



**ANALISIS PARAMETER DESAIN ALAT  
PENGELASAN BERBASIS GAS HIDROGEN  
HIDROGEN OKSIGEN (HHO) MEMANFAATKAN  
SEL ELEKTRODA BEKAS PLANT 32 BADAK LNG  
BONTANG MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

UNIVERSITAS  
**MERCU BUANA**

Oleh

**Desi Fajarwati**

**55820010001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2022**

**ANALISIS PARAMETER DESAIN ALAT PENGELASAN BERBASIS GAS HIDROGEN  
HIDROGEN OKSIGEN (HHO) MEMANFAATKAN SEL ELEKTRODA BEKAS PLANT 32  
BADAK LNG BONTANG MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Strata Dua (S-2)  
Program Studi Magister Teknik Mesin Program Pascasarjana  
Universitas Mercu Buana Jakarta**



Disusun oleh:

**NAMA : DESI FAJARWATI**  
**NIM : 55820010001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MERCU BUANA  
JAKARTA 2022**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

Judul : Analisis Parameter Desain Alat Pengelasan berbasis Gas Hidrogen Hidrogen Oksigen (HHO) memanfaatkan Sel Elektroda Bekas Plant 32 Badak LNG Bontang Menggunakan Metode Taguchi

Bentuk Tesis : Penelitian Masalah Energi Terbaharukan

Nama : Desi Fajarwati

NIM : 55820010001

Program Studi : Magister Teknik Mesin

Tanggal : 07 Juni 2022



Dekan Fakultas Teknik

Kaprodi Magister Teknik Mesin

Dr.Ir. Mawardi Amin, MT.

NIDN : 0024096701

Dafit Feriyanto, M.eng, PhD

NIDN : 0310029004

## **PERNYATAAN KEASLIAN**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Desi Fajarwati

NIM : 55820010001

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Penelitian: ANALISIS PARAMETER DESAIN ALAT  
PENGELASAN BERBASIS GAS HIDROGEN  
HIDROGEN OKSIGEN (HHO)  
MEMANFAATKAN SEL ELEKTRODA BEKAS  
PLANT 32 BADAK LNG BONTANG  
MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan penelitian dengan sesungguhnya. Tesis yang saya buat ini merupakan hasil karya saya sendiri dan benar keasliannya. Apabila dikemudian hari ternyata hasil penulisan tesis ini hasil plagiat atau penjiplak karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan dan bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan Universitas Mercu Buana Jakarta.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari pihak manapun.

Jakarta, 29 Mei 2022



## **PERNYATAAN SIMILARITY CHECK**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan, bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh

Nama : Desi Fajarwati

NIM : 55820010001

Program Studi : Magister Teknik mesin

dengan judul "**TAGUCHI-BASED DESIGN OF EXPERIMENTS TO OPTIMIZE THE PARAMETERS OF HHO BASED WELDING**" telah dilakukan pengecekan *similarity* dengan sistem Turnitin pada tanggal 30 Mei 2022 didapatkan nilai persentase sebesar 26 %.

Jakarta, 30 Mei 2002

Administrator Turnitin



( Miyono, S.Kom )



## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Bismillahirohmannirrohim

Alhamdulilahirobilalamin, segala puji bagi Allah Subhana Wa Ta'ala Tuhan semesta alam yang menggenggam setiap nafas, yang memberikan kemampuan menyelesaikan penulisan hasil penelitian ini. Sholawat salam kepada Baginda Nabi Muhammad SAW yang telah menjadi sumber cahaya bagi kehidupan ini.

Saya persembahkan hasil karya yang sangat sederhana ini untuk almamater tercinta Universitas Mercubuana Jakarta yang telah memberikan saya beasiswa penuh dalam menempuh jenjang magister ini. Ucapan terimakasih saya sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu lancarnya penyelesaian penelitian ini, yaitu:

1. Suami saya KH. Bahana Ja'alhaq Taqwallah, S.Pd.I, M.A. yang juga sedang menempuh doktoral.
2. Ayah, ibu tercinta, dan anak-anak tersayang yang selalu mendukung dan mendoakan sehingga selesainya penulisan tesis ini, terima kasih untuk kalian semua.
3. Bapak Dafit Feriyanto, Ph.D. selaku Ketua Program Studi magister teknik mesin Universitas Mercubuana Jakarta.
4. Bapak Andi Firdaus, M.Eng selaku Sekretaris Program Studi magister teknik mesin Universitas Mercubuana Jakarta.
5. Dosen Pembimbing akademik saya, Dr.Eng. Deni Shidqi Khaerudini yang telah dengan sabar memberi ilmu dan mengarahkan saya.
6. Ibu Nina Nurbaiti selaku TU magister teknik mesin yang selalu dengan tulus membantu kami para mahasiswa.
7. Bapak Teten Hadi Rustendi, S.T,M.T. COO Badak LNG Bontang yang telah memberikan kepercayaan kepada saya untuk dapat bekerja sama dengan mahasiswa LNG Academy.

8. Adik-adik LNG Academy yang telah banyak memberikan bantuan dan tenaga, terutama tim saya yaitu Hamsyah, Fadil, dan Audia.

Serta masih banyak lagi pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu demi satu. Semoga Allah membalas segala kebaikan rekan-rekan.



## Abstrak

Proses elektrolisis air akan menghasilkan gas hidrogen dan oksigen (HHO) yang memiliki nilai oktan dan nilai bakar tinggi sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Dalam penelitian ini, gas HHO hasil elektrolisis air akan digunakan sebagai bahan bakar pengelasan. Alat pengelasan berbasis gas HHO akan menggunakan sebuah generator *dry cell* yang terbuat dari elektroda bekas Plant 32 (*sodium hypochlorite*) Badak LNG. Perancangan generator HHO akan menjadi subyek utama penelitian, dimana beberapa parameter yang akan dijadikan variabel adalah jumlah pasangan katoda-anoda, jenis katalis, konsentrasi elektrolit, *duty cycle Pulse Width Modulation* (PWM), dan ketebalan gasket. Lima parameter tersebut lalu divariasikan menjadi empat level sehingga menggunakan Orthogonal Array L16 ( $4^5$ ) didapatkan 16 percobaan. Tujuan penelitian adalah mengetahui besar pengaruh tiap parameter terkait konsumsi arus, kenaikan temperatur elektrolit, laju produksi gas HHO, dan effisiensi sehingga didapatkan desain optimal. Desain optimal generator HHO yaitu percobaan ke-4 dengan jumlah pasangan anoda-katoda 3, tanpa katalis, 100 % PWM, dan ketebalan gasket 4.8 mm yang dipilih berdasarkan biaya pembangkitan yang paling rendah yaitu Rp 9.72,00/L gas HHO.

**Kata Kunci:** air, HHO, elektrolisis, pengelasan, katalis, elektrolit, PWM, gasket, effisiensi, temperatur elektrolit, taguchi.

## **Abstract**

*The process of electrolysis of water will produce hydrogen and oxygen gas (HHO) which has an octane value and a high fuel value so that it can be used as fuel. In this research, HHO gas from water electrolysis will be used as welding fuel. The HHO gas-based welding equipment will use a dry cell generator made from used electrodes from Badak LNG's Plant 32 (sodium hypochlorite). The design of the HHO generator will be the main subject of research, where several parameters that will be used as variables are the number of anode cathode pairs, type of catalyst, electrolyte concentration, Pulse Width Modulation (PWM) duty cycle, and gasket thickness. The five parameters were then varied into four levels so that using the Orthogonal Array L16 (45) obtained 16 trials. The purpose of the study was to determine the effect of each parameter related to current consumption, electrolyte temperature increase, HHO gas production rate, and efficiency in order to obtain the optimal design. The optimal design of the HHO generator is the 4th experiment with 3 anode-cathode pairs, without a catalyst, 100% PWM, and a gasket thickness of 4.8 mm which was selected based on the lowest generation cost, which was Rp. 9,72.00/L HHO gas.*

## **MERCU BUANA**

**Keywords:** water, HHO, electrolysis, welding, catalyst, electrolyte, PWM, gasket, efficiency, electrolyte temperature, taguchi.

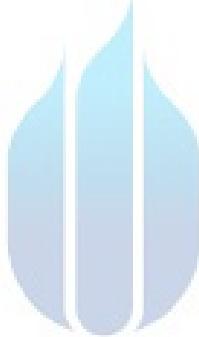
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL LUAR.....	i
HALAMAN JUDUL DALAM.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
PERNYATAAN SIMILARITY CHECK.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
ABSTRAK .....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR SINGKATAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Sistem Hidroksi.....	6
2.2 Teknologi Elektrolisis Air.....	9
2.3. Parameter Generator HHO.....	17

2.5 Reaksi Kimia dalam Generator HHO .....	22
2.6 Parameter Kinerja Generator HHO.....	24
2.7 Bejana Bertekanan.....	27
2.8 Metode Taguchi.....	33
2.9 Proses Pengelasan .....	34
2.10 Penelitian Terdahulu.....	37
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian .....	41
3.2 Alat Penelitian.....	41
3.3 Desain Eksperimen.....	44
3.4 Skema Penelitian.....	46
3.5 Skema Alat dan Sistem Istrumentasi .....	48
3.6 Rancangan Generator HHO .....	49
3.7 Perhitungan Desain Generator HHO.....	55
 BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....	58
4.1 Pneumatic Test.....	58
4.2 Hasil Pengambilan Data.....	61
4.3 Analisis Perubahan masing-masing Run .....	72
4.4 Analisis Parameter terhadap Konsumsi Arus .....	72
4.5 Analisis Parameter terhadap Kenaikan Temperatur .....	72
4.6 Analisis Parameter terhadap Laju Alir Produksi gas HHO... <td>74</td>	74
4.7 Analisis Parameter terhadap Effisiensi Generator HHO .....	76
4.8 Temperatur Pembakaran Gas HHO .....	77
4.9 Pemilihan Desain Optimal .....	79
 BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran.....	81
 DAFTAR PUSTAKA .....	82
LAMPIRAN .....	95

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 1.1 Karakteristik asetilen dibanding gas lain. ....	1
Tabel 2. 1 Karakter fisik Titanium dibanding Stainless Steel.....	18
Tabel 2. 2 Perbandingan jurnal alat pengelasan berbasis oksi hidrogen. ....	37
Tabel 3. 1 Parameter percobaan dengan 5 faktor dan 4 level. ....	44
Tabel 3. 2 <i>Orthogonal array L16 (4<sup>5</sup>)</i> .....	45
Tabel 3. 3 Percobaan berdasarkan orthogonal array L16 (4 <sup>5</sup> ).....	45
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran konsumsi arus pada generator HHO.....	61
Tabel 4. 2 Hasil pengukuran kenaikan temperatur elektrolit pada generator .....	62
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran laju alir produksi gas HHO.....	63
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran effisiensi generator HHO. ....	63
Tabel 4. 5 Data hasil pembakaran gas HHO. ....	78
Tabel 4. 6 Desain optimal generator HHO.....	79



UNIVERSITAS  
**MERCU BUANA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Karakteristik thermal hidrogen .....	7
Gambar 2. 2 Ilustrasi mekanisme elektrolisis air alkali.....	11
Gambar 2. 3 Ilustrasi mekanisme elektrolisis oksida padat. ....	12
Gambar 2. 4 Ilustrasi mekanisme sel elektrolisis mikroba. ....	13
Gambar 2. 5 Reaksi elektrolisis air menggunakan larutan NaOH.....	23
Gambar 2. 6 Pengukuran tegangan dekat catu daya [98]. .....	35
Gambar 2. 7 Pengukuran tegangan pengelasan dekat dengan area [98]. ....	36
Gambar 3. 1 Pelat Titanium dari Plant 32 Badak LNG.....	41
Gambar 3. 2 Pelat Titanium berlapis Platina dari Plant 32 Badak LNG.....	42
Gambar 3. 3 <i>Cylinder bomb</i> . ....	43
Gambar 3. 4 <i>Welding torch</i> . ....	44
Gambar 3. 5 Diagram alir penelitian.....	47
Gambar 3. 6 Skema alat dan sistem instrumentasi.....	48
Gambar 3. 7 Elektroda setelah dibersihkan. ....	49
Gambar 3. 8 Pemotongan pelat menjadi elektroda. ....	50
Gambar 3. 9 Desain pelat elektroda.....	50
Gambar 3. 10 Ilustrasi pelat elektroda 3 dimensi.....	51
Gambar 3. 11 Pelat elektroda setelah dipotong dan dilubangi. ....	51
Gambar 3. 12 Desain penampang akrilik generator HHO.....	52
Gambar 3. 13 Ilustrasi 3 dimensi penampang akrilik generator HHO.....	52
Gambar 3. 14 Desain penampang separator acrylic.....	53
Gambar 3. 15 Ilustrasi penampang separator akrilik.....	53
Gambar 3. 16 Desain gasket.....	54
Gambar 3. 17 Ilustrasi 3 dimensi gasket. ....	54
Gambar 3. 18 Ilustrasi generator HHO. ....	55
Gambar 3. 19 Generator HHO setelah selesai dirakit. ....	55
Gambar 4. 1 Penumatic test untuk generator HHO.....	58
Gambar 4. 2 Hasil pembacaan penumatic test untuk generator HHO. ....	59
Gambar 4. 3 Pneumatic test untuk tabung penampungan gas HHO.....	59
Gambar 4. 4 Hasil pembacaan pneumatic test untuk tabung penampungan gas ...	59
Gambar 4. 5 Pneumatic test untuk separator gas HHO. ....	60
Gambar 4. 6 Hasil pneumatic test untuk bubbler gas HHO.....	60
Gambar 4. 7 Alat pengelasan yang sudah dirakit.....	61
Gambar 4. 8 Grafik hasil pengukuran tiap run. ....	64
Gambar 4. 9 Grafik mean response dari konsumsi arus generator HHO.....	72
Gambar 4. 10 Grafik mean response kenaikan temperatur elektrolit . ....	74
Gambar 4. 11 Grafik mean response terhadap laju alir HHO.....	76
Gambar 4. 12 Grafik mean response terhadap effisiensi generator HHO.....	77
Gambar 4. 13 Api pembakaran gas HHO dari alat pengelasan.....	78
Gambar 4. 14 Pengukuran temperatur api pengelasan . ....	78
Gambar 4. 15 Hasil pengelasan menggunakan gas HHO.....	79

## DAFTAR SINGKATAN

AEM	: <i>Anion Exchange Membrane</i>
ASME	: <i>The American Society Of Mechanical Engineers</i>
atm	: atmosfir
BUMN	: Badan Usaha Milik Negara
C	: <i>Celcius</i>
CO	: Karbon Oksida
cm	: centimeter
DC	: <i>Direct Current</i>
e <sup>-</sup>	: elektron
g	: gram
H <sub>2</sub>	: Hidrogen
H <sub>2</sub> O	: Molekul air
HHO	: Hidrogen hidrogen oksigen
Hz	: Hertz
IC	: <i>Integrated Circuit</i>
in	: inchi
ISO	: <i>International Organization for Standardization</i>
J	: Joule
K	: Kelvin
K <sub>b</sub>	: konstanta basa
kg	: kilogram
kJ	: kilojoule
KOH	: Kalium Hidroksida
L	: Liter
LNG	: <i>Liquiefied Natural Gas</i>
M	: Molaritas
m	: meter
mA	: miliampere
MJ	: megajoule
mm	: milimeter
Mpa	: Mega Pascal
NaHCO <sub>3</sub>	: Natrium Bikarbonat
NaOH	: Natrium Hidroksida
NO	: Natrium Oksida
OH	: hidrosil
PWM	: <i>Pulse Width Modulation</i>
PT	: Perseroan Terbatas
s	: sekon/detik
STP	: <i>Standard Temperature Pressure</i>
V	: Voltase
W	: watt
Ω	: Ohm