



**MODEL PENERAPAN TEKNOLOGI PRODUKSI BIOGAS
MENGUNAKAN BAHAN BAKU LIMBAH SEKAM PADI**

HASHFI HAWALI ABDUL MATIN

30000118520010

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA**

UNIVERSITAS DIPONEGORO

SEMARANG

2023



**MODEL PENERAPAN TEKNOLOGI PRODUKSI BIOGAS
MENGUNAKAN BAHAN BAKU LIMBAH SEKAM PADI**

HASHFI HAWALI ABDUL MATIN

30000118520010

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2023

**MODEL PENERAPAN TEKNOLOGI PRODUKSI BIOGAS
MENGUNAKAN BAHAN BAKU LIMBAH SEKAM PADI**



Disertasi

Oleh:

HASHFI HAWALI ABDUL MATIN

30000118520010

**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

2023

HALAMAN PENGESAHAN

MODEL PENERAPAN TEKNOLOGI PRODUKSI BIOGAS MENGUNAKAN BAHAN BAKU LIMBAH SEKAM PADI

Hashfi Hawali Abdul Matin
30000118520010

Telah diuji dan dinyatakan lulus ujian pada tanggal 27 bulan
Desember tahun 2023 oleh Tim Penguji Program Studi Doktor Ilmu
Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro

Promotor



Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES., M.T., IPM.
NIP. 195811071988031001

Tanggal03./01./2024.....

Ko-Promotor



Prof. Dr. Ing. Suherman, S.T., M.T.
NIP. 197608042000121002

Tanggal ..03/01/2024.....

Mengetahui,

Dekan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro



Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum.
NIP. 196701011991031005

Ketua Program Studi
Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro



Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.
NIP. 197508241999031003

HALAMAN PERSETUJUAN

**MODEL PENERAPAN TEKNOLOGI PRODUKSI BIOGAS
MENGUNAKAN BAHAN BAKU LIMBAH SEKAM PADI**

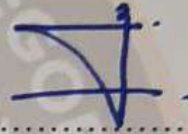
Hashfi Hawali Abdul Matin

30000118520010

Telah disetujui oleh:

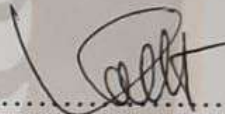
Pimpinan Sidang

Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum.



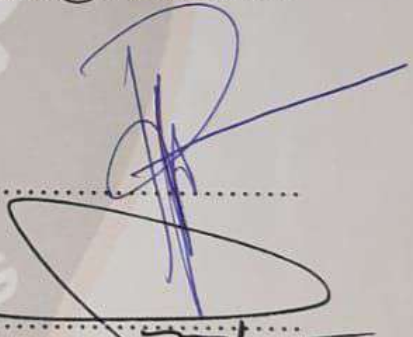
Sekretaris Sidang

Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si.



Anggota Tim Penguji

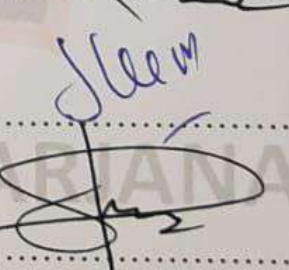
Prof. Dr. Prabang Setyono, S.Si., M.Si.



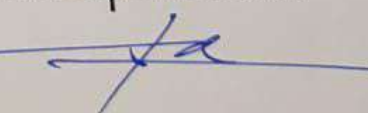
Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA.

Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc.

Prof. Dr. Ing. Suherman, S.T., M.T.



Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES., M.T., IPM.



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hashfi Hawali Abdul Matin
NIM : 30000118520010
Mahasiswa : Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Dengan ini menyatakan bahwa:

- 1) Disertasi yang berjudul **“Model Penerapan Teknologi Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Sekam Padi”** adalah karya ilmiah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (doktor) di perguruan tinggi manapun.
- 2) Disertasi ini adalah murni ide, rumusan dan hasil penelitian saya serta dilakukan tanpa bantuan orang lain, kecuali Tim Promotor.
- 3) Disertasi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan judul aslinya serta dicantumkan dalam daftar pustaka.
- 4) Pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah saya peroleh, dan sanksi lain sesuai dengan norma yang berlaku di Universitas Diponegoro.

SEKOLAH PASCASARJANA

Semarang, 27 Desember 2023

Yang Membuat Pernyataan,

Hashfi Hawali Abdul Matin

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Hashfi Hawali Abdul Matin lahir di Semarang tanggal 22 Desember 1994. Penulis merupakan putra pertama dari Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si. dan Ir. Dwi Erlina Estuningtyas, M.Si. Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri Pedurungan Tengah 02 Semarang pada tahun 2006. Pendidikan menengah ditempuh penulis pada SMP Negeri 15 Semarang (2006-2009) dan SMA Negeri 15 Semarang (2009-2012). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan Sarjana (S1) pada Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang (2012-2016). Pendidikan Magister (S2) ditempuh pada Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang (2017-2018). Penulis menjadi staff pengajar di Jurusan Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sumatera Lampung pada Juli-Desember 2018. Pada Februari 2019 penulis berkesempatan melanjutkan pendidikan Doktor (S3) pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang. Saat ini penulis merupakan staff pengajar di Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Sebelas Maret Surakarta, aktif di Grup Riset Lingkungan dan Perubahan Iklim serta merupakan *Editor in Chief* pada *Journal of Global Environmental Dynamics*.

Semarang, 27 Desember 2023

SEKOLAH PASCASARJANA

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah senantiasa selalu diucapkan atas nikmat dan rahmat Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Disertasi dengan judul “**Model Penerapan Teknologi Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Sekam Padi**” ini dengan baik dan lancar. Disertasi ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam mencapai derajat pendidikan Strata-3 pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro. Disertasi ini mengkaji pemanfaatan limbah sekam padi menjadi energi biogas melalui digester anaerobic. Kajian dilakukan mulai dari skala laboratorium hingga skala penuh siap untuk diterapkan di lapangan. Kelayakan teknologi, lingkungan, social, dan ekonomi terhadap teknologi produksi biogas dari limbah sekam padi juga dibahas pada Disertasi ini.

Tentu tulisan pada Disertasi ini sangat jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran dan masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi kemajuan ilmu pengetahuan pada umumnya dan kemajuan teknologi biogas pada khususnya.

Semarang, 27 Desember 2023

Penulis

SEKOLAH PASCASARJANA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Terselesaikannya Laporan Disertasi ini tidak terlepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, sebagai ucapan terima kasih maka penulis mempersembahkan Laporan Disertasi ini kepada :

1. Prof. Dr. Yos Johan Utama, S.H., M.Hum. selaku Rektor Universitas Diponegoro;
2. Prof. Dr. Jamal Wiwoho, S.H., M.Hum. selaku Rektor Universitas Sebelas Maret;
3. Dr. R.B. Sularto, S.H., M.Hum., selaku Dekan Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro dan Dosen Penguji IV;
4. Drs. Harjana, M.Si., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Diponegoro;
5. Prof. Dr. Ir. Syafrudin, CES, M.T., IPM. selaku Promotor yang tak pernah lelah untuk memberikan arahan bahkan tuntutan baik saat proses penelitian maupun penyusunan Laporan Disertasi. Terimakasih telah kebersamai sejak semasa S1 hingga saat ini, sepanjang perjuangan tersebut Bapak selalu menyuplai api semangat;
6. Prof. Dr.Ing. Suherman, S.T., M.T. selaku Ko Promotor yang selalu memberikan semangat dalam proses penyelesaian Laporan Disertasi serta secara kritis menelaah poin per poin demi Disertasi yang berkualitas;
7. Prof. Dr. Prabang Setyono, M.Si. selaku Penguji Eksternal dan Kepala Program Studi S1 Ilmu Lingkungan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret yang selalu memberikan peluang dan dukungannya terhadap perkembangan dan kemajuan Staf Dosen pada Prodi S1 Ilmu Lingkungan;
8. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA. selaku Dosen Penguji 1 yang turut mencurahkan pemikirannya secara mendalam terhadap substansi penelitian demi Disertasi yang layak;

9. Prof. Dr. Ir. Florentina Kusmiyati, M.Sc. selaku Dosen Penguji 2 yang banyak memberi masukan terkait pemanfaatan slurry agar bernilai guna dan dapat dimanfaatkan oleh masyarakat;
10. Dr. Budi Warsito, S.Si., M.Si. selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Diponegoro dan Dosen Penguji III yang terus memberikan motivasi disetiap monev agar Laporan Disertasi dapat segera diselesaikan dengan tetap memperhatikan kualitas luaran berupa Publikasi Bereputasi dan Paten;
11. Seluruh Staf Dosen di Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro yang ilmunya terus mengalir kepada penulis dan menjadi landasan dalam penyusunan Laporan Disertasi;
12. Mbak Andri selaku Staf Pengelola dan Mas Adi selaku Tim Taktis Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro atas bantuan dan saran yang terus diberikan kepada penulis;
13. Kedua Orang Tuaku, Mama, Ir. Dwi Erlina Estuningtyas, M.Si. dan Bapak, Prof. Dr. Ir. Budiyono, M.Si., segala perjalananku hingga saat ini kupersembahkan kepada Engkau, sungguh bukan aku yang hebat namun karena doa kalian yang kuat yang terus mengalir dalam kehidupanku sehingga dapat melewati segalanya;
14. Ibu Sukiswati dan Bapak Ngadiono selaku Mertua, terimakasih atas nasihat dan doa yang selalu disampaikan yang terus mengalir kepadaku serta memotivasi untuk terus maju dan bisa sampai ke tahap akhir pengerjaan Disertasi;
15. Keluarga Kecilku, Istri tercinta Dian Pertiwi Kisdi Rahayu, S.K.M. dan Putri tersayang Latisya Almira Aisyah Matin, terimakasih selalu mendukung dan memberi semangat, terimakasih telah mau berjuang bersama, sungguh betapa bersyukur aku memiliki kalian;
16. Adik-adikku Ilmam Fauzi Hashbil Alim, S.T., M.Kom dan Dwi Handayani A.Md.T. yang selalu memberikan doa dan dukungan dalam proses penelitian maupun penyusunan Laporan Disertasi ini;

17. Bapak dan Ibu Mawardi di Desa Lerep, Ungaran Barat yang telah memberikan kesempatan untuk belajar dan melakukan kajian penelitian terkait biogas dari sekam padi pada skala penuh di Rumah Penggilingan Padi Sari Tani Kalisidi yang sekaligus menjadi laboratorium lapangan;
18. POJOK DIL 12, Bu Eko, Pak Agung, Pak Zaenal, Bu Arum, Bu Wahyu, Pak Hamdani, Bu Reni, Bu Layli, Bu Hari, dan Pak Tamrin atas kerjasama, dukungan dan doa untuk menyelesaikan semua studi ini bersama;
19. Teman seperjuangan menunggu bimbingan, Mbak Rachma, Mbak Farida, Pak Andhang, dan Ayudya, tetap semangat mari selesaikan apa yang sudah kita mulai dengan semaksimal mungkin;
20. Keluarga Besar DIL 13, DIL 14, dan DIL 15 yang telah menjadi keluarga kedua, media sharing ilmu dan selalu memberikan support serta motivasi di dalam penyelesaian studi dan Laporan Disertasi ini;
21. Serta seluruh pihak yang telah membantu dan tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.



SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR ISTILAH

AD	= <i>Anaerobic Digestion</i>
C/N Ratio	= <i>Carbon to Nitrogen Ratio</i>
F/I Ratio	= <i>Food to Inoculum Ratio</i>
L-AD	= <i>Liquid Anaerobic Digestion</i>
SS-AD	= <i>Solid State Anaerobic Digestion</i>
TS	= <i>Total Solid</i>
SEM	= <i>Scanning Electron Microscope</i>



SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS	v
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	viii
DAFTAR ISTILAH.....	xi
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xviii
ABSTRAK.....	xix
ABSTRACT.....	xx
RINGKASAN.....	xxi
SUMMARY	xxvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	3
1.3. Perumusan Masalah.....	6
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	7
1.4.1. Tujuan Penelitian	7
1.4.2. Manfaat Penelitian	8
1.5. Orisinalitas Penelitian	8
1.6. Kerangka Pikir.....	16
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	17
2.1. Karakteristik Limbah Sekam Padi.....	17
2.2. Biogas.....	20

2.2.1.	Pengertian Biogas	20
2.2.2.	Komposisi Biogas	20
2.2.3.	Bakteri Pembentuk Biogas.....	21
2.2.4.	Manfaat Biogas	21
2.3.	Proses Pembuatan Biogas.....	22
2.4.	Digester Anaerobik Biogas	24
2.4.1.	Suhu	25
2.4.2.	pH.....	26
2.4.3.	Alkalinitas	27
2.4.4.	Rasio C/N.....	27
2.4.5.	Kandungan <i>Total Solid</i> (TS)	28
2.4.6.	<i>Feedstock</i> dan <i>Inoculum</i>	29
2.5.	Hasil Samping Biogas	29
2.6.	Penentuan Laju Produksi Biogas.....	30
2.7.	<i>Response Surface Methodology</i>	34
2.7.1.	<i>Central Composite Design</i>	35
2.8.	Analisis Kelayakan Teknologi, Lingkungan, Sosial, dan Ekonomi Biogas36	
BAB III METODE PENELITIAN.....		40
3.1.	Penentuan Kondisi Operasi Optimum pada Produksi Biogas dari Sekam Padi.....	40
3.1.1.	Variabel Penelitian.....	40
3.1.2.	Alat dan Bahan.....	42
3.1.3.	Pelaksanaan Penelitian.....	43
3.2.	Laju Produksi Biogas Optimum dari Limbah Sekam Padi	45
3.3.	Perancangan Sistem Produksi Biogas Secara Kontinyu dari Sekam Padi .46	
3.3.1.	Alat dan Bahan.....	46
3.3.2.	Pelaksanaan Perancangan.....	47

3.4. Evaluasi Produksi Biogas dari Sekam Padi pada Segi Teknologi, Lingkungan, Sosial, dan Ekonomi.	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	49
4.1. Karakteristik Biogas dari Limbah Sekam Padi	49
4.1.1. Pengaruh Penambahan NaOH terhadap Produksi Biogas.....	49
4.1.2. Optimasi Kondisi Operasi pada Produksi Biogas	54
4.1.3. Laju Produksi Biogas Optimum dari Limbah Sekam Padi	59
4.2. Perancangan Sistem Produksi Biogas Secara Kontinyu dari Sekam Padi .61	
4.2.1. Hasil Rancangan Sistem Produksi Biogas secara Kontinyu	61
4.3. Evaluasi Produksi Biogas dari Sekam Padi pada Segi Teknologi, Lingkungan, Sosial, dan Ekonomi	65
4.3.1. Kajian Kelayakan Teknologi.....	65
4.3.2. Kajian Kelayakan Lingkungan.....	69
4.3.3. Kajian Kelayakan Sosial	72
4.3.4. Kajian Kelayakan Ekonomi	74
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	87
5.1. Kesimpulan.....	87
5.2. Saran.....	88
DAFTAR PUSTAKA	89
LAMPIRAN.....	106

SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Orisinalitas Penelitian	9
Tabel 2.1. Komponen Lignoselulosa Beberapa Biomassa.....	17
Tabel 2.2. Komposisi Biogas	20
Tabel 2.3. Kelompok Bakteri Pembentuk Biogas.....	21
Tabel 2.4. Aplikasi Biogas pada Berbagai Kegiatan.....	22
Tabel 2.5. Pengaruh Suhu terhadap Daya Tahan Hidup Bakteri	25
Tabel 2.6. Rasio C/N pada Berbagai Bahan Organik.....	28
Tabel 3.1. Nilai Variabel pada <i>Central Composite Design</i>	41
Tabel 3.2. Rancangan Variabel pada Percobaan menggunakan	41
Tabel 4.1. Nilai <i>Central Composite Design</i> pada Optimasi Variabel Enzim, Rasio C/N dan TS.....	54
Tabel 4.2. Nilai Konstanta Laju pada Kondisi Produksi Biogas Optimum	59
Tabel 4.3. Uji Kualitas Sampel Hasil Samping Biogas terhadap SNI 7763:2018 tentang Pupuk Organik Padat.....	68
Tabel 4.4. Uji Kualitas Udara Ambien saat Terdapat Pembakar Sekam Padi	70
Tabel 4.5. Biaya Investasi pada Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	75
Tabel 4.6. Biaya Penyusutan yang Diperkirakan pada Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	76
Tabel 4.7. Biaya Pemeliharaan pada Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	77
Tabel 4.8. Biaya Bahan Baku Produksi Pupuk Organik Padat	77
Tabel 4.9. Biaya Operasional pada Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	78
Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Total Produk Biogas dan Pupuk Organik Padat... 79	79
Tabel 4.11. Hasil Keuntungan Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	80
Tabel 4.12. Hasil Perhitungan NPV (<i>Net Present Value</i>) pada Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	82

Tabel 4.13. Net Benefit Cost-Ratio pada Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	83
Tabel 4.14. Hasil Perhitungan Nilai PBP pada Produksi Biogas dari Sekam Padi dan Pupuk Organik Padat.....	85



SEKOLAH PASCASARJANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Skema Keterkaitan Antar Tujuan Penelitian.....	7
Gambar 1.2. Kerangka Pikir Penelitian	16
Gambar 2.1. Limbah Sekam Padi	19
Gambar 2.2. Degradasi Piruvat	23
Gambar 3.1. Rangkaian Alat Penelitian pada Skala Laboratorium	42
Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian	44
Gambar 4.1. Pengaruh Perlakuan NaOH 3% terhadap Produksi Biogas dari Sekam Padi pada TS 27,5% dan Rasio C/N 35: (a) Kumulatif ml, (b) Kumulatif ml.g ⁻¹ TS	51
Gambar 4.2. Hasil SEM Sekam Padi tanpa Penambahan NaOH pada Perbesaran 500x dan 1500x.....	52
Gambar 4.3. Hasil SEM Sekam Padi dengan Penambahan NaOH 3% pada Perbesaran 500x dan 1500x	53
Gambar 4.4. Signifikansi Pengaruh Variabel Enzim, Rasio C/N, dan TS terhadap Produksi Biogas	55
Gambar 4.5. Kontur Pengaruh Rasio C/N dan Enzim terhadap Produksi Biogas pada TS 27,5%	57
Gambar 4.6. Kontur Pengaruh TS dan Enzym terhadap Produksi Biogas pada Rasio C/N 35.....	57
Gambar 4.7. Kontur Pengaruh TS dan Rasio C/N terhadap Produksi Biogas pada Enzym 6%.....	58
Gambar 4.8. Perbedaan antara Data Eksperimen dan Simulasi untuk Produksi Biogas pada Kondisi Optimum (<i>Run 9</i>).....	60
Gambar 4.9. Rancangan Digester Biogas Skala Penuh secara Kontinyu	63
Gambar 4.10. Produksi Biogas Skala Penuh secara Kontinyu.....	64
Gambar 4.11. Pemanfaatan Biogas untuk Kegiatan Memasak	66
Gambar 4.12. Pupuk Organik Padat Hasil Samping Produksi Biogas dari Sekam Padi.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisis <i>Total Solid</i>	106
Lampiran 2. Perhitungan Kebutuhan Bahan pada Skala Laboratorium.....	107
Lampiran 3. Rekapitulasi Kebutuhan Bahan pada Skala Laboratorium	110
Lampiran 4. Data Pengamatan Volume Biogas Harian (ml)	111
Lampiran 5. Data Pengamatan Rata-Rata Volume Biogas Harian (ml)	113
Lampiran 6. Data Pengamatan Produksi Biogas Kumulatif (ml)	115
Lampiran 7. Data Pengamatan Produksi Biogas Kumulatif Per-Satuan TS (ml.g ⁻¹ TS)	117
Lampiran 8. Hasil Perhitungan Konstanta Kinetika <i>Run 9</i>	119
Lampiran 9. Data Pengamatan Penggunaan Biogas Harian pada Skala Penuh ..	122
Lampiran 10. Rekapitulasi Kebutuhan Bahan pada Skala Penuh	124
Lampiran 11. Perhitungan Waktu Tinggal Sistem Operasi Produksi Biogas Skala Penuh.....	125
Lampiran 12. Data Perhitungan Volume Biogas Harian (m ³) pada Skala Penuh	126
Lampiran 13. Data Perhitungan Volume Biogas Kumulatif (m ³) pada Skala Penuh	128
Lampiran 14. Pengukuran Tingkat Kesiapan Teknologi (TKT).....	130
Lampiran 15. Perbandingan Perlakuan Sekam Padi dengan Metode ReCiPe Midpoint (H)	133
Lampiran 16. Dokumentasi.....	135
Lampiran 17. Publikasi Artikel Ilmiah dan Paten.....	140

SEKOLAH PASCASARJANA

ABSTRAK

Kebutuhan energi dunia akan terus meningkat akibat dari adanya pertumbuhan populasi manusia dan perkembangan ekonomi secara global, apabila tidak ada implementasi kebijakan baru maka akan terjadi krisis energi. Sebagai negara dengan kegiatan pertanian padi yang sangat besar, banyak ditemukan limbah sekam padi yang belum dimanfaatkan sehingga dapat mencemari lingkungan. Diperlukan pengembangan energi alternatif dan pemanfaatan limbah sekam padi yaitu energi biogas dengan menggunakan bahan baku limbah sekam padi. Pada studi ini dilakukan optimasi produksi biogas dari limbah sekam padi, merancang sistem produksi biogas secara kontinu, dan melakukan evaluasi kelayakan pada segi teknologi, lingkungan, sosial, dan ekonomi. Optimasi produksi biogas dilakukan pada skala laboratorium dan secara batch. Kinetika dipelajari mengikuti persamaan Gompertz sebagai dasar perancangan digester biogas skala penuh. Setelah didapat kondisi operasi yang optimum, dilakukan scale up menjadi skala penuh dengan merancang system produksi biogas secara kontinu. Kondisi operasi produksi biogas optimum pada enzim 6%, rasio C/N 35, dan TS 27,5%. Didapat nilai konstanta kinetika produksi biogas maksimum (A) 63,9347 ml/grTS; laju produksi biogas (U) 0,9796 ml/grTS.hari; serta hari pertama terbentuknya biogas (λ) hari ke-8,29. Digester biogas model fixed dome dirancang dengan volume 6 m³. Kebutuhan bahan baku awal sekam padi sebanyak 1,43 m³ serta cairan berupa air dan cairan rumen masing-masing 2,22 m³. Umpan berupa sekam padi dan air dengan masing-masing volume sebanyak 15,55 L dan 48,2 L. Didapat waktu tinggal selama 92 hari dan rata-rata produksi biogas sebesar 4,77 m³ per hari. Terdapat hasil samping berupa pupuk organik padat dengan timbulan 210 kg per bulan sesuai dengan SNI 7763:2018. Pada segi ekonomi dinyatakan layak berdasarkan perhitungan: Net Present Value / NPV > 1 setara dengan Rp 24.810.533; nilai Net Benefit Cost Ratio / Net B/C > 1 yaitu 1,03; dengan Pay Back Period / PBP selama 3,8 tahun.

Kata kunci: optimasi, sekam padi, skala penuh, teknologi biogas.

ABSTRACT

World energy needs will continue to increase due to human population growth and global economic development, if there is no implementation of new policies there will be an energy crisis. As a country with very large rice farming activities, there is a lot of unused rice husk waste that can pollute the environment. It is necessary to develop alternative energy and utilize rice husk waste, namely biogas energy using rice husk waste as raw material. In this study, optimization of biogas production from rice husk waste was carried out, design of a continuous biogas production system, and evaluation of feasibility in technological, environmental, social and economic terms. Optimization of biogas production is carried out on a laboratory scale and in batches. The kinetics are studied following the Gompertz equation as a basis for designing a full-scale biogas digester. After obtaining optimum operating conditions, scale up to full scale was carried out by designing a continuous biogas production system. Optimum biogas production operating conditions at 6% enzyme, C/N ratio 35, and TS 27.5%. The maximum biogas production kinetic constant value (A) was 63.9347 ml/grTS; biogas production rate (U) 0.9796 ml/grTS.day; and the first day of biogas formation (λ) day 8.29. The fixed dome model biogas digester is designed with a volume of 6 m³. The initial raw material requirement for rice husks is 1.43 m³ and liquids in the form of water and rumen fluid are 2.22 m³ each. The feed was rice husks and water with volumes of 15.55 L and 48.2 L respectively. The residence time was 92 days and the average biogas production was 4.77 m³ per day. There is a by-product in the form of solid organic fertilizer with an output of 210 kg per month in accordance with SNI 7763:2018. From an economic perspective, it is declared feasible based on calculations: Net Present Value / NPV > 1, equivalent to IDR 24,810,533; Net Benefit Cost Ratio or Net B/C value > 1, namely 1.03; with a Pay Back Period or PBP of 3.8 years.

Keywords: optimization, rice husk, full scale, biogas technology.

RINGKASAN

Kebutuhan energi dunia diperkirakan akan terus meningkat akibat dari adanya pertumbuhan populasi manusia dan perkembangan ekonomi secara global, apabila tidak ada implementasi kebijakan baru maka akan terjadi lonjakan sebesar 45% terhadap kebutuhan energi dibanding tahun 2011 (Song et al., 2012). Saat ini sumber energi yang paling banyak diminati dan menjadi penting sebagai penunjang kehidupan di Indonesia adalah minyak dan gas (Budiyono et al., 2018). Kedua jenis sumber energi tersebut terus meningkat namun akan mengalami penurunan tahun 2020, apabila standar lingkungan yang tinggi diterapkan maka kebutuhan energi tersebut hanya tumbuh sebesar 11% (KESDM, 2006). Dalam menghadapi isu krisis energi, pemerintah memiliki target dengan mengeluarkan Undang-Undang No 5 Tahun 2006 tentang penggunaan energi baru dan terbarukan. UU ini membahas upaya pemerintah dalam hal pemanfaatan energi baru dan energi terbarukan. Pada tahun 2025 ditetapkan jumlah energi baru dan energi terbarukan sebesar 17% dari bauran energi nasional dimana saat ini hanya sebesar 5%. Pada visi baru yaitu visi 25/25, pemerintah meningkatkan target menjadi sebesar 25% akibat dari adanya teknologi yang terus berkembang dan ditemukannya potensi sumber daya alam (KESDM, 2006).

Biogas merupakan energi yang dihasilkan oleh bahan organik yang difermentasi pada kondisi anaerob (Budiyono et al., 2013). Biogas diproduksi dari sumber energi yang dapat diperbarui (Seadi et al., 2008). Prospek pengembangan teknologi biogas ini sangat besar terutama di daerah pedesaan dimana sebagian besar masyarakat bekerja di bidang peternakan dan pertanian (Seadi et al., 2008). Teknologi produksi biogas, termasuk di dalamnya SS-AD dari biomassa limbah sekam padi harus memperhatikan beberapa parameter dan perlakuan pendahuluan yang tepat agar dapat dihasilkan biogas yang optimal. Dalam proses produksinya, biogas dari sekam padi menghasilkan zat samping berupa lumpur yang harus dianalisa lebih lanjut agar dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Penelitian terkait pengembangan teknologi biogas dengan judul

“Model Penerapan Teknologi Produksi Biogas Menggunakan Bahan Baku Limbah Sekam Padi” sangat diperlukan.

Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengembangkan sistem baru untuk produksi biogas dari limbah sekam padi. Sistem baru yang dikembangkan adalah teknologi produksi biogas secara anaerobik dengan bahan baku konsentrasi tinggi lignoselulosa berupa sekam padi secara kontinyu. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menentukan kondisi operasi optimum pada variabel enzim, rasio C/N, dan TS untuk produksi biogas dari sekam padi.
2. Mempelajari laju produksi biogas optimum dari sekam padi.
3. Merancang sistem produksi biogas secara kontinyu dari sekam padi.
4. Mengevaluasi produksi biogas dari sekam padi pada segi teknologi, lingkungan, sosial, dan ekonomi.

Pada penentuan kondisi operasi optimum pada produksi biogas dari sekam padi dilakukan dengan metode SS-AD. Sebelumnya dilakukan studi terkait pengaruh perlakuan pendahuluan terhadap sekam padi secara kimia dengan NaOH 3% selama 24 jam perendaman. Kondisi operasi yang divariasikan yaitu enzim, rasio C/N dan TS dengan variabel sebagai berikut: Enzim: 3, 6, 9 %; Rasio C/N: 20, 35, 50; dan Total Solid: 15; 27,5; 40 %. Pada penelitian tahap ini, untuk mendapatkan kondisi optimum dilakukan dengan metode *Central Composite Design*. Pada studi terkait laju produksi biogas optimum dari limbah sekam padi, didapat konstanta kinetika produksi biogas. Bila dianggap bahwa laju produksi biogas di dalam biodigester *batch* selalu sebanding dengan laju pertumbuhan spesifik mikroorganisme metanogenik di dalam biodigester, maka laju produksi biogas mengikuti Persamaan Gompertz (Nopharatana et al., 2007; Tuesorn et al., 2013). Persamaan ini merupakan model matematis untuk pengamatan *time series*, yaitu pertumbuhan paling lambat pada saat awal dan akhir periode waktu pengamatan. Pada tahap perancangan sistem produksi biogas secara kontinyu dari sekam padi, setelah didapat laju produksi biogas dari sekam padi yang optimum, dilakukan rekayasa produksi biogas secara kontinyu dan dilakukan *scale up* dari skala laboratorium ke skala penuh. Pada bagian ini dibahas mengenai: (a) rancang

bangun, (b) evaluasi kondisi operasi, (c) teknik-ekonomi, dan (d) aspek lingkungan. Digester biogas dirancang dengan volume 6 m³ menggunakan *software* autoCAD untuk proses desain dan perancangan. Tidak hanya dirancang, digester biogas juga dibangun dan terletak di Desa Kalisidi, Kecamatan Ungaran Barat, Kabupaten Semarang. Evaluasi terhadap kinerja teknologi biogas dilakukan setelah energi biogas dan hasil samping berupa pupuk organik padat berhasil dihasilkan. Kelayakan teknologi dilakukan dengan memastikan biogas terproduksi dibuktikan dengan pemanfaatan biogas yang telah dilakukan. Aspek lingkungan dilakukan analisis terkait dampak dari pemanfaatan limbah sekam padi yang dikonversi menjadi biogas. Pada aspek sosial dilakukan analisis terkait dampak dari adanya teknologi biogas dari limbah sekam padi terhadap pandangan Masyarakat. Sedangkan untuk aspek ekonomi dilakukan analisis terkait manfaat secara materiil dan keberlanjutan dari pemanfaatan limbah sekam padi menjadi biogas dibuktikan dengan nilai NPV, nett B/C dan PBP.

Produksi biogas pada variabel perlakuan pendahuluan dengan penambahan NaOH 3% berpengaruh nyata terhadap produksi biogas dibandingkan dengan tanpa perlakuan pendahuluan menggunakan NaOH. Hal tersebut dapat dilihat bahwa total produksi biogas pada variabel dengan menggunakan NaOH 3% lebih besar, yaitu 3.672 ml dan untuk variabel tanpa menggunakan NaOH hanya sebesar 913 ml. Kondisi tersebut menggambarkan produksi biogas dengan NaOH 3% 4 kali lebih tinggi jika dibanding variabel tanpa NaOH. Didapatkan data volume biogas kumulatif tiap satuan TS untuk produksi biogas dengan penambahan NaOH 3% sebesar 59,2 ml.g⁻¹TS dan untuk variabel tanpa penambahan NaOH didapatkan produksi biogas sebesar 14,7 ml.g⁻¹TS.

Pada optimasi kondisi operasi, konsentrasi enzim, rasio C/N, dan TS dipelajari pada masing-masing rentang 3-9%, 20-50, dan 15-40%. Simpulan yang dapat diambil dari studi tahap ini adalah (a). RSM secara baik dan memuaskan dapat digunakan untuk optimasi kondisi operasi terhadap produksi biogas; (b). Enzym dan rasio C/N secara signifikan mempengaruhi produksi biogas dengan hubungan bersifat kuadratik dan TS secara signifikan mempengaruhi produksi biogas dengan hubungan bersifat linear; dan (c). Produksi biogas maksimum

diperoleh pada kondisi optimum yaitu konsentrasi enzim 4,5-7 %, rasio C/N 32-45, dan konsentrasi TS yang tidak didapatkan kondisi optimumnya. Apabila melihat hasil produksi biogas, konsentrasi TS terbaik pada kondisi SS-AD adalah sebesar 27,5%. Selanjutnya, *run* yang paling mendekati kondisi optimum adalah *run* 9, yaitu dengan enzim 6%, rasio C/N 35, dan TS 27,5%.

Pada studi terkait laju produksi biogas, dilakukan studi untuk mengetahui nilai konstanta kinetika produksi biogas yang optimum dari sekam padi. Produksi biogas dengan optimum didapat pada *run* 9 dengan komposisi enzim 6%, rasio C/N 35, dan TS 27,5%. Selanjutnya dilakukan permodelan dengan metode regresi non linear mengikuti persamaan Gompertz terhadap data penelitian dan lama waktu pengamatan data. Berdasarkan permodelan yang telah dilakukan, didapat bahwa nilai konstanta produksi biogas maksimum (A) sebesar 63,9347 ml.g⁻¹TS; laju produksi biogas (U) sebesar 0,9796 ml.g⁻¹TS.hari; serta hari pertama terbentuknya biogas (λ) adalah hari ke-8,29. Produksi biogas maksimum pada *run* 9 adalah sebesar 63,9347 ml.g⁻¹TS dan dicapai pada hari ke-160. Namun pada hari ke-98 produksi biogas harian tidak signifikan lagi, yaitu hanya sebesar 0,28 ml.g⁻¹TS per-hari dan terus menurun hingga hari ke-160. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pada hari ke-102 pada dasarnya produksi biogas sudah berhenti.

Rancangan digester biogas dari sekam padi ini dikembangkan menggunakan bahan dasar beton dengan model digester *fixed dome*, yaitu digester biogas berbentuk kubah dan peletkannya berada di bawah permukaan tanah. Rancangan model digester *fixed dome* ini memungkinkan terhindar dari kerusakan secara fisik dan lebih menghemat ruang karena digester berada di dalam tanah. Bahan dasar yang dipilih adalah beton dengan asumsi hampa udara sehingga bakteri anaerobic dapat hidup dan proses pengolahan bahan organik di dalam digester berjalan dengan maksimal. Hasil produksi biogas didistribusikan ke rumah warga menggunakan pipa berbahan dasar *polyvinyl chloride* sepanjang 50 meter dan disambungkan dengan kompor gas dua tungku. Pada bagian distribusi ini juga dilengkapi pengukur tekanan gas dengan satuan kilopascal (kPa) untuk monitoring ketersediaan biogas. Ukuran volume digester biogas

secara detail adalah 5,87 m³ sehingga pada kondisi SS-AD 27,5% dibutuhkan bahan baku awal sekam padi sebanyak 1,43 m³ serta cairan berupa air dan cairan rumen masing-masing sebanyak 2,22 m³. Umpan harian digester biogas ini berupa sekam padi dan air dengan masing-masing volume sebanyak 15,55 L dan 48,2 L sehingga total umpan harian sebesar 63,75 L. Berdasarkan data volume digester biogas dan umpan harian tersebut didapat waktu tinggal selama 92 hari.

Hasil evaluasi kelayakan pada segi teknologi, model digester *fixed dome* yang berada di bawah permukaan tanah ini menjauhkan dari kemungkinan-kemungkinan bangunan mengalami kerusakan dari luar dan dirancang untuk dapat beroperasi selama 25 tahun. Digester biogas telah dapat menghasilkan energi biogas yang dimanfaatkan untuk memasak dengan rata-rata penggunaan selama 1,4 jam per hari. Terdapat hasil samping berupa pupuk organik padat dengan timbulan 210 kg per bulan dengan hasil uji kualitas yang sesuai dengan SNI 7763:2018 tentang Pupuk Organik Padat. Pada segi ekonomi dinyatakan layak berdasarkan perhitungan: *Net Present Value / NPV* > 1 atau setara dengan nilai Rp 24.810.533; nilai *Net Benefit Cost Ratio / Net B/C* > 1 yaitu 1,03; dan dengan *Pay Back Period / PBP* selama 3,8 tahun.

SEKOLAH PASCASARJANA

SUMMARY

World energy needs are predicted to continue to increase due to human population growth and global economic development, if there is no implementation of new policies there will be a 45% jump in energy needs compared to 2011 (Song et al., 2012). Currently, the energy sources that are most in demand and are important for supporting life in Indonesia are oil and gas (Budiyono et al., 2018). These two types of energy sources continue to increase but will experience a decline in 2020, if high environmental standards are implemented then energy demand will only grow by 11% (KESDM, 2006). In facing the issue of the energy crisis, the government has a target by issuing Law No. 5 of 2006 concerning the use of new and renewable energy. This law discusses government efforts in terms of utilizing new energy and renewable energy. In 2025, the amount of new energy and renewable energy is set at 17% of the national energy mix, whereas currently it is only 5%. In the new vision, namely Vision 25/25, the government increases the target to 25% as a result of continuously developing technology and the discovery of potential natural resources (KESDM, 2006).

Biogas is energy produced by organic material fermented under anaerobic conditions (Budiyono et al., 2013). Biogas is produced from renewable energy sources (Seadi et al., 2008). The prospects for developing biogas technology are very large, especially in rural areas where the majority of people work in animal husbandry and agriculture (Seadi et al., 2008). Biogas production technology, including SS-AD from rice husk waste biomass, must pay attention to several parameters and appropriate pretreatment so that optimal biogas can be produced. In the production process, biogas from rice husks produces by-products in the form of sludge which must be analyzed further so that it can be used as organic fertilizer. Research related to the development of biogas technology with the title "Model for Implementing Biogas Production Technology Using Rice Husk Waste as Raw Material" is very necessary.

This research generally aims to develop a new system for biogas production from rice husk waste. The new system being developed is anaerobic biogas production technology using a continuous high concentration of lignosulose as raw material in the form of rice husks. Specifically, this research aims to:

1. Determine the optimum operating conditions for enzyme variables, C/N ratio, and TS for biogas production from rice husks.
2. Study the optimum biogas production rate from rice husks.
3. Design a continuous biogas production system from rice husks.
4. Evaluate biogas production from rice husks in terms of technology, environment, social and economic aspects.

Determining the optimum operating conditions for biogas production from rice husks is carried out using the SS-AD method. Previously, a study was carried out regarding the effect of chemical pretreatment on rice husks with 3% NaOH for 24 hours of soaking. The operating conditions varied were enzyme, C/N ratio and TS with the following variables: Enzyme: 3, 6, 9 %; C/N ratio: 20, 35, 50; and Solid Total: 15; 27.5; 40 %. At this stage of the research, to obtain optimum conditions, the Central Composite Design method was carried out. In a study related to the optimum biogas production rate from rice husk waste, the kinetic constants of biogas production were obtained. If it is considered that the biogas production rate in a batch biodigester is always proportional to the specific growth rate of methanogenic microorganisms in the biodigester, then the biogas production rate follows the Gompertz Equation (Nopharatana et al., 2007; Tuesorn et al., 2013). This equation is a mathematical model for time series observations, namely growth is slowest at the beginning and end of the observation time period. At the design stage of a continuous biogas production system from rice husks, after obtaining the optimum rate of biogas production from rice husks, continuous biogas production engineering is carried out and scaled up from laboratory scale to full scale. This section discusses: (a) design, (b) evaluation of operating conditions, (c) engineering-economics, and (d) environmental aspects. The biogas digester was designed with a volume of 6 m³

using AutoCAD software for the design and design process. Not only was it designed, the biogas digester was also built and located in Kalisidi Village, West Ungaran District, Semarang Regency. Evaluation of the performance of biogas technology is carried out after the biogas energy and by-products in the form of solid organic fertilizer are successfully produced. The feasibility of the technology is carried out by ensuring that biogas is produced as proven by the use of biogas that has been carried out. Environmental aspects were analyzed regarding the impact of using rice husk waste which is converted into biogas. In the social aspect, an analysis was carried out regarding the impact of biogas technology from rice husk waste on the community's views. Meanwhile, for the economic aspect, an analysis was carried out regarding the material benefits and sustainability of the use of rice husk waste into biogas as evidenced by the NPV, nett B/C and PBP values.

Biogas production in the pre-treatment variable with the addition of 3% NaOH has a significant effect on biogas production compared to without pre-treatment using NaOH. It can be seen that the total biogas production for the variable using 3% NaOH is greater, namely 3,672 ml and for the variable without using NaOH it is only 913 ml. This condition illustrates that biogas production with 3% NaOH is 4 times higher than the variable without NaOH. The cumulative biogas volume data obtained per TS unit for biogas production with the addition of 3% NaOH was 59.2 ml.g⁻¹TS and for the variable without the addition of NaOH the biogas production was 14.7 ml.g⁻¹TS.

In the optimization of operating conditions, enzyme concentration, C/N ratio, and TS were studied in the ranges of 3-9%, 20-50, and 15-40%, respectively. The conclusions that can be drawn from this stage of the study are (a). RSM can be used properly and satisfactorily to optimize operating conditions for biogas production; (b). Enzymes and C/N ratio significantly influence biogas production with a quadratic relationship and TS significantly influences biogas production with a linear relationship; and (c). Maximum biogas production is obtained under optimum conditions, namely an enzyme concentration of 4.5-7%, a C/N ratio of 32-45, and a TS concentration that does not reach optimum

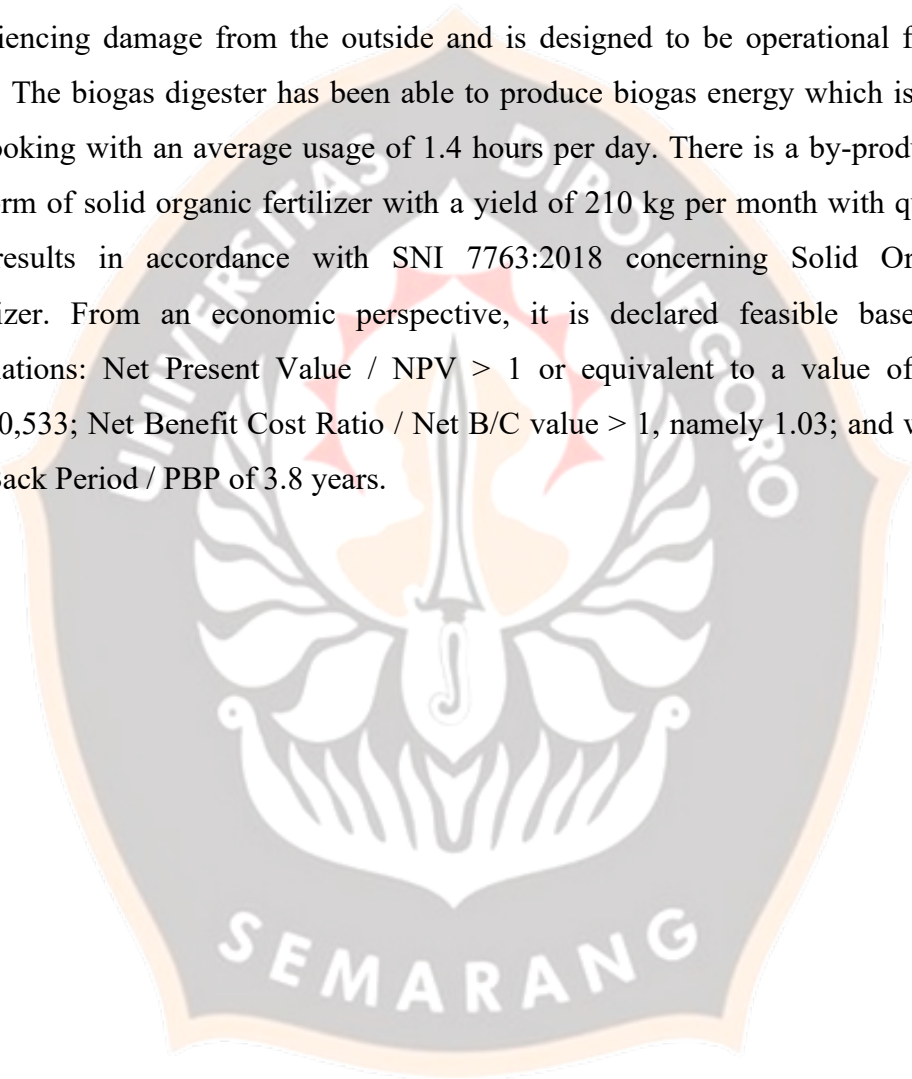
conditions. If we look at the results of biogas production, the best TS concentration in SS-AD conditions is 27.5%. Furthermore, the run that is closest to optimum conditions is run 9, namely with 6% enzyme, C/N ratio 35, and TS 27.5%.

In a study related to biogas production rates, a study was carried out to determine the optimum kinetic constant value of biogas production from rice husks. Optimum biogas production was obtained in run 9 with an enzyme composition of 6%, C/N ratio of 35, and TS of 27.5%. Next, modeling was carried out using a non-linear regression method following the Gompertz equation on research data and the length of time for observing the data. Based on the modeling that has been carried out, it is found that the maximum biogas production constant value (A) is 63.9347 ml.g⁻¹TS; biogas production rate (U) of 0.9796 ml.g⁻¹TS.day; and the first day of biogas formation (λ) is day 8.29. Maximum biogas production in run 9 was 63.9347 ml.g⁻¹TS and was achieved on day 160. However, on the 98th day, daily biogas production was no longer significant, namely only 0.28 ml.g⁻¹TS per day and continued to decline until the 160th day. From these data it can be concluded that on day 102 biogas production basically stopped.

The design of a biogas digester from rice husks was developed using a concrete base material with a fixed dome digester model, namely a dome-shaped biogas digester and the placement is below the ground surface. The design of this fixed dome digester model makes it possible to avoid physical damage and save more space because the digester is in the ground. The basic material chosen is concrete with the assumption of a vacuum so that anaerobic bacteria can live and the organic material processing process in the digester runs optimally. The results of biogas production are distributed to residents' homes using a 50-meter-long polyvinyl chloride pipe connected to a two-burner gas stove. This distribution section is also equipped with a gas pressure gauge in kilopascals (kPa) for monitoring biogas availability. The detailed volume size of the biogas digester is 5.87 m³ so that at SS-AD conditions of 27.5% the initial raw material for rice husks is required as much as 1.43 m³ and liquids in the form of water and rumen liquid each as much as 2.22 m³. The daily feed for this biogas digester is in the

form of rice husks and water with volumes of 15.55 L and 48.2 L respectively, so the total daily feed is 63.75 L. Based on data on the volume of the biogas digester and daily feed, the residence time is 92 days.

The results of the feasibility evaluation in terms of technology, the fixed dome digester model located at ground level avoids the possibility of the building experiencing damage from the outside and is designed to be operational for 25 years. The biogas digester has been able to produce biogas energy which is used for cooking with an average usage of 1.4 hours per day. There is a by-product in the form of solid organic fertilizer with a yield of 210 kg per month with quality test results in accordance with SNI 7763:2018 concerning Solid Organic Fertilizer. From an economic perspective, it is declared feasible based on calculations: Net Present Value / NPV > 1 or equivalent to a value of IDR 24,810,533; Net Benefit Cost Ratio / Net B/C value > 1, namely 1.03; and with a Pay Back Period / PBP of 3.8 years.



SEKOLAH PASCASARJANA