

**PENGARUH PENGGUNAAN *ELECTROLYZER* TERHADAP  
PEMAKAIAN BAHAN BAKAR SPESIFIK (*SFC*)  
MOTOR BENSIN 4 LANGKAH 1800 CC**

**SKRIPSI**

*Diajukan kepada Tim Penguji Skripsi  
Jurusan Teknik Otomotif sebagai salah satu persyaratan  
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Pendidikan*



**Oleh:**

**AZMI SYARIF  
NIM/BP: 1102479/2011**

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK OTOMOTIF  
JURUSAN TEKNIK OTOMOTIF  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS NEGERI PADANG  
2016**

## PERSETUJUAN PEMBIMBING

### SKRIPSI

Judul : Pengaruh Penggunaan *Electrolyzer* Terhadap  
Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC) Motor Bensin  
4 Langkah 1800 CC  
Nama : Azmi Syarif  
NIM : 1102479/2011  
Program Studi : Pendidikan Teknik Otomotif  
Jurusan : Teknik Otomotif  
Fakultas : Teknik

Padang, 4 Februari 2016

Disetujui Oleh:

Pembimbing I



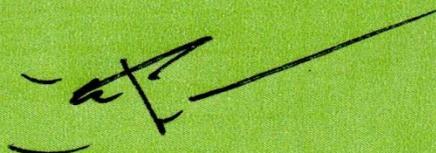
Drs. Hasan Maksam, MT  
NIP. 19660817 1991 1 003

Pembimbing II



Toto Sugiarto, S. Pd, M. Si  
NIP. 19730213 199903 1 005

Ketua Jurusan



Drs. Martias, M.Pd  
NIP. 19640801 199203 1 003

## PENGESAHAN TIM PENGUJI

Nama : Azmi Syarif  
NIM : 1102479/2011

Dinyatakan lulus setelah mempertahankan skripsi di depan Tim Peguji  
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif  
Jurusan Teknik Otomotif  
Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Padang  
dengan judul

**Pengaruh Penggunaan *Electrolyzer* Terhadap Pemakaian Bahan Bakar  
Spesifik (SFC) Motor Bensin 4 Langkah 1800 CC**

Padang, 4 Februari 2016

Tim Penguji

Ketua : Drs. Hasan Maksum, MT

Sekretaris : Toto Sugiarto, S.Pd, M.Si

Anggota : Drs. Martias, M.Pd

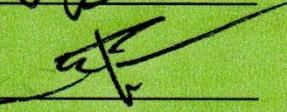
Anggota : Drs. M. Nasir, M.Pd

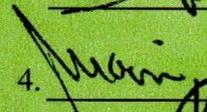
Anggota : Wagino, S.Pd, M.Pd.T

Tanda Tangan

1. 

2. 

3. 

4. 

5. 

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Penggunaan *Electrolyzer* Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC) Motor Bensin 4 Langkah 1800 CC”, adalah asli karya saya sendiri;
2. karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. di dalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada perpustakaan;
4. pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku

Padang, 4 Februari 2016

Yang membuat pernyataan



Azmi Syarif

NIM 1102479/2011

## ABSTRAK

**Azmi Syarif. 2011.** “Pengaruh Penggunaan *Electrolyzer* Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (*SFC*) Motor Bensin 4 Langkah 1800 CC”  
*Skripsi*. Padang: Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Jurusan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Perkembangan teknologi yang semakin pesat dibidang produksi berdampak pada peningkatan minat masyarakat untuk mendapatkan performa mesin terbaik dan pemakaian bahan bakar yang irit pada kendaraannya khususnya mobil pribadi. Peningkatan unjuk kerja tersebut dapat terwujud melalui proses modifikasi. Performa mesin standar yang dirasa kurang maksimal membuat sebagian besar masyarakat memutuskan untuk mengaplikasikan produk-produk *aftermarket* untuk meningkatkan performa mesin. Di dunia otomotif untuk meningkatkan unjuk kerja mesin bisa dilakukan dengan memaksimalkan kinerja dari sistem bahan bakar dengan mencampurkan hidrogen sebagai tambahan bahan bakar dari hasil elektrolisis air agar pembakaran lebih sempurna. Pembakaran yang sempurna akan menyebabkan performa mesin meningkat, oleh karena itu penggunaan *electrolyzer* sebagai komponen yang bertugas menghasilkan hidrogen diharapkan mampu meningkatkan daya secara optimal.

Penelitian ini menggunakan metode penelitian pendekatan eksperimen. Pengujian dilakukan pada putaran 1500, 3000, dan 4500 RPM, pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali dari masing-masing putaran. Yang mana pengujian dimulai dari mobil menggunakan mesin standar kemudian dilanjutkan dengan menggunakan *electrolyzer*.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijabarkan menggunakan *uji t*, hasil *t test* (*t* hitung) dibandingkan dengan *t* tabel pada taraf signifikan 5% (0.05). diperoleh harga *t test* (*t* hitung) lebih besar dari nilai *t* table 2,920, maka didapatkan rata-rata dari masing-masing pemakaian bahan bakar spesifik dari penggunaan *electrolyzer* dibandingkan dengan mesin standar pada putaran mesin 1500 RPM rata-ratanya 21.84793 (signifikan) sedangkan untuk putaran 3000 RPM rata-ratanya 9.28571 (signifikan) dan untuk putaran 4500 RPM rata-ratanya 6.73226 (signifikan).

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis sampaikan kepada Allah SWT yang telah memberikan segenap rahmat, hidayah, kekuatan, dan kesanggupan sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ***“Pengaruh Penggunaan Electrolyzer Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC) Motor Bensin 4 Langkah 1800 CC”***. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan program pendidikan pada jenjang program Strata Satu (S1), Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak sehingga dengan bantuan tersebut skripsi ini telah dapat penulis selesaikan. Untuk itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang Bapak Drs. Syahril, ST, MSC.E, Ph.D.
2. Ketua Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang Bapak Drs. Martias, M. Pd.
3. Sekretaris Jurusan Teknik Otomotif Universitas Negeri Padang Bapak Donny Fernandez, S.Pd, M.Sc
4. Bapak Drs. Hasan Maksum, MT, selaku Pembimbing I bagi penulis.
5. Bapak Toto Sugiarto, S.Pd, M.Si, selaku Pembimbing II bagi penulis.
6. Bapak/Ibu Dosen staf pengajar di Jurusan Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

7. Orang tua tercinta yang telah memberikan dorongan dan motivasi kepada penulis baik secara materil maupun non materil dalam mengikuti perkuliahan sampai menyelesaikan skripsi ini.

8. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Teknik Otomotif FT-UNP 2011

Semoga bantuan, bimbingan dan petunjuk yang bapak/ibu, Saudara/i berikan menjadi amal shaleh dan mendapatkan balasan yang berlipat ganda dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa skripsi ini belum sempurna, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, penulis mengharapkan saran dan kritikan yang konstruktif dari semua pihak. Mudah-mudahan skripsi ini bisa dilanjutkan dan bermanfaat. Semoga Allah SWT senantiasa memberikan taufik dan hidayah-Nya, Amin.

Padang, Februari 2016

Penulis

## DAFTAR ISI

	<b>Halam</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	iv
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	vii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
A. Latar Belakang Masalah .....	1
B. Identifikasi Masalah .....	6
C. Batasan Masalah .....	6
D. Rumusan Masalah .....	7
E. Tujuan Penelitian .....	7
F. Manfaat Penelitian .....	7
G. Asumsi Penelitian .....	8
<b>BAB II KAJIAN TEORI</b> .....	9
A. Landasan Teori .....	9
1. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik .....	9
a. Daya .....	11
b. Torsi .....	12
c. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Daya dan Torsi Mesin .....	14
d. Faktor-faktor Penyebab Pemakaian Bahan Bakar Mesin Boros .....	17
2. <i>Electrolyzer</i> .....	18
a. Pengertian <i>Electrolyzer</i> .....	18
b. Komponen <i>Electrolyzer</i> .....	20
c. Prosedur Pembuatan <i>Electrolyzer</i> .....	25
d. Cara Kerja <i>Electrolyzer</i> .....	29
3. Hubungan Antar Variabel penelitian .....	31
a. Pengaruh Pengaruh <i>Electrolyzer</i> Terhadap Pemakaian Bahan Bakar <i>Spesific</i> .....	31
4. Teori Hidrogen .....	32
a. Penemuan dan Penggunaan Hidrogen .....	33
b. Hidrogen Sebagai Bahan Bakar .....	34
c. Proses Produksi Hidrogen .....	35
5. Cara Kerja Alat <i>Electrolyzer</i> Pada Kendaraan .....	37

B. Penelitian Relevan .....	39
C. Kerangka Konseptual .....	40
D. Hipotesis Penelitian .....	41
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>42</b>
A. Desain Penelitian .....	42
B. Defenisi Operasional Variabel Penelitian.....	43
1. Defenisi Operasional.....	43
2. Variabel Penelitian.....	43
C. Objek Penelitian .....	44
D. Instrumen Pengumpulan Data .....	45
E. Prosedur Penelitian .....	45
F. Teknik Pengambilan Data .....	46
G. Teknik Analisis Data .....	49
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>52</b>
A. Deskripsi Data Penelitian .....	52
B. Pembahasan.....	59
C. Keterbatasan Penelitian .....	61
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>62</b>
A. Kesimpulan .....	62
B. Saran.....	63
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>64</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>66</b>

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Cadangan Minyak Bumi di Dunia .....	3
Tabel 2. Pendapat Para Mekanik Mengenai Kelemahan/ Kekurangan Pada Toyota Kijang LGX 1800 CC .....	5
Tabel 3. Bahan yang diperlukan untuk <i>electrolyzer</i> .....	26
Tabel 4. Nilai Oktan Berbagai Bahan Bakar.....	34
Tabel 5. Pola penelitian <i>The Posttest Only Control Design</i> .....	43
Tabel 6. Data Pengukuran Voltase dan Arus Alat Electrolyzer .....	46
Tabel 7. Data Pemakaian Bahan Bakar Menggunakan Mesin Standar.....	47
Tabel 8. Data Daya Menggunakan Mesin Standar.....	47
Tabel 9. Data Torsi Menggunakan Mesin Standar.....	47
Tabel 10. Data Pemakaian Bahan Bakar <i>Specific (SFC)</i> Mesin Standar Menggunakan Rumus.....	47
Tabel 11. Data Pemakaian Bahan Bakar Menggunakan <i>Electrolyzer</i> .....	48
Tabel 12. Data Daya Mesin dengan <i>Electrolyzer</i> .....	48
Tabel 13. Data Torsi Mesin dengan <i>Electrolyzer</i> .....	48
Tabel 14. Data Pemakaian Bahan Bakar <i>Specific (SFC)</i> Mesin Dengan <i>Electrolyzer</i> Menggunakan Rumus .....	48
Tabel 15. Data Pemakaian Bahan Bakar <i>Specific</i> Mesin Standar .....	52
Tabel 16. Data Pemakaian Bahan Bakar <i>Specific</i> Mesin dengan <i>Electrolyzer</i> .....	52
Tabel 17. Data Torsi Mesin Standar .....	54
Tabel 18. Data Daya Mesin Standar .....	54
Tabel 19. Data Torsi Mesin dengan <i>Electrolyzer</i> .....	55
Tabel 20. Data Daya Mesin dengan <i>Electrolyzer</i> .....	55
Tabel 21. Hasil pengujian pemakaian bahan bakar <i>specific</i> mesin standar dan mesin dengan <i>electrolyzer</i> menggunakan <i>uji t</i> .....	58

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Grafik hubungan Torsi, Daya dan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik.....	15
Gambar 2. Elektroda Pada <i>Electrolyzer</i> .....	21
Gambar 3. <i>Water Trap</i> . .....	24
Gambar 4. Tutup Botol <i>Electrolyzer</i> yang telah dipasang komponen .....	27
Gambar 5. Tutup Botol <i>Water Trap</i> yang telah dipasang komponen .....	27
Gambar 6. Plat Elektroda .....	28
Gambar 7. Plat Elektroda yang Terpasang pada Tutup Botol.....	28
Gambar 8. Alat <i>Electrolyzer</i> .....	29
Gambar 9. Reaksi Penguraian Hidrogen .....	30
Gambar 10. Sifat Kemampuan Bakar Berbagai Jenis Bahan Bakar .....	35
Gambar 11. Skema Pemasangan <i>Electrolyzer</i> Pada Kendaraan .....	38
Gambar 12. Perbandingan pemakaian bahan bakar <i>specific</i> mesin standar dan mesin dengan <i>Electrolyzer</i> .....	53
Gambar 13. Perbandingan torsi menggunakan mesin standar dan mesin dengan <i>electrolyzer</i> . .....	56
Gambar 14. Perbandingan daya mesin standar dan mesin dengan menggunakan <i>electrolyzer</i> .....	57

## DAFTAR LAMPIRAN

<b>Lampiran</b>	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Surat Izin Penelitian.....	66
Lampiran 2. Surat Bukti Penelitian.....	67
Lampiran 3. Data Daya dan Torsi .....	68
Lampiran 4. Data Pemakaian Bahan Bakar .....	75
Lampiran 5. Analisa Data Penyelesaian Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC) .....	79
Lampiran 6. Analisis Standar Deviasi.....	83
Lampiran 7. Penyelesaian Hasil <i>Uji t</i> .....	87
Lampiran 8. T <sub>Tabel</sub> Lipson.....	91
Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian.....	92

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang Masalah**

Semakin pesatnya perkembangan teknologi otomotif saat ini dalam produksi kendaraan sangat memperhatikan efisiensi serta emisi gas buang kendaraan berdampak kepada minat masyarakat untuk mendapatkan performa mesin yang maksimal dan pemakaian bahan bakar yang irit. Hal ini dapat dilakukan dengan cara memodifikasi. Modifikasi menjadi kebutuhan untuk sebagian orang untuk menambah kepuasan terhadap spesifikasi kendaraan standar pabrikan yang mereka miliki.

Modifikasi bisa diartikan sebagai mengubah, menambahkan atau mengurangi sesuatu yang sudah ada. Hal ini dilakukan pada kendaraan bermotor termasuk mobil. Memodifikasi mobil merupakan hobi bagi sebagian masyarakat. Modifikasi dilakukan oleh berbagai kalangan baik kalangan pecinta otomotif maupun yang awam terhadap otomotif, modifikasi dapat dilakukan pada banyak bagian-bagian pada sebuah mobil seperti sistem suspensi, bodi mobil, cat, interior, eksterior, roda atau *velg* dan mesin baik itu motor diesel maupun motor bensin. Modifikasi mesin bensin bertujuan untuk mencapai unjuk kerja yang lebih maksimal dari kondisi standarnya dengan menyempurnakan proses pembakaran mesin melalui penggunaan komponen tambahan (*aftermarket part*).

Performa mesin standar yang dirasa kurang maksimal dan bahan bakar yang boros membuat sebagian besar masyarakat memutuskan untuk mengaplikasikan produk-produk *aftermarket* untuk meningkatkan performa mesin. Meningkatkan performa mesin bisa dilakukan dengan memaksimalkan kinerja dari sistem bahan bakar dengan mencampurkan hidrogen sebagai bahan bakar dari hasil elektrolisis air yang akan bercampur dengan bahan bakar bensin pada intake menuju ke ruang bakar sehingga proses pembakaran lebih sempurna. Pembakaran yang sempurna akan menyebabkan performa mesin meningkat, oleh karena itu penggunaan *electrolyzer* sebagai komponen yang bertugas menghasilkan hidrogen diharapkan mampu meningkatkan daya secara optimal.

Salah satu parameter performa yang dapat diukur dari sebuah mesin adalah pemakaian bahan bakar spesifik (*specific fuel consumption*). Pemakaian bahan bakar spesifik adalah parameter penting dalam sebuah mesin menunjukkan unjuk kerjanya. Pemakaian bahan bakar spesifik adalah karakter pemakaian bahan bakar dari sebuah mesin umumnya ditunjukkan dalam kilogram per kilowatt hours ( $\frac{kg}{kwh}$ ). Pemakaian bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (Sfc) adalah parameter unjuk kerja mesin yang berhubungan langsung dengan nilai ekonomis sebuah mesin, karena dengan mengetahui hal ini dapat dihitung jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya dalam selang waktu tertentu.

Pemakaian bahan bakar spesifik tidak terlepas dari masalah ketersediaan bahan bakar. Dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 1. Cadangan Minyak Bumi di Dunia**

Tahun	Terbukti	Potensial	Total (Milyar Barel)
2009	4,30	3,70	8,00
2010	4,23	3,53	7,76
2011	4,04	3,69	7,63
2012	3,74	3,66	7,40
2013	3,64	3,58	6,96
2014	3,47	3,36	6,78

Sumber: Ditjen Migas (2014)

Dari tabel diatas dapat kita lihat bahwa produksi minyak bumi yang semakin menipis dari tahun ke tahun. Bahan bakar fosil tidak dapat diperbarui dan lama kelamaan akan semakin menipis bahkan habis.

Ketersediaan air yang cukup melimpah dibumi ini dapat dimanfaatkan sebagai tambahan bahan bakar alternatif, hal ini yang merupakan pertimbangan untuk pemanfaatan air sebagai energi terbarukan karena sebagian besar air terdapat di lautan dan di lapisan-lapisan es yaitu di kutub dan puncak-puncak gunung. Air bergerak mengikuti suatu siklus, yaitu penguapan, hujan, aliran air diatas permukaan tanah (seperti mata air, sungai, dan muara yang mengalir menuju ke laut), demikian seterusnya, jika dikelola dengan baik, air merupakan sumber daya alam yang tidak ada habisnya.

Saat ini, air belum digunakan secara utuh untuk bahan bakar. Masih terbatas pada penambahan untuk memperbaiki kualitas pembakaran bahan bakar fosil. Gas hidrogen dapat dimanfaatkan untuk memperbaiki pembakaran dalam mesin, baik pada kendaraan maupun di industri, sehingga

besar pemakaian bahan bakar dapat diperkecil dan emisi yang dihasilkan bisa berkurang. Emisi yang lebih rendah menandakan terjadinya proses pembakaran yang lebih sempurna, dengan semakin sempurna pembakaran maka akan menghasilkan performa mesin yang maksimal dengan torsi dan daya lebih tinggi serta pemakaian bahan bakar *specific* yang rendah.

Jenis upaya yang dilakukan adalah dengan menggunakan bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui serta ramah lingkungan seperti hidrogen. Hidrogen yang dihasilkan bekerja berdasarkan hasil elektrolisis air, dimana menghasilkan gas Hidrogen dan Oksigen. Hidrogen dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja motor bakar karena memperbaiki angka oktan bahan bakar sehingga berpengaruh terhadap kesempurnaan pembakaran. Pembakaran yang sempurna dapat meningkatkan performa mesin. Penggunaan alat *electrolyzer* dapat dijadikan sebagai alat tambahan sebagai generator penghasil gas hidrogen pada mesin untuk menghasilkan bahan bakar tambahan agar dapat menghasilkan daya dan torsi yang meningkat serta pemakaian bahan bakar *spesific* yang lebih rendah.

Mesin kendaraan dikatakan dalam kondisi baik ketika performa mesin maksimal, pemakaian bahan bakar irit dan tenaga mesin yang maksimal. Efisiensi bahan bakar akan mempengaruhi performa mesin kendaraan. Hal lain yang sangat berpengaruh pada performa mesin adalah kesempurnaan proses pembakaran.

Berdasarkan wawancara yang telah penulis lakukan terhadap beberapa mekanik bengkel tentang kelemahan Toyota Kijang LGX 1800 CC, maka diperoleh beberapa pendapat yang telah dikumpulkan dibawah ini. Menurut Bintang Motor salah satu bengkel yang terletak di kota Pariaman kelemahan pada Toyota Kijang LGX 1800 CC pemakaian bahan bakar yang boros yakni mencapai 1:7 dalam kota dan 1:11 luar kota dan suspensi per daun sering bermasalah terutama melewati medan yang berat.

Menurut Gemilang Motor salah satu bengkel yang juga terletak di kota Pariaman kekurangan pada Toyota Kijang LGX 1800 CC terutama pemakaian bahan bakar yang boros dan karet body sering retak/ mengelupas serta arm/ bushing arm sering aus.

**Tabel 2. Pendapat Para Mekanik Mengenai Kelemahan/ Kekurangan Pada Toyota Kijang LGX 1800 CC.**

No.	Bengkel/Hari/Tgl	Mekanik	Kelemahan/ Kekurangan Toyota Kijang LGX 1800 CC
1.	Bintang Motor/ Rabu/ 7-10-15	Ariadi	a. Pemakaian bahan bakar yang boros. b. Karet body yang sering mengelupas.
2.	Gemilang Motor/ Jum'at/ 16-10-15	Fadli	a. Pemakaian bahan bakar yang boros. b. Arm/ bushing arm sering aus.

Sumber: Wawancara (Oktober 2015)

Berdasarkan permasalahan dan solusi diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian untuk membuktikan seberapa besar pengaruh penggunaan *electrolyzer* sebagai alat penghasil bahan bakar hidrogen terhadap penyempurnaan kinerja mesin dengan menguji pemakaian bahan bakar *specific* dihasilkan mesin menggunakan alat *dynamometer/dynotest*.

Sehingga penelitian ini mengambil judul “Pengaruh Penggunaan *Electrolyzer* terhadap Pemakaian Bahan Bakar *Specific* Pada Motor Bensin 4 Langkah 1800 CC”.

## **B. Identifikasi Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka didapatkan permasalahan. Untuk itu perlu suatu identifikasi terhadap permasalahan yang ada sebagai berikut :

1. Perilaku masyarakat yang masih bergantung pada bahan bakar yang bersumber dari fosil yang ketersediaanya semakin menipis.
2. Upaya pencarian energi alternatif untuk mengganti yang sumber energi dari fosil yang masih belum optimal baik dari masyarakat maupun dari dukungan pemerintah.
3. Belum adanya penelitian yang menguji pengaruh penggunaan *electrolyzer* terhadap pemakaian bahan bakar *specific*.
4. Masih banyak yang belum mengetahui energi yang bersumber dari air untuk dijadikan pelengkap maupun pengganti bahan bakar fosil.

## **C. Batasan Masalah**

Agar penelitian yang dilakukan dapat mengarah tepat pada sasaran dan tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka peneliti membatasi penelitian untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penggunaan *electrolyzer* terhadap pemakaian bahan bakar *specific* pada Toyota Kijang LGX 1800 CC.

#### **D. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang, identifikasi masalah, batasan masalah di atas, maka rumusan masalah dapat dirumuskan yaitu bagaimanakah pengaruh penggunaan *electrolyzer* terhadap pemakaian bahan bakar *specific* pada motor bensin 4 langkah 1800 CC?

#### **E. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh penggunaan *electrolyzer* terhadap pemakaian bahan bakar spesifik pada motor bensin 4 langkah 1800 CC.

#### **F. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pihak-pihak berikut:

1. Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana Pendidikan Teknik Otomotif di Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
2. Sebagai masukan atau referensi untuk penelitian selanjutnya.
3. Dapat digunakan sebagai acuan bagi masyarakat terhadap motor bensin 4 langkah 1800 CC yang telah dimodifikasi menggunakan *electrolyzer* atau masyarakat yang berencana ingin menggunakannya.
4. Menambah pengetahuan tentang pengaruh penggunaan *electrolyzer* terhadap pemakaian bahan bakar *specific* pada motor bensin 4 langkah 1800 CC.

5. Sebagai masukan bagi masyarakat luas terutama dunia otomotif tentang pengaruh penggunaan *electrolyzer* sebagai salah satu langkah alternatif dalam modifikasi mesin mobil.

#### **G. Asumsi Penelitian**

1. Motor bensin 4 langkah 1800 CC yang digunakan sebagai objek penelitian pengujian pemakaian bahan bakar *specific* berada pada kondisi standar dan pengujian pemakaian bahan bakar *specific* pada motor bensin 4 langkah 1800 CC kondisi dengan menggunakan *electrolyzer*.
2. Bahan bakar yang digunakan sama kualitasnya untuk setiap pengujian yaitu premium yang diproduksi oleh Pertamina.
3. Jenis kendaraan sama untuk setiap pengujian yaitu motor bensin 4 langkah 1800 CC.
4. Penelitian dilakukan menggunakan alat *dynotest/dynamometer*.
5. Bahan yang digunakan dalam pengujian adalah alat *electrolyzer*.

## BAB II

### KAJIAN TEORI

#### A. Landasan Teori

##### 1. Pemakaian Bahan Bakar Spesifik (SFC)

Mawardi (2011:38) mengemukakan:

“Pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) adalah merupakan parameter yang berhubungan erat dengan efisiensi thermal mesin. Pemakaian bahan bakar spesifik ini didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang terpakai setiap jam untuk menghasilkan setiap KW dari daya mesin. Parameter ini biasanya dipakai sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya pemakaian bahan bakar karena pemakaian bahan bakar spesifik menyatakan banyaknya bahan bakar yang terpakai pada setiap jam untuk setiap daya yang dihasilkan. Harga SFC yang lebih rendah merupakan efisiensi yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan energi panas diperlukan campuran gas yang terdiri dari campuran bahan bakar dengan udara”.

Aris Munandar (2005:33) mengemukakan “Pemakaian bahan bakar spesifik merupakan suatu parameter prestasi yang dipakai sebagai ukuran ekonomi pemakaian bahan bakar yang terpakai per jam untuk daya kuda yang dihasilkan”.

Ganesan (2003 : 589) menyatakan *“The following factors are to be considered in evaluating the performance of an engine: 1) Maximum power or torque available at each speed of an engine within the useful range of speed. 2) Brake Specific fuel consumption at each operating condition within the useful range of operation”*. Kutipan diatas menjelaskan beberapa parameter performa sebuah mesin adalah daya

maksimum atau torsi maksimum yang dapat dihasilkan oleh mesin dan pemakaian bahan bakar spesifik.

*Specific fuel consumption* atau (Sfc) adalah jumlah pemakaian bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin untuk menghasilkan daya 1 Hp selama 1 jam. Semakin rendah nilai Sfc maka semakin rendah pula pemakaian bahan bakar yang digunakan.

Rumus yang digunakan untuk menghitung Sfc adalah :

$$Sfc = \frac{\dot{m}_f}{P} \quad (\text{Ganesan, 1999:31})$$

$$\dot{m}_f = v \times \rho \text{ bensin}$$

Dimana :

Sfc = Specific fuel consumption (Kg/Hp.jam)

$\dot{m}_f$  = laju aliran bahan bakar (Kg/jam)

$\rho$  bensin = 0.00075 kg/cc

v = volume bahan bakar (ml)

P = daya yang dihasilkan oleh mesin (Hp)

Petrovsky (1979 : 62 ), menyatakan “pemakaian bahan bakar spesifik (SFC) adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya efektif 1 HP selama 1 jam”. Berdasarkan beberapa pendapat diatas dapat disimpulkan bahwa *Specific Fuel Consumption (SFC)* adalah suatu parameter untuk mengetahui jumlah bahan bakar yang diperlukan untuk menghasilkan daya 1 HP dalam waktu 1 jam.

### a. Daya

Wiliam (1999 : 78) menyatakan “*Power is the amount of work that is done in a period of time. Power is measured in horsepower in the English system and watts in the metric system. One thousand watt (1 kilowatt) is equal to 1.34 horsepower, or 1 horsepower is equal to 746 watts*”. Kutipan diatas menjelaskan daya adalah suatu usaha yang berjalan dalam jangka waktu tertentu, satuan daya berupa tenaga kuda atau watt. 1000 watt sama dengan 1,34 daya kuda, atau 1 daya kuda sama dengan 746 watts.

Toyota Astra Motor (1996) menyatakan “*Daya output mesin (engine output power) adalah rata-rata kerja yang dilakukan dalam satu waktu, satuan yang umum ialah kilowatt (kW). Satuan lain yang digunakan ialah HP (Horse Power) dan PS (German Horse Power)*”.

Wiranto (2005 : 43) menyatakan “*Daya mesin adalah besarnya kerja mesin selama waktu tertentu. Daya menjelaskan besarnya output kerja mesin yang berhubungan dengan waktu, atau rata-rata kerja yang dihasilkan. Daya berkaitan dengan kecepatan dan putaran atas mesin, hal ini terlihat dari seberapa cepat kendaraan itu mencapai suatu kecepatan tertentu dengan waktu sesedikit mungkin, dengan satuan kW (Kilowatt) atau HP (Horse Power)*”.

Rinto (2008 : 17) menyatakan “*Daya (mechanical power) adalah laju kerja dan sama dengan perkalian antara gaya dengan kecepatan linear atau torsi dan kecepatan. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dynamometer dan tachometer atau alat lain dengan fungsi yang sama*”.

Wiratmaja (2010 : 21) menyatakan “Daya adalah hasil dari kerja, atau dengan kata lain daya merupakan kerja atau energi yang dihasilkan mesin per satuan waktu mesin itu beroperasi. Pada motor bensin, *Brake Horse Power* (BHP) merupakan besar untuk mengindikasikan *horse power* aktual yang dihasilkan oleh mesin. Untuk menghitung besarnya daya motor 4 langkah digunakan rumus:

$$P = \frac{2\pi \cdot n \cdot T}{60000} (kW)$$

Keterangan :

P = Daya (kW)

n = Putaran mesin (rpm)

T = Torsi mesin (Nm)

Berdasarkan kutipan diatas maka dapat disimpulkan bahwa daya adalah hasil kerja atau energi yang dihasilkan mesin persatuan waktu mesin itu beroperasi. Dalam menentukan performa mesin daya merupakan salah satu parameternya, pengukuran daya dilakukan dengan menggunakan dynamometer. Pada mesin, daya merupakan perkalian antara momen putar dengan putaran mesin.

#### **b. Torsi**

Hasan Maksun (2012:15) menyatakan “Daya adalah hasil kerja yang dilakukan dalam batas waktu tertentu (F.c/t). Pada motor, daya merupakan perkalian antara momen putar (Mp) dengan putaran mesin (n)”.

William (1999 : 77) menyatakan “*Torque is the turning or twisting force exerted by the crankshaft. The pressures developed by the combustion of the air-fuel mixture are transmitted to the piston and*

*connecting rod to the crankshaft. The amount of torque depends on the pressure applied to the piston and the length of the crankarm*".

Kutipan diatas menjelaskan bahwa torsi (momen puntir) suatu mesin adalah kekuatan poros engkol yang akhirnya menggerakkan kendaraan. Kekuatan putar poros ini pada mesin dihasilkan oleh pembakaran yang mendorong piston naik turun. Piston naik turun menyebabkan poros engkol berputar yang kemudian akan ditransfer menuju ke roda-roda penggerak sehingga mencapai ke roda.

Joko (2012 : 34) menyatakan "Torsi adalah besarnya momen putar yang terjadi pada poros output akibat adanya pembebanan dengan sejumlah massa (kg)".

Toyota Astra Motor (1996) menyatakan "Torsi adalah nilai yang menunjukkan gaya putar atau *twisting force* pada output mesin (poros engkol). Nilai ini dinyatakan dalam satuan Newton Meter (N-M) dan dihitung sebagai berikut:

$$T = F \times r$$

Keterangan:

T = Momen puntir poros engkol

F = Gaya tekanan hasil pembakaran

r = Jarak jari- jari poros engkol

Newton adalah unit pengukuran gaya dan mempunyai hubungan dengan kgf, metoda lama yaitu 1 kgf sama dengan 9,80665 N".

Didalam prakteknya torsi motor berguna pada waktu kendaraan akan bergerak (*start*) atau sewaktu mempercepat laju kendaraan, dan tenaga berguna untuk memperoleh kecepatan tinggi.

Besarnya torsi akan sama, berubah-ubah atau berlipat, torsi timbul akibat adanya gaya tangensial pada jarak dari sumbu putaran”.

Berdasarkan kutipan diatas maka dapat disimpulkan bahwa torsi (momen puntir) suatu motor adalah kekuatan poros engkol yang akhirnya menggerakkan kendaraan. Didalam prakteknya torsi motor berguna pada waktu kendaraan akan bergerak (*start*) atau sewaktu mempercepat laju kendaraan, dan tenaga berguna untuk memperoleh kecepatan tinggi. Besarnya torsi akan sama, berubah-ubah atau berlipat, torsi timbul akibat adanya gaya tangensial pada jarak dari sumbu putaran.

### c. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Torsi dan Daya Mesin

Kemampuan mesin adalah prestasi dari suatu mesin yang erat hubungannya dengan daya mesin yang dihasilkan serta daya guna dari mesin tersebut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kemampuan mesin yaitu sebagai berikut:

#### 1) Volume Langkah Torak

Arends dan Berenschot (1996:30)

“Volume langkah torak, (VL) adalah volume langkah torak dari seluruh silinder pada suatu mesin diukur dari TMA (Titik Mati Atas) sampai TMB (Titik Mati Bawah). Volume langkah ini selanjutnya akan mempengaruhi volume gas yang masuk ke ruang silinder, sedangkan yang masuk nantinya akan menghasilkan energi pembakaran setelah gas tersebut dibakar. Apabila gas yang masuk jumlahnya besar maka hasil energi pembakarannya juga akan besar. Apabila volume langkah kecil, maka gas yang masuk sedikit dan energi hasil pembakarannya juga akan kecil, dan akan mempengaruhi dari daya pada motor tersebut”.

## 2) Perbandingan Kompresi

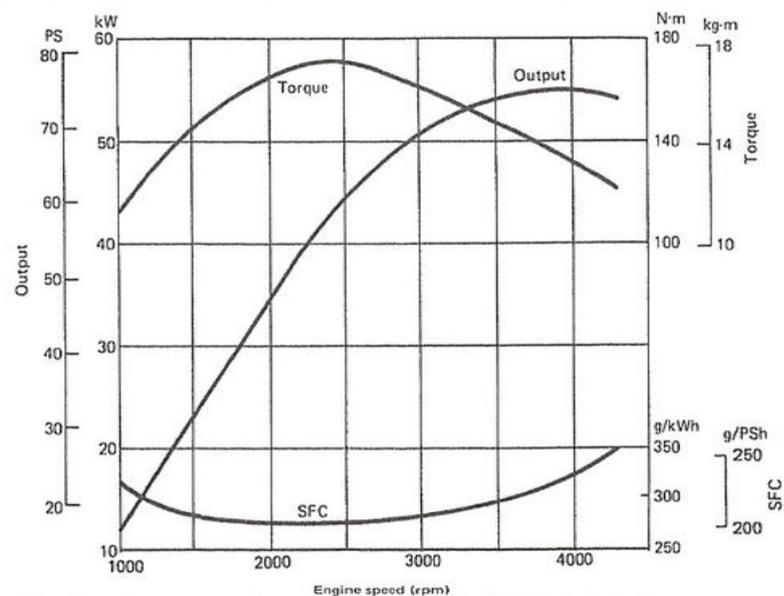
Mawardi (2011 : 38)

“Perbandingan kompresi menunjukkan berapa jauh campuran udara dan bahan bakar yang dihisap selama langkah hisap dikompresikan dalam silinder selama langkah kompresi. Dengan kata lain adalah perbandingan dari volume silinder dan volume ruang bakar saat torak pada posisi TMB ( $V_2$ ) dengan volume ruang bakar saat torak di posisi TMA ( $V_1$ )”.

## 3) Pemakaian Bahan Bakar *Spesific*

Mawardi (2011 : 38)

“Pemakaian bahan bakar *specific* (SFC) adalah merupakan parameter yang berhubungan erat dengan efisiensi thermal motor. Pemakaian bahan bakar spesifik ini didefinisikan sebagai banyaknya bahan bakar yang terpakai setiap jam untuk menghasilkan setiap kW dari daya motor. Parameter ini biasanya dipakai sebagai ukuran ekonomis atau tidaknya pemakaian bahan bakar karena pemakaian bahan bakar spesifik menyatakan banyaknya bahan bakar yang terpakai pada setiap jam untuk setiap daya yang dihasilkan. Harga SFC yang lebih rendah merupakan efisiensi yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan energi panas diperlukan campuran gas yang terdiri dari campuran bahan bakar dengan udara”.



**Gambar 1.** Grafik hubungan Torsi, Daya dan Pemakaian Bahan Bakar Spesifik.

(Sumber: Ganesan, 2003: 603)

#### 4) Laju Aliran Massa Udara (Ma)

Mawardi (2011 : 38) menyatakan “Daya yang dapat dihasilkan motor dibatasi oleh jumlah udara yang dihisap kedalam silinder. Tekanan udara diukur dengan manometer, dimana yang diukur adalah beda tekanan pada orifis dalam mm H<sub>2</sub>O”.

#### 5) Perbandingan Bahan Bakar dan Udara

Mawardi (2011 : 38) menyatakan “Perbandingan bahan bakar dan udara (AFR) adalah perbandingan jumlah bahan bakar dan udara yang digunakan pada ruang bakar”.

#### 6) Putaran *Engine*

Arends dan Berenschot (1996 : 39) menyatakan “Mempertinggi putaran *engine* (frekuensi putaran) dapat menaikkan daya spesifik motor karena mempertinggi frekuensi putar berarti lebih banyak terjadi langkah kerja pada waktu yang sama”.

#### 7) Angka Oktan Pada Bahan Bakar

Mawardi (2011 : 40)

“Angka oktan adalah angka yang menunjukkan kemampuan bertahan bakar bensin terhadap ketukan. Makin besar angka oktan ini maka akan makin tahan bahan bakar terbakar oleh temperatur, sehingga terjadi knock akan lebih sukar, dan proses pembakaran dalam ruang bakar akan lebih sempurna sehingga dapat mempengaruhi daya motor dan emisinya. Untuk premium angka oktannya 88, pertamax 92, dan pertamax plus 95”.

## 8) Waktu Pengapian

Arends dan Berenschot (1994 : 10)

“Untuk memperoleh daya yang maksimal saat pengapian ini harus tepat, bila pengapian terlalu maju maka gas sisa yang belum terbakar terpengaruh oleh pembakaran yang masih berlangsung dan pemampatan yang masih berjalan akan terbakar sendiri, hal ini akan menjadikan kerugian, sedangkan bila pengapian terlambat detonasi berkurang dan akan menurunkan daya. Apabila pengapian terlambat, ruang di atas piston pada akhir pembakaran sudah membesar dan sebagian kecil dari kalor berubah menjadi tekanan, akibatnya sisa kalor dalam jumlah besar tertinggal dalam motor. Bukan hanya disebabkan oleh pembebanan termis dari beberapa bagian motor seperti katup terlalu panas, tetapi disebabkan oleh suhu yang tinggi yang melampaui batas sehingga bahan bakar dan udara akan terbakar sendiri”

Arismunandar (2002 : 68)

“Untuk memperoleh daya yang maksimum dari suatu operasi hendaknya penyalaan diatur sedemikian rupa sehingga tekanan tekanan gas maksimum terjadi pada saat torak berada di sekitar 15 sampai 20 derajat engkol sesudah TMA. Jadi, penyalaan yang baik bergantung pada kecepatan perambatan nyala, jarak perambatan nyala maksimum, dan kecepatan poros engkol”.

Berdasarkan kutipan diatas maka dapat disimpulkan bahwa torsi dan daya mesin dapat dipengaruhi beberapa faktor termasuk pemakaian bahan bakar spesifik.

### **d. Faktor- Faktor Penyebab Pemakaian Bahan Bakar Mesin Boros**

Menurut Daryanto (2004: 36), ada beberapa faktor - faktor penyebab borosnya pemakaian bahan bakar mesin:

1. Penyetelan karburator yang kurang tepat
2. Cara pemakaian Kendaraan

3. Keadaan komponen mesin :
  - a) Saluran bahan bakar bocor
  - b) Saringan udara kotor / rusak
  - c) Kompresi mesin rendah
  - d) Kopling mesin slip
4. Kondisi jalan yang dilalui

Berdasarkan pendapat diatas dapat disimpulkan bahwa ada beberapa faktor yang menyebabkan pemakaian bahan bakar yaitu penyetelan karburator yang kurang tepat, cara pemakaian kendaraan, keadaan komponen yang sudah tidak standar, serta medan jalan yang dilalui.

## 2. *Electrolyzer*

### a. **Pengertian *Electrolyzer***

*Electrolyzer* adalah alat yang berfungsi untuk menguraikan suatu elektrolit dimana air sebagai elektrolitnya dengan bantuan arus listrik searah yang menghasilkan atom hidrogen dan oksigen. Proses yang berlangsung pada *electrolyzer* disebut elektrolisis.

Menurut Raymond (2004:219) “elektrolisis ialah proses yang menggunakan energi listrik agar reaksi kimia nonspontan dapat terjadi. Sel elektrolitik ialah alat untuk melaksanakan elektrolisis”.

Menurut Charles (1993:355) “Penggunaan arus listrik untuk melakukan reaksi redoks disebut elektrolisis”. Selanjutnya, dengan aliran arus listrik, kedua molekul air bereaksi dan pada katoda

menangkap dua elektron yang tereduksi menjadi H<sub>2</sub> dan ion hidroksida (OH<sup>-</sup>). Pada anoda air terurai menjadi gas oksigen (O<sub>2</sub>) dengan melepaskan 4 ion H<sup>+</sup> dan mengalirkan elektron ke katoda. Dari reaksi tersebut ion H<sup>+</sup> dan OH<sup>-</sup> mengalami netralisasi dan membentuk molekul air kembali. Menurut Charles (1999:356), reaksi elektrolisis air dapat dituliskan sebagai berikut:



Elektrolisis air merupakan pemanfaatan arus listrik untuk menguraikan air menjadi unsur-unsur pembentuknya, yaitu H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Gas hidrogen akan muncul di kutub negatif atau katoda sedangkan gas oksigen berkumpul di kutub positif atau anoda. Hidrogen yang dihasilkan dari proses elektrolisis ini berpotensi menghasilkan *zero emission*.

Sel elektrolitik mempunyai sepasang elektroda yang dihubungkan ke baterai. Baterai berfungsi sebagai pompa elektron, yang menggerakkan elektron ke katoda (tempat terjadinya reduksi), dan menarik elektron dari anoda (tempat terjadinya oksidasi).

Berdasarkan dari beberapa pendapat dari para ahli di atas, dapat disimpulkan bahwa elektrolisis air merupakan proses pemisahan molekul pembentuk air menjadi gas hidrogen dan oksigen dengan memanfaatkan arus listrik sebagai pompa elektron yang dilewatkan oleh dua jenis elektroda (elektroda positif dan elektroda negatif).

**b. Komponen *Electrolyzer*****1) Tabung *Electrolyzer***

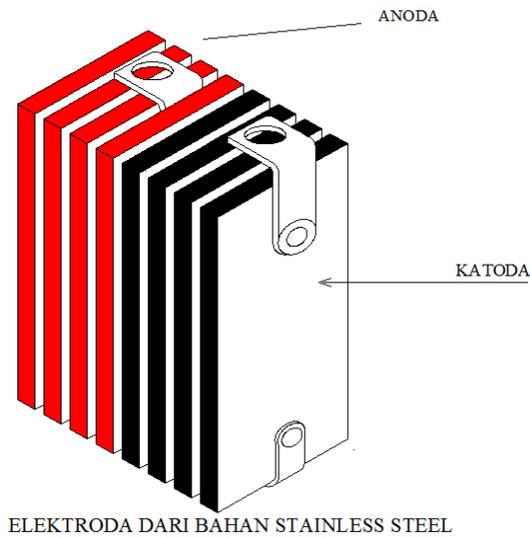
Tabung elektroliser merupakan tempat elektrolit, sekalipun tempat berlangsungnya proses elektrolisis untuk menghasilkan gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Bagian-bagian dari tabung *electrolyzer* antara lain:

**a) Tabung**

Tabung berfungsi sebagai tempat penampungan elektrolit. Tabung elektroliser yang digunakan ini terbuat dari bahan kaca atau plastik tahan panas. Sebab proses elektrolisis air pada prinsipnya menggunakan reaksi elektrokimia yang menghasilkan panas. Adanya isapan yang cukup kuat dari mesin juga bisa menyebabkan terjadinya perubahan bentuk tabung, sehingga tabung elektrolisis harus kuat.

**b) Elektroda**

Elektroda adalah konduktor yang digunakan untuk bersentuhan dengan bagian atau media non logam dari sebuah sirkuit. Gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang dihasilkan dalam proses elektrolisis terjadi akibat adanya arus listrik yang melewati elektroda dan akan menguraikan H<sub>2</sub>O menjadi H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Elektroda terdiri dari dua kutub yaitu anoda (+) dan katoda (-) yang dimasukkan kedalam larutan elektrolit.



**Gambar 2.** Elektroda Pada *Electrolyzer*  
( Sumber : [www.electrolyte.com](http://www.electrolyte.com))

Elektroda yang dipakai pada proses elektrolisis haruslah logam non reaktif (tidak ikut bereaksi) dan tahan karat seperti platina, stainless steel. Tetapi, harga platina sedikit lebih mahal dari stainless steel, sehingga stainless steel lebih sering digunakan. Bentuk elektroda ini bisa berbentuk batang, spiral ataupun lempengan. Namun, salah satu yang mempengaruhi laju reaksi adalah luasan dari permukaan sentuh (antara elektroda dan elektrolit), dimana semakin luas elektroda maka laju reaksinya semakin cepat.

### c) Dudukan Elektroda

Dudukan elektroda berfungsi sebagai isolator, sehingga antara anoda dan katoda tidak saling bersinggungan atau bersentuhan. Pada bagian sisi dudukan elektroda diberi alur penahan, agar kawat elektroda tetap pada posisinya. Jika anoda dan katoda tersebut saling bersentuhan, akan menyebabkan

hubungan pendek listrik. Ukuran dudukan elektroda disesuaikan dengan ukuran tabung yang digunakan.

Dudukan elektroda terbuat dari bahan akrilik (plastik mika) yang tahan terhadap air, tahan panas, sebagai isolator yang baik serta mudah diperoleh.

#### **d) Terminal Elektroda**

Terminal elektroda berfungsi untuk menghubungkan dan mengalirkan arus listrik dari sumber arus (baterai atau alternator AC sepeda motor/mobil) ke kawat elektroda. Tiap tabung elektroliser mempunyai dua terminal, yaitu positif (+) dan negative (-).

#### **e) Elbow (Pipa Pembelok Aliran)**

*Elbow* yang ditempatkan juga pada tutup tabung *electrolyzer*. Komponen ini berfungsi untuk menghubungkan tabung *electrolyzer* ke water trap kemudian ke selang penyalur gas, sehingga gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> dari tabung dapat mengalir menuju intake manifold.

## **2) Larutan Elektrolit**

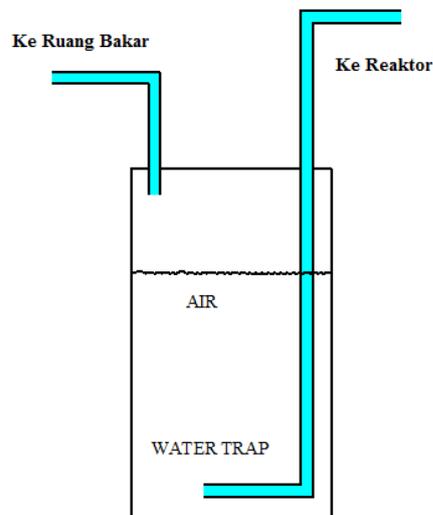
Larutan adalah campuran homogen yang terdiri dari dua atau lebih zat yang bisa berupa padatan, cairan atau gas. Larutan terdiri dari pelarut dan zat terlarut. Larutan yang dapat menghantarkan arus listrik disebut larutan elektrolit, dan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik diebut larutan non elektrolit.

Air murni atau air destilasi (suling) boleh dikatakan tidak bisa menghantarkan arus listrik dengan baik, atau lebih tepatnya daya hantar listrik dari air murni sangat lemah sehingga dapat diabaikan. Maka penambahan katalis bisa membuat air dapat menghantarkan arus listrik. Campuran antara air suling dan katalis disebut larutan elektrolit. Katalis akan larut dalam air suling dan menyatu membentuk larutan elektrolit yang homogen. “Energi yang dikonsumsi pada proses elektrolisis plasma menggunakan larutan KOH lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dikonsumsi oleh larutan NaOH dan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.” Jelas Taher (2012). Dalam penelitian kali ini, larutan elektrolit akan dibuat dengan komposisi 10g KOH, di larutkan dalam 1000 mL air destilasi.

Katalis adalah zat-zat yang dapat mempercepat reaksi tetapi tidak ikut bereaksi secara permanen. Reaksi yang berlangsung lambat dapat dipercepat dengan memberi zat lain. Katalis digunakan pada proses elektrolisis menggunakan sodium bikarbonat atau kalium hidroksida (KOH) atau soda kue. Larutan elektrolit digunakan untuk menghasilkan gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> pada proses elektrolisis. Dalam proses ionisasi gas HHO, tegangan yang dibutuhkan adalah 3 volt, yang bertujuan agar pada saat proses ionisasi, tabung *Electrolyzer* tidak terlalu panas. Jadi pada rangkaian digunakan alat *DC Step Down* untuk menurunkan tegangan 12 volt menjadi 3 volt.

### 3) *Water Trap* (Penangkap Uap Air)

*Water trap* yang digunakan alat penghemat bahan bakar dari air ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja *electrolyzer*. Alat ini dibuat sebagai penangkap uap air agar tidak masuk keruang bakar. Jika gas  $H_2$  dan  $O_2$  langsung disalurkan ke intake manifold tanpa menggunakan *water trap*, kemungkinan besar uap air akan ikut terhisap ke dalam ruang bakar maka akan menurunkan nilai kalor, titik nyala, dan memperlambat proses pembakaran. Selain itu, alat ini berfungsi sebagai tangki penampung gas  $H_2$  dan  $O_2$  sebelum masuk ke ruang bakar.



**Gambar 3.** *Water Trap*  
( Sumber : [www.fluidhydrogen.com](http://www.fluidhydrogen.com) )

Meskipun sama-sama menggunakan tabung seperti elektroliser, *water trap* tidak dilengkapi dengan kawat elektroda dan tidak dapat menghantarkan arus listrik. *Water trap* hanya di isi air suling tanpa katalis yang dimasukkan ke dalam tabung sekitar

$\frac{1}{2}$  isi tabung. Namun, water trap dilengkapi pipa atau selang penyalur gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang menuju intake manifold (sistem karburator) dan saringan udara (sistem EFI atau diesel).

#### 4) Selang Penyalur Gas

Selang penyalur gas digunakan untuk menyalurkan gas H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub> yang dihasilkan di tabung *electrolyzer* ke saringan udara.

#### 5) Kabel Listrik

Dalam proses elektrolisis, kabel listrik berfungsi sebagai penyalur arus listrik dari baterai atau alternator AC ke kawat elektroda. Panjang kabel yang digunakan tergantung pada jarak baterai atau alternator ke terminal elektroda dari *electrolyzer*.

### c. Prosedur Pembuatan *Electrolyzer*

Prosedur pembuatan *electrolyzer* :

1) Sebelum pekerjaan dimulai siapkan alat dan bahan.

Alat yang digunakan :

- a) Tang jepit( *long nose* ).
- b) Tang kombinasi.
- c) Pemotong kabel.
- d) Kunci pas ( atau kunci Ring) 10 mm.
- e) Bor listrik ( *Electric drill* ).
- f) Mata Bor 10 mm.
- g) Mistar atau semacamnya
- h) Amplas yang tipis

i) Terminal *crimper* ( penjepit kabel skoen)

j) Lem power (*crazy glue*)

2) Bahan yang diperlukan:

**Tabel 3. Bahan yang diperlukan untuk *electrolyzer*.**

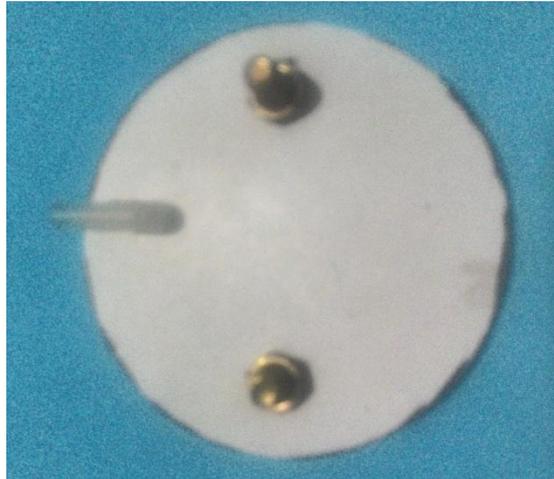
No	Item	Jumlah
1	Botol atau Toples	2
2	Mika ukuran 7 x 15 x 0.6 cm	1
3	Plat stainless steel ukuran 20 x 15 cm	1
4	Mur ukuran 10 mm	2
5	Baut ukuran 10 mm	2
6	Elbow fitting	3
7	Slang bening 200 cm	1
8	Sekering 10 A dan rumah sekering	1
9	Kabel merah 105 cm	1
10	Kabel hitam 105 cm	1
11	Pipa T	1
12	Ring 10 mm	2

3) Setelah alat dan bahan siap, mulai dari mengerjakan tutup botol/  
tabung, tandai bagian yang akan dilubangi/ dibor.

4) Selanjutnya bagian yang bertanda kita bor.

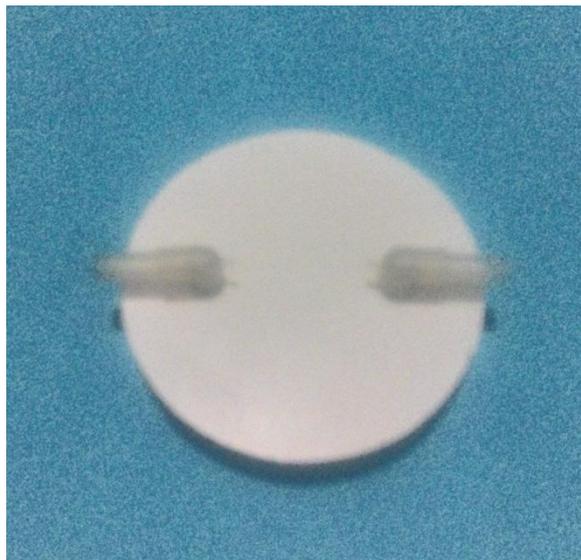
5) Setelah itu bersihkan lubang tadi dengan amplas.

6) Pasang *elbow* dan baut pada lubang.



**Gambar 4.** Tutup Botol *Electrolyzer* yang telah dipasang komponen.

- 7) Pasang juga elbow pada tutup *water trap* yang sudah dibor.



**Gambar 5.** Tutup Botol *Water Trap* yang telah dipasang komponen.

- 8) Selajutnya kita mengerjakan plat elektroda. Pplat tersebut kita potong dengan ukuran 6 x 10 cm sebanyak 4 buah. Plat tersebut akan kita gunakan untuk katoda dan anodanya masing- masing 2 buah.



**Gambar 6.** Plat Elektroda

- 9) Setelah itu kita rakit elektrodanya dan Elektroda kita pasang pada tutup botol.



**Gambar 7.** Plat Elektroda yang Terpasang pada Tutup Botol

**10) Alat *electrolyzer* selesai.**



**Gambar 8.** Alat *Electrolyzer*

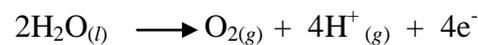
**d. Cara Kerja Elektrolisis**

Elektrolisis berasal dari kata elektro (listrik) dan lisis (penguraian). Jadi elektrolisis adalah peristiwa penguraian suatu elektrolit oleh arus listrik, dan alatnya disebut *electrolyzer*. Menggunakan prinsip elektrolisis, merubah energi listrik menjadi energi kimia. Arus listrik searah digunakan untuk memaksa berlangsungnya reaksi redoks yang tidak spontan (dialiri arus listrik dari luar).

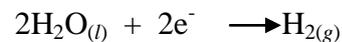
Dalam reaksi elektrolisis memerlukan elektroda-elektroda yang dicelupkan ke dalam larutan elektrolit dan dihubungkan dengan terminal sumber arus listrik searah (DC). Elektroda tempat terjadinya oksidasi (pelepasan elektron) disebut anoda, dan elektroda tempat terjadi reduksi (penangkapan elektron) disebut katoda.

Jika arus listrik dialirkan dari anoda ke katoda melewati larutan elektrolit, akan memecah ikatan molekul  $\text{H}_2\text{O}$  sehingga bereaksi. Maka akan terjadi proses pelepasan dan penangkapan elektron, menyebabkan  $\text{H}_2\text{O}$  dapat diuraikan menjadi 2 atom  $\text{H}_2$  dan 1 atom  $\text{O}_2$ . Dimana pada anoda, molekul  $\text{H}_2\text{O}$  akan terurai menjadi gas  $\text{O}_2$  dengan melepas 4 ion  $\text{H}^+$  dan mengalirkan elektron ke katoda.

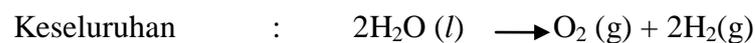
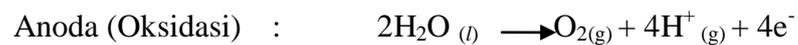
Adapun persamaan reaksinya adalah:



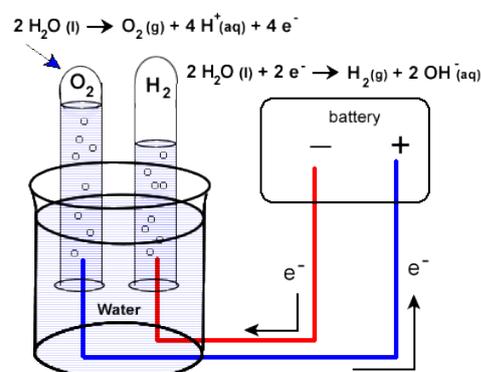
Sedangkan pada katoda, molekul  $\text{H}_2\text{O}$  bereaksi dengan menangkap dua elektron pada katoda yang tereduksi menjadi gas  $\text{H}_2$  dan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ).



Sehingga reaksi keseluruhannya adalah (Charles, 1999:356):



Reaksi penguraian tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 9.** Reaksi Penguraian Hidrogen  
( Sumber : [www.chevinoorcholis.com](http://www.chevinoorcholis.com))

### 3. Hubungan Antar Variabel Penelitian

#### a. Pengaruh *Electrolyzer* Terhadap Pemakaian Bahan Bakar *Specific*

Willard (2004 : 178) menyatakan “*One of the advantage of hydrogen as a fuel is a high octane number, and, compression ratios of about 14:1 can utilized without serious knock problems*”. Kutipan diatas menjelaskan salah satu kelebihan dari gas hidrogen sebagai bahan bakar adalah angka oktan bahan bakar yang tinggi dan rasio kompresi mencapai 14:1 sehingga dapat menghasilkan pembakaran tanpa muncul gejala detonasi atau *knocking*. Peningkatan angka oktan dapat menjadikan pembakaran lebih sempurna sehingga torsi dan daya yang dihasilkan mesin dapat meningkat.

Mawardi (2011 : 40), menyatakan :

“Angka oktan adalah angka yang menunjukkan kemampuan bertahan bakar bensin terhadap ketukan. Makin besar angka oktan ini maka akan makin tahan bahan bakar terbakar oleh temperatur, sehingga terjadi *knock* akan lebih sukar, dan proses pembakaran dalam ruang bakar akan lebih sempurna sehingga dapat mempengaruhi daya motor dan emisinya. Untuk premium angka oktannya 88, pertamax 92, dan pertamax plus 95”.

Berdasarkan kutipan diatas dapat disimpulkan bahwa angka oktan adalah kemampuan bertahan bahan bakar bensin terhadap *knock* ( ketukan ). Makin besar angka oktan maka semakin tahan bahan bakar terbakar oleh temperatur, sehingga *knock* yang terjadi lebih kecil dan proses pembakaran lebih sempurna sehingga akan mempengaruhi torsi serta daya kendaraan.

Pengaruh *electrolyzer* disini mengarah kepada pengaruh gas hidrogen yang dihasilkan oleh alat ini. Gas hidrogen yang dihasilkan oleh *electrolyzer* yang kemudian menjadi bahan bakar tambahan selain bensin menjadikan angka oktan bahan bakar naik. Jika angka oktan naik maka pembakaran menjadi sempurna. Pembakaran yang sempurna menghasilkan daya dan torsi yang optimal.

Besaran torsi dan daya mempengaruhi nilai pemakaian bahan bakar spesifik, semakin tinggi torsi dan daya yang dihasilkan mesin maka nilai pemakaian bahan bakar *specific* akan semakin rendah.

#### 4. Teori Hidrogen

Hidrogen 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 sma hidrogen adalah unsur teringan di dunia.

Hidrogen juga adalah unsur paling melimpah dengan persentase kira-kira 75% dari total massa unsur alam semesta. Kebanyakan bintang dibentuk oleh hidrogen dalam keadaan plasma. Senyawa hidrogen relatif langka dan jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon seperti metana. Hidrogen juga dapat dihasilkan dari air melalui proses elektrolisis, namun proses ini secara komersial lebih mahal daripada produksi hidrogen dari gas alam.

Isotop hidrogen yang paling banyak dijumpai di alam adalah protium, yang inti atomnya hanya mempunyai proton tunggal dan tanpa neutron. Senyawa ionik hidrogen dapat bermuatan positif (kation) ataupun negatif (anion). Hidrogen dapat membentuk senyawa dengan kebanyakan unsur dan dapat dijumpai dalam air dan senyawa-senyawa organik.

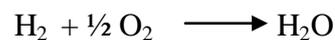
#### **a. Penemuan dan Penggunaan Hidrogen**

Gas hidrogen ( $H_2$ ) pertama kali dihasilkan secara artifisial oleh T. Von Hohenheim (dikenal juga sebagai Paracelsus, 1493–1541) melalui pencampuran logam dengan asam kuat. Dia tidak menyadari bahwa gas mudah terbakar yang dihasilkan oleh reaksi kimia ini adalah unsur kimia yang baru. Pada tahun, Robert Boyle menemukan kembali dan mendeskripsikan reaksi antara besi dan asam yang menghasilkan gas hidrogen.

Pada tahun 1766, Henry Cavendish adalah orang yang pertama mengenali gas hydrogen sebagai zat diskret dengan mengidentifikasi gas tersebut dari reaksi logam asam sebagai "udara yang mudah terbakar". Pada tahun 1781 dia lebih lanjut menemukan bahwa gas ini menghasilkan air ketika dibakar. Pada tahun 1783, Antoine Lavoiser memberikan unsur dengan nama hidrogen (dari bahasa Yunani *hydro* yang artinya air atau genes yang artinya membentuk) ketika dia dan Laplace mengulang kembali penemuan Cavendish yang mengatakan pembakaran hidrogen menghasilkan air.

## b. Hidrogen Sebagai Bahan Bakar

Dengan sifatnya yang mudah terbakar seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka sangat baik untuk menjadikan hidrogen sebagai bahan bakar. Baik untuk penambahan atau pencampuran pada bahan bakar fosil maupun menggunakan hidrogen ini sebagai bahan bakar sepenuhnya. Karena selain melimpah di alam, hasil pembakaran dari hidrogen ini akan menghasilkan air. Menurut Charles (1999:360) reaksi pembakaran hidrogen dan oksigen akan menghasilkan air:



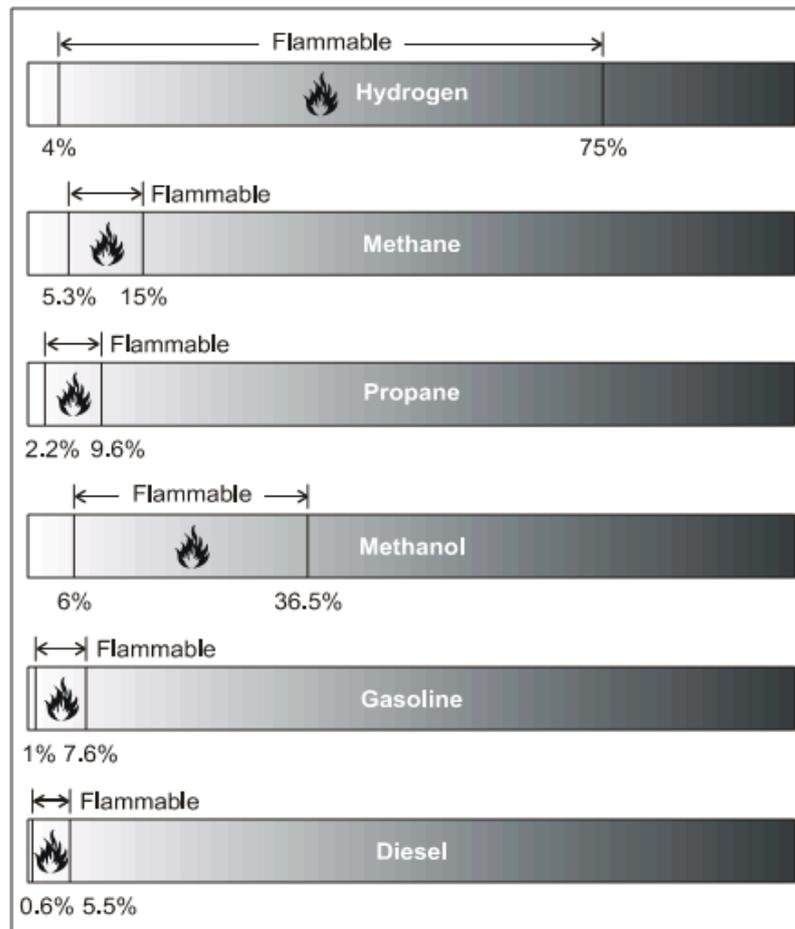
Dari reaksi pembakaran gas hidrogen tersebut sudah pasti tidak akan mencemari udara seperti yang ditimbulkan pada pembakaran bahan bakar fosil saat ini. Selain itu, keunggulan dari hidrogen bila dijadikan bahan bakar dibandingkan dengan bahan bakar lain ialah nilai oktan yang lebih besar, perbedaannya dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini yaitu:

**Tabel 4. Nilai Oktan Berbagai Bahan Bakar**

<i>Fuel</i>	<i>Octane Number</i>
<i>Hydrogen</i>	130 + ( <i>lean burn</i> )
<i>Methane</i>	125
<i>Propane</i>	105
<i>Octane</i>	100
<i>Gasoline</i>	87
<i>Diesel</i>	30

(Sumber: College of the Desert, 2001:21)

Gas hidrogen yang sangat mudah terbakar dan akan terbakar pada konsentrasi serendah 4% di udara bebas. Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen akan meledak seketika disulut dengan api dan akan meledak sendiri pada temperature  $560^{\circ}\text{C}$ . Kemampuan bakar hidrogen dapat digambarkan sebagai berikut:



**Gambar 10.** Sifat Kemampuan Bakar Berbagai Jenis Bahan Bakar  
(Sumber: College of the Desert, 2001:21)

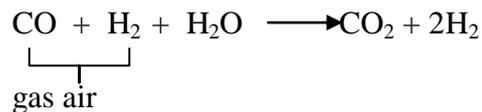
### c. Proses Produksi Hidrogen

Menurut Charles (1999:355), ada tiga metoda untuk memperoleh unsur yang semakin berharga ini adalah dengan metoda gas air, metoda kukus-hidrokarbon, dan elektrolisa air.

- (1) Metoda gas air. Bila kukus dilewatkan di atas arang panas, akan terbentuk karbon monoksida dan hidrogen.

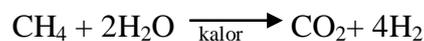


Campuran karbon monoksida dan hidrogen ini yang disebut gas air, merupakan bahan bakar yang bernilai karena kedua zat ini dapat dibakar. Jika diinginkan hidrogen murni, campuran ini diolah dengan kukus dan ditambah dengan katalis, untuk mengoksidasi karbon monoksida menjadi karbon dioksida:

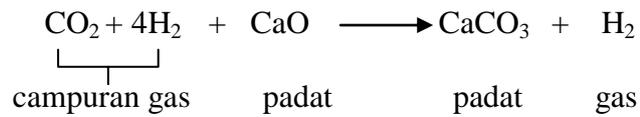


Karbon dioksida mudah dipisahkan dengan melewati campuran kedua gas itu dalam air dibawah tekanan, karena karbon dioksida larut sedangkan hidrogen tidak.

- (2) Metoda kukus-Hidrokarbon. Hidrogen komersial dalam jumlah besar dibuat dengan melewati hidrokarbon dan lewat katalis nikel pada temperatur tinggi. Persamaan untuk reaksi yang menggunakan hidrokarbon tersederhana metana adalah:



Karbon dioksida dan hidrogen dapat dipisahkan seperti yang diterangkan pada rangkaian diatas, atau karbon dioksida dapat diambil dengan melewati campuran pada kapur tohor:

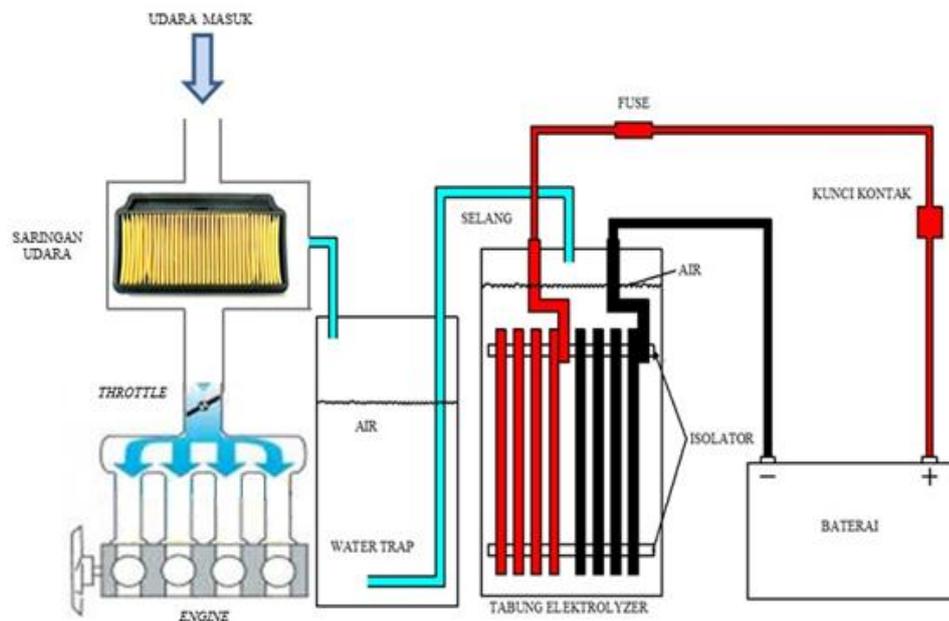


### (3) Elektrolisa air

Karena sumber hidrogen yang berlimpah adalah air, maka akan lebih ideal bila air dapat diuraikan menjadi hidrogen dan oksigen dengan mudah. Suatu cara yang cukup memuaskan untuk menguraikan air ini adalah dengan melewati arus searah (DC) pada air yang telah ditambah sedikit asam sulfat atau zat lain. Penggunaan arus listrik bertujuan untuk melakukan suatu reaksi redoks disebut elektrolisis.

## 5. Cara Kerja dari Alat *Electrolyzer* pada Kendaraan

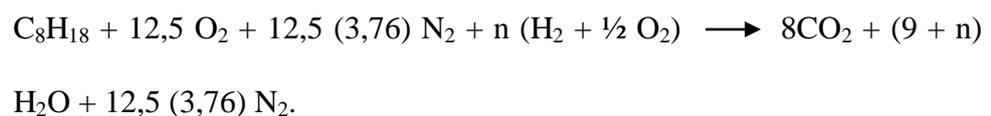
Arus listrik DC *disupply* dari baterai, kutub anoda dihubungkan ke terminal positif, sedangkan kutub katoda dihubungkan ke ground. Dari kutub anoda, arus listrik mengalir menuju kutub katoda selanjutnya menuju ground. Antara anoda dan katoda dihubungkan melalui larutan elektrolit, karena larutan elektrolit mampu menghantarkan arus listrik. Dengan adanya aliran listrik pada elektroda, menyebabkan timbulnya gelembung-gelembung kecil berwarna putih. Ini menandakan air mengalami reaksi, sehingga pada anoda terbentuk gas O<sub>2</sub> dan katoda terbentuk gas H<sub>2</sub>.



**Gambar 11.** Skema Pemasangan *Electrolyzer* Pada Kendaraan  
( Sumber : Rancangan Peneliti )

Gas-gas tersebut kemudian mengalir menuju tabung water trap lalu menuju intake manifold akibat dari isapan piston. Gas tersebut kemudian mengalir ke saringan udara (*air filter*) menuju *intake manifold*. Reaksi pembakaran yang terjadi yaitu campuran udara dan bahan bakar ditambah gas hasil elektrolisa air. Reaksi pembakarannya dapat dirumuskan sebagai berikut:

Restu (2012:27) menyatakan dalam percobaan yang dilakukan dengan penambahan gas hasil elektrolisa air ( $\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2$ ) dan dengan asumsi bahwa jumlah gas  $\text{H}_2 + \text{O}_2$  yang dihasilkan reaktor elektrolisa air adalah proporsional maka stokiometri pembakaran yang terjadi adalah:



Dengan menambah sejumlah  $n (\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2)$ , dimana  $n$  adalah jumlah mol gas elektrolisa yang masuk ke ruang bakar. Penambahan gas

elektrolisa ini secara ideal tidak mempengaruhi AFR standarnya, karena oksidator gas  $H_2$  telah setimbang dari yang dihasilkan oleh reaktor elektrolisis air.

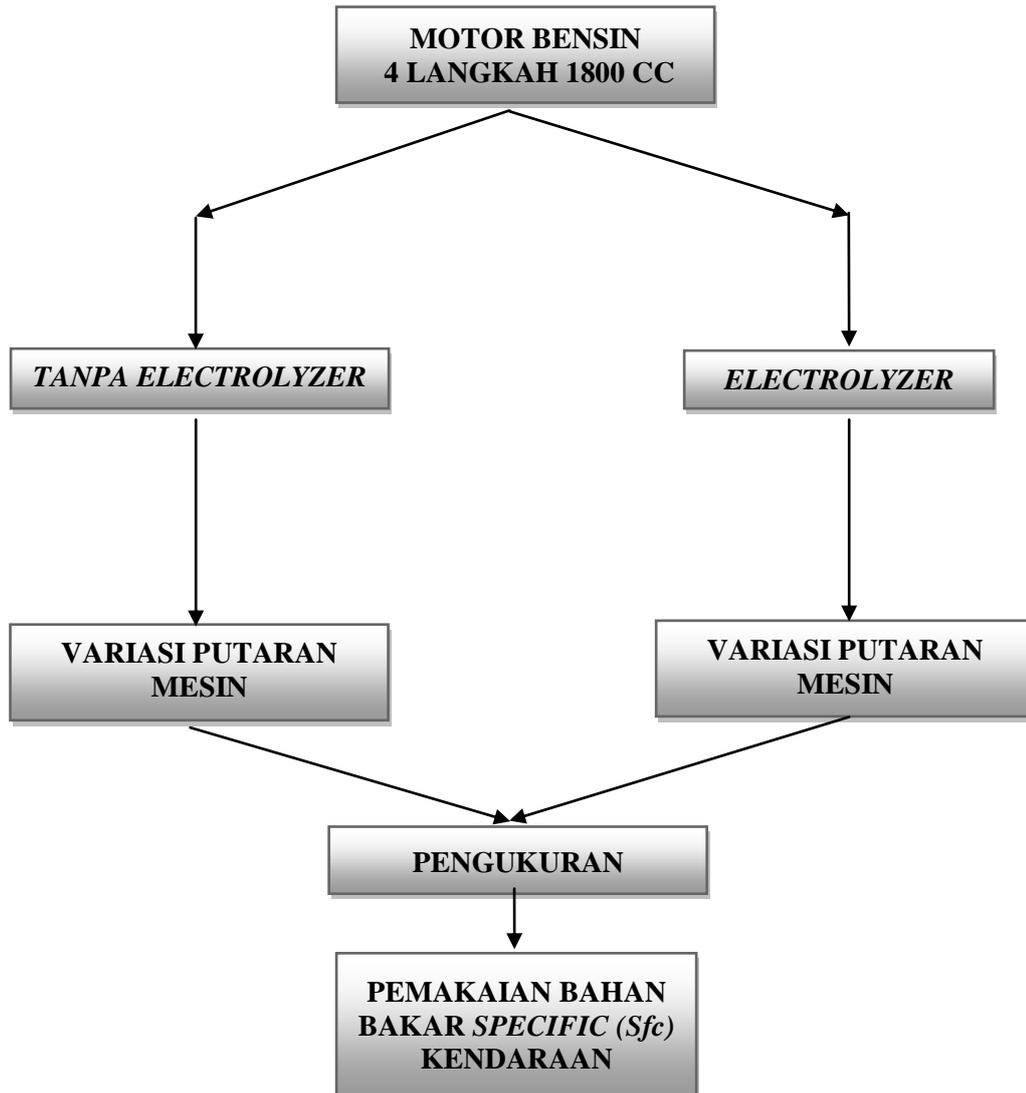
## **B. Penelitian Yang Relevan**

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penggunaan elektrolisis air. Adapun penelitian yang relevan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Farda Pega Libra Gojandra (2014), dengan judul “Pembuatan reaktor *Electrolyzer* untuk produksi gas hydrogen sebagai campuran pada bensin upaya penghematan bahan bakar dan menurunkan kadar emisi gas buang HC dan CO pada Toyota Kijang 5K “ menyimpulkan bahwa penambahan gas tersebut mempengaruhi konsumsi bahan bakar dan emisi lebih rendah.
2. Sigit Wicahyo (2012), dengan judul “ Pengaruh penggunaan *hydrogen booster electrolyzer* terhadap performa mesin dan emisi gas buang pada sepeda motor empat langkah”. Menyimpulkan bahwa penggunaan *Hydogen Booster Electrolyzer* dapat meningkatkan performa mesin yaitu torsi dan daya mesin.
3. Roziq Faizin pada jurnalnya yang berjudul pengaruh penggunaan elektroliser air dan pemanasan bahan bakar bensin melalui pipa kapiler bersirip transversal profil persegi di dalam *upper tank* radiator terhadap konsumsi bahan bakar pada mesin Toyota Kijang. Hasil penelitiannya adalah terjadi penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 5,4% tiap

siklusnya. Sedangkan pada penggunaan pemanasan bahan bakar terjadi penurunan 13% tiap siklusnya.

### C. Kerangka Konseptual



#### **D. Hipotesis Penelitian**

Berdasarkan kajian teori dan kerangka berpikir, maka hipotesis untuk penelitian ini yaitu terdapat pengaruh yang positif atau signifikan terhadap pemakaian bahan bakar *specific* motor bensin 4 langkah 1800 CC.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

Berdasarkan data yang diperoleh dan analisis yang telah dilakukan, maka di dalam penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, mesin dengan *electrolyzer* memberikan perubahan pemakaian bahan bakar *specific* yang lebih rendah dibandingkan dengan mesin standar pada motor bensin 4 langkah 1800 cc yaitu pada putaran mesin 1500 rpm dapat menghemat 7,74 % bahan bakar, pada putaran mesin 3000 rpm 9,8% dan 4500 rpm 0,29%.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, mesin dengan *electrolyzer* memberikan perubahan daya pada putaran 1500 rpm 1,71 % , pada putaran 3000 rpm 6,35%, dan pada putaran 4500 rpm 5,70 %. Perubahan torsi yang didapat pada putaran 1500 rpm 5,13 %, pada putaran 3000 rpm 6,21%, dan pada putaran 4500 rpm 5,68 %.
3. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dijabarkan menggunakan *uji t* maka didapatkan rata-rata dari masing-masing pemakaian bahan bakar *specific* dari penggunaan *electrolyzer* dibandingkan dengan mesin standar pada putaran mesin 1500 rpm rata-ratanya 21,8479 (signifikan) sedangkan untuk putaran 3000 rpm rata-ratanya 9,2857 (signifikan) dan untuk putaran 4500 rpm rata-ratanya 6,7322 (signifikan).

## B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Penelitian ini masih terbatas hanya pada beberapa putaran mesin yang mewakili, pada penelitian lanjutan untuk putaran yang lebih tinggi.
2. Hindari panas reaktor yang berlebihan karena arus dan voltase yang besar, sebaiknya dipasang DC *stepdown*.
3. Sebaiknya peneliti lain juga melakukan penelitian mencari pemakaian bahan bakar *specific* dari perbandingan mesin standar dengan mesin menggunakan *electrolyzer* dengan memvariasikan pengapiannya yakni dengan menggunakan busi standar dan busi *racing* atau memvariasikan saat pengapian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arends, Berenschot. 1996. *Motor Bensin*. Jakarta : Erlangga.
- Asoke K. Ghosh . (2009). *Fundamentals Of Internal Combustion Engines* . New Delhi : PHI learning Privat Limited
- Charles, W. Keenand. (1993). *Ilmu Kimia Untuk Universitas jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- College of the Desert. (2001). *Hydrogen Fuel Cell and Related Technologies*. USA
- Farda Pega Libra Gojandra. 2014. *Pembuatan Reaktor Electrolyzer Untuk Produksi Gas Hydrogen Sebagai Campuran Pada Bensin Upaya Penghematan Bahan Bakar Dan Menurunkan Kadar Emisi Gas Buang HC Dan CO Pada Toyota Kijang 5K*. Padang: Universitas Negeri Padang
- Ganesan. 2003. *Internal Combustion Engines. United State of America* : Mc Graw Hill.
- Hasan Maksum, dkk. 2012. *Teknologi Motor Bakar*. Padang : UNP Press.
- Lipson. 1973. *Statitital Design and Analysis On Engineering Experiments*. Tokyo: Mc Graw-Hill Kogakhusa, Ltd.
- Mawardi Silaban. 2011. *Kinerja Mesin Bensin Berdasarkan Perbandingan Pelumas Mineral dan Sintetis*. Tangerang : Balai Besar Teknologi Energi
- Musa Iskandar. (2011). Pengaruh Penambahan Browns Gas terhadap prestasi dan Emisi gas Buang Motor Bensin.
- N. Petrovsky - Horace E Isakson.1979. *Marine Internal Combustion Engines*. Moscow: MIR Publishers.
- Northop. 1997. *Service Auto Mobil*. Bandung : Pustaka Setia.
- Poempida Hidayatullah dan F. Mustari. (2008). *Rahasia Bahan Bakar Air*. Jakarta: Ufuk Press.
- Raymond Chang. (2004). *Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Restu Indra Waskto (2012). *Analisis Penggunaan Gas Hidrogen Hasil Elektrolisis Air Pada Motor Bakar 4 Langkah Yang Diinjeksikan Setelah Karburator Dengan Variasi Lubang Mixer*. Jakarta: UI