



DISERTASI

**INTEGRASI PRODUKSI BERSIH DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH
INDUSTRI KECIL TAHU MENJADI BIOGAS SEBAGAI
ENERGI TERBARUKAN DENGAN MENGGUNAKAN
*ANAEROBIC SEQUENCING BATCH REACTOR (AnSBR)***

**SUPARNI SETYOWATI RAHAYU
NIM 30000213510004**

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

2017

LEMBAR PERSETUJUAN

**INTEGRASI PRODUKSI BERSIH DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH
INDUSTRI KECIL TAHU MENJADI BIOGAS SEBAGAI
ENERGI TERBARUKAN DENGAN MENGGUNAKAN
*ANAEROBIC SEQUENCING BATCH REACTOR (AnSBR)***

SUPARNI SETYOWATI RAHAYU

NIM 30000213510004

Telah diuji dan dinyatakan lulus pada Tanggal 6 Maret 2017
Oleh Tim Penguji Program Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Telah disetujui oleh

Promotor :

Ko Promotor :

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si

Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro
Dekan

Program Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana
Universitas Diponegoro
Ketua

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA
NIP. 196112281986031004

Dr. Hartuti Purnaweni, MPA
NIP. 19611202 198803 2 002

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**INTEGRASI PRODUKSI BERSIH DAN PENGOLAHAN AIR LIMBAH
INDUSTRI KECIL TAHU MENJADI BIOGAS SEBAGAI
ENERGI TERBARUKAN DENGAN MENGGUNAKAN
ANAEROBIC SEQUENCING BATCH REACTOR (AnSBR)**

**SUPARNI SETYOWATI RAHAYU
NIM 30000213510004**

Telah diuji dan dinyatakan lulus pada Tanggal 6 Maret 2017
Oleh Tim Penguji Program Doktor Ilmu Lingkungan
Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro

Tim Penguji

- | | |
|--|---------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA
(Ketua/Promotor/Penguji) | 1. |
| 2. Prof. Dr. Ir. Budiyo. M.Si
(Ko Promotor/Penguji) | 2. |
| 3. Dr. Hartuti Purnaweni, MPA
(Sekretaris/Penguji) | 3. |
| 4. Dr. Ir. Sudarsono, MT
(Penguji Eksternal) | 4. |
| 5. Dr. H. Totok Prasetyo, B.Eng., M.T
(Penguji Eksternal) | 5. |
| 6. Dr. Ir. Hermawan, DEA
(Penguji). | 6. |
| 7. Dr. Henna Rya Sunoko, Apt., MES
(Penguji) | 7. |

PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa disertasi dengan judul “Integrasi Produksi Bersih dan Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Tahu Menjadi Biogas Sebagai Energi Terbarukan Dengan Menggunakan *Anaerobic Sequencing Batch Reactor* (AnSBR)” merupakan hasil karya sendiri, yang disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan disertasi yang saya kutip dari hasil karya orang lain, telah ditulis sumbernya secara jelas dengan norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah yang ada.

Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian disertasi ini bukan hasil karya saya sendiri atau plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Semarang, Maret 2017

Yang membuat Pernyataan,

Suparni Setyowati Rahayu

BIODATA PENULIS

Dra. Suparni Setyowati Rahayu, M.Si



Penulis dilahirkan pada tanggal 06 Oktober 1955 di Semarang, Jawa Tengah. Anak ke-3 dari 6 bersaudara (Dr. Murwatiningsih, MM, Dra. Murni, Heru Irianto Alm., Basuki Setiyo Budi, ST.MT, Ir. Djoko Setiyadi) dari Ibu Sukemi Alm. dan Bapak Amat Kadir Alm. Penulis bersuamikan Drs. Masluri, MM, dengan anak Airinda Masayu Adiastrika, SS, SGz, menantu Maulana Yusuf, ST serta cucu Kasyava Multazam Sungkar dan Janna El Ajeela Sungkar. Pendidikan yang pernah ditempuh penulis yaitu Sekolah Dasar tamat 1967 di kota Semarang, Sekolah Menengah Pertama tamat tahun 1970 di kota Semarang dan Sekolah Menengah Atas tamat tahun 1973 di SMA III-IV di kota Semarang Jawa Tengah. Kemudian melanjutkan pendidikan strata satu (S1) di Fakultas Keguruan Teknik Jurusan Teknik Kimia di Institut Keguruan Ilmu Pendidikan lulus tahun 1981. Tahun 2001 mengikuti pendidikan strata dua (S2) program studi Ilmu Lingkungan di Universitas Diponegoro lulus tahun 2003 dan tahun 2013 melanjutkan pendidikan Program Doktor Ilmu Lingkungan di Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro.

Penulis saat ini bekerja sebagai staf pengajar di Politeknik Negeri Semarang dengan pangkat/jabatan terakhir Pembina Utama Muda IVc/Lektor Kepala. Organisasi yang diikuti oleh penulis adalah International Women Sustainable Development Goals (IW_SDGs), Forum Layanan Iptek Bagi Masyarakat Indonesia (FI) dan Himpunan Kimia Indonesia (HKI).

Karya Ilmiah yang dihasilkan penulis selama menempuh kuliah di Program Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro sebagai berikut :

1. *Anaerobic Sequencing Batch Reactor Wastewater Treatment of tofu home industry to be renewable energy.* <http://www.polibatam.ac.id /the-1st->

international-conference-on-engineering-technology-and-applied-business-icetab-2014

2. *Development of water processing technology of tahu industrial waste, International Jurnal of Applied Environmental Sciences ISSN 0973-6077 Volume 11, Number 1, January-June 2016 pp 165-172.*
<http://www.ripublication.com> Published online 24 January 2016.
3. *Anaerobic sequenching batch reactor in pilot scale for treatment of tofu industry wastewater. Published online Desember 2015, AIP Conference Proceiding Volume 1, Issue 1 1699, 060026 (2016).*
<http://dx.doi.org/10.1063/1.4938380>.
4. Water and energy efficiency in tofu small industry based on cleaner production. <http://econference.undip.ac.id/index.php/iccppe/2016/index>.
5. *Effect of temperature, sludge, total suspended solid (TSS) on biogas production in tofu wastewater treatment using AnSBR reactor.*
<http://econference.undip.ac.id/index.php/iccppe/2016/index>.
6. *The application of the cleaner production for imporving efficiency and preventing pollution of tofu small industry.*
<http://qir.eng.ui.ac.id/paper-submission>.
7. *The potentialof renewable energy from wastewater treatment of tofu small industry with anaerobic sequenching batch reactor (AnSBR): Songkla natarin Journal of Science and Technology : under review.*
8. Pengelolaan lingkungan industri kecil tahu dengan menerapkan produksi bersih dalam upaya efisiensi air dan energi.
<http://ojs/unmas.ac.id/index.php/pros/article/view/401>

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih dan Penyayang atas limpahan Rahmat dan Karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan disertasi yang berjudul “Integrasi Produksi Bersih dan Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Tahu Menjadi Biogas Sebagai Energi Terbarukan Dengan Menggunakan *Anaerobic Sequencing Batch Reactor* (AnSBR)”.

Pada kesempatan ini saya sampaikan terima kasih yang tulus dan setinggi-tingginya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA, selaku promotor yang setulus hati dan sabar mencurahkan pemikiran dan perhatian, memberi petunjuk dan mengarahkan agar fokus dan konsisten dalam penulisan, serta memacu penulis untuk segera menyelesaikan disertasi dan publikasi artikel ilmiah.
2. Prof. Dr. Ir. Budiyo, M.Si, selaku Ko-Promotor yang setulus hati dan sabar memberikan masukan terhadap konsistensi penulisan, dorongan, bimbingan, arahan dan memberikan literatur terkait untuk penyelesaian disertasi dan publikasi artikel ilmiah.
3. Dr. Hartuti Purnaweni, MPA selaku Ketua Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan sekaligus sebagai penguji yang memberikan dorongan, semangat, bimbingan, dan arahan untuk penyelesaian disertasi.
4. Dr. Henna Rya Sunoko, Apt, MES selaku sebagai penguji yang memberikan dorongan, semangat, bimbingan, dan arahan sejak awal penulis sebagai mahasiswi Doktor Ilmu Lingkungan serta petunjuk untuk mengikuti berbagai seminar agar disertasi dapat segera diselesaikan.
5. Dr. Ir. Hermawan, DEA, atas kesediaannya sebagai penguji yang telah memberikan kritik, saran dan masukan untuk perbaikan disertasi.
6. Dr. Totok Prasetyo, B.Eng, MT, atas kesediaannya sebagai penguji yang telah memberikan kritik, saran dan masukan untuk perbaikan disertasi.

7. Dr. Ir. Sudarsono, MT, atas kesediaannya sebagai penguji eksternal yang telah memberikan kritik, saran dan masukan untuk perbaikan disertasi.
8. Direktur Politeknik Negeri Semarang, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk melanjutkan pendidikan doktor.
9. Orang tua saya Ibunda Sukemi Alm. dan Ayahanda Amat Kadir Alm. atas doa dan suport demi keberhasilan saya.
10. Suami Drs. Masluri, MM, Ananda Airinda Masayu Adiaastika, SS, SGz, Menantu Maulana Yusuf, ST serta cucu-cucuku tercinta Kasyava Multazam Sungkar dan Janna El Ajeela Sungkar dan keluarga besar atas doa dan support demi keberhasilan pendidikan saya.
11. Keluarga Besar Paguyuban Pengrajin Tahu Berkah Lestari Dukuh Pesalakan Desa Adiwerna Kecamatan Adiwerna Kabupaten Tegal yang telah memberikan ijin dan kesempatan kepada saya untuk melakukan penelitian.
12. Seluruh staf pengajar Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Sekolah Pascasarjana yang telah memberi bekal ilmu dan wawasan selama menuntut ilmu. Terima kasih saya ucapkan pula kepada staf administrasi yang telah memberikan bantuan demi kelancaran studi.
13. Teman-teman Program Doktor Ilmu Lingkungan serta semua pihak yang telah membantu selama penelitian dan penyusunan disertasi.
14. Panitia ujian disertasi Sekolah Pascasarjana Universitas Diponegoro yang telah memfasilitasi pelaksanaan ujian disertasi penulis.

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih jauh dari sempurna. Kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Semoga disertasi ini bermanfaat bagi yang memerlukannya.

Semarang, 6 Maret 2017

Suparni Setyowati Rahayu

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan Keaslian Disertasi	iii
Biodata Penulis	iv
Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel	x
Daftar Gambar	xii
Daftar Lampiran	xiii
Glosary.....	xiv
Daftar Singkatan	xvi
Abstrak.....	xvii
Abstract	xviii
Ringkasan	xix
Summary	xxiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Perumusan Masalah.....	26
C. Orisinalitas dan Noveltis Penelitian.....	27
D. Tujuan Penelitian	30
1. Tujuan Umum	30
2. Tujuan Khusus	30
E. Manfaat Penelitian	31
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	33
A. Strategi Pengelolaan Lingkungan Industri Kecil Tahu dengan Produksi Bersih	33

B. Sumber dan Karakteristik Air Limbah Industri Kecil Tahu....	37
C. Produksi Biogas sebagai Energi Terbarukan	41
D. Produksi Biogas sebagai Energi Terbarukan dari Air Limbah Tahu dengan Kinerja Reaktor AnSBR	57
E. Potensi Keberlanjutan Ditinjau dari Aspek Sosial, Ekonomi dan Lingkungan.....	79
BAB III. KERANGKATEORI, KERANGKA KONSEP DAN HIPOTESIS .	85
A. Kerangka Teori	85
B. Kerangka Konsep	95
C. Hipotesis Penelitian.....	99
1. Hipotesis Mayor	99
2. Hipotesis Minor	99
BAB IV. METODE PENELITIAN	101
A. Jenis / Tipe Penelitian	101
B. Tahap Analisis Data	136
BAB V. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	139
A. Gambaran Umum Wilayah Studi Penelitian	139
B. Penerapan produksi bersih pada kawasan industri kecil tahu untuk melakukan strategi pengelolaan lingkungan	143
C. Karakteristik dan Potensi Air Limbah Industri Kecil Tahu untuk Produksi Biogas sebagai Energi Terbarukan	154
D. Analisa Berbagai Variabel Proses Terhadap Produksi Biogas sebagai Energi Terbarukan.....	158
E. Analisis Hubungan antara Produktivitas Biogas sebagai Energi Terbarukan dengan Kinerja Pengolahan Air Limbah Menggunakan Reaktor AnSBR	179

F. Hubungan Antara Produktivitas Biogas Sebagai Energi Terbarukan dengan Kinerja Pengolahan Air Limbah Industri Kecil Tahu dengan Reaktor AnSBR	190
G. Potensi Keberlanjutan dari Segi Ekonomi, Sosial dan Lingkungan	197
 BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	 213
A. Kesimpulan.....	213
B. Saran	213
DAFTAR PUSTAKA	217
LAMPIRAN.....	227

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Hasil Penelitian Terdahulu tentang Produksi Biogas Menjadi Energi Terbarukan.....	27
Tabel 2. Karakteristik Air limbah yang Dihasilkan Industri Kecil Tahu Per 150 kg	39
Tabel 3. Rancangan Percobaan Pengaruh Konsentrasi Lumpur Selokan terhadap Produksi Biogas.....	117
Tabel 4. Persentase Volume dan Waktu Siklus untuk AnSBR	122
Tabel 5. Peran Serta Industri Kecil Dalam Kegiatan	151
Tabel 6. Target Luaran Implementasi	153
Tabel 7. Perbandingan Hasil Penelitian Dengan Penelitian Terdahulu tentang Karakteristik Air limbah Tahu.....	155
Tabel 8. Karakteristik Air limbah Industri Kecil Tahu Di Adiwerna Kabupaten Tegal	157
Tabel 9. Variasi perbandingan antara air limbah dengan lumpur selokan sebagai inokulum dalam penelitian tahap I.....	159
Tabel 10. Konsentrasi COD dan pH Variasi Perbandingan 1	161
Tabel 11. Konsentrasi COD dan pH Variasi Perbandingan 2.....	164
Tabel 12. Konsentrasi COD dan pH Variasi Perbandingan 3	167
Tabel 13. Konsentrasi COD dan pH Variasi Perbandingan 4.....	169
Tabel 14. Konsentrasi COD dan pH Variasi Perbandingan 5.....	172
Tabel 15. Konsentrasi nilai COD pada Tiap Variasi.....	174
Tabel 16. Data Running dengan Reaktor AnSBR Air limbah Tahu Di Industri Kecil Tahu Klaster Tahu Adiwerna Kabupaten Tegal.....	181
Tabel 17. Data Running Pengukuran COD dan Produksi Biogas.....	182
Tabel 18. Data Running Pengukuran TSS Produksi Biogas.....	186
Tabel 19. Karakteristik air limbah industri tahu sebelum dan sesudah proses Degestasi	189

Tabel 29. Pengaruh HRT terhadap Produktivitas Biogas sebagai Energi Terbarukan	194
Tabel 30. Pengaruh HRT terhadap Kandungan Biogas	196
Tabel 31. Periode Pengembalian Modal Pembuatan AnSBR	198
Tabel 32. Perbandingan kebutuhan Air, Energi, dan sebelum dan sesudah ... Perancangan Produksi Bersih.....	204

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Limbah Industri Tahu Sebelum Dilakukan Penelitian	43
Gambar 2.	Kerangka Teori.....	94
Gambar 3.	Kerangka Konsep	98
Gambar 4.	Peta Administrasi Desa Pesalakan, Adiwerna Tegal.....	116
Gambar 5.	Skema Rangkaian AnSBR	123
Gambar 6.	Peta Wilayah Kabupaten Tegal	139
Gambar 7	Peta Pengrajin Tahu Desa Adiwerna	142
Gambar 8.	Skema rangkaian alat biodigester skala laboratorium	143
Gambar 9.	PB Terintegrasi dengan PAL	151
Gambar 10.	Nilai COD Variasi Perbandingan 1	162
Gambar 11.	Nilai COD variasi perbandingan 2	164
Gambar 12.	Nilai COD variasi perbandingan 3	167
Gambar 13.	Nilai COD variasi perbandingan 4	170
Gambar 14.	Nilai COD variasi perbandingan 5	172
Gambar 15.	Neraca <i>input output</i> air limbah industri kecil tahu menjadi gas metane sebagai biogas	175
Gambar 16.	Grafik hubungan HRT dengan COD dari berbagai variasi	182
Gambar 17.	Grafik kecenderungan penurunan konsentraai COD dan produksi biogas selama running	186
Gambar 18.	Grafik kecenderungan penurunan konsentrasi TSS dan konsentrasi COD selama running	190
Gambar 19.	Pengaruh HRT terhadap Produksi Biogas	194

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa statistik data penelitian	194
Lampiran 2. Cara Kerja Alat dan Proses Pengukuran.....	202
Lampiran 3. Diagram Alir Proses Pembuatan Tahu	211
Lampiran 4. Perhitungan Neraca Bahan pada masing-masing Proses Produksi.....	213
Lampiran 5. Perhitungan Neraca Bahan Proses 1 (Perendaman)	214
Lampiran 6. Diagram Alir Proses Produksi Tahu setelah Perhitungan Neraca Bahan	227
Lampiran 7. Neraca Bahan Berdasarkan Komponen.....	229

GLOSSARY

Acetogenesis	: Proses pembentukan asetat oleh bakteri pembentuk asetat (Gerardi, 2003)
Anaerobik	: Kondisi lingkungan- tanpa adanya molekul oksigen (Gerardi, 2003)
Biomassa	: Kuantitas seluruh mikroorganisme yang ada pada proses pengolahan (Gerardi, 2003)
BOD ₅	: <i>Biological Oxygen Demand</i> / banyaknya oksigen yang dibutuhkan mikroorganisme pada waktu melakukan dekomposisi bahan organik dalam perairan, satuan mg/L (Metcalf dan Eddy, 1991)
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i> jumlah kebutuhan oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik dalam perairan, satuan mg/L (Metcalf dan Eddy, 1991)
Hidrolisis	: Proses biokimia pada dekomposisi yang melibatkan senyawa kimia dengan tambahan air (Gerardi, 2003)
HRT	: <i>Hydraulic Retention Time</i> ; waktu ketika air limbah berada didalam digester anaerobic/ Reaktor satuannya waktu. (Lettinga, 2002) dan (Azimi Zamanzadeh, 2004)
HLR	: <i>Hydraulic Loading Retention</i>
Air limbah tahu	: Air limbah yang berasal dari kegiatan proses pembuatan tahu (Wendland, 2008)
Methanogenesis	: Proses pembentukan metan oleh bakteri metanogen (Gerardi, 2003)
Substrat	: Senyawa yang digunakan oleh bakteri untuk memperoleh senyawa karbon dan energy (Gerardi, 2003)
Q (debit)	: Debit air limbah, satuan m ³ /jam, (Lettinga,2002) dan (Azimi Zamanzadeh, 2004)

- V (Volume) : Volume reaktor, satuan m^3 , (Lettinga,2002) dan (Azimi Zamanzadeh, 2004)
- A (luas) : Luas permukaan reaktor, satuan m^2 , (Lettinga,2002) dan (Azimi Zamanzadeh, 2004)
- AnSBR : *Anaerobic Sequencing Batch Reactor*

DAFTAR SINGKATAN

BOD	: <i>Biological Oxygen Demand</i>
COD	: <i>Chemical Oxygen Demand</i>
HRT	: <i>Hydraulic Retention Time</i>
HLR	: <i>Hydraulic Loading Retention</i>
AnSBR	: <i>Anaerobic Sequencing Batch Reactor</i>
UASB	: <i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
OLR	: <i>Organic Loading Rate</i>
V	: <i>Volume</i>
V up	: <i>Velocity up low</i>
A	: <i>Area</i>
DO	: <i>Dissolved Oxygen</i>
TSS	: <i>Total Suspended Solid</i>

ABSTRAK

Energi merupakan salah satu faktor yang sangat penting bagi terwujudnya kesejahteraan manusia secara global. Oleh sebab itu pengembangan teknologi produksi biogas menjadi energi terbarukan dari limbah tahu dalam upaya diversifikasi energi merupakan upaya yang perlu dikembangkan. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk mengembangkan sistem baru untuk produksi energi terbarukan dari pengolahan limbah cair tahu dengan reaktor AnSBR dengan memanfaatkan lumpur selokan sebagai inokulum. Penelitian dilakukan dalam 3 (tiga) tahap penelitian. Penelitian tahap 1 studi mengenai potensi dan karakteristik limbah cair tahu untuk produksibiogas sebagai energi terbarukan. Penelitian Tahap 2 yang merupakan penelitian eksperimental untuk mempelajari berbagai pengaruh faktor konsentrasi lumpur selokan, TSS (*Total Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxigen Demand*), HRT (*Hidrolyc Retention Time*) terhadap produksi biogas sebagai energi terbarukan. Penelitian dilakukan dalam sistem *batch* dengan menggunakan reaktor, AnSBR berisi inokulum lumpur selokan dengan perbandingan air limbah banding lumpur selokan 5:1. Tahapan pengoperasian AnSBR adalah Pengisian (*Fill*), Reaksi (*React*), Pengendapan (*Settle*), Pengurasan (*Decant/Draw*) dan Stabilisasi (*Idle*)dibandingkan dengan sistem konvensional yang menggunakan filter botol plastik yougurt dan anyaman bambu sebagai media pertumbuhan mikroba dan dilanjutkan uji eksperimental jangka panjang. Penelitian Tahap 3 merupakan tahap evaluasi tekno-ekonomi untuk efisiensi air dan energi dalam strategi pengelolaan lingkungan dengan penerapan produksi bersih pada industri tahu.Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah cair tahu sangat potensial diolah secaraanaerobik untuk produksi biogas yang merupakan energi terbarukan. Lumpur selokan, TSS (*Total Suspended Solid*), COD (*Chemical Oxigen Demand*), HRT (*Hidrolyc Retention Time*) dan temperatur berpengaruh secara signifikan terhadap produksi biogas sebagai energi terbarukan. Produksi biogas menggunakan reaktor AnSBR dengan lumpur selokan sebagai inokulum 2,14 kali lebih besar dibandingkan dengan sistem konvensional. Sistem AnSBR menampilkan pH stabil 7yang merupakan pH optimum untuk produksi biogas sebagai energi terbarukan. Kondisi optimum untuk produksi biogas, dengan HRT 16 hari, efisiensi penurunan TSS 76,87%, efisiensi penurunan COD 87,51 % dan konsentrasi lumpur selokan 20 %, Efisiensi penggunaan air dalam penerapan produksi bersih mencapai 18.5 % - 35,41%, efisiensi energi 84,5 % - 100 %, keuntungan ekonomi rata-rata mencapai Rp19,864,584.00 untuk setiap industri kecil tahu. Unit produksi biogas sebagai energi terbarukan dengan sistem AnSBR layak didirikan baik ditinjau dari segi teknis maupun ekonomi.

Kata kunci : *lumpur selokan, sistem AnSBR, biogas, energi terbarukanlimbah cair industri tahu.,*

ABSTRACT

This study had a fundamental objective of developing a new system for producing renewable energy derived from tofu wastewater treatment using AnSBR reactor and sludge as inoculum. The study performed three research stages. The initial stage (Stage 1) consisted of a study of potential and characteristic of tofu wastewater for biogas production as renewable energy. The experimental stage (Stage 2) consisted of an examination of effects of sludge, Total Suspended Solid, Chemical Oxygen Demand, Hydraulic Retention Time and temperature on biogas production as renewable energy. The experimental was performed in either batch or continued systems compared to conventional system and long-term experimental test. The techno-economic stage (Stage 3) was done for finding out water and energy efficiency in the application of cleaner production in the tofu industry. Results of the study revealed that tofu wastewater had a promising potential to be processed anaerobically for the biogas production as the renewable energy. The sludge, TSS, COD, HRT, and temperature had significant effects on the biogas production as the renewable energy. The biogas production using AnSBR with sludge as inoculum resulted in output of 2.14 times bigger than that of using conventional reactor without sludge as the inoculum. The AnSBR system proved a stable pH 7 as the optimum rate of the biogas production as renewable energy. The optimum condition for producing biogas was obtained at the temperature of 30 °C, 16-day HRT, TSS decrease efficiency of 76.87%, COD decrease efficiency of 87.51%, and sludge concentration of 20%. The efficiency of the water use in cleaner production application resulted ranged from 18.5% to 35.41%, energy efficiency 84.5%-100%, average economic benefit Rp19,864,584.00 for each tofu industry. The biogas production as the renewable energy using AnSBR is reliable to be developed from technical and economic aspects point of view.

Keywords: *biogas with AnSBR system, renewable energy, sludge, tofu industrial wastewater.*

RINGKASAN

Salah satu faktor produksi yang saat ini penting dalam menumbuhkan tingkat produktifitas adalah energi. Besarnya ketergantungan energi Indonesia terhadap minyak bumi dan rendahnya pemanfaatan energi terbarukan bila dibandingkan dengan potensi yang dimiliki masih menjadi tantangan tersendiri di sektor energi. Energi merupakan salah satu faktor yang sangat penting bagi terwujudnya kesejahteraan manusia secara global. Dalam rangka mengantisipasi semakin memburuknya permasalahan energi di Indonesia, Pemerintah telah membuat kebijakan energi nasional berdasarkan Undang-Undang no. 30 tahun 2007 yang berprinsip pada diversifikasi energi. Diversifikasi energi adalah pemanfaatan energi terbarukan seperti biogas yang dapat diproduksi dari limbah cair tahu. Secara spesifik, kegiatan di industri kecil tahu memiliki beberapapermasalahanyaitu (1). tingginya kebutuhan energi untuk memproduksi tahu; dan (2). pembuangan limbah cair dalam jumlah besar. Oleh karena itu, pengembangan teknologi produksi biogas menjadi energi terbarukan dari limbah cair tahu dalam upaya diversifikasi energi merupakan upaya bijak yang perlu dikembangkan.

Secara umum, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem baru untuk produksi biogas sebagai energi terbarukan dengan menggunakan reaktor AnSBR. Secara spesifik, tujuan penelitian ini adalah: (1). Mengkaji karakteristik dan potensi limbah cair tahu untuk produksi energi terbarukan (2). Mempelajari pengaruh berbagai variable proses terhadap produksi energi terbarukan. (3).

Mempelajari kondisi optimum produksi energi terbarukan.(4) Menguji stabilitas proses hubungan antara produktivitas energi terbarukan biogas dengan kinerja pengolahan limbah cair dengan reaktor AnSBR ditinjau dari segi teknoekonomi. (5) Melakukan strategi pengelolaan lingkungan di kawasan industri kecil tahu.

Tipe penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif dengan desain penelitian berupa penelitian eksperimentasi yang dilakukan dalam skala laboratorium untuk sistem pengolahan yang dioperasikan untuk mendapatkan kinerja sistem pengolahan AnSBR. Untuk mencapai tujuan penelitian yang telah ditetapkan, studi eksperimental dan observasional dibagi dalam 3 tahapan adalah :

Penelitian tahap 1 Penelitian mengkaji penerapan produksi bersih pada kawasan industri kecil tahu untuk melakukan strategi pengelolaan lingkungan.

Penelitian Tahap 2 Penelitian mengkaji karakteristik dan potensi air limbah industri kecil tahu untuk produksi biogas sebagai energi terbarukan. Data teknis yang diperoleh dalam penelitian tahap sebelumnya digunakan untuk perancangan unit AnSBR pada industri kecil tahu. Aspek ekonomi meliputi biaya investasi, biaya operasi dan *break even point* (BEP). Pada penelitian tahap 2 ini juga diterapkan strategi pengelolaan limbah industri kecil tahu yang bersifat preventif dan terpadu, diterapkan secara terus menerus untuk mengurangi resiko terhadap manusia dan lingkungan.

Sistem produksi yang telah dirancang selanjutnya dianalisis kelayakan tekno-ekonominya. Aspek teknis meliputi diagram alir (*flowsheet*) tahapan proses, neraca massa dan energi serta air. Aspek ekonomi meliputi biaya investasi , biaya operasi, *return of investment*, *internal rate of return*, dan *break eventpoint*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah cair tahu sangat cocok diolah secara anaerobik dalam AnSBR untuk menghasilkan biogas sebagai energi terbarukan. Digesti anaerobik limbah cair tahu secara ideal akan menghasilkan biogas total 11.225 ml per gram limbah cair tahu.

Lumpur selokan yang diinokulasikan ke dalam AnSBR secara signifikan meningkatkan produksi biogas kumulatif dan laju produksi biogas. Produksi biogas sistem AnSBR 2,14 kali lebih besar dibandingkan dengan sistem konvensional. Sistem AnSBR memiliki pH stabil 7, yang merupakan pH optimum untuk produksi biogas sebagai energi terbarukan. Temperatur, TSS, COD dan lumpur selokan secara signifikan mempengaruhi produksi biogas sebagai energi terbarukan dengan hubungan ber sifat linear maupun kuadratik. Produksi biogas maksimum diperoleh pada kondisi optimum yaitu temperatur 30°C, konsentrasi penyisihan TSS 76,87, konsentrasi penyisihan COD 87,51%, dan konsentrasi lumpur selokan 20%.

Bakteri methanogenic dalam bioreactor AnSBR hingga hari ke-16 masih menunjukkan kinerja yang cukup baik. Hal ini diperlihatkan oleh laju penurunan COD pada HRT 16 hari mencapai 87,51%. Dengan laju penurunan sebesar 87,51% dan konsentrasi COD pada HRT 16 hari maka konsentrasi COD pada HRT 16 hari berada pada nilai 600,23 mg/L. Efisiensi penurunan COD pada HRT 16 hari mencapai 87,51%. Produksi biogas pada HRT 16 hari adalah 1.440 mL, sedangkan biogas kumulatif hingga HRT 16 hari mencapai 11.225 mL.

Konsentrasi COD hingga hari ke-24 ternyata masih jauh di atas baku mutu yang dipersyaratkan Perda Jateng No. 5 tahun 2012 yaitu 275 mg/L. Tetapi

effluent limbah cair mengalami perbaikan kualitas dilihat dan berkurangnya konsentrasi COD. Tingginya konsentrasi COD hasil pengolahan dalam tiap HRT memberi catatan bahwa pengolahan anaerob yang ditawarkan ini harus diikuti oleh pengolahan lanjutan untuk mengolah COD keluaran proses anaerob yang belum memenuhi baku mutu.

Konsentrasi TSS yang terakur dalam HRT 16 hari sebesar 330 mg/L masih berada di atas baku mutu Perda Jateng No. 5 tahun 2012 yang mensyaratkan 100 mg/L.

Selama masa Running, dilakukan pemeriksaan karakteristik biogas yang dihasilkan hingga hari ke-16 yang meliputi kandungan CH₄, CO₂ dan nilai kalor biogas yang dihasilkan. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan, kandungan CH₄ dalam biogas mencapai 78.26 % dan kandungan CO₂ mencapai 20,16 %.

Nilai kalor biogas hasil pemeriksaan 4246,55 kal/gr. Nilai kalor biogas sangat tergantung pada kandungan asam methane dan CO₂ dalam biogas. Jika kandungan gas methane tinggi maka nilai kalor biogas juga tinggi.

Efisiensi penggunaan air dalam penerapan produksi bersih mencapai 18.5 % - 35,41%, efisiensi energi 84,5 % - 100 %, keuntungan ekonomi rata-rata mencapai Rp19,864,584.00 untuk setiap industri kecil tahu. Unit produksi biogas sebagai energi terbarukan dengan sistem AnSBR layak didirikan baik ditinjau dari segi teknis maupun ekonomi, sosial dan lingkungan karena menguntungkan bagi industri kecil tahu.

SUMMARY

One of important factors for current production in enhancing higher production rate is energy. The energy dependency on fossil fuels and poor use of renewable energy has not been comparable to the potentials, therefore mounting serious challenges for the energy sector. Energy is a very important factor toward human welfare worldwide. In order to anticipate the declining energy resource in Indonesia, the government has issued policy on national energy with the principle Regulation number 30, 2007 of energy diversification. Energy diversification is the use of renewable energy, among others the biogas, that can be produced from tofu wastewater. Specifically, the tofu small industrial activities face serious problems, such as (1) the need for energy for producing tofu and (2) large-scale wastewater disposal. Therefore, the development of biogas production technology as the renewable energy from the tofu wastewater in the energy diversification is a good practice necessary to develop.

In general, this study had a fundamental objective of developing a new system for producing renewable energy derived from tofu wastewater treatment using AnSBR reactor and sludge as inoculum. In specific, the study aimed to (1) assess the tofu wastewater characteristic and potential for renewable energy, (2) study the effect of some variables in the process on renewable energy production, (3) study the optimum condition for renewable energy production, (4) examine the stability of the correlation process between the biogas renewable productivity and the performance of the AnSBR-based wastewater treatment from economic aspect, and (5) perform a strategy of environmental management in tofu small industrial sites.

This study applied a quantitative methodology with an experimental design at laboratory scale. The treatment system operated was to obtain the AnSBR treatment system. Experimental and observational study was divided into three stages: **The initial stage (Stage 2)** consisted of a study of potential and characteristic of tofu wastewater for biogas production as renewable energy. **The experimental stage (Stage 2)** consisted of an examination of effects of sludge, Total Suspended Solid, Chemical Oxygen Demand, Hydraulic Retention Time and temperature on biogas production as renewable energy. The experimental was performed in either batch or continued systems compared to conventional system and long-term experimental test. The techno-economic stage was done for finding out water and energy efficiency in the application of cleaner production in the tofu industry.

The already designed production system was then subject to techno-economic analysis. The technical aspect diagram included flowsheet, mass an energy, and water. The economic aspects consisted of investment cost, operation cost, return of investment, internal rate of return, and break even point.

Results of the study revealed that tofu wastewater was reliable to be treated anaerobically in the AnSBR reactor to produce biogas as renewable energy. The anaerobic digestion of tofu wastewater produced a total biogas of 11,225 ml per gram of tofu wastewater.

Sludge inoculated within the AnSBR significantly increased the biogas cumulative production rate and production. The AnSBR-based biogas was 2.14 times bigger than that of using conventional systems. The AnSBR system resulted in a stable pH 7 as the optimum rate for producing biogas as the renewable energy. The Temperature, TSS, COD, and sludge had significant effects on the

biogas production as the renewable energy in either linear or square correlations. The maximum biogas production at the optimum condition was obtained at the temperature of 30 °C, TSS removal concentration 76.87, COD removal concentration 87.51%, and sludge concentration 20%.

Methanogenic bacteria in the AnSBR bioreactor on Day-16 still proved a good performance. It was evidenced by the declining rate of COD on 16-day HRT of 87.51%. The declining rate of 87.51% and COD concentration on 16-day HRT resulted in 600.23 mg/L. The COD decrease efficiency on 16-day HRT resulted in 87.51%. the biogas production on 16-day HRT was 1,440 mL, whereas the cumulative biogas on 16-day HRT was 11,225 mL.

The TSS concentration measured on 16-day HRT was 330 mg/L and still above the quality threshold according to Local Act 5/2012 of Central Java Province requirement (100 mg/L).

During the running period, the study examined the biogas characteristics on the sixteenth day, which comprised CH₄, CO₂ and heat rate. The CH₄ and CO₂ contents in the biogas were 78.26%, and 20.16%, respectively.

The heat rate of the water use in the cleaner production was 18.5%-35.41%, energy efficiency 84.5%-100%, the average economic benefit Rp19,864,584.00 for each tofu small industry. The biogas production unit as the renewable using AnSBR reactor had fulfilled technical and economic aspects.

