

**GASIFIKASI PLASMA PADA SAMPAH
SEBAGAI POTENSI ENERGI :
PEMODELAN PADA SAMPAH PERKOTAAN**

Tesis

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Dua (S-2)
sebagai Magister Energi pada Program Studi Magister Energi



Disusun Oleh :

PRIYO ADI SESOTYO

30000418410003

**PROGRAM STUDI MAGISTER ENERGI
SEKOLAH PASCA SARJANA UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
September 2019**

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, 16 September 2019

Priyo Adi Sesotyo

30000418410003

**HALAMAN PENGESAHAN
TESIS**

**GASIFIKASI PLASMA PADA SAMPAH
SEBAGAI POTENSI ENERGI :
PEMODELAN PADA SAMPAH PERKOTAAN**

Disusun Oleh :

**PRIYO ADI SESOTYO
30000418410003**

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji
Pada tanggal 16 September 2019

Tim Penguji,

Pembimbing Pertama

Penguji Pertama

(Prof. Dr. Muhammad Nur, DEA)
195711261990011001

(Prof. Dr. Widayat, ST, MT)
19720906199803 1001

Pembimbing Kedua

Penguji Kedua

(Jatmiko Endro Suseno, M.Si, Ph.D)
197211211998021001

(MSK Tony Suryo Utomo, ST, MT, PhD)
197104211999031003

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Magister Energi

Tanggal 16 September 2019

Ketua Magister Energi

Dekan Sekolah Pasca Sarjana

(Dr. Ir. Jaka Windarto, 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 : Priyo Adi Sesotyo
NIM : 30000418410003
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 :

**GASIFIKASI PLASMA PADA SAMPAH
SEBAGAI POTENSI ENERGI :
PEMODELAN PADA SAMPAH PERKOTAAN**

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 : 16 September 2019
Yang menyatakan

Priyo Adi Sesotyo
30000418410003

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Gasifikasi Plasma sebagai Potensi Energi : Pemodelan pada Sampah Perkotaan”. 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 tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan dan saran dalam penyusunan proposal tesis ini yaitu kepada :

1. Bapak Dr. R.B. Sularto, S.H., M. Hum selaku Dekan Pasca Sarjana, Universitas Diponegoro Semarang.
2. Bapak Dr. Ir. Jaka Windarto, M.T selaku Ketua Program Studi Magister Energi Universitas Diponegoro Semarang.
3. Bapak Prof. Dr. Muhammad Nur, DEA selaku Dosen Pembimbing Pertama atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis menyusun tesis.
4. Bapak Jatmiko Endro Suseno, M.Si, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Kedua atas waktu, tenaga, petunjuk, dan keramah-tamahannya dalam membimbing penulis menyusun tesis.
5. Bapak Prof. Dr. Widayat, S.T, M.T selaku Dosen Penguji Pertama atas waktu dan petunjuk dalam menyelesaikan tesis.
6. Bapak MSK Tony Suryo Utomo, S.T, M.T, Ph.D selaku Dosen Penguji Kedua atas waktu dan petunjuk dalam menyelesaikan tesis.
7. Bapak dan Ibu Dosen Magister Energi yang telah memberikan pengajaran yang sangat luar biasa kepada penulis.
8. Istri : dr. Indah Widiastuti, MKM, bapak mertua serta ibu kandung, anak-anak kami, yaitu Fathoni Daniswara serta Maliki Adibrata yang selalu mendukung dan memberi semangat kepada penulis.

9. Rekan-rekan Mahasiswa Magister Energi yang selalu mendukung dan memberi semangat.
10. Tenaga administrasi dan penunjang di Magister Energi dan Sekolah Pasca Sarjana atas bantuan dan dukungannya
11. Rekan-rekan di PT Karya Energi Sejahtera yang selalu memberikan bantuan dan dukungannya
12. Semua pihak yang telah membantu hingga terselesaikannya Tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis memohon maaf apabila terdapat banyak kekurangan dalam penyusunan Tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan dan pengembangan Tesis ini ke arah yang lebih baik. Semoga segala yang tertuang dalam Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua, baik sekarang maupun di masa yang akan datang. Mudah-mudahan usaha penyusunan Tesis ini memperoleh ridha dari Allah SWT. Amin.

Semarang, 16 September 2019

Penulis

DAFTAR ISI

COVER.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN TESIS	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN	iv
PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN.....	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Originalitas Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	13
2.1 Pengolahan sampah	13
2.2 Fisika Plasma.....	16
2.3 Gasifikasi Plasma.....	18
2.4 Pemodelan pada Gasifikasi Plasma.....	27
2.5 <i>Feedstock</i> MSW Gasifikasi.....	29
2.6 Parameter Proses Gasifikasi.....	32
2.7 Parameter Kinerja Gasifikasi.....	35
BAB III METODE PENELITIAN	39
3.1 Lokasi Penelitian dan Jadwal Penelitian	39
3.2 Jenis Penelitian.....	39
3.3 Tools Penelitian	39
3.4 Kerangka Pikir Penelitian.....	40
3.5 Ruang Lingkup Penelitian	44
3.6 Variabel Penelitian	45
3.7 Jenis dan Sumber Data.....	46
3.8 Teknik Pengumpulan Data	47
3.9 Teknik Analisis Data	47

BAB IV HASIL PEMBAHASAN.....	51
4.1 Validasi Model.....	51
4.2 Analisis parameter gasifikasi plasma.....	52
4.2.1 Analisis laju aliran masa uap GA uap murni	52
4.2.2 Analisis laju aliran masa uap GA campuran uap dan oksigen.....	57
4.2.3 Analisis laju aliran masa uap GA campuran uap dan udara ..	63
4.3 Analisis dampak penggunaan jenis GA.....	69
4.3.1 Penggunaan uap murni sebagai GA.....	70
4.3.2 Penggunaan campuran uap dan oksigen sebagai GA.	70
4.3.3 Penggunaan campuran uap dan udara sebagai GA.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1. Kesimpulan.....	72
5.2. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA.....	74
DAFTAR LAMPIRAN.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Reaksi Kimia Gasifikasi Global	25
Tabel 2. 2 Reaksi Kimia Gasifikasi Detail	26
Tabel 2. 3 Blok diagram pada model EPJ.....	29
Tabel 2.4 Parameter Analisis <i>Ultimate</i> (Khuriati, 2018).....	31
Tabel 2. 5 Parameter Analisis <i>Proximate</i> (Khuriati, 2018)	32
Tabel 2. 6 Parameter <i>Calorific Value</i> (Khuriati, 2018)	32
Tabel 3. 1 Proses Blok Diagram dari model modified EPJ	45
Tabel 4. 1 Hasil validasi Modified EPJ vs EPJ Minutillo, 2009.	51
Tabel 4. 2 Tabel Reaksi GA dengan uap murni.....	52
Tabel 4. 3 Tabel Reaksi GA dengan campuran uap dan oksigen	58
Tabel 4. 4 Tabel Reaksi GA dengan campuran uap dan udara.....	64
Tabel 7. 1. Skenario <i>GA Uap murni</i>	83
Tabel 7. 2 Skenario <i>GA Mixed Steam & O₂</i>	84
Tabel 7. 3 Skenario <i>Mixed Steam & Air</i>	85
Tabel 7. 4 Komposisi syngas dengan GA uap murni	86
Tabel 7. 5 Komposisi syngas dengan GA campuran uap dan oksigen	86
Tabel 7. 6 Komposisi syngas dengan GA campuran uap dan udara.....	86
Tabel 7. 7 Temperatur PGZ dengan GA uap murni	87
Tabel 7. 8 Temperatur PGZ dengan GA campuran uap dan oksigen	87
Tabel 7. 9 Temperatur PGZ dengan GA campuran uap dan udara.....	87
Tabel 7. 10 Efisiensi Reaktor dengan GA uap murni	88
Tabel 7. 11 Efisiensi Reaktor dengan GA campuran uap dan oksigen.....	88
Tabel 7. 12 Efisiensi Reaktor dengan GA campuran uap dan udara	88
Tabel 7. 13 Daya dengan GA uap murni	89
Tabel 7. 14 Daya dengan GA campuran uap dan oksigen.....	89
Tabel 7. 15 Daya dengan GA campuran uap dan udara	89
Tabel 7. 16 Emisi dengan GA uap murni	90
Tabel 7. 17 Emisi dengan GA campuran uap dan oksigen.....	90
Tabel 7. 18 Emisi dengan GA campuran uap dan udara	90
Tabel 7. 19 RDF Proxanal & Ultanal (Minutillo, 2009).....	91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi fase plasma (Nur, 2011)	16
Gambar 2. 2 Plasma torch (Anyaegebunam, 2014).....	18
Gambar 2. 3 Reaktor Gasifikasi Plasma (A.N. Bratsev, 2007)	19
Gambar 2. 4 <i>Fixed Bed</i> (a) <i>Updraft</i> , (b) <i>Downdraft</i> , Molino, <i>et.al</i> , (2016).....	20
Gambar 2. 5 Antara <i>Input / Output</i> Gasifikasi Plasma (Dodge, 2008).....	24
Gambar 2. 6 Sistem Konversi Energi Gasifikasi Plasma (Dodge, 2008)	25
Gambar 2. 7 Diagram Reaktor Gasifikasi Plasma (Sikarwar, 2016).....	27
Gambar 2. 8 Model EquiPlasmaJet (Minutillo, <i>et.al</i> , 2009).....	28
Gambar 3. 1 <i>Simulator Environment</i> dari Aspen Plus.....	40
Gambar 3.2 Kerangka kerja penelitian	41
Gambar 3.3 Pemodelan modified EPJ	44
Gambar 4. 1 Komposisi penyusun syngas pada GA uap murni	53
Gambar 4. 2 Temperatur PGZ pada GA uap murni.....	54
Gambar 4. 3 Daya pada GA uap murni	55
Gambar 4. 4 Efisiensi pada GA uap murni.....	56
Gambar 4. 5 Emisi pada GA uap murni.....	57
Gambar 4. 6 Komposisi penyusun syngas pada GA campuran uap dan oksigen ..	59
Gambar 4. 7 Temperatur PGZ pada GA campuran uap dan oksigen	60
Gambar 4. 8 Daya pada GA campuran uap dan oksigen.....	61
Gambar 4. 9 Daya pada GA campuran uap dan oksigen.....	62
Gambar 4. 10 Emisi pada GA campuran uap dan oksigen.....	63
Gambar 4. 11 Komposisi syngas pada GA campuran uap dan udara.....	65
Gambar 4. 12 Temperatur PGZ pada GA campuran uap dan udara.....	66
Gambar 4. 13 Daya pada GA campuran uap dan udara.....	67
Gambar 4. 14 Efisiensi pada GA campuran uap dan udara.....	68
Gambar 4. 15 Emisi pada GA campuran uap dan udara.....	69
Gambar 7. 1 Parameter RDF <i>Non Conventional</i> ASPEN Plus.....	92
Gambar 7. 2 Parameter RDF Proxanal ASPEN Plus.....	92
Gambar 7. 3 Parameter RDF Ultanal ASPEN Plus	93
Gambar 7. 4 Parameter RDF Sulfanal ASPEN Plus.....	93
Gambar 7. 5 Parameter Proxanal MSW TPA Jatibarang.....	94
Gambar 7. 6 Parameter Ultanal MSW TPA Jatibarang.....	94
Gambar 7. 7 Parameter Sulfanal MSW TPA Jatibarang	95
Gambar 7. 8 Blok Diagram dengan menggunakan <i>Uap murni</i>	95
Gambar 7. 9 Tampilan <i>Modified</i> EquiPlasmaJet setelah simulasi.....	96
Gambar 7. 10 Tampilan <i>Stream Custom Result</i> setelah simulasi	96

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A : Skenario GA Uap murni.....	83
Lampiran B : Skenario GA Campuran Uap dengan Oksigen.....	84
Lampiran C : Skenario GA Campuran uap dan udara	85
Lampiran D : Komposisi Syngas terhadap laju aliran masa uap	86
Lampiran E : Temperatur PGZ terhadap laju aliran masa uap	87
Lampiran F : Efisiensi Reaktor terhadap laju aliran masa uap	88
Lampiran F : Daya terhadap laju aliran masa uap	89
Lampiran H : Emisi terhadap laju aliran masa uap.....	90
Lampiran I : Data RDF pada penelitian.....	91
Lampiran J : Data Entry pada ASPEN Plus.....	92

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

LHV	: <i>Low Heating Value</i> : Nilai Pembakaran Bawah
HHV	: <i>High Heating Value</i> : Nilai Pembakaran Atas
GA	: <i>Gasifying Agent</i> : Agen gasifikasi
CGE	: <i>Cold Gasification Efficiency</i> : Efisiensi Gasifikasi Dingin
MSW	: <i>Municipal Solid Waste</i> : Sampah Perkotaan
RDF	: <i>Refuse Derived Fuel</i> : Pengolahan sampah kota terpilahkan sebagai bahan bakar
COS	: <i>Carbonyl Sulfide</i> : Sulfida Karbonil
PGZ	: <i>Plasma Gasifying Zone</i> : Zona Gasifikasi Plasma
WGSR	: <i>Water Gas Shift – Reactor</i> : Reaktor Pergeseran Gas Air
Proxanal	: <i>Proximate Analysis</i> : Analisis Proximate
Ultanal	: <i>Ultimate Analysis</i> : Analisis Ultimate
Sulfanal	: <i>Sulfanate Analysis</i> : Analisis Sulfanate
VM	: <i>Volatile Matter</i> : Zat terbang
M	: <i>Moisture</i> : Kelembaban
FC	: <i>Fixed Carbon</i> : Karbon Tetap
Syngas	: <i>Synthetic Gas</i> : Gas Sintesis
GGE	: <i>Gasoline Galon Equivalent</i> : Ekuivalen Gas Galon
QZ	: <i>Quenching Zone</i> : Zona Pendinginan
HTR	: <i>High Temperature</i> : Temperatur Tinggi
LTR	: <i>Low Temperature</i> : Temperatur Rendah
ASU	: <i>Air Separation Unit / Oxygen Generator</i> : Unit Pemisah Udara / Penghasil Oksigen
NC	: <i>Non Conventional</i> : Bukan Konvensional
TPA	: Tempat Pengolahan Sampah Akhir
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
CH ₄	: <i>Methane</i> : Metana

INTISARI

Teknologi gasifikasi plasma dikenal sebagai metode baru pada Sampah menjadi Energi. Ini merupakan metode pada pengelolaan sampah untuk memperoleh energi baru terbarukan. Tujuan dari pengelolaan sampah ialah untuk pengembalian energi (ER), pengembalian material (MR) dan meminimalkan dampak lingkungan (MEI). Sampah yang digunakan sebagai bahan baku ialah sampah perkotaan dari TPA Jatibarang di Kota Semarang, Jawa Tengah. Jumlah dari sampah selalu bertambah seiring dengan meningkatnya kondisi ekonomi penduduk di suatu kota.

Tujuan dari tesis ini ialah untuk memperkirakan potensi energi dengan memodelkan proses gasifikasi plasma. Dengan bantuan dari perangkat lunak ASPEN Plus, model tersebut dibentuk untuk menghasilkan data yang dibutuhkan untuk menghitung parameter kinerja bagi ER, MR dan MEI.

Hasil pemodelan menunjukkan bahwa dengan menggunakan uap murni sebagai gasifying agent, menghasilkan fraksi mol Hidrogen 42.78% dengan laju aliran masa uap $7.4 \cdot 10^{-4}$ kg/s. Reaktor gasifikasi plasma dengan menggunakan *gasifying agent* uap murni, cocok digunakan untuk industri kimia yang memerlukan Hidrogen sebagai bahan baku, karena nett potensi listrik hanya diperoleh $-1.1 \cdot 10^{-2}$ MW. Reaktor gasifikasi plasma dengan menggunakan *gasifying agent* campuran uap dan udara, cocok digunakan sebagai penghasil listrik, karena nett potensi listrik diperoleh $-6.4 \cdot 10^{-3}$ MW, walau ia hanya menghasilkan fraksi mol Hidrogen 32.09% dengan laju aliran masa uap $1.1 \cdot 10^{-4}$ kg/s dan ER 0.180.

Kata kunci : Gasifikasi Plasma, Sampah Perkotaan, Sampah jadi Energi, Pengembalian Energi, *Gasifying Agent*.

ABSTRACT

The plasma gasification technology is known as a new method for Waste To Energy (WTE), managing waste treatment to obtain new and renewable energy. Beside energy recovery (ER), the side effects are also material recovery (MR) and minimizing environment impact (MEI). The waste for the feedstock used is a Municipal Solid Waste from TPA Jatibarang in Semarang City, Central Java. Amount of waste is significantly growing due to the population across the region.

The aim of this thesis is to estimate the energy potential by modeling the plasma gasification process. With the help of ASPEN Plus software, the model is developed to generate data which is required to calculate the performance parameter for ER, MR and MEI.

Results shows that the use of pure steam as gasifying agent, can generate 42.78% of Hydrogen within steam mass flow rate of $7.4 \cdot 10^{-4}$ kg/s. This method is suitable as a Hydrogen generator, since its Nett Electrical Generation is only $-1.1 \cdot 10^{-2}$ MW. While using mixed steam and air as gasifying agent, it is suitable as a Power Plant, since its Nett Electrical Generation is $-6.4 \cdot 10^{-3}$ MW, although it can generate 32.09% of Hydrogen within steam mass flow rate of $1.1 \cdot 10^{-4}$ kg/s and ER of 0.180.

Keywords : Plasma Gasification, Municipal Solid Waste, Waste to Energy, Energy Recovery, Syngas, Gasifying Agent.