

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN .....	xvi
INTISARI.....	..xx
ABSTRACT.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Perumusan Masalah .....	4
I.3. Batasan Penelitian.....	4
I.3. Tujuan Penelitian .....	5
I.4. Manfaat Penelitian .....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
II.1. Potensi Energi Biogas dengan menggunakan kotoran hewan sebagai <i>Feedstock</i> di Kabupaten Sleman .....	6
II.2. <i>Centralized Biogas Power Plant</i> di Denmark .....	9
II.3. <i>Biogas Power Plant</i> di Asia .....	15
II.3.1 <i>Biogas Power Plant</i> di Jepang.....	15
II.3.2 <i>Biogas Power Plant</i> di Korea Selatan .....	17
BAB III DASAR TEORI .....	19
III.1. Biogas.....	19
III.2. Desain Proses <i>Biogas Power Plant</i> .....	21
III.3. Parameter Desain <i>Biogas Power Plant</i> .....	27
III.3.1 Tipe <i>Feedstock</i> .....	27

III.3.2 Temperatur .....	29
III.3.3 Hydraulic Retention Time.....	31
III.4. Gas Ideal.....	32
III.5. Turbin Gas.....	33
III.6. <i>Combustiton</i> .....	39
III.7. <i>Heat Recovery Steam Generator</i> (HRSG) .....	41
III.8. <i>Biogas Power Plant</i> di Denmark .....	53
III.8.1 <i>Farm Scale Biogas Plants</i> dan <i>Centralized Co-Digestion Plants</i> ....	53
III.8.2 <i>Centralized Co-Digestion Plants</i> di Lintrup dan Stuuudsgard, Denmark.....	56
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN .....	59
IV.1. Alat dan Bahan Penelitian.....	59
IV.1.1. Bahan Penelitian .....	59
IV.1.2. Alat Penelitian.....	59
IV.2. Langkah Penelitian.....	59
IV.3. Metode Analisis .....	60
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN.....	64
V.1. Parameter Produksi Biogas Pada Desain <i>Centralized Biogas Power Plant</i> untuk Kabupaten Sleman.....	64
V.2. Mekanisme Pengumpulan Kotoran Sapi .....	66
V.3. Pengkondisian Feedstock Sebagai Bahan Bakar Pada Desain <i>Centralized Biogas Power Plant</i> .....	72
V.3.1. Desain <i>Buffer Tank</i> .....	72
V.3.2. Desain <i>Digester</i> .....	73
V.3.3. <i>Biogas Purification</i> .....	79
V.3.4. Desain <i>Gas Holder</i> .....	82
V.4. Daya Listrik Yang Dihasilkan Pada <i>Centralized Biogas Power Plant</i> .....	83
V.4.1. Daya Listrik Yang Dihasilkan Pada Turbin Gas .....	84
V.4.2. Daya Listrik Yang Dihasilkan Pada Heat Recovery Steam Generator.....	94
V.5. Hasil Perancangan Desain <i>Centralized Biogas Power Plant</i> di Sleman...	99
V.5.1. <i>Blue Print</i> dari Perancangan Desain .....	99
V.5.2. Rangkuman Parameter Operasi .....	101

V.5.3. Data Utama <i>Centralized Biogas Power Plant</i> di Sleman.....	106
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	111
VI.1. Kesimpulan .....	111
VI.2. Saran .....	111
DAFTAR PUSTAKA .....	113
LAMPIRAN 1. Tabel Potensi Peternakan dan Kelompok Tani Kecamatan Ngaglik dan Kecamatan Prambanan, Kabupaten Sleman.....	117
LAMPIRAN 2. <i>Datasheet</i> dari RotoMAXX II.....	121
LAMPIRAN 3. Tabel Properti Termodinamika untuk Air ( <i>Steam Table</i> ) .....	122
LAMPIRAN 4. <i>Centralized Biogas Power Plant</i> di Luar Negeri .....	124
LAMPIRAN 5. Diagram alir <i>Biogas Purification Stage</i> yang disarankan .....	126

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1.</b>	Perbandingan 1 m <sup>3</sup> biogas dengan bahan bakar lain .....	7
<b>Tabel 2.2.</b>	Potensi peternakan ternak sapi potong Kabupaten Sleman tahun 2016.....	8
<b>Tabel 2.3.</b>	Daftar profil singkat dari setiap <i>Centralized Biogas Plant</i> di Denmark.....	12
<b>Tabel 3.1.</b>	Komposisi biogas dengan bahan baku kotoran hewan.....	19
<b>Tabel 3.2.</b>	Karakteristik kandungan N dan rasio C/N dari beberapa bahan organik.....	28
<b>Tabel 3.3.</b>	Karakteristik dari kotoran sapi .....	29
<b>Tabel 3.4.</b>	Tabel waktu T-90 beberapa bakteri patogen pada kotoran hewan....	31
<b>Tabel 3.5.</b>	Data utama centralized co-digestion plants di Lintrup dan Stuedsgard tahun 2000.....	56
<b>Tabel 5.1.</b>	Parameter dan perhitungan produksi biogas .....	65
<b>Tabel 5.2.</b>	Spesifikasi Abbey Vacuum Slurry Tanker.....	69
<b>Tabel 5.3.</b>	Perhitungan jumlah <i>vacuum slurry tanker</i> pada Kecamatan Prambanan.....	71
<b>Tabel 5.4.</b>	Perhitungan jumlah <i>feedstock</i> dan transportasinya .....	71
<b>Tabel 5.5.</b>	Perhitungan aliran air dan kotoran pada <i>buffer tank</i> .....	72
<b>Tabel 5.6.</b>	Perhitungan volume dan dimensi <i>buffer tank</i> .....	73
<b>Tabel 5.7.</b>	Perhitungan dimensi <i>digester</i> tingkat pertama .....	74
<b>Tabel 5.8.</b>	Kesetimbangan massa pada <i>digester</i> tingkat pertama.....	75
<b>Tabel 5.9.</b>	Perhitungan dimensi <i>digester</i> tingkat kedua .....	76
<b>Tabel 5.10.</b>	Kesetimbangan massa pada <i>digester</i> tingkat kedua .....	77
<b>Tabel 5.11.</b>	Spesifikasi <i>agigator</i> RotoMAXX II Model 420RMAX.....	78
<b>Tabel 5.12.</b>	Teknik pemisahan yang digunakan untuk setiap impuritas .....	80
<b>Tabel 5.13.</b>	Kandungan biogas sebelum dan setelah proses <i>biogas purification</i> .	82
<b>Tabel 5.14.</b>	Perhitungan volume dan dimensi <i>gas holder</i> .....	83
<b>Tabel 5.15.</b>	Perhitungan aliran massa udara sebagai <i>working fluid</i> .....	84

<b>Tabel 5.16.</b> Perhitungan pada kompresor udara .....	86
<b>Tabel 5.17.</b> Perhitungan pada kompresor biogas pertama.....	87
<b>Tabel 5.18.</b> Perhitungan pada kompresor biogas kedua .....	88
<b>Tabel 5.19.</b> Perhitungan pada ruang pembakaran ( <i>furnace</i> ).....	89
<b>Tabel 5.20.</b> Perhitungan analisis suhu pada turbin gas.....	90
<b>Tabel 5.21.</b> Perhitungan analisis suhu pada <i>regenerator</i> .....	90
<b>Tabel 5.22.</b> Perhitungan pada <i>heat exchanger</i> .....	91
<b>Tabel 5.23.</b> Perhitungan usaha, efisiensi, dan daya pada siklus turbin gas .....	92
<b>Tabel 5.24.</b> Perhitungan profil suhu pada HRSG .....	96
<b>Tabel 5.25.</b> Perhitungan daya pada <i>rankine cycle</i> .....	98
<b>Tabel 5.26.</b> Data utama Centralized Biogas Power Plant di Sleman dan perbandingannya terhadap pembangkit biogas lain di Denmark yaitu Lintrup dan Stuuudsgard .....	106
<b>Tabel 5.27.</b> Data produksi biogas dan produksi listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Biogas di beberapa negara.....	109

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1.</b>	Konsumsi listrik 2007-2016 .....	2
<b>Gambar 1.2.</b>	Rasio elektrifikasi tahun 2011-2015 .....	2
<b>Gambar 2.1.</b>	Konsep utama <i>Centralized Biogas Power Plant</i> oleh <i>Danish Energy Agency</i> .....	11
<b>Gambar 2.2.</b>	Diagram proses dari Vester Hjerimitslev .....	13
<b>Gambar 2.3.</b>	Susunan dari konsep <i>Soft Cover Plant</i> .....	14
<b>Gambar 2.4.</b>	Studsgaard Biogas Power Plant .....	15
<b>Gambar 2.5.</b>	Gambar secara utuh (di tengah) dan gambar bagian-bagian penting dari Hita City Biomass Town jenis <i>Methane Fermentation</i> .....	16
<b>Gambar 2.6.</b>	Skema kerja dari Hita City Biomass Town .....	16
<b>Gambar 2.7.</b>	Diagram proses dari pembangkit biogas di Sung Hwan.....	17
<b>Gambar 3.1.</b>	Empat tahapan pembentukan biogas .....	20
<b>Gambar 3.2.</b>	Teknologi <i>digester Covered Lagoon</i> .....	23
<b>Gambar 3.3.</b>	Teknologi <i>digester Batch Reactor</i> .....	23
<b>Gambar 3.4.</b>	Teknologi <i>digester Continuous Stirred Tank Reactor</i> (CTSR) ....	24
<b>Gambar 3.5.</b>	Tiga generasi dari teknologi <i>digester</i> .....	25
<b>Gambar 3.6.</b>	Beberapa tipe dari <i>agigator</i> .....	26
<b>Gambar 3.7.</b>	Siklus terbuka pada <i>Brayton Cycle</i> .....	33
<b>Gambar 3.8.</b>	Siklus tertutup pada <i>Brayton Cycle</i> .....	34
<b>Gambar 3.9.</b>	Diagram P-v dari <i>ideal Brayton Cycle</i> .....	34
<b>Gambar 3.10.</b>	Diagram T-s dari <i>ideal Brayton Cycle</i> .....	35
<b>Gambar 3.11.</b>	Deviasi diagram T-s antara <i>ideal Brayton Cycle</i> dengan <i>actual Brayton Cycle</i> .....	37
<b>Gambar 3.12.</b>	Contoh skematik <i>A/F ratio</i> pada basis massa dan pada basis jumlah mol .....	40
<b>Gambar 3.13.</b>	Contoh skematik diagram dari sebuah <i>Combined Cycle Power Plants</i> (CCPP).....	42

<b>Gambar 3.14.</b>	<i>Heat Recovery Steam Generator (HRSG) pada sebuah CCPP, bertipe Horizontal Units.....</i>	43
<b>Gambar 3.15.</b>	<i>Overview tampak samping dari HRSG.....</i>	44
<b>Gambar 3.16.</b>	<i>Tampak atas dari HRSG .....</i>	44
<b>Gambar 3.17.</b>	<i>Contoh profil temperatur dari sebuah HRSG pada CCPP .....</i>	45
<b>Gambar 3.18.</b>	<i>Tipikal profil temperatur dari sebuah HRSG.....</i>	46
<b>Gambar 3.19.</b>	<i>Rankine Cycle sederhana .....</i>	47
<b>Gambar 3.20.</b>	<i>Diagram T-s pada Rankine Cycle sederhana .....</i>	48
<b>Gambar 3.21.</b>	<i>HRSG pada Rankine Cycle. HRSG sebagai pengganti boiler pada Rankine Cycle sederhana .....</i>	49
<b>Gambar 3.22.</b>	<i>CCPP dengan turbin gas dan HRSG.....</i>	50
<b>Gambar 3.23.</b>	<i>Overview susunan HRSG secara umum .....</i>	50
<b>Gambar 3.24.</b>	<i>Profil suhu HRSG dengan 1 Superheater, 1 Evaporator, dan 1 Economizer.....</i>	51
<b>Gambar 3.25.</b>	<i>Tabel fungsi antara suhu gas buang HRSG dengan kondisi uap .....</i>	53
<b>Gambar 3.26.</b>	<i>Skematik representasi dari farm scale biogas plant .....</i>	54
<b>Gambar 3.27.</b>	<i>Konsep terintegrasi dari centralized co-digestion plants.....</i>	55
<b>Gambar 3.28.</b>	<i>Centralized co-digestion plants di Denmark .....</i>	56
<b>Gambar 3.29.</b>	<i>Konsep centralized co-digestion plants di Lintrup dan di Stuudsgard.....</i>	57
<b>Gambar 3.30.</b>	<i>Anaerobic digester di Lintrup centralized co-digestion plants ..</i>	58
<b>Gambar 3.31.</b>	<i>Tangki penyimpanan biogas di Lintrup Centralized co-digestion plants .....</i>	58
<b>Gambar 4.1.</b>	<i>Tahapan pengerjaan Tugas Akhir.....</i>	62
<b>Gambar 5.1.</b>	<i>Peta Kabupaten Sleman .....</i>	67
<b>Gambar 5.2.</b>	<i>Prakiraan lokasi pembangunan Power Plant.....</i>	68
<b>Gambar 5.3.</b>	<i>Abbey Vacuum Slurry Tanker.....</i>	69
<b>Gambar 5.4.</b>	<i>Peta rute pengumpulan kotoran sapi.....</i>	70
<b>Gambar 5.5.</b>	<i>Agigator RotoMAXX II Model 420RMAX.....</i>	78
<b>Gambar 5.6.</b>	<i>Diagram alir proses pada Biogas Purification Stage.....</i>	81
<b>Gambar 5.7.</b>	<i>Bentuk sederhana Unfired and Natural-Circulation HRSG .....</i>	95

<b>Gambar 5.8.</b>	Profil HRSG dengan tipe <i>Unfired and Natural-Circulation</i>	
	HRSG .....	95
<b>Gambar 5.9.</b>	Profil suhu HRSG yang disarankan .....	97
<b>Gambar 5.10.</b>	<i>Blue Print</i> konsep desain <i>Centralized Biogas Power Plant</i>	
	di Sleman .....	100
<b>Gambar 5.11.</b>	Rangkuman parameter operasi proses pembentukan biogas	
	pada <i>digester</i> .....	102
<b>Gambar 5.12.</b>	Rangkuman parameter operasi dari <i>gas holder</i> hingga biogas	
	siap digunakan.....	103
<b>Gambar 5.13.</b>	Rangkuman parameter operasi pada pembangkitan listrik	
	di turbin gas.....	104
<b>Gambar 5.14.</b>	Rangkuman parameter operasi HRSG pada <i>Rankine Cycle</i> .....	105
<b>Gambar 5.15.</b>	Desain <i>buffer tank</i> yang disarankan.....	107
<b>Gambar 5.16.</b>	Desain <i>digester</i> tingkat pertama yang disarankan .....	107
<b>Gambar 5.17.</b>	Desain <i>digester</i> tingkat kedua yang disarankan.....	108
<b>Gambar 5.18.</b>	Desain <i>gas holder</i> yang disarankan .....	108
<b>Gambar 5.19.</b>	Grafik perbandingan antara produksi biogas dengan produksi	
	listrik di berbagai lokasi .....	110



## DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

### Lambang Romawi

n	Jumlah	-
m	Aliran massa	kg/s
Q	Debit	m <sup>3</sup> /s
V	Volume	m <sup>3</sup>
f	Frekuensi	-
HRT	Waktu	s
h	Tinggi	m
d	Diameter	m
G	Produksi per waktu	m <sup>3</sup> /s
t	Waktu	s
MM	Massa molar	kg/kmol
M	Aliran molekul	kmol/s
X	Fraksi massa	-
SU	Stoikiometri udara	-
R	Rasio tekanan	-
P	Tekanan	atm
T	Suhu	°K
$\Delta P$	<i>Pressure drop</i>	atm
q	Kalor	kJ/s

C	Kapasistas Kalor	$\text{kJ}/(\text{kg.K})$
W	Usaha	$\text{kJ/kg}$
P	Daya	$\text{kW}$
RM	Rasio aliran massa	-
hl	Heat lost	%
h	Entalpi	$\text{kJ/kg}$
s	Entropi	$\text{kJ}/(\text{kg.K})$
x	Kualitas uap	-

### Lambang Yunani

$\rho$	Massa jenis	$\text{kg/m}^3$
$\gamma$	Rasio <i>specific heat</i>	-
$\eta$	Efisiensi	%

### Subskrip

<i>Lambang</i>	<i>Deskripsi</i>
s	Sapi
F	<i>Feedstock</i>
DM	Padatan kering
VS	Bubur <i>volatile</i>
Tbd1	Total biogas pada <i>digester</i> tingkat pertama
Tbd2	Total biogas pada <i>digester</i> tingkat kedua
Tb	Total biogas
P	Kecamatan Prambanan

FP	<i>Feedstock</i> di Kecamatan Prambanan
VST	<i>Vacuum Slurry Tanker</i>
C	Pengumpulan
a	Air
BT	<i>Buffer Tank</i>
d1	<i>Digester</i> tingkat pertama
d2	<i>Digester</i> tingkat kedua
e	Efektif
mix	Campuran
dg1	Total <i>digestate</i> pada <i>digester</i> tingkat pertama
dg2	Total <i>digestate</i> pada <i>digester</i> tingkat kedua
zc	<i>Zero consumption</i>
GH	<i>Gas Holder</i>
0	awal
AC	Kompresor udara
ac	Aktual
purif	<i>Purification Stage</i>
gb	Gas buang
reg	<i>Regenerator</i>
HE	<i>Heat Exchanger</i>
w	Air

## Superskrip

<i>Lambang</i>	<i>Deskripsi</i>
,	Keadaan setelah

## Singkatan

CCPP	<i>Combined Cycle Power Plant</i>
HRSG	<i>Heat Recovery Steam Generator</i>
LPG	<i>Liquid Petroleum Gas</i>
RE	<i>Renewable Energy</i>
AD	<i>Anaerobic Digestion</i>
AcoD	<i>Anaerobic co-digestion</i>
CHP	<i>Combined Heat and Power</i>
VFA	<i>Volatile Fatty Acid</i>
CTSR	<i>Continuous Stirred Tank Reactor</i>
HRT	<i>Hydraulic Retention Time</i>
DM	<i>Dry Matter</i>
VS	<i>Volatile Slurry</i>
LHV	<i>Low Heating Value</i>
AP	<i>Approach Point</i>
PP	<i>Pinch Point</i>