

TESIS

**KAJI EKSPERIMEN PRODUKSI HIDROGEN
MELALUI PROSES ELEKTROLISIS AIR ALKALI
BERBASIS SOLAR CELL DI KOTA SEMARANG**



Disusun Oleh :

**RUTH PRANINDIA WIDARNINGTYAS
30000418410002**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCASARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

JUNI, 2020

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini, saya menyatakan bahwa dalam tesis ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya, juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah dituliskan atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, Juni 2020



Ruth Pranindia Widarningtyas

30000418410002

Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

**HALAMAN PENGESAHAN
TESIS**

**KAJI EKSPERIMEN PRODUKSI HIDROGEN
MELALUI PROSES ELEKTROLISIS AIR ALKALI
BERBASIS SOLAR CELL DI KOTA SEMARANG:**

Disusun Oleh :

**RUTH PRANINDIA WIDARNINGTYAS
30000418410002**

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji

Pada tanggal Juni 2020

Tim Penguji,

Pembimbing Pertama

Penguji Pertama



(Ir. Sulistyono, M.T., PhD)
196209171991021001

Pembimbing Kedua



(Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc.)
197510281999031004

Penguji Kedua



(Prof. Dr. Widayat, S.T., M.T.)
197209061998031001



(Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T.)
196405261989031002

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Magister Energi

Tanggal Juni 2020

Kaprodi Magister Energi

Dekan Sekolah Pasca Sarjana



(Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T.)
196405261989031002



(Dr. R.B. Sularto, SH, M.Hum)
196701011991031005

PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ruth Pranindia Widarningtyas
NIM : 30000418410002
Program Studi : Magister Energi
Sekolah : Program Pascasarjana
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro, Hak Bebas Royalti Noneksklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul :

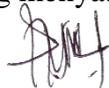
KAJI EKSPERIMEN PRODUKSI HIDROGEN
MELALUI PROSES ELEKTROLISIS AIR ALKALI
BERBASIS SOLAR CELL DI KOTA SEMARANG

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak bebas Royalti NonEksklusif ini, Program Studi Magister Energi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di : Semarang

Pada tanggal : Juni 2020

Yang menyatakan



Ruth Pranindia Widarningtyas

30000418410002

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa melimpahkan kasih dan anugerahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Kaji Eksperimen Produksi Hidrogen Melalui Proses Elektrolisis Air Alkali Berbasis Solar Cell Di Kota Semarang ”. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Energi pada Program Studi Magister Energi, Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan tesis ini yaitu:

1. Bapak Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum, selaku Dekan Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang.
2. Bapak Dr. Ir. Jaka Windarto, M.T selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Bapak Ir. Sulistyono M.Eng, PhD., selaku Dosen Pembimbing pertama atas waktu, tenaga, dan bantuannya dalam membimbing penulis menyusun tesis
4. Bapak Prof. Dr. Widayat, ST, M.T., selaku Dosen Pembimbing kedua atas waktu, tenaga, dan bantuannya dalam membimbing penulis menyusun tesis.
5. Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc. dan Dr. Ir. Jaka Windarta, M.T, selaku Dosen penguji atas petunjuknya dalam membimbing penulis menyusun tesis.
6. Bapak : Dwijo Sularsono, Ibu : Yuliansih, Suami : Tri Purnomo Ariadi, SE , anak kami Alfos Eben Haezer Ariadi dan Abraham Alcander Noelle Ariadi yang selalu mendukung penuh penulis.
7. BKD Provinsi Jateng atas beasiswa dan tugas belajar yang telah diberikan.
8. Dinas ESDM Provinsi Jateng terutama rekan-rekan di Bidang GAT dan Laboratorium atas dukungan kepada penulis.
9. Rekan-rekan mahasiswa Magister Energi serta semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan

dalam penyusunan Tesis ini, sehingga saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan Tesis ini menjadi lebih baik. Semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, baik sekarang maupun di masa yang akan datang. Amin.

Semarang, Juni 2020

Penulis



Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

DAFTAR ISI

COVER	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xv
INTISARI.....	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah.....	6
I.3. Tujuan Penelitian.....	7
I.4. Manfaat Penelitian.....	7
I.5. Originilitas Penelitian.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	16
II.1. Hidrogen.....	16
II.3.1. Sifat Kimia.....	16
II.3.2. Sifat Fisika	18
II.3.3. Sifat Hidrogen sebagai Bahan Bakar	19
II.3.4. Kegunaan Hidrogen	21
II.2. Proses Produksi Hidrogen	21
II.2.1. <i>Steam Reforming</i>	22
II.2.2. Gasifikasi	23
II.2.3. Foelektrolisis.....	24

II.2.4. Proses Termokimia Water Splitting (Termolisis).....	25
II.3. Elektrolisis	25
II.3.1. Jenis Proses Elektrolisis Air	26
II.3.2. Proses Elektrolisis.....	29
II.3.3. Komponen Elektrolisis Air	30
II.3.4. Faktor yang mempengaruhi Elektrolisis Air.....	42
II.4. Effisiensi Elektrolisis	50
II.5. Sistem UNO Arduino.....	51
II.6. Penelitian Sebelumnya.....	52
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	54
III.1. Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian.....	54
III.2. Alat dan Bahan.....	54
III.2.1. Alat Penelitian	54
III.2.1. Bahan Penelitian.....	57
III.3. Jenis Penelitian.....	57
III.4. Metode Penelitian	57
III.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	59
III.6. Teknik Pengumpulan Data.....	61
III.7. Teknik Analisa Data	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	64
IV.1. Uji Komisioning Alat Elektrolisis dan Rangkaian Arduino.....	64
IV.2. Produksi Hidrogen	65
IV.2.1. Percobaan Elektroda Stainless Steel 304 (SS 304).....	65
IV.2.2. Percobaan Elektroda Stainless Steel 316 (SS 316).....	89
IV.3. Pengaruh Material Elektroda	111
IV.4. Intensitas Matahari.....	117
BAB V KESIMPULAN.....	119
V.1. Kesimpulan	119

V.2.Saran 120

DAFTAR PUSTAKA 121



Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Ringkasan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 2.1. Sifat Fisika H ₂ beserta isotopnya	17
Tabel 2.2. Sifat-sifat fisik hidrogen	19
Tabel 2.3. Perbandingan Elektrolisis AWE dan PEM	27
Tabel 2.4. Efisiensi Setiap Metode Elektrolisis	29
Tabel 2.5. Jenis-Jenis Larutan Elektrolit.....	31
Tabel 2.6. Sifat Fisika Dan Kimia Air	33
Tabel 2.7. Ketetapan Fisik Air	33
Tabel 2.8. Sifat fisika dan kimia dari KOH	34
Tabel 2.9. Sifat Paduan dan Sifat Fisik SS 304 dan SS 316	36
Tabel 2.10. Intensitas Radiasi Matahari di Indonesia	39
Tabel 2.11. Intensitas Radiasi Matahari Di Kota Semarang, Jawa Tengah 2017	40
Tabel 3.1. Komposisi Paduan SS 304 dan SS 316.....	57
Tabel 3.3. Rencana Rancangan Percobaan	60
Tabel 4.1.Matrik Hasil Percobaan (SS304)	66
Tabel 4.2. Pengaruh Tegangan&Konsentrasi Terhadap Produktivitas H ₂ (SS304).....	69
Tabel 4.3. Arus, Tegangan Dan Produktivitas Hidrogen Setiap Percobaan (SS304)	73
Tabel 4.4. Kenaikan Temperatur (SS304).....	75
Tabel 4.5. Peak Kromatografi Gas	77
Tabel 4.6. Energi Hidrogen dan Energi Pengujian (SS304).....	80
Tabel 4.7. Tabel Ringkasan dan Model,KoefisienMinitab 18 (SS304)	82
Tabel 4.8. Anova SS 304 Minitab 18 (SS 304).....	83
Tabel 4.9. Selisih perhitungan dan percobaan (SS304)	86
Tabel 4.10. Multiple Optimization Yield SS 304 Minitab 18.....	88
Tabel 4.11. Konsumsi Baterai	88
Tabel 4.12. Matrik hasil percobaan elektroda SS316	90
Tabel 4.13. Pengaruh Tegangan dan Konsentrasi terhadap Volume Hidrogen	93
Tabel 4.14 Arus dan Tegangan Hidrogen Rata-Rata Setiap Percobaan.....	97
Tabel 4.15. Tabel Kenaikan Temperatur (SS 316)	98

Tabel 4.16. Energi Hidrogen dan Energi Pengujian (SS 316)	102
Tabel 4.17. Tabel Ringkasan dan Model,KoefisienMinitab 18 (SS316).....	104
Tabel 4.18. Anova SS 316 Minitab 18.....	105
Tabel 4.19. Selisih perhitungan dan percobaan (SS316)	108
Tabel 4.20. Multiple Optimization Yield SS 316Minitab 18.....	110
Tabel 4.21. Grafik Konsumsi Baterai	111
Tabel 4.22. Uji T Produktivitas Hidrogen.....	113
Tabel 4.23. Uji T Effsiensi Elektroliser	116
Tabel 4.24. Intensitas Radiasi Matahari.....	117



Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Fotoelektrolisis	24
Gambar 2.2. Skematis SOEC.....	28
Gambar 2.3. Sel Elektrolisis.....	30
Gambar 2.4. Elektrolisis air menggunakan energi matahari	37
Gambar 2.5. Struktur Sel Surya	41
Gambar 2.6. Panel Monokristalin Silicon.....	41
Gambar 2.7. Panel Polikristalin Silicon	41
Gambar 3.1. Sel Elektrolisis.....	55
Gambar 3.2. Rangkaian Arduino	56
Gambar 3.3. Diagram Alur Penelitian.....	58
Gambar 4.1. Alat Elektrolisis.....	64
Gambar 4.2. Grafik Volume Hidrogen Akumulasi (SS304).....	67
Gambar 4.3. Grafik Produktivitas Hidrogen rata-rata per jam (SS304)	68
Gambar 4.4 Grafik Arus Hidrogen Setiap Percobaan (SS304).....	71
Gambar 4.5. Grafik Tegangan Hidrogen Setiap Percobaan (SS304).....	72
Gambar 4.6. Arus, Tegangan Dan Produktivitas Hidrogen (SS304).....	74
Gambar 4.7. Grafik Temperatur Terhadap Produktivitas Hidrogen Perjam (SS304).....	76
Gambar 4.8. Grafik Kromatografi Gas	77
Gambar 4.9. Grafik efisiensi produksi hidrogen (SS304)	79
Gambar 4.10. Effisiensi Elektroliser (SS304).....	80
Gambar 4.11. Grafik Pareto (SS304).....	84
Gambar 4.12. Normal Plot (SS304).....	84
Gambar 4.13. Residual Plot Terhadap Yield Hidrogen (SS304).....	85
Gambar 4.14. Grafik Kontur SS 304.....	87
Gambar 4.15. Grafik 3 dimensi SS 304	88
Gambar 4.16. Grafik Optimasi SS 304	88
Gambar 4.17. Grafik Konsumsi Baterai Terhadap Arus (SS304).....	89
Gambar 4.18 Grafik Volume Hidrogen Akumulasi (SS316).....	91
Gambar 4.19. Grafik Produktivitas Hidrogen rata-rata per jam (SS316)	92

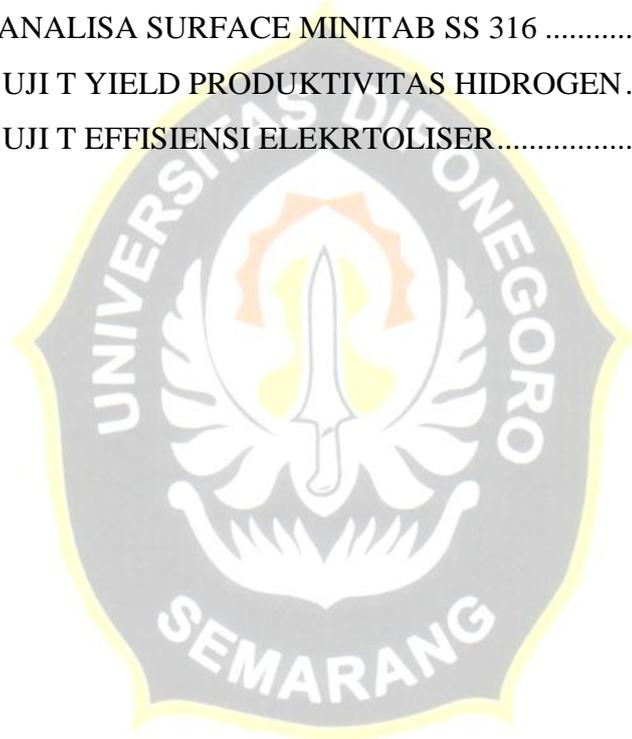
Gambar 4.20 Grafik Arus Hidrogen Setiap Percobaan (SS316).....	95
Gambar 4.21. Grafik Tegangan Hidrogen Setiap Percobaan (SS316).....	96
Gambar 4.22. Arus, Tegangan Dan Produktivitas Hidrogen (SS316).....	98
Gambar 4.23. Grafik Temperatur Terhadap Produktivitas Hidrogen (SS316).....	100
Gambar 4.24. Grafik efisiensi produksi hidrogen (SS316).....	101
Gambar 4.25. Efisiensi Elektroliser (SS316).....	102
Gambar 4.26. Grafik Pareto (SS316).....	106
Gambar 4.27. Normal Plot (SS316).....	106
Gambar 4.28. Residual Plot Terhadap Yield Hidrogen (SS 316).....	107
Gambar 4.29. Grafik Kontur SS 304.....	109
Gambar 4.30. Grafik 3 dimensi SS 304.....	108
Gambar 4.31. Grafik Optimasi SS 304.....	110
Gambar 4.32. Grafik Konsumsi Baterai Terhadap Arus (SS316).....	111
Gambar 4.33. Arus SS 304 Dan SS 316.....	112
Gambar 4.34. Produktivitas Hidrogen SS 304 Dan SS 316.....	112
Gambar 4.35. Penampakan Elektroda Setelah Pengujian.....	114
Gambar 4.36. Grafik Efisiensi Elektroliser SS 304 dan SS 316.....	116



 Sekolah Pascasarjana
 Universitas Diponegoro

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A SURFACE RESPON METHODE	132
LAMPIRAN B GRAFIK ARUS DAN TEGANGAN SS 304 (ARDUINO)	134
LAMPIRAN C GRAFIK ARUS DAN TEGANGAN SS 316 (ARDUINO)	144
LAMPIRAN D HASIL KROMATOGRAFI GAS	155
LAMPIRAN E ANALISA SURFACE MINITAB SS 304	156
LAMPIRAN F ANALISA SURFACE MINITAB SS 316	158
LAMPIRAN G UJI T YIELD PRODUKTIVITAS HIDROGEN	160
LAMPIRAN H UJI T EFFISIENSI ELEKRTOLISER	161



Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

AWE	: <i>Alkaline Water Electrolysis</i> : Elektrolisis Air Alkali
PEM	: <i>Proton Exchange Membran</i> : Elektrolisis Membran Penukar Ion
SOEC	: <i>Solid Oxide Electrolysis Cell</i> : Sel Elektrolisis Oksida Padat
PV	: <i>Photovoltaic</i> : Fotovoltaik
MPPT	: <i>Maksimum Power Point Tracking</i> :Pelacakan Titik Daya Maksimum
SRM	: <i>Steam Reforming Methane</i> : Metode mereaksikan gas alam dengan uap air
PLTS	: <i>Pembangkit Listrik Tenaga Surya</i>
CO	: <i>Carbon Monoxide</i> : Karbon Monoksida
CO ₂	: <i>Carbon Dioxide</i> : Karbon Dioksida
H ₂	: <i>Hydrogen</i> : Hidrogen
H ₂ O	: <i>Water</i> : Air
KOH	: <i>Kalium Hydroxide</i> : Kalium Hidroksida
NaOH	: <i>Natrium Hydroxide</i> : Natrium Hidroksida
O ₂	: <i>Volatile Matter</i> : Zat terbang
Mo	: Molibdenum
Ni	: Nikel
NaCl	: <i>Natrium Chloride</i> : Natrium Klorida
H ₂ O ₂	: <i>Hydrogen Peroxide</i> : Hidrogen Peroksida
SS	: <i>Stainless Steel</i> : Baja Anti Karat
Fe	: <i>Ferit</i> : Besi
SCC	: <i>Solar Charge Controller</i> : Pengendali Panel Surya
PA	: Pro Analisis
RSM	: <i>Respon Surface Methode</i> : Metode Respon Permukaan

Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro

INTISARI

Hidrogen adalah energi alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar ramah lingkungan. Elektrolisis air alkali menggunakan sumber energi dari radiasi matahari merupakan salah satu teknologi memproduksi hidrogen. Alat elektrolisis air alkali telah dibuat dan diuji coba. Tujuan dari tesis ini ialah mengetahui produksi hidrogen yang dapat dihasilkan dari alat elektrolisis air alkali. Sumber energi elektrolisis adalah energi matahari Kota Semarang melalui sistem panel surya jenis monokristalin dan disimpan dalam baterai kapasitas 1,2 kWh. Variasi parameter dalam percobaan adalah konsentrasi elektrolit, tegangan dan material elektroda. Tegangan dan arus percobaan dipantau real time dengan sistem arduino. Analisa kemurnian gas hidrogen menggunakan kromatografi gas. Analisa optimasi pengaruh tegangan dan konsentrasi elektrolit terhadap produksi hidrogen dilakukan dengan menggunakan metode respon permukaan (RSM) dengan perangkat lunak minitab 18. Pengaruh material elektroda dilakukan menggunakan uji T.

Volume hidrogen tertinggi dihasilkan dari percobaan konsentrasi elektrolit 4 molar tegangan 5,41 Volt sebesar 1406,4 ml/ jam untuk material SS304 dan 1487,6 ml/jam untuk material SS316. Arus tertinggi dihasilkan berkisar 2,4-2,45 Ampere. Kemurnian gas yang dihasilkan adalah sebesar 54%. Semakin besar tegangan dan konsentrasi semakin besar hidrogen yang dihasilkan. Tegangan memberikan pengaruh positif yang lebih signifikan terhadap produksi hidrogen dibandingkan konsentrasi larutan elektrolit. Hasil SRM minitab 18 adalah belum didapatkan kondisi pengujian yang optimal dikarenakan grafik produksi hidrogen masih cenderung naik sebanding dengan kenaikan tegangan dan konsentrasi larutan elektrolit. Variasi material SS 304 dan SS 316 tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap produksi hidrogen dan efisiensi elektroliser. Eksperimen elektrolisis membutuhkan daya baterai maksimum sebesar 43%. Pengukuran intensitas matahari rata-rata Kota Semarang selama lima hari pada bulan November adalah 778,7 Watt/m². Intensitas matahari tersebut mampu mengisi daya baterai sebesar 43% untuk proses elektrolisis dalam waktu 1 jam 58 menit menggunakan dua panel surya disusun paralel.

Kata kunci : Hidrogen, Elektrolisis Air Alkali, *Respon Surface Methode*, Minitab 18, Kota Semarang.

ABSTRACT

Hydrogen is an alternative energy that can be used as an environmentally friendly fuel. Alkaline Water Electrolysis with solar radiation as energy source is one of the technologies to produce hydrogen. Alkaline water electrolysis device has been made and tested. The aim of this thesis is to find out the production of hydrogen that can be produced from alkaline water electrolysis devices. The energy source of water electrolysis devices is Semarang City solar radiation which is received a monocrystalline solar panel system and stored in a 1.2 kWh capacity battery. The parameter variations in the experiment are electrolyte concentration, voltage and electrode material. The voltage and current of the experiment is monitored with the Arduino system. Analysis of the purity of hydrogen gas using gas chromatography. Analysis of the optimization of the effect of voltage and electrolyte concentration on hydrogen production is carried out using the surface response method (RSM) with minitab software 18. The effect of the electrode material is carried out using the T test.

Results shows that the highest hydrogen volume was produced from the experiment with 4 molar electrolyte concentration and 5.41 Volt . That value is 1406.4 ml / hour for SS304 electrode material and 1487.6 ml / hour for SS316 electrode material. The highest current generated ranges from 2.4 to 2.45 Amperes. The purity of the gas produced is 54%. The higher the voltage and electrolyte concentration that is the higher volume of hydrogen is produced. Voltage gives a more significant positive effect on hydrogen production compared to electrolyte solution concentration. SRM Minitab 18 results are not yet found optimal test conditions because the hydrogen production graph still tends to rise in proportion to the increase in voltage and electrolyte solution concentration. Variations in material SS 304 and SS 316 have no significant effect on hydrogen production and electrolycer efficiency. This electrolysis experiment requires a maximum battery power of 43%. The average solar intensity measurement of Semarang City for 5 days in November is 778.7 Watt /m². That is able to charge 43% of the battery power for the electrolysis process in 1 hour 58 minutes used two solar panels arranged in parallel.

Keywords : Hydrogen, Alkaline Water Electrolysis, Respon Surface Methode, Minitab 18, Semarang City.