cairan pendingin di dalam wadah dengan diameter tembaga $\frac{1}{4}$ “, panjang 200 cm dan diameter kumparan 10 cm
- h. Wadah penampung cairan pendingin dan kumparan tembaga
- i. Pompa laju alir rendah pemompa larutan reaktor menuju pendingin dan kembali ke reaktor
- j. Slide regulator dan steker sebagai pengatur arus listrik dan tegangan yang akan masuk ke reaktor kapasitas slide regulator 3 kVA
- k. Port Analyzer Lutron DW-6091 S/N: I 91844 sebagai pembaca arus listrik, tegangan dan konsumsi energi per satuan waktu (WHR)
- l. Dioda tegangan tinggi sebagai penyearah arus menjadi DC dengan spesifikasi 1000 V 25 A
- m. Multitester

3.2.4 Komponen Pendukung

- a. *Steam trapper* sebagai penangkap uap air yang keluar dari reaktor atau produk cair yang keluar bersama aliran gas dari reaktor, terbuat dari akrilik silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 20 cm dan blok pipa paralon dengan drat sebagai penutup kondenser dengan diameter 10 cm.
- b. Kondenser sebagai pengembun tahap dua setelah *steam trapper*, terbuat dari labu erlenmeyer 8 cm.
- c. Tabung absorber beserta silica gel sebagai pengering gas dari kandungan air dengan diameter 5 cm dan tinggi 25 cm.
- d. Flowmeter gelembung untuk mengukur flowrate pada kelajuan rendah.
- e. Hidrogen Analyzer GNL-400F sebagai pengukur prosentase hidrogen yang dihasilkan dari proses.
- f. Konduktimeter sebagai pengukur konduktivitas larutan
- g. Syringe sebagai pengambil sampel gas yang keluar setelah absorber untuk disuntikkan ke Hidrogen Analyzer
- h. Selang silikon $\frac{3}{4}$ “ 20 cm, selang bening $\frac{1}{2}$ “ 200 cm, selang filter air (putih keras) $\frac{1}{4}$ “ 150cm.

- i. Nipple kuningan $\frac{3}{4}$ “, nipple plastik + drat $\frac{1}{2}$ “ dan $\frac{3}{8}$ ”.
- j. *yjunction* untuk penghubung keluaran 2 reaktor menuju satu *steam trapper*
- k. Lem silikon, cyanoacrilate, akrilik, dan lem epoksi merk Araldyte,

3.2.5 Bahan larutan alektrolisis

- a. Air akuades (H_2O)
- b. Kalium hidroksida (KOH) sebagai zat elektrolit dalam larutan
- c. Metanol sebagai aditif

3.2.6 Lamp Board (Beban)

Lamp board terdiri dari beberapa buah bola lampu yang berfungsi sebagai peralatan pembebanan mesin yang disesuaikan terhadap beban ujinya. Peralatan ini dilengkapi alat uji ampere meter, volt meter, serta kWh meter.

3.3. Variabel Penelitian

1. Variabel Bebas

Variabel bebas pada penelitian ini adalah laju alir gasoline dan beban yang diberikan pada genset

2. Variabel Terikat

Variabel terikat pada penelitian ini adalah konsentrasi emisi gas (NO_x , CO, CO_2 , dan Hidrokarbon tidak terbakar).

3. Variabel Kontrol.

Variabel Kontrol pada penelitian ini adalah tegangan dan arus.

3.4. Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah tahapan penelitian mulai dari persiapan hingga pengambilan data kandungan nutrisi hasil variasi perlakuan sirkulasi media kultur.

3.4.1. Menghubungkan GHO ke Generator Set

Gas hasil GHO diinjeksi ke genset melalui *manifold* (tempat injeksi udara). Pada lubang tempat masuk hidrogen dan oksigen diberikan katup yang dapat mencegah terjadinya difusi gas hidrogen dan oksigen saat mulai diinjeksi.

Rangkaian GHO yang dihubungkan ke generator set dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3.2. Skema konfigurasi alat GHO dan motor bakar bensin

3.4.2. Metode pengujian dilakukan dalam empat kategori :

1. Uji pendahuluan Produktivitas Hidrogen-Oksigen
2. Pengujian Konsumsi Bahan Bakar terhadap laju alir hidrogen dan oksigen
3. Pengujian emisi hasil pembakaran terhadap laju alir hidrogen dan oksigen
4. Pengujian konsumsi bensin terhadap pembebanan pada genset dengan dan tanpa hidrogen-oksigen

3.4.2.1. Uji pendahuluan Elektrolisis Plasma pada tegangan 500 V KOH 0.05 M + 10% etanol

a. Uji elektrolit

Setelah menyusun peralatan sebagai satu sistem, perlu dilakukan pengujian pendahuluan alat untuk mengetahui kinerja reaktor plasma non-termal. Uji pendahuluan dilakukan pada larutan KOH dengan konduktivitas tertentu pada tegangan tertentu. Pengujian ini berguna untuk mengetahui apakah konduktivitas larutan konstan mengingat konduktivitas merupakan salah satu variabel bebas yang penting dalam penelitian ini. Jika konduktivitasnya konstan, ini berarti bahwa larutan elektrolit yang digunakan, KOH tidak bereaksi dengan larutan uji

yang dipakai. Selain itu, uji pendahuluan ini juga berguna untuk mengecek adanya cacat dalam alat secara keseluruhan sekaligus *troubleshooting* jika diperlukan sebelum digunakan untuk mengambil data penelitian.

Pengukuran jumlah Hidrogen yang dihasilkan oleh Elektrolisis Plasma diukur dengan menggunakan Hidrogen Analyzer GNL-400F.

b. Laju Alir Hidrogen-Oksigen

Pengujian laju alir Hidrogen-Oksigen ini dilakukan menggunakan ampere meter dimana akan di cari arus paling optimal untuk produksi Hidrogen dan Oksigen ini. Pengujian dilakukan dengan cara mengalirkan hasil elektrolisis plasma pada Bublesoap kemudian mengukur laju kenaikan balon sabun yang terdorong oleh Hidrogen-Oksigen yang di hasilkan proses elektrolisis plasma tersebut. Pengambilan data dilakukan sampai produksi hidrogen dan oksigen bercampur dengan air, pada saat belum bercampur dengan air didapat arus optimum dan produksi hidrogen-oksigen yang optimum. Dengan demikian arus yang dipakai saat running alat adalah arus yang didapat dari hasil pengujian ini.

3.4.2.2. Pengujian konsumsi bahan bakar terhadap laju alir hidrogen dan oksigen

Prosedur Pengujian Bahan Mesin Genset.

1. Lakukan pemanasan mesin tanpa beban selama 10 menit.
2. Lakukan pembebanan sesuai dengan beban uji dengan cara menghidupkan lampu melalui saklar yang ada pada lamp board.
3. Biarkan mesin beroperasi pada posisi beban uji selama 10 menit untuk memastikan bahwa kondisi kerja mesin dalam keadaan stabil pada beban uji tersebut.
4. Setelah kondisi kerja stabil pada beban uji, kemudian lakukan pengambilan data pengujian untuk beban uji tersebut sebanyak 3 kali, kemudian injeksi hidrogen pada tegangan GHO 300,400, dan 500 V, dan mengambil data sebanyak 3 kali pada tiap kondisi tegangan GHO.

5. Pengujian kemudian dilanjutkan untuk beban-beban uji yang lain sesuai prosedur 7 s/d 9. Keseluruhan pengujian dilakukan terhadap tanpa beban, beban 500 V, 1000 V, 1500 V, 2000 V, dan 2500 V.
6. Pada saat mesin akan dimatikan, terlebih dahulu dilakukan proses pendinginan yaitu dengan membiarkan mesin beroperasi tanpa beban seama lebih kurang 10 menit.

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan berdasarkan prosedur sesuai standar yang ada. Prosedur pengambilan data ini merujuk dari SNI 06-3763-1995 mengenai Cara Uji Konsumsi Bahan Bakar untuk Sepeda Motor.

Pengujian dilakukan di Departemen Teknik Kimia pada kondisi tanpa beban, dan dengan beban yang bervariasi.

Konsumsi bahan bakar dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$F = \frac{s}{Q} \quad ; \quad F_1 = \frac{s}{Q} * \frac{M+1}{M} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan :

F = Konsumsi rata-rata bahan bakar (dalam kondisi bahan bakar tidak tercampur oli), (km / liter)

S = Jarak yang ditempuh , (m)

Q = konsumsi bahan bakar, (ml)

F₁ = konsumsi rata-rata bahan bakar (dalam kondisi bahan bakar sudah tercampur oli)

M = Perbandingan berat bahan bakar / oli

3.4.2.3. Pengujian emisi hasil pembakaran

Pengujian emisi hasil pembakaran dilakukan dengan menggunakan gas analyzer. Pengujian ini dilakukan pada setiap pembebanan genset sebelum dan sesudah injeksi hidrogen

3.4.2.4. Pengujian beban mesin

Pengujian beban mesin dilakukan dengan cara memberi beban berupa lampu dengan daya yang berbeda-beda. Pengambilan data diambil saat mesin stabil. Data berupa konsumsi bensin sebelum dan sesudah injeksi gas. Pengambilan

data dilakukan 3 kali untuk setiap kondisi yaitu setiap beban yang berbeda pada genset.



BAB 4

PEMBAHASAN

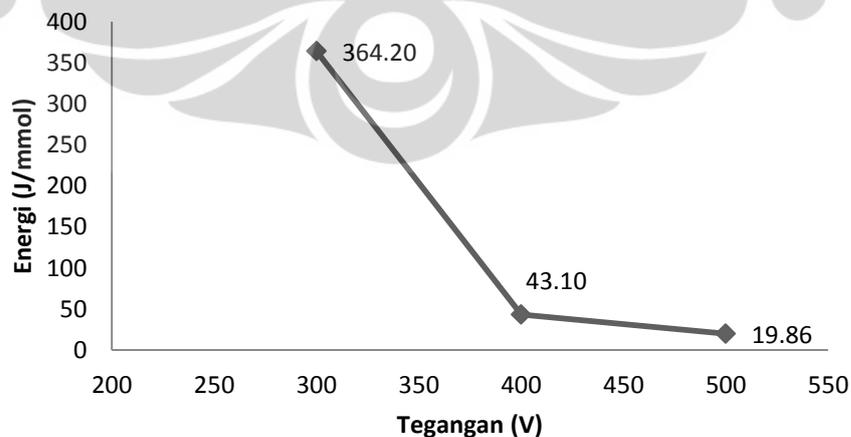
Pada Bab ini, penulis akan membahas tentang produktivitas alat elektrolisis yang membutuhkan sumber listrik arus DC (searah). Dengan elektrolisis, KOH akan diurai menjadi campuran gas yang terdiri dari hidrogen dan oksigen. Secara teoritis, mol hidrogen yang dihasilkan sebanyak 2 kali dari mol oksigen. Campuran gas hasil elektrolisis tidak dipisahkan, karena keduanya akan dimanfaatkan dalam proses pembakaran.

Pada pembahasan juga dibahas tentang bagaimana pengaruh oksigen dan hidrogen dalam menekan emisi pada pembakaran. Dalam pembakaran hidrogen dan oksigen berfungsi untuk memberikan pembakaran sempurna bagi mesin sehingga dapat menghemat bensin serta menekan emisi.

Untuk melihat efisiensi sebenarnya dari penginjeksian ini, dilakukan pembahasan tentang daya overall sehingga dapat dilihat kelayakan GHO dengan elektrolisis plasma dalam upaya penghematan bahan bakar.

4.1 Generator Hidrogen Oksigen dengan metode Elektrolisis Plasma

Gerator Hidrogen yang dirancang mengikuti peneliti sebelumnya, menggunakan larutan KOH 0.05 M dan aditif etanol 10%. Data yang diambil adalah produktivitas hidrogen dengan variasi tegangan 300V, 400V, 500V. Hasil percobaan dapat dilihat dari Grafik 4.1.



Grafik 4.1 Energi per ml hidrogen terhadap tegangan pada GHO pada kondisi larutan KOH 0.05M dan aditif etanol 10 %

Alat GHO pada awalnya telah di uji produktivitas dan stabilitas oleh peneliti terdahulu, dimana telah didapat kondisi terbaik untuk diinjeksi ke Genset. Dari hasil percobaan pada kondisi diatas didapatkan bahwa semakin tinggi tegangan yang diberikan pada reaktor maka energi (W_r) akan semakin kecil nilainya. Hal ini disebabkan oleh munculnya plasma pada proses elektrolisis sehingga membuat produktivitas hidrogen makin besar dengan daya yang minim (Yan Zong cheng, 2006).

Fenomena kenaikan produktivitas ini dibarengi dengan menurunnya arus saat terjadinya plasma, dimana kejadian ini didukung dengan kecilnya konduktivitas dari larutan sehingga arus yang dihasilkan kecil, dan menggunakan tegangan yang tinggi. Peristiwa tegangan tinggi membuat elektron yang ada pada katoda bercampur ke larutan melewati fase plasma yang berbentuk gas. Didalam larutan elektron yang tereksitas bereaksi dengan H^+ dna H_2O membentuk H radikal dan OH radikal dan memperbanyak hidrogen seperti reaksi pada tinjauan pustaka diatas (Yan Zhong Cheng, 2006)

Perhitungan lain yaitu untuk mencari G dapat dilihat di lampiran 1 yang menunjukkan bahwa produktivitas hidrogen dengan elektrolisis plasma menghasilkan lebih banyak 100 kali lipat dibanding dengan elektrolisis biasa yang menggunakan hukum faraday,

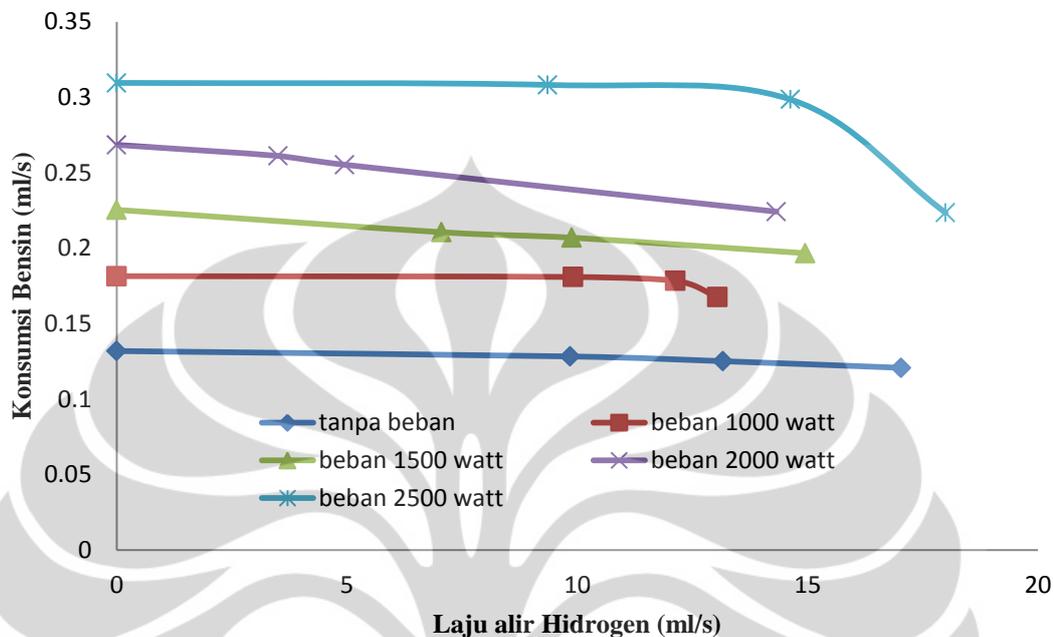
$$w = \frac{e \cdot i \cdot t}{96500}$$

dimana nilai w , e , i , dan t masing-masing menyatakan jumlah zat hasil elektrolisis, bobot ekivalen, arus listrik, dan waktu. Sehingga untuk mendapatkan gas hidrogen yang lebih besar, membutuhkan daya yang semakin besar (arus dikali tegangan).

4.2 Pengaruh laju alir injeksi hidrogen oksigen terhadap efisiensi bensin

Dalam penelitian ini ingin mengetahui bagaimana pengaruh laju alir hidrogen yang diinjeksikan ke dalam genset terhadap pengurangan konsumsi bahan bakar dari genset tersebut. Pengambilan data dilakukan dengan variasi beban pada genset serta tegangan pada GHO. Data konsumsi bensin yang diambil tiap kondisi memiliki laju alir hidrogen yang berbeda-beda karena setiap pengambilan data konsumsi bensin disertai dengan pengambilan data laju alir hidrogen yang di injeksi. Data ini tidak sebagai pembandingan setiap kondisi

pembebanan melainkan untuk memberikan penjelasan tentang pengaruh laju alir hidrogen terhadap pengurangan bensin, selengkapnya dapat dilihat pada Grafik 4.2.



Grafik 4.2 Pengurangan konsumsi bensin terhadap kenaikan laju alir hidrogen

Dari Grafik 4.2 dapat dilihat bahwa jumlah hidrogen yang diinjeksi sangat berpengaruh terhadap pengurangan konsumsi bensin dari genset. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh hidrogen pada pembakaran yang terjadi pada mesin. Salah satu hal yang dapat mempengaruhi hal ini adalah *flame speed* dari hidrogen yang terlampaui jauh lebih tinggi dari pada gasolin sendiri, dimana *flame speed* hidrogen adalah 237 cm/s dan untuk gasolin hanya 41,5 cm/s (Changwei Ji, 2009).

Dengan kemampuan *flame speed* hidrogen yang sangat cepat ini menyebabkan pembakaran dalam mesin tidak membutuhkan gasolin atau bahan bakar terlalu banyak untuk membuat RPM tetap stabil. Hal ini dapat ditunjukkan dengan perbandingan udara dan gasolin pada ruang bakar yaitu 15:1, dengan adanya hidrogen dapat menggeser ratio udara dan bahan bakar ke arah F/A (*air fuel ratio*) yang lebih rendah atau dengan kata lain bahan bakar yang dibutuhkan untuk nyala mesin yang stabil lebih sedikit, yang disebabkan rentang nyala hidrogen yang lebih luas dibanding gasolin. Dengan demikian hidrogen akan

membuat *ratio* semakin lebar untuk titik tertingginya dan terendahnya (T.D Andrea, 2004).

Dari Grafik 4.2 dapat dilihat bahwa titik laju alir hidrogen berbeda-beda, sehingga tidak dapat dilihat penurunan yang signifikan dari setiap kondisi yaitu beban genset masing-masing. Maka dari itu diambil satu kondisi untuk melihat pengaruh laju alir hidrogen terhadap pengurangan konsumsi bahan bakar.

Diambil beban 1500 watt pada genset untuk melihat jumlah pengurangan bensin seiring bertambahnya laju alir hidrogen. Maka didapat pengurangan konsumsi bensin setiap titik laju alir hidrogen yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Table 4.1 pengaruh laju alir hidrogen terhadap penurunan konsumsi bensin

Laju alir hidrogen	Efisiensi bensin
6.67 ml/detik	6,50%
10 ml/detik	8,20%
15 ml/detik	12,70%

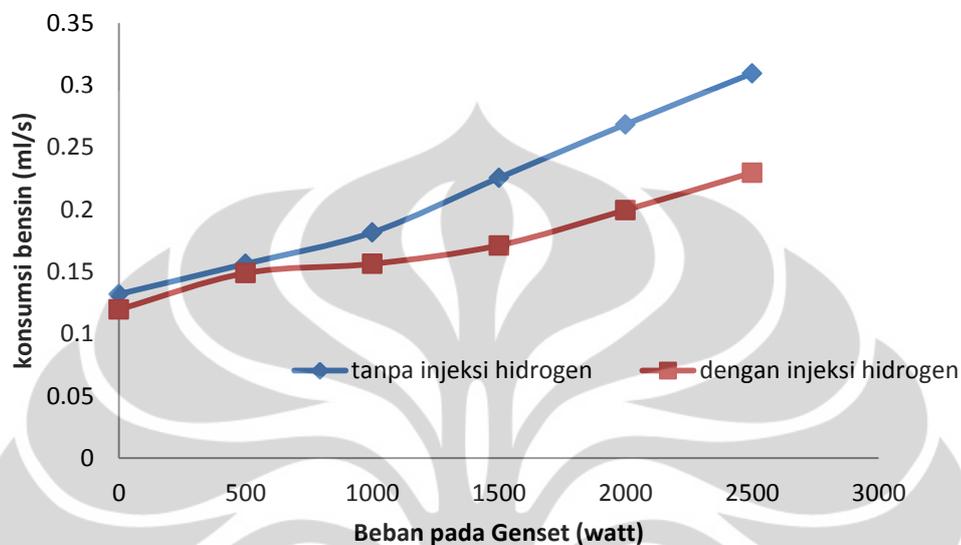
Hal ini dapat menjelaskan bahwa semakin banyak hidrogen yang diinjeksikan ke mesin akan semakin banyak juga penghematan bahan bakar yang dilakukan. Hal ini dapat mendukung alasan kenapa menggunakan elektrolisis plasma yang dapat menghasilkan hidrogen yang sangat besar.

Pengaruh jumlah laju alir gas hidrogen dan oksigen yang masuk ini berpengaruh pada pembakaran mesin. Dimana hidrogen yang bisa menggantikan gasolin untuk pembakaran memiliki laju pembakaran yang tinggi serta memiliki low limit lebih rendah dari pada gasolin (T.D Andrea, 2004). Oksigen juga berperan untuk membuat pembakaran makin sempurna, sehingga pembakaran makin stabil dengan jumlah gasolin yang tidak seperti pembakaran seharusnya.

4.3 Pengaruh pembebanan pada genset terhadap peran hidrogen oksigen dalam mengurangi konsumsi bahan bakar

Gas hidrogen dan oksigen berasal dari elektrolisis plasma dengan kondisi laju alir kurang lebih 31,75 ml/detik. Hidrogen disini berfungsi sebagai *'fuel booster'* karena hidrogen mampu meningkatkan kerja mesin apabila dicampurkan ke dalam bahan bakar standarnya (bensin).

Setelah gas Hidrogen di injeksi ke genset melalui saluran udara penghematan konsumsi bensin seiringan dengan kenaikan beban terlihat pada Grafik 4.3 dibawah ini.



Grafik 4.3 Efisiensi konsumsi bensin sebelum dan setelah injeksi Hidrogen terhadap kenaikan beban

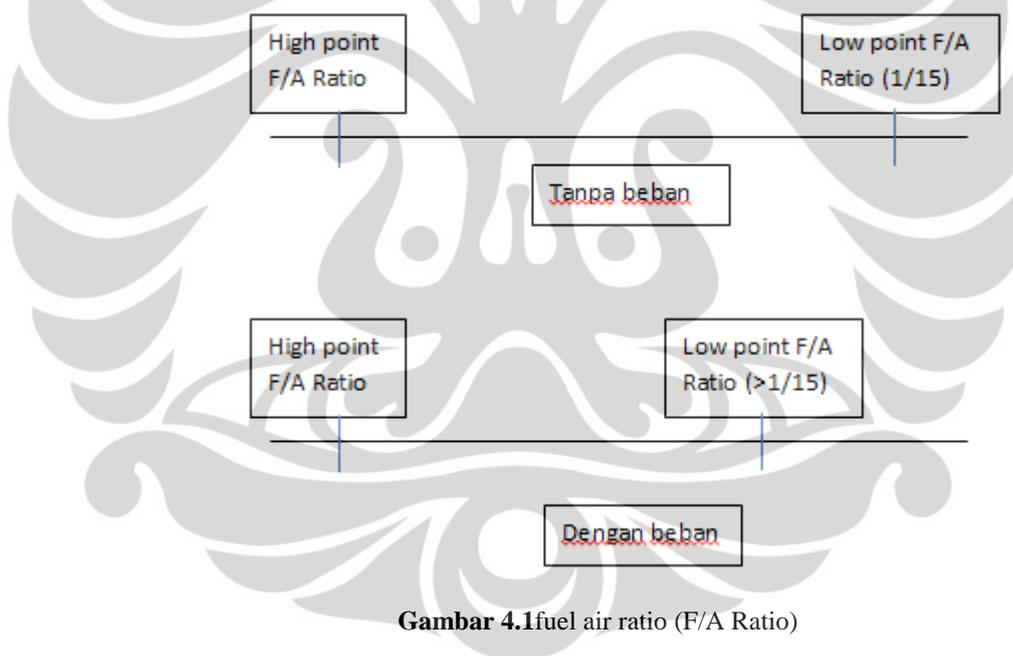
Pada Grafik 4.3 dapat dilihat bahwa pada setiap kondisi beban yang berbeda memiliki penurunan yang tidak sama, khususnya pada beban 2500 W memiliki penurunan konsumsi bensin yang signifikan. Pada pembakaran dalam mesin semakin tinggi beban yang diberikan pada genset maka kontrol laju alir pemasukan bahan bakar akan semakin cepat dan besar. Hal ini yang menyebabkan penurunan konsumsi bensin terlihat sangat jelas saat beban yang besar.

Sistem pada pembakaran dalam mesin memiliki suatu kesamaan baik pada genset maupun pada kendaraan bermotor. Pada saat beban dinaikan, maka kerja piston yaitu mendorong dan menghisap akan lebih cepat atau dengan kata lain butuh ledakan dari pembakaran yang bisa mendorong piston lebih cepat yang artinya butuh bahan bakar yang lebih banyak (Suyanto, 1989). Hal inilah yang menyebabkan makin banyak terjadi penghematan saat diinjeksi hidrogen pada beban yang besar.

Pada genset yang diatur adalah laju alir bensin dan laju alir udara tetap yang menjelaskan bahwa komposisi udara yang samadan laju alir gasolin yang

diperkecil seharusnya membuat mesin mati, apalagi pada beban besar. Akan tetapi dengan adanya hidrogen dan oksigen mesin tetap menyala dengan RPM yang stabil, hal inilah yang membuat fungsi hidrogen makin berperan pada beban yang besar karena sifat kerja mesin dalam pembakaran.

Fakta lain yang mendukung data diatas adalah semakin tinggi beban yang diberikan maka *torque* akan semakin naik dengan kata lain rentang F/A ratio akan semakin sempit dengan naiknya batas bawah dari F/A ratio yang menunjukkan makin banyak *fuel* yang dibutuhkan agar mesin tetap stabil. Peran dari hidrogen dan oksigen disini adalah dapat memperluas lagi rentang dari F/A ratio, yaitu memperluas *low limit* (kebutuhan fuel rendah) sehingga mesin tetap stabil walaupun pada komposisi *fuel* yang sedikit (T. D Andrea, 2004). Gambar 4.1 memperlihatkan F/A ratio dari bensin dan udara.



Gambar 4.1 fuel air ratio (F/A Ratio)

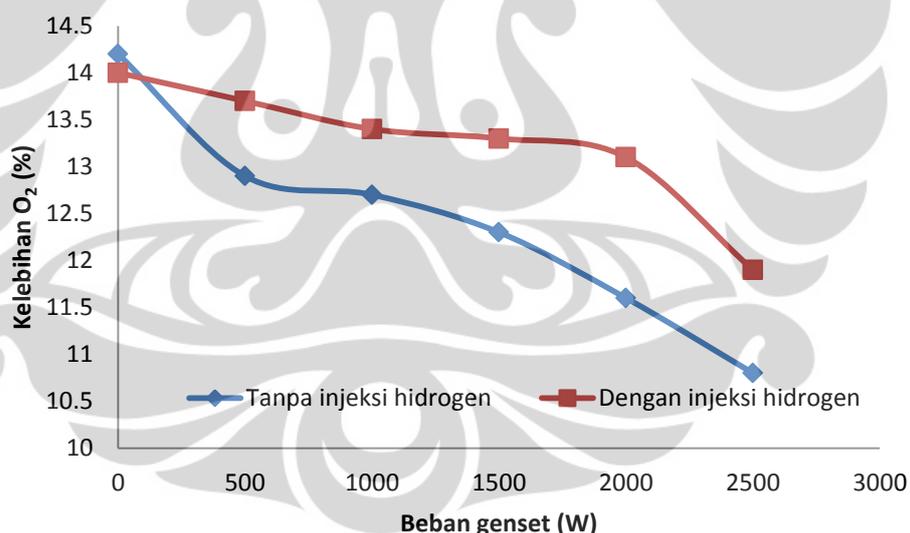
Fenomena Gambar 4.1 yang menyebabkan pada beban yang makin besar maka hidrogen akan semakin berperan untuk menurunkan F/A lebih jauh, sehingga efisiensi bahan bakar makin terlihat jelas dibanding dengan pada beban kecil atau tanpa beban.

4.4 Penurunan Emisi gas buang dengan penambahan Hidrogen dan Oksigen

Gas oksigen berperan dalam meningkatkan komposisi oksigen dari udara, sehingga kebutuhan oksigen sebagai oksidator pembakaran dapat terpenuhi. Selain itu oksigen berperan untuk melakukan pembakaran sempurna untuk hidrokarbon yang tidak terbakar.

Hidrogen juga berfungsi untuk mengurangi emisi gas buang dari hasil pembakaran. Hal ini dikarenakan hidrogen dapat membuat pembakaran menjadi lebih sempurna dan cepat (Changwei Ji, 2009).

Sebelum masuk ke pembahasan emisi gas buang akan dibahas tentang gas oksigen yang akan berpengaruh pada emisi gas buang. Pada pembuangan gas oksigen cenderung meningkat jumlah keluarannya yang terukur pada gas analyzer saat ditambahkan gas hidrogen dan oksigen pada pembakaran. Selain itu terlihat juga pengaruh pembebanan genset yang membuat jumlah oksigen yang berlebih mulai menurun. Berikut Grafik 4.4 yang menggambarkan kondisi oksigen.



Grafik 4.4 jumlah excess oksigen saat penambahan hidrogen terhadap kenaikan beban pada genset

Dengan adanya peningkatan jumlah oksigen ini akan membuat pembakaran lebih sempurna, sehingga membuat emisi seperti HC tak terbakar dan CO berkurang. Grafik 4.4 juga memberikan informasi semakin tinggi beban yang diberikan maka kelebihan oksigen akan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan

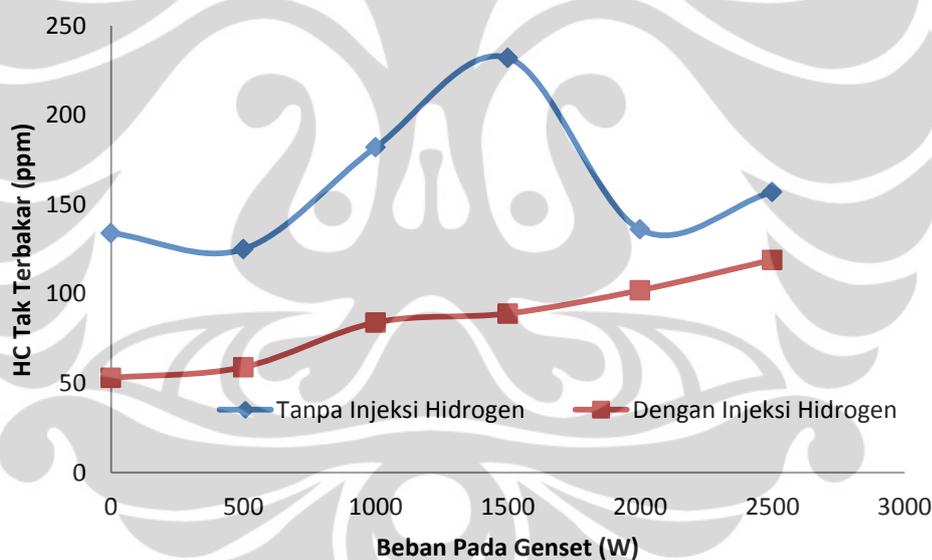
semakin tinggi beban maka bahan bakar akan semakin banyak yang akan dibakar, dengan demikian oksigen semakin banyak dipakai juga. Akan tetapi dengan penambahan oksigen dari elektrolisis plasma membuat pembakaran menjadi semakin sempurna.

Berdasarkan Tabel 2.1 emisi hidrokarbon yang tak terbakar setelah diinjeksi hidrogen dan oksigen dibawah nilai ambang batas, dengan demikian aman untuk dibuang ke lingkungan

4.4.1 Emisi Gas buang Hidrokarbon yang tidak terbakar

HC ini adalah senyawa pada bahan bakar yang tidak ikut terbakar. HC yang tak terbakar ini selain memberikan kerugian pada pembakaran mesin juga akan menjadi gas yang beracun saat dibuang sebagai emisi.

Penambahan hidrogen serta oksigen dalam pembakaran membuat berkurangnya HC yang tak terbakar. Hasil dapat dilihat pada Grafik 4.5 ini



Grafik 4.5 Komposisi HC VS Kenaikan beban pada genset

Pada Grafik 4.5, memberikan informasi bahwa hidrokarbon (HC) yang tak terbakar menjadi berkurang saat gas hidrogen dan oksigen di injeksikan ke ruang pembakaran melalui saluran udara. Sebelum injeksi hidrogen dapat dilihat HC yang tidak terbakar tidak stabil, khususnya pada beban 1000 W dan 1500 W. Hal ini dapat disebabkan oleh pembakaran yang tidak stabil karena pada saat pengambilan data ini mesin yang belum lama menyala membuat kerja dari mesin

untuk menguapkan bensin terlebih dahulu belum maksimal, sehingga banyak gasolin yang tidak terbakar karena hal ini. Pada beban 2000 W HC yang tak terbakar menurun karena mesin telah panas dan melakukan pembakaran dengan normal.

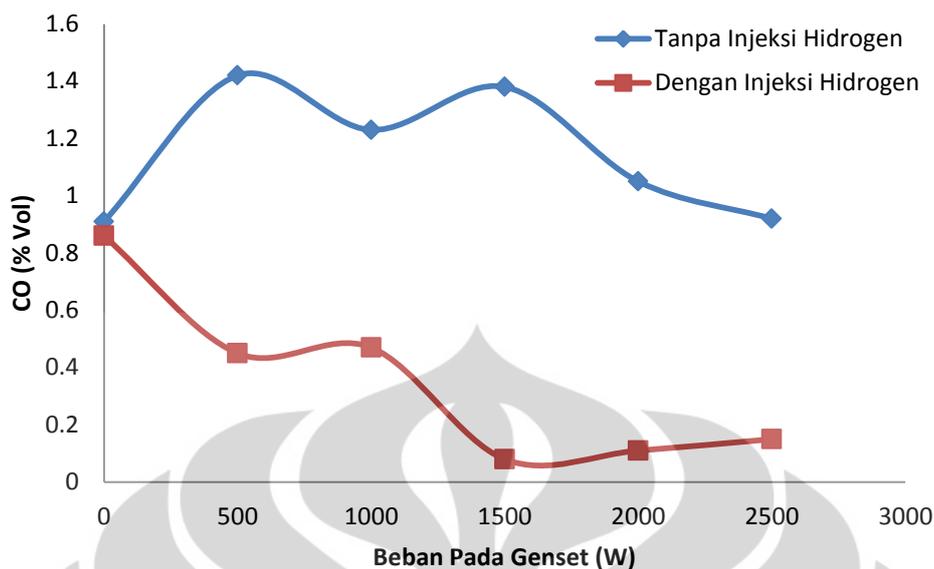
Informasi yang mau diambil dari Grafik 4.5 adalah dengan penambahan hidrogen dan oksigen HC yang tak terbakar kenaikannya menjadi konsisten seiring penambahan beban dan hal inilah yang diinginkan dari pembakaran setiap mesin. Kestabilan ini dikarenakan pembakaran yang sempurna dan stabil setelah penambahan hidrogen dan oksigen (Changwei ji, 2009).

Selain kestabilan, dari Grafik 4.5 juga memperlihatkan bahwa komposisi HC yang tak terbakar menurun setelah penginjeksian. Alasan penurunan ini yaitu pembakaran yang makin sempurna saat ada hidrogen dan oksigen tambahan yang masuk, sehingga yang awalnya HC tidak bisa terbakar karena kemampuan komposisi bensin yang tidak sesuai menjadi terbakar karena kemampuan hidrogen dengan *flame speed* yang tinggi, serta adanya oksigen tambahan yang bisa bereaksi dengan HC yaitu reaksi pembakaran (T.D Andrea, 2004).

Pengaruh lain hidrogen terhadap pengurangan HC ini adalah saat hidrogen masuk ke ruang pembakaran yang membuat mesin secara otomatis tidak membutuhkan gasolin dalam jumlah normal yaitu lebih sedikit, menyebabkan HC yang masuk juga sedikit sehingga HC yang tak terbakar berkurang (Changwei Ji, 2009).

4.4.2 Emisi gas buang Carbon Monoxida

Gas CO ini adalah hasil pembakaran yang tidak sempurna dari gasolin sehingga menghasilkan senyawa yang tidak stabil dan sangat berbahaya terhadap manusia dan lingkungan. Berikut adalah grafik yang menggambarkan komposisi CO sebelum dan sesudah diinjeksi hidrogen.



Grafik 4.6 Komposisi CO VS Kenaikan beban pada genset

Sama halnya pada pembahasan HC, pada CO ini juga kurang stabil penurunan CO khususnya pada kondisi sebelum injeksi hidrogen yang disebabkan mesin belum panas sehingga pembakaran belum sempurna.

Dari hasil Grafik 4.6 dapat dilihat bahwa penambahan beban pada Genset cenderung membuat komposisi CO semakin menurun baik sebelum dan sesudah diinjeksi Hidrogen. Hal ini berkaitan dengan cara kerja mesin pada genset yaitu pembakaran akan semakin maksimal saat ditambahkan beban. Kontroler valve bahan bakar dan udara akan terbuka lebih besar dan mesin akan menghisap bahan bakar lebih banyak dan kemudian pembakaran akan semakin baik (Chun Lee, 2001). Fenomena inilah yang menyebabkan makin sedikitnya CO yang dihasilkan.

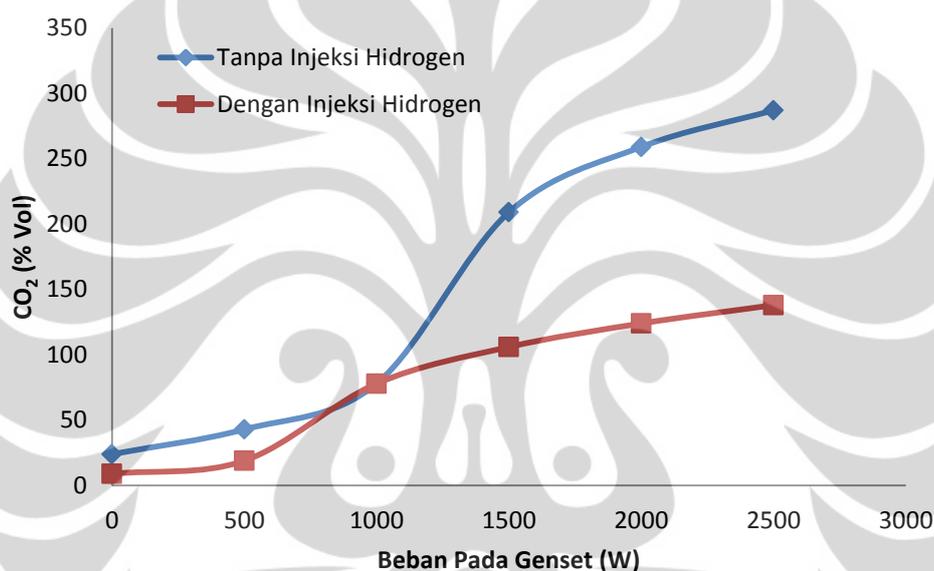
Dari Grafik 4.6 juga dilihat bahwa pengaruh hidrogen terhadap penurunan CO juga sangat besar, ada penurunan drastis dari CO yang terjadi setelah diinjeksi hidrogen dan oksigen. Pengaruh hidrogen disini adalah mempercepat pembakaran, selain itu dengan penambahan hidrogen yang membuat penurunan jumlah gasolin yang masuk pada ruang pembakaran, mengakibatkan menurun juga jumlah atom C yang masuk. Hal inilah yang membuat berkurangnya CO pada emisi karena pengaruh hidrogen (Changwei Ji, 2009).

Untuk oksigen memberikan kontribusi semakin banyak oksigen yang masuk maka pembakaran yang terjadi kebanyakan adalah pembakaran yang

sempurna dikarenakan CO yang awalnya tidak bereaksi sempurna karena adanya penambahan oksigen maka akan terjadi reaksi sempurna dari CO itu sendiri.

4.4.3 Emisi gas buang Carbon Dioxida

Emisi CO₂ ini adalah emisi yang wajar dibuang dari hasil pembakaran. CO₂ ini adalah gas hasil pembakaran sempurna yang terjadi pada ruang pembakaran pada mesin. Akan tetapi CO₂ ini juga dapat di *reduce* dengan penambahan gas hidrogen dan oksigen pada ruang pembakaran seperti yang dapat dilihat pada Grafik 4.7.



Grafik 4.7 Penurunan Komposisi CO₂ pada saat beban pada genset dinaikan

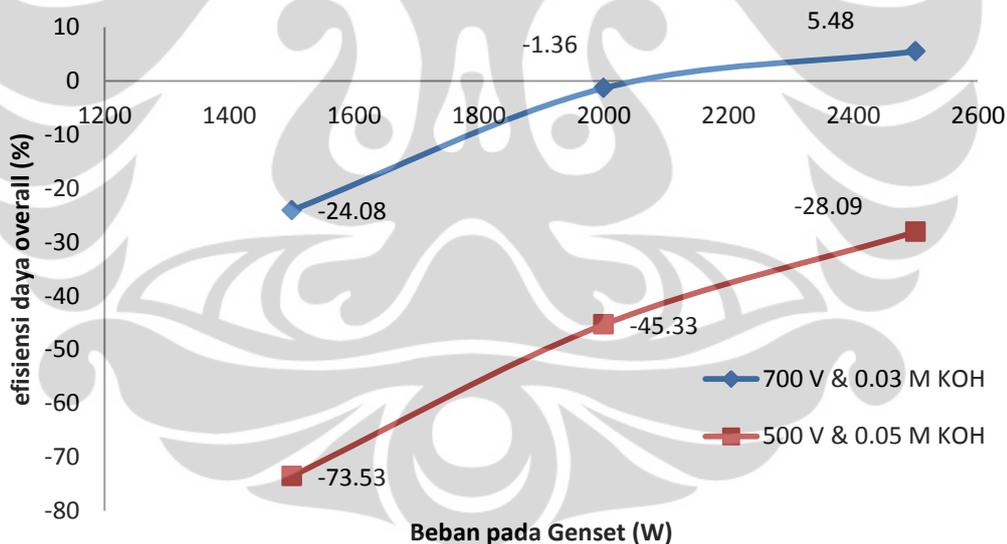
Fenomena yang terjadi pada Grafik 4.7 sangatlah menarik dimana hasil pembakaran yang memang seharusnya dihasilkan pada pembakaran dapat ditekan juga dengan penambahan gas hidrogen dan oksigen dari elektrolisis plasma tersebut. Salah satu penyebab terjadinya fenomena pada Grafik 4.7 adalah sama halnya pada CO, dengan adanya hidrogen dalam ruang pembakaran yang membuat jumlah gasolin berkurang, maka berkurang juga atom C yang masuk sehingga produksi CO₂ dapat dikurangi (Changwei Ji, 2009).

Dengan penambahan hidrogen dan oksigen ini dari hasil penelitian bahwa oksigen yang keluar atau kelebihan oksigen yang keluar dari pembakaran juga bertambah. Hal ini menunjukkan bahwa sedikitnya reaksi pembakaran gasolin yang terjadi pada pembakaran sehingga CO₂ yang terbentuk menurun.

Akan tetapi jika dilihat dari penambahan beban, CO₂ yang dihasilkan juga meningkat hal ini berhubungan dengan semakin tinggi beban yang diberikan maka semakin banyak gasolin yang di perlukan sehingga atom C yang masuk juga semakin banyak. Akan tetapi jika di bandingkan sebelum dan sesudah injeksi hidrogen dan oksigen, grafik setelah injeksi CO₂ jauh menurun.

4.5 Efisiensi Overall

Pembahasan efisiensi overall ini adalah membandingkan efisiensi pada GHO dengan efisiensi pada Generator Set. Efisiensi yang dihitung adalah penggunaan listrik pada GHO dan pada Genset. Pada GHO menggunakan kondisi dengan produktivitas yang tinggi yaitu menggunakan KOH 0.03 M dan 10% aditif ethanol serta pada tegangan 700V (Taher Batubara, 2012). Pada genset diambil pada beberapa kondisi yaitu pada beban 1500 watt, 2000 watt, dan 2500 watt. Hasil dari perhitungan efisiensi overall dapat dilihat pada Grafik 4.8.



Grafik 4.8 Efisiensi daya overall VS Kenaikan beban pada genset

Fenomena yang terjadi pada Grafik 4.8 adalah pemakaian daya secara overall yang dihitung menggunakan efisiensi pada GHO dengan tegangan 700 V menunjukkan nilai positive pada beban genset 2500 W. Akan tetapi terlihat grafik yang naik seiring penambahan beban. Seperti yang telah di jelaskan pada Grafik 4.3 bahwa kinerja dari mesin akan semakin efisien seiring bertambahnya beban.

Kejadian ini telah dihitung menggunakan tegangan 700 V, karena efisiensi daya pada 700 V dan 0.03 M KOH lebih besar dari pada 500 V dan 0.05 M KOH. Penyebabnya adalah saat konduktivitas larutan di perkecil pada tegangan yang tinggi, akan menyebabkan arus kecil karena konduktivitas rendah, dan produktivitas hidrogen lebih besar karena yang terjadi adalah reaksi plasma lebih dominan dari pada elektrolisis. Hal ini telah dibahas pada sub Bab 4.1 yaitu pengaruh tegangan terhadap konsumsi energi per mmol hidrogen.

Grafik 4.8 membuktikan bahwa efisiensi overall dapat bernilai positif selain dengan menaikkan beban, juga dapat dengan cara menaikkan tegangan serta menurunkan konduktivitas. Dengan menaikkan tegangan dan menurunkan konduktivitas akan menghasilkan hidrogen yang melimpah yaitu sampai 149 kali lipat lebih banyak dari elektrolisis biasa dengan daya yang lebih kecil yang disebabkan arus yang kecil.

BAB 5

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat disimpulkan dari hasil penulisan ini.

5.1 Kesimpulan

1. Semakin banyak hidrogen yang masuk keruang bakar, pemakaian bensin akan lebih hemat, seperti pada data penghematan konsumsi bensin sebanyak 26,55% (lampiran 2)
2. Pengurangan konsumsi bensin karena hidrogen juga semakin banyak saat beban genset dinaikan.
3. Injeksi hidrogen dan oksigen pada ruang bakar yang menyebabkan emisias gas CO dan CO₂, serta HC yang tak terbakar berkurang.
4. Oksigen dapat membuat HC yang tak terbakar dan CO berkurang 60,4%
5. Semakin tinggi tegangan pada reaktor plasma dan beban pada genset maka efisiensi *overall* akan semakin besar

5.2 Saran

Pada elektrolisis plasma telah terbukti bahwa semakin tinggi tegangan, energy listrik yang dikonsumsi reaktor akan semakin kecil. Dengan demikian disarankan untuk injeksi ke mesin bakar menggunakan generator oksigen hidrogen dengan tegangan yang lebih tinggi agar efisiensi *overall* dari sistem injeksi hidrogen-oksigen makin besar.

Tegangan tinggi diatas disarankan agar menggunakan larutan dengan konduktivitas yang lebih rendah, karena hal inilah yang membuat arus listrik yang dihasilkan semakin kecil saat terjadi plasma. Untuk menguji injeksi hidrogen oksigen ke mesin disarankan menggunakan mesin yang bisa mendorong daya yang besar, agar fungsi hidrogen dan oksigen makin berperan pada pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- (NASA-TN-D-8487), N. T. N. R. E.-. (1977). "Emissions and Total Energy Consumption of a Multicylinder Piston Engine Running on Gasoline and a Hydrogen-Gasoline Mixture."
- Anonim. 2005. *Safety Data for Hydrogen*. <http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/HY/hydrogen.html>. Diakses 11 November 2010.
- Anonim. 2005. *Safety Data for Oxygen*. <http://physchem.ox.ac.uk/MSDS/HY/oxygen.html>. Diakses 11 November 2010.
- Anonim. 2010. *BP Statistical Review of World Energy June 2010*. <http://www.bp.com/statisticalreview>. Diakses 9 November 2010.
- Anonim. Spesifikasi Bahan Bakar Minyak. <http://www.pertamina.com/pertamina.php>. Diakses 11 November 2011.
- Andrea T.D, e. a. (2003). Investigating combustion enhancement and emissions reduction with the addition of $2H_2 + O_2$ to a SI engine, SAE Paper, 2003320011.
- Arpa, O., R. Yumrutas, et al. (2010). "Experimental investigation of the effects of diesel-like fuel obtained from waste lubrication oil on engine performance and exhaust emission." *Fuel Processing Technology* **91**(10): 1241-1249.
- Dempsey, J. 2001. *Module 2: Hydrogen Use*. Energy technology Training Center College of the Desert.
- Engineers, S. T. S. o. A. (2004). "Adding hydrogen to gasoline reduced knock due to accelerated fuel burn and shortened combustion period." Michigan.
- Forest, B. a. (2001). Effect of Hydrogen Addition on the Performance of Methane-Fueled Vehicles. Part I:Effect on S.I. Engine performance, Int J Hydrogen Energy
- Gregoire, C. a. (17 February 2005). "Hydrogen Basics." Los Alamos National Laboratory, First Annual International Hydrogen Energy Implementation Conference.
- Heywood, John B. 1988 *.Internal Combustion Engines .United State America.*

Holladay, J. D., J. Hu, D.L. King, Y. Wang (2009). An overview of hydrogen production technologies, *Catalysis Today* 139

<http://turbineinstrument.wordpress.com>

Ji C, Wang S. *Combustion and emissions performance of a hybrid hydrogen-gasoline engine at idle and lean conditions*. *Int J Hydrogen Energy* 2010;35:346–55.

Kabeshima H, Einaga H, Futamura S. Hydrogen Generation from Water, Methane, and Methanol with Nonthermal Plasma [J]. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 2003, 39(2): 340–345

Masood M, et al. Computational Combustion and Emission Analysis of Hydrogen-Diesel Blends with Experimental Verification. *Int J Hydrogen Energy* (32) (2007) 2539-2547

M. Aslaved, et al. Experimental Study on Thermal Efficiency and Emission Characteristics of a Lean Burn Hydrogen Enriched Natural Gas Engine. *IntJ*

Saksono. N, A. J., Setidjo. B (2010). "Hydrogen Production Systems Design Through Plasma Non-Thermal Electrolysis Process." *The 1st International Seminar on Fundamental & Application ISFACHE Of Chemical Engineering* 3-4.

Shell Canada gasoline_engine

Soenarta, Nakula. 1985. *Motor Serba Guna*. Paradnya Paramita: Jakarta.

Srinivasan. 1994. *Automotive Mechanics*. New Delhi : Tata Mc-Graw Hill Publishing Company Limited.

Suhirta, I.I.. 2008. Pengaruh Penambahan Gas Hasil Elektrolisa Air Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Bensin pada Motor Bakar 4 Langkah 80 cc dengan Posisi Injeksi Sebelum Karbulator, Skripsi. Universitas Indonesia : Depok.

Suyanto, Wardan. 1989. *Teori Motor Bensin*. Jakarta: DEPDIKBUD.

_____. 1995. *New Step 1*. Jakarta : PT. Toyota Astra Motor

_____. 1995. *New Step 2*. Jakarta : PT. Toyota Astra Motor

Yan ZC, Chen L, Wang HL. *Glow discharge plasma electrolysis of methanol solutions*. *Acta Physico-Chimica Sinica* 2007;23(6):835–40.

Lampiran 1

Data Produktivitas Elektrolisis Plasma

Kondisi Larutan :

Konsentrasi Larutan KOH = 0.05 M

Additif Etanol = 10%

Konduktansi Larutan sebelum elektrolisis plasma = 6.9 mS

Konduktansi larutan setelah elektrolisis plasma = 5.95 mS

pH larutan sebelum elektrolisis plasma = 12.78

pH larutan setelah elektrolisis plasma = 10.7

Tegangan (Volt)	Arus (ampere)	LajuAlir		Komposisi (%)	WHr (J)	G (mol/mol)	Energi = Wr (J/mmol)	Power (J/s)	H2/energi (mmol/J)
		Gas Produk (mL/s)	Gas H2 (mmol/s)						
300	4.4	3.1	3.626	26.3	44	6.1	364.2	1320.6	0.003
400	2.8	13.8	26.1	42.3	37.5	42.3	43.1	1124.4	0.023
500	2.7	31.9	68.8	48.3	45.5	100.5	19.9	1366	0.051

Lampiran 2

Data pengaruh injeksi hidrogen oksigen pada kondisi terbaik terhadap efisiensi bahan bakar serta penurunan emisi dengan variasi beban pada Genset

Tanpa Injeksi

1	Tanpa Beban	
	Laju konsumsi bensin	8.099352 ml/menit
	RPM	3200/min
	CO	0.91%
	CO ₂	4.70%
	HC	134 ppm
	O ₂	14.20%
	Nox	24 ppm

2	Beban 500 W	
	Laju konsumsi bensin	9.413241 ml/menit
	RPM	3180/min
	CO	1.42%
	CO ₂	5.10%
	HC	125 ppm
	O ₂	12.90%
	Nox	43 ppm

3	Beban 1000 W	
	Laju konsumsibensin	10.85776 ml/menit
	RPM	3170/min
	CO	1.23%
	CO ₂	5.40%
	HC	182 ppm
	O ₂	12.70%
	Nox	78 ppm

4	Beban 1500 W	
	Laju konsumsi bensin	13.60544 ml/menit
	RPM	3130/min
	CO	1.38%
	CO ₂	5.90%
	HC	232 ppm
	O ₂	12.30%
	Nox	209 ppm

5	Beban 2000 W	
	Laju konsumsi bensin	16.14639 ml/menit
	RPM	3040/min
	CO	1.05%
	CO ₂	5.90%
	HC	136 ppm
	O ₂	11.60%
	Nox	259 ppm

6	Beban 2500 W	
	Laju konsumsi bensin	18.38235 ml/menit
	RPM	2960/min
	CO	0.92%
	CO ₂	6.80%
	HC	157 ppm
	O ₂	10.80%
	Nox	287 ppm

Dengan Injeksi

1	Tanpabeban	
	Laju konsumsi bensin	6.97188 ml/menit
	RPM	3210/min
	CO	0.86%
	CO ₂	4.40%
	HC	53 ppm
	O ₂	14.00%
	Nox	9 ppm
	Laju alir H ₂	1730.005 ml/menit

2	Beban 500 W	
	Laju konsumsi bensin	8.933889 ml/menit
	RPM	3180/min
	CO	0.45%
	CO ₂	5.00%
	HC	59 ppm
	O ₂	13.70%
	Nox	19 ppm
	Laju alir H ₂	896.856 ml/menit

3	Beban 1000 W	
	Laju konsumsi bensin	9.730782 ml/menit
	RPM	3170/min
	CO	0.47%
	CO ₂	5.50%
	HC	84 ppm
	O ₂	13.10%
	Nox	78 ppm
	Laju alir H ₂	1306.324 ml/menit

4	Beban 1500 W	
	Laju konsumsi bensin	11.21915 ml/menit
	RPM	3120/min
	CO	0.08%
	CO ₂	5.40%
	HC	89 ppm
	O ₂	13.30%
	Nox	106 ppm
	Laju alir H ₂	1694.608 ml/menit

5	Beban 2000 W	
	Laju konsumsi bensin	12.43781 ml/menit
	RPM	3980/min
	CO	0.11%
	CO ₂	5.20%
	HC	102 ppm
	O ₂	13.10%
	Nox	124 ppm
	Laju alir H ₂	1320.876 ml/menit

6	Beban 2500 W	
	Laju konsumsi bensin	13.50135 ml/menit
	RPM	2960/min
	CO	0.15%
	CO ₂	7.10%
	HC	119 ppm
	O ₂	10.90%
	Nox	138 ppm
	Laju alir H ₂	1429.8702 ml/menit

Ket : Arus = 1.2745822

Tegangan = 500 V

Larutan KOH 0.05 M + 10 % Ethanol

No	Kondisi	Efisiensi Bensin
1	Tanpa beban	13.92%
2	Beban 500 W	5.09%
3	Beban 1000 W	10.37%
4	Beban 1500 W	17.53%
5	Beban 2000 W	22.96%
6	Beban 2500 W	26.55%



Lampiran 3

Data Konsumsi Bensin dengan Injeksi Hidrogen Oksigen dengan variasi tegangan pada GHO dan beban pada Genset

Tanpa Beban	
Laju alir Hidrogen	Konsumsi bensin
0	7.912088
590.8554	7.696254
789.5911	7.508134
1022.015	7.244627

Beban 2000 W	
Laju alir hidrogen	Konsumsi bensin
0	16.10594
210.44	15.6658
296.93	15.31654
859.4057	13.4509

Beban 1000 W	
Laju alir hidrogen	Konsumsi bensin
0	10.88797
594.503	10.85514
727.7766	10.70409
782.4293	10.05924

Beban 2500 W	
Laju alir hidrogen	Konsumsi bensin
0	18.56819
561.2135	18.48809
877.5676	17.91045
1079.824	13.40882

Beban 1500 W	
Laju alir hidrogen	Konsumsi bensin
0	13.52367
423.2495	12.63335
592.7846	12.41551
896.7965	11.80018

Tanpa injeksi Hidrogen	
Beban	Konsumsi bensin
0	8.099352
500	9.413241
1000	10.85776
1500	13.60544
2000	16.14639
2500	18.38235

Dengan injeksi hidrogen	
beban	Konsumsi bensin
0	6.97188
500	8.933889
1000	9.730782
1500	11.21915
2000	12.43781
2500	13.50135

Lampiran 4

Data efisiensi Overall

efisiensi overall menggunakan GHO dengan larutan KOH 0.05 M + 10 % etanol pada 500 V							
Beban genset (watt)	Laju konsumsi bensin (ml/menit)		Penghematan pada genset		Daya pada GHO (watt)	daya overall (watt)	efisiensi overall (%)
	Sebelum injeksi H2	Sesudah injeksi H2	bensin (ml)	daya (watt)			
1500	0.23	0.19	0.039	263.1	1366	397.1	-73.5
2000	0.27	0.21	0.062	459.4	1366	1093.4	-45.3
2500	0.31	0.23	0.081	663.8	1366	1797.8	-28.1

efisiensi overall menggunakan GHO dengan larutan KOH 0.03 M + 10 % etanol pada 700 V										
Beban genset (watt)	Laju alir gas pada 500 V (ml/s)	Laju alir gas pada 700 V (ml/s)	daya GHO pada 700 V (watt)	Energy pada 700 V (J/ml)	Daya pada 700 V yang dibutuhkan untuk laju alir gas seperti pada 500 V (watt)	Laju konsumsi bensin (ml/menit)		Penghematan pada genset		efisiensi overall (%)
						Sebelum injeksi H2	Sesudah injeksi H2	bensin (ml)	daya (watt)	
1500	28.2	48	1060.9	22.1	624.2	0.23	0.19	0.039	263.1	-24.1
2000	22	48	1060.9	22.1	486.6	0.27	0.21	0.062	459.4	-1.4
2500	23.8	48	1060.9	22.1	526.7	0.31	0.23	0.081	663.8	5.5

