



TUGAS AKHIR TM 091585

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN PENDINGIN *THERMOELECTRIC* PADA GENERATOR HHO TIPE KERING TERHADAP LAMA WAKTU PENGOPERASIAN

ADITYA PERDANA KUSUMA
NRP 2115 105 014

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR TM 091585

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN
PENDINGIN *THERMOELECTRIC* PADA GENERATOR
HHO TIPE KERING TERHADAP LAMA WAKTU
PENGOPERASIAN**

**ADITYA PERDANA KUSUMA
NRP 2115 105 014**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc.**

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017**



FINAL PROJECT TM 091585

**THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF
ADDING THERMOELECTRIC COOLER ON DRY TYPE
HHO GENERATOR TO OPERATING TIME**

**ADITYA PERDANA KUSUMA
NRP 2115 105 014**

**ADVISOR:
Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc.**

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2017**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH
PENAMBAHAN PENDINGIN *THERMOELECTRIC*
PADA GENERATOR HHO TIPE KERING
TERHADAP LAMA WAKTU PENGOPERASIAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Aditva Perdana Kusuma

NRP. 2115 105 014

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng.Sc. (Pembimbing)
NIP. 196604021989031002
2. Dr. Bambang Sudarmanta, ST, MT. (Penguji I)
NIP. 197301161997021001
3. Bambang Arip D, ST, M.Eng., PhD. (Penguji II)
NIP. 197804012002121001
4. Ary Bachtiar K. P., ST., MT., Ph.D. (Penguji III)
NIP. 197105241997021001

**SURABAYA
JULI, 2017**

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH PENAMBAHAN PENDINGIN *THERMOELECTRIC* PADA GENERATOR HHO TIPE KERING TERHADAP LAMA WAKTU PENGOPERASIAN

Nama Mahasiswa : Aditya Perdana Kusuma
NRP : 2115105014
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. Sc.

Abstrak

Kebutuhan akan bahan bakar setiap waktu meningkat baik di sektor industri, kendaraan, rumah tangga, pertanian, dll. Dalam memenuhi kebutuhannya, masyarakat masih bergantung pada bahan bakar fosil. Sedangkan jumlah bahan bakar fosil terbatas karena bahan bakar ini tidak dapat diperbarui. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil. Salah satu alternatif yang dapat digunakan yaitu air. Agar air dapat digunakan sebagai bahan bakar diperlukan proses elektrolisis. Melalui proses ini akan dihasilkan gas hidrogen-oksigen atau dikenal sebagai gas HHO. Alat untuk melakukan proses elektrolisis ini disebut generator HHO. Dalam pengoperasiannya, generator ini masih sangat dibatasi oleh temperatur elektrolit yang terus meningkat. Temperatur elektrolit dibatasi pada 75°C.

Penelitian ini bertujuan bagaimana agar temperatur elektrolit pada generator HHO tidak mencapai 75°C sehingga dapat beroperasi lebih lama. Generator HHO yang digunakan pada penelitian ini yaitu tipe kering dengan elektroda plat stainless steel dengan dimensi 130mm x 110mm. Elektrolit yang digunakan adalah campuran aquades dan Kalium Hidroksida (KOH) dengan perbandingan 10 gram KOH/ 1 liter aquades.

Metode yang digunakan agar generator HHO beroperasi lebih lama yaitu dengan menambahkan modul pendingin termoelektrik (TEC). Dengan memberikan tegangan pada TEC maka akan terjadi beda temperatur pada kedua sisi termoelektrik, sisi panas dan sisi dingin. Sisi dingin termoelektrik ditempelkan pada sisi plat-plat (elektroda-elektroda) generator HHO. Elektrolit akan didinginkan oleh plat-plat yang telah didinginkan oleh sisi dingin TEC. Lalu, panas akan diserap dari sisi dingin ke sisi panas yang selanjutnya dibuang ke udara.

Dari penelitian diperoleh waktu operasi dari berbagai variasi tegangan yang masuk TEC. Untuk mencapai temperatur elektrolit 75 °C generator tanpa HHO memerlukan waktu 115 menit, pada generator dengan TEC 2 volt waktu yang diperlukan adalah 122 menit, dan pada TEC 6 volt memerlukan waktu 87 menit. TEC dengan tegangan 12 volt mengalami kenaikan panas sangat cepat yaitu mencapai 100 °C sehingga tidak dapat digunakan.

Kata kunci: generator HHO, gas HHO, TEC, temperatur elektrolit, waktu operasi.

THE EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF ADDING THERMOELECTRIC COOLER ON DRY TYPE HHO GENERATOR TO OPERATING TIME

Nama Mahasiswa : Aditya Perdana Kusuma
NRP : 2115105014
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Atok Setiyawan, M.Eng. Sc.

Abstract

Every time, the needs for fuel increase in industry, transportation, household, agriculture, etc. To fulfill the needs, people still depend to fossil fuel. While the amount of fossil fuel is limited because it can not renewed. To solve that problem, alternatif solution is necessary. One alternatif can be used is water. In order for water can be used as fuel, electrolysis process is needed. This process will produce hydrogen-oxygen gas (HHO gas). The tool for conducting this process is called HHO generator. In the operation, this generetor is very limited by increasing electrolyte temperature. Electrolyte temperature is limited to 75 °C.

The purpose of this reseach is how the electrolyte temperature of HHO generator does not reach 75°C, so it can be operated longer. The HHO generator used in this research is dry type with ten stainless steel plate electrode with dimension 130mm x 110mm. Electrolyte used is mixture of aquades and potassium hydroxyde (KOH) with a ratio 10 gram KOH/ 1 liter of aquades. The method used for HHO generator longer is by adding Thermoelectric Cooling module (TEC). By providing a voltage to TEC there will be temperature difference on both side of thermoelectric, hot and cool side. Cool side of thermoelectric is attached to generator HHO plates side (electrodes). Electrolyte will be cooled by plates that cooled by cool side of TEC. Then, the

hot will be absorbed from cool to hot side which is then thrown to air.

Operating time from various variation of voltage TEC is obtained from this reseach. HHO generator without TEC takes 115 minutes to reach electrolyte temperature 75°C. On generator with 2 volt TEC takes 122 minutes, and 6 volt TEC takes 87 minutes. TEC with 12 volt can not be used because its hot side reached 100⁰C very quick.

Keyword : HHO generator, HHO gas, TEC, electrolyte temperature, operation time.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia, rizki, taufik, rahmat dan hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai. Keberhasilan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan berbagai pihak. Melalui kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, Bapak, dan adik tercinta yang selalu mendukung lewat doa, materi dan moril.
2. Bapak Atok Setiyawan selaku pembimbing Tugas Akhir yang telah membimbing, memberi waktu, tenaga dan pikirannya.
3. Bapak Bambang Sudarmanta, Bapak Bambang Arip, Bapak Ary Bachtiar selaku penguji yang telah memberikan masukan sarannya.
4. Febri Ida sebagai kakak kelas dan satu tim Tugas Akhir yang telah banyak membantu, meminjamkan peralatannya, dan membimbing penulis.
5. Amirudin yang telah meminjamkan seperangkat peralatan generator HHO, memberi masukan dan saran.
6. Tim Tugas Akhir HHO (B. Ashar dan Wira) yang banyak membantu dan mendukung penulis dari tahap persiapan hingga pengujian alat.
7. Sahabat kontak (Depi, Dicky, Mulki, Hilman, Zain, Opik, dan Aldi) yang saling mendukung satu sama lain.

8. Anak-anak lab. TPBB, terutama Hashfi sebagai koordinator laboratorium yang banyak membantu penulis dalam pengujian alat.
9. Pak Karmono yang telah membantu dalam peminjaman peralatan lab.
10. Bapak-bapak LJ Teknik Mesin 2015 yang saling membantu untuk menyelesaikan masalah-masalah lainnya.
11. Dan seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Terima kasih atas segala bantuannya, semoga Allah membalas dengan kebaikan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi masyarakat luas. Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	
Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air.....	5
2.2 <i>Brown Gas</i> (Gas HHO)	5
2.3 Proses Elektrolisis	6
2.4 Karakteristik Gas HHO	8

2.5	Generator HHO	9
2.5.1	Klasifikasi Generator HHO	9
2.5.2	Parameter Unjuk Kerja Generator HHO.....	11
2.5.3	Komponen-Komponen Generator HHO.....	17
2.7	Sistem Pendingin	26
2.7.1	Thermoelectric Cooler (TEC).....	26
2.7.2	Efek Peltier	28
2.8	Penelitian Terdahulu.....	31
BAB III METODOLOGI		37
3.1	Diagram alir.....	37
3.2	Desain Peralatan	39
3.3	Peralatan yang digunakan.....	40
3.4	Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO.....	44
3.4.1	Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO tanpa Pendingin Termoelektrik.....	45
3.4.2	Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO dengan Penambahan TEC.....	46
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Perhitungan.....	51
4.1.1	Daya yang Dibutuhkan Generator Gas HHO	51
4.1.2	Efisiensi Generator HHO.....	51
4.1.3	Perpindahan Panas Generator	53
4.2	Grafik dan Pembahasan.....	55
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		67

5.1 Kesimpulan	67
5.2 Saran	67
Lampiran A	71
Lampiran B.....	75
Lampiran C.....	80
Lampiran D	82

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1 Dekomposisi Air Menjadi Gas HHO	6
Gambar 2-2 Generator HHO Tipe Kering.....	10
Gambar 2-3 Generator HHO Tipe Basah	11
Gambar 2-4 Hubungan antara Reaksi Kimia dengan Energi yang Dibutuhkan	19
Gambar 2-5 Konstruksi Dalam TEC	27
Gambar 2-6 Prinsip Kerja Efek Peltier.....	30
Gambar 2-7 Temperatur Elektrolit vs Waktu.....	32
Gambar 2-8 Grafik Temperatur vs Waktu (TEC tanpa fin)	34
Gambar 2-9 Grafik Temperatur Vs Waktu dengan Fin.....	35
Gambar 2-10 Temperatur Elektrolit vs Waktu dengan Variasi <i>Duty Cycle</i>	36
Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian	38
Gambar 3-2 Dimensi Generator HHO.....	39
Gambar 3-3 Modul TEC.....	40
Gambar 3-4 Fin (Heatsink).....	41
Gambar 3-5 Flowmeter	41
Gambar 3-6 Power Supply	42
Gambar 3-7 PWM (Pulse Width Modulation)	42
Gambar 3-8 Termometer	42
Gambar 3-9 Timbangan Digital	43
Gambar 3-10 Clamp Amperemeter	43
Gambar 3-11 Voltmeter Digital	44
Gambar 3-12 Rangkaian Generator HHO tanpa TEC.....	45
Gambar 3-13 Kurva Performa TEC pada $T_{hot} = 25^{\circ}\text{C}$	47
Gambar 3-14 Pemasangan TEC dan Fin pada generator HHO ...	47
Gambar 3-15 Rangkaian Generator HHO dengan TEC	48
Gambar 3-16 Pemasangan Sensor Temperatur	49

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2-1 Properti Hidrogen.....	8
Tabel 2-2 Standard Komposisi Stainless Steel.....	22

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4-1 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 0$	55
Grafik 4-2 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 2$ volt..	56
Grafik 4-3 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 6$ volt..	57
Grafik 4-4 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 12$ volt	58
Grafik 4-5 Temperatur Elektrolit berbagai Variasi vs Waktu	59
Grafik 4-6 Perpindahan Panas dari Generator.....	59
Grafik 4-7 Arus Generator HHO vs Waktu.....	61
Grafik 4-8 Laju Produksi Gas vs Waktu	63
Grafik 4-9 Efisiensi Generator vs Waktu	65

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR SIMBOL

η_{HHO}	= Efisiensi Generator Gas HHO (%)
R	= Konstanta Gas ideal (L.atm/mol.K) =8,314 KJ/Kmol K
ρ	= Massa Jenis (Kg/m ³)
β	= koefisien termal ekspansi fluida (K ⁻¹)
ν	= viskositas kinematik (m ² /s)
α	= <i>thermal diffusivity</i> (m ² /s)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan bakar adalah sesuatu yang memiliki dan menyimpan energi. Keberadaannya sangat dibutuhkan di berbagai sektor seperti industri, pertanian, rumah tangga, kendaraan, dll. Di antara semua sektor-sektor itu, kendaraanlah yang hampir digunakan setiap hari oleh hampir seluruh masyarakat. Semua kendaraan dipastikan membutuhkan bahan bakar agar memperoleh energi. Namun, tidak semua benda dapat menjadi bahan bakar untuk motor. Salah satu jenis bahan bakar yang digunakan oleh kendaraan bermotor adalah bensin. Jumlah kendaraan mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya target produksi industri otomotif setiap tahunnya. Maka dapat dipastikan kebutuhan bahan bakar bensin akan terus meningkat. Di sisi lain, bahan bakar bensin merupakan jenis bahan bakar yang diperoleh dari hasil penambangan dan tidak dapat diperbarui. Karena bensin tidak dapat diperbarui, maka masalah yang timbul adalah bagaimana jika bahan bakar ini habis nanti. Maka diperlukan beberapa bahan bakar alternatif yang secara perlahan-lahan mampu mengurangi ketergantungan kepada bensin. Terdapat beberapa pilihan bahan dasar yang dapat digunakan untuk memperoleh bahan bakar alternatif seperti tumbuhan, biji-bijian, bahkan air. Bahan-bahan tersebut merupakan bahan yang dapat diperbarui.

Ketersedian air yang masih banyak, hampir 70% menutupi permukaan bumi menjadi salah satu faktor pendukung penelitian bahan bakar air. Air yang mengandung molekul H_2O dapat dipecah melalui proses elektrolisis menjadi gas hidrogen dan gas oksigen atau lebih dikenal gas HHO. Gas HHO yang diproduksi melalui proses ini dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif untuk kendaraan motor.

Untuk memproduksi gas HHO diperlukan sebuah elektroliser atau dikenal juga generator HHO. Ada dua tipe generator yang sering digunakan yaitu tipe kering dan tipe basah. Kelebihan generator HHO tipe kering yaitu panas yang ditimbulkan saat terjadi elektrolisis relatif lebih kecil dibanding dengan tipe basah. Generator HHO tipe kering terdiri dari beberapa plat yang disusun secara vertikal maupun horizontal. Walaupun pada generator HHO tipe kering panas yang ditimbulkan lebih kecil daripada tipe basah, tetap saja panas yang ditimbulkan generator HHO tipe kering ini dapat menjadi masalah. Salah satu masalah yang ditimbulkan dari panas ini yaitu akan menaikkan temperatur elektrolit. Generator HHO dapat dioperasikan sebelum air mengalami penguapan. Terjadinya penguapan air pada elektrolit sangat dihindari dalam proses produksi gas HHO karena akan menurunkan kualitas gas, uap air akan bercampur dengan gas HHO dan bila masuk ke dalam *engine* dapat merusak silinder. Jadi temperatur elektrolit merupakan salah satu batasan berapa lama generator HHO dapat dioperasikan. Untuk mengatasi masalah di atas maka diperlukan cara untuk mendinginkan elektrolit tersebut, yaitu dengan menggunakan *Thermoelectric Cooler* (TEC). TEC merupakan sebuah modul memiliki dua buah sisi, dingin dan panas. TEC dapat memindahkan panas dari sisi dingin ke sisi panasnya. Dengan menempelkan sisi dingin TEC pada elektroda generator HHO diharapkan dapat memperlambat laju kenaikan temperatur elektrolit sehingga lama waktu operasi generator gas HHO dapat bertambah.

1.2 Rumusan Masalah

Seperti yang telah diceritakan pada bagian latar belakang, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana performa generator dan temperatur elektrolit tanpa penambahan TEC?

2. Bagaimana pengaruh TEC terhadap performa generator gas HHO dan temperatur elektrolit?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Elektrolit yang digunakan adalah campuran aquades dan KOH dengan perbandingan 10 gram KOH/ 1 liter aquades.
2. Tegangan operasi generator 12 volt.
3. Lama waktu operasi generator dibatasi hingga temperatur elektrolit tidak lebih dari 75°C atau hingga sisi panas TEC mencapai 100°C.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, maka tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui performa generator gas HHO dan temperatur elektrolit tanpa penambahan TEC.
2. Mengetahui pengaruh penambahan TEC terhadap performa generator HHO dan temperatur elektrolit.

1.5 Manfaat Penelitian

Ada beberapa manfaat yang diharapkan dari penelitian ini. Pertama, masyarakat dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak sedikit demi sedikit. Karena bahan bakar minyak terus menerus diproduksi dan tidak dapat diperbarui sehingga akan berujung pada habisnya sumber bahan bakar minyak. Kedua, waktu operasi generator dapat bertambah dan dapat diaplikasikan secara luas.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

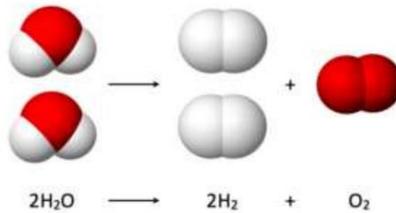
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Air

Air merupakan substansi kimia dengan rumus kimia H_2O , satu molekul air tersusun atas dua atom hidrogen yang terikat secara kovalen dengan satu atom oksigen. Air sering disebut sebagai pelarut universal karena memiliki kemampuan untuk melarutkan banyak zat kimia lainnya. Air juga merupakan elektrolit lemah yang dapat terionisasi menjadi ion-ion H^+ dan OH^- . Tarikan atom oksigen pada elektron-elektron ikatan lebih kuat dari pada yang dilakukan oleh atom hidrogen, meninggalkan jumlah muatan *positif* pada kedua atom hidrogen dan jumlah muatan negatif pada atom oksigen (Isana, 2010).

2.2 Brown Gas (Gas HHO)

Gas HHO merupakan gas hasil dari proses pemecahan molekul air murni (H_2O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (Peter E.W Lowrie, 2005). Pada tahun 1974 Ilmuwan asal Bulgaria, yakni "Yull Brown" menemukan metode yang tepat dalam elektrolisis air untuk menghasilkan gas HHO dan kemudian dipatenkan sehingga gas ini sering disebut dengan istilah "*Brown gas*". Selain "*Brown gas*", gas ini juga dikenal dengan istilah "*oxy-hydrogen*". *Brown gas* tersusun dari gas hidrogen dan oksigen yang merupakan unsur pokok dalam pembakaran, sehingga banyak penelitian terkait elektrolisis *brown gas* ini dan aplikasinya pada mesin-mesin pembakaran khususnya motor pembakaran dalam.



Gambar 2-1 Dekomposisi Air Menjadi Gas HHO

Sumber: (Sudarmanta, Darsopuspito, & Sungkono, 2016)

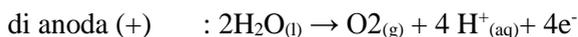
2.3 Proses Elektrolisis

Elektrolisis adalah suatu proses untuk memisahkan senyawa kimia menjadi unsur-unsurnya atau memproduksi suatu molekul baru dengan memberi arus listrik (*Anne Marie Helmenstine, 2001*). Jadi, elektrolisis air adalah proses memecah molekul air (H_2O) menjadi Hidrogen (H_2) dan Oksigen (O_2). Elektrolisis air pada dasarnya dilakukan dengan mengalirkan arus listrik ke air melalui dua buah elektroda (Katoda dan Anoda). Reaksi kimia akan terjadi jika arus listrik dialirkan melalui larutan air, yakni dengan mengubah energi listrik menjadi energi kimia yang disebut sebagai “reaksi redoks”. Adapun beberapa syarat terjadinya reaksi redoks diantaranya: adanya larutan air yang mengandung ion-ion bebas yang dapat memberikan atau menerima elektron, ada sumber arus listrik dari luar dan ada perantara elektroda penghantar (katoda dan anoda).

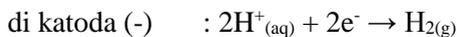
Elektroda yang menerima elektron dari sumber arus listrik disebut katoda sedangkan elektroda yang mengalirkan elektron kembali ke sumber arus listrik disebut anoda. Pada katoda dua molekul air bereaksi dengan menangkap dua elektron, tereduksi menjadi gas Hidrogen (H_2) dan ion hidroksida (OH^-). Sementara itu pada anoda, dua molekul air lain terurai menjadi gas

Oksigen (O_2) dan empat ion H^+ . Ion H^+ dan OH^- mengalami netralisasi sehingga terbentuk kembali beberapa molekul air. Apabila elektrolit yang digunakan dari jenis garam seperti $NaCl$, KCl dan $NaCO_3$, maka akan terjadi reaksi asam. Secara lengkap reaksi-reaksi tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

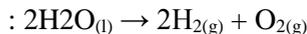
Reaksi oksidasi



Reaksi reduksi

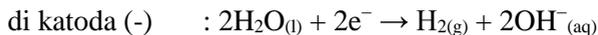


Reaksi keseluruhan

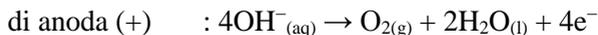


Jika elektrolit yang digunakan adalah larutan basa seperti KOH atau $NaOH$ (basa dari golongan periode IA, alkali tanah) maka akan terjadi reaksi basa. Pada reaksi basa, reaksi reduksi terjadi di katoda dimana molekul air mengikat elektron (e^-) sehingga terpecah menjadi gas Hidrogen (H_2) dan anion OH^- . Anion OH^- tersebut kemudian tertarik kesisi anoda dan terpecah menjadi gas oksigen dan molekul $H_2O_{(l)}$, sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut:

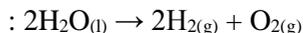
Reaksi reduksi



Reaksi oksidasi



Reaksi keseluruhan

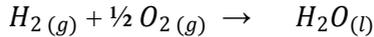


Dari kedua reaksi, asam ataupun basa dapat dilihat bahwa pada kedua reaksi tersebut produk yang dihasilkan dari elektrolisis 2 mol H_2O memiliki komposisi yang sama yaitu 2 mol gas Hidrogen dan 1 mol gas Oksigen. Pada jenis kedua reaksi diatas, gas

hidrogen sama-sama dihasilkan pada elektroda negatif (katoda) dan gas oksigen pada elektroda positif (anoda).

2.4 Karakteristik Gas HHO

Gas HHO terdiri dari gas Hidrogen dan Oksigen, dengan perbandingan komposisi mol 2:1. Perbandingan ini adalah perbandingan yang *stoikiometri* untuk terjadinya reaksi pembakaran (oksidasi) gas hidrogen oleh gas oksigen. Reaksi pembakaran pada gas HHO pada dasarnya adalah reaksi terikatnya kembali hidrogen pada oksigen untuk membentuk molekul air. Sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut ini:



Persamaan reaksi kimia tersebut merupakan kebalikan dari persamaan kimia pada proses elektrolisis air. Jika pada proses elektrolisis air bertujuan untuk memecah molekul air membutuhkan energi, maka sebaliknya pada reaksi oksidasi hidrogen melepaskan sejumlah energi. Gas hidrogen mempunyai beberapa karakteristik yaitu: tidak berwarna, mudah terbakar, sangat ringan dan sangat mudah bereaksi dengan zat kimia lainnya. Namun gas HHO pada kondisi normal tidak akan terbakar dengan sendirinya tanpa adanya sumber panas (api). (Arzaqa, 2013)

Tabel 2-1 Properti Hidrogen

Property	Hydrogen
Density at 1 atm and 300 K (kg/m ³)	0.082
Stoichiometric composition in air (% Volume)	29.53
Kinematic Viscosity at 300 K (mm ² /s)	110
Research Octane Number	130
Lower Heating Value (MJ/kg)	119.7
Thermal conductivity at 300 K (mW/m K)	182.0
Diffusion coefficient into air at NTP (cm ² /s)	0.61
Stoichiometric fuel/air mass ratio	0.029

Sumber : <http://www.scielo.br>

2.5 Generator HHO

Secara umum, generator HHO terdiri dari dua komponen utama yaitu tabung generator gas HHO dan sumber tegangan. Bagian tabung generator gas HHO terdiri dari tabung, sepasang elektroda (anoda-katoda) dan elektrolit. Sumber tegangan dapat berupa baterai, aki, atau dari listrik PLN dengan adaptor AD-DC.

Pada dasarnya, generator HHO bekerja dengan prinsip elektrolisis air. Arus (DC) mengalir melalui elektrolit dengan perantara elektroda. Hal ini menyebabkan terjadinya reaksi redoks yaitu perubahan dari energi listrik menjadi energi kimia. Reaksi tersebut menyebabkan molekul-molekul air pecah dan membentuk gas hidrogen dan gas oksigen. Semakin besar arus yang melewati larutan elektrolit maka semakin banyak gas HHO yang akan dihasilkan.

2.5.1 Klasifikasi Generator HHO

Generator gas HHO diklasifikasikan menjadi dua tipe yaitu tipe kering (*dry type*) dan tipe basah (*wet type*).

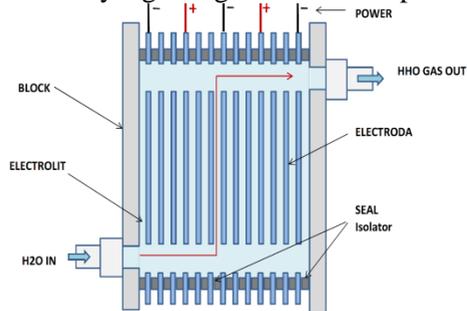
1. Generator/Elektroliser Dry Cell

Adalah generator yang elektrodanya tidak direndam di dalam larutan elektrolit. Pada generator tipe ini elektrolit mengisi celah-celah antar elektroda yang dijajar, sehingga proses elektrolisis terjadi ketika elektrolit mengalir melalui elektroda. Larutan elektrolit ditampung pada sebuah reservoir yang disimpan di atas elektroliser.

Keuntungan generator gas HHO tipe kering yaitu:

- Panas yang timbul pada saat terjadi elektrolisis relatif lebih kecil karena selalu terjadi sirkulasi antara elektrolit panas dan dingin di reservoir.
- Arus yang digunakan relatif lebih kecil karena daya yang terkonversi menjadi panas semakin sedikit.

- Elektrolit yang digunakan lebih sedikit, yaitu elektrolit yang mengisi celah antar plat.



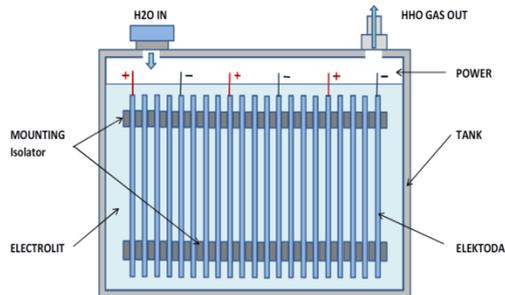
Gambar 2-2 Generator HHO Tipe Kering

2. Generator Gas HHO Tipe Wet Cell

Adalah generator gas HHO yang elektrodanya direndam di dalam elektrolit yang ditampung sebuah bejana. Terdapat beberapa kekurangan pada elektroliser tipe ini, yaitu elektroliser akan menjadi panas sehingga dapat mengurangi efisiensi dari elektroliser itu sendiri karena daya yang digunakan akan terkonversi menjadi panas. Selain itu, seiring bertambahnya temperatur elektroliser terhadap waktu maka gas keluaran dari elektroliser tidak akan stabil karena tercampur dengan uap air.

Adapun kelebihan yang dimiliki generator HHO tipe basah yaitu:

- Gas yang dihasilkan umumnya lebih banyak.
- Perawatan lebih mudah.
- Rancang bangun lebih mudah.



Gambar 2-3 Generator HHO Tipe Basah

2.5.2 Parameter Unjuk Kerja Generator HHO

Beberapa hal yang harus diperhatikan pada penggunaan generator HHO baik tipe kering maupun basah pada kendaraan bermotor atau generator-set seperti seberapa besar daya yang dibutuhkan oleh generator HHO. Elektroliser dinyatakan baik apabila memiliki kinerja yang baik dalam menghasilkan gas yang dapat digunakan sebagai bahan bakar. Diperlukan parameter unjuk kerja agar mengetahui karakteristik terbaik dari generator HHO. Adapun parameter unjuk kerja dari generator HHO tersebut adalah:

- a) Daya yang dibutuhkan generator HHO.
- b) Temperatur fluida pada generator HHO.
- c) Laju produksi gas HHO.
- d) Efisiensi generator HHO.

Berikut adalah penjelasan lebih dalam mengenai beberapa parameter unjuk kerja generator gas HHO.

- a. Daya yang dibutuhkan Generator Gas HHO

Untuk menghasilkan gas HHO dengan menggunakan elektrolisis maka dibutuhkan energi listrik. Jika generator

gas digunakan untuk *engine*, maka kebutuhan energi listrik dapat diambil dari alternator yang bisa memberikan arus bolak-balik.

Dalam penelitian ini sumber yang digunakan adalah tegangan AC dari PLN yang diubah menjadi tegangan DC menggunakan konverter.

Perhitungan daya yang dibutuhkan oleh generator dapat diperoleh dengan persamaan:

$$P = V \times I \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

P : Daya yang dibutuhkan generator HHO (Watt)

V : Beda potensial (Volt)

I : Arus listrik (Ampere)

b. Temperatur

Temperatur elektrolit dan cell mengalami peningkatan sesuai dengan fungsi waktu pada saat proses elektrolisa. Peningkatan temperatur tersebut mengakibatkan energi molekul-molekul meningkat dan bergerak lebih cepat. Hal ini mengakibatkan banyak molekul yang mencapai energi pengaktifan sehingga reaksi berlangsung lebih cepat. Peningkatan suhu mempengaruhi produksi HHO. Semakin meningkat suhu menyebabkan volume yang dihasilkan tiap waktu juga meningkat. Tetapi hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas dari gas HHO karena produksi gas akan tercampur dengan uap air. Penelitian menemukan bahwa generator gas HHO akan mencapai performa terbaik pada temperatur di bawah 70°C.

c. Laju Produksi Gas HHO

Produk utama proses elektrolisis air dengan menggunakan gas HHO adalah gas HHO. Laju produksi gas HHO adalah salah satu parameter untuk mengetahui seberapa baik kerja generator HHO. Laju alir massa dari gas HHO dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$m_i = Q \times \rho \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana:

m_i : Laju produksi gas HHO (kg/s)

Q : Debit produksi gas HHO (m^3/s)

ρ : Massa jenis HHO (kg/m^3)

Dengan perumusan debit produksi gas HHO:

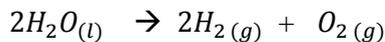
$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana:

V : Volume gas terukur (m^3)

t : Waktu produksi gas HHO (s)

Dari persamaan reaksi kimia elektrolisis air (H_2O) dapat diketahui besar kandungan masa H_2 dalam gas HHO. Jika masa H_2O yang dielektrolisis sebanyak 1 kg, maka masa produk total H_2 dan O_2 juga 1 kg, sehingga dengan mengetahui nilai $Mr H_2O$: 18, $Mr H_2$: 2 dan $Mr O_2$: 32, maka didapatkan mol H_2 :



$$Mol = \frac{Massa}{Mr} \dots \dots \dots (2.4)$$

Dari perbandingan mol pada persamaan reaksi kimia elektrolisis air, maka dapat dihitung besarnya massa gas H_2 dalam 1 kg gas HHO, sebagai berikut:

$$\text{Mol H}_2\text{O} = \frac{\text{massa H}_2\text{O}}{\text{Mr H}_2\text{O}} = \frac{1}{18} \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{Mol H}_2 &= \frac{\text{koefisien H}_2}{\text{Koefisien H}_2\text{O}} \times \text{mol H}_2\text{O} \\ &= \frac{2}{2} \times \frac{1}{18} = \frac{1}{18} \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa H}_2 &= \text{mol H}_2 \times \text{Mr H}_2 \\ &= \frac{1}{18} \times 2 = \frac{1}{9} \text{ kg} \end{aligned}$$

Jika pada STP massa jenis H_2 diketahui sebesar 0,08235 gr/liter dan masa jenis O_2 sebesar 1,3088 gr/liter (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka massa jenis HHO dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{HHO}} &= \frac{m_{\text{HHO}}}{V_{\text{HHO}}} = \frac{(m_{\text{H}_2} + m_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} \\ &= \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot V_{\text{H}_2} + \rho_{\text{O}_2} \cdot V_{\text{O}_2})}{V_{\text{HHO}}} \\ &= \frac{(\rho_{\text{H}_2} \cdot \frac{2}{3} V_{\text{HHO}} + \rho_{\text{O}_2} \cdot \frac{1}{3} V_{\text{HHO}})}{V_{\text{HHO}}} = \frac{2}{3} \times \rho_{\text{H}_2} + \frac{1}{3} \times \end{aligned}$$

ρ_{O_2}

$$\begin{aligned} \rho_{\text{HHO}} &= (2/3 \times 0,08235 \text{ gr/liter} + 1/3 \times 1,3088 \text{ gr/liter}) \\ &= 0,491167 \text{ gr/liter} \end{aligned}$$

d. Efisiensi Generator Gas HHO

Untuk mengetahui unjuk kerja dari generator gas HHO salah satunya dengan mengetahui efisiensi dari alat ini. Efisiensi adalah perbandingan antara energi yang

berguna (*output*) dengan energi yang diberikan (*input*) pada suatu sistem. Untuk mengetahui efisiensi generator HHO dapat menggunakan persamaan:

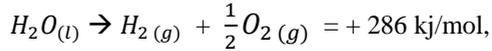
$$\eta = \frac{\text{Energi yang berguna (output)}}{\text{Energi yang diberikan (input)}} \times 100\% \dots\dots(2.5)$$

Pada generator HHO hasil yang berguna adalah produk elektrolisa air yang berupa gas HHO. Gas HHO yang terdiri dari gas H₂ dan O₂ mempunyai nilai kalor yang tinggi, sehingga dapat dimanfaatkan energi yang terkandung didalamnya untuk meningkatkan pembakaran pada motor bakar. Karakteristik gas HHO cenderung memiliki karakteristik yang hampir sama dengan gas penyusunnya (gas H₂).

Perubahan entalpi pembakaran standart adalah perubahan entalpi total pada suatu sistem reaksi (dimana reaktan dan produk reaksi dinyatakan sebagai sistem termodinamik), yang terjadi ketika suatu molekul bereaksi sempurna dengan oksigen yang terjadi pada 298° K dan tekanan atmosfer 1 atm. Umumnya nilai entalpi pembakaran dinyatakan dalam joule atau kilo joule per satu mol reaktan yang bereaksi sempurna dengan oksigen. Setiap sistem atau zat mempunyai energi yang terkandung di dalamnya. Energi potensial berkaitan dengan wujud zat, volume dan tekanan. Energi kinetik ditimbulkan karena atom-atom dan molekul-molekul dalam zat bergerak secara acak. Jumlah total dari semua bentuk energi itu disebut sebagai entalpi (H). Entalpi akan tetap konstan selama tidak ada energi yang masuk atau keluar dari zat, misalnya entalpi untuk air dapat ditulis H H₂O_(l) dan untuk es ditulis H 2H₂O_(s). Entalpi (H) suatu zat ditentukan oleh jumlah energi dan semua bentuk energi yang dimiliki zat yang jumlahnya tidak dapat diukur. Perubahan kalor atau entalpi yang terjadi selama

penerimaan atau pelepasan kalor dinyatakan dalam perubahan entalpi (Δh).

Pada reaksi penguraian air :



Merupakan reaksi endoterm yang menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif (+). Energi entalpi yang dihasilkan adalah $\Delta h_f = + 286 \text{ kJ/mol}$. Sedangkan energi ikatan yang dibutuhkan adalah melalui penurunan persamaan gas ideal pada kondisi STP, sebagai berikut:

$$PV = n \cdot \bar{R} \cdot T \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

P : tekanan gas ideal (atm)

V : volume gas terukur (liter)

n : molaritas senyawa (mol)

\bar{R} : konstanta gas ideal (liter.atm/mol.K)

T : Temperatur (K)

Energi ikatan didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk memutuskan satu mol ikatan dari suatu molekul dalam wujud gas. Energi ikatan dinyatakan dalam kilo joule per mol (kJ mol^{-1}). Untuk menghilangkan nilai per mol dari entalpi dan menyamakan nilai input dari daya dengan satuan Watt (J/s), maka volume gas dan mol diberi satuan per waktu. Perumusanya sebagai berikut:

$$P\dot{V} = \dot{n} \cdot \bar{R} \cdot T \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\dot{n} = \frac{P \cdot \dot{V}}{\bar{R} \cdot T} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana:

P : tekanan gas ideal (atm)

- \dot{V} : volume gas per detik (liter/s)
 \bar{R} : konstanta gas ideal (liter.atm/mol.K)
 \dot{n} : molaritas senyawa per waktu (mol/s)

Massa H₂ dalam gas HHO hanya sebesar 1/9 masa total gas HHO, maka NKB gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas H₂ yaitu: 1/9 x 119,93 kJ/g = 13,325 kJ/g atau 3812,754 kkal/kg. Jika pada STP massa jenis H₂ diketahui sebesar: 0,08235 gr/liter dan O₂ sebesar: 1,3088 gr/liter (*Cole Parmer Instrument, 2005*), maka efisiensi generator HHO dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini:

$$\eta = \frac{\text{Energi yang berguna (output)}}{\text{Energi yang diberikan (input)}} \times 100\%$$

$$= \frac{\Delta h_f \cdot \dot{n}}{V \cdot I} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

- η : efisiensi (%)
 Δh_f : Besarnya energi untuk penguraian 1 mol ikatan molekul air (+286 kJ/mol)
 \dot{n} : molaritas senyawa per waktu (mol/s)
 V : Tegangan listrik (Volt)
 I : Arus listrik (Ampere)

2.5.3 Komponen-Komponen Generator HHO

Untuk mengoperasikan generator HHO, dibutuhkan beberapa komponen selain dari komponen utama. Generator HHO memiliki komponen utama tabung generator HHO (*HHO cell*) dan sumber tegangan. Beberapa komponen yang digunakan pada generator HHO diantaranya:

1. HHO cell

HHO Cell merupakan sebuah komponen dimana proses elektrolisis air menjadi gas HHO terjadi dengan mengalir arus listrik melalui perantara elektroda. Terdapat dua tipe *HHO cell*, yaitu tipe kering dan tipe basah. Pada tipe kering biasanya elektroda terbuat dari plat *stainless steel* yang disusun dan diberi gasket atau *O-ring* diantara susunan plat sehingga larutan elektrolit bisa mengalir didalamnya. Sedangkan pada tipe basah elektroda bisa bermacam-macam bentuknya seperti spiral, plat, batang maupun bentuk pipa silinder, yang dicelupkan kedalam bejana yang berisi larutan elektrolit. Bentuk, jumlah, ukuran dan jarak antar elektroda akan mempengaruhi konsumsi arus listrik dan produksi gas HHO yang dihasilkan.

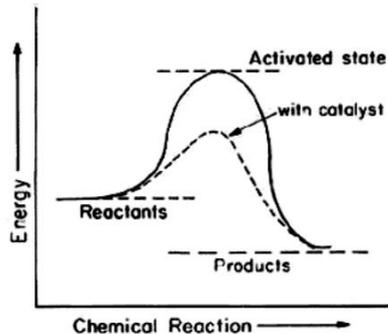
2. Sumber Tegangan

Listrik yang digunakan adalah arus DC yang dapat diperoleh dari aki, baterai, atau adaptor AC-DC. Semakin besar arus yang dialirkan semakin besar pula produksi gas HHO yang dihasilkan. Temperatur *HHO cell* semakin naik seiring dengan kenaikan arus. Semua parameter tersebut akan semakin naik sesuai dengan fungsi waktu. Semua parameter tersebut juga semakin naik sesuai dengan fungsi waktu. Hal ini yang masih terus dikaji dan dikembangkan sampai saat ini, diantaranya dengan penerapan sistem PWM (*Pulse Width Modulation*), pengaturan frekuensi listrik, penerapan sistem rangkaian seri dan lain-lain.

3. Elektrolit

Agar terjadi proses elektrolisis maka harus ada perpindahan elektron dari anoda ke katoda melalui aliran

luar sirkuit listrik yang menghubungkan dua elektroda (perpindahan ion antara dua elektroda dalam elektrolit). Sebenarnya air murni merupakan sebuah insulator, sehingga air hanya sedikit menghantarkan arus listrik. Konduktivitas air akan meningkat apabila ditambahkan elektrolit ke dalamnya. Penambahan elektrolit sebagai katalis pada proses elektrolisis akan menurunkan energi yang dibutuhkan, sehingga laju reaksi pemecahan molekul air menjadi lebih cepat. Pengaruh penambahan katalis terhadap suatu reaksi dapat dilihat pada gambar 2-5.



Gambar 2-4 Hubungan antara Reaksi Kimia dengan Energi yang Dibutuhkan

(sumber: J.R. Rossum, 2000)

Dan apabila jumlah elektrolit yang dilarutkan ke air semakin banyak maka konduktivitas listrik dari air akan semakin tinggi, maka laju produksi gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis air juga akan semakin meningkat, akan tetapi jika elektrolit yang dilarutkan ke air terlalu banyak maka energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas HHO akan terlalu besar karena larutan elektrolit akan semakin jenuh sehingga

pergerakan ion-ion di dalamnya menjadi terhambat. (Yuniati, R.2015)

Berdasarkan jenisnya, larutan elektrolit kuat adalah larutan yang mempunyai daya hantar arus listrik karena zat terlarut yang berada di dalam pelarut (biasanya air) dengan harga derajat ionisasinya adalah satu ($\alpha = 1$). Larutan elektrolit kuat diantaranya adalah:

- Asam kuat, antara lain: HCl, HClO₃, H₂SO₄, HNO₃, dan lain-lain.
- Basa kuat yaitu basa-basa golongan alkali dan alkali tanah, antara lain: NaOH, KOH, Ca(OH)₂, Mg(OH)₂, Ba(OH)₂, dan lain-lain.
- Garam-garam yang mempunyai kelarutan tinggi, antara lain: NaCl, KCl, KI, Al₂(SO₄), dan lain-lain.

Larutan elektrolit lemah adalah larutan yang mampu menghantarkan arus listrik dengan daya yang lemah dengan derajat ionisasi lebih dari nol tetapi kurang dari satu ($0 < \alpha < 1$). Yang tergolong elektrolit lemah diantaranya yaitu:

- Asam lemah, antara lain: CH₃COOH, HCN, H₂CO₃, H₂S, dan lain-lain.
- Basa lemah, antara lain: NH₄OH, Ni(OH)₂, dan lain-lain.
- Garam-garam yang sulit untuk larut, antara lain: AgCl, CaCrO₄, PbI₂, dan lain-lain.

Sedangkan larutan non elektrolit adalah larutan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik, karena zat terlarut di dalam pelarutnya tidak dapat menghasilkan ion-ion. Karakteristik larutan non elektrolit adalah:

- Tidak terionisasi.
- Tidak dapat menghantarkan arus listrik.

Jenis larutan yang tergolong ke dalam jenis larutan non elektrolit diantaranya yaitu larutan urea, larutan sukrosa, larutan glukosa, larutan alkohol, dan lain-lain.

4. Reservoir

Reservoir adalah tempat penampungan larutan elektrolit sebelum disalurkan ke *HHO Cell*. Reservoir ini mempunyai beberapa fungsi diantaranya:

- a. Sebagai tempat pengisian larutan elektrolit.
- b. Sebagai penangkap air (*water trap*) khususnya pada HHO tipe kering. Dengan cara mengalirkan output gas HHO ke reservoir terlebih dahulu sebelum disalurkan ke mesin.
- c. Mengetahui level atau jumlah elektrolit yang masih tersisa.
- d. Apabila dilengkapi dengan skala ukur maka bisa digunakan untuk mengukur konsumsi air persatuan waktu.

5. Pemilihan Plat

Pemilihan plat merupakan salah satu hal yang penting. Elektroda berfungsi sebagai penghantar arus listrik dari sumber tegangan ke elektrolit yang akan dielektrolisis. Pada elektrolisis yang menggunakan arus DC, elektroda terbagi menjadi dua kutup yaitu positif sebagai anoda dan negatif sebagai katoda. Material serta luasan elektroda yang digunakan sangat berpengaruh terhadap gas HHO yang dihasilkan dari proses elektrolisis air. Sehingga material elektroda harus dipilih dari material yang memiliki konduktifitas listrik dan ketahanan terhadap korosi yang baik.

Stainless steel pada dasarnya adalah baja paduan logam besi (Fe) dengan unsur paduan utama Carbon (C), Nikel (Ni), dan Chromium (Cr). Stainless Steel merupakan logam paduan yang memiliki konduktifitas dan ketahanan terhadap korosi yang relatif lebih baik di banding logam-logam paduan ataupun logam murni lainnya dan harganya juga relatif lebih terjangkau.

Tabel 2-2 Standard Komposisi Stainless Steel

Designation	Type	Composition weight-%						
		Cr	Ni	Mo	C	Mn	Si	Others
AISI 300 Series:								
AISI 304	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	—
AISI 304L	Austenitic	18-20	8-12	—	<0.03	2	1	—
AISI 321	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	Ti = 5 × wt-% C
AISI 347	Austenitic	18-20	8-10.5	—	<0.08	2	1	Nb = 10 × wt-% C
AISI 316	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.08	2	1	—
AISI 316L	Austenitic	16-18	10-14	2.0-3.0	<0.02	2	1	—
AISI 317	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.08	2	1	—
AISI 317L	Austenitic	18-20	11-15	3.0-4.0	<0.03	2	1	—
AISI 310	Austenitic	24-26	19-22	—	<0.25	2	1.5	—
AISI 330	Austenitic	17-20	34-37	—	<0.08	2	1.5	—
AISI 200 Series:								
AISI 201	Austenitic	16-18	3.5-5.5	—	0.15	5.5-7.5	1	+ 0.25 N
AISI 202	Austenitic	17-19	4-6	—	0.15	7.5-10	1	+ 0.25 N

Secara garis besar Stainless dapat dibagi menjadi lima kelompok (*Harrold M. Cobb, 1999*), yaitu:

- Austenitic Stainless Steel.
- Ferritic Stainless Steel.
- Martensitic Stainless Steel.
- Duplex Stainless Steel (austenitic-feritic).
- Precipitation Hardening Stainless Steel.

Setiap kelompok stainless steel terbagi lagi menjadi beberapa type dengan persentase dan kandungan unsur paduan yang berbeda-beda, sebagaimana dapat dilihat pada tabel di atas. Untuk setiap tipe stainless steel mempunyai kandungan dan karakteristik yang berbeda begitu pula dengan konduktifitas listrik dan ketahanannya terhadap korosi. Stainless steel tipe SS 304 L merupakan salah

satu stainless steel yang mempunyai konduktivitas serta ketahanan terhadap korosi yang baik dan relatif tersedia banyak di pasaran.

Secara teori, luas permukaan yang sama akan menghasilkan volume gas yang sama karena adsorpsi pereaksi di permukaan mengalami kesetimbangan yang sama pada konversi mol per volume menjadi mol per cm², dengan luasan yang sama distribusi pereaksi di permukaan juga sama.

Hambatan listrik (R) adalah salah satu variabel yang berpengaruh dalam menentukan besarnya beda potensial tegangan (V) serta daya yang dibutuhkan generator (P). Semakin besar hambatan listrik akan menurunkan efisiensi elektrolisis (*Le Roy et al.*). Hubungan antara ukuran/ luas elektroda (A), *material resistivity* (σ), hambatan listrik (R) dan jarak antar plat di elektroda (l) ditunjukkan pada rumus berikut:

$$R = \frac{\sigma \cdot l}{A} \dots\dots\dots(2.10)$$

Memperbesar luasan permukaan elektroda (A) dapat meningkatkan luas kontak antara elektroda dan elektrolit, dengan *material resistivity* (σ) dan jarak antar elektrode (l) yang sama dapat memperkecil hambatan listrik (R), sehingga dapat meningkatkan Arus Listrik (I) yang dihasilkan, dan pada akhirnya meningkatkan laju aliran hidrogen.

Serangkaian percobaan telah dilakukan untuk menguji pengaruh dari penggunaan elektroda ukuran yang berbeda pada efisiensi proses (*N.Nagai et al. 2003*). Sebagai hasilnya menunjukkan, pada lebar elektroda yang sama, material plat dengan H (tinggi elektroda) yang lebih besar akan menyebabkan tambahan disipasi daya dalam sel, yang akan

menyebabkan pembentukan volume yang lebih besar. Percobaan ini juga menunjukkan bahwa tingkat efisiensi yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan menempatkan elektroda pada posisi vertikal.

6. Saluran Gas HHO

Memiliki fungsi untuk mengalirkan elektrolit dari reservoir ke HHO *cell* dan menyalurkan gas HHO dari *cell* ke pengguna (mesin yang akan disuplai gas HHO). Selang yang digunakan umumnya berdiameter kecil yang tahan panas dan tidak mudah bocor.

2.6 Persamaan Perpindahan Panas pada Generator

Perpindahan panas yang terjadi generator HHO yaitu:

a. Konduksi

Merupakan perpindahan panas yang tidak diikuti dengan zat perantaranya. Pada penelitian ini, untuk mempermudah perhitungan pada generator HHO maka menggunakan pendekatan persamaan perpindahan konduksi silinder dan plat diasumsikan berbentuk lingkaran.

$$Q \text{ konduksi} = \frac{2 \times \pi \times L \times k (T \text{ elektrolit} - T \text{ plat})}{\ln \left(\frac{r_2}{r_1} \right)}$$

Dimana : L = panjang laluan (m)

k = konduktivitas termal plat (W/m K)

r1 = radius permukaan elektrolisis

r2 = radius elektroda

b. Konveksi

Adalah perpindahan panas yang diikuti dengan berpindahannya zat perantara.

$$Q \text{ konveksi} = h \times A (T_s - T_{udara})$$

Dimana : h = Koefisien konveksi (W/m^2K)

A = Luas permukaan konveksi (m^2)

T_s = Temperatur permukaan (K)

T_{udara} = Temperatur udara (K)

c. Parameter-Parameter Konveksi Alami

Mencari koefisien konveksi alami pada pengujian ini menggunakan menggunakan persamaan berikut:

$$h = Nu \times \frac{k}{L}$$

dimana : Nu = bilangan Nusselt

Sebelum mencari bilangan Nusselt ada satu bilangan yang perlu dicari yaitu bilangan Rayleigh. Untuk mencarinya dapat menggunakan persamaan:

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

Dimana : Ra_L = bilangan Rayleigh

g = gaya gravitasi (m/s^2)

β = koefisien termal ekspansi fluida

(K^{-1})

ν = viskositas kinematik (m^2/s)

α = *thermal diffusivity* (m^2/s)

Setelah memperoleh bilangan Rayleigh, Nu bisa dicari dengan persamaan:

$$Nu = C \times Ra_L^n$$

- Untuk aliran laminar ($10^4 \leq Ra_L \leq 10^9$)
C = 0,59 dan n = 1/4
- Untuk aliran turbulen ($10^9 \leq Ra_L \leq 10^{13}$)
C = 0,1 dan n = 1/3

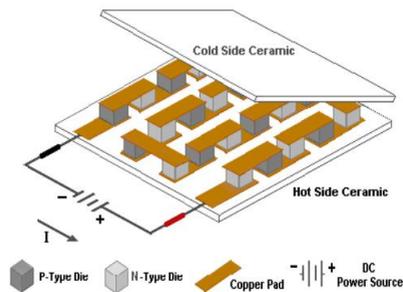
2.7 Sistem Pendingin

Pada pengujian ini akan melihat bagaimana performa generator gas HHO apabila diterapkan sistem pendingin saat bekerja. Pendinginan akan menggunakan modul *thermoelectric cooler* (TEC).

2.7.1 Thermoelectric Cooler (TEC)

Pendingin termoelektrik merupakan *solid state technology* yang bisa menjadi alternatif teknologi pendingin selain sistem *vapor compression* yang masih memanfaatkan refrijeran. Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang menggunakan refrijeran sebagai media penyerap kalor, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, tahan lama dan bisa digunakan dalam skala besar dan kecil. Teknologi termoelektrik telah digunakan pada beberapa bidang aplikasi seperti, peralatan militer,

peralatan ruang angkasa, produk – produk industri yang memanfaatkan modul termoelektrik sebagai pendingin.



Gambar 2-5 Konstruksi Dalam TEC

Terdapat banyak penelitian untuk menemukan alternatif pendinginan, *thermoelectric cooler* (TEC) adalah perangkat pendingin kecil yang digunakan untuk aplikasi mendinginkan mikroelektronik. TEC merupakan perangkat yang bekerja sebagai pemompa panas yang memindahkan panas dari sisi satu ke sisi yang lain. Perangkat ini tersusun dari dua keramik yang menjadi pondasi dan isolasi elektrik untuk tipe-P dan tipe-N dadu bismuth telluride yang dihubungkan seri untuk elektrik dan paralel antar keramik untuk termal. Keramik berfungsi juga sebagai isolator antara elemen elektrik dalam modul dan heat sink yang harus kontak dengan sisi panas seperti objek (benda yang didinginkan) kontak dengan sisi dinginnya. Material konduktive elektrik, bantalan tembaga dipasang ke keramik, menjaga koneksi elektrik di dalam modul.

TEC beroperasi berdasarkan prinsip “efek Peltier”. Efek Peltier menghasilkan beda temperatur dengan menerapkan tegangan antara dua elektroda disambungkan pada material semikonduktor untuk menghasilkan sisi panas dan sisi dingin. Sisi dingin termolektrik digunakan untuk

pendinginan dan sisi panas digunakan untuk tujuan pemanasan.

2.7.2 Efek Peltier

Di tahun 1821, Thomas Johann Seeback seorang fisikawan Jerman menemukan bahwa arus listrik dapat mengalir secara terus menerus pada sirkuit tertutup yang dihasilkan oleh perbedaan temperatur pada dua metal yang terhubung. Tetapi penemuan seeback tersebut tidak didasari dengan basis keilmuan yang kuat dan hanya berdasar pada penemuan kecelakaan semata (Kumar, 2014). Baru pada tahun 1834, Jean Charles Athanase Peltier, seorang pembuat jam dan fisikawan paruh waktu, ketika mencari tahu mengenai *Seeback effect* menemukan bahwa ada kejadian keterbalikan dari apa yang ditemukan seeback. Bahwa energi panas dapat dihasilkan dan dapat diserap ketika arus listrik dilewatkan melalui sirkuit tertutup.

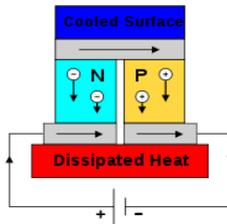
Ketika arus DC dilewatkan pada sambungan bimetal yang tertutup, maka akan menghasilkan efek dingin pada satu sisi dan efek panas pada sisi yang lain. Panas diserap dari salah satu sisinya dan sisi yang lain menerima panas. Penemuan yang dilakukan oleh Thomas Seeback, yang dikenal dengan *seeback effect*, dan yang dilakukan oleh Peltier, yang dikenal dengan *peltier effect*, pada akhirnya diderivasi secara matematis oleh William Thomson atau yang lebih dikenal dengan Lord Kelvin yang nantinya juga mempredikasi tentang efek termoelektrik ketiga.

Sebuah modul peltier terdiri dari satu atau lebih elemen peltier dan dikopel dengan heat sink secara termal. Daya elektrik yang digunakan untuk memompa dikonversi menjadi panas dalam peltier elemen dan dibuang secara efektif. Lebih jauh lagi, elemen peltier memompa panas dari

sisi satu ke sisi lain tergantung arah arus. Akan terjadi penumpukan panas pada sisi panas, sehingga diperlukan heat sink dan kipas agar panas dapat dibuang.

2.7.3 Prinsip Kerja

Modul pendingin termoelektrik bekerja berdasarkan efek Peltier akan berfungsi apabila arus listrik DC dialirkan pada satu atau beberapa pasangan semikonduktor tipe N dan tipe P. Gambar diatas menunjukkan aliran elektron dari semikonduktor tipe P yang memiliki tingkat energi lebih rendah, menyerap kalor di bagian yang didinginkan lalu elektron mengalir menuju semikonduktor tipe N melalui konduktor penghubung yang permukaannya (T_c) akan mengalami penurunan temperatur. Kalor yang diserap akan berpindah melalui semikonduktor bersamaan dengan pergerakan elektron ke sisi panas modul (T_h). Pada kondisi ideal, jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin dan dilepas pada sisi panas bergantung pada koefisien Peltier dan arus listrik yang digunakan. Pada saat dioperasikan jumlah kalor yang diserap pada sisi dingin akan berkurang dikarenakan dua faktor, yaitu kalor yang terbentuk pada material semikonduktor dikarenakan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas modul (conducted heat) dan Joule Heat yang nilainya akan sama dengan kuadrat dari arus listrik yang digunakan.



Gambar 2-6 Prinsip Kerja Efek Peltier

Sehingga pada kondisi apapun kesetimbangan termal yang terjadi karena efek Peltier pada sisi dingin akan sama dengan jumlah kalor yang terbentuk pada semikonduktor dijumlahkan dengan $1 \frac{1}{2}$ Joule heat. Selain ukuran yang relatif kecil, modul termoelektrik memiliki keunggulan lain, yaitu:

- Modul termoelektrik tidak memiliki bagian yang bergerak, sehingga untuk perawatan lebih mudah.
- Pengujian usia pakai telah membuktikan bahwa modul termoelektrik bisa digunakan selama 100.000 jam.
- Modul termoelektrik tidak memiliki kandungan chloroflourocarbons (CFC) atau material lainnya yang membutuhkan penambahan berkala.
- Modul termoelektrik bisa dioperasikan pada lingkungan yang terlalu kecil bagi sistem pendingin konvensional.

Dengan berbagai keunggulan yang terdapat pada modul termoelektrik, penggunaan termoelektrik saat ini telah melingkupi banyak area penggunaan, misalnya teknologi militer, ruang angkasa peralatan komersil dan industri.

Satu sisi TEC mulai menyerap panas dan sisi lainnya membuang panas saat tegangan diberikan. Hal ini dilakukan untuk tetap menjaga beda temperatur diantara dua permukaan. Jika TEC digunakan sendiri (tanpa fin dan kipas)

maka setelah beberapa menit sisi dingin mulai melepas panas. Artinya temperatur sisi dingin mulai naik. Jika ingin menggunakan TEC sebagai pendingin, maka panas dari sisi panas perlu dibuang menggunakan pendingin aktif atau pasif. Jika panas tidak dari sisi panas tidak dibuang maka pendinginan akan bermasalah (Arkam, 2016).

2.7.4 Pemasangan TEC

Untuk mengaplikasikan TEC pada suatu alat diperlukan suatu teknik yang dapat digunakan untuk menempelkan TEC pada objek yang ingin didinginkan, diantaranya menggunakan ikatan perekat, metode *clamping*, dan solder. Dalam penelitian ini metode yang memungkinkan dalam pemasangan TEC adalah menggunakan perekat, karena metode *clamping* memerlukan dimensi yang sangat besar dan metode solder digunakan pada TEC yang berukuran lebih kecil dari 19 mm. Berikut adalah langkah-langkah dalam memasang TEC dengan metode ikatan perekat:

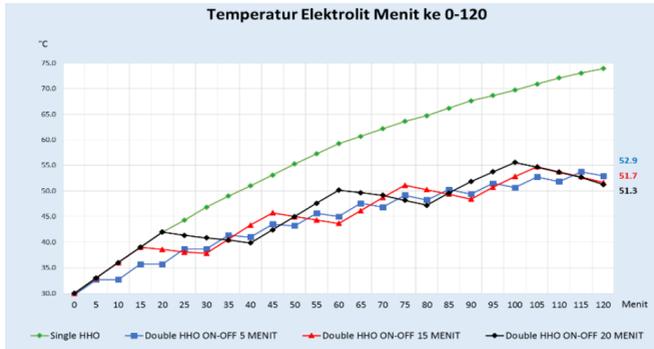
1. Gunakan perekat yang memiliki konduktivitas tinggi.
2. Sebarkan lapisan tipis perekat pada sisi panas modul.
3. Letakkan heatsink pada sisi panas dan gosokkan dengan gerakan melingkar agar perekat tersebut merata dan membuang kelebihannya. Perekat yang terlalu banyak akan mengurangi konduktivitas termal.
4. Ulangi langkah 1 dan 2 untuk sisi dingin.
5. Tempel dan tekan TEC pada objek yang akan didinginkan.

2.8 Penelitian Terdahulu

Ada penelitian-penelitian terdahulu mengenai kerja generator gas HHO dan thermoelectric yang menjadi referensi dan pertimbangan dalam penelitian ini.

1. Amirudin

Penelitian yang dilakukan Amirudin adalah membandingkan temperatur elektrolit dan waktu operasi antara *single* HHO dan *double* HHO dengan siklus *on-off*.



Gambar 2-7 Temperatur Elektrolit vs Waktu

Berdasar hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Amirudin, dapat diperoleh:

- a. Penambahan siklus *ON-OFF* dari *double HHO*, dapat meningkatkan lama waktu pengoperasian bila dibandingkan dengan *single HHO*. Lama waktu pengoperasian *single HHO* mencapai temperatur maksimum yang dibatasi sebesar 75 °C yaitu hanya 2 jam lebih 5 menit.
- b. *Double HHO* dengan siklus *ON-OFF* setiap 5, 15 dan 20 menit pada pengoperasian jam ke 10, temperatur berturut-turut mencapai 75 °C, 68.8 °C dan 68.2 °C.
- c. Pada *single HHO* tidak memungkinkan terjadi proses pendinginan sedangkan pada *double HHO* terjadi proses pendinginan (saat siklus *OFF*). *Double HHO* dengan siklus *ON-OFF* setiap 5, 15

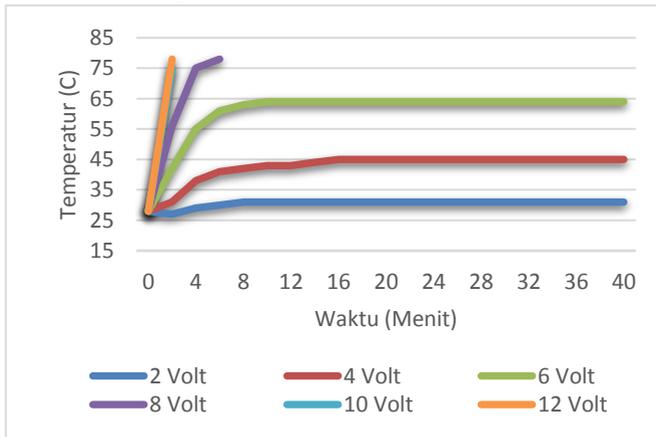
dan 20 menit rata-rata harga penurunan temperatur (saat siklus *OFF*) adalah sebesar 51.86%, 73.85% dan 76.15% terhadap harga kenaikan temperatur (saat siklus *ON*).

- d. Perbandingan antara energi masuk (*input*) dan energi keluar (*output*) pada *single HHO* selama 2 jam operasi adalah sebesar 1339 kJ : 305.34 kJ atau sekitar 23% energi digunakan dari total energi yang diberikan. Untuk *double HHO* dengan lama waktu operasi 10 jam, perbandingan energi yang berguna dibanding energi yang diberikan adalah 1582.3kJ : 7084.8 kJ atau sekitar 22.3 % dari total energi yang diberikan.

2. Febri Ida

Penelitian Febri terhadap performa TEC terdiri dari dua macam yaitu pengujian performa TEC tanpa fin dan pengujian performa TEC dengan penambahan fin. Berikut adalah hasil dari penelitiannya.

a. Grafik Temperatur Sisi Dingin Vs Waktu Tanpa Fin

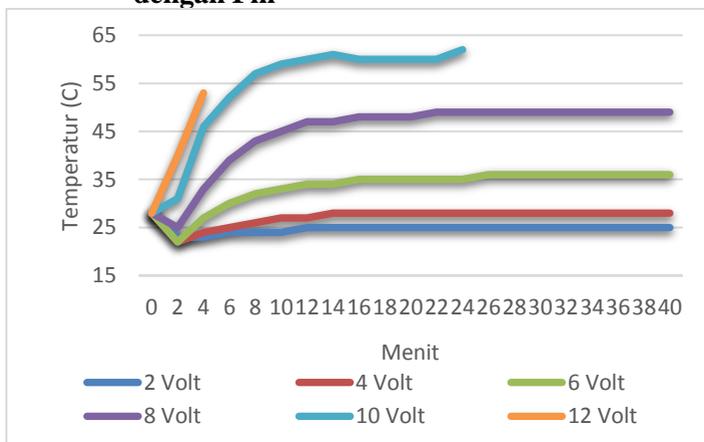


Gambar 2-8 Grafik Temperatur vs Waktu (TEC tanpa fin)

Dari hasil pengujian TEC tanpa fin yang dilakukan Febri diperoleh semakin besar voltase yang diberikan maka kenaikan temperatur pada TEC semakin besar/semakin cepat. Grafik di atas menunjukkan temperatur sisi dingin TEC. Pengujian ini dibatasi hingga temperatur sisi panas mencapai temperatur ketahanan TEC yaitu 120°C . Sisi panas pada tegangan 12, 10 dan 8 volt mencapai mencapai 120°C pada menit ke- 1,01; 2,3; dan 4,33 dengan temperatur sisi dengan masing-masing 78; 75; dan 75°C . Pada tegangan 6; 4; dan 2 volt, temperatur

sisi dingin tunak pada menit ke- 10; 16; dan 10 dengan temperatur 63; 45; dan 31°C.

b. Grafik Temperatur Dingin Vs Waktu dengan Fin

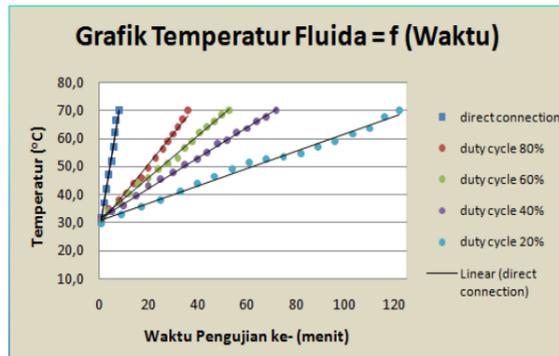


Gambar 2-9 Grafik Temperatur Vs Waktu dengan Fin

Pengujian lainnya adalah menguji TEC dengan menambahkan fin. Hasil yang diperoleh pada pengujian ini adalah temperatur sisi dingin TEC menjadi lebih dingin daripada TEC tanpa fin.

3. Yanur Arzaqa

Penelitian yang telah dilakukan Yanuar salah satunya adalah melihat pengaruh besarnya *duty cycle* terhadap waktu operasi generator HHO.



Gambar 2-10 Temperatur Elektrolit vs Waktu dengan Variasi Duty Cycle

Penelitian ini memperlihatkan bahwa duty cycle memengaruhi kenaikan temperatur elektrolit. Semakin kecil duty cycle maka kenaikan temperatur elektrolit untuk mencapai 70°C semakin kecil. Untuk mencapai suhu tersebut, generator HHO dengan duty cycle 20% memerlukan waktu yang paling lama dibandingkan dengan 40%, 60%, 80% dan 100% (*direct connection*).

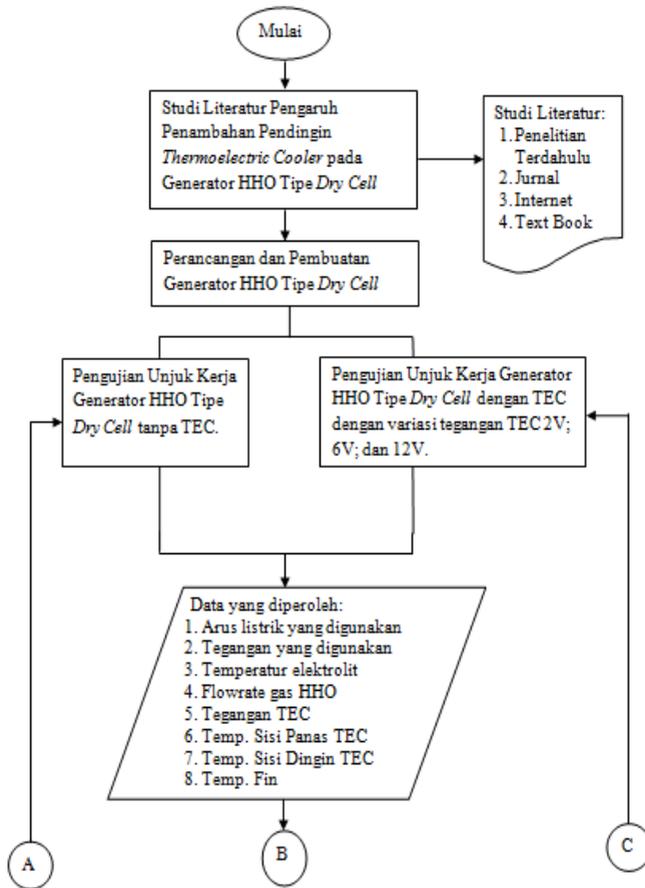
2.9 Hipotesa

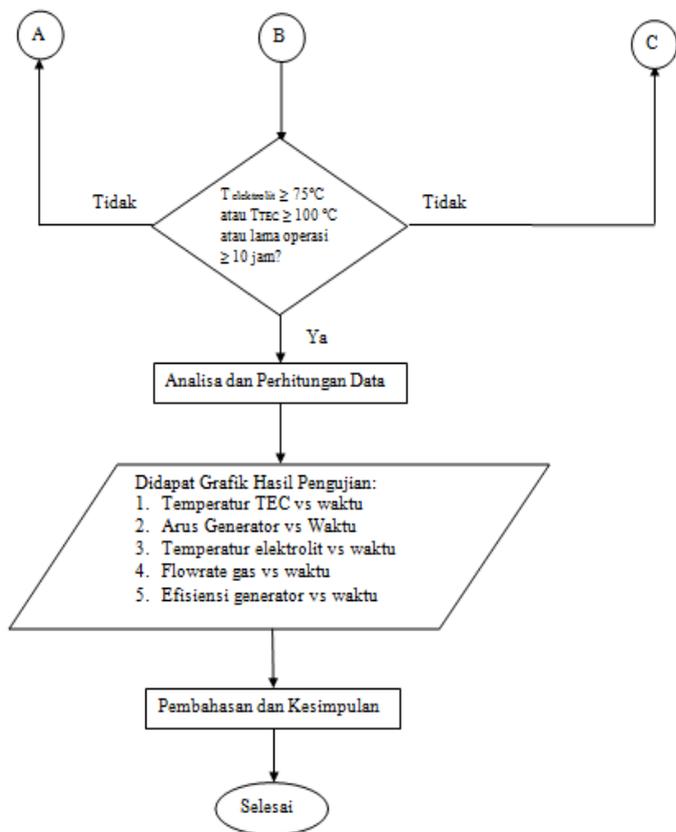
Dengan merujuk pada penelitian terdahulu diharapkan dengan penambahan PWM dengan duty cycle 55% seperti penelitian Amirudin dan TEC sebagai pendingin bahwa generator HHO dapat beroperasi lebih dari 2 jam. Lebih lama daripada penggunaan duty cycle 20% seperti pada penelitian Yanur Arzaqa.

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram alir

Untuk mengetahui pengaruh penambahan TEC terhadap performa generator HHO, pengujian dilakukan menggunakan metode eksperimental.

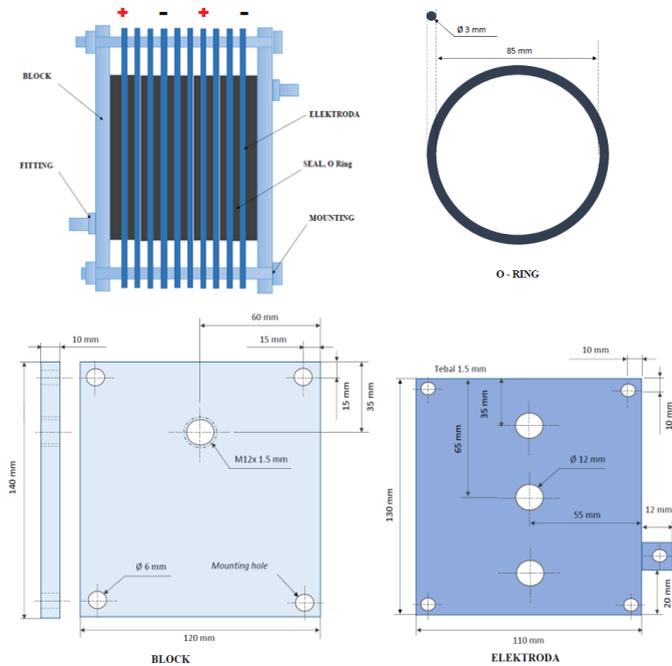




Gambar 3-1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Desain Peralatan

Desain dan spesifikasi generator HHO yang akan diuji sebagai berikut:



Gambar 3-2 Dimensi Generator HHO

Block:

Material : Acrilic
 Jumlah : 2/HHO Cell
 Temp. leleh : 140 °C

Elektroda:

Material : SS 304
 Jumlah : 10/ HHO cell
 Temp. leleh : 1510 °C

O-Ring:

Material : Nitrile
 Jumlah : 11/HHO Cell
 Temp. range : -34 -121 °C

3.3 Peralatan yang digunakan

Peralatan-peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

a. Generator Gas HHO

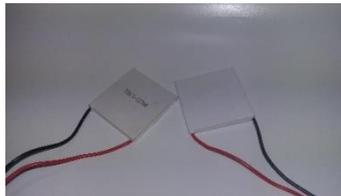
Objek dari penelitian ini adalah generator gas HHO yang tersusun dari 10 buah plat, 11 O-ring, dan ditutup dengan akrilik. Plat yang digunakan adalah SS AISI 304 yang tahan karat dan memiliki resistansi yang tinggi. Memiliki dimensi panjang dan lebar sebesar 130mm x 110mm.

b. Water Trap

Alat ini merupakan tempat penampungan air yang akan dialirkan ke dalam *HHO cell*. Selain itu, *water trap* berfungsi untuk menyaring uap air hasil dari elektrolisis di dalam *cell* dengan menggunakan prinsip kondensasi. Uap air akan mengembun dan menjadi satu dengan air sedangkan gas HHO keluar dari *water trap*.

c. TEC

Modul yang digunakan sebagai pendingin yang akan ditempelkan pada sisi-sisi elektroda. Pada penelitian ini akan menggunakan 6 (enam) buah modul TEC untuk menutup semua sisi-sisi elektroda. TEC ini memiliki dimensi panjang dan lebar sebesar 40 mm x 40 mm.



Gambar 3-3 Modul TEC

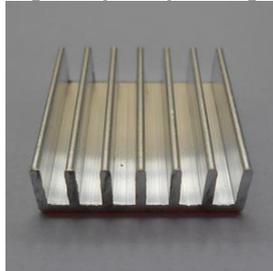
Spesifikasi dari TEC sebagai berikut:

Tegangan maksimal : 15 Volt

Arus maksimal : 6,4 Ampere

d. Fin (Heatsink)

Digunakan untuk memperluas permukaan sisi panas TEC yang terkena udara. Memiliki dimensi panjang, lebar dan tinggi sebesar 20 mm x 20 mm x 6 mm. Satu buah TEC dipasang dengan empat buah fin.



Gambar 3-4 Fin (Heatsink)

e. HHO Gas Flowmeter

Untuk mengetahui laju alir gas HHO yang diproduksi maka diperlukan alat ini.



Gambar 3-5 Flowmeter

f. Power Supply

Digunakan sebagai sumber tegangan DC. Power supply ini mengubah tegangan AC 220 volt menjadi DC 12 volt.



Gambar 3-6 Power Supply

Voltase input : AC 220 volt
 Voltase output : DC 10 – 14 volt
 Arus maksimal : 30 Ampere

- g. PWM
 Digunakan untuk mengatur arus dengan mengubah lebar pulsa tegangan input generator.



Gambar 3-7 PWM (Pulse Width Modulation)

- h. Stopwatch
 Digunakan untuk mengukur interval waktu pada pengujian pada proses pengujian unjuk kerja generator HHO.
- i. Termometer
 Digunakan untuk mengukur temperatur elektrolit dalam reservoir dan plat pada generator HHO selama pengujian.



Gambar 3-8 Termometer

j. Timbangan Digital

Digunakan untuk mengukur massa bubuk KOH yang akan digunakan pada pengujian. Spesifikasi timbangan digital sebagai berikut:

Merk : Shimadzu

Type : Libror EB-EB-330D-A

Capacity : 330g / 60g

Readability : 0.01g / 0.001g



Gambar 3-9 Timbangan Digital

k. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk menakar volume aquades (H_2O).

l. Amperemeter

Digunakan untuk mengukur besarnya arus DC yang digunakan untuk melakukan proses elektrolisa air.



Gambar 3-10 Clamp Amperemeter

m. Voltmeter

Digunakan untuk mengukur besarnya tegangan saat pengujian unjuk kerja.



Gambar 3-11 Voltmeter Digital

3.4 Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO

Pengujian unjuk kerja generator HHO yang akan dilakukan terdiri dari dua tahapan yang akan dibandingkan dan dikaji, meliputi:

1. Pengujian unjuk kerja generator HHO tanpa TEC.
2. Pengujian unjuk kerja generator HHO dengan TEC.

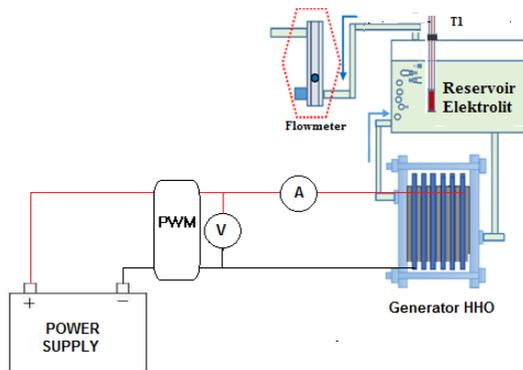
Adapun data yang harus didapatkan untuk masing-masing tahapan pengujian sebagai berikut:

1. Arus listrik yang dikonsumsi (A)
2. Tegangan listrik (V)
3. Temperatur elektrolit (°C)
4. Laju alir produksi gas (L/min)
5. Tegangan TEC (V)
6. Temp. Sisi Panas TEC (°C)
7. Temp. Sisi Dingin TEC (°C)
8. Temp. Fin (°C)

Data diambil dengan interval waktu 5 menit.

3.4.1 Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO tanpa Pendingin Termoelektrik.

Pada pengujian ini generator HHO tidak ditambah dengan pendingin TEC. Adapun langkah-langkah untuk pengujian ini sebagai berikut:



Gambar 3-12 Rangkaian Generator HHO tanpa TEC

- Persiapkan peralatan dan Buat rangkaian generator HHO seperti pada gambar 3-12.
- Pastikan tidak ada kebocoran air, kabel yang terlepas, *short circuit*.
- Lalu pasang termometer pada reservoir, dan pada ujung plat, amperemeter, voltmeter dan flowmeter.
- Atur duty cycle sebesar 55%.
- Untuk menyalakan generator, tekan tombol ON pada *power supply*. Pastikan tegangan yang diberikan *power supply* sebesar 12 volt.
- Setelah itu, amati termometer, amperemeter, dan flowmeter. Catat hasil pengukuran dengan interval lima menit.

- g) Lakukan pencatatan sampai temperatur elektrolit maksimal 75°C atau waktu pengujian telah mencapai 2 jam.
- h) Matikan alat, lepaskan rangkaian kelistrikan generator lalu bersihkan.

3.4.2 Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Generator HHO dengan Penambahan TEC.

a. Pemasangan TEC pada generator HHO

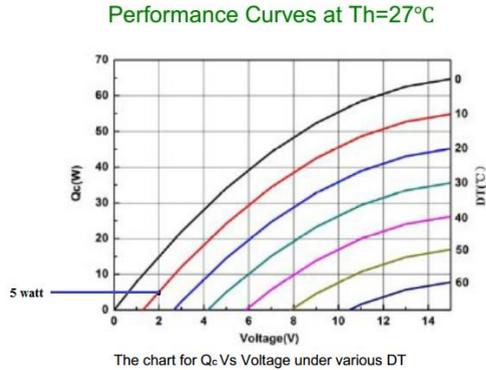
Untuk mengetahui jumlah TEC yang digunakan, pertama adalah mengetahui berapa kapasitas panas pada elektrolit.

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{m \times C_p \times \Delta T}{t} \\
 &= \\
 &= \frac{0,987 \text{ kg} \times 4187 \text{ j/kg} \cdot \text{K} \times (75 - 28,9) \text{ } ^\circ\text{C}}{6900 \text{ s}} \\
 &= 27,91 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Panas pada elektrolit sebesar 27,91 Watt. Dengan menggunakan tegangan TEC 2 volt (variasi tegangan terkecil dari penelitian Febri Ida) pada datasheet satu buah TEC dengan $T_{hot} = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$ dan $T_{cool} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$ memiliki kapasitas pendinginan sebesar 5 watt. Maka jumlah TEC yang diperlukan adalah:

Jumlah minimal TEC = 27,91 watt / 5 watt = 5,5 atau 6.

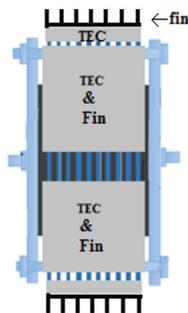
Jadi minimal TEC yang dipasang pada generator adalah 6 buah.



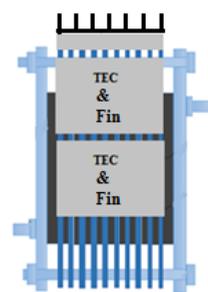
Gambar 3-13 Kurva Performa TEC pada $T_{\text{hot}} = 25^\circ\text{C}$

Pada penelitian ini 6 (enam) buah TEC akan diletakkan di sisi generator HHO. Sisi dingin TEC menempel pada sisi plat-plat generator. Pemasangan enam buah TEC pada generator diharapkan mampu membuang panas dari elektrolit menjadikan generator beroperasi selama mungkin. Berikut gambar bagaimana letak TEC terhadap generator. Pemasangan dilakukan seperti yang dijelaskan pada sub-bab 2.6.4.

Tampak Atas



Tampak Samping



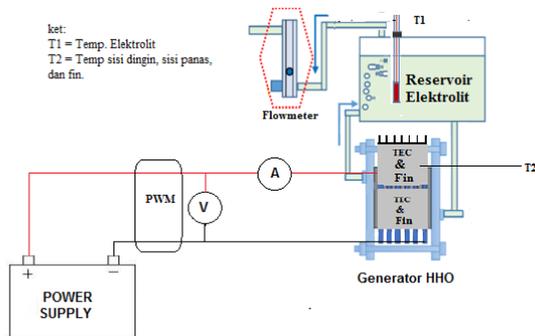
Gambar 3-14 Pemasangan TEC dan Fin pada generator HHO

Dengan pemasangan sisi dingin TEC pada plat-plat generator, Meskipun udara yang masuk ke dalam celah-celah generator berkurang tetapi TEC diharapkan mampu meningkatkan pembuangan panas dari elektrolit ke lingkungan.

b. Prosedur Pengujian Unjuk Kerja Generator dengan Penambahan Pendingin TEC.

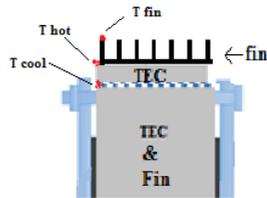
Pengujian kali ini pengoperasian generator HHO ditambahkan dengan pendingin TEC. Skema dan langkah-langkah pengujian sebagai berikut:

- a) Persiapkan peralatan dan buat rangkaian generator HHO seperti pada gambar 3-15.



Gambar 3-15 Rangkaian Generator HHO dengan TEC

- b) TEC dipasang secara paralel.
- c) Pastikan tidak ada kebocoran air, kabel yang terlepas, *short circuit*.
- d) Lalu pasang termometer elektrolit pada reservoir, sisi dingin, sisi panas, dan ujung fin, amperemeter, voltmeter dan flowmeter.



Gambar 3-16 Pemasangan Sensor Temperatur

- e) Atur duty cycle sebesar 55%.
- f) Untuk menyalakan generator HHO, tekan tombol ON pada *power supply*. Pastikan tegangan yang diberikan *power supply* sebesar 12 volt.
- g) Beri tegangan pada TEC sebesar 2 volt.
- h) Setelah itu, amati termometer, amperemeter, dan flowmeter. Catat hasil pengukuran dengan interval lima menit.
- i) Lakukan pencatatan sampai salah satu parameter ini tercapai, yaitu temperatur elektrolit maksimal 75°C, temperatur TEC maksimal 120 °C atau waktu pengujian telah mencapai 2 jam.
- j) Matikan alat, tunggu hingga generator HHO dan elektrolit mencapai temperatur ruang.
- k) Ulangi langkah d hingga i untuk tegangan TEC 6 volt dan 12 volt.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan

Analisa data dibutuhkan untuk mengetahui hasil yang dicapai dalam penelitian ini. Sampel data yang digunakan untuk perhitungan ini yaitu data pengujian tanpa TEC ($V_{tec} = 0$) pada menit ke-115.

Diketahui pada pengujian tanpa TEC menit ke-115 memiliki data sebagai berikut:

- Tegangan listrik: 12 volt
- Arus listrik : 15,9 Ampere
- Laju gas HHO : 680 mililiter/menit
- Temperatur ambient : 28 °C

4.1.1 Daya yang Dibutuhkan Generator Gas HHO

Dengan menggunakan tegangan 12 volt, terjadi arus sebesar 15,9 Ampere pada menit ke-115. Maka daya yang dibutuhkan generator gas HHO adalah:

$$\begin{aligned} P &= V \times I \\ P &= 12 \text{ volt} \times 15,9 \text{ Ampere} \\ P &= 190,8 \text{ watt} \end{aligned}$$

Jadi, daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan gas sebesar 680 mililiter/menit di menit ke-115 adalah 190,8 watt.

4.1.2 Efisiensi Generator HHO

Dengan menghitung efisiensi maka akan dapat diketahui berapa rasio antara daya listrik yang benar-benar digunakan untuk mengelektrolisa air dengan daya listrik yang masuk generator. Untuk mengetahui nilai efisiensi maka menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{\text{Energi yang berguna (output)}}{\text{Energi yang diberikan (input)}} \times 100\%$$

$$= \frac{\Delta h_f \cdot \dot{n}}{V \cdot I}$$

Untuk mengetahui nilai molaritas (\dot{n}) perlu menghitung dengan:

$$P\dot{V} = \dot{n} \cdot \bar{R} \cdot T$$

$$\dot{n} = \frac{P \cdot \dot{V}}{\bar{R} \cdot T}$$

$$= \frac{1 \text{ atm} \times 0,19 \frac{\text{liter}}{\text{menit}}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}} \times 301 \text{ K}}$$

$$= 0,46 \times 10^{-3} \text{ mol/min}$$

Daya elektrolisa air yang digunakan untuk menghasilkan gas HHO adalah:

$$P_{\text{out}} = \Delta h_f \cdot \dot{n}$$

$$= 286 \text{ kJ/mol} \times 0,46 \times 10^{-3} \text{ mol/s}$$

$$= 132,13 \text{ watt}$$

Maka, efisiensi generator adalah:

$$\eta = \frac{132,13 \text{ watt}}{190,8 \text{ watt}} \times 100\%$$

$$= 69,25\%$$

4.1.3 Perpindahan Panas Generator

Luas total elektroda (**Atot**)

$$= P \times L$$

$$= 0.13 \text{ m} \times 0.11 \text{ m}$$

$$= 0.0143 \text{ m}^2$$

Luas area elektrolisis (**Ae**)

$$= \pi \cdot r^2$$

$$= 3.14 \times (0.043 \text{ m})^2$$

$$= 5.805 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Panjang laluan (**L**)

= Elektroda ($1.5 \times 10 = 15 \text{ mm}$) dan

O-ring ($2.7 \times 9 = 25 \text{ mm}$)

Luas area pendingin (**Ae**)

= $20 (Atot - Ae) + 3$ luas pinggir plat

$$= 20 \times (0.0143 - 5.805 \times 10^{-3}) \text{ m}^2 + (2 \times 0,015 \text{ m} \times 0,13 \text{ m}) + (2 \times 0,015 \text{ m} \times 0,11 \text{ m})$$

$$= 175,4 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

a. Konduksi

Untuk mempermudah proses perhitungan maka permukaan elektroda (plat) diasumsikan berbentuk lingkaran. Dimana r_1 adalah radius permukaan elektrolisis dan r_2 adalah radius elektroda. Pada generator terdapat 10 buah plat. Data yang digunakan pada perhitungan ini adalah generator tanpa TEC menit ke-20.

$$\begin{aligned}
 \text{Luas total elektroda (A}_{\text{tot}}) &= \pi \cdot r^2 \\
 0.0143 \text{ m}^2 &= 3.14 \times r^2 \\
 r &= \sqrt{(0.0143/3.14)} \\
 &= 67.48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{\text{tot}} &= \frac{1}{2\pi r L h_{\text{el}}} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k L} \\
 &= \frac{1}{2\pi \times 0,0485 \text{ m} \times 0,015 \text{ m} \times 727,84 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}} + \\
 &\quad \frac{\ln\left(\frac{0,0675}{0,0485}\right)}{2\pi \times 14,9 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \times 0,015 \text{ m}} \\
 &= 0,54 \text{ K/W}
 \end{aligned}$$

Perpindahan panas dari elektrolit hingga ujung plat:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{el+plat}} &= \frac{T_{\text{el}} - T_{\text{plat}}}{R_{\text{tot}}} \\
 &= \frac{(40,8 - 33,5) \text{ K}}{0,54 \text{ K/W}} \\
 &= 13,63 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

b. Konveksi

Luas pendinginan pada perhitungan ini adalah 20 kali dari A_c .

$$\begin{aligned}
 T_{\text{film}} &= (T_{\text{elektrolit}} + T_{\text{plat}})/2 \\
 &= (40,8 + 33,5) \text{ }^\circ\text{C} = 37,15 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q \text{ konveksi} &= h \times A_c (T_{\text{film}} - T_{\text{udara}}) \\
 &= 4,9 \text{ W/m}^2\text{K} \times 175,4 \text{ m}^2 \times \\
 &\quad (37,15 - 28) \text{ }^\circ\text{C} \\
 &= 7,81 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

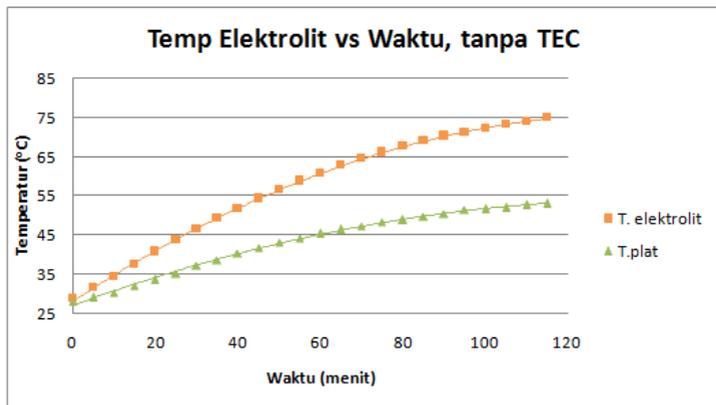
Perpindahan panas seluruhnya:

$$Q_{\text{tot}} = (13,63 + 7,81) \text{ watt} = 21,44 \text{ Watt}$$

4.2 Grafik dan Pembahasan

4.2.1 Temperatur Elektrolit vs Waktu

a. Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{\text{tec}} = 0$ (tanpa TEC)

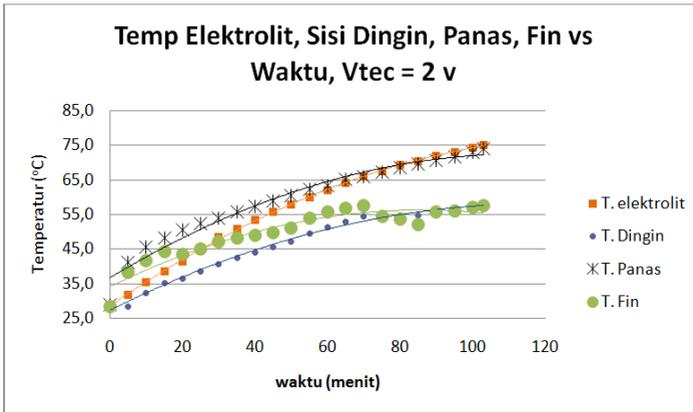


Grafik 4-1 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{\text{tec}} = 0$

Grafik 4-1 menunjukkan kenaikan temperatur elektrolit selama pengujian. Semakin lama waktu pengoperasian maka temperatur elektrolit semakin meningkat. Sebelum elektroda diberi tegangan, pada generator tanpa TEC elektrolit mempunyai temperatur

28,9°C dan terus naik hingga 75°C selama 115 menit. Begitupun dengan ujung (sisi) plat, hingga menit 115 temperatur yang dicapai adalah 53°C. Kenaikan temperatur pada plat terjadi karena adanya perpindahan panas dari temperatur yang lebih tinggi ke temperatur yang rendah yaitu dari elektrolit menuju plat dan udara.

b. Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 2$ volt

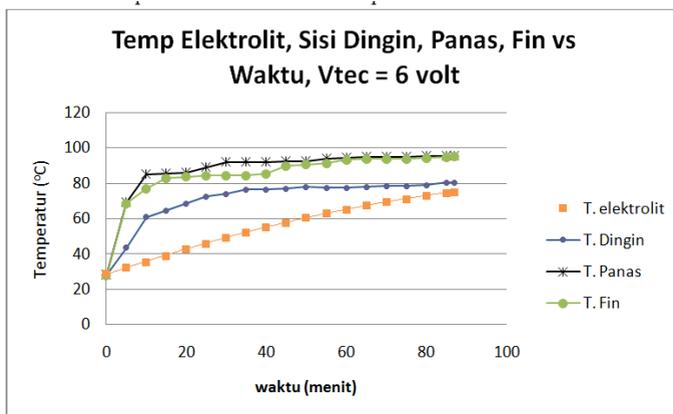


Grafik 4-2 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 2$ volt

Grafik 4-2 menunjukkan kenaikan temperatur elektrolit terhadap lamawaktu pengujian dengan variasi tegangan TEC sebesar 2 volt. Semakin lama generator beroperasi maka temperatur elektrolit semakin meningkat. Sebelum generator dan TEC diberi tegangan, nilai temperatur elektrolit sebesar 29°C; sisi dingin TEC (T. Cool) sebesar 28,8°C; sisi panas (T. Hot) sebesar 28,7°C dan fin (T. Fin) sebesar 28,3°C. Setelah TEC diberi tegangan 2 volt selama 103 menit, sisi dingin memiliki temperatur sebesar 57,2°C, sisi panas 73,9°C, fin 57,2°C dan elektrolit sebesar 75°C. Sisi dingin TEC memiliki temperatur yang lebih rendah daripada elektrolit sehingga

masih memberi efek pendinginan, tetapi pemasangan TEC pada generator menghalangi udara yang masuk ke celah-celah plat generator, jadi panas yang dapat dibuang oleh udara menjadi lebih sedikit daripada generator tanpa TEC.

c. Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 6$ volt

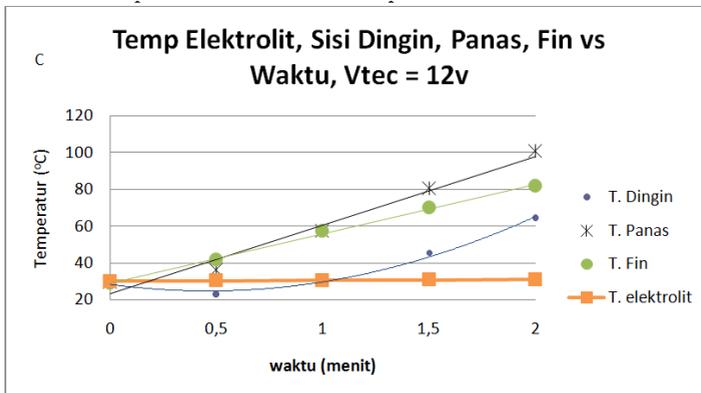


Grafik 4-3 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 6$ volt

Grafik 4-3 menunjukkan kenaikan temperatur elektrolit selama pengujian dengan variasi tegangan TEC sebesar 6 volt. Semakin lama generator beroperasi maka temperatur elektrolit semakin meningkat. Sebelum generator dan TEC diberi tegangan, nilai temperatur elektrolit sebesar 28,9°C; sisi dingin TEC (T. Cool) sebesar 28,1°C; sisi panas (T. Hot) sebesar 28,1°C dan fin (T. Fin) sebesar 27,7°C. Selama generator dan TEC beroperasi, temperatur sisi dingin TEC memiliki temperatur yang lebih besar daripada temperatur elektrolit. Selama beroperasi 87 menit elektrolit sudah mencapai 75°C, temperatur sisi dingin 80,4°C, sisi panas 95,5°C, dan fin 95,3°C. Maka dengan tegangan TEC 6 volt waktu

operasi generator menjadi 28 menit lebih cepat daripada generator tanpa TEC. Sisi dingin TEC memiliki temperatur yang lebih besar daripada elektrolit sehingga panas dari sisi dingin TEC berpindah ke elektrolit (elektrolit menerima panas). Pemasangan TEC menghalangi udara untuk masuk ke celah-celah generator, jadi panas yang dapat dibuang oleh udara menjadi lebih sedikit daripada generator tanpa TEC.

d. Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 12$ volt

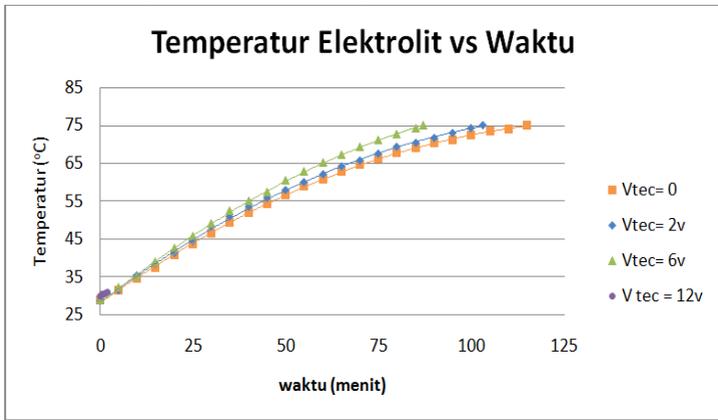


Grafik 4-4 Temperatur Elektrolit vs Waktu pada $V_{tec} = 12$ volt

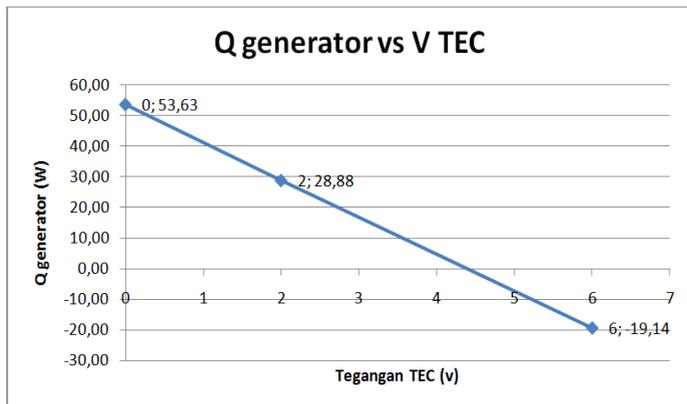
Grafik 4-4 menunjukkan kenaikan temperatur elektrolit selama pengujian dengan variasi tegangan TEC sebesar 12 volt. Sebelum generator dan TEC diberi tegangan, nilai temperatur elektrolit sebesar 30°C; sisi dingin TEC sebesar 29,4°C; sisi panas sebesar 29,6°C dan fin sebesar 28,9°C. Sisi panas TEC mencapai 100°C (batas aman operasi TEC) selama 2 menit. Sehingga untuk menghindari kerusakan TEC, pengujian ini dilakukan hanya 2 menit. Selama waktu yang sama temperatur elektrolit menjadi 31°C, sisi dingin 64,2°C dan fin 81,6°C.

Temperatur sisi dingin terlihat naik lebih cepat daripada temperatur elektrolit menandakan panas dari sisi dingin masuk ke elektrolit.

e. Temperatur Elektrolit berbagai Variasi vs Waktu



Grafik 4-5 Temperatur Elektrolit berbagai Variasi vs Waktu



Grafik 4-6 Perpindahan Panas dari Generator

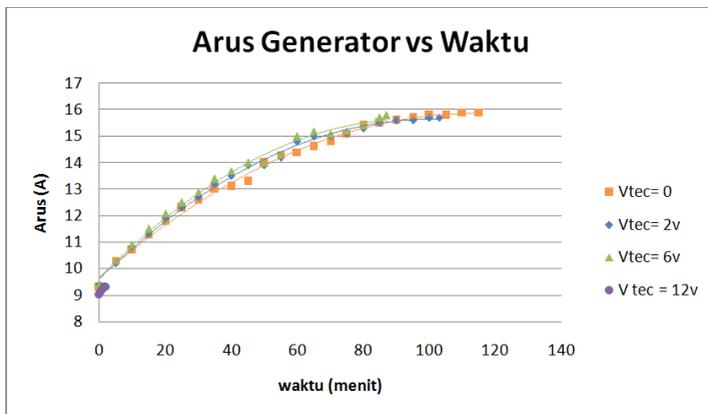
Grafik 4-5 menunjukkan hasil pengujian yaitu temperatur elektrolit pada reservoir terhadap waktu dengan variasi tegangan yang diberikan pada TEC. Secara umum, temperatur elektrolit akan meningkat dengan semakin lamanya waktu generator beroperasi. TEC 0 volt (tanpa TEC) generator mampu beroperasi dalam waktu 115 menit, TEC 2 volt adalah 103 menit, dan saat pada TEC 6 volt adalah 87 menit. Sedangkan pada TEC 12 volt, temperatur elektrolit pada menit ke-2 terukur sebesar 31 °C. Waktu yang diperlukan elektrolit untuk mencapai 75°C pada tanpa TEC (TEC 0 volt) merupakan yang paling lama dalam penelitian ini.

Kenaikan temperatur terjadi selama proses elektrolisis dikarenakan arus listrik yang masuk melalui elektroda. Arus listrik menyebabkan ion-ion elektrolit bergerak dan bertumbuk sehingga menghasilkan panas. Elektrolit yang semakin panas akan memiliki konduktivitas elektrik yang semakin membesar. Dengan tegangan listrik konstan maka arus listrik akan meningkat. Peningkatan arus ini menyebabkan temperatur elektrolit semakin meningkat selama beroperasi. Arus listrik yang tidak terpakai untuk elektrolisis pun dapat meningkatkan temperatur elektrolit.

Sebelum diberi tambahan TEC, temperatur sisi plat naik hingga 53°C dan melepas panas sebesar 53,63 watt. Penggunaan TEC pada pengujian ini mengalami kenaikan temperatur TEC disebabkan panas dari sisi panas tidak melepas panas dengan baik dan membutuhkan udara paksa dari kipas agar dapat melepas lebih banyak panas. Penggunaan TEC menghalangi udara yang masuk celah-celah pada generator. Pada TEC yang diberi tegangan 2 volt sisi dingin TEC mengalami kenaikan temperatur, tetapi masih mampu memberikan efek pendinginan pada elektrolit karena temperatur TEC masih lebih rendah

daripada elektrolit. Panas yang dilepas sebesar 28,88 watt sehingga generator beroperasi menjadi 12 menit lebih cepat sampai temperatur elektrolitnya mencapai 75°C daripada generator tanpa TEC. Pada TEC 6 volt, generator beroperasi lebih cepat 28 menit hingga elektrolitnya mencapai 75 °C dari pada generator tanpa TEC. Pada tegangan ini, sisi dingin TEC memiliki temperatur yang jauh lebih panas daripada plat-plat dan elektrolit. Sehingga elektrolit menerima panas dari sisi dingin TEC sebesar 19,14 watt.

4.2.2 Arus Generator HHO vs Waktu



Grafik 4-7 Arus Generator HHO vs Waktu

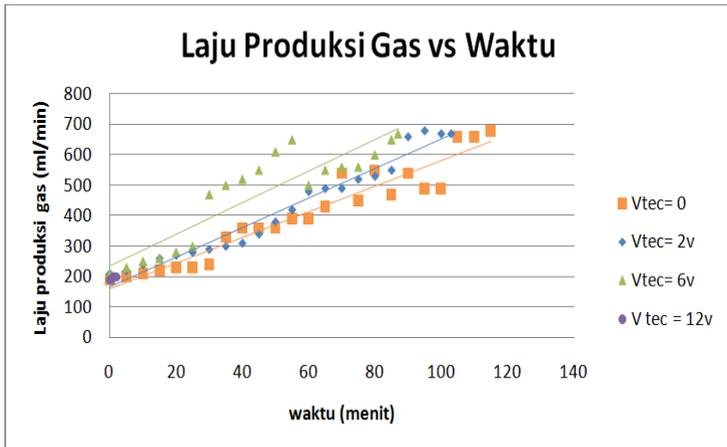
Grafik 4-9 menunjukkan nilai arus yang masuk ke elektroda terhadap fungsi lama waktu operasi generator. Arus yang digunakan generator gas HHO semakin meningkat seiring bertambahnya waktu operasinya. Pada TEC 0 volt arus listrik di menit ke 115 mencapai 15,9 A, untuk TEC 2 volt mencapai 15,5 A di menit ke 103, dan TEC 6 volt mencapai 15,8 A di menit ke 87. Sedangkan

pada TEC 12 volt, arus mencapai 9,3 Ampere pada menit ke-2.

Peningkatan temperatur elektrolit menjadikan arus listrik yang masuk menjadi semakin besar. Elektrolit ketika dialiri arus listrik maka ion-ion di dalamnya akan bergerak. Pergerakan ion-ion menghasilkan panas dan menjadikan konduktivitas elektrik elektrolit menjadi semakin meningkat. Tegangan konstan 12 volt yang dimasukan pada elektroda maka menjadikan arus listrik yang masuk semakin besar dengan semakin kecilnya tahanan elektrik elektrolit.

Di lihat dari grafik 4-9, arus listrik yang terus meningkat terhadap fungsi waktu operasi generator. Melihat grafik 4-5, pada TEC 2 volt memiliki kenaikan temperatur lebih cepat daripada tanpa TEC dan menyebabkan kenaikan arus listriknya sedikit lebih cepat daripada generator HHO tanpa TEC. Pada TEC 6 volt, kenaikan temperatur elektrolit lebih cepat daripada generator tanpa TEC dan generator dengan TEC 2 volt sehingga pada TEC 6 volt arus naik lebih cepat dari variasi tanpa TEC dan TEC 2 volt.

4.2.3 Laju Produksi Gas vs Waktu



Grafik 4-8 Laju Produksi Gas vs Waktu

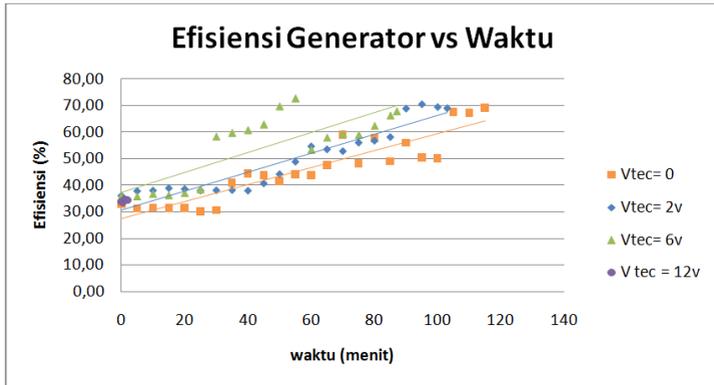
Grafik 4-8 menunjukkan hasil pengujian yaitu laju produksi gas HHO terhadap fungsi lama waktu operasi generator. Dalam grafik laju produksi gas HHO memiliki data yang berfluktuasi tetapi trennya meningkat selama generator beroperasi. Pada TEC 0 volt selama beroperasi 115 menit laju gas meningkat dari 190 ml/menit hingga 680 ml/menit. Pada TEC 2 volt selama 103 menit generator menghasilkan gas dari 210 ml/menit dan meningkat hingga 680 ml/menit, TEC 6 volt selama beroperasi 87 menit menghasilkan gas dari 210 ml/menit dan meningkat hingga 670 ml/menit. Pada TEC 12 volt memiliki nilai 200 ml/menit hingga 210 ml/menit.

Dengan semakin lama waktu generator beroperasi maka temperatur elektrolit akan semakin meningkat. Meningkatnya temperatur elektrolit menyebabkan energi molekul-molekul meningkat dan bergerak lebih cepat. Banyak molekul yang mencapai

energi pengaktifan (energi yang dibutuhkan untuk terjadinya elektrolisis) sehingga reaksi berlangsung lebih cepat. Selain itu konduktivitas elektrik meningkat sehingga arus listrik yang mengalirinya semakin besar. Dengan arus yang semakin besar dan molekul mendekati energi pengaktifan, maka gas yang dihasilkan menjadi meningkat.

Laju produksi gas TEC 2 volt dan TEC 6 volt mengalami peningkatan yang lebih cepat daripada tanpa TEC. Merujuk pada grafik 4-5 temperatur elektrolit TEC 2 volt dan TEC 6 volt mengalami kenaikan yang lebih cepat daripada tanpa TEC. Kenaikan temperatur elektrolit menjadikan konduktivitas elektrik semakin meningkat dan semakin dekat dengan energi pengaktifannya. Semakin besar temperatur elektrolit maka konduktivitas elektrik semakin besar diikuti dengan kenaikan arus dan semakin mudah elektrolit untuk bereaksi. Besarnya temperatur mempengaruhi besar elektrolit yang dielektrolisa. Semakin besar temperatur elektrolit maka semakin banyak elektrolit yang dielektrolisis sehingga gas yang dihasilkan semakin banyak.

4.2.4 Efisiensi Generator vs Waktu



Grafik 4-9 Efisiensi Generator vs Waktu

Grafik 4-9 menunjukkan efisiensi generator gas HHO selama pengujian. Pada grafik nilai efisiensi pada semua variasi mengalami peningkatan. Efisiensi pada pengujian ini memiliki nilai yang fluktuatif. Pada TEC 0 volt efisiensi generator gas HHO dari 33,1% hingga 69,25%, pada TEC 2 volt memiliki efisiensi dari 36,17% hingga 70,58%, dan TEC 6 volt memiliki efisiensi dari 35,8% hingga 67,98%. Sedangkan pada TEC 12 volt memiliki efisiensi dari 33,84% hingga 72,87%.

Nilai efisiensi merupakan perbandingan energi yang digunakan untuk mengelektrolisa air menjadi gas HHO dengan energi yang masuk generator saat beroperasi. Kenaikan arus pada pengujian ini tidak signifikan kenaikan laju produksi gas HHO.

Kenaikan laju produksi gas yang terjadi pada variasi TEC 2 volt dan 6 volt yang besar tetapi arus tidak mengalami kenaikan yang besar. Pada TEC 2 volt memiliki

kenaikan efisiensi lebih cepat daripada generator tanpa TEC karena memiliki kenaikan temperatur elektrolit yang lebih besar pula. TEC 6 volt memiliki kenaikan efisiensi lebih cepat daripada yang variasi lainnya. Kenaikan efisiensi pada TEC 6 volt ini baik, tetapi memiliki waktu operasi yang lebih pendek daripada variasi tanpa TEC dan TEC 2 volt.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Generator tanpa TEC dapat dapat beroperasi selama 115 menit.
2. Pemasangan TEC tidak memberi efek pendinginan seperti yang diharapkan. Justru menaikkan temperatur elektrolit dan memperoleh waktu operasi generator lebih pendek daripada tanpa TEC, kecuali pada TEC tegangan 2 volt.
3. TEC dengan tegangan 2 volt masih memberikan efek pendinginan tetapi tidak memperpanjang waktu operasi generator HHO.
4. Pada TEC 6 volt waktu operasi generator 28 menit lebih cepat daripada generator tanpa TEC.
5. Pada TEC 12 volt, temperatur sisi panas mengalami kenaikan hingga melebihi 100°C (batas operasi aman TEC) pada menit ke-2.
6. Arus listrik semakin meningkat seiring lama waktu operasi karena meningkatnya temperatur. Penambahan TEC tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap arus.
7. Laju gas semakin meningkat selama seiring lama waktu generator beroperasi karena meningkatnya temperatur. Sehingga penambahan TEC menyebabkan laju gas menjadi lebih banyak daripada tanpa TEC.
8. Efisiensi generator semakin meningkat seiring lama waktu generator beroperasi karena meningkatnya temperatur. Sehingga penambahan TEC, efisiensi generator menjadi lebih besar daripada tanpa TEC.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Agar TEC dapat bekerja secara mendinginkan dengan baik, maka perlu ditambahkan pembuangan panas dari TEC menggunakan kipas.
2. Pada PWM gunakan duty cycle yang kecil agar elektrolit mencapai 75 °C dapat menjadi lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

1. Isana S.Y.L, 2010. **Perilaku Elektrolisis Air Dengan Elektroda Stainless Steel**. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta. Indonesia.
2. Sudarmanta, B., Darsopuspito, S., Sungkono, D., 2016. **Application Of Dry Cell HHO Gas Generator Width Modulation On Sinjai Spark Ignation Engine Performance**. International Journal Of Research In Engineering And Technology.
3. Amirudin. 2016. **Rancang Bangun Dan Uji Performa Generator Hho Ganda Tipe Kering (Dry Type) dengan Penambahan Siklus On-Off Otomatis Untuk Meningkatkan Lama Waktu Pengoperasian**. Tugas Akhir. Teknik Mesin – ITS. Surabaya.
4. Arzaqa, Yanuar. 2013. **Studi Karakteristik Generator Gas Hho Tipe Dry Cell Dan Wet Cell Berdimensi 80x80 mm dengan Penambahan PWM E-3 FF (1 kHz)**. Tugas Akhir. Teknik Mesin-ITS. Surabaya.
5. Yuniati, Robithah. 2015. **Perbaikan Produksi Gas Hho Dari Generator Dry Type Berdimensi 300 mm x 300 mm dengan Memvariasikan Jarak Antar Plat di Elektroda**. Tugas Akhir. Teknik Mesin-ITS. Surabaya.
6. Mazloomi, K., Sulaiman B., N., Moayedi, H., April. 2012. "Electrical Efficiency of Electrolytic Hydrogen Production". *Int. J. Electrochem. Sci.*, 7:3314-3326

7. Kumar, Jeethendra. Padmajeeth, Ajeya. 2014. **Thermoelectric Cooler: Peltier Device Characteristics.** Karnataka. India.
8. Ida, Febri. **Studi Eksperimental untuk Mengetahui Performa TEC (Thermo Electric Cooler) seri1-12706.** Tugas Akhir. Teknik Mesin-ITS. Surabaya.
9. Thermoelectric Cooler Installation Guide. **Marlow Industries, Inc.,** Vista Park Road, Dallas.
10. Akram M.N, Jayasundere N.D, Nirmani H. R. 2016. *A Study On Thermal And Electrical Characteristics Of Thermoelectric Cooler TEC1-127 Series.* Electrical and Information Engineering of University of Ruhuna. Srilanka.
11. Dewitt, David P. Incropera, Frank P. 2011. *Fundamental Of Heat And Mass Transfer.* John Willey And Sons. United States of America.

Lampiran A

Data Pengujian

Pengujian Generator HHO Tanpa TEC

Waktu uji (min)	Arus (A)	Temp. Elek (°C)	Flowrate HHO (ml/min)	Temp. Sisi Plat (°C)
0	9,3	28,9	190	28
5	10,3	31,5	200	29
10	10,7	34,5	210	30,3
15	11,3	37,6	220	31,9
20	11,8	40,8	230	33,5
25	12,3	43,8	230	35,2
30	12,6	46,6	240	37,1
35	13	49,4	330	38,6
40	13,1	51,9	360	40,2
45	13,3	54,4	360	41,6
50	14	56,7	360	43
55	14,3	58,9	390	44,2
60	14,4	60,8	390	45,4
65	14,6	62,9	430	46,4
70	14,8	64,6	540	47,3
75	15,1	66,2	450	48,2
80	15,4	67,7	550	48,8

85	15,5	69,1	470	49,6
90	15,6	70,4	540	50,4
95	15,7	71,3	490	51,4
100	15,8	72,4	490	51,6
105	15,8	73,4	660	52
110	15,9	74	660	52,7
115	15,9	75	680	53

Pengujian Generator HHO dengan TEC 2 volt

Waktu uji (min)	Arus (A)	Temp. Elek (°C)	Flowrate HHO (ml/min)	Temp. Cool (°C)	Temp. Hot (°C)	Temp. Fin (°C)
0	9,4	28,8	210	28,8	28,7	28,3
5	10,2	31,6	230	28,4	41,2	38,3
10	10,8	35,5	250	32,2	45,5	41,6
15	11,3	38,4	250	35	48,1	44,3
20	11,9	41,5	260	36,4	50,5	43,3
25	12,3	44,4	260	38,4	52,2	45
30	12,7	48,4	270	40,5	53,9	47,2
35	13,2	50,9	280	42,4	55,6	48,2
40	13,5	53,5	290	43,9	57,2	48,9
45	13,9	55,8	300	45,6	58,9	49,7
50	13,9	57,9	310	47,1	60,4	51,1

55	14,2	60,0	330	49,4	62,2	53,8
60	14,8	62,0	390	51,2	63,3	55,6
65	15	64,1	430	52,8	65	56,8
70	15	65,9	460	54,4	66	57,6
75	15,1	67,6	480	54,7	67,1	54,5
80	15,3	69,3	490	54,7	68,5	53,7
85	15,5	70,5	520	54,6	69,5	52
90	15,6	71,8	530	56,4	70,5	55,8
95	15,6	73,1	530	56,6	71,7	56
100	15,7	74,4	550	56,9	72,8	57,1
103	15,7	75,0	540	57,2	73,9	57,5

Pengujian Generator HHO dengan TEC 6 volt

Waktu uji (min)	Arus (A)	Temp. Elek (°C)	Flowrate HHO (ml/min)	Temp. Cool (°C)	Temp. Hot (°C)	Temp. Fin (°C)
0	9,4	28,9	210	28,1	28,1	27,7
5	10,3	32,2	230	43,5	69,1	68,5
10	10,9	35,2	250	60,9	84,9	76,8
15	11,5	39	260	64,6	85,5	82,9
20	12,1	42,6	280	68,4	86	83,7
25	12,5	45,7	300	72,4	89,2	84,3
30	12,9	49,2	470	73,9	91,8	84,5

35	13,4	52,4	500	76,3	92	84,5
40	13,7	55,2	520	76,4	92,2	85,3
45	14	57,5	550	76,9	92,4	89,7
50	14	60,5	610	77,9	92,5	90,6
55	14,3	62,9	650	77,2	93,9	91,2
60	15	65,2	500	77,4	94,4	93,4
65	15,2	67,4	550	77,9	94,8	93,6
70	15,1	69,4	560	78,4	95	93,8
75	15,2	71,1	560	78,5	95,2	94
80	15,4	72,8	600	78,7	95,3	94,3
85	15,7	74,4	650	80,4	95,3	94,8
87	15,8	75	670	80,4	95,5	95,3

Pengujian Generator HHO dengan TEC 12 volt

Waktu uji (min)	Arus (A)	Temp. Elek (°C)	Flowrate HHO (ml/min)	Temp. Cool (°C)	Temp. Hot (°C)	Temp. Fin (°C)
0	9	30	190	29,4	28,9	29,6
0,5	9,1	30,4	190	22,8	41,6	36
1	9,2	30,6	200	29,5	57,3	57,2
1,5	9,3	30,8	200	45,5	70,2	80,2
2	9,3	31	200	64,2	81,6	100,6

Lampiran B

Perhitungan Data Generator Tanpa TEC

Waktu Uji (min)	Daya (watt)	Flow (mol/min)	Efisiensi (%)
0	111,6	0,000129085	33,08
5	123,6	0,000135879	31,44
10	128,4	0,000142673	31,78
15	135,6	0,000149467	31,52
20	141,6	0,000156261	31,56
25	147,6	0,000156261	30,28
30	151,2	0,000163055	30,84
35	156	0,000224201	41,10
40	157,2	0,000244583	44,50
45	159,6	0,000244583	43,83
50	168	0,000244583	41,64
55	171,6	0,000264964	44,16
60	172,8	0,000264964	43,85
65	175,2	0,00029214	47,69
70	177,6	0,000366874	59,08
75	181,2	0,000305728	48,26
80	184,8	0,000373668	57,83
85	186	0,000319316	49,10
90	187,2	0,000366874	56,05
95	188,4	0,000332904	50,54

100	189,6	0,000332904	50,22
105	189,6	0,000448401	67,64
110	190,8	0,000448401	67,21
115	190,8	0,000461989	69,25

Hasil Perhitungan Data Generator dengan TEC 2 volt

Waktu Uji (min)	Daya (watt)	Flow (mol/min)	Efisiensi (%)
0	112,8	0,000142673	36,17
5	112,8	0,000149467	37,90
10	122,4	0,000163055	38,10
15	129,6	0,000176643	38,98
20	135,6	0,000183437	38,69
25	142,8	0,000190231	38,10
30	147,6	0,000197025	38,18
35	152,4	0,000203819	38,25
40	158,4	0,000210613	38,03
45	162	0,000230995	40,78
50	166,8	0,00025817	44,27
55	166,8	0,000285346	48,93
60	170,4	0,00032611	54,73
65	177,6	0,000332904	53,61
70	180	0,000332904	52,89

75	180	0,000353286	56,13
80	181,2	0,00036008	56,83
85	183,6	0,000373668	58,21
90	186	0,000448401	68,95
95	187,2	0,000461989	70,58
100	187,2	0,000455195	69,54
105	188,4	0,000455195	69,10

Hasil Perhitungan Data Generator dengan TEC 6 volt

Waktu Uji (min)	Daya (watt)	Flow (mol/min)	Efisiensi (%)
0	112,8	0,000141	35,81
5	123,6	0,000155	35,80
10	130,8	0,000168	36,77
15	138	0,000175	36,24
20	145,2	0,000188	37,10
25	150	0,000202	38,47
30	154,8	0,000316	58,41
35	160,8	0,000336	59,82
40	164,4	0,00035	60,85
45	168	0,00037	62,98
50	168	0,00041	69,85
55	171,6	0,000437	72,87
60	180	0,000336	53,44
65	182,4	0,00037	58,01
70	181,2	0,000377	59,45
75	182,4	0,000377	59,06
80	184,8	0,000404	62,46
85	188,4	0,000437	66,37
87	189,6	0,000451	67,98

Hasil Perhitungan Data Generator dengan TEC 12 volt

Waktu Uji (min)	Daya (watt)	Flow (mol/min)	Efisiensi (%)
0	108	0,000128	33,84
0,5	109,2	0,000128	33,47
1	110,4	0,000135	34,85
1,5	111,6	0,000135	34,48
2	111,6	0,000135	34,48

Lampiran C

Data generator tanpa TEC menit ke 20.

$$T_{\text{surface rata-rata}} = \frac{T_{\text{elektrolit}} + T_{\text{plat}}}{2} = \frac{40,8 + 33,5}{2} = 37,15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{film}} = \frac{T_{\text{surface}} + T_{\text{udara}}}{2} = \frac{37,15 + 28}{2} = 32,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

1) Mencari h udara:

$$L = \text{tinggi plat} - \text{diameter Oring} = 12 \text{ cm} - 8,5 \text{ cm} \\ = 4,5$$

Properties udara pada $T = 32,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

- $\nu = 15,99 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $\alpha = 22,6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,0033 \frac{1}{\text{K}} \times (37,15 - 28) \text{ K} \times (0,035 \text{ m})^3}{(15,99 \times 10^{-6}) \times (22,6 \times 10^{-6})}$$

$$Ra_L = 88454$$

$$Nu = 0,59 \times 88454^{0,25} = 10$$

$$h = Nu \times K / L = 10 \times \frac{26,3 \times \frac{(10^{-3}) \text{ W}}{\text{m.K}}}{3,5 \times (10^{-2}) \text{ m}} = 7,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

2) Mencari h elektrolit:

$$L = \text{diameter Oring} = 0,085 \text{ m}$$

$$T_{\text{film}} = \frac{T_{\text{elektrolit}} + T_{\text{plat}}}{2} = \frac{40,8 + 33,5}{2} = 37,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Properties elektrolit (water) pada $T = 37,15 \text{ }^{\circ}\text{C}$

- $\nu = 0,413 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $\alpha = 0,156 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $k = 0,62 \text{ W/m K}$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_{\infty} - T_s)L^3}{\nu\alpha}$$

$$Ra_L = \frac{9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,0245 \frac{1}{\text{K}} \times (40,8 - 37,15) \text{ K} \times (0,085 \text{ m})^3}{(0,413 \times 10^{-6}) \times (0,156 \times 10^{-6})}$$

$$Ra_L = 1,086 \times 10^9$$

$$Nu = 0,1 \times (1,086 \times 10^9)^{1/3}$$

$$Nu = 95,92$$

$$h = 95,92 \times \frac{0,62 \frac{\text{W}}{\text{mK}}}{0,085 \text{ m}} = 727,84 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Lampiran D

Generator Tanpa TEC

TIME (min)	Q el+plat (watt)	Q conv (watt)	Q total (watt)
0	1,09	0,18	1,27
5	3,80	1,35	5,15
10	7,08	3,13	10,21
15	10,18	5,34	15,52
20	13,64	7,81	21,44
25	16,53	10,39	26,92
30	18,56	13,11	31,67
35	21,55	15,70	37,25
40	23,64	18,26	41,89
45	26,23	20,75	46,98
50	28,37	23,18	51,55
55	30,77	25,46	56,22
60	32,45	27,57	60,02
65	35,14	29,71	64,85
70	37,10	31,53	68,63
75	38,82	33,31	72,13
80	41,05	34,81	75,86
85	42,54	36,40	78,94
90	43,79	37,93	81,72
95	43,51	39,33	82,84
100	45,78	40,29	86,07
105	47,29	41,32	88,62
110	47,03	42,29	89,32

115	48,80	43,27	92,07
Rata-rata	29,36	24,27	53,63

Generator dengan TEC 2 volt

TIME (min)	Q el+plat (watt)	Q conv (watt)	Q total (watt)
0	-0,03	0,12	0,09
5	5,12	0,38	5,50
10	5,20	1,45	6,65
15	5,48	2,39	7,87
20	8,79	3,18	11,97
25	10,78	4,11	14,89
30	14,91	5,31	20,22
35	16,12	6,20	22,32
40	18,60	7,06	25,66
45	20,08	7,94	28,01
50	21,33	8,72	30,05
55	20,84	9,71	30,55
60	21,40	10,60	32,00
65	22,43	11,45	33,88
70	22,88	12,25	35,13
75	26,17	12,73	38,90
80	30,24	13,14	43,38
85	33,40	13,41	46,81
90	32,28	14,18	46,45
95	34,88	14,54	49,42
100	37,34	14,93	52,27

103	38,16	15,16	53,32
Rata-rata	20,29	8,59	28,88

Generator dengan TEC 6 volt

TIME (min)	Q el+plat (watt)	Q conv (watt)	Q total (watt)
0	0,94	0,07	1,01
5	-19,86	3,03	-16,83
10	-59,50	6,80	-52,70
15	-59,12	8,42	-50,70
20	-59,55	10,09	-49,46
25	-61,86	11,74	-50,11
30	-56,46	12,94	-43,52
35	-54,27	14,30	-39,97
40	-47,18	15,02	-32,17
45	-42,53	15,71	-26,81
50	-37,42	16,72	-20,70
55	-29,73	17,15	-12,58
60	-24,66	17,79	-6,86
65	-20,64	18,49	-2,15
70	-17,19	19,14	1,95
75	-13,62	19,61	5,99
80	-10,39	20,11	9,72
85	-10,59	20,98	10,39
87	-9,34	21,14	11,80
Rata-rata	-33,31	14,17	-19,14

BIODATA PENULIS



Aditya Perdana Kusuma lahir di Bandung 3 Juli 1993, menyelesaikan pendidikan dasar di SDN Baranang Siang Indah, kemudian SMPN 1 Ciparay, dan SMAN 1 Baleendah. Di tahun 2011 mulai kuliah pada program studi Diploma 3, Jurusan Teknik Konversi Energi di Politeknik Negeri Bandung (Polban) hingga tahun 2014. Pada 2015 melanjutkan kuliah Sarjana dengan mengambil program Lintas Jalur ITS dengan mengambil konsentrasi Konversi Energi.

Email : adityaperdana898@gmail.com