

**PENGARUH PENGGUNAAN *PULSE WIDTH MODULATION*  
(PWM) TERHADAP UNJUK KERJA GENERATOR  
ELEKTROLISIS PENGHASIL GAS HIDROGEN**



**KARYADI  
5115102587**

Skripsi yang Ditulis ini untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan dalam  
Mendapatkan Gelar Sarjana Pendidikan

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO  
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO – FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA**

**2016**

## ABSTRAK

KARYADI, PENGARUH PENGGUNAAN *PULSE WIDTH MODULATION* (PWM) TERHADAP GENERATOR ELEKTROLISIS PENGHASIL GAS HIDROGEN. Skripsi. Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta 2015. Dosen Pembimbing : Drs. Daryanto, M.T dan Mochammad Djaohar, ST.,M.Sc.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *Pulse Width Modulation* (PWM) terhadap unjuk kerja generator elektrolisis. Dimana pada Generator Elektrolisis tanpa PWM yang terhubung langsung ke sumber listrik arus searah atau *battery*, membuat kenaikan suhu generator elektrolisis menjadi cepat panas terhadap waktu. Penelitian dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Penelitian dilakukan selama enam bulan yaitu dari bulan September 2015 sampai bulan Januari 2016, dengan menggunakan metode eksperimen laboratorium.

Generator elektrolisis adalah tipe *dry cell* dengan dimensi 45 mm x 60 mm. Elektroda terbuat dari bahan *stainless steel* 316 L. Sinyal PWM bersumber dari Arduino UNO R3. Sensor suhu pada ruang generator elektrolisis menggunakan transduser termokopel tipe-K. Dan sumber listrik yang digunakan adalah *battery* dengan kapasitas 60 Ah.

Hasil penelitian menunjukkan, bahwa generator elektrolisis yang menggunakan PWM, mengalami kenaikan suhu tidak terlalu cepat seperti yang terjadi pada generator elektrolisis tanpa menggunakan PWM. Dimana suhu generator tanpa PWM dalam waktu 13 menit mencapai 72,7<sup>0</sup>C, sedangkan generator elektrolisis menggunakan PWM dalam waktu 13 menit suhunya mencapai 37,4<sup>0</sup>C, 42,0<sup>0</sup>C, dan 44,0<sup>0</sup>C. Generator dengan menggunakan PWM, pada *duty cycle* 50 % efisiensi rata-rata sebesar 39,9 %, pada *duty cycle* 75 % efisiensi rata-rata sebesar 32,1 %, dan pada *duty cycle* 90 % efisiensi rata-rata sebesar 28,9 %. Efisiensi rata-rata generator elektrolisis tanpa PWM yaitu sebesar 22,1%. Volume gas yang dihasilkan generator elektrolisis menggunakan PWM pada *duty cycle* 50 %, 75 %, dan 90 %, masing-masing menghasilkan volume rata-rata sebesar 26,9 ml/menit, 40 ml/menit, dan 44,6 ml/menit. Sedangkan generator elektrolisis tanpa PWM menghasilkan volume gas rata-rata sebesar 79,2 ml/menit.

Kata Kunci : PWM (Pulse Width Modulation), Generator Elektrolisis, Hydrogen, Energi Alternatif

## ABSTRACT

### **KARYADI, EFFECT OF THE USE PULSE WIDTH MODULATION (PWM) EFFECT OF THE USE OF USE PULSE WIDHT MODULATION (PWM), ELECTROLYSIS GENERATOR FOR PRODUCING HYDROGEN GAS.**

Thesis. Jakarta : Faculty of Engineering, State University of Jakarta , 2015. Drs. Daryanto, M.T and Mochammad Djaohar, ST.,M.Sc.

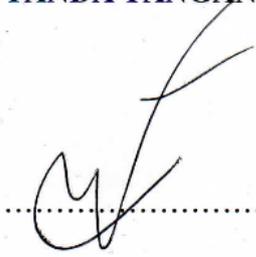
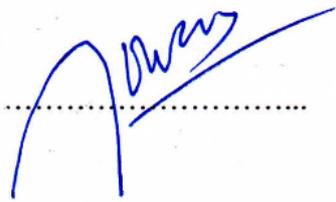
This research aims to determine the effect of the use of Pulse Width Modulation (PWM) on the performance of the electrolysis generator. Where the PWM Generator Electrolysis without directly connected to a power source or battery direct current, making the temperature rise electrolysis generator becomes hot quickly over time. The research was conducted in the laboratory of the Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, State University of Jakarta. The research was conducted during the six months from September 2015 to January 2016, using laboratory experiments.

Electrolysis Generator is made of dry cell dimensions of 45 mm x 60 mm. Electrode made of stainless steel 316 L. The PWM signal coming from the Arduino UNO R3. To determine the temperature at the generator room electrolysis, used transducer K-type thermocouple. The power source is used with a battery capacity of 60 Ah.

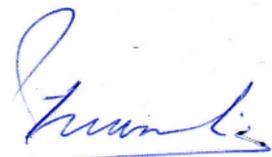
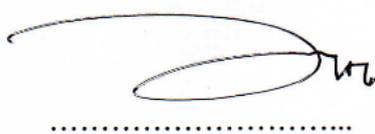
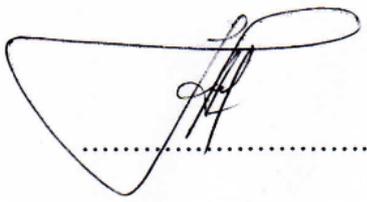
The results showed that the electrolysis generator using PWM, increased temperatures are not too fast as it did in the electrolysis generator without using a PWM. Where temperatures of electrolysis generator without PWM in time 13 minutes reach 72.7<sup>0</sup>C, while electrolysis generator using PWM in time 13 minutes, the temperature reaches 37.4<sup>0</sup>C, 42.0<sup>0</sup>C, and 44.0<sup>0</sup>C. Electrolysis generator using PWM, on a duty cycle 50 % average efficiency is 39.9 %, on a duty cycle of 75 % average efficiency is 32.1 %, and the duty cycle of 90% average efficiency is 28.9 %. The average efficiency of electrolysis generator without a PWM is 22,1 %. The volume of gas produced by the electrolysis generator using PWM on a duty cycle of 50 %, 75 % and 90 %, respectively produce an average volume of 26.9 ml / min, 40 ml / min and 44.6 mL / min. While the electrolysis generator without a PWM produces gas volume by an average of 79.2 ml / min.

Keywords : PWM (Pulse Widht Modulation), Electrolysis Generator, Electrolysis, Hydrogen, Alternative Energy

## HALAMAN PENGESAHAN

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Daryanto, M.T. (Dosen Pembimbing 1)		5-2-2016
Mochammad Djaohar, ST.,M.Sc. (Dosen Pembimbing 2)		5-2-2016

## PENGESAHAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

NAMA DOSEN	TANDA TANGAN	TANGGAL
Drs. Purwanto Gendroyono, M.T. (Ketua Penguji)		5-2-2016
Dr. Suyitno, M.Pd. (Anggota Penguji)		5-2-2016
Massus Subekti, M.T. (Anggota Penguji)		5-2-2016

Tanggal Lulus : 25 Januari 2016

## **HALAMAN PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis skripsi saya ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana, baik di Universitas Negeri Jakarta maupun di perguruan tinggi negeri lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri dengan arahan dosen pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini,, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Negeri Jakarta.

Jakarta, 26 Januari 2016

Yang membuat pernyataan

Karyadi

5115102587

## KATA PENGANTAR

*Bismillah-irrahman-irrahim*

*Alhamdulillah*, atas rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Pendidikan. Penulis menyadari, dalam proses penulisan dan penelitian skripsi ini banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Untuk itu, iringan doa dan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya, penulis sampaikan kepada :

1. Massus Subekti, S.Pd, MT. selaku Ketua Prodi S1 Pendidikan Teknik Elektro yang selalu terbuka bagi penulis untuk mengakses fasilitas laboratorium teknik elektro untuk menyelesaikan proses penelitian skripsi ini.
2. Drs. Daryanto, MT. selaku Pembimbing I dan Mochammad Djaohar selaku Pembimbing II – yang telah mengarahkan penulis untuk dapat menyelesaikan penelitian skripsi ini dengan baik dan benar. Penulis mengalami proses pendidikan yang berharga, atas hal itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya.
3. Ayahanda yang senantiasa mendukung penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
4. Teman-teman seperjuangan yang telah membantu dan saling bekerjasama menyelesaikan permasalahan dalam penelitian ini.

Dalam hasil penelitian ini penulis menyadari bahwa penelitian ini masih mengandung *dzon*. Semoga Allah S.W.T selalu membimbing penulis untuk terus menyempurnakan hasil penelitian ini. Dan semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menamahi khasanah ilmu pengetahuan.

Wassalamu'alaykum wr. wb.

Penulis

Karyadi  
5115102587

## DAFTAR ISI

<b>ABSTRAK</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	4
1.3. Pembatasan Masalah.....	5
1.4. Rumusan Masalah.....	5
1.5. Tujuan Penelitian .....	6
1.6. Manfaat Penelitian .....	6
<b>BAB II KAJIAN TEORITIS DAN KERANGKA BERPIKIR</b> .....	7
2.1. Kajian Teoritis .....	7
2.1.1. Pulse Width Modulation (PWM).....	7
2.1.2. Komponen-Komponen <i>Pulse Widht Modulation</i> (PWM) .....	10
2.1.2.1. Arduino Uno .....	10
2.1.2.2. Transistor NPN dan PNP .....	16
2.1.2.3. Mosfet .....	17
2.1.2.4. Licuid Crystal Device (LCD) .....	19
2.1.2.5. Termokopel Tipe-K .....	20
2.1.3. Generator Elektrolisis HHO.....	22
2.1.3.1. Generator Elektrolisis Tipe Wet Cell.....	23
2.1.3.2. Generator Elktrolisis Tipe Dry Cell.....	23

2.1.3.3.	Prinsip Kerja Generator Elektrolisis .....	24
2.1.3.4.	Katalis .....	26
2.1.3.5.	Hidrogen Sebagai Bahan Bakar .....	27
2.1.4.	Unjuk Kerja Generator Elektrolisis .....	28
2.1.4.1.	Hukum Faraday.....	28
2.1.4.2.	Gas Ideal .....	31
2.1.4.3.	Efisiensi Generator Gas HHO.....	33
2.2.	Kerangka Berpikir.....	35
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>37</b>
3.1.	Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	37
3.2.	Metode Penelitian .....	37
3.3.	Definisi Operasional .....	38
3.4.	Diagram Alir Penelitian .....	39
3.5.	Instrumen Penelitian .....	39
3.5.1.	Alat Ukur .....	39
3.5.2.	Pengujian Alat.....	39
3.5.3.	Pengujian Pulse Width Modulation .....	39
3.5.4.	Pengujian Generator Elektrolisis HHO Menggunakan PWM .....	40
3.5.5.	Pengujian Generator Elektrolisis HHO Tanpa Menggunakan PWM .....	42
3.5.6.	Pengukuran Volume Gas HHO.....	43
3.5.7.	Pengukuran Suhu Reaktor .....	44
3.6.	Perancangan Alat .....	45
3.6.1.	Perancangan Generator Elektrolisis HHO Tipe Dry Cell.....	45
3.6.2.	Perancangan Pulse Width Modulation (PWM) .....	49
3.7.	Analisa Data.....	51
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>53</b>
4.1.	Hasil Penelitian .....	53
4.1.1.	Pengujian Pulse Width Modulation (PWM).....	53
4.1.2.	Pengujian Generator Elektrolisis tanpa PWM .....	54
4.1.3.	Pengujian Generator Elektrolisis Menggunakan PWM .....	56

4.2.	Pembahasan .....	61
4.2.1.	Hubungan Arus Generator Elektrolisis Terhadap Waktu .....	61
4.2.2.	Daya Generator Elektrolisis Terhadap Waktu .....	62
4.2.3.	Suhu Generator Terhadap Waktu .....	63
4.2.4.	Efisiensi Generator Eletrolisis Terhadap Waktu .....	64
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>		<b>68</b>
5.1.	Kesimpulan .....	68
5.2.	Saran .....	69
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>70</b>
<b>LAMPIRAN-LAMPIRAN .....</b>		<b>72</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Bentuk Pulsa PWM .....	8
Gambar 2.2. Konfigurasi Pin ATmega328 pada board arduino .....	11
Gambar 2.3. Konfigurasi pin input dan output pada Arduino UNO R3 .....	13
Gambar 2.4. Simbol Transistor PNP dan NPN .....	16
Gambar 2.5. Rangkaian Pengendali Mosfet.....	17
Gambar 2.6. Transistor NMOS dan PMOS .....	18
Gambar 2.7. Enhancement MOSFET .....	19
Gambar 2.8. Fisik LCD 16 x 2.....	20
Gambar 2.9. Cara Kerja Termokopel Tipe-K .....	21
Gambar 2.10. Skema Generator elektrolisis .....	22
Gambar 2.11. Tipe Generator elektrolisis HHO Wet Cell.....	23
Gambar 2.12. Tipe Genarator HHO Dry Cell .....	24
Gambar 3. 1. Flowchart Alir Penelitian .....	39
Gambar 3. 2. Rangkaian Pengujian Generator Elektrolisis dengan PWM .....	41
Gambar 3. 3. Rangkaian Pengujian Generator Elektrolisis tanpa PWM .....	42
Gambar 3. 4. Metode Pengukuran Volume Gas HHO.....	43
Gambar 3. 5. Alat Ukur Suhu Appa 55.....	44
Gambar 3. 6. Konfigurasi Cell Generator Elektrolisis Dry Cell .....	46
Gambar 3. 7. Layout Elektroda Generator Elektrolisis Dry Cell.....	47
Gambar 3. 8. Layout Susunan Elektroda .....	47
Gambar 3. 9. Desain Generator Elektrolisis Tipe Dry Cell .....	48
Gambar 3. 10. Proses Kerja Generator elektrolisis Tipe Dry Cell.....	49
Gambar 3. 11. Skematik Driver Mosfet.....	49
Gambar 3. 12. Rangkaian LCD, sebagai Indikator Dutycycle dan Frekuensi .....	50
Gambar 3. 13. Rangkaian Kontrol Duty Cycle dan Frekuensi .....	51
Gambar 4.1. Pengujian PWM Frekuensi 1 kHz dan Duty Cycle 50% .....	54

Gambar 4.2. Grafik Perbandingan Volume Gas Hasil Pengukuran dan Perhitungan .....	56
Gambar 4.3. Grafik Volume Gas Hasil Pengujian dan Perhitungan Pada Duty Cycle 50% .....	57
Gambar 4.4. Grafik Volume Gas Hasil Pengujian dan Perhitungan Pada Duty Cycle 75% .....	59
Gambar 4.5. Grafik Volume Gas Hasil Pengujian dan Perhitungan.....	60
Gambar 4.6. Grafik Hubungan Arus Terhadap Waktu .....	61
Gambar 4.7. Grafik Daya Terhadap Waktu .....	62
Gambar 4.8. Grafik Temperatur Fluida Terhadap Waktu.....	63
Gambar 4.9. Grafik Efisiensi Generator elektrolisis Terhadap Waktu .....	67

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik Rangkaian Arduino Uno .....	13
Tabel 3.1. Pengujian <i>Pulse Width Modulation</i> .....	40
Tabel 3.2. Pengujian Generator Elektrolisis dengan PWM .....	41
Tabel 3.3. Pengujian Generator Elektrolisis Tanpa PWM.....	43
Tabel 3.4. Spesifikasi Elektroda Generator elektrolisis Dry Cell .....	47
Tabel 4.1. Hasil Pengujian PWM.....	53
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Generator Elektrolisis tanpa PWM.....	55
Tabel 4.3. Hasil Pengujian Generator Elektrolisis dengan PWM DutyCycle 50% .....	57
Tabel 4.4. Hasil Pengujian Generator elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 75% .....	58
Tabel 4.5. Hasil Pengujian Generator elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 90% .....	59
Tabel 4.6. Efisiensi Generator Elektrolisis Tanpa PWM.....	65
Tabel 4.7. Efisiensi Generator Elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 50% .....	65
Tabel 4.8. Efisiensi Generator Elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 75% .....	66
Tabel 4.9. Efisiensi Generator Elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 75% .....	66

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Kode Pemrograman Arduino .....	73
Lampiran 2. Pengujian Duty Cycle dan Frekuensi PWM.....	77
Lampiran 3. Data Sheet Komponen .....	81
Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Alat .....	85

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Penggunaan bahan bakar sebagai energi primer untuk proses konversi menjadi energi dalam bentuk lain masih didominasi dengan penggunaan bahan bakar fosil. Sedangkan cadangan bahan bakar fosil terus menipis karena sifatnya yang tidak dapat diperbaharui. Rata-rata tingkat produksi minyak bumi Indonesia adalah 0,329 miliar barel, hal ini diperkirakan hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan minyak bumi Indonesia sampai 23 tahun ke depan. Dengan adanya fokus pemerintah dalam meningkatkan produksi minyak bumi 1 juta barel pada tahun 2014, maka ketersediaan minyak bumi berkurang lebih cepat dari 23 tahun<sup>1</sup>.

Penggunaan bahan bakar minyak digunakan diberbagai macam sektor yaitu sektor transportasi sebesar 65%, sektor pembangkit listrik sebesar 16%, sektor industri sebesar 10%, sektor rumah tangga sebesar 2%, sektor komersial sebesar 1%, dan sektor lainnya sebesar 6%. Pada sektor pembangkit energi listrik masih didominasi dengan Pembangkit Energi Listrik yang menggunakan bahan bakar fosil. Dari 4.925 unit pembangkit listrik yang dimiliki oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara), terdapat 4.422 unit pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>TIM ESDM, *Kajian Supply Demand Energi*, Pusat Data dan Informasi Kementerian ESDM, Jakarta, 2012, hlm.13.

<sup>2</sup>*Statistik PLN 2013*, PT. PLN (PERSERO), Jakarta, hlm. 21.

Upaya untuk mengatasi krisis bahan bakar fosil adalah dengan menggunakan energi alternatif dan energi terbarukan. Energi alternatif adalah energi yang memiliki potensi untuk digunakan sebagai pengganti bahan bakar konvensional. Energi terbarukan adalah energi yang dapat dihasilkan secara terus-menerus (*renewable*) dan sebagai proses alami. Jenis energi alternatif dan terbarukan yang sedang berkembang untuk menggantikan energi konvensional saat ini yaitu tenaga nuklir, biomassa, gas alam, tenaga air, tenaga angin, gelombang laut, matahari, dan pasang surut.

Penggunaan air sebagai energi alternatif telah banyak diteliti. Tenaga air yang dihasilkan dari perbedaan potensial dapat digunakan sebagai sumber energi penggerak turbin. Selain itu ada potensi lain yang dapat digunakan dari kandungan air yaitu hidrogen. Hidrogen adalah unsur kimia pada tabel periodik yang memiliki simbol "H" dan memiliki nomor atom 1. Unsur hidrogen terdapat di alam sebanyak 75% dari total massa unsur alam semesta. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen bersifat non-logam dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Senyawa hidrogen jarang dijumpai secara alami di bumi, dan biasanya dihasilkan secara industri dari berbagai senyawa hidrokarbon. Selain itu hidrogen juga dapat dihasilkan melalui proses elektrolisis. Sifat hidrogen yang mudah terbakar, maka dapat digunakan sebagai bahan bakar dan juga dapat dimanfaatkan untuk pembangkit listrik dengan menggunakan fuel cell.

Pembakaran satu gram hidrogen pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan dengan tekanan 1 atmosfer akan menghasilkan kalor sebesar 120,91 kJ. Sedangkan pembakaran pada satu gram bensin pada suhu  $25^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 1 atmosfer, akan dihasilkan kalor

sebesar 48,33 kJ. Perbandingan antara satu gram bensin dan satu gram hidrogen yaitu satu gram hidrogen dapat menghasilkan kalor tiga kali lipat dari kalor yang dihasilkan oleh pembakaran satu gram bensin. Keuntungan lain dari penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar adalah dapat mengurangi emisi gas buang karbondioksida (Eddy Ariffin, 2010). Santin J.J, et.al. (2007:9) dalam bukunya "*The World's Most Fuel Efficient Vehicle, Design and Development of PAC-CAR II*" menyatakan bahwa konsumsi 1,02 hidrogen setara dengan 3,8397 ml bensin untuk menempuh jarak 20,678 Km.

Metode yang digunakan untuk memproduksi gas hidrogen sebagai bahan pembakaran salah satunya adalah dengan metode elektrolisis air. Alat untuk menghasilkan gas hidrogen dengan cara elektrolisis disebut dengan generator gas HHO ( $H_2$  dan Oksigen) . Dengan metode elektrolisis air, proses yang dilakukan tidak menghasilkan limbah dan polusi terhadap lingkungan sekitar. Selain itu gas hidrogen yang diproduksi tidak perlu ditampung pada tabung penyimpanan gas, sebab gas hidrogen akan ada ketika diperlukan, yaitu ketika alat elektrolisis atau generator elektrolisis diaktifkan. Generator elektrolisis memiliki dua tipe yaitu *wett cell* dan *dry cell*. *Wet cell* adalah generator gas HHO yang elektrodanya terendam di dalam elektrolit dalam sebuah bejana air. *Dry Cell* adalah generator gas HHO yang elektrodanya tidak terendam elektrolit.

Proses elektrolisis untuk menghasilkan gas HHO dapat dilakukan dengan cara menempatkan plat konduktor pada wadah air. Kemudian plat konduktor dihubungkan langsung dengan sumber arus dc yang terdiri kutub positif dan kutub negatif. Plat konduktor yang terhubung dengan kutub positif berlaku sebagai anoda

dan plat konduktor yang terhubung dengan kutub negatif berlaku sebagai katoda. Melalui cara seperti ini yaitu menghubungkan langsung dengan sumber tegangan dc, gas hidrogen dapat dihasilkan, namun semakin lama terjadi peningkatan suhu air yang digunakan untuk elektrolisis. Akibat panas ini, maka akan timbul uap air dan gas hidrogen akan tercampur dengan uap tersebut. Sehingga akan menurunkan kualitas gas hidrogen.

Kenaikan temperatur pada generator gas hho terjadi karena adanya pertambahan pertambahan besarnya arus terhadap waktu<sup>3</sup>. Dalam penelitian ini akan dilakukan analisis unjuk kerja generator gas HHO tanpa menggunakan PWM dan generator gas HHO dengan menggunakan *Pulse Width Modulation*(PWM). *Pulse Width Modulation* (PWM) adalah rangkaian elektronik untuk menghasilkan sinyal analog yang berbentuk pulsa dengan menggunakan proses digital, sehingga dapat mengatur tegangan yang akan digunakan pada beban. Dengan menggunakan PWM maka tegangan dan arus dapat dikendalikan. Melalui penelitian ini akan dianalisa apakah terdapat pengaruh penggunaan PWM pada generator elektrolisis.

## **1.2. Identifikasi Masalah**

Dari latar belakang yang telah dijelaskan dapat diidentifikasi masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara membuat generator elektrolisis penghasil gas hidrogen?

---

<sup>3</sup> Ghifari, Yannur Arzaqa, *Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell*, Jurnal Teknik POMITS, Surabaya, 2013, hlm.2.

2. Apa saja bahan yang diperlukan untuk membuat generator elektrolisis penghasil gas hidrogen?
3. Apa saja yang mempengaruhi unjuk kerja generator elektrolisis penghasil gas hidrogen?
4. Bagaimana cara membuat *Pulse Width Modulation* (PWM) ?
5. Apa saja komponen yang digunakan untuk membuat *Pulse Width Modulation* (PWM)?
6. Adakah pengaruh pada generator elektrolisis jika ditambahkan *Pulse Width Modulation* (PWM)?

### **1.3. Pembatasan Masalah**

Dari perumusan masalah yang ada, diperlukan batasan masalah dalam penelitian yang dilakukan, yaitu :

1. Pembuatan generator elektrolisis tipe *dry cell* dimensi 45 mm x 60 mm yang bekerja dengan sumber tegangan 12 volt dan arus sebesar 7 amper.
2. Pembuatan *Pulse Width Modulation* dengan frekuensi 1kHz, tegangan 12 volt dan arus maksimal 15 Amper.
3. Kontrol *Duty Cycle Pulse Width Modulation* dikontrol secara manual dengan variasi 10% - 100%.

### **1.4. Rumusan Masalah**

Dari identifikasi masalah yang telah dijabarkan, adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimanakah pengaruh penggunaan *Pulse Width Modulation* (PWM) terhadap unjuk kerja generator elektrolisis tipe *dry cell* dan unjuk kerja generator gas elektrolisis tipe *dry cell* tanpa menggunakan PWM ?

### **1.5. Tujuan Penelitian**

Dari perumusan masalah dan pembatasan masalah, adapun tujuan dilakukan penelitian ini yaitu :

1. Mengetahui karakteristik generator elektrolisis tipe *dry cell* tanpa *Pulse Width Modulation* (PWM) dan generator elektrolisis tipe *dry cell* dengan menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM).

### **1.6. Manfaat Penelitian**

Hasil penelitian ini diharapkan berguna untuk :

1. Khasanah pengetahuan pada mata kuliah energi alternatif.
2. Pengembangan energi alternatif dengan sumber energi air.
3. Bahan dasar untuk pengembangan alat aplikatif dalam pemanfaatan air sebagai energi alternatif.

## BAB II

### KAJIAN TEORITIS DAN KERANGKA BERPIKIR

#### 2.1. Kajian Teoritis

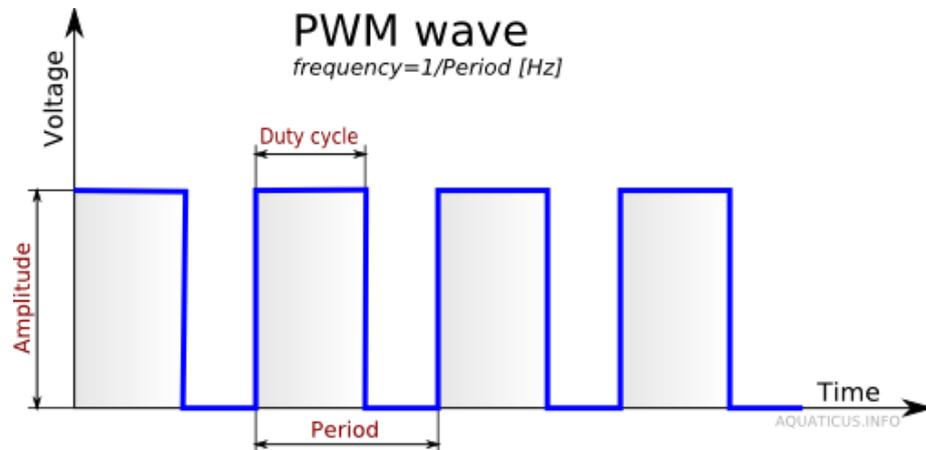
##### 2.1.1. Pulse Width Modulation (PWM)

*Pulse Width Modulation* disingkat PWM adalah suatu teknik untuk menghasilkan bentuk sinyal analog yang berbentuk pulsa (*pulse*) dengan menggunakan proses digital. PWM juga dikenal dengan PDM atau *Pulse Duration Modulation* dikarenakan sinyal yang dihasilkan berbentuk pulsa yang dapat diatur lebar dan sempitnya sinyal tersebut dengan memanipulasi durasi sinyalnya. Pengaturan lebar pulsa merupakan teknik yang “ampuh” digunakan untuk sistem kendali. Pengaturan lebar pulsa dimanfaatkan diberbagai bidang, diantaranya : kendali kecepatan, kendali sistem tenaga, pengukuran atau instrumentasi dan telekomunikasi.<sup>4</sup> Kelebihan penggunaan PWM dibanding dengan penguatan linier yaitu PWM menggunakan sinyal biner (digital) sehingga pengendalian dapat dilakukan oleh pengendali digital tanpa memerlukan DAC (*Digital to Analog Conversion*). Pada PWM, transistor bekerja hanya pada mode operasi saturasi dan *cut off*, maka hanya sedikit kerugian daya berupa panas.<sup>5</sup> Bentuk pulsa yang dibangkitkan oleh PWM dapat dilihat pada gambar 2.1.

---

<sup>4</sup> Leothamrin Gultom, Aplikasi Pembangkit PWM Pada Mikrokontroler ATmega 8535 Untuk Mengendalikan Suhu Pemanas Air, (Medan :2011), hlm. 5.

<sup>5</sup> Ribus Pujo S., Alat Penghemat Energi Listrik untuk Penerangan Ruangan pada Sensor Peka Cahaya BerbasisMikrokontroler, <http://publication.gunadarma.ac.id/bitstream/123456789/1329/1/21107434.pdf> (Diakses 20 September 2015)



Gambar 2. 1. Bentuk Pulsa PWM

Sumber : <http://ta141501031.blog.lskk.ee.itb.ac.id/2015/01/20/pwm-pulse-width-modulation/>

PWM pada dasarnya hanya memiliki dua kondisi pada sinyal PWM yaitu sinyal aktif (1) dan sinyal non-aktif (0). Sinyal aktif terjadi saat mencapai puncak amplitudo dan menjadi non-aktif saat mencapai titik bawah sinyal. Parameter yang ada pada gambar 2.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. **Duty Cycle.** Duty Cycle adalah perbandingan antara waktu ketika sinyal mencapai kondisi ON dan ketika mencapai OFF dalam satu periode sinyal. Contoh misalkan suatu sinyal PWM memiliki *duty cycle* sebesar 75% maka itu berarti bahwa sebanyak 75% dari waktu periode sinyal merupakan sinyal aktif (ON) dan 25% sisanya adalah sinyal nonaktif (OFF).
2. **Periode.** Satu periode sinyal adalah satu satuan waktu yang ditetapkan di awal. Nilainya dapat ditentukan sendiri tergantung kebutuhan sinyal yang diinginkan. Namun, sebagian besar perancang menentukan nilainya pada orde milisekon (ms).
3. **Amplitudo.** Besar nilai sinyal saat mencapai keadaan aktif.

4. **Frekuensi.** Sinyal yang dihasilkan akan memiliki frekuensi tertentu yang akan dipergunakan untuk menentukan periode dari sinyal dengan hubungan : $f=1/T$ , dengan  $f$  adalah frekuensi (Hz) dan  $T$  adalah periode (sekon).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa satu periode sinyal PWM terdapat keadaan ketika sinyal dalam keadaan aktif (1) dan keadaan non-aktif (0). Oleh karena itu dalam satu waktu  $T$ , nilai periodenya dapat dibagi ke dalam waktu aktif (*On*) dan waktu non-aktif (*Off*). Waktu “On” ( $T_{on}$ ) dan waktu “Off” ( $T_{off}$ ), jika dijumlahkan akan menjadi nilai periode ( $T$ ). Selain itu dengan waktu  $T_{on}$  dan  $T_{off}$  dapat diperoleh nilai *duty cycle* ( $D$ ) sistem. Perhitungannya sebagai berikut :

$$D = \frac{T_{on}}{T_{on}+T_{off}} \quad (2.1)$$

Tegangan keluaran yang dihasilkan pada PWM dapat dibuat bervariasi dengan cara mengubah *duty cycle* yang hubungannya sebagai berikut :

$$V_{out} = D \times V_{in} \quad (2.2)$$

Jika tegangan input  $V_{IN}$  yang melalui rangkaian sebesar 10 V maka jika digunakan PWM dengan *duty cycle* sebesar 10% maka tegangan *output* adalah 1 Volt. Jika *duty cycle* adalah 50%, maka tegangan *output*-nya adalah 5 Volt.

Sebagian besar sinyal PWM saat ini digenerasikan dengan menggunakan mikrokontroller yakni dengan mengatur register-register tertentu pada mikrokontroller yang mana pada tugas akhir ini tim akan menggunakan Arduino

yang terintegrasi dengan ethernet. Prinsip dasar dalam menghasilkan sinyal PWM dengan mikrokontroler adalah mengatur “saklar” antara dua kondisi nyala dan mati.

### **2.1.2. Komponen-Komponen *Pulse Width Modulation* (PWM)**

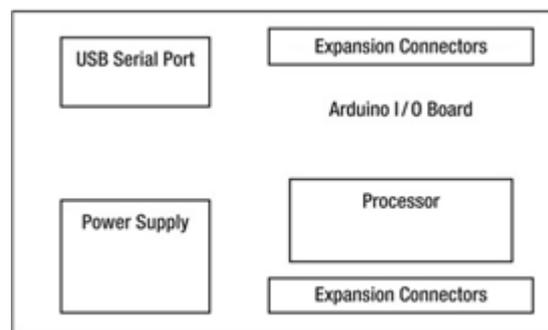
Pembuatan PWM (*Pulse Width Modulation*) ini adalah berbasiskan mikrokontroler arduino uno yang dipadukan dengan komponen dan rangkaian lain yaitu : Rangkaian pengendali mosfet, dan LCD (Liquid Crystal Device).

#### **2.1.2.1. Arduino Uno**

Arduino merupakan *platform* yang terdiri dari software dan hardware. Hardware Arduino sama dengan *microcontroller* pada umumnya hanya pada arduino ditambahkan penamaan pin agar mudah diingat. Software Arduino merupakan software open source sehingga dapat di *download* secara gratis. Software ini digunakan untuk membuat dan memasukkan program ke dalam Arduino. Pemrograman Arduino tidak sebanyak tahapan mikrokontroler konvensional karena Arduino sudah didesain mudah untuk dipelajari, sehingga para pemula dapat mulai belajar mikrocontroller dengan Arduino (Sulaiman Arif, 2012).

Arduino pada awalnya dikembangkan di Ivrea, Italia. Nama Arduino adalah sebuah nama maskulin yang berarti teman yang kuat. Platform arduino terdiri dari arduino board, shield, bahasa pemrograman arduino, dan arduino development environment. Arduino board biasanya memiliki sebuah chip dasar mikrokontroler Atmel AVR ATmega8 berikut turunannya. Blok diagram arduino board yang sudah disederhanakan dapat dilihat pada (gambar 2.2). Shield adalah sebuah papan yang dapat dipasang diatas arduino board untuk menambah

kemampuan dari arduino board. Bahasa pemrograman arduino adalah bahasa pemrograman yang umum digunakan untuk membuat perangkat lunak yang ditanamkan pada arduino board. Bahasa pemrograman arduino mirip dengan bahasa pemrograman C++.



Gambar 2. 2. Konfigurasi Pin ATmega328 pada board arduino  
Sumber : <http://www.arduino.cc>

Arduino uno merupakan salah satu jenis rangkaian mikrokontroler yang menggunakan system physical computing. Physical computing adalah membuat sebuah sistem atau perangkat fisik dengan menggunakan software dan hardware yang sifatnya interaktif yaitu dapat menerima rangsangan dari lingkungan dan merespon balik. Physical computing adalah sebuah konsep untuk memahami hubungan yang manusiawi antara lingkungan yang sifat alaminya adalah analog dengan dunia digital (Djuandi, 2011:1).

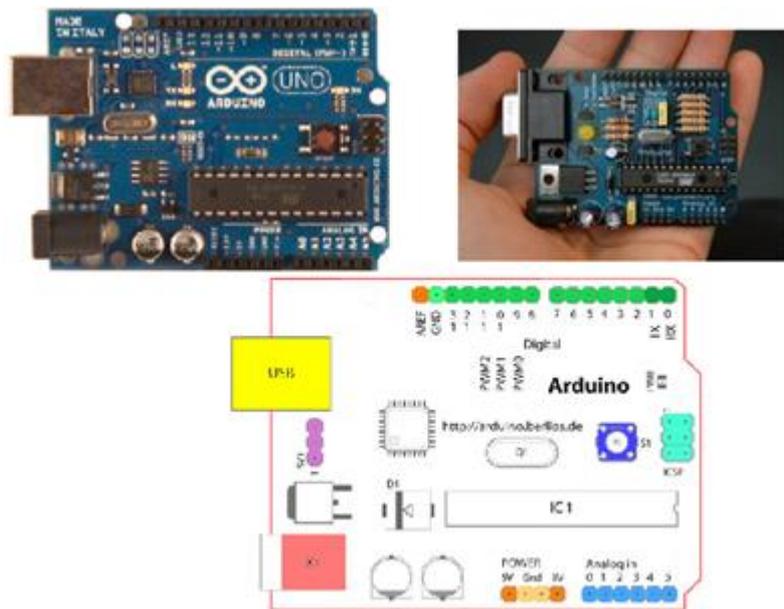
Arduino Uno adalah arduino board yang menggunakan mikrokontroler ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah header ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memiliki area cakupan yang luas untuk segala hal yang dibutuhkan

untuk mendukung sebuah aplikasi yang berbasis mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuat aplikasinya bekerja. Arduino Uno menggunakan ATmega16U2 yang diprogram sebagai USB-to-serial converter untuk komunikasi serial ke komputer melalui port USB.

Adapun data teknis yang terdapat board Arduino UNO R3 adalah sebagai berikut:

- Mikrokontroler: ATmega328
- Tegangan Operasi: 5V
- Tegangan Input (recommended): 7 - 12 V
- Tegangan Input (limit): 6-20 V
- Pin digital I/O: 14 (6 diantaranya pin PWM)
- Pin Analog input: 6 input pin
- Arus DC per pin I/O: 40 mA
- Arus DC untuk pin 3.3 V: 150 mA
- Flash Memory: 32 KB dengan 0.5 KB digunakan sebagai bootloader
- SRAM: 2 KB
- EEPROM: 1 KB
- Kecepatan besaran waktu sebesar: 16 Mhz sebagai komponen untuk *crystall oscillator*

Bagian-bagian pada board arduino dapat dijelaskan dan dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2. 3. Konfigurasi pin input dan output pada Arduino UNO R3  
 Sumber: <http://arduino.cc/en/main/hardware>

Dari gambar 2.3 dapat dijelaskan pada tabel secara detail karakteristik rangkaian pada arduino uno :

Tabel 2. 1. Karakteristik Rangkaian Arduino Uno

No.	Port/Pin Arduino Uno	Keterangan
1.	14 pin input/output digital (0-13)	Berfungsi sebagai input atau output, dapat diatur oleh program. Khusus untuk 6 buah pin 3, 5, 6, 9, 10 dan 11, dapat juga berfungsi sebagai pin analog output dimana tegangan output-nya dapat diatur. Nilai sebuah pin output analog dapat diprogram antara 0 – 255, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0 – 5V

Tabel 2.1. Lanjutan

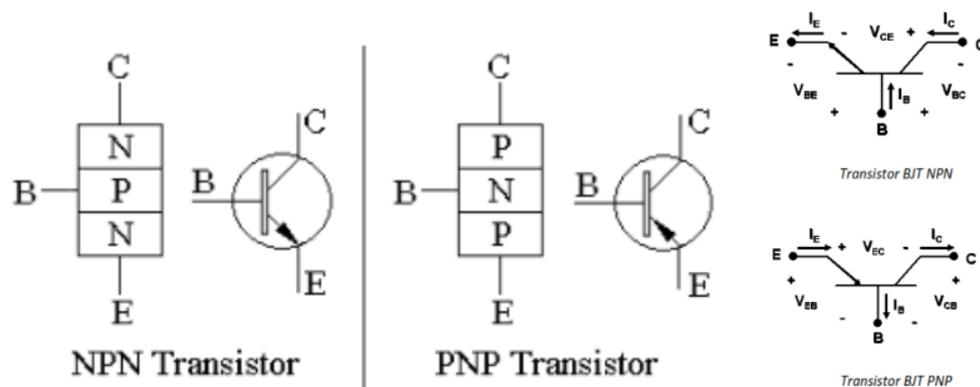
No.	Port/Pin Arduino Uno	Keterangan
2.	Port USB	Berfungsi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Memuat program dari komputer ke dalampapan</li> <li>- Komunikasi serial antara papan dan komputer</li> <li>- Memberi daya listrik kepada papan</li> </ul>
4.	Sambungan SV1	Sambungan atau <i>jumper</i> untuk memilih sumber daya papan, apakah dari sumber eksternal atau menggunakan USB. Sambungan ini tidak diperlukan lagi pada papan Arduino versi terakhir karena pemilihan sumber daya eksternal atau USB dilakukan secara otomatis
5.	Q1 – Kristal ( <i>quartz crystal oscillator</i> )	Jika microcontroller dianggap sebagai sebuah otak, maka kristal adalah jantung-nya karena komponen ini menghasilkan detak-detak yang dikirim kepada microcontroller agar melakukan sebuah operasi untuk setiap detak-nya. Kristal ini dipilih yang berdetak 16 juta kali per detik (16MHz).

Tabel 2.1. Lanjutan

No.	Port/Pin Arduino Uno	Keterangan
6.	Tombol Reset S1	Untuk me-reset papan sehingga program akan mulai lagi dari awal. Perhatikan bahwa tombol reset ini bukan untuk menghapus program atau mengosongkan microcontroller.
7.	In-Circuit Serial Programming (ICSP)	Port ICSP memungkinkan pengguna untuk memprogram microcontroller secara langsung, tanpa melalui bootloader. Umumnya pengguna Arduino tidak melakukan ini sehingga ICSP tidak terlalu dipakai walaupun disediakan.
8.	IC 1 – Microcontroller Atmega	Komponen utama dari papan Arduino, di dalamnya terdapat CPU, ROM dan RAM.
9.	sum X1 – sumber daya	Jika hendak disuplai dengan sumber daya eksternal, papan Arduino dapat diberikan tegangan DC antara 9-12V.
10.	6 pin input analog (0-5)	Pin ini sangat berguna untuk membaca tegangan yang dihasilkan oleh sensor analog, seperti sensor suhu. Program dapat membaca nilai sebuah pin input antara 0 – 1023, dimana hal itu mewakili nilai tegangan 0 – 5V.

### 2.1.2.2. Transistor NPN dan PNP

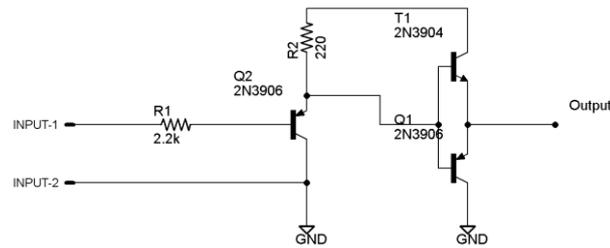
Transistor merupakan salah satu komponen semikonduktor yang terdiri atas susunan material semikonduktor tipe-n dan tipe-p pada tiga daerah dopingnya. Secara umum bagian transistor terbagi menjadi tiga bagian yaitu *emitter*, *base*, dan *collector*. Pada transistor bipolar, susunan material dibedakan menjadi dua yaitu transistor NPN dan PNP. Simbol transistor pada rangkaian dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4. Simbol Transistor PNP dan NPN

Sumber : Modul Praktikum Elektronika Dasar – FMIPA ITB

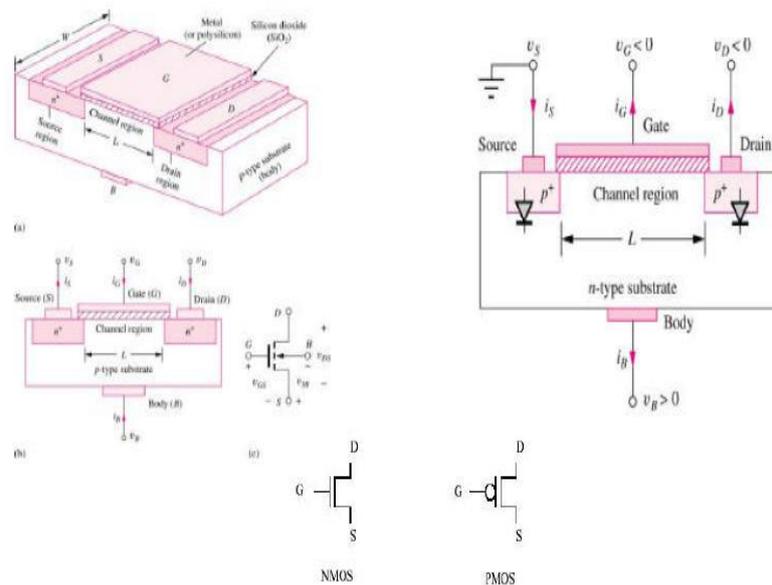
Dalam penelitian ini transistor PNP dan NPN digunakan sebagai rangkaian kendali mosfet. Transistor yang digunakan yaitu tipe NPN 2N3904 dan Transistor PNP 2N3906. Rangkaian pengendali dirangkai seperti gambar 2.5. Di mana pada tingkat akhir, signal dari rangkaian pengendali akan men-*drive* mosfet.



Gambar 2. 5. Rangkaian Pengendali Mosfet

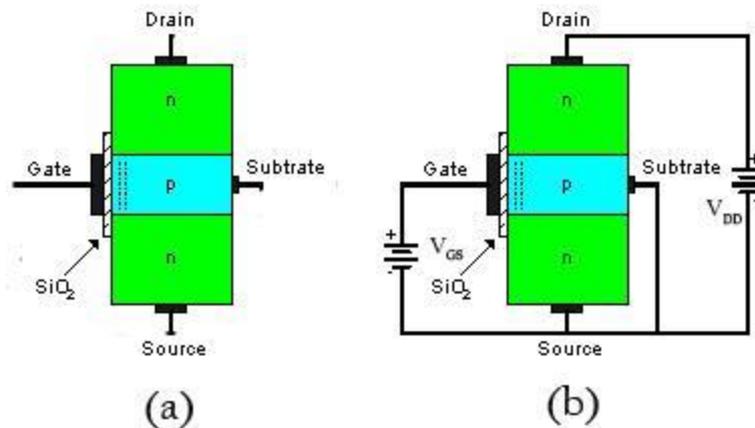
### 2.1.2.3. Mosfet

*Metal Oxide Semiconductor FET* atau *MOSFET* adalah transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu. Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). *N-channel* MOS dibangun dengan menggunakan *polysilicon* sebagai material untuk gate dan *Ndiffusi* untuk membuat source dan drain. Sedangkan *P-channel* MOS dibangun dengan menggunakan *polysilicon* sebagai material untuk gate dan *Pdiffusi* untuk membuat source dan drain. Kedua jenis transistor tersebut ditunjukkan pada gambar 2.6. Meskipun MOSFET memiliki *source*, *drain*, dan *gate*, namun berbeda dengan JFET. *Gate* pada MOSFET diisolasi dari kanal sehingga dapat dioperasikan menggunakan tegangan positif (+), sedangkan *gate* pada JFET menggunakan tegangan negatif (-). Pada MOSFET apabila Gate di triger dengan tegangan negatif lebih kecil dari nol, maka arus Source – Drain akan terputus (Off), dan apabila tegangan lebih positif dari nol maka arus Source – Drain akan semakin besar (ON).



Gambar 2. 6. Transistor NMOS dan PMOS

Bentuk fisik MOSFET sama seperti transistor. Fungsinya adalah untuk menaikkan tegangan dan menurunkan tegangan. Keuntungan menggunakan FET, impedansi inputnya sangat tinggi dan menggunakan hukum kuadrat sehingga menghasilkan kurva transkonduktansi parabolik. Dengan sifatnya yang mudah untuk dioperasikan On-Off maka MOSFET banyak dipakai dalam rangkaian digital (*switch*). MOSFET dapat dioperasikan sebagai Penguat DC, yaitu penguat yang dapat beroperasi sepenuhnya sampai frekuensi nol tanpa kehilangan penguatan.



Gambar 2. 7. Enhancement MOSFET

Gambar 2.7 adalah ilustrasi cara kerja MOSFET. Pada gambar b menunjukkan polaritas pembiasan normal. Ketika tegangan gerbang nol, arus diantara sumber dan saluran adalah nol. Pada kondisi ini, MOSFET biasanya tidak aktif ketika tegangan pada gerbang adalah nol. Ketika gerbang menjadi positif, maka akan menarik elektron bebas ke daerah p. Elektron bebas bergabung kembali dengan lubang-lubang ke silikon oksida. Ketika tegangan gerbang cukup positif, seluruh lubang yang sudah menyentuh silikon dioksida terisi dan elektron bebas mulai mengalir dari *source* ke *drain*. Akibatnya adalah sama seperti membuat lapisan tipis bahan tipe-n ke silikon dioksida. Lapisan konduksi ini disebut lapisan pembalik tipe-n, ketika lapisan ini ada, elektron bebas dapat mengalir dengan mudah dari *source* ke *drain*.

#### 2.1.2.4. Liquid Crystal Device (LCD)

LCD (Liquid Crystal Display) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan

diberbagai bidang misalnya alat-alat elektronik seperti televisi, kalkulator, atau pun layar komputer. Pada penelitian ini digunakan LCD dot matrik dengan jumlah karakter 16 x 2. LCD sangat berfungsi sebagai penampil yang nantinya akan digunakan untuk menampilkan status kerja alat.



Gambar 2. 8. Fisik LCD karakter 16 x 2

Modul LCD memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Terdapat 16 x 2 karakter huruf yang bisa ditampilkan.
- Setiap huruf terdiri dari 5x7 dot-matrix cursor.
- Terdapat 192 macam karakter.
- Terdapat 80 x 8 bit display RAM (maksimal 80 karakter).
- Memiliki kemampuan penulisan dengan 8 bit maupun dengan 4 bit.
- Dibangun dengan osilator lokal.
- Satu sumber tegangan 5 volt.
- Otomatis reset saat tegangan dihidupkan.
- Bekerja pada suhu 0°C sampai 55°C.

#### 2.1.2.5. Termokopel Tipe-K

Termokopel tipe-K merupakan transduser aktif yang terdiri dari dua buah logam berbeda dengan titik pembacaan pada pertemuan kedua buah logam dan titik yang lain sebagai output.



Gambar 2. 9. Cara Kerja Termokopel Tipe-K

Sumber : <https://fahmizaleeits.files.wordpress.com/2010/07/seebeck-termokopel.jpg>

Sebuah termokopel terdiri dari dua buah kawat yang jenisnya berbeda, kemudian ujungnya disambung dan pada sisi lainya dibiarkan terbuka. Sehingga menghasilkan rangkaian terbuka yang menghasilkan tegangan sebagai fungsi dari suhu, disebut sebagai *seebeck voltage*, yang ditemukan oleh Thomas Seebeck pada 1921.

Hubungan antara tegangan dan pengaruhnya terhadap suhu adalah linear. Meskipun perubahan suhu sangat kecil, tegangan pun akan berpengaruh secara linear. Hubungan suhu dan tegangan termokopel tipe-K dapat di tuliskan sebagai berikut :(National Instrument, Application Note 043)

$$\Delta V = S \Delta T \quad (2.3)$$

Dimana :

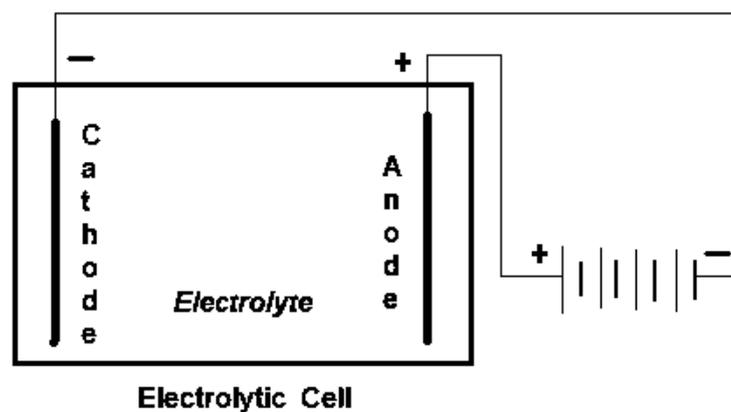
$\Delta V$  = Perubahan tegangan (Volt)

$S$  = Koefisien seebeck

$\Delta T$  = Perubahan Suhu

### 2.1.3. Generator Elektrolisis

Generator elektrolisis merupakan perangkat atau sistem yang dapat menghasilkan gas hidrogen atau disebut juga HHO. HHO adalah singkatan untuk  $H_2O$ , yang artinya memiliki dua molekul hidrogen dan satu molekul oksigen. Perangkat generator elektrolisis HHO terdiri dari tabung reaktor yang di dalamnya terdapat sepasang elektroda dan elektrolit. Sumber listrik yang digunakan pada generatorelektrolisis HHO yaitu sumber listrik arus searah (DC) yang berasal dari baterai ataupun *accumulator*. Generator ini bekerja dengan prinsip elektrolisa air. Secara sederhana generator elektrolisis dapat digambarkan sebagai berikut :



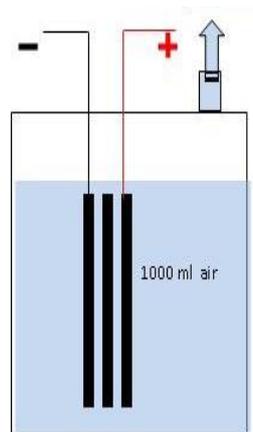
Gambar 2. 10. Skema Generator elektrolisis

Pada generator elektrolisis HHO yang terdiri dari dua elektroda yaitu katoda dan anoda yang terhubung dengan sumber tegangan arus searah akan terjadi proses elektrolisis apabila elektroda direndam dalam larutan elektrolit. Karena terdapat larutan elektrolit, maka arus dapat mengalir dan akan terjadi perubahan kimia pada elektroda. Pada katoda akan terjadi proses reduksi yang menghasilkan gas hidrogen dan pada anoda akan terjadi proses oksidasi yang akan menghasilkan gas oksigen.

Metode elektrolisis yang digunakan sampai saat ini terdapat dua cara yaitu :

### 2.1.3.1. Generator Elektrolisis Tipe Wet Cell

*Wet Cell* adalah generator elektrolisis HHO, dimana elektrodanya terendam elektrolit di dalam sebuah bejana air. Sistemnya yaitu dengan menempatkan air pada suatu wadah dan menempatkan dua buah plat konduktor sebagai anoda dan katoda dalam air. Kemudian plat tersebut diberikan sumber arus sarak atau *direct current* (DC) (Kutub positif sebagai anoda dan kutub negatif sebagai katoda).

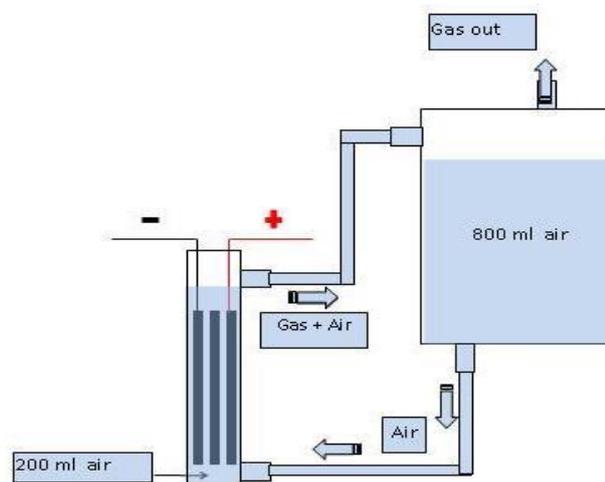


Gambar 2. 11. Tipe Generator elektrolisis HHO Wet Cell

### 2.1.3.2. Generator Elktrolisis Tipe Dry Cell

Dry Cell adalah pembangkit gas hidrogen yang elektrodanya tidak terendam elektrolit. Sistemnya dengan membuat air (*water reservoir*) sebagai bahan baku terpisah dengan tempat terjadinya elektrolisis air. *Water reservoir* dibuat sebagai penampungan air biasa dan tidak ada sistem rumit di dalamnya seperti pengontrolan dan sebagainya. Sedangkan tempat terjadinya elektrolisis terdiri dua buah plat konduktor yang diberi jarak dengan *seal*. Kemudian air

dimasukan ke dalam tempat terjadinya elektrolisis tersebut dengan melubangi plat yang ada di dalam dan plat tersebut diberikan beda potensial.

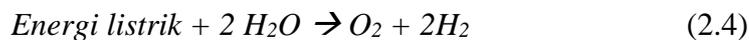


Gambar 2. 12. Tipe Genarator HHO Dry Cell

### 2.1.3.3. Prinsip Kerja Generator Elektrolisis

Generator elektrolisis bekerja berdasarkan prinsip elektrolisis air. Elektrolisis merupakan proses kimia yang merubah energi listrik menjadi energi kimia atau proses dekomposisi dalam suatu elektrolit oleh arus listrik. Elektrolisis air adalah proses untuk menghasilkan gas Hidrogen ( $H_2$ ) dan Oksigen ( $O_2$ ) dengan pemanfaatan energi listrik pada sistem, yaitu menggunakan sumber arus listrik searah (DC). Arus searah dialirkan pada elektroda yang terdiri dari elektroda positif dan elektroda negatif. Elektroda positif adalah plat konduktor yang diberi tegangan positif dan elektroda negatif adalah plat konduktor yang diberi tegangan negatif. Proses elektrolisis ditemukan oleh Faraday tahun 1820.

Persamaan kimia elektrolisa air adalah sebagai berikut<sup>6</sup>:



Terjadi tekanan listrik pada elektroda negatif (katoda) untuk mendorong elektron ke dalam air dan pada anoda (elektroda positif) terjadi penyerapan elektron. Molekul air dekat katoda terbagi menjadi ion hidrogen positif ( $\text{H}^+$ ) dan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ).



$\text{H}^+$  merupakan proton terbuka, bebas untuk menangkap elektron ( $e^-$ ) dari katoda, kemudian menjadi atom hidrogen biasa dan netral.



Atom hidrogen ini berkumpul dengan atom hidrogen lain dan membentuk molekul gas dalam bentuk gelembung dan kemudian naik ke permukaan.



Elektroda negatif (katoda) telah menyebabkan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ) untuk bergerak ke anoda. Ketika mencapai anoda, anoda akan melepas kelebihan elektron yang diambil oleh hidroksida dari atom hidrogen sebelumnya, kemudian ion hidroksida bergabung dengan molekul hidroksida yang lain dan membentuk 1 molekul oksigen dan 2 molekul air :



Molekul oksigen ini sangat stabil dan kemudian gelembungnya naik ke permukaan. Demikian seterusnya dan terjadi pengulangan proses. Reaksi-reaksi

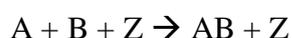
---

<sup>6</sup>Rusminto Tjatur W,dkk, *Proses Elektrolisa Pada Prototipe "Kompur Air" Dengan Pengaturan Arus dan Temperatur*,PENS-ITS, Surabaya. (<http://core.ac.uk/download/pdf/12342559.pdf>)

tersebut terjadi hanya tergantung pada jenis kation dalam larutan. Jika kation berasal dari logam dengan potensial electrode lebih rendah dari pada air, maka air yang akan tereduksi (terpecah).

#### 2.1.3.4. Katalis

Untuk mempercepat proses eletrolisis pada generator elektrolisis, diperlukan katalis. Katalis merupakan senyawa yang dapat mempengaruhi kecepatan reaksi. Kebanyakan katalis berfungsi untuk mempercepat reaksi. Namun, juga terdapat katalis yang memperlambat reaksi. Katalis jenis tersebut disebut inhibitor. Meskipun katalis berperan dalam mempengaruhi kecepatan reaksi, tetapi katalis tidak ikut bereaksi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada persamaan kimia berikut ini<sup>7</sup>:



Zat A bereaksi dengan zat B, kemudian ditambahkan katalis Z. Pada akhir reaksi diperoleh produk reaksi AB dan katalis Z. Jadi katalis Z tidak ikut bereaksi. Pada penelitian ini digunakan katalis kalium hidroksida (KOH) untuk mempercepat laju reaksi menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. KOH adalah senyawa basa yang memiliki sifat elektrolit kuat. Apabila KOH dicampur ke dalam air, maka air tersebut akan memiliki konduktivitas yang dapat menghantarkan arus listrik.

---

<sup>7</sup> Lutfi, IPA KIMIA, (Jakarta:2007), hlm. 77.

### 2.1.3.5. Hidrogen Sebagai Bahan Bakar

Hidrogen merupakan unsur kimia yang memiliki simbol H dan nomor atom 1 pada tabel periodik. Pada suhu dan tekanan standar, hidrogen tidak berbau, tidak berwarna, bersifat non-logam, bervalensi tunggal, dan merupakan gas diatomik yang sangat mudah terbakar. Dengan masa atom 1,00794 amu, hidrogen adalah unsur teringan di dunia. Sifat hidrogen yang reaktif, sehingga keberadaannya di bumi terdapat dalam bentuk senyawa air sebanyak 11,1%, hidrokarbon seperti gas alam sebanyak 25%, minyak bumi 14%, dan karbohidrat 6%.

Gas hidrogen bersifat flammable. Pada konsentrasi serendah 4% H<sub>2</sub> di udara bebas akan menyebabkan terbakarnya gas hidrogen. Entalpi pembakaran hidrogen adalah -286 kJ/mol. Nyala pembakaran hidrogen murni dengan oksigen murni berwarna ultraviolet yang hampir tidak terlihat dengan kasat mata. Ketika dicampur dengan oksigen dalam berbagai perbandingan, hidrogen meledak seketika apabila disulut api dan akan meledak sendiri pada temperatur 560<sup>0</sup> C.

Dalam peristiwa elektrolisis air, akan dihasilkan H<sub>2</sub> dan O<sub>2</sub>. Apabila kedua unsur tersebut dicampur kemudian disulut dengan api, maka akan menghasilkan energi dan kedua unsur tadi akan menjadi senyawa H<sub>2</sub>O. Secara kimia persamaan reaksi yang terjadi dapat digambarkan seperti ini :



Dari persamaan tersebut terlihat sebuah reaksi pembakaran sempurna. Dimana molekul-molekul tersebut terbakar menjadi H<sub>2</sub>O dan tanpa menghasilkan zat polutan seperti CO<sub>2</sub>.

Keuntungan penggunaan hidrogen sebagai bahan bakar yaitu :

1. Satu cuplikan hidrogen jika disulut api akan menghasilkan energi sebanyak tiga kali energi yang dihasilkan oleh bensin dengan berat yang sama.
2. Dalam mesin kendaraan bermotor hidrogen akan terbakar lebih efisien jika dibandingkan bahan bakar lain.
3. Pembakaran hidrogen kurang menghasilkan polusi. Polutan yang terjadi hanya berupa oksida nitrogen yang terjadi jika suhu pembakaran sangat tinggi.
4. Mesin yang menggunakan hidrogen mudah diubah agar dapat menggunakan hidrogen sebagai bahan bakar.

#### **2.1.4. Unjuk Kerja Generator Elektrolisis**

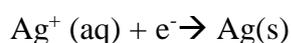
Unjuk kerja sebuah generator elektrolisis meliputi volume gas, suhu generator, dan efisiensi. Untuk mengetahui volume gas secara teoritis, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan hukum faraday dan gas ideal. Suhu generator elektrolisis diperoleh dengan melakukan pengukuran menggunakan sensor suhu pada ruang generator. Dan Efisiensi generator elektrolisis dihitung dengan membandingkan energi elektrolisis secara teoritis dan energi aktual.

##### **2.1.4.1. Hukum Faraday**

Michael Faraday pada awal 1830-an menemukan bahwa larutan tertentu dapat segera menghantarkan arus listrik. Ia menamakan larutan tersebut sebagai

larutan elektrolit dan aliran listrik yang mengalir dalam larutan elektrolit disebut elektrolisis.

Kemudian Faraday meneliti hubungan antara besarnya arus yang mengalir dalam suatu elektrolisis dengan jumlah zat yang bereaksi. Untuk menggambarannya diambil larutan perak nitrat ( $\text{AgNO}_3$ ). Pada katoda akan terjadi reaksi reduksi seperti berikut :



Dari reaksi diatas dapat disimpulkan bahwa untuk menghasilkan 1 mol logam Ag, diperlukan 1 mol elektron. Jumlah listrik yang dialirkan ke dalam sel elektrolisis untuk mendapatkan 1 mol elektron dinamakan 1 faraday. Berdasarkan percobaan diperoleh bahwa 1 mol elektron mengandung muatan listrik sebesar 96500 Coulomb.

### **1 mol elektron = 1 Faraday = 96500 Coulomb**

Lewatnya arus 1 F mengakibatkan osidasi 1 massa ekuivalen suatu zat pada elektroda (anoda) dan reduksi 1 massa ekuivalen suatu zat pada elektroda yang lain (katoda). Dari hasil percobaan pada 1832, Faraday menemukan hubungan antara massa yang dibebaskan atau diendapkan dengan arus listrik (Putra, 2010). Hubungan ini dikenal dengan Hukum Faraday 1 :

*Jumlah berat (massa) zat yang dihasilkan (diendapkan) pada elektroda sebanding dengan jumlah muatan listrik (Coulumb) yang dialirkan melalui larutan elektrolit tersebut.*

$$G = Q \quad (2.10)$$

Dimana :

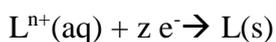
$G$  = massa zat yang dibebaskan (gram)

$Q$  = jumlah listrik yang digunakan

Apabila  $Q$  (muatan listrik) adalah hasil kali arus ( $I$ ) dengan waktu ( $t$ ) maka persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut <sup>8</sup>:

$$G = I \cdot t \quad (2.11)$$

Dalam peristiwa elektrolisis seperti pada percobaan Faraday diatas, bahwa pada katoda terjadi reaksi reduksi dengan persamaan :



Untuk mengendapkan 1 mol  $L$  diperlukan sejumlah  $n$  mol elektron. Oleh karena itu, untuk mengendapkan sejumlah logam maka jumlah listrik yang diperlukan adalah :

$$Q = z(e^{-}) \times F \quad (2.12)$$

Dimana :

$z(e^{-})$  = mol elektron

$F$  = Konstanta Faraday (96500 C/mol)

Jika persamaan (2.11) dan (2.12) disubstitusikan pada persamaan (2.10), maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$G = Q$$

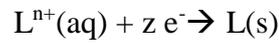
$$I \cdot t = z(e^{-}) \times F$$

$$z(e^{-}) = \frac{I \cdot t}{F}$$

---

<sup>8</sup> Wening Sukmanawati, Kimia SMA Kelas XII, Departemen Pendidikan Nasional, (Jakarta:2009), hlm. 50.

Banyaknya zat yang diendapkan selama elektrolisis dengan arus (Ampere) dan waktu (detik) adalah seperti berikut :



$$z \text{ mol } e^{-} \sim 1 \text{ mol } L$$

$$\frac{I \cdot t}{F} \text{ mol } e^{-} \sim \frac{1}{z} \left( \frac{I \cdot t}{96500} \right) \text{ mol}$$

Dari persamaan diatas, untuk menghitung massa logam yang terendapkan dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} G &= \text{mol} \times Mr \\ &= \frac{1}{z} \left( \frac{I \cdot t}{96500} \right) \times Mr \\ &= \frac{Mr}{z} \times \frac{I \cdot t}{96500} \end{aligned} \quad (2.13)$$

Dimana :

$$\frac{Mr}{z} = \text{massa ekuivalen (Me)}$$

$$I = \text{kuat arus (ampere)}$$

$$t = \text{waktu (sekon)}$$

$$z = \text{muatan ion L (biloks)}$$

#### 2.1.4.2. Gas Ideal

Gas terdiri dari molekul-molekul yang bergerak menurut jalan-jalan yang lurus ke segala arah, dengan kecepatan yang sangat tinggi. Molekul-molekul gas ini selalu bertumbukan dengan molekul-molekul lain atau dengan dinding benjana. Tumbukan terhadap dinding benjana ini yang menyebabkan terjadinya tekanan. (Achmad.1992:17). Gas ideal adalah gas yang mengikuti secara sempurna hukum-

hukum gas (*Boyle, Gay, Lussac*, dan sebagainya). Asumsi gas ideal adalah sebagai berikut :

1. Gas terdiri atas partikel-partikel yang sangat banyak, yang bergerak lurus secara acak diantara tumbukan dengan kecepatan tetap.
2. Tak ada tarikan atau tolakan antar partikel gas.
3. Tumbukan antar partikel gas dan antara partikel gas dengan dinding ruang bersifat lenting sempurna.
4. Volume partikel gas diabaikan terhadap volume ruang.
5. Hukum-hukum mekanika berlaku pada gerak partikel gas.

Gas ideal sebenarnya tidak ada, jadi hanya sekedar hipotesis. Semua gas sebenarnya tidak nyata. Pada gas ideal dianggap bahwa molekul-molekulnya tidak tarik-menarik dan volume molekulnya dapat diabaikan terhadap volume gas itu sendiri atau ruang yang ditempati. Sifat ideal ini hanya didekati oleh gas monoatomik atau diatomik pada tekanan rendah dan pada temperature yang relatif tinggi (Tjatur 2015) diacu pada (Arbie Marwan Putr, 2010).

Persamaan gas ideal dapat ditulis sebagai berikut :

$$p V = n. R. T \quad (2.14)$$

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L)

n = molaritas senyawa (mol)

R = Konstanta Gas Universal (0,08205 L atm/mol K)

T = Temperatur, ( $^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{K}$ )

Untuk menghitung volume gas hidrogen dapat mensubstitusi persamaan gas ideal (2.10) dengan persamaan hukum Faraday (2.13). Sehingga volume hidrogen dan oksigen dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut <sup>9</sup>:

$$P.V = n.R.T$$

$$V = \frac{n.R.T}{P}$$

$$V = \frac{\left(\frac{I.t}{z.F}\right).R.T}{P}$$

$$V = \frac{I.t.R.T}{z.F.P} \quad (2.15)$$

Dimana :

V = Volume gas (L)

I = Arus Listrik pada kondisi percobaan (Ampere)

t = Waktu (s)

R = Konstanta Gas Universal (0,08205 L atm/mol K)

T = Suhu pada kondisi percobaan ( $^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{K}$ )

z = jumlah elektron yang terlibat (2 untuk H<sub>2</sub> dan 4 untuk O<sub>2</sub>)

F = Tetapan Faraday (96500)

P = Tekanan pada kondisi percobaan (atm)

#### 2.1.4.3. Efisiensi Generator Gas HHO

Proses elektrolisis adalah memisahkan gas diatomik hidrogen (H<sub>2</sub>) dan oksigen (O<sub>2</sub>). Dalam elektrolisis satu mol air akan dihasilkan satu mol gas hidrogen

---

<sup>9</sup> Peter E.W. Lowrie, *Electrolysis Gas*, 2006, hlm.4. (<http://waterpoweredcar.com/pdf.files/egas-calculations.pdf>)

dan setengah mol gas oksigen. Proses pertukaran energi untuk satu mol air akan menghasilkan energi entalpi yang bernilai positif karena reaksinya adalah endoterm. Energi entalpi yang dihasilkan yaitu sebagai berikut<sup>10</sup>:



Energi ikatan yang dibutuhkan untuk memutuskan 1 mol ikatan menjadi gas HHO dapat dihitung menurunkan persamaan gas ideal sebagai berikut :

$$\text{Energi Ikatan total} = \Delta h \cdot n$$

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

$$\text{Energi Ikatan total} = \Delta h \cdot \frac{P \cdot V}{R \cdot T}$$

$$\text{Dimana : } \Delta h = +285,83 \times 10^3 \text{ J/mol}$$

Energi ikatan elektrolisis dinyatakan dalam kilojoule per mol (kJ/mol). Maka energi ikatan elektrolisis adalah entalpi dikali dengan mol. Untuk menyamakan dengan energi input (watt), maka volume gas adalah dalam satuan liter per sekon (L/s) dan hasil energi ikatan elektrolisis dikonversi menjadi watt dengan mengalikannya dengan satuan waktu. Berikut ini persamaan efisiensi generator elektrolisis.:

$$\eta = \frac{\text{energi teoritis yang digunakan untuk elektrolisis}}{\text{energi aktual elektrolisis}} \times 100\% \quad (2.17)$$

$$= \frac{\Delta h \cdot \frac{P \cdot V}{R \cdot T}}{(U \cdot I)} \times 100 \%$$

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

---

<sup>10</sup> Rod Nave. 2001, *Electrolysis of Water*, Georgia State University, <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/electrol.html>(Diakses 05 Juli 2015)

V = Volume gas terukur (L/s)

n = molaritas senyawa (mol)

R = Konstanta Gas Universal (0,08205 L atm/mol K)

T = Temperatur, ( $^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{K}$ )

U = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

## 2.2. Kerangka Berpikir

Generator elektrolisis penghasil gas hidrogen adalah seperangkat alat yang digunakan untuk merubah air menjadi gas hidrogen. Proses yang berlangsung dalam alat tersebut adalah peristiwa elektrolisis. Elektrolisis adalah proses kimia yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia. Dalam peristiwa elektrolisis terdapat katoda dan anoda yang dihubungkan dengan arus listrik searah. Pada katoda, dua molekul air akan bereaksi dengan menangkap dua elektron, kemudian tereduksi menjadi gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ) dan ion hidroksida ( $\text{OH}^-$ ). Sementara itu, pada anoda akan terjadi penguraian air menjadi gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) dan melepaskan 4 ion  $\text{H}^+$ , serta mengalirkan elektron ke katoda. Gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan kemudian dapat dikumpulkan dan digunakan sebagai bahan bakar.

Katoda dan anoda pada generator elektrolisis penghasil gas hidrogen disebut dengan *cell*. *Cell* tersebut dihubungkan dengan arus listrik searah. *Cell* yang terhubung dengan arus listrik searah secara langsung (*direct connection*), akan mengalirkan arus secara konstan. Hal ini apabila dalam waktu yang lama, akan menaikkan temperatur pada cell-cell generator. Temperatur pada generator bisa

mencapai  $90^0$  C (Yanuar Arzaqa Ghifari,2013). Jika temperatur tersebut terus naik, maka akan menghasilkan uap air dan membuat ruang reaktor menjadi panas. Sehingga dapat merusak material reaktor. Hidrogen yang tercampur dengan uap air akan mempengaruhi proses pembakaran pada ruang bakar (Ahmad Fattah, 2012).

*Pulse Width Modulation* (PWM) merupakan perangkat elektronik yang digunakan untuk menghasilkan sinyal analog berbentuk pulsa dengan proses digital. Dengan menggunakan PWM, arus dan tegangan dapat diatur dengan cara mengatur prosentase lebar pulsa terhadap periode dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan.

Dalam penelitian ini, akan membandingkan unjuk kerja generator elektrolisis yang menggunakan PWM dengan generator elektrolisis tanpa PWM. Pada generator elektrolisis yang tidak menggunakan PWM, tegangan yang melewati sel elektrolisis akan memiliki bentuk gelombang konstan. Keadaan tersebut, secara terus menerus akan membuat suhu pada sel elektrolisis meningkat. Dengan menggunakan PWM pada generator sel elektrolisis, maka tegangan akan diberikan dalam bentuk pulsa, sehingga tegangan dapat diregulasi dan suhu pada sel elektrolisis dapat dikendalikan.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Waktu dan Tempat Pelaksanaan**

Penelitian ini berjudul “Pengaruh Penggunaan *Pulse Width Modulation* (PWM) Terhadap Unjuk Kerja Generator Elektrolisis Penghasil Gas Hidrogen”. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik - Universitas Negeri Jakarta. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan September 2015 sampai Januari 2016.

#### **3.2. Metode Penelitian**

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan PWM pada generator elektrolisis tipe *dry cell*. Penelitian eksperimen adalah penelitian yang berusaha mencari pengaruh variabel tertentu terhadap variabel lain dengan kontrol yang ketat (Syarifudin, 2002). Menurut (Sugiyono, 2012) penelitian eksperimen dapat diartikan sebagai metodologi penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi terkendalikan.

Dalam penelitian “Pengaruh Penggunaan *Pulse Width Modulation* (PWM) Terhadap Unjuk Kerja Generator Elektrolisis Penghasil Gas Hidrogen”, peneliti mengamati pengaruh yang diakibatkan dari penggunaan PWM terhadap unjuk kerja generator elektrolisis.

Adapun yang menjadi variabel dalam penelitian ini yaitu :

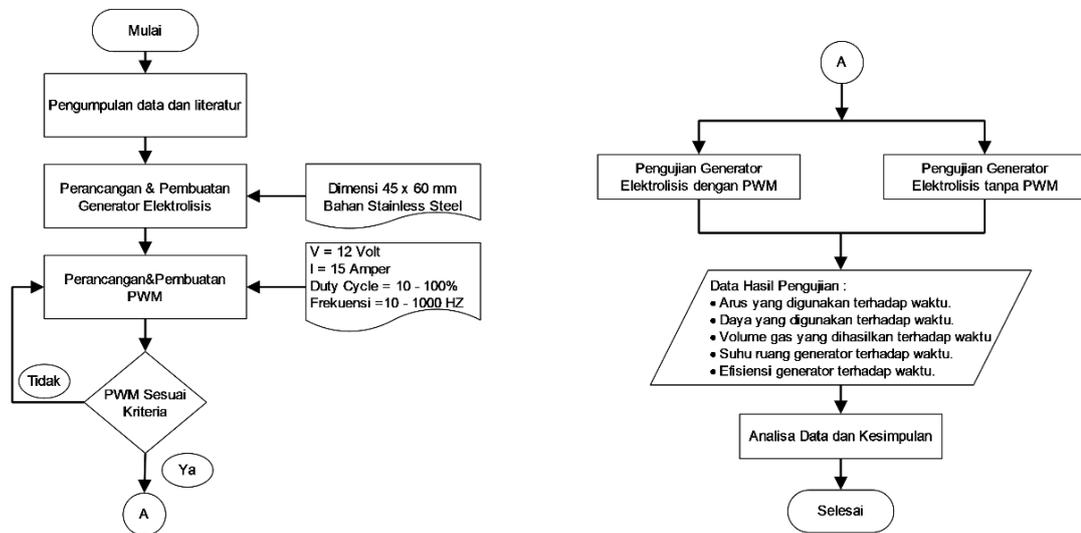
- a. Variabel Bebas : Penggunaan PWM dan Tanpa PWM pada Generator elektrolisis.
- b. Variabel Kontrol : Konsentrasi larutan elektrolit yang digunakan pada generator elektrolisis dengan penggunaan PWM dan tanpa PWM yaitu sebesar 0,1 % (1000 ml air ditambah 1 gram KOH).
- c. Variabel Terikat : Unjuk Kerja Generator Elektrolisis meliputi : Suhu, Volume gas, Daya, Arus, dan Efisiensi.

### **3.3. Definisi Operasional**

Berdasarkan kajian teoritis pada bab sebelumnya, maka terminologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Generator Elektrolisis tipe Dry Cell yaitu perangkat yang digunakan untuk melakukan proses elektrolisis air terdiri dari elektroda anoda dan katoda untuk menghasilkan gas hidrogen.
2. PWM (*Pulse Width Modulation*) yaitu perangkat yang digunakan untuk mengatur frekuensi dan duty cycle pada sumber listrik arus searah yang digunakan pada generator elektrolisis tipe dry cell dalam proses elektrolisis.
3. Elektroda, yaitu bagian dari generator yang terdiri dari katoda dan anoda, yang dibuat dari plat stainless.
4. Cell, terdiri dari satu buah anoda dan satu buah katoda.

### 3.4. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 1. Flowchart Penelitian

### 3.5. Instrumen Penelitian

#### 3.5.1. Alat Ukur

1. Multimeter Digital digunakan untuk mengukur tegangan dan arus pada generator HHO.
2. Gelas Ukur, digunakan untuk mengukur gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis.
3. Sensor Suhu, digunakan untuk mengukur suhu pada *cell-cell* generator elektrolisis.

#### 3.5.2. Teknik Pengujian Alat

#### 3.5.3. Pengujian Pulse Width Modulation

Dalam penelitian ini menggunakan PWM yang gelombangnya dibangkitkan oleh pin 9 analog Arduino. Pengujian dilakukan dengan melihat

gelombang pada osiloskop untuk mengetahui waktu *on*, waktu *off*, dan frekuensi. Kemudian data pengukuran dibandingkan dengan indikator pada PWM. Berikut ini langkah-langkah pengujian PWM :

1. Hubungkan PWM dengan power supply.
2. Hubungkan bagian output PWM dengan beban.
3. Kalibrasi Osiloskop.
4. Hubungkan *probe* osiloskop pada output positif PWM.
5. Hubungkan *ground* osiloskop pada output negatif PWM.
6. Posisikan switch pwm dalam keadaan “on”.
7. Atur frekuensi dan duty cycle yang akan diukur.
8. Amati dan catat parameter pada osiloskop pada tabel.

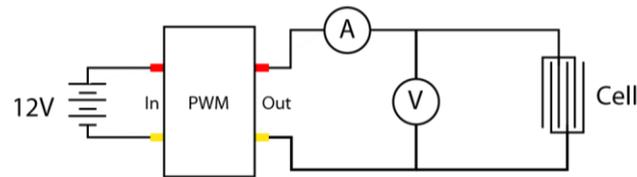
Tabel 3. 1. Pengujian *Pulse Width Modulation*

No.	Frekuensi PWM (Hz)	Duty Cycle PWM(%)	Hasil Pengukuran						
			T-Div <sub>on</sub>	T-Div <sub>off</sub>	Time/Div (ms)	T <sub>on</sub> (ms)	T <sub>off</sub> (ms)	Duty Cycle (Ton/(Ton+Toff)*100)	Frekuensi (1/(Ton+Toff))
1	100	25							
2	100	50							
3	100	75							
4	500	25							
5	500	50							
6	500	75							
7	1000	25							
8	1000	50							
9	1000	75							

### 3.5.4. Pengujian Generator Elektrolisis HHO Menggunakan PWM

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan, arus, daya, temperatur, dan volume gas HHO dengan menggunakan PWM. Berikut ini langkah-langkah pengujian Generator elektrolisis dengan PWM:

1. Hubungkan alat ukur voltmeter dan amperter sesuai dengan metode pengukuran pada alat generator elektrolisis. Lihat gambar 3.2.



Gambar 3. 2. Rangkaian Pengujian Generator Elektrolisis dengan PWM

2. Hubungkan kabel termokopel tipe-k pada alat ukur suhu.
3. Hubungkan sumber tegangan pada PWM.
4. Hubungkan output PWM pada anoda dan katoda Generator elektrolisis.
5. Pastikan kembali rangkaian pengukuran dan posisi sensor suhu.
6. Posisikan saklar PWM pada posisi “on”.
7. Atur dutycycle sesuai dengan rencana percobaan.
8. Catat hasil tegangan, arus, daya, temperature, dan laju volume gas pada tabel pengujian setiap 1 menit sekali.

Tabel 3. 2. Pengujian Generator Elektrolisis dengan PWM

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Perhitungan Volume Gas HHO (ml/menit)
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							

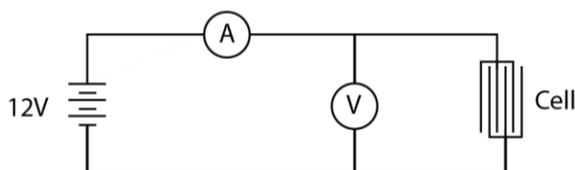
Tabel 3.2. Lanjutan

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Perhitungan
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	Volume Gas HHO (ml/menit)
12							
13							
<b>Rata-rata arus</b>							
<b>Rata-rata volume per menit (pengukuran)</b>							
<b>Rata-rata volume per menit (perhitungan)</b>							
<b>Total Volume selama 13 menit</b>							

### 3.5.5. Pengujian Generator Elektrolisis HHO Tanpa Menggunakan PWM

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan, arus, daya, temperatur, dan laju produksi gas HHO tanpa menggunakan PWM. Berikut ini langkah-langkah pengujian Generator elektrolisis tanpa PWM :

1. Hubungkan alat ukur voltmeter dan amperter sesuai dengan metode pengukuran pada alat generator elektrolisis. Lihat Gambar 3.3.



Gambar 3. 3. Rangkaian Pengujian Generator Elektrolisis tanpa PWM

2. Hubungkan kabel termokopel tipe-k pada alat ukur suhu.
3. Hubungkan sumber tegangan pada anoda dan katoda Generator elektrolisis.
4. Pastikan kembali rangkaian pengukuran dan posisi sensor suhu.
5. Posisikan saklar pada posisi “on”.
6. Atur dutycycle sesuai dengan rencana percobaan.

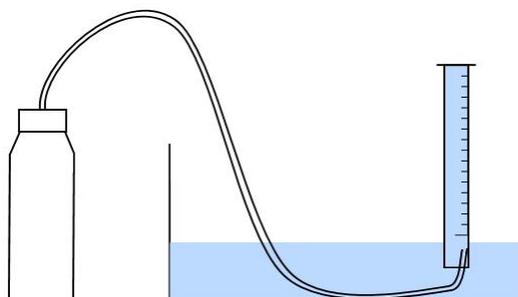
7. Catat hasil tegangan, arus, daya, temperature, dan laju produksi gas pada tabel pengujian.

Tabel 3. 3. Pengujian Generator Elektrolisis Tanpa PWM

Waktu menit ke- ..	Hasil Pengukuran					Perhitungan Volume Gas HHO
	Tegangan (Volt)	Arus (Amper e)	Daya (Watt) V.I	Tempera tur	Volume Gas HHO (ml)	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
<b>Rata-rata arus</b>						
<b>Rata-rata volume per menit (pengukuran)</b>						
<b>Rata-rata volume per menit (perhitungan)</b>						
<b>Total volume selama 13 menit</b>						

### 3.5.6. Pengukuran Volume Gas HHO

Pengukuran volume dilakukan dengan merangkai gelas ukur kapasitas 1000 ml seperti pada gambar 3.4. Perubahan volume dicatat setiap 1 menit.



Gambar 3. 4. Metode Pengukuran Volume Gas HHO

Sumber :[http://www.sciencebuddies.org/Files/3027/5/Chem\\_img033.jpg](http://www.sciencebuddies.org/Files/3027/5/Chem_img033.jpg)

Dari hasil pengukuran kemudian dihitung volume gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan berdasarkan persamaan kimia sebagai berikut<sup>11</sup>:



Pada persamaan kimia diatas, dua bagian KOH yang dicampur dengan dua bagian air, ketika dielektrolisis terjadi penguraian padatan, dimana K<sub>2</sub> akan tetap di dalam larutan, sedangkan 3 bagian H<sub>2</sub> dan 2 bagian O<sub>2</sub> akan menguap ke udara. tetap di dalam larutan, sedangkan 3 bagian H<sub>2</sub> dan 2 bagian O<sub>2</sub> akan menguap ke udara. Dalam hal ini jika terbaca pada skala gelas ukur dalah 50 ml maka selama 1 menit dihasilkan gas hidrogen sebesar 30 ml dan gas oksigen sebesar 20 ml.

### 3.5.7. Pengukuran Suhu Reaktor

Suhu pada ruang reaktor diukur dengan menempatkan termokopel tipe-K sebagai transduser. Kemudian termokopel tersebut dihubungkan pada alat ukur suhu thermometer digital APPA 55.



Gambar 3. 5. Alat Ukur Suhu Appa 55

<sup>11</sup>Arbie Marwan Putra, Analisis Produktivitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan KOH, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang, 2010, hlm. 22.

### 3.6. Perancangan Alat

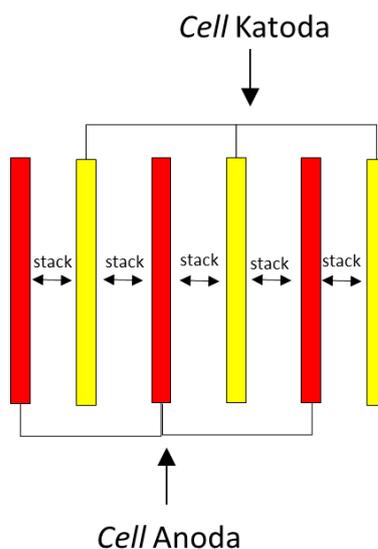
#### 3.6.1. Perancangan Generator Elektrolisis HHO Tipe Dry Cell

Generator elektrolisis tipe *dry cell* terdiri dari beberapa bagian yaitu wadah penampung bahan baku air, ruang reaktor dan *bubler*. Dalam penelitian ini akan dirancang sebuah ruang reaktor tipe *dry cell* yaitu dimana *cell* yang terdiri dari anoda dan katoda yang dibuat sedemikian rupa untuk menampung air yang dibutuhkan dalam elektrolisis.

Berdasarkan perhitungan dalam sebuah penelitian (M. Ahsan Ilhamy, 2013) tegangan yang dibutuhkan untuk proses elektrolisis air menjadi gas hidrogen dan oksigen 1,967 volt untuk 1 cell. Menurut *Bob Boyce*, rentang tegangan listrik yang diperbolehkan antar cell pada generator elektrolisis yaitu 2,0 sampai 3,0 volt agar tidak terjadi panas yang berlebih pada generator elektrolisis. Faraday mengatakan bahwa tegangan minimum untuk efisiensi elektrolisis adalah 1,24 volt. Pada desain generator elektrolisis yang akan dibuat, tegangan antar cell atau antar katoda dan anoda adalah 2 volt. Tegangan minimum yang diperlukan antar cell sangat dipengaruhi oleh elektrolit yang akan digunakan.

Pada generator elektrolisis yang akan dibuat, digunakan sumber tegangan sebesar 12 Volt. Maka dapat ditentukan berapa cell yang dibutuhkan dalam generator tersebut, yaitu :

$$\text{Jumlah Cell} = \frac{\text{Tegangan Sumber}}{2 \text{ volt}} = \frac{12}{2} = 6 \text{ buah cell}$$

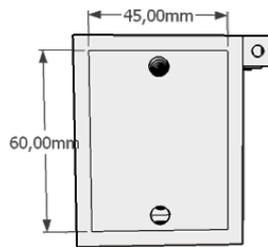


Gambar 3. 6. Konfigurasi Cell Generator Elektrolisis Dry Cell

Gambar 3.6 merupakan skema generator elektrolisis yang akan dibuat. Jumlah plat atau elektroda yaitu sebanyak 6 plat yang terdiri dari 3 anoda dan 3 katoda. Memiliki 7 *water cell* (celah diantara dua plat) pada setiap *stack* dan tegangan antar plat sebesar 2 volt. Arus yang mengalir antar *stack* (tumpukan) dapat diketahui dengan cara membagi arus nominal yang digunakan dengan jumlah *stack* (tumpukan). *Cell* tersebut dirancang untuk kapasitas arus sebesar 7 amper dan jumlah *stack* sebanyak 5. Jadi, arus yang akan mengalir antar *stack* adalah  $I = \frac{7}{5} = 1,4 A$ . *Cell* terbuat dari bahan *stainless steel* 304 L. Pemilihan *stainless steel* digunakan karena memiliki kemampuan tahan karat.

Menurut Eddy Ariffin (2013) diacu dalam M. Ahsan Ilhamy (2014:19) bahwa sumber arus DC sebesar 1 amper hanya dapat mencakup luasan plat  $40\text{mm}^2$ . Maka desain luasan elektroda dapat ditentukan dari arus yang akan digunakan. Dalam penelitian ini, generator elektrolisis hho yang akan digunakan dirancang untuk kendaraan sepeda motor. Dimana sistem arus kelistrikan pada kendaraan

sepeda motor adalah maksimal 7 amper. Artinya dengan arus sebesar 7 ampere, maka luas elektroda yang dapat digunakan adalah  $280\text{mm}^2$ . Desain luasan elektroda yang akan digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 3.7.

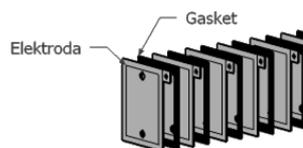


Gambar 3. 7. Layout Elektroda Generator Elektrolisis Dry Cell

Tabel 3. 4. Spesifikasi Elektroda Generator Elektrolisis Dry Cell

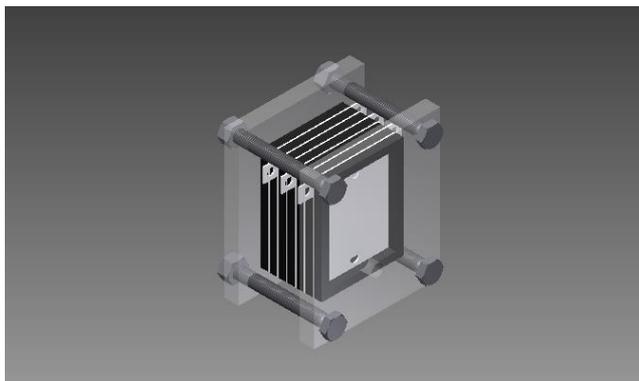
<b>Luas Elektroda</b>	$270\text{ mm}^2$
<b>Bahan Elektroda</b>	Stainless Steel 304 L
<b>Ketebalan</b>	0,5 mm

Elektroda terdiri dari anoda dan katoda. Elektroda antar elektroda akan dipisahkan menggunakan gasket dengan ketebalan 0,5 mm. Susunan elektroda dan gasket dapat dilihat pada gambar 3.8.



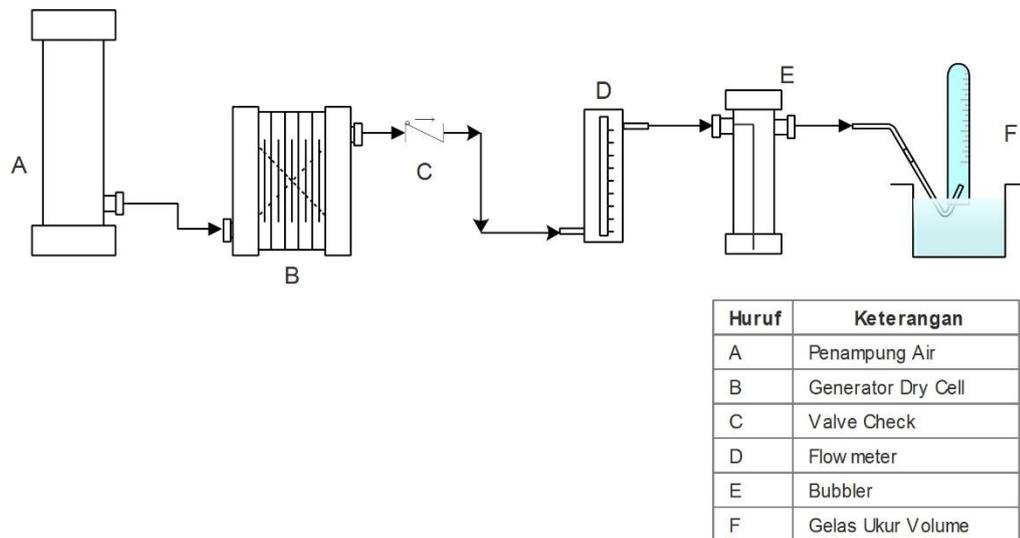
Gambar 3. 8. Layout Susunan Elektroda

Secara keseluruhan rancangan alat dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3. 9. Desain Generator Elektrolisis Tipe Dry Cell

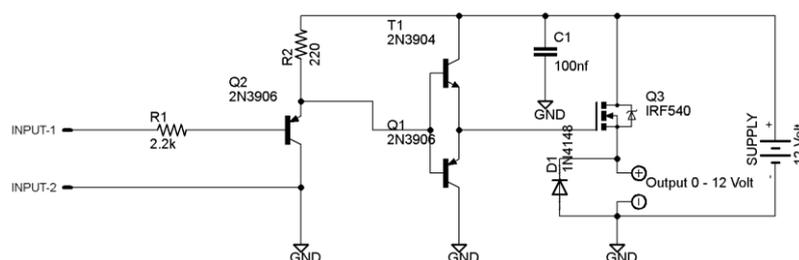
Proses Kerja Generator elektrolisis tipe dry cell dapat dilihat pada gambar 3.10. Air yang akan dielektrolisis ditampung pada penampung air (A). Selanjutnya air akan memenuhi ruang generator elektrolisis (B). Ketika generator elektrolisis diberi arus listrik searah, maka akan terjadi reaksi elektrolisis di dalam generator elektrolisis. Gas hidrogen dan oksigen hasil elektrolisis akan melewati *valve check* (C) agar aliran gas tidak berbalik ke ruang generator elektrolisis. Aliran gas HHO dari *valve check* (C) akan melewati *flowmeter* (D), untuk mengukur laju produksi gas HHO dan selanjutnya akan masuk ke *bubbler* (E) sebagai pengaman dan indikator adanya gas yang dihasilkan. Setelah melewati *bubbler* (E), aliran gas akan menuju gelas ukur volume yang fungsinya juga sama dengan *flowmeter* (D), yaitu mengukur volume gas yang dihasilkan.



Gambar 3. 10. Proses Kerja Generator elektrolisis Tipe Dry Cell

### 3.6.2. Perancangan Pulse Width Modulation (PWM)

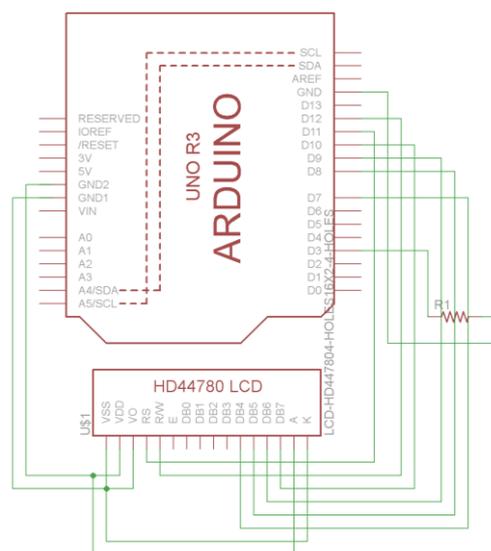
PWM pada generator elektrolisis digunakan untuk mengatur tegangan pada cell generator agar temperatur pada generator dapat dikendalikan. Bentuk tegangan adalah gelombang persegi dan berupa pulsa. PWM dibuat berbasis mikrokontroler Arduino UNO dengan komponen mosfet IRFP540, transistor 2n3904 dan 2n3906 (Lampiran 3). Dimana gelombang PWM yang dibangkitkan dari arduino akan menjadi signal input pada rangkaian driver mosfet. Berikut ini rangkaian driver mosfet :



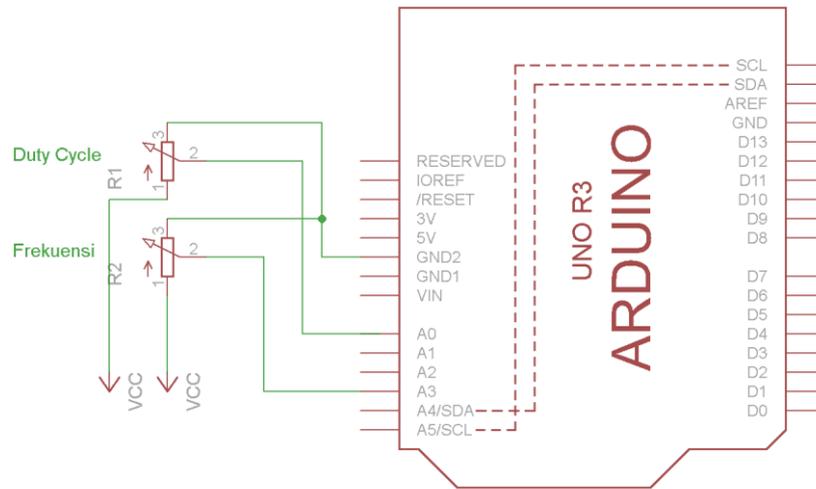
Gambar 3. 11. Skematik Driver Mosfet

Output PWM dari Arduino akan menjadi signal input pada base transistor Q2 (2N3906). Ketika signal input dalam keadaan *high* maka arus dari *emitor* Q2 akan mengalir ke *collecto* dan memberikan signal pada rangkaian penguat B. Ketika signal dalam keadaan *high* maka *gate* pada mosfet akan mendapatkan bias input ( $V_{gs}$ ) secara maksimum sehingga arus *drain* pada mosfet juga akan maksimum. Sehingga mosfet dalam kondisi ON. Ketika *signal* input dalam keadaan *low*, maka *gate* pada mosfet tidak mendapat tegangan bias karena terhubung ke *ground*. Dan mosfet dalam keadaan *cut-off*.

Untuk melihat indikator *dutycycle* dan frekuensi yang diberikan PWM, dapat dilihat pada *LCD* monochrome. Berikut ini rangkaian *LCD* yang terhubung dengan Arduino :



Gambar 3. 12. Rangkaian LCD, sebagai Indikator Dutycycle dan Frekuensi



Gambar 3. 13. Rangkaian Kontrol Duty Cycle dan Frekuensi

Pemrograman *Pulse Width Modulation* menggunakan software IDE. Kode pemrograman dapat dilihat pada (Lampiran 1).

### 3.7. Analisa Data

Analisa data dilakukan dengan membandingkan data hasil pengujian dan data hasil perhitungan. Data hasil pengujian yaitu berupa arus, tegangan, daya, volume gas, dan suhu. Dari data hasil pengujian kemudian diolah dengan persamaan hukum faraday dan gas ideal, sehingga menghasilkan data hasil perhitungan. Berikut ini persamaan yang digunakan dalam analisa data :

Menghitung Volume Gas :

$$V = \frac{I.t.R.T}{z. F. P} \quad (3.1)$$

Dari persamaan 3.1 untuk menghasilkan total volume gas yang dihasilkan, maka dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Total Volume Gas} = V_{H_2} + V_{O_2} = \frac{I.t.R.T}{2. F. P} + \frac{I.t.R.T}{4. F. P} \quad (3.2)$$

Dimana :

V = Volume gas (L)

I = Arus Listrik pada kondisi percobaan (Ampere)

t = Waktu (s)

R = Konstanta Gas Universal (0,08205 L atm/mol K)

T = Suhu pada kondisi percobaan ( $^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{K}$ )

z = jumlah elektron yang terlibat (2 untuk  $\text{H}_2$  dan 4 untuk  $\text{O}_2$ )

F = Tetapan Faraday (96500)

P = Tekanan (1 atm)

Efisiensi generator elektrolisis diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\eta = \frac{\text{energi teoritis yang digunakan untuk elektrolisis}}{\text{energi aktual elektrolisis}} \times 100\% \quad (3.3)$$

$$= \frac{\Delta h \cdot \frac{P \cdot V}{R \cdot T}}{(U \cdot I)} \times 100 \%$$

Dimana :

P = Tekanan gas ideal (atm)

V = Volume gas terukur (L/s)

n = molaritas senyawa (mol)

R = Konstanta Gas Universal (0,08205 L atm/mol K)

T = Temperatur, ( $^{\circ}\text{C} + 273,15^{\circ}\text{K}$ )

U = Tegangan (Volt)

I = Arus (Amper)

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

##### 4.1.1. Pengujian Pulse Width Modulation (PWM)

Pengujian PWM (*Pulse Width Modulation*) dilakukan dengan melihat gelombang pulsa pada osiloskop. PWM diuji pada *duty cycle* 25%, 50%, dan 75% dengan frekuensi 50 – 1000 Hz (Lampiran 2). Hasil pengujian PWM dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Hasil Pengujian PWM

No.	Frekuensi PWM (Hz)	Duty Cycle PWM(%)	Hasil Pengukuran						
			T-Div <sub>on</sub>	T-Div <sub>off</sub>	Time/Div (ms)	T <sub>on</sub> (ms)	T <sub>off</sub> (ms)	Duty Cycle (Ton/(Ton+Toff)*100)	Frekuensi (1/(Ton+Toff))
1	50	25%	1	3	5	5	15	25%	50
2	50	50%	2	2	5	10	10	50%	50
3	50	75%	3	1	5	15	5	75%	50
4	100	25%	0.45	1.45	5	2.25	7.25	24%	105
5	100	50%	1	1	5	5	5	50%	100
6	100	75%	1.5	0.5	5	7.5	2.5	75%	100
7	500	25%	0.5	1.5	1	0.5	1.5	25%	500
8	500	50%	1	1	1	1	1	50%	500
9	500	75%	1.5	0.5	1	1.5	0.5	75%	500
10	1000	25%	0.5	1.5	0.5	0.25	0.75	25%	1000
11	1000	50%	0.5	0.5	1	0.5	0.5	50%	1000
12	1000	75%	1.5	0.5	0.5	0.75	0.25	75%	1000

Dari hasil pengujian *duty cycle* dan frekuensi sudah sesuai dengan yang diinginkan. Ketika potensiometer yang digunakan sebagai pengaturan *duty cycle* dan frekuensi diatur pada *duty cycle* dan frekuensi tertentu maka tampilan pada

LCD akan menunjukkan besaran *duty cycle* dan frekuensi yang diinginkan (gambar 4.1). Dari hasil pengujian nilai *duty cycle* dan frekuensi pada LCD sesuai dengan hasil pengujian pada osiloskop.



Gambar 4. 1. Pengujian PWM Frekuensi 1 kHz dan Duty Cycle 50%

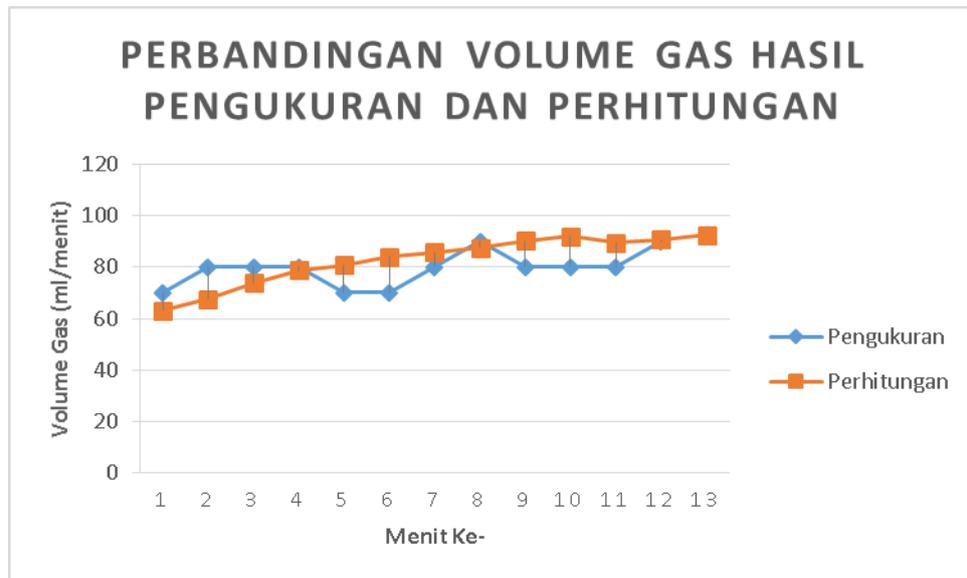
#### 4.1.2. Pengujian Generator Elektrolisis tanpa PWM

Pengujian Generator elektrolisis tanpa PWM yaitu menguji generator dengan memberikan sumber listrik arus searah secara langsung pada *battery*. Dari pengujian ini dilakukan pengatan pada arus, temperatur, dan volume gas hho yang dihasilkan. Hasil pengujian generator elektrolisis tanpa PWM dapat dilihat pada tabel 4.2 dan dokumentasi pengujian pada lampiran 4.

Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Generator Elektrolisis tanpa PWM

Waktu menit ke- ..	Hasil Pengukuran					Perhitungan
	Tegangan (Volt)	Arus (Amper e)	Daya (Watt) V.I	Tempera tur	Volume Gas HHO (ml)	Volume Gas HHO
1	10,2	5,4	54,67	34,5	70	63
2	9,9	5,7	56,43	37,4	80	68
3	9,9	6,2	61,01	41,0	80	74
4	9,8	6,5	63,57	44,3	80	79
5	9,8	6,6	64,75	47,6	70	81
6	9,7	6,8	66,16	50,2	70	84
7	9,7	6,9	66,64	53,8	80	86
8	9,7	6,9	67,11	56,6	90	87
9	9,6	7,1	68,37	60,0	80	90
10	9,8	7,2	69,95	63,1	80	92
11	9,6	6,9	66,01	66,8	80	90
12	9,7	6,9	67,03	70,2	90	91
13	9,7	7,0	67,90	72,7	-	93
<b>Rata-rata arus</b>				<b>6,6 A</b>		
<b>Rata-rata volume per menit (pengukuran)</b>				<b>79,2 ml/menit</b>		
<b>Rata-rata volume per menit (perhitungan)</b>				<b>82,0 ml/menit</b>		
<b>Total volume selama 13 menit</b>				<b>&gt;950 ml</b>		

Dari tabel 4.2. hasil pengujian generator elektrolisis tanpa PWM, rata-rata volume gas HHO yang dihasilkan per menit adalah 79,2 ml/menit dan total volume yang dihasilkan selama 13 menit yaitu lebih dari 950 ml. Volume yang dihasilkan pada menit ke-13 tidak dapat terbaca di gelas ukur karena sudah melebihi skala gelas ukur. Temperatur fluida pada ruang reaktor naik sangat signifikan, yaitu dalam waktu 13 menit mencapai 72,7<sup>0</sup>C dan terus mengalami kenaikan. Hal ini, disebabkan karena konsumsi arus yang sangat besar yaitu rata-rata sebesar 6.6 Amper. Suhu generator yang mencapai 72,7<sup>0</sup>C, membuat proses elektrolisis tidak dapat berlangsung lama, sebab hal tersebut dapat merusak material generator elektrolisis.



Gambar 4. 2. Grafik Perbandingan Volume Gas Hasil Pengukuran dan Perhitungan Tanpa Menggunakan PWM

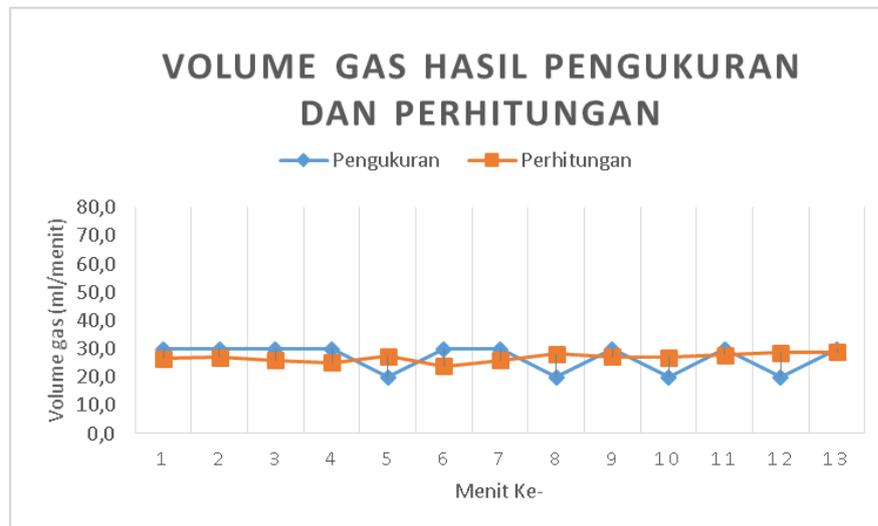
Perbandingan volume gas HHO yang dihasilkan dengan hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 3.13. Dari hasil perhitungan volume gas yang dihasilkan terhadap waktu cenderung mengalami kenaikan. Sedangkan berdasarkan pengukuran volume gas tidak stabil mengalami. Rata-rata volume gas hasil perhitungan adalah sebesar 82, ml/menit dan rata-rata volume gas hasil pengujian adalah 79.2 ml/menit.

#### 4.1.3. Pengujian Generator Elektrolisis Menggunakan PWM

Pengujian generator elektrolisis dengan menggunakan PWM dilakukan dengan memberikan *duty cycle* 50%, 75%, dan 90 %. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.3 dan dokumentasi pengujian pada lampiran 4.

Tabel 4. 3. Hasil Pengujian Generator Elektrolisis dengan PWM DutyCycle 50%

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Perhitungan	
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	Volume Gas HHO (ml/menit)	
1	50	5,8	2,3	13,2	32,1	30,0	26	
2		5,6	2,3	13,0	32,6	30,0	27	
3		5,7	2,2	12,6	33,3	30,0	26	
4		5,8	2,1	12,4	33,8	30,0	25	
5		5,5	2,3	12,8	34,4	20,0	27	
6		5,8	2,0	11,8	34,8	30,0	24	
7		5,7	2,2	12,6	35,2	30,0	26	
8		5,5	2,4	13,1	35,7	20,0	28	
9		5,4	2,3	12,4	36,1	30,0	27	
10		5,4	2,3	12,4	36,5	20,0	27	
11		5,4	2,4	12,7	36,7	30,0	28	
12		5,6	2,4	13,5	37,0	20,0	29	
13		5,6	2,4	13,5	37,4	30,0	29	
<b>Rata-rata arus</b>				<b>2,3 A</b>				
<b>Rata-rata volume per menit (pengukuran)</b>				<b>26,9 ml/menit</b>				
<b>Rata-rata volume per menit (perhitungan)</b>				<b>26,9 ml/menit</b>				
<b>Total Volume selama 13 menit</b>				<b>350 ml</b>				



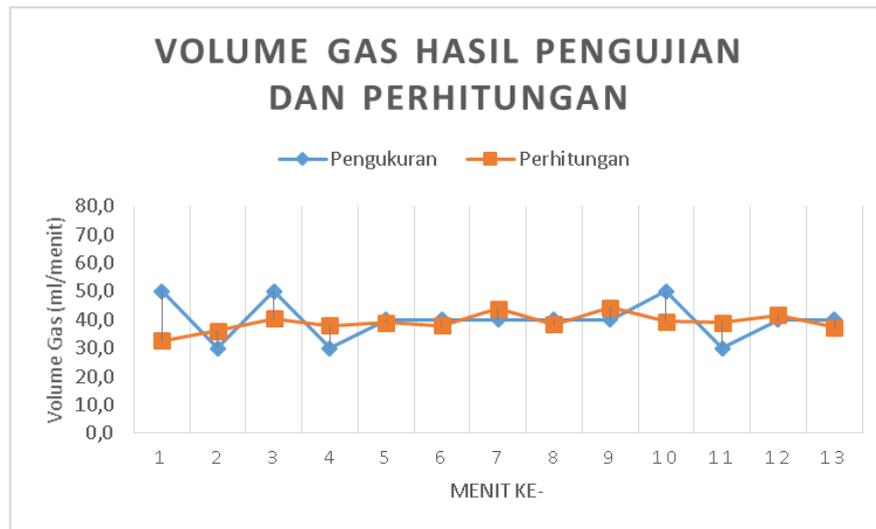
Gambar 4. 3. Grafik Volume Gas Hasil Pengujian dan Perhitungan Pada Duty Cycle 50%

Dengan duty cycle PWM sebesar 50%, dari hasil tabel 4.3 terlihat bahwa arus yang mengalir terlihat stabil yaitu rata-rata sebesar 2,3 A. Volume gas HHO

yang dihasilkan selama 13 menit adalah 350 ml. Rata-rata Volume gas HHO yang dihasilkan selama 1 menit yaitu sebesar 26,9 ml. Suhu fluida pada generator elektrolisis selama 13 menit naik secara perlahan mencapai 37,4 °C. Volume gas hasil pengukuran dan perhitungan pada *duty cycle* 50% ditunjukkan pada gambar 4.2. Dari hasil perhitungan, volume gas cenderung stabil, rata-rata gas yang dihasilkan berdasarkan hasil perhitungan adalah 26,9 ml/menit. Sedangkan volume gas hasil yang dihasilkan berdasarkan pengukuran mengalami naik – turun dan rata-rata volume gas yang dihasilkan adalah sebesar 26,9 ml/menit – sama dengan hasil perhitungan.

Tabel 4. 4. Hasil Pengujian Generator elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 75%

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Perhitungan
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	Volume Gas HHO
1	75	7.5	2.8	21.0	32.0	50	33
2		7.0	3.1	21.6	33.3	30	36
3		7.0	3.4	24.1	34.4	50	40
4		6.9	3.2	22.2	35.5	30	38
5		7.3	3.3	24.1	36.5	40	39
6		7.2	3.2	23.2	37.7	40	38
7		6.8	3.7	25.0	38.4	40	44
8		7.1	3.2	23.0	39.3	40	38
9		6.8	3.7	25.3	39.9	40	44
10		7.1	3.3	23.2	40.6	50	39
11		7.3	3.3	23.9	41.0	30	39
12		7.0	3.5	24.2	41.4	40	42
13		7.2	3.1	22.4	42.0	40	37
<b>Rata-rata arus</b>				<b>3.3 A</b>			
<b>Rata-rata volume per menit (pengukuran)</b>				<b>40 ml/menit</b>			
<b>Rata-rata volume per menit (perhitungan)</b>				<b>39,1 ml/menit</b>			
<b>Total Volume selama 13 menit</b>				<b>520 ml</b>			



Gambar 4. 4. Grafik Volume Gas Hasil Pengujian dan Perhitungan Pada Duty Cycle 75%

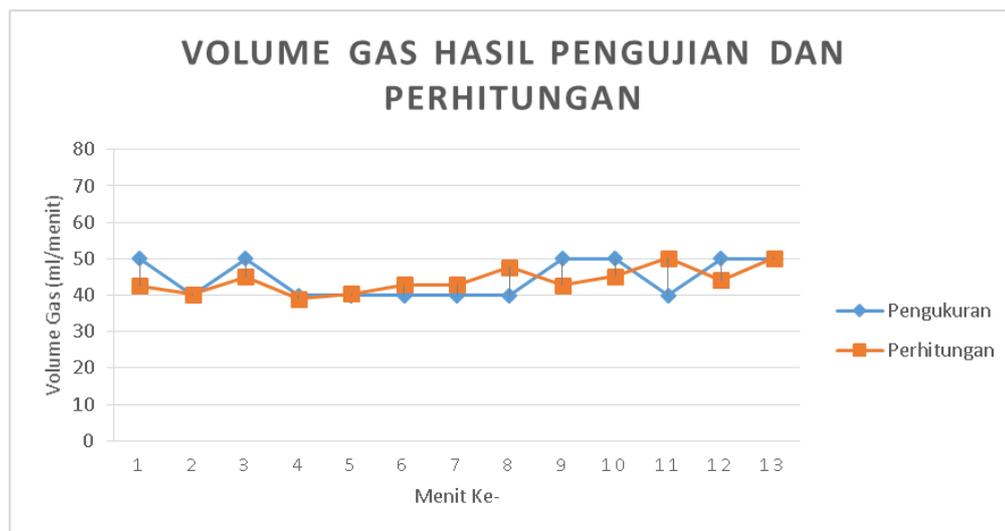
Hasil pengujian generator elektrolisis pada tabel 4.4 menggunakan PWM dengan *duty cycle* sebesar 75%, rata-rata arus yang digunakan adalah 3,3 Amper. Kenaikan suhu fluida selama 13 menit adalah mencapai 42,0 °C. Total volume gas HHO yang dihasilkan selama 13 menit sebesar 520 ml. Pada hasil pengujian rata-rata volume yang dihasilkan per menit adalah 40 ml/menit. Sedangkan berdasarkan perhitungan rata-rata gas yang dihasilkan dalam waktu per menit adalah 39,1 ml/menit. Volume gas lebih besar hasil pengujian dari pada hasil perhitungan, hal ini dapat terjadi karena disebabkan oleh ketelitian alat ukur yang digunakan dan kesalahan dalam pembacaan.

Tabel 4. 5. Hasil Pengujian Generator elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 90%

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran				Perhitungan	
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	Volume Gas HHO (ml/menit)
1	90	7,6	3,7	28,1	32,2	50	43
2		7,9	3,5	27,7	33,1	40	40
3		7,5	3,9	29,3	34,6	50	45
4		7,8	3,4	26,5	35,8	40	39
5		8,2	3,5	28,7	37,4	40	40

Tabel 4.5. Lanjutan

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Perhitungan	
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	Volume Gas HHO (ml/menit)	
6	90	8,1	3,7	30,0	37.9	30	43	
7		8,1	3,7	30,0	38.8	50	43	
8		7,5	4,1	30,8	39.1	40	48	
9		7,9	3,7	29,2	40.5	50	43	
10		7,8	3,9	30,4	41.5	50	45	
11		7,6	4,3	32,7	42.1	40	50	
12		8,0	3,8	30,4	43.0	50	44	
13		7,6	4,3	32,6	44.0	50	50	
<b>Rata-rata arus</b>					<b>3,8 A</b>			
<b>Rata-rata volume per menit (pengukuran)</b>					<b>44,6 ml/menit</b>			
<b>Rata-rata volume per menit (perhitungan)</b>					<b>44,1 ml/menit</b>			
<b>Total Volume selama 13 menit</b>					<b>580 ml</b>			



Gambar 4. 5. Grafik Volume Gas Hasil Pengujian dan Perhitungan Pada Duty Cycle 90%

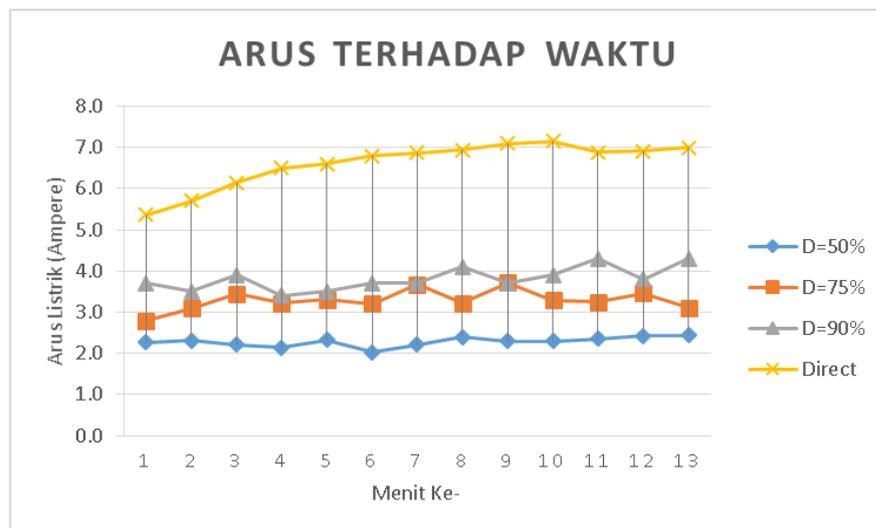
Pada pengujian generator elektrolisis dengan *duty cycle 90%*, rata-rata arus yang digunakan adalah 3,8 A. Kenaikan suhu fluida pada ruang generator elektrolisis selama 13 menit yaitu sebesar 44<sup>0</sup>C. Volume gas HHO yang dihasilkan per menit, rata-rata sebesar 44,6 ml/menit dan total gas HHO yang dihasilkan adalah

580 ml. Berdasarkan perhitungan rata-rata volume gas yang dihasilkan adalah sebesar 44,1 ml/menit.

## 4.2. Pembahasan

### 4.2.1. Hubungan Arus Generator Elektrolisis Terhadap Waktu

Dari hasil pengujian generator elektrolisis tanpa PWM dan menggunakan PWM dapat dilihat perbandingan arus yang digunakan terhadap waktu pada setiap pengujian. Berikut ini grafik hubungan arus terhadap waktu :



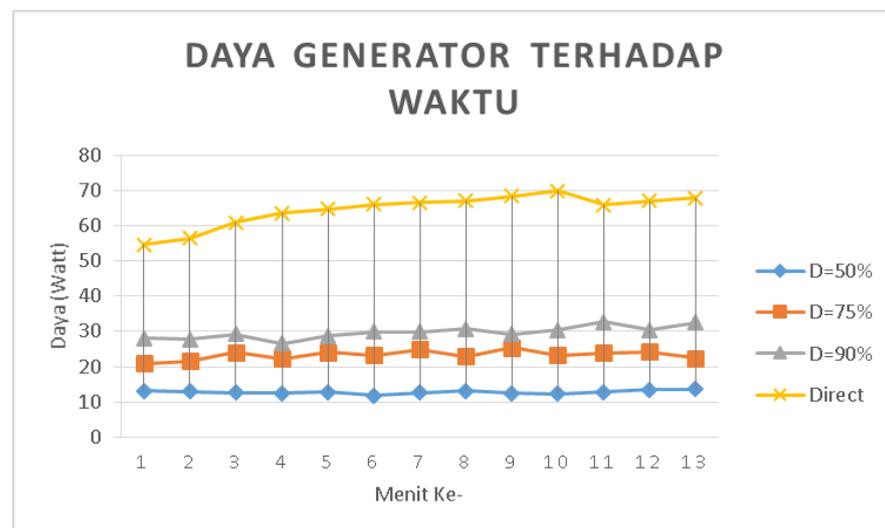
Gambar 4. 6. Grafik Hubungan Arus Terhadap Waktu

Pada gambar 4.6 terlihat ketika pengujian Generator elektrolisis tanpa PWM, arus yang digunakan sangat besar yaitu dapat mencapai 7,2 Amper dan cenderung mengalami kenaikan. Sesuai dengan hukum Faraday jika arus meningkat maka produksi gas hidrogen juga akan semakin besar dan energi yang dilepaskan untuk memisahkan hidrogen dan oksigen juga meningkat karena adanya kenaikan suhu. Pengujian generator elektrolisis dengan menggunakan PWM pada *duty cycle* 50%, arus yang digunakan terlihat stabil. Pada *duty cycle* 75% dan 90% arus yang

digunakan untuk melakukan elektrolisis cenderung stabil. Arus listrik maksimal pada *duty cycle* 90% sebesar 4,4 Amper. Variasi pulsa PWM yang diberikan pada generator elektrolisis mempengaruhi tegangan dan arus yang digunakan. Tegangan pada *duty cycle* 75% dan 90% rata-rata adalah 7,7 dan 7,1 volt, namun arus listrik yang mengalir berbeda hal ini karena pengaruh waktu pulsa *on* dan waktu pulsa *off*.

#### 4.2.2. Daya Generator Elektrolisis Terhadap Waktu

Daya yang dipakai untuk melakukan elektrolisis air menjadi gas hidrogen dan oksigen dipengaruhi oleh arus yang digunakan selama proses elektrolisis. Semakin besar konsumsi arus, maka daya listrik juga akan semakin besar. Konsumsi daya pada generator elektrolisis tanpa PWM dan menggunakan PWM dapat dilihat pada grafik 4.7.



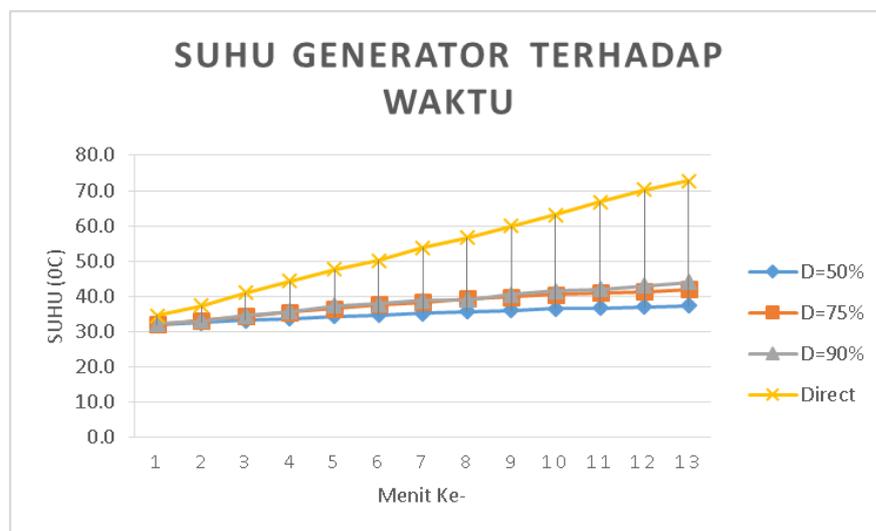
Gambar 4. 7. Grafik Daya Terhadap Waktu

Daya pada generator elektrolisis tanpa PWM mencapai 54,67 – 69,95 Watt. Perubahan daya terhadap waktu dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur, maka arus akan mengalami kenaikan. Sehingga daya yang digunakan

juga meningkat. Generator elektrolisis dengan menggunakan PWM memiliki daya yang stabil terhadap waktu, karena temperatur generator naik secara bertahap. Daya paling kecil adalah pada *duty cycle* 50% dan kebutuhan daya paling besar adalah pada *duty cycle* 90%.

#### 4.2.3. Suhu Generator Terhadap Waktu

Suhu ruang generator elektrolisis akan mempengaruhi arus listrik dan energi yang dibutuhkan untuk melakukan elektrolisis. Pada umumnya reaksi kimia akan berlangsung cepat jika suhu dinaikan. Ketika suhu semakin panas, maka energi pada sistem akan meningkat. Karakteristik suhu pada generator elektrolisis tanpa PWM dan dengan PWM dapat dilihat pada grafik berikut :



Gambar 4. 8. Grafik Temperatur Fluida Terhadap Waktu

Kenaikan temperatur fluida pada saat proses elektrolisis terjadi sangat cepat pada generator elektrolisis tanpa menggunakan PWM. Kenaikan suhu dipengaruhi oleh arus listrik yang digunakan ketika proses elektrolisis. Kenaikan suhu pada generator elektrolisis tanpa PWM dapat mencapai 72,7<sup>0</sup>C dalam waktu 13 menit.

Pada generator elektrolisis tanpa PWM kenaikan suhu naik secara perlahan dan tidak signifikan seperti pada generator elektrolisis tanpa PWM. Pada *duty cycle* 50%, kenaikan suhu ruang generator elektrolisis relatif lebih lama. Kenaikan Suhu pada ruang generator elektrolisis dengan PWM yang relatif lama dan dapat dikendalikan membuat generator dengan PWM lebih baik, hal ini dikarenakan pemberian arus dan tegangan dilakukan dalam bentuk pulsa yang memiliki waktu *on* dan waktu *off*.

#### 4.2.4. Efisiensi Generator Elektrolisis Terhadap Waktu

Efisiensi energi Generator elektrolisis adalah perbandingan energi ikatan yang dibutuhkan untuk mengurai air menjadi gas diatomik Hidrogen (H<sub>2</sub>) dan Oksigen (O<sub>2</sub>) dengan Daya yang diberikan pada generator elektrolisis. Efisiensi energi generator dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\eta = \frac{\Delta h \cdot \frac{P \cdot V}{R \cdot T}}{V \cdot I} \times 100 \%$$

dimana

$\Delta h$  = 285,83x10<sup>3</sup> J/mol

V = Volume per detik (liter/s)

P = Tekanan gas ideal (atm)

R = Konstanta gas ideal (0,082 L.atm/mol.K)

T = Suhu pada kondisi percobaan (..<sup>0</sup>C + 273,15<sup>0</sup> K)

Dari data hasil pengujian generator elektrolisis tanpa PWM dan dengan PWM didapatkan hasil perhitungan efisiensi energi generator elektrolisis sebagai berikut :

Tabel 4. 6. Efisiensi Generator Elektrolisis Tanpa PWM

Waktu menit ke- ..	Hasil Pengukuran					Efisiensi Energi Generator elektrolisis
	Tegangan (Volt)	Arus (Amper e)	Daya (Watt) V.I	Tempera tur	Volume Gas HHO (ml)	
1	10.2	5.4	54.67	34.5	70	24%
2	9.9	5.7	56.43	37.4	80	27%
3	9.9	6.2	61.01	41.0	80	24%
4	9.8	6.5	63.57	44.3	80	23%
5	9.8	6.6	64.75	47.6	70	20%
6	9.7	6.8	66.16	50.2	70	19%
7	9.7	6.9	66.64	53.8	80	21%
8	9.7	6.9	67.11	56.6	90	24%
9	9.6	7.1	68.37	60.0	80	20%
10	9.8	7.2	69.95	63.1	80	20%
11	9.6	6.9	66.01	66.8	80	21%
12	9.7	6.9	67.03	70.2	90	23%
13	9.7	7.0	67.90	72.7	-	
<b>Rata-Rata</b>						22,1%

Tabel 4. 7. Efisiensi Generator Elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 50%

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Efisiensi Energi
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	
1	50	5.8	2.3	13.2	32.1	30.0	43%
2		5.6	2.3	13.0	32.6	30.0	44%
3		5.7	2.2	12.6	33.3	30.0	45%
4		5.8	2.1	12.4	33.8	30.0	46%
5		5.5	2.3	12.8	34.4	20.0	29%
6		5.8	2.0	11.8	34.8	30.0	48%
7		5.7	2.2	12.6	35.2	30.0	45%
8		5.5	2.4	13.1	35.7	20.0	29%
9		5.4	2.3	12.4	36.1	30.0	45%
10		5.4	2.3	12.4	36.5	20.0	30%
11		5.4	2.4	12.7	36.7	30.0	44%
12		5.6	2.4	13.5	37.0	20.0	28%
13		5.6	2.4	13.5	37.4	30.0	41%
<b>Rata-rata</b>							39,9%

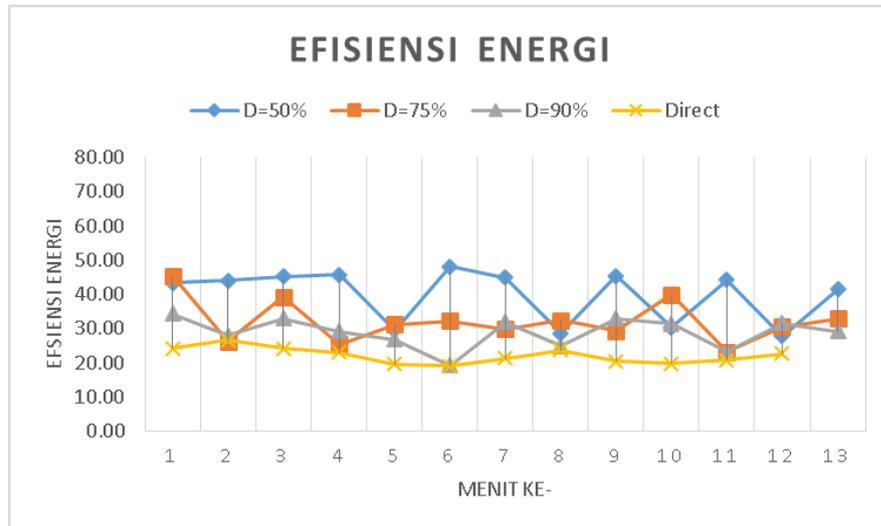
Tabel 4. 8. Efisiensi Generator Elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 75%

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Efisiensi Energi
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	
1	75	7.5	2.8	21.0	32.0	50	45%
2		7.0	3.1	21.6	33.3	30	26%
3		7.0	3.4	24.1	34.4	50	39%
4		6.9	3.2	22.2	35.5	30	25%
5		7.3	3.3	24.1	36.5	40	31%
6		7.2	3.2	23.2	37.7	40	32%
7		6.8	3.7	25.0	38.4	40	30%
8		7.1	3.2	23.0	39.3	40	32%
9		6.8	3.7	25.3	39.9	40	29%
10		7.1	3.3	23.2	40.6	50	40%
11		7.3	3.3	23.9	41.0	30	23%
12		7.0	3.5	24.2	41.4	40	31%
13		7.2	3.1	22.4	42.0	40	33%
<b>Rata-rata</b>							32,1%

Tabel 4. 9. Efisiensi Generator Elektrolisis dengan PWM Duty Cycle 90%

Waktu menit ke- ..	Duty Cycle (%)	Hasil Pengukuran					Efisiensi Energi
		Tegangan (Volt)	Arus (Ampere)	Daya (Watt) V.I	Temperatur	Volume Gas HHO (ml/menit)	
1	90	7.6	3.7	28.1	32.2	50.0	34%
2		7.9	3.5	27.7	33.1	40.0	28%
3		7.5	3.9	29.3	34.6	50.0	33%
4		7.8	3.4	26.5	35.8	40.0	29%
5		8.2	3.5	28.7	37.4	40.0	27%
6		8.1	3.7	30.0	37.9	30.0	19%
7		8.1	3.7	30.0	38.8	50.0	32%
8		7.5	4.1	30.8	39.1	40.0	25%
9		7.9	3.7	29.2	40.5	50.0	33%
10		7.8	3.9	30.4	41.5	50.0	31%
11		7.6	4.3	32.7	42.1	40.0	23%
12		8.0	3.8	30.4	43.0	50.0	31%
13		7.6	4.3	32.6	44.0	50.0	29%
<b>Rata-rata</b>							28,9%

Dari hasil perhitungan diperoleh grafik efisiensi energi generator elektrolisis tanpa PWM dan generator elektrolisis dengan PWM sebagai berikut :



Gambar 4. 9. Grafik Efisiensi Generator elektrolisis Terhadap Waktu

Dari grafik terlihat bahwa efisiensi generator elektrolisis dengan PWM lebih baik dibandingkan dengan generator elektrolisis tanpa PWM. Efisiensi dipengaruhi oleh suhu pada ruang generator elektrolisis, ketika suhu meningkat maka arus yang dibutuhkan pada generator elektrolisis juga akan meningkat. Dimana arus berbanding lurus dengan energi yang dibutuhkan pada generator untuk melakukan proses elektrolisis.

Meskipun efisiensi generator elektrolisis dengan PWM lebih tinggi dari pada generator elektrolisis tanpa menggunakan PWM, namun volume gas yang dihasilkan masih belum optimal. Penggunaan PWM pada generator elektrolisis menurut peneliti dan berdasarkan hasil pengujian lebih optimal pada *duty cycle* 75% hal ini dikarenakan efisiensi pada *duty cycle* 75% lebih tinggi daripada efisiensi dengan *duty cycle* 90%, dan volume gas lebih besar daripada generator elektrolisis dengan *duty cycle* 50%.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengujian generator elektrolisis penghasil gas hidrogen dengan menggunakan PWM dan tanpa PWM dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Generator Elektrolisis tanpa menggunakan *Pulse Width Modulation* (PWM) kenaikan suhu pada ruang generator mencapai  $72,7^{\circ}\text{C}$  dalam waktu 13 menit. Suhu yang mencapai  $72,7^{\circ}\text{C}$  membuat proses elektrolisis tidak dapat berlangsung lama, sebab dengan suhu yang tinggi dapat merusak material generator elektrolisis. Meskipun volume yang dihasilkan rata-rata per menit mencapai 79,2 ml/menit, namun rata-rata efisiensi generator elektrolisis sebesar 22,1%. Hal ini disebabkan karena tingginya suhu pada ruang generator dan juga besarnya arus listrik yang digunakan dalam proses elektrolisis.
2. Generator Elektrolisis dengan menggunakan PWM, kenaikan suhu generator elektrolisis tidak berlangsung cepat seperti pada generator elektrolisis tanpa PWM. Efisiensi tertinggi adalah pada *duty cycle* 50%, dimana efisiensi rata-ratanya sebesar 39,9% dan efisiensi terendah adalah pada *duty cycle* 90% yaitu efisiensi rata-rata sebesar 28,9%. Dalam penelitian ini, generator elektrolisis dengan *duty cycle* 75% lebih optimal, karena dengan efisiensi rata-rata 32% volume gas yang dihasilkan lebih

besar daripada variasi *duty cycle* 50% yaitu rata-rata volume gas yang dihasilkan sebesar 40 ml/menit.

## 5.2. Saran

Berdasarkan proses penelitian. Peneliti menyarankan pengembangan generator eletrolisis agar dapat dimanfaatkan secara optimal yaitu :

1. Dengan hasil penelitian ini, maka generator elektrolisis dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menggunakan PWM dengan kontrol otomatis berdasarkan suhu dan arus yang digunakan pada generator elektrolisis.
2. Untuk pengembangan generator elektrolisis dengan otomasi PWM. Maka, agar sensor suhu dapat digunakan dalam sistem kontrol, tranduser yang digunakan mesti bersifat isolator atau menggunakan sensor suhu thermopile.
3. Penggunaan generator elektrolisis dapat diaplikasikan pada kompor. Dalam hal ini perlu penelitian lebih lanjut.
4. Jika generator dihubungkan langsung dengan sumber listrik arus searah, diperlukan alat tambahan sebagai pendingin generator agar suhu generator elektrolisis tidak terlalu tinggi mencapai  $70^{\circ}\text{C}$ . Jika suhu lebih dari  $70^{\circ}\text{C}$ , hal tersebut berpotensi merusak material generator elektrolisis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arif, Sulaiman. 2012. *Arduino : Microcontroller bagi Pemula hingga Mahir*. <http://buletin.balaielektronika.com/?p=163>. [25 Agustus 2015]
- Bheta-Theta.com. 2004. *Electrolysis*. <http://www.beta-theta.com/Chemistry/Electrolysis.html>. [20 Agustus 2015].
- Bolton, W. 2004. *Programmable Logic Control (PLC)*. Jakarta: ERLANGGA.
- Djuandi, Feri. 2011. "Pengenalan Arduino." *Tokobuku.com*. <http://tokobuku.com/docs/Arduino-Pengenalan.pdf>. [25 September 2015].
- Fahmizal. 2010. *Merancang Pengkondisi Sinyal Termokopel*. <https://fahmizaleeits.wordpress.com/2010/07/07/merancang-pengkondisi-sinyal-termokopel/>. [27 Oktober 2015].
- Fattah, Ahmad. 2012. *Komparasi Variasi Jumlah Elektroda dengan Panjang Total Kawat pada Generator HHO terhadap Unjuk Kerja Honda Karisma 125*. Surabaya: Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh November.
- Ghifari, Yannur Arzaqa. 2013. "Studi Karakteristik Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dan Wet Cell." *Jurnal Teknik POMITS 2*.
- Harman, dkk. 2012. *Pengaruh Penambahan Gas Oksihidrogen Terhadap Unjuk Kerja Motor Bensin Berbahan Bakar Pertamax*. Makasar: Universitas Hasanudin.
- Ilhamy, M. Ahsan. 2010. *Analisis Pembangkit Gas Hidrogen dengan menggunakan Zero Current Leak Cell (ZCLC)*. Jakarta: Universitas Nasional.
- Lutfi. 2007. *IPA KIMIA*. Jakarta: Erlangga.
- Nave, Carl Rod. 2001. *Electrolysis of Water*. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/electrol.html>. [27 September 2015].
- PT. PLN. 2013. *Statistik PLN 2013*. Jakarta: PT. PLN PERSERO.

- Putra, Arbie Marwan. 2010. *Analisis Produktivitas Gas Hidrogen dan Gas Oksigen pada Elektrolisis Larutan KOH*. Malang: UIN Maulana Malik Ibrahim.
- Roon, Tony Van. 2010. *H<sub>2</sub>O Experiments Circuits & Diagrams*. <http://www.sentex.ca/~mec1995/hho/hho.html>. [20 September 2015]
- Sadarmayanti dan Syarifudin Hidayat. 2002. *Metodologi Penelitian*. Bandung: Mandar Maju.
- Santin, J.J., and et.al. 2007. *The World's Most Fuel Efficient Vehicle, Design and Development of PAC-CAR II*. Zurich: ETH Zurich.
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kombinasi (Mixed Methods)*. Bandung : Alfabeta.
- Sukmanawati, Wening. 2009. *Kimia Untuk SMA dan MA Kelas XII*. Jakarta: Departemen Pendidikan Nasional.
- Susiloatmadja, Romdhoni. 2009. Materi Kimia Dasar 2. *Official Site of Romdhoni Susiloatmadja - Gunadarma University*. [http://romdhoni.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/12833/KD2\\_slite3.pdf](http://romdhoni.staff.gunadarma.ac.id/Downloads/files/12833/KD2_slite3.pdf). [20 November 2015].
- TIM ESDM. 2012. *Kajian Supply Demand Energi*. Jakarta: Pusat Data dan Informasi Kementerian ESDM.
- Tjatur, Rusmito. 2015. *Proses Elektrolisa Pada Prototipe Kompor Air Dengan Pengaturan Arus dan Temperatur*. Surabaya, Jawa Timur: PENS-ITS.
- Yuniardi, Dewa. 2012. *Menghasilkan Hidrogen dari Air*. <http://mobilhibrid.blogspot.com/2012/11/menghasilkan-hidrogen-dari-air.html>. [30 Agustus 2015]
- Zulfikar. 2010. *Hukum Faraday*. [http://www.chem-is-try.org/materi\\_kimia/kimia-kesehatan/reaksi-kimia-kimia-kesehatan-materi\\_kimia/hukum-faraday/](http://www.chem-is-try.org/materi_kimia/kimia-kesehatan/reaksi-kimia-kimia-kesehatan-materi_kimia/hukum-faraday/). [14 September 2015]

**LAMPIRAN-LAMPIRAN**

### Lampiran 1. Kode Pemrograman Arduino

```

#include <PWM.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#include <max6675.h>
    LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 2);

//inisialisasi pin sensor suhu
int thermoDO = 6;
int thermoCS = 7;
int thermoCLK = 8;

MAX6675 sensor_suhu(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
// make a cute degree symbol
uint8_t degree[8] = {140,146,146,140,128,128,128,128};

int led = 9;          // Pin Keluaran PWM
int32_t frequency; //frekuensi dalam HZ
const int analogInPin = A0; //Potensiometer Duty Cycle
const int Frekuensi = A3; //Potensiometer Frekuensi
int sensorValue = 0;    //
int outputValue = 0;    //
unsigned int outputValue1 = 0;
int inputF=0;
float outF;
float xxx;
float hitungF;
float yyy;
float suhu;
float kalibrasi;

```

```

void setup()
{
  lcd.begin(16, 2);
  Serial.begin(115200);
  lcd.createChar(0, degree);
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("PROGRAM PWM HHO");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Karyadi-102587");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  pinMode(led,OUTPUT); //Inialisasi sebagai output PWM
  InitTimersSafe();

  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL,Time,pwm_output, sensor_suhu,Error_suhu");
  Serial.println("RESETTIMER"); //resets timer to 0
  InitTimersSafe();
  delay(500);
}

void loop()
{
  suhu = sensor_suhu.readCelsius(); // baca sensor suhu
  kalibrasi = 11.2 + (0.523809524*suhu);
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
  // memetakan nilai potensio duty cycle
  outputValue = map(sensorValue, 0, 1023, 0, 255);
  if (outputValue < 25)outputValue = 25;
  outputValue1 = outputValue * 257; // dikalikan 257 agar resolusi menjadi 16 bit

```

```

// pembacaan nilai frekuensi
inputF= analogRead(Frekuensi);
outF = map(inputF, 0, 1023, 1, 43);
if (outF >=1 & outF<=10) hitungF= outF*10;
if (outF >=11 & outF<20) hitungF= (outF-9)*100;
if (outF >=20 & outF<29) hitungF = (outF-20+2)*1000;
if (outF >=29 & outF<=31 ) hitungF= (outF-29+2)*10000;
if (outF >31 & outF<=33 ) hitungF = (outF-31)*1000+40000;
if (outF >33 & outF<=41 ) hitungF= (outF-33)*100+42000;
if (outF > 41) hitungF= 42800;

frequency =hitungF;
SetPinFrequency(led,frequency);
pwmWriteHR(led, outputValue1);
uint16_t yyy = Timer1_GetFrequency();
xxx = (outputValue+1)*100/255;
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("D:");
lcd.setCursor(7,0);
lcd.print("F:");
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print(xxx,0);
lcd.print("%");

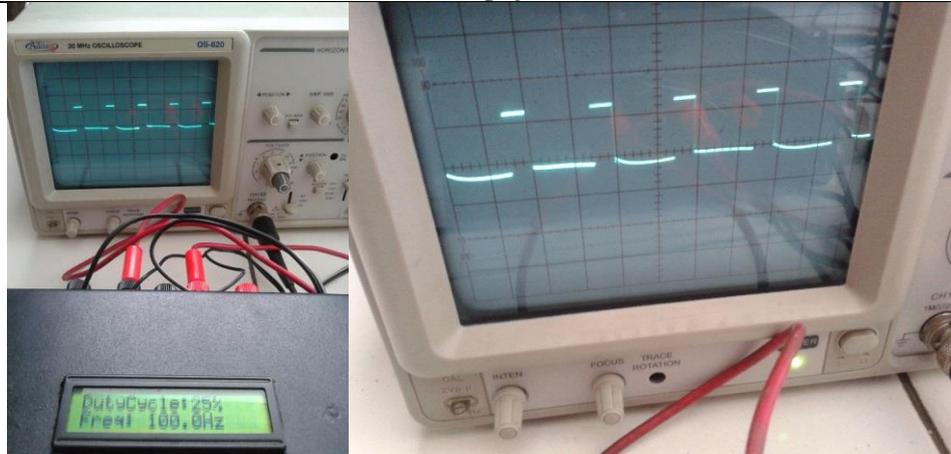
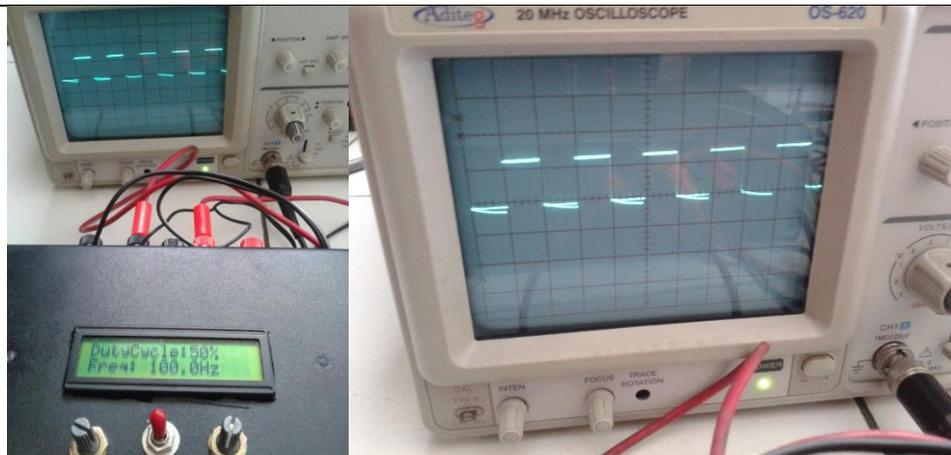
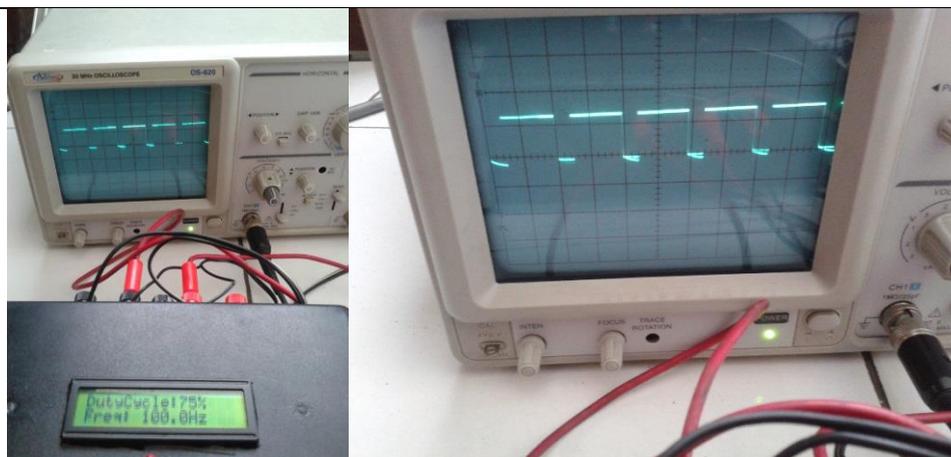
if (yyy >=1000){
yyy= yyy/1000.0;
lcd.setCursor (12,0);

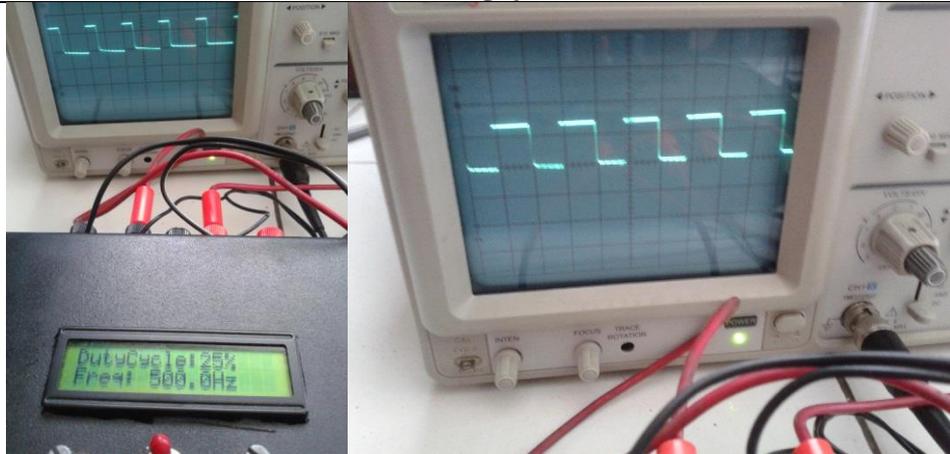
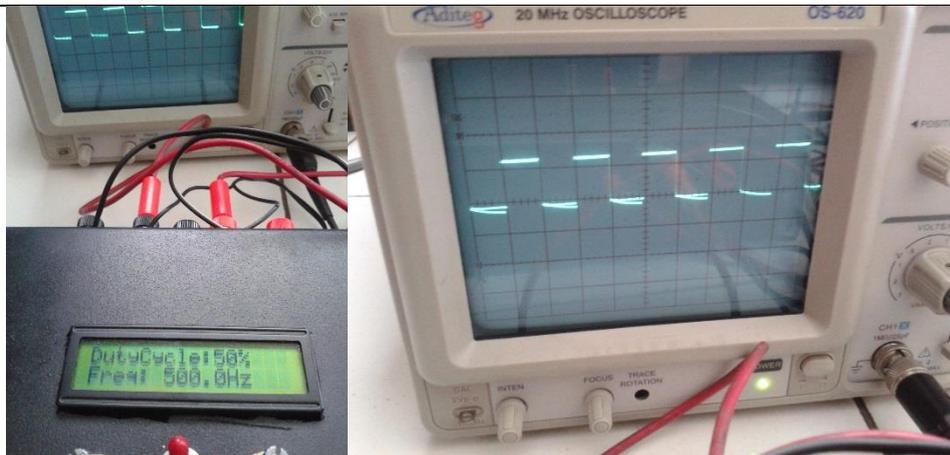
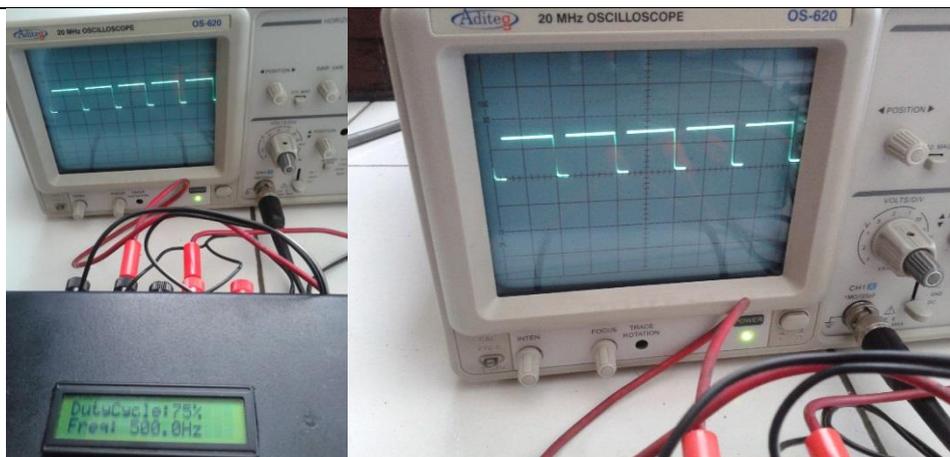
```

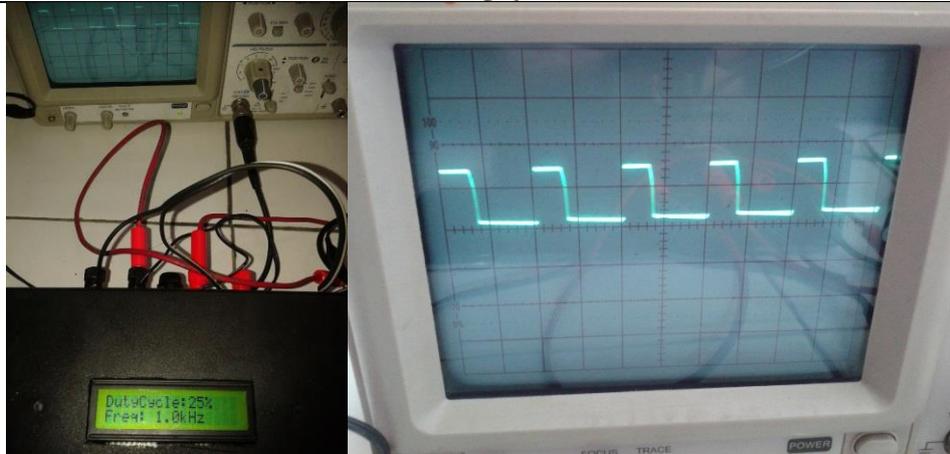
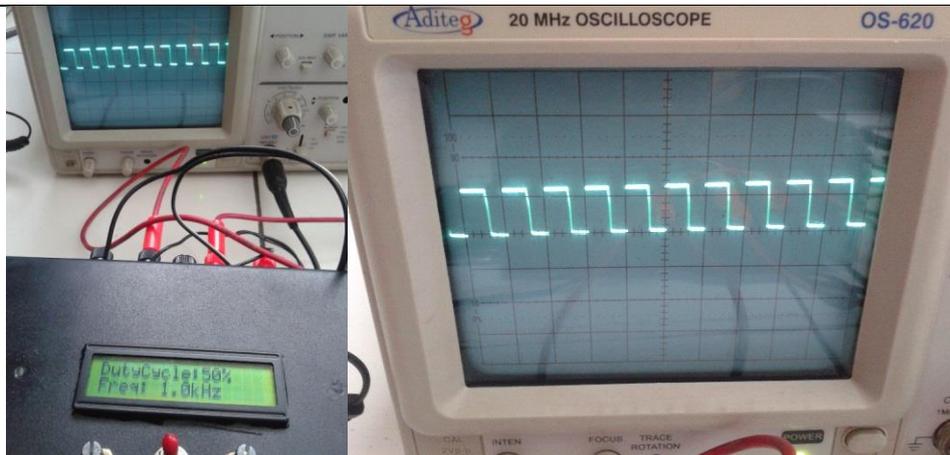
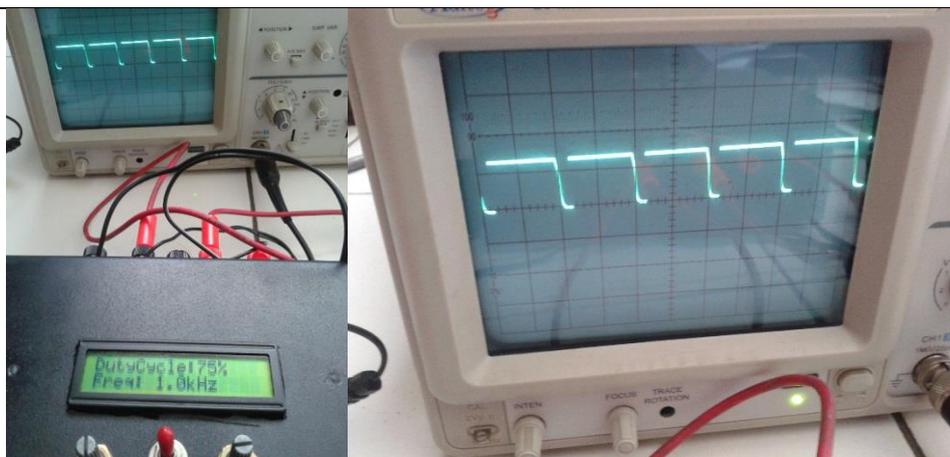
```
lcd.print("kHz");}
else if (yyy<1000){
lcd.setCursor (12,0);
lcd.print("Hz");
}
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(yyy,1);

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Temp:");
lcd.print(sensor_suhu.readCelsius());
#if ARDUINO >= 100
  lcd.write((byte)0);
#else
  lcd.print(0, BYTE);
#endif
  lcd.print("C ");
  delay(500);
}
```

## **Lampiran 2. Pengujian Duty Cycle dan Frekuensi PWM**

**Gambar Pengujian PWM**Pengujian PWM pada *Duty Cycle* 25% dan Frekuensi 100 HzPengujian PWM pada *Duty Cycle* 50% dan Frekuensi 100 HzPengujian PWM pada *Duty Cycle* 75% dan Frekuensi 100 Hz

**Gambar Pengujian PWM**Pengujian PWM pada *Duty Cycle* 25% dan Frekuensi 500 HzPengujian PWM pada *Duty Cycle* 50% dan Frekuensi 100 HzPengujian PWM pada *Duty Cycle* 75% dan Frekuensi 500 Hz

**Gambar Pengujian PWM**Pengujian PWM pada *Duty Cycle* 25% dan Frekuensi 1 kHzPengujian PWM pada *Duty Cycle* 50% dan Frekuensi 1 kHzPengujian PWM pada *Duty Cycle* 75% dan Frekuensi 1 kHz

### **Lampiran 3. Data Sheet Komponen**



2N3906

## SMALL SIGNAL PNP TRANSISTOR

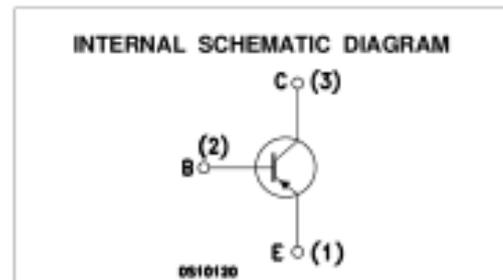
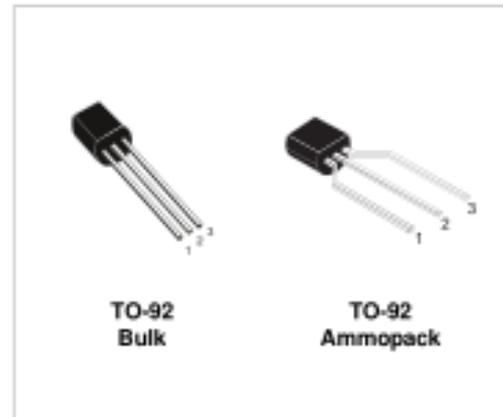
PRELIMINARY DATA

Ordering Code	Marking	Package / Shipment
2N3906	2N3906	TO-92 / Bulk
2N3906-AP	2N3906	TO-92 / Ammopack

- SILICON EPITAXIAL PLANAR PNP TRANSISTOR
- TO-92 PACKAGE SUITABLE FOR THROUGH-HOLE PCB ASSEMBLY
- THE NPN COMPLEMENTARY TYPE IS 2N3904

## APPLICATIONS

- WELL SUITABLE FOR TV AND HOME APPLIANCE EQUIPMENT
- SMALL LOAD SWITCH TRANSISTOR WITH HIGH GAIN AND LOW SATURATION VOLTAGE



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	-60	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	-40	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	-6	V
$I_C$	Collector Current	-200	mA
$P_{Tot}$	Total Dissipation at $T_C = 25^\circ\text{C}$	625	mW
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 150	$^\circ\text{C}$
$T_j$	Max. Operating Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$



2N3904

## SMALL SIGNAL NPN TRANSISTOR

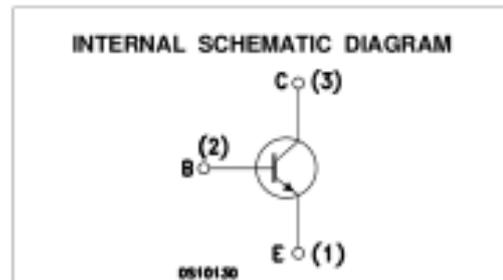
PRELIMINARY DATA

Ordering Code	Marking	Package / Shipment
2N3904	2N3904	TO-92 / Bulk
2N3904-AP	2N3904	TO-92 / Ammopack

- SILICON EPITAXIAL PLANAR NPN TRANSISTOR
- TO-92 PACKAGE SUITABLE FOR THROUGH-HOLE PCB ASSEMBLY
- THE PNP COMPLEMENTARY TYPE IS 2N3906

## APPLICATIONS

- WELL SUITABLE FOR TV AND HOME APPLIANCE EQUIPMENT
- SMALL LOAD SWITCH TRANSISTOR WITH HIGH GAIN AND LOW SATURATION VOLTAGE



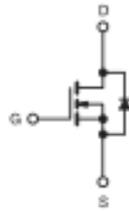
## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CB0}$	Collector-Base Voltage ( $I_E = 0$ )	60	V
$V_{CE0}$	Collector-Emitter Voltage ( $I_B = 0$ )	40	V
$V_{EB0}$	Emitter-Base Voltage ( $I_C = 0$ )	6	V
$I_C$	Collector Current	200	mA
$P_{tot}$	Total Dissipation at $T_C = 25^\circ\text{C}$	625	mW
$T_{stg}$	Storage Temperature	-65 to 150	$^\circ\text{C}$
$T_J$	Max. Operating Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$

## Power MOSFET

PRODUCT SUMMARY		
$V_{DS}$ (V)	500	
$R_{DS(on)}$ ( $\Omega$ )	$V_{GS} = 10\text{ V}$	0.40
$Q_g$ (Max.) (nC)	150	
$Q_{gs}$ (nC)	20	
$Q_{gd}$ (nC)	80	
Configuration	Single	

TO-247



N-Channel MOSFET

### FEATURES

- Dynamic  $dV/dt$  Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Isolated Central Mounting Hole
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements
- Lead (Pb)-free Available



RoHS\*  
COMPLIANT

### DESCRIPTION

Third generation Power MOSFETs from Vishay provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-247 package is preferred for commercial-industrial applications where higher power levels preclude the use of TO-220 devices. The TO-247 is similar but superior to the earlier TO-218 package because its isolated mounting hole. It also provides greater creepage distances between pins to meet the requirements of most safety specifications.

ORDERING INFORMATION	
Package	TO-247
Lead (Pb)-free	IRFP450PbF SiHFP450-E3
SnPb	IRFP450 SiHFP450

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise noted			
PARAMETER	SYMBOL	LIMIT	UNIT
Drain-Source Voltage	$V_{DS}$	500	V
Gate-Source Voltage	$V_{GS}$	$\pm 20$	
Continuous Drain Current	$I_D$	$V_{GS}$ at 10 V $T_C = 25\text{ }^\circ\text{C}$	14
		$T_C = 100\text{ }^\circ\text{C}$	8.7
Pulsed Drain Current <sup>a</sup>	$I_{DM}$	56	A
Linear Derating Factor		1.5	W/ $^\circ\text{C}$
Single Pulse Avalanche Energy <sup>b</sup>	$E_{AS}$	760	mJ
Repetitive Avalanche Current <sup>a</sup>	$I_{AR}$	8.7	A
Repetitive Avalanche Energy <sup>a</sup>	$E_{AR}$	19	mJ
Maximum Power Dissipation	$P_D$	190	W
Peak Diode Recovery $dV/dt$ <sup>c</sup>	$dV/dt$	3.5	V/ns
Operating Junction and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Recommendations (Peak Temperature)	for 10 s	300 <sup>d</sup>	
Mounting Torque	6-32 or M3 screw		10
			1.1

#### Notes

- Repetitive rating; pulse width limited by maximum junction temperature (see fig. 11).
- $V_{DD} = 50\text{ V}$ , starting  $T_J = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $L = 7.0\text{ mH}$ ,  $R_G = 25\text{ }\Omega$ ,  $I_{AS} = 14\text{ A}$  (see fig. 12).
- $I_{SD} \leq 14\text{ A}$ ,  $dI/dt \leq 130\text{ A}/\mu\text{s}$ ,  $V_{DD} \leq V_{DS}$ ,  $T_J \leq 150\text{ }^\circ\text{C}$ .
- 1.6 mm from case.

\* Pb containing terminations are not RoHS compliant, exemptions may apply

#### **Lampiran 4. Dokumentasi Pengujian Alat**

Foto	Keterangan
	<p>Pengujian Generator Elektrolisis Tanpa PWM</p>
	<p>Penggunaan PWM pada generator elektrolisis</p>

Foto	Keterangan
	<p>Rangkaian selang generator elektrolisis dan penampung air</p>