

**PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH MAKANAN DENGAN VARIASI
DAN SUHU SUBSTRAT DALAM BIODIGESTER ANAEROB**

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna memperoleh gelar Sarjana Sains



Oleh:

Siti Nur Chotimah

M0405059

JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI SEBELAS MARET

SURAKARTA

2010

PERSETUJUAN

SKRIPSI

**PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH MAKANAN DENGAN VARIASI
DAN SUHU SUBSTRAT DALAM BIODIGESTER ANAEROB**

Oleh:
Siti Nur Chotimah
NIM. M0405059

Telah disetujui oleh Tim Pembimbing.

Tanda tangan

Pembimbing I Dr. Edwi Mahajoeno, M.Si.
NIP. 19601025 199702 1 001

Pembimbing II Dr. Sunarto, M.S.
NIP. 19540605 199103 1 002

Surakarta,

Mengetahui
Ketua Jurusan Biologi

Dra. Endang Anggarwulan, M. Si.
NIP. 19500320 197803 2 001

**PENGESAHAN
SKRIPSI**

**PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH MAKANAN DENGAN VARIASI
DAN SUHU SUBSTRAT DALAM BIODIGESTER ANAEROB**

Oleh:

Siti Nur Chotimah
NIM. M0405059

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 8 Februari 2010
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Surakarta,

Penguji I

Penguji II

Tjahjadi Purwoko, M.Si.
NIP. 19701130 200003 1 002

Shanti Listyawati, M.Si.
NIP. 19690608 199702 2 001

Penguji III

Penguji IV

Dr. Edwi Mahajoeno, M.Si.
NIP. 19601025 199702 1 001

Dr. Sunarto, M.S.
NIP. 19540605 199103 1 002

Mengesahkan

Dekan FMIPA

Ketua Jurusan Biologi

Prof. Drs. Sutarno, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19600809 198612 1 001

Dra. Endang Anggarwulan, M.Si.
NIP. 19500320 197803 2 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini adalah penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, serta tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari dapat ditemukan adanya unsur penjiplakan maka gelar kesarjanaan yang telah diperoleh dapat ditinjau dan atau dicabut.

Surakarta,

Siti Nur Chotimah
M0405059

PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH MAKANAN DENGAN VARIASI DAN SUHU SUBSTRAT DALAM BIODIGESTER ANAEROB

SITI NUR CHOTIMAH

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sebelas Maret, Surakarta

ABSTRAK

Limbah makanan (limbah cair tahu) semakin meningkat seiring pertambahan kebutuhan tahu sebagai sumber protein nabati masyarakat. Limbah cair tahu dan limbah rumah makan dapat digunakan sebagai substrat organik dalam biodigester anaerob. Biodigester anaerob dengan bantuan mikroba konsorsia berperan dalam pembuatan biogas, yang sering disebut teknologi biogas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui produksi biogas dari variasi substrat limbah makanan dalam biodigester anaerob pada suhu ruang dan suhu termofilik.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor perlakuan yaitu variasi substrat dan suhu lingkungan substrat dengan 3 ulangan. Pembuatan biogas dilakukan selama 6 minggu. Parameter yang diukur yaitu COD, BOD, TS, VS, dan volume biogas.

Berdasarkan penelitian, variasi substrat limbah makanan berpengaruh signifikan pada peningkatan produksi biogas. Perombakan anaerob pada suhu ruang selama 6 minggu dihasilkan biogas tertinggi dari limbah cair tahu 40 % dan limbah rumah makan 40 % yaitu sebesar 21.200 ml. Produksi biogas variasi substrat limbah cair tahu 60 % dan limbah rumah makan 20 % pada suhu termofilik lebih tinggi daripada suhu ruang yaitu sebesar 13.000 ml. Variasi substrat dan suhu substrat menurunkan COD, BOD, TS, sedangkan suhu meningkatkan VS. Perombakan anaerob menurunkan kadar COD 57-68 % , BOD 29-43 % , TS 64-80 % , dan VS 64-79 %.

Kata kunci: limbah makanan, perombakan anaerob, biogas.

PRODUCING OF BIOGAS FROM FOOD WASTE WITH SUBSTRATE TEMPERATURE AND VARIATION IN ANAEROB BIODIGESTER

Siti Nur Chotimah

Departement of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences.
Sebelas Maret University, Surakarta

ABSTRACT

Food waste (liquid waste of tahu) progressively mount along accretion of requirement of tahu as source of society vegetation protein. Liquid waste of tahu and kitchen waste can used as organic substrate in anaerob biodigester. Anaerob biodigester with microbe of consorcia play a part in producing of biogas, is often referred as technology of biogas. The aims of this research was to know producing of biogas from substrate variation of food waste in anaerob biodigester at room and thermophilic temperature.

The research done by randomized complete design with two treatment factor that is variation and temperature substrate by 3 restating. Producing of biogas was done during 6 week. Parameter that measured was COD, BOD, TS, VS, and volume of biogas.

Result to research, substrate variation of food waste substrate give significant increased biogas production. Anaerobic digestion at room temperature on six weeks produced the best biogas from liquid waste of tahu 40 % and kitchen waste 40 % is 21.200 ml. Biogas production of substrate liquid waste of tahu 60 % and kitchen waste 20 % in thermophilic temperature is more than at room temperature, that is 13.000 ml. Substrate variation of food waste decreased COD, BOD, TS, while temperature influence of increased VS. Anaerob digestion decreased of COD 57-68 %, BOD 29-43 %, TS 64-80 %, and VS 64-79 %.

Keyword: food waste, anaerobic digestion, biogas.

MOTTO

Tanpa perjuangan tak mungkin ada kemajuan
(Fredrick Douglas)

Banyak orang yang gagal adalah orang yang tidak menyadari betapa dekatnya mereka dengan kesuksesan saat mereka menyerah
(Thomas Alfa Edison)

Jadikan sabarlah sabar dan sholat sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar
(Al Baqarah: 153)

” Jagalah Allah, niscaya engkau akan senantiasa mendapati-Nya di hadapanmu. Kenalilah Allah di waktu lapang niscaya Dia akan mengenalimu saat kesulitan. Ketahuilah bahwa apa yang luput darimu tidak akan menimpamu, dan apa yang menimpamu tidak akan luput darimu. Ketahuilah bahwa kemenangan itu selalu mengiringi kesabaran, jalan keluar selalu mengiringi cobaan dan kemudahan itu selalu mengiringi kesusahan.”
(H.R. Tarmidzi)

PERSEMBAHAN

*Skripsi ini khusus kupersembahkan kepada:
Bapak dan ibuku tercinta yang selalu memberikan dukungan, do'a, dan kasih sayangnya ...
Kakak-kakakku yang selalu memberikan bimbingan, motivasi dan pengorbanannya...
Seseorang yang selalu memberikan motivasi, semangat, dan cintanya...
Sepupuku yang slalu menemaniku dalam suka maupun duka...
Sahabat-sahabatku, teman-teman Bi05cience...*

Almamaterku



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah robbil alamin, puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul "Pembuatan Biogas Dari Limbah Makanan dengan Variasi dan Suhu Substrat dalam Biodigester Anaerob" dengan baik. Skripsi ini merupakan salah satu syarat yang harus ditempuh oleh mahasiswa untuk memperoleh gelar Sarjana Biologi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Surakarta.

Dalam melakukan penelitian maupun penyusunan Skripsi ini penulis telah mendapatkan bimbingan, bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak baik secara langsung ataupun secara tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan yang baik ini dengan berbesar hati penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada yang terhormat:

Prof. Drs. Sutarno, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah memberikan ijin penelitian untuk keperluan skripsi.

Dra. Endang Anggarwulan, M.Si., selaku ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah memberikan ijin dalam penelitian.

Dr. Edwi Mahajoeno, M.Si., selaku dosen pembimbing I yang berkenan memberi bimbingan dan pengarahan dengan penuh kesabaran selama penelitian sampai selesainya penyusunan skripsi.

Dr. Sunarto, M.S., selaku dosen pembimbing II yang berkenan memberikan bimbingan, pengarahan, dan motivasi dengan penuh kesabaran dalam menyelesaikan penyusunan skripsi ini.

Tjahjadi Purwoko, M.Si., selaku dosen penelaah I yang telah memberikan banyak saran dan masukan pada penulis.

Shanti Listyawati, M.Si., selaku dosen penelaah II yang telah memberikan banyak saran dan masukan pada penulis.

Kepala dan Staff Laboratorium Pusat, Sub Laboratorium Biologi dan Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah mengizinkan dan membantu penulis dalam melaksanakan penelitian.

Kepada bapak ibu dosen beserta staf karyawan Jurusan Biologi yang telah memberikan bantuan dan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi.

Bapak, ibu, dan kakak-kakakku tercinta yang selalu memberikan motivasi dan do'a selama penelitian sampai selesainya penyusunan skripsi.

Teman-teman seperjuangan Bi05cience (Indri, Opi, Tari, Fadilah, Dian Indah, Septina, Titin) yang selalu memberikan dukungan baik dalam suka maupun duka, Tim Biogas, teman-teman Kos Dewi Sumbi dan teman-teman Wisma Anggi yang tidak bisa disebutkan satu persatu terima kasih atas segala bantuan dan dukungannya.

Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, yang tidak mampu penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam skripsi ini banyak kekurangan. Oleh karena itu saran dan kritik yang sifatnya membangun sangat diharapkan dan semoga hasil penelitian ini dapat menambah wawasan dan bermanfaat.

Surakarta, Maret 2010

Penulis

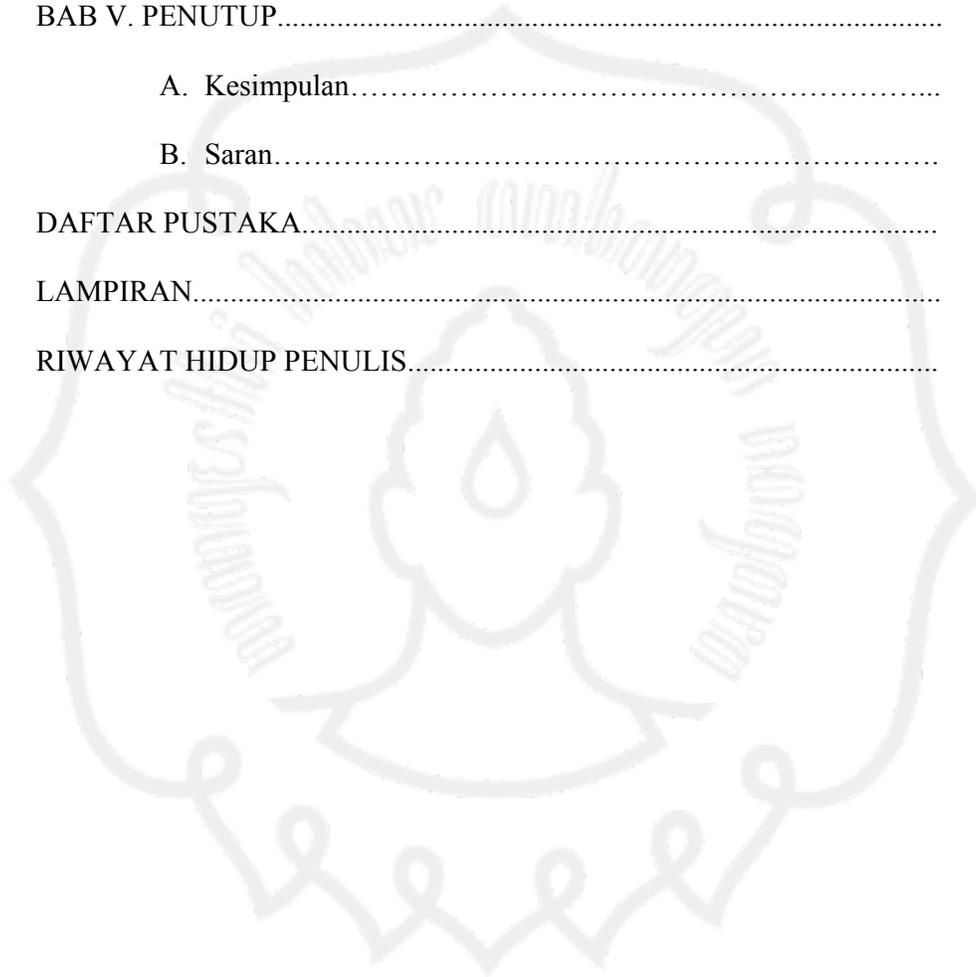


DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Perumusan Masalah	3
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian.....	4
BAB II. LANDASAN TEORI.....	5
A. Tinjauan Pustaka.....	5
1. Limbah Makanan.....	6

1.1. Limbah Cair Industri Tahu.....	6
1.2. Limbah Rumah Makan.....	7
2. Biogas.....	8
2.1. Pengertian Biogas.....	8
2.2. Manfaat Biogas.....	9
2.3. Pembuatan Biogas.....	11
3. Biodigester Anaerob	20
B. Kerangka Pemikiran.....	20
C. Hipotesis.....	23
BAB III. METODE PENELITIAN.....	24
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
B. Alat dan Bahan.....	24
C. Rancangan Penelitian.....	25
D. Cara Kerja.....	26
E. Analisis Data.....	31
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
A. Karakteristik Substrat Limbah Tahu dan Limbah Makanan ...	32
B. Pengaruh Suhu dan Substrat terhadap Produksi Biogas.....	38
1. Pengaruh Suhu dan Substrat terhadap Produksi Biogas pada Suhu Ruang	40
2. Pengaruh Suhu dan Substrat terhadap Produksi Biogas pada suhu termofilik.....	43
C. Efisiensi Perombakan Anaerob Bahan Organik.....	47

1. COD (<i>Chemycal Oxygen Demand</i>).....	47
2. BOD (<i>Biological Oxygen Demand</i>).....	49
3. TS (<i>Total Solids</i>).....	50
4. VS (<i>Volatil Solids</i>).....	51
BAB V. PENUTUP.....	53
A. Kesimpulan.....	53
B. Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	59
RIWAYAT HIDUP PENULIS.....	69



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Karakteristik limbah tahu.....	6
Tabel 2. Kesetaraan biogas dengan sumber energi lain.....	8
Tabel 3. Perbandingan nilai panas pada biogas dan sumber energi lainnya.....	9
Tabel 4. Rancangan percobaan perombakan anaerob limbah rumah makan dan limbah cair tahu.....	26
Tabel 5. Karakter fisika dan kimia limbah cair tahu dan limbah makanan sebelum dan setelah perombakan anerob pada suhu ruang dan suhu termofilik.....	32
Tabel 6. Rerata volume biogas dari variasi substrat limbah makanan pada suhu ruang dan suhu termofilik selama 6 minggu.	39
Tabel 7. Volume biogas dari variasi substrat limbah makanan pada suhu ruang selama 6 minggu.....	42
Tabel 8. Volume biogas dari variasi substrat limbah makanan pada suhu termofilik selama 6 minggu.....	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Perubahan pH substrat dalam perombakan anaerob pada suhu ruang.....	37
Gambar 2. Perubahan pH substrat dalam perombakan anaerob pada suhu ruang.....	37
Gambar 3. Perubahan suhu substrat selama perombakan anaerob pada suhu ruang.....	40
Gambar 4. Volume biogas hasil perombakan anaerob pada suhu ruang.....	41
Gambar 5. Perubahan suhu substrat selama perombakan anaerob pada suhu termofilik.....	44
Gambar 6. Volume biogas hasil perombakan anaerob pada suhu termofilik.....	45

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Efisiensi Penurunan COD, BOD, dan TS serta Peningkatan VS setelah Perombakan Anaerob pada Suhu Ruang selama 6 minggu.....	59
Lampiran 2. Efisiensi Penurunan COD, BOD, dan TS serta Peningkatan VS setelah Perombakan Anaerob pada Suhu Termofilik selama 6 minggu	59
Lampiran 3. Hasil Analisis <i>General Linear Model</i> (GLM) <i>Univariate</i> dan dilanjutkan uji <i>Turkey</i> pada Volume Biogas minggu ke-6.....	60
Lampiran 4. Hasil Analisis <i>General Linear Model</i> (GLM) <i>Univariate</i> dan dilanjutkan uji <i>Turkey</i> pada COD minggu ke-6.....	61
Lampiran 5. Hasil Analisis <i>General Linear Model</i> (GLM) <i>Univariate</i> dan dilanjutkan uji <i>Turkey</i> pada BOD minggu ke-6.....	62
Lampiran 6. Hasil Analisis <i>General Linear Model</i> (GLM) <i>Univariate</i> dan dilanjutkan uji <i>Turkey</i> pada <i>Total Solids</i> minggu ke-6.....	63
Lampiran 7. Hasil Analisis <i>General Linear Model</i> (GLM) <i>Univariate</i> dan dilanjutkan uji <i>Turkey</i> pada <i>Volatile Solids</i> minggu ke-6.....	64
Lampiran 8. Hasil Analisis sidik ragam (ANOVA) dan dilanjutkan uji <i>Duncan</i> signifikansi 5 % pada Volume Biogas pada suhu ruang dan suhu termofilik selama 6 minggu.....	65
Lampiran 9. Dokumentasi Proses Penelitian.....	
a. Satu Rangkaian Biodigester Anaerob.....	67
b. Rangkaian Biodigester Anaerob pada Suhu Ruang.....	67
c. Rangkaian Biodigester Anaerob pada Suhu Termofilik.....	68

BAB 1

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kaya akan sumber daya energi dan potensi sumber energi yang tinggi itu terutama potensi energi baru terbarukan. Pertambahan jumlah penduduk yang meningkat mengakibatkan kebutuhan energi semakin meningkat. Sistem pemenuhan kebutuhan energi mendesak penelitian terobosan-terobosan baru, diantaranya meningkatkan pemanfaatan sumber-sumber energi baru terbarukan. Pemerintah dengan Kebijakan energi Perpres Nomor 5 tahun 2006 dan *Blue Print* Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025, merupakan kebijakan pemerintah yang mengatur diversifikasi energi terbarukan. Oleh karena itu, eksplorasi terhadap sumber-sumber alternatif saat ini menjadi sebuah kebutuhan (Triwahyuningsih, 2008). Salah satu bahan bakar nabati (BBN) sangat potensial adalah biogas.

Masyarakat dunia telah menggantungkan sumber energinya dari bahan bakar fosil seperti minyak bumi, gas alam dan batu bara. Namun dunia terjadi krisis energi, yang melanda kawasan negeri penghasil minyak dengan cadangan minyak yang menyusut cepat. Di samping itu penggunaan bahan bakar fosil (BBF) yang telah berlangsung selama ini berdampak negatif terhadap lingkungan. Berbagai pencemaran lingkungan diakibatkan limbah dari berbagai kegiatan seperti kegiatan industri, rumah sakit, peternakan, transportasi, pasar maupun rumah tangga berdampak menghasilkan karbondioksida, metana, CO, dan nitrous oksida yang tinggi di udara sehingga menyebabkan efek rumah kaca dan peristiwa

pemanasan global di seluruh dunia. Pengurangan cemaran oleh kegiatan tersebut dapat dilakukan dengan usaha pengolahan limbah yang memanfaatkan limbah melalui perombakan anaerob agar hasil dari pengolahan tersebut tidak lagi mencemari lingkungan.

Biomassa adalah semua bahan-bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan/hewan, produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan), yang dapat diproses menjadi bioenergi (Reksowardojo dan Soeriawidjaja. 2006). Biomassa sangat potensial untuk dikembangkan menjadi energi terbarukan. Potensi biomassa sebagai sumber energi terbarukan sangat melimpah berasal dari residu pertanian/peternakan, limbah kota/domestik maupun industri proses makanan yang belum tergarap optimal. Potensi biomassa limbah organik lebih berdaya guna bila ditingkatkan sistem pengelolannya. Hal tersebut dapat dilakukan dengan pemanfaatan teknologi biodigester anaerob. Menurut Sugiharto (1987), teknologi pengolahan limbah baik cair maupun padat merupakan kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan.

Pengolahan limbah organik menjadi biogas telah dicoba dan dikembangkan di beberapa wilayah di Indonesia terutama masyarakat pemilik usaha peternakan yang memanfaatkan teknologi biodigester anaerob. Teknologi biodigester anaerob merupakan teknologi sederhana, mudah dipraktekkan, dan menggunakan peralatan yang relatif murah dan mudah didapat. Limbah makanan dan limbah cair industri tahu dapat digunakan sebagai alternatif bahan substrat organik di dalam biodigester anaerob. Hasil perombakan anaerob diharapkan

dapat mereduksi bahan pencemar limbah dan menghasilkan energi terbarukan berupa biogas sehingga dapat mengatasi masalah krisis energi yang terjadi sekarang ini. Selain menghasilkan produk biogas, juga menghasilkan pupuk cair yang dapat digunakan untuk pertanian (Siregar, 2009). Pemanfaatan biogas sebagai energi alternatif ini juga dapat mendukung program pemerintah dalam mengurangi emisi CO₂ hasil kegiatan pembangunan dibanding produksi CO₂ dari sumber energi fosil atau energi biomassa lain.

Biogas dapat dibuat dari kotoran sapi atau limbah peternakan (Abdulkareem, 2005; Poels, 1983; Mackie and Bryant, 1995), limbah dapur (Ojolo, 2007), limbah pertanian dan limbah cair, misalnya limbah cair kelapa sawit (Mahajoeno, 2008), serta limbah sayuran dan buah-buahan. Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya mengenai pemanfaatan limbah pertanian maupun peternakan untuk produksi biogas dengan perombakan anaerob maka pada penelitian ini akan memanfaatkan biomassa limbah makanan yang berasal dari buangan industri tahu dan limbah rumah makan untuk menghasilkan biogas. Penelitian dilakukan menggunakan perombakan anaerob dengan variasi konsentrasi substrat berbeda untuk produksi biogas.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan dalam penelitian ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Bagaimana produksi biogas dari variasi substrat limbah cair tahu dan limbah rumah makan dalam biodigester anaerob pada suhu ruang?

2. Bagaimana pengaruh suhu (ruang dan termofilik) terhadap produksi biogas dari variasi substrat limbah cair tahu dan limbah rumah makan dalam biodigester anaerob?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui produksi biogas dari variasi substrat limbah cair tahu dan limbah rumah makan di dalam biodigester anaerob pada suhu ruang.
2. Mengetahui pengaruh suhu (ruang dan termofilik) terhadap produksi biogas dari variasi substrat limbah cair tahu dan limbah rumah makan dalam biodigester anaerob.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi tentang pengolahan limbah makanan dan limbah cair industri tahu menggunakan teknologi biodigester anaerob untuk produksi biogas. Bagi pengusaha industri tahu, pengolahan bermacam buangan dapat dikonversi menjadi biogas menjadi nilai tambah. Dengan memperhatikan masalah lingkungan yang ditimbulkan akibat pembuangan limbah berpotensi pencemaran, adanya teknologi biodigester anaerob dapat memberi nilai ekonomis dan ekologis sekaligus mengurangi potensi pembuangan. Di samping itu dapat mengurangi efek pencemaran yang mengakibatkan efek rumah kaca.

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Limbah Makanan

1.1. Limbah Cair Industri Tahu

Tahu merupakan produk makanan yang terbuat dari bahan kedelai dan mengandung protein tinggi. Industri tahu dapat menghasilkan limbah padat dan limbah cair. Sumber air limbah tahu berasal dari proses pembuatan tahu, baik dari pencucian bahan baku sampai pada proses penggumpalan tahu. Sumber limbah cair lainnya berasal dari pencucian kedelai, pencucian peralatan proses, pencucian lantai dan pemasakan, larutan bekas rendaman kedelai serta proses pengempresan tahu (Syaf, 2007).

Limbah cair yang mengandung sisa air dari susu tahu yang tidak menggumpal menjadi tahu masih mengandung zat-zat organik misalnya protein, karbohidrat, dan lemak. Di samping mengandung zat terlarut juga mengandung padatan tersuspensi atau padatan terendam misalnya potongan tahu yang hancur pada saat pemrosesan karena kurang sempurna pada saat penggumpalannya. Di alam, padatan tersuspensi maupun terlarut mengalami perubahan fisika, kimia, dan biologi yang menghasilkan zat toksik dan menciptakan tumbuhnya kuman atau kuman penyakit lainnya yang merugikan manusia. Apabila limbah cair dibiarkan di lingkungan maka air limbah akan berubah warna coklat kehitaman dan berbau busuk. Bau tersebut disebabkan oleh gas-gas yaitu H_2S , NH_3 , dan

organik sulfida yang merupakan hasil dekomposisi bahan organik oleh mikroorganisme anaerob yang mengubah sulfat menjadi sulfida dan protein menjadi amonia (Syaf, 2007).

Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu kira-kira 15-20 l/kg bahan baku kedelai, BOD 65 g/kg bahan baku kedelai, dan COD 130 g/kg bahan baku kedelai (Clifton, 1994). Kualitas air limbah pabrik tahu biasanya yang mempengaruhi adalah suhu, padatan tersuspensi, pH, oksigen terlarut, BOD, dan COD. Karakteristik limbah cair tahu ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Karakteristik Limbah Tahu

No.	Paramater	Industri
1	BOD (mg/l)	950
2	COD (mg/l)	1534
3	TSS (mg/l)	309
4	pH (\pm)	5

(Sumber: Wenas, Sunaryo, dan Sutyasmi (2002))

Biological Oxygen Demands (BOD) didefinisikan sebagai banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh bakteri selama menstabilkan proses pemisahan bahan organik dalam suasana anaerob. Semakin besar angka indeks BOD suatu perairan, semakin besar tingkat pencemaran yang terjadi. *Chemical Oxygen Demands* (COD) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan buangan dalam air melalui reaksi kimia (Dina, 2007).

Padatan total atau *Total Solids* (TS) merupakan gabungan dari VS atau bahan yang dapat diproses dan fixed solid atau bahan yang tidak dapat diproses (Fry, 1974). Mudah uap atau *Volatile Solids* (VS) didapatkan dengan menghitung berat dari bahan organik yang terbakar ketika bahan kering dipanaskan sekitar 600oC. Penghitungan ini merupakan cara untuk mengetahui bahan organik dan

dapat dianggap sebagai jumlah padatan yang dapat dikonversikan oleh bakteri (Fry, 1974). Jumlah VS yang terproses menunjukkan jumlah bahan organik yang terdekomposisi dan gas yang diproduksi. Padatan tersuspensi atau *Suspended Solids* (SS) dalam air atau padatan tidak terlarut dalam air adalah senyawa kimia yang terdapat dalam air, baik dalam keadaan melayang, terapung, maupun mengendap. Senyawa ini dijumpai dalam bentuk organik maupun anorganik. Padatan terlarut ini menyebabkan air berwarna keruh (Diky, dkk., 2008).

1.2. Limbah Rumah Makan

Limbah rumah makan merupakan limbah atau sampah yang berasal dari dapur, yaitu bagian dari sayuran dan bahan makanan lain yang tidak termasak dan memang harus dibuang seperti tongkol jagung, tangkai sayuran, potongan sayuran yang tidak terpakai serta sisa makanan yang tidak habis dimakan para tamu (Nugroho dkk, 2007). Limbah dari dapur yang tidak berbau berasal dari kulit buah, ampas teh, ampas kopi dan sisa sayur, sedangkan yang berbau bisa berupa kepala udang, sisa makanan yang membusuk, sisik dan jerohan ikan dan sebagainya. Sampah yang tidak mudah hancur bisa berasal dari tempurung kelapa, plastik, kaleng, tulang dan lain-lain (Anonim, 2002).

Sampah organik sayur-sayuran dan buah-buahan seperti layaknya kotoran ternak adalah substrat terbaik untuk menghasilkan biogas (Hermawan, 2007). Limbah sayuran mempunyai rasio C : N yang tinggi dibandingkan limbah kotoran ternak sehingga perlu ditambahkan sumber nitrogen. Limbah sayuran

menghasilkan biogas delapan kali lebih banyak dibandingkan limbah kotoran ternak (Haryati, 2006).

2. Biogas

2.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah campuran gas-gas dari biomassa (bahan-bahan organik) termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah organik (rumah tangga), sampah *biodegradable* yang mudah terbakar dan dihasilkan dengan mendayagunakan bakteri melalui proses fermentasi bahan organik dalam keadaan tanpa oksigen atau kedap udara (anaerob) (Harahap, 1980). Komponen biogas adalah metana sebesar $\pm 60\%$, karbondioksida $\pm 38\%$, dan $\pm 2\%$ N_2 , O_2 , H_2 , dan H_2S . Biogas dapat dibakar seperti elpiji dan dalam skala besar biogas dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik sehingga dapat dijadikan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan terbarukan (Said, 2006). Biogas sebenarnya adalah gas metana (CH_4). Gas metana bersifat tidak berbau, tidak berwarna dan sangat mudah terbakar (Dewanto, 2008) serta dalam pengapian berwarna biru (Simamora, 2004).

Biogas memiliki komposisi yang bervariasi tergantung asal proses anaerob yang terjadi (Simamora, 2004). Nilai kalori gas metana murni 8.900 kkal/m³, sedangkan nilai kalor biogas yang masih berupa campuran gas-gas berkisar 5.000-6.513 kkal/m³. Berdasarkan sumber Departemen Pertanian, nilai kesetaraan biogas dengan sumber energi lain adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Kesetaraan Biogas dengan sumber energi lain

Bahan Bakar	Jumlah
Biogas	1m ³
Elpiji	0,46 kg
Minyak tanah	0,62 liter
Minyak solar	0,52 liter
Bensin	0,80 liter
Gas kota	1,50 m ³
Kayu bakar	3,50 kg

(Sumber: Hermawan, 2007)

Berikut adalah perbandingan nilai panas yang dihasilkan oleh biogas dengan sumber energi lainnya:

Tabel 3. Perbandingan Nilai Panas pada biogas dan Sumber Energi Lainnya.

Sumber energi	Jenis pembakar	Efisiensi pembakar (%)	Panas efektif (kkal)	Panas efektif (setara dengan 1 m ³ biogas)
Biogas	Kompore gas	60	2830	1 m ³
Listrik	Kompore listrik	70	600	4,70 kwh
Minyak tanah	Kompore minyak	50	4560	0,52 liter
Batu bara	Pembakaran terbuka	28	1940	1,46 kg
Kayu bakar	Pembakaran terbuka	17	810	3,74 kg
LPG	Kompore gas	60	6530	0,43 kg

(Sumber: Simamora, 2004)

2.2 Manfaat Biogas

Pengolahan limbah menjadi biogas sangat menguntungkan karena hasil dari pengolahan limbah memiliki manfaat, yaitu:

1. Sebagai pupuk berkualitas.

Produk samping pengolahan limbah menjadi biogas adalah pupuk organik yang kaya unsur hara yaitu berbagai mineral hara makro dan mikro kebutuhan tumbuhan seperti Fosfor (P), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Kalium (K), tembaga (Cu), Zeng (Zn), dan Nitrogen (N). Bahan keluaran dari sisa proses pembuatan gas metana dapat dijadikan pupuk organik walaupun bentuknya berupa

slurry. Pemanfaatan lumpur luaran digester anaerob sebagai pupuk dapat memberi keuntungan yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan kompos atau kotoran ternak langsung dari kandang (Moog FA, 1997).

2. Sebagai sumber energi

Biogas yang bebas pengotor (H_2O , H_2S , CO_2 , dan partikulat lainnya) dan telah mencapai kualitas *pipeline* adalah setara dengan gas alam. Dalam bentuk ini, gas tersebut dapat digunakan sama seperti penggunaan gas alam (Hermawan, 2007). Biogas dimanfaatkan sebagai energi pada kompor gas, lampu penerangan, generator listrik skala rumah tangga (Wijayanti, 2008).

3. Mengurangi efek rumah kaca.

Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan gas karbondioksida (CO_2) yang ikut memberikan kontribusi efek rumah kaca (*green house effect*) yang bermuara pada pemanasan global (*global warming*). Metana merupakan gas rumah kaca yang lebih berbahaya daripada karbondioksida. Karbon dalam biogas merupakan karbon yang diambil oleh atmosfer dari fotosintesis tumbuhan, sehingga karbon yang dilepaskan lagi ke atmosfer tidak akan menambah jumlah karbon di atmosfer bila dibandingkan dengan pembakaran bahan bakar fosil.

Gas metana (CH_4) yang dihasilkan secara alami oleh kotoran yang menumpuk merupakan gas penyumbang terbesar pada efek rumah kaca dan lebih besar dibandingkan gas (CO_2). Pembakaran gas metana pada biogas mengubahnya menjadi gas (CO_2) sehingga mengurangi jumlah metana di udara. Dengan lestari hutan, maka gas (CO_2) yang ada di udara akan diserap oleh

hutan sehingga menghasilkan gas oksigen yang melawan efek rumah kaca (Wijayanti, 2008).

2.3 Pembuatan Biogas

Perombakan bahan organik yang efektif membutuhkan kombinasi metabolisme dan berbagai jenis bakteri. Beberapa jenis jamur (fungi) dan protozoa dapat ditemukan dalam penguraian anaerob tetapi bakteri merupakan mikroorganisme yang paling dominan bekerja di dalam proses penguraian anaerob. Bakteri anaerob dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik antara lain: *Bacteriodes*, *Bifidobacterium*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Streptobacillus*. Bakteri asidogenesis (pembentuk asam) seperti *Clostridium*, bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asam dan hidrogen) seperti *Syntrobacter wolinii* (Wibowomoekti, 1997).

Methanosarcina, *Methanobacterium*, *Methanoccus* termasuk dalam kelompok *Arkhaea*. Metanogen melaksanakan peranan penting dalam perombakan anaerob karena mengendalikan tingkat degradasi bahan organik dan mengatur aliran karbon dan elektron dengan menghilangkan metabolit perantara yang beracun dan meningkatkan efisiensi termodinamik dari metabolisme perantara antar spesies. Metanogen merupakan obligat anaerob yang tidak bisa tumbuh pada keadaan yang terdapat oksigen dan menghasilkan metana dari oksidasi hidrogen atau senyawa organik sederhana seperti asetat dan metanol. Bakteri penghasil metana bersifat gram variabel, anaerob, dapat mengubah CO₂ menjadi metana, dinding selnya mengandung protein, dan mempunyai peptidoglikan (Wibowomoekti, 1997).

Substrat yang digunakan oleh bakteri metanogen berupa karbon dengan sumber energi berupa H_2/CO_2 , format, metanol, metilamin, CO, dan asetat. Nutrisi yang dibutuhkan oleh metanogen bervariasi dari yang sederhana sampai yang kompleks. Nutrisi melalui siklus biokimia akan diuraikan dan dihasilkan energi untuk tumbuh. Di habitat aslinya, bakteri metanogen tergantung dari bakteri lain yang menyuplai nutrisi esensial seperti sisa mineral, vitamin, asam amino, atau faktor-faktor tumbuh lainnya (Wibowomoekti, 1997).

Bakteri metanogen akan secara alami berada dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga. Keberhasilan proses pencernaan bergantung pada kelangsungan hidup bakteri metanogen di dalam biodigester. Oleh karena itu, kondisi yang mempengaruhi perkembangbiakan bakteri metanogen harus dijaga dan diperhatikan. Kondisi itu antara lain temperatur, keasaman, dan jumlah material organik yang hendak dicerna.

Kecepatan penguraian biopolimer tidak hanya tergantung pada jumlah jenis bakteri yang ada dalam reaktor tetapi juga efisiensi dalam mengubah substrat dengan kondisi-kondisi waktu tinggal di dalam reaktor, kecepatan alir efluen, temperatur, dan pH yang terjadi dalam bioreaktor. Bilamana substrat yang mudah larut dominan, reaksi kecepatan terbatas akan cenderung membentuk metana dari asam asetat dan dari asam lemak dengan kondisi stabil atau *steady state*. Faktor lain yang mempengaruhi proses antara lain waktu tinggal atau lamanya substrat berada dalam suatu reaktor sebelum dikeluarkan sebagai supernatan atau *digested sludge* (efluen). Minimum waktu tinggal harus lebih besar dari waktu generasi

metana sendiri agar mikroorganisme di dalam reaktor tidak keluar dari reaktor atau yang dikenal dengan istilah *wash out* (Indriani, 2005).

2.3.1 Perombakan Anaerob

Pada proses perombakan anaerob terjadi perombakan bahan organik menjadi senyawa dengan berat molekul rendah (gas metana, asam organik, asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat). Pemanfaatan limbah cair industri tahu dengan penerapan teknologi bersih melalui pengembangan proses perombakan anaerob substrat hasil perombakan bakteri metanogen.

Perombakan anaerob merupakan proses sederhana, secara teknologi membutuhkan energi rendah untuk mengubah bahan organik dari berbagai jenis air limbah, buangan padat dan biomasa menjadi metana.

Tahapan pembuatan biogas dari limbah organik adalah sebagai berikut: (Maramba, 1978).

1. Hidrolisis

Pada tahapan hidrolisis, mikrobial hidrolitik mendegradasi senyawa organik kompleks yang berupa polimer menjadi monomernya yang berupa senyawa yang tidak larut dengan berat molekul yang lebih rendah. Lipid berubah menjadi asam lemak rantai panjang dan gliserin, polisakarida menjadi gula (mono dan disakarida), protein menjadi asam amino, dan asam nukleat menjadi purin dan pirimidin. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi enzim yang diekskresi oleh bakteri fermentatif. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstraseluler seperti selulase, protease, dan lipase.

Walaupun demikian, proses penguraian anaerob sangat lambat dan sangat terbatas dalam penguraian limbah selulotik yang mengandung lignin.

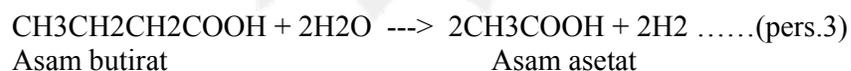
2. Asidogenesis

Monomer-monomer hasil hidrolisis dikonversi menjadi senyawa-senyawa organik sederhana seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, senyawa-senyawa mineral seperti karbondioksida, hidrogen, amoniak, dan gas hidrogen sulfida. Tahap ini dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri, yang mayoritas adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian dari bakteria anaerob fakultatif.

3. Asetagenesis

Hasil asidogenesis dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana yang berupa asam asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan gas karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya.

Etanol, asam propionat, dan asam butirrat diubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetagenesis dengan reaksi sebagai berikut:



4. Metanogenesis

Pada tahap metanogenesis terbentuk metana dan karbondioksida. Metana dihasilkan dari asetat atau reaksi reduksi karbondioksida oleh bakteri asetotropik dan hidrogenotropik dengan menggunakan hidrogen. Reaksi kimia

pembentukan metana dari asam asetat dan reduksi CO₂ dapat dilihat dalam persamaan reaksi sebagai berikut:

Asetotropik metanogenesis:



Hidrogenotropik metanogenesis:



Tiga tahap di atas disebut sebagai fermentasi asam sedangkan tahap keempat disebut fermentasi metanogenesis.

Berbagai studi tentang digesti anaerob pada berbagai ekosistem menunjukkan bahwa 70 % atau lebih metana yang terbentuk diperoleh dari asetat (pers.1). Asetat merupakan intermediet kunci seluruh fermentasi pada berbagai ekosistem tersebut. Hanya sekitar 30 % bahan organik yang dikonversi menjadi metana melalui jalur hidrogenotropik dari reduksi CO₂ menggunakan H₂ (pers.2).(Maramba, 1978).

2.3.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Perombakan Anaerob

Proses perombakan anaerob bahan organik untuk pembentukan biogas dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu biotik dan abiotik. Faktor biotik berupa mikroorganisme dan jasad aktif, sedangkan faktor abiotik meliputi pengadukan, suhu, pH, substrat, kadar air substrat, rasio C/N dan P dalam substrat dan kehadiran bahan toksik (Wellinger 1999). Faktor utama pengendali itu antara lain, suhu, pH, dan senyawa beracun (de Mez *et al.* 2003).

Suhu berpengaruh terhadap proses perombakan anaerob bahan organik dan produksi gas. Pada kondisi krioofilik (5-20 °C), proses perombakan berjalan

rendah, kondisi mesofilik (25-40 °C), perombakan berlangsung baik dan terjadi percepatan proses perombakan dengan kenaikan suhu, serta kondisi termofilik (45-65 °C) untuk bakteri termofilik dengan perombakan optimal pada suhu 55 °C (NAS 1981, Bitton 1999).

Pada umumnya, pH yang baik digunakan dalam proses perombakan anaerob adalah pH netral (antara 6,6-7,6) (Reith *et al.* 2002). Bakteri metanogen tidak dapat toleran pada pH diluar 6,7-7,4 sedangkan bakteri nonmetanogen mampu hidup pada pH 5-8,5 (NAS, 1981). Jika nilai pH menurun maka akumulasi asetat yang terbentuk selama proses perombakan tidak dapat diketahui. Pembentukan asetat berlangsung selama degradasi substrat yang berlangsung di dalam proses perombakan anaerob. Ketika konsentrasi asetat sudah melebihi konsentrasi tertentu maka perubahan pH yang signifikan juga tidak dapat terdeteksi. Oleh karena itu, jika pH dalam reaktor turun menunjukkan konsentrasi tinggi asetat dalam proses perombakan dan proses menjadi terhambat. Praperlakuan kimia umumnya diperlukan pada limbah cair dengan derajat keasaman tinggi (<pH 5) dan umumnya penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ digunakan untuk meningkatkan pH limbah menjadi netral (Bitton, 1999).

Menurut Sahirman (1994), pengaturan pH awal dengan (CaCO_3) bersama pengadukan kontinu 100 rpm (tekanan 1 atm suhu kamar) sangat berpengaruh terhadap total biogas yang dihasilkan selama 4 minggu fermentasi. Hal ini disebabkan adanya intensitas kontak antara mikroorganisme dan substrat jauh lebih baik dan menghindari akumulasi padatan terbang ataupun padatan mengendap yang akan mengurangi volume keefektifan biodigester.

Apabila unsur-unsur dalam makanan tidak berada dalam kondisi yang seimbang atau berkurang, bisa dipastikan produksi enzim untuk menguraikan molekul karbon kompleks oleh mikroba akan terhambat. Beberapa senyawa yang bisa menghambat proses penguraian dalam suatu unit biogas meliputi antibiotik, desinfektan, dan logam berat (Ann dkk, 2003). Di samping itu, NaCl dan garam-garam dari logam alkali, senyawa-senyawa organik yang mengandung alkali, kloroform, DDT, nitropyrin, dan $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$. Oleh karena itu biogas harus disalurkan ke tangki penampung agar tidak meracuni (Kasmidjo, 1990).

Senyawa dan ion tertentu dalam substrat dapat bersifat racun, misalnya senyawa dengan konsentrasi berlebihan ion Na^+ dan Ca^+ >8000 mg/l, K^+ >12000 , Mg^{++} dan NH_4^+ >3000 , sedangkan Cu, Cr, Ni, dan Zn dalam konsentrasi rendah dapat menjadi racun bagi kehidupan bakteri anaerob (Bitton 1999).

Karbon merupakan unsur penting dalam fermentasi metana. Selain untuk keperluan pertumbuhan sel, juga menjadi bahan utama untuk diubah menjadi gas metana (CH_4). Kebutuhan nutrient untuk fermentasi metana dinyatakan dengan ratio C/N, yang nilai optimumnya 20-30. Jika terlalu banyak kandungan N maka produksi gas menjadi sedikit karena kurang C untuk dikonversi menjadi metan. Jika kurang N maka pertumbuhan mikrobia kurang mencukupi untuk memproduksi metana. Kebutuhan P diperkirakan 1/10 sampai 1/5 dari kadar N. Jika komposisi media memiliki komposisi C:N:P = 100:4:0,5 berarti memenuhi syarat nutrien yang dikehendaki (Kasmidjo, 1990). Konsentrasi substrat (rasio

C:N:P) terkait kebutuhan nutrisi mikroba, homogenitas dan kandungan air padatan tersuspensi (SS); padatan total (TS) dan asam lemak volatil (VFA) (Bitton 1999).

Rasio karbon terhadap nitrogen limbah yang ditambahkan ke perombak sebaiknya berbanding 20 bagian C dan satu bagian N (20:1) untuk memperoleh produksi optimum metana. Residu panen pertanian dan sayuran berkadar N rendah tapi tinggi kadar C dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja perombak dengan mencampur kadar N tinggi limbah peternakan dan dapat memberi lebih baik rasio C:N untuk produksi biogas (Wellinger 1999).

Senyawa kompleks organik tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh bakteri di dalam proses metabolismenya karena membran sel bakteri hanya dapat dilewati oleh senyawa organik sederhana seperti glukosa, asam amino dan asam lemak volatil. Proses penguraian senyawa kompleks organik menjadi senyawa organik sederhana berlangsung pada proses hidrolisis yang dilakukan oleh kelompok bakteri hidrolitik. Limbah cair mengandung senyawa kompleks organik pengendali proses terletak pada tahap hidrolisis karena proses hidrolisisnya lebih lambat dibanding tahap proses lain. Senyawa kompleks organik dihidrolisis dengan mengikuti kinetika reaksi orde satu. Hidrolisis akan mempengaruhi kinetika proses keseluruhan karena tahap yang berlangsung paling lambat dapat mempengaruhi laju keseluruhan (Adrianto *et al.*, 2001).

Senyawa yang paling lambat dihidrolisis adalah minyak, lemak karena konstanta hidrolisis terkecil. Hal ini berarti minyak atau lemak merupakan faktor pengendali dalam proses hidrolisis campuran maupun tunggal. Hidrolisis protein pada kondisi anaerob adalah lebih rendah daripada laju hidrolisis karbohidrat.

Menurut Adrianto *et al.*, (2001), lipid terhidrolisis dengan sangat lambat dan lipid menjadi pembatas laju keseluruhan hidrolisis. Pada kondisi termofilik degradasi lipid nonpolar sangat lambat dibanding dengan komponen polar demikian pula dalam biodegradasi senyawa kompleks organik secara anaerob. Penguraian senyawa kompleks organik juga mengikuti kinetika reaksi hidrolisis orde satu. Laju reaksi hidrolisis karbohidrat pada substrat lebih cepat dibandingkan laju reaksi protein dalam substrat kompleks organik.

Senyawa mudah didegradasi seperti protein dan lemak dapat pula menghambat proses perombakan anaerob. Senyawa-senyawa ini mengandung asam lemak rantai panjang dalam jumlah berlebihan dapat menghambat mikroba dalam pembangkit biogas. Penambahan tiba-tiba senyawa-senyawa antara ke dalam perombak dapat menghambat proses perombakan anaerob, akan tetapi bergantung pada kecepatan proses hidrolisis (tahap pertama proses perombakan) dibandingkan dengan proses fermentasi berikutnya. Umumnya lipid memiliki kandungan energi tinggi dan kandungan itu dapat didegradasi sempurna menjadi biogas. Jika pembangkit biogas diadopsi untuk mendegradasi konsentrasi tinggi lemak, banyak produksi biogas dapat diperoleh (Indrayati 2003). Efek sama terhadap protein juga dapat terjadi, biomasa dengan kandungan protein tinggi dapat menghambat proses perombakan. Oleh karena itu diperlukan periode waktu tinggal lebih lama jika input biomassa memiliki kandungan protein tinggi. Periode waktu cukup diperlukan agar supaya pemecahan sempurna protein menjadi satuan yang lebih kecil. (Adrianto *et al.*, 2003).

3. Biodigester Anaerob

Biodigester adalah suatu alat yang digunakan untuk proses pembentukan biogas dengan cara anaerob dan sifatnya permanen. Berdasarkan cara pengisiannya ada dua jenis digester (unit pencernaan) atau biodigester yaitu *batch feeding* dan *countinous feeding*. *Batch feeding* adalah jenis biodigester yang pengisian bahan organik dilakukan sekali penuh, kemudian ditunggu sampai biogas dihasilkan. Setelah biogas tidak berproduksi lagi atau produksinya sangat rendah, isian digesternya dibongkar lalu diisi kembali dengan bahan organik yang baru. *Countinous feeding* merupakan jenis biodigester yang pengisian bahan organiknya dilakukan setiap hari dalam jumlah tertentu, setelah biogas mulai berproduksi. Pada pengisian awal digester diisi penuh, kemudian ditunggu sampai biogas berproduksi. Setelah berproduksi, pengisian bahan organik dilakukan secara kontinyu setiap hari dengan jumlah tertentu (Wijayanti, 2008).

B. Kerangka Pemikiran

Sampah organik seperti sampah pertanian (jerami, tongkol), limbah industri, limbah makanan merupakan limbah yang keberadaanya kurang bermanfaat. Limbah tersebut bila dibiarkan atau dibuang tanpa diolah lebih lanjut dapat melepaskan gas metana yang berbahaya. Sampah-sampah organik yang membusuk akan dihasilkan gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Tetapi hanya CH_4 yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Penggunaan biomassa (bahan-bahan organik) sebagai bahan bakar akan mengkonversi metana menjadi bahan bakar yang lebih bermanfaat sehingga potensi metana yang dilepaskan ke atmosfer menjadi berkurang (Pambudi, 2008).

Limbah cair industri tahu memiliki kandungan pencemar yang tinggi, 5800-9000 mg COD/L, 3500-7300 mg BOD/L. Baku mutu limbah industri tahu di Indonesia 150 mg BOD/L dan 300 mg COD/L. Oleh karena itu limbah cair tahu harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang ke perairan. Limbah cair industri tahu dapat diolah secara biologi karena mengandung bahan-bahan organik yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme (Anwar, 2006). Limbah makanan dan limbah cair tahu masih mengandung bahan organik seperti karbohidrat, lemak, protein, selulosa. Limbah yang mengandung pencemar organik tinggi, diperkirakan akan lebih menguntungkan jika diolah pada kondisi anaerobik.

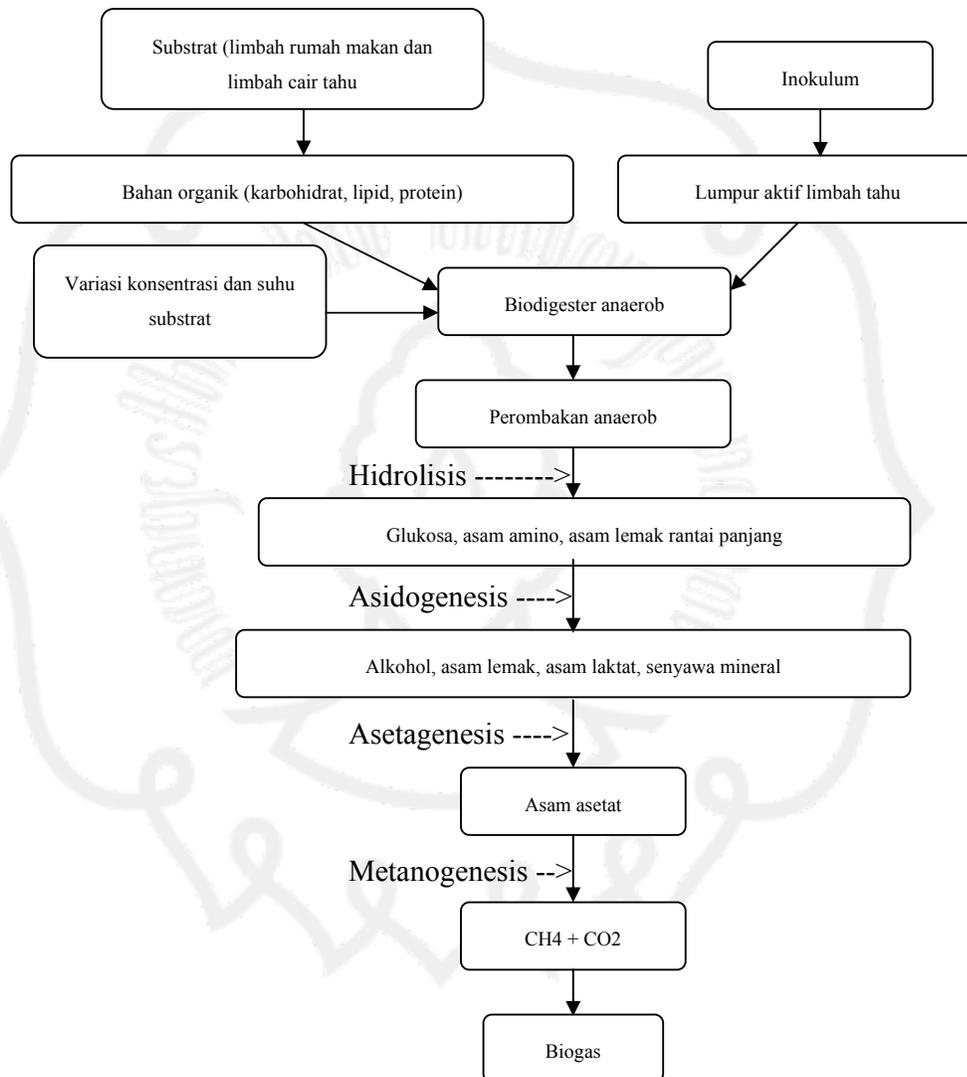
Substrat dari limbah makanan dan cair tahu dengan inokulum lumpur aktif limbah tahu akan mengalami proses perombakan anaerob oleh bakteri di dalam biodigester anaerob. Perombakan anaerob merupakan proses sederhana, secara teknologi membutuhkan energi rendah untuk mengubah bahan organik dari berbagai jenis air limbah, buangan padat dan biomasa menjadi metana.

Menurut Grady (1980), proses anaerob mampu merombak bahan organik kompleks menjadi bahan organik yang lebih sederhana secara alami. Pada perombakan anaerob terjadi proses hidrolisis, asidogenenesis, asetogenesis dan metanogenesis.

Produk akhir biokonversi anaerob adalah biogas, campuran metana dan karbondioksida yang bermanfaat sebagai sumber energi terbarukan. Potensi gas

metan yang besar bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil (Singgih dan Mera, 2008). Biogas memberikan solusi terhadap masalah penyediaan energi dengan murah dan tidak mencemari lingkungan.

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini disajikan sebagai berikut:

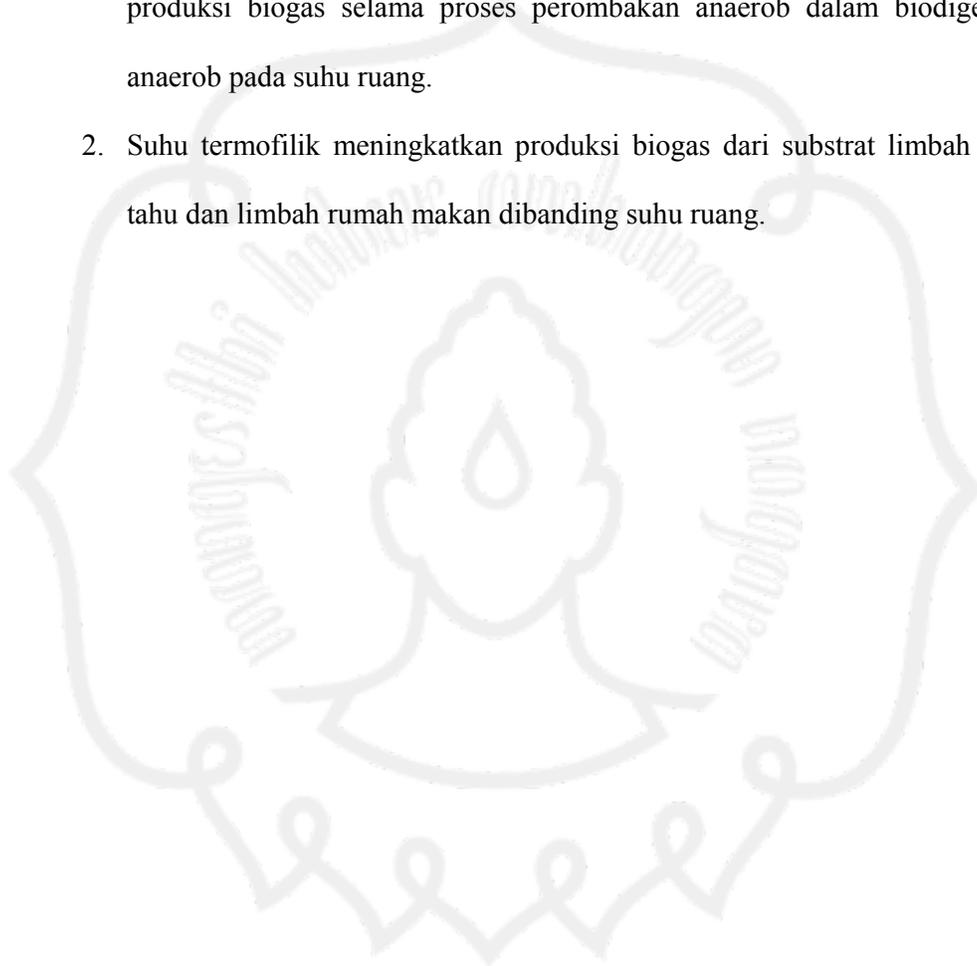


Gambar. Diagram Alir Kerangka Pemikiran

C. Hipotesis

Berdasarkan kajian teori dan tinjauan pustaka maka hipotesis penelitian sebagai berikut:

1. Variasi substrat limbah cair tahu dan limbah rumah makan meningkatkan produksi biogas selama proses perombakan anaerob dalam biodigester anaerob pada suhu ruang.
2. Suhu termofilik meningkatkan produksi biogas dari substrat limbah cair tahu dan limbah rumah makan dibanding suhu ruang.



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih tiga bulan yaitu pada bulan Mei-Juli 2009 di Laboratorium Pusat FMIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

a. Alat konstruksi digester

Serangkaian alat yang terdiri dari: jerigen 5 L, botol plastik 600 ml, selang kecil (panjang 20 cm), rak penyangga dengan kawat penggantung, mikrotip ukuran besar dan kecil, drum besar serta thermocouple (Jawad dan Tare, 1999).

b. Peralatan untuk mengukur (analisis fisika dan kimia)

Pengukuran COD: refluks, kondensor Leibiq, erlenmeyer, pipet dan peralatan titrasi. Pengukuran BOD: botol Winkler 250 ml dan perangkat titrasi. Padatan total (Metode Evaporasi), padatan mudah uap (*Volatile Solids*), dan padatan tersuspensi: cawan, pengaduk, oven, desikator, timbangan analitik, kertas saring, alumunium. Pengukuran pH dan suhu: pH meter dan thermometer. Pengukuran biogas dengan menghitung total volume botol plastik 600 ml.

c. Alat-alat lain (pendukung)

Peralatan pendukung antara lain: peralatan gelas (batang pengaduk, gelas piala, gelas ukur, cawan porselin), heater, termocople, blender, roll kabel, dan soldir.

2. Bahan

Bahan yang digunakan adalah:

1. Sebagai substrat limbah cair tahu dan limbah makanan/kantin, sedangkan inokulum lumpur aktif limbah tahu.
2. Larutan yang digunakan: Larutan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ sebagai pemberi suasana basa (agar pH menjadi netral); Untuk pengukuran COD yaitu Larutan $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; Ag_2SO_4 ; $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; indikator feroin; HgSO_4 ; larutan H_2SO_4 pekat; Untuk pengukuran BOD digunakan MnSO_4 pekat, larutan H_2SO_4 4N, KI 10%, Amilum, larutan Tiosulfat 0.025 N, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

C. Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama yaitu variasi substrat campuran limbah makanan/kantin dengan limbah cair industri tahu dengan konsentrasi berbeda. Faktor kedua adalah perbedaan temperatur substrat pada suhu ruang (25-320C) dan suhu termofilik/tinggi (45-500C).

Rancangan percobaan ini menggunakan tiga kelompok perlakuan masing-masing tiga ulangan dan satu kontrol. Rancangan percobaan disajikan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 4. Rancangan Percobaan Perombakan Anaerob Limbah Cair Tahu dan Limbah Rumah Makan.

Kelompok	Inokulum	Substrat	Suhu	Agitasi
A (Kontrol)	Lumpur aktif limbah tahu	RA	Ruang	2x
	Lumpur aktif limbah tahu	TA	Termofilik	2x
B	Lumpur aktif limbah tahu	RB	Ruang	2x
	Lumpur aktif limbah tahu	TB	Termofilik	2x
C	Lumpur aktif limbah tahu	RC	Ruang	2x
	Lumpur aktif limbah tahu	TC	Termofilik	2x

Keterangan:

1. Kelompok A (kontrol)

RA: Limbah cair tahu 80 % + limbah rumah makan 0 % pada suhu ruang.

TA: Limbah cair tahu 80 % + limbah rumah makan 0 % pada suhu termofilik.

2. Kelompok B:

RB: Limbah cair tahu 60 % + limbah rumah makan 20 % pada suhu ruang.

TB: Limbah cair tahu 60 % + limbah rumah makan 20 % pada suhu termofilik

3. Kelompok C:

RC: Limbah cair tahu 40 % + limbah rumah makan 40 % pada suhu ruang.

TC: Limbah cair tahu 40 % + limbah rumah makan 40 % pada suhu termofilik

Parameter yang diukur antara lain: kadar BOD dan COD, kadar TS dan VS, dan pengukuran volume biogas.

D. Cara Kerja

Pada penelitian ini digunakan lumpur aktif (*sludge*) limbah tahu sebagai sumber inokulum. Dalam biodigester anaerob diisi inokulum dan substrat berupa limbah cair tahu dan limbah rumah makan dengan konsentrasi yang berbeda.

Jerigen digunakan sebagai biodigester anerob bervolume 5 liter. Ruang biodigester sebanyak 80 % (4L) sebagai volume kerja sedangkan sisanya 20 % (1 L) sebagai ruang tampung biogas sementara. Dari 4L volume kerja biodigester diisi sumber inokulum sebanyak 20 % (0,8 L) dan sisanya 80 % (3,2 L) digunakan untuk substrat. Penelitian ini meliputi beberapa tahapan:

1. Tahap Persiapan

Tahap ini meliputi penyediaan peralatan dan bahan percobaan. Tahap pertama yang dilakukan adalah pembuatan substrat dari limbah makanan, yaitu menghomogenkan limbah rumah makan dengan menggunakan blender. Inokulum diperoleh dari hasil proses digesi limbah cair tahu yang berupa lumpur aktif. Substrat dan sumber inokulum akan difermentasikan di dalam biodigester anaerob (jerigen volume 5 L, botol plastik 600 ml dan selang kecil dengan panjang 20 cm.

2. Tahap Pembuatan Biogas

Pembuatan biogas dalam penelitian ini menggunakan *batch feeding*, yaitu jenis digester yang pengisian bahan organik dilakukan sekali penuh kemudian ditunggu sampai biogas dihasilkan. Substrat yang masih bersifat asam kemudian dinetralkan dengan cara menambahkan Ca(OH)_2 sebagai pemberi suasana basa. Sumber inokulum sebanyak 20 % dari 4L volume kerja digester yaitu 0,8 L dimasukkan terlebih dahulu ke dalam digester kemudian ditambahkan substrat sebanyak digester 80% dari 4L volume kerja yaitu 3,2 L. Setelah inokulum dan substrat dimasukkan, biodigester ditutup dengan rapat untuk proses fermentasi. Proses ini berlangsung selama enam minggu. Setelah biogas terbentuk maka biogas akan dialirkan dari biodigester (jerigen) ke dalam botol pengumpul gas

(botol 600 ml) melalui selang kecil. Sebelumnya, botol pengumpul gas sudah berisi air sebanyak 600 ml. Ketika gas masuk ke dalam botol pengumpul gas, air akan terdorong keluar dan biogas akan masuk ke dalam botol tersebut (menggantikan air). Dengan demikian, dapat diketahui bahwa volume gas yang masuk ke dalam botol pengumpul gas sama dengan volume air yang keluar dari botol pengumpul gas. Selama proses fermentasi, agitasi dilakukan sebanyak 2 kali setiap hari.

3. Tahap Pengukuran

Selama pembuatan biogas dilakukan pengukuran beberapa parameter seperti : suhu, pH, COD, BOD, TS, VS, dan pengukuran biogas. Pengukuran suhu, pH, COD, BOD, TS dan VS dilakukan setiap dua minggu sekali dan pengukuran biogas dilakukan di akhir penelitian.

a. Pengukuran pH dan suhu

Pengukuran pH substrat menggunakan pH meter. Pengukuran pada sampel, elektroda dimasukkan ke dalam 25 ml contoh dalam gelas piala kemudian pH meter dibaca. Demikian pula untuk pengukuran suhu substrat menggunakan termometer digital.

b. Pengukuran COD dan BOD

1. Pengukuran COD

Kebutuhan oksigen kimia (COD) (Metode Titrasi, Greenberg *et al.*, 1992). Bahan yang digunakan antara lain : $K_2Cr_2O_7$, Ag_2SO_4 , $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, indikator ferroin, $HgSO_4$, larutan H_2SO_4 pekat dan peralatan refluks, kondensor *Liebig*, erlenmeyer *Asahi* dan peralatan titrasi. Limbah

contoh sebanyak 5 ml yang telah diencerkan dengan air suling dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 10 ml $K_2Cr_2O_7$ 0.025 N dan 10 ml H_2SO_4 pekat. Setelah campuran tersebut dingin, dititrasikan dengan larutan $Fe(NH_4)_2(SO_4)$ 0.025 N, dengan indikator ferroin. Titrasikan dihentikan setelah terjadi perubahan warna biru kehijauan menjadi merah anggur. Volume $Fe(NH_4)_2(SO_4)$ 0.025 N yang digunakan untuk titrasikan dicatat sebagai a ml. Dengan prosedur yang sama, dilakukan titrasikan terhadap blanko air suling. Volume $Fe(NH_4)_2(SO_4)$ yang digunakan dicatat b ml.

$$COD \text{ (ppm)} = \frac{(b - a) \times 0.025 \times 8000 \times f}{ml \text{ contoh}}$$

Keterangan : f adalah Faktor pengenceran

2. Pengukuran BOD

Kebutuhan oksigen biologi (BOD) (Metode Winkler, Greenberg *et al*, 1992). Bahan pereaksi dipersiapkan : $MnSO_4$ pekat, larutan H_2SO_4 4N, KI 10%, Amilum, larutan Tiosulfat 0.025 N, $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ dengan peralatan : botol Winkler 250 ml dan perangkat titrasikan. Contoh yang bersifat asam atau basa dinetralkan dengan penambahan NaOH atau HCl. Penambahan Na_2SO_3 ke dalam contoh dilakukan jika diduga mengandung senyawa klor aktif dengan perbandingan molar yang sama. Botol-botol disimpan dalam inkubator pada suhu 30°C, selama satu jam (tiap contoh sampel menggunakan dua botol BOD). Salah satu botol diambil, kemudian dianalisis kadar oksigen terlarutnya. Botol yang lainnya disimpan selama lima hari dalam inkubator 30°C sebelum dianalisis kadar oksigen terlarutnya. Analisis oksigen terlarut dilakukan juga terhadap blanko.

$$\text{BOD (ppm)} = \frac{(X_0 - X_3) - (B_0 - B_3)}{f} (1 - f)$$

Keterangan: X_0 : Kadar oksigen terlarut dalam contoh pada hari – 0

X_3 : Kadar oksigen terlarut dalam contoh pada hari – 5

B_0 : Kadar oksigen terlarut dalam blangko pada hari – 0

B_3 : Kadar oksigen terlarut dalam blangko pada hari – 5

f : Faktor pengenceran

c. Padatan total (*Total Solids*)

Sebelum digunakan cawan dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 1030C selama satu jam. Setelah itu cawan didinginkan di dalam desikator hingga suhu ruang dan ditimbang (A_1). Untuk menguji total solid yang menguap maka cawan dimasukkan ke dalam furnace pada suhu 550 selama 1 jam. Setelah didinginkan di dalam desikator, cawan ditimbang lagi (A_2). Contoh uji dikocok sampai homogen. Sebanyak 50-100 ml contoh yang telah dikocok dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang bersama cawan. Contoh uji diuapkan dalam cawan dan diteruskan dengan pengeringan di dalam oven pada sub 1030C, selama satu jam atau hingga bobot konstan. Setelah didinginkan di dalam desikator, cawan ditimbang lagi (B).

$$\text{Padatan total} = \frac{(B - A_1) \times 10^6}{\text{ml contoh uji}}$$

d. Padatan total mudah uap (*Volatile Solids*)

Setelah penetapan padatan total kemudian dibakar pada suhu 5500C selama 3 jam dengan menggunakan *furnace*, lalu didinginkan dalam desikator dan timbang (C).

$$\text{Padatan total yang terikat (ppm)} = \frac{(C - A_2) \times 10^6}{ml \text{ contoh uji}}$$

Padatan total yang menguap (mg/L) = kadar padatan total (mg/l) – kadar padatan total yang terikat (mg/l)

E. Analisis Data

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif dianalisis dengan menggunakan sidik ragam *General Linear Model (GLM) Univariate* dan uji lanjut menggunakan *Turkey*, sedangkan data kualitatif dianalisis dengan analisis deskriptif.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Substrat Limbah Cair Tahu dan Limbah Rumah Makan

Pembuatan biogas dari limbah cair tahu dengan inokulum lumpur aktif limbah tahu yaitu ada 3 kelompok substrat dalam dua suhu yang berbeda. Pada awal penelitian dilakukan pengukuran karakter fisika dan kimia limbah cair tahu dan limbah rumah makan. Karakter fisika dan kimia limbah cair tahu dan limbah makanan sebelum mengalami perombakan anaerob dan setelah mengalami perombakan disajikan berikut ini.

Tabel 5. Karakter fisika dan kimia limbah cair tahu dan limbah rumah makan sebelum dan setelah perombakan anaerob pada suhu ruang dan suhu termofilik.

	Kelompok Substrat	pH	COD (gr/l)	BOD (gr/l)	TS(gr/l)	VS(gr/l)
Sebelum Perombakan anaerob	RA	7,06	2,15	0,62	9,46	4,9
	RB	7,08	8,85	2,55	43,28	10,62
	RC	7,08	12,32	2,83	61,22	12,46
	TA	7,06	1,68	0,62	9,46	4,9
	TB	7,08	8,56	2,55	43,28	10,62
	TC	7,08	11,54	2,81	61,22	12,46
		Kelompok Substrat	pH	COD (gr/l)	BOD (gr/l)	TS (gr/l)
Setelah Perombakan Anaerob	RA	7,91	0,92	0,44	5,84	5,49
	RB	8,16	2,84	1,68	13,54	11,75
	RC	8,17	4,57	1,93	19,27	13,55
	TA	7,73	0,63	0,38	5,47	5,32
	TB	7,98	2,76	1,49	12,01	11,54
	TC	8,06	3,64	1,66	18,84	13,61

Keterangan: A: Limbah cair tahu 80% (kontrol); B: Limbah cair tahu 60% ditambah limbah rumah makan 20% (3:1); C: Limbah cair tahu 40% ditambah limbah rumah makan 40% (1:1).
R: pada suhu ruang; T: pada suhu termofilik.

Pada penelitian ini, limbah cair tahu digunakan sebagai substrat dalam pembuatan biogas. Limbah cair tahu diperoleh dari salah satu pabrik tahu di desa Krajan, Kelurahan Mojosongo, Kecamatan Jebres, Surakarta. Limbah cair tahu yang digunakan berupa limbah cair dari hasil perebusan kedelai, pemasakan bubur kedelai, air sisa pengumpulan susu kedelai, air hasil pencetakan dan air hasil pengepresan. Berdasarkan pengamatan secara fisik, substrat limbah mempunyai karakteristik yaitu berwarna kuning bening, masih terdapat padatan tersuspensi atau terendap dan berbau rebusan kedelai. Buangan air limbah ini masih mengandung banyak zat organik, seperti karbohidrat, lemak, zat terlarut yang mengandung padatan tersuspensi atau padatan terendap (Sola, 1994). Adanya bahan organik yang cukup tinggi (ditunjukkan dengan nilai COD dan BOD) menyebabkan mikroba menjadi aktif dan menguraikan bahan organik tersebut secara biologis menjadi senyawa asam-asam organik. Timbul gas CH_4 , NH_3 , dan H_2S yang berbau busuk (Djarwanti dkk, 2000). Derajat keasaman limbah cair tahu sebelum ditambahkan limbah makanan masih bersifat asam.

Inokulum atau *starter* dari limbah tahu yang digunakan berasal dari keluaran (*out put*) *biodigester anaerob* yang mengandung sumber bakteri metanogen dan mempunyai pH netral. Inokulum dari limbah tahu berupa lumpur aktif yang berwarna abu-abu kehitaman. Lumpur ini merupakan materi tidak larut, biasanya tersusun serat-serat organik yang kaya akan selulosa dan terhimpun kehidupan mikroorganisme (Mustofa, 2000). Lumpur aktif juga mampu memetabolisme dan memecah zat-zat pencemar yang ada dalam limbah (Sulistyanto, 2003). Menurut Mukono (2000), menyatakan bahwa perairan

tercemar umumnya mempunyai kadar bahan organik tinggi sehingga banyak mengandung mikroorganisme heterotropik, mikroorganisme heterotropik akan menggunakan bahan organik tersebut untuk metabolisme.

Selain limbah cair tahu, limbah rumah makan juga digunakan sebagai variasi substrat dalam pembuatan biogas. Limbah rumah makan yang digunakan berupa sisa-sisa potongan sayuran, buah-buahan, kulit buah, atau sisa makanan yang tidak habis dimakan (nasi, sayur, lauk pauk) yang berasal dari kantin atau warung makan. Limbah rumah makan yang sudah dihomogenkan dengan cara diblender mempunyai warna kecoklatan, agak kental, berbau menyengat karena limbah makanan mengandung bahan organik tinggi dan masih bersifat terlalu asam.

Substrat limbah rumah makan yang sudah dihomogenkan dengan cara diblender mempunyai derajat keasaman (pH) awal yang masih bersifat asam sehingga ditambahkan NaOH sebanyak 100 gr. Penambahan NaOH bertujuan agar pH awal substrat menjadi netral. Pada penelitian ini substrat dengan pH awal 7 merupakan kondisi yang baik untuk produksi biogas. Adanya peningkatan pH optimum akan memacu proses pembusukan, sehingga meningkatkan efektivitas kerja mikrobia dan dapat meningkatkan produksi biogas. Menurut Mahajoeno, dkk (2008), pH substrat awal 7 memberikan peningkatan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH lain.

Proses pembuatan biogas dimulai dari tahap hidolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Setelah proses berjalan selama dua minggu, mikroorganisme sudah mulai tumbuh dan berkembangbiak di dalam biodigester.

Dengan berkembangbiaknya mikroorganisme atau bakteri pada permukaan media maka proses penguraian senyawa organik yang ada di dalam air limbah menjadi efektif. Dari data pH yang diperoleh (gambar 1 dan 2), terlihat bahwa terjadi perubahan pH dari minggu ke-0 sampai ke-6. Pada minggu ke-0 terjadi peningkatan pH. Tahapan ini merupakan tahapan hidrolisis optimum dimana H^+ biasanya digunakan untuk mengkatalisis reaksi pemutusan ikatan polimerik pada polisakarida, lipid maupun protein sehingga pH cenderung naik. Setelah itu terjadi proses asidogenesis dan asetogenesis. Tahap asidogenesis dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri, yang mayoritas adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian dari bakteri anaerob fakultatif. Kemudian terjadi penurunan pH yang diakibatkan asam-asam organik yang dihasilkan seperti asam butirat, propionat, dan asetat. Asam organik ini yang mendominasi tahap asidogenesis dan asetogenesis. Selanjutnya pH cenderung mengalami peningkatan karena asam-asam organik diuraikan menjadi metana dan karbondioksida dan kemungkinan terbentuknya NH_3 yang meningkatkan pH larutan.

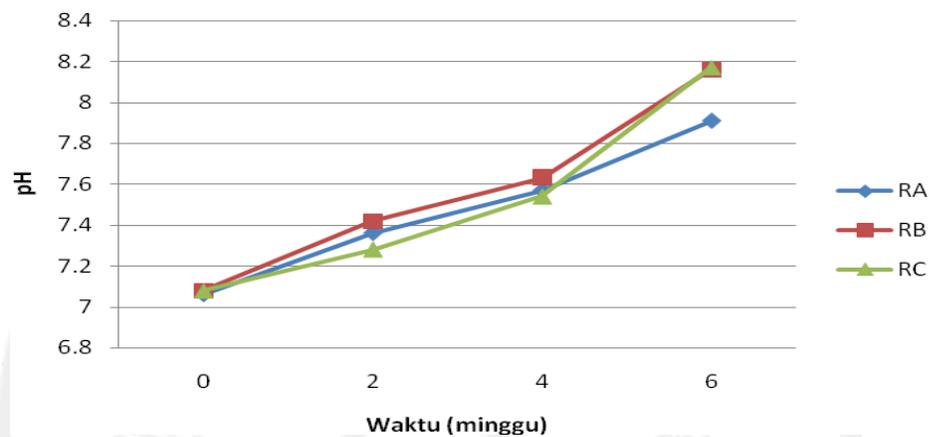
Derajat keasaman (pH) penting dalam karakterisasi limbah karena aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh pH. Setiap perubahan pH akan membawa perubahan pada sistem biologis. Umumnya aktivitas mikroba anaerob pada pH optimum antara 6-8, dan pada minggu ke 4-6 setiap minggu efisiensi produksi biogas menurun rata-rata 22% (Wibisono, 1995). Bakteri penghasil metana sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH optimum untuk jenis bakteri penghasil metana antara 6,4-7,4. Bakteri yang tidak menghasilkan metana tidak

begitu sensitif terhadap perubahan pH, dan dapat bekerja pada pH antara 5 hingga 8,5 (Manurung, 2004).

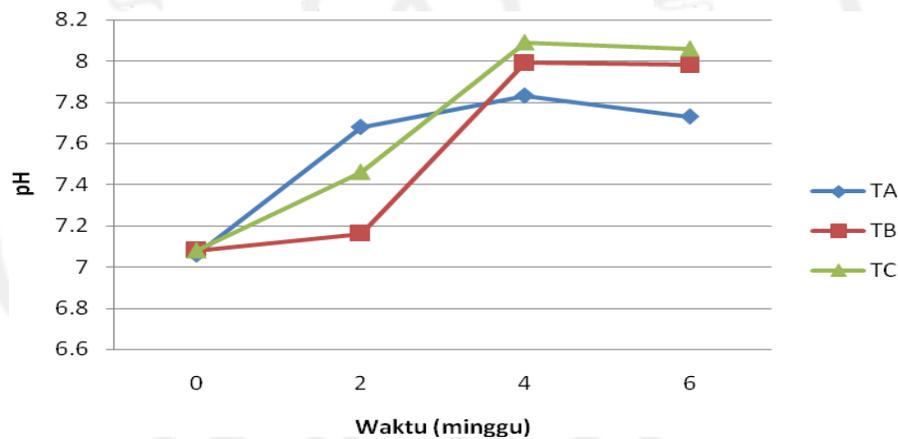
Pada awal limbah cair tahu bersifat asam kemudian menuju pH normal lalu menjadi basa hal ini disebabkan karena bahan lumpur yang dimasukkan ke dalam limbah bersifat basa dan secara normal pertumbuhan mikroba pasti menuju pH normal sehingga mikroba menjadi survive kemudian berkembangbiak untuk mendegradasi bahan organik yang ada dalam limbah cair industri tahu.

Pada penelitian ini substrat dengan pH awal 7 merupakan kondisi yang baik untuk produksi biogas. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pH netral memacu perkembangan bakteri metana (metanogen) sehingga pada pH tersebut bakteri perombak asam asetat tumbuh dan berkembang secara optimal. Hal tersebut berdampak terhadap produksi biogas karena perombakan anaerob sangat dipengaruhi faktor-faktor lingkungan. Faktor pengendali utama antara lain: pH, suhu, dan senyawa beracun (de Mez *et al.*, 2003). Dari hasil pengukuran yang diperoleh menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perubahan pH substrat selama proses perombakan anaerob. Pada suhu ruang, perubahan yang terjadi adalah pH substrat cenderung mengalami peningkatan, sedangkan pada suhu tinggi terjadi peningkatan pH dari minggu ke-0 sampai minggu ke-4 kemudian mengalami penurunan sampai minggu ke-6. Perubahan pH substrat ini sangat sensitif terhadap aktifitas mikroba yang berperan dalam proses fermentasi anaerob. Proses perubahan ini memberikan pengaruh terhadap produksi biogas. Pada suhu ruang maupun suhu termofilik kondisi substrat yang semakin basa mengakibatkan produksi biogas berkurang. Menurut Metcalf & Eddy (2003), peningkatan pH

dapat mempercepat proses pembusukan dan perombakan menjadi lebih cepat sehingga secara tidak langsung dapat mempercepat produksi biogas.



Gambar 1. Perubahan pH substrat selama perombakan anaerob pada suhu ruang



Gambar 2. Perubahan pH substrat selama perombakan anaerob pada suhu termofilik

Dari hasil pengukuran volume biogas selama 6 minggu terjadi perbedaan produksi biogas pada suhu ruang dan suhu tinggi. Hal ini dipengaruhi oleh perubahan pH substrat di dalam *biodigester anaerob*. Pada perlakuan suhu ruang, pH substrat untuk kelompok A dan B cenderung semakin meningkat dan volume

biogas yang dihasilkan fluktuasi dari minggu ke-2 sampai minggu ke-6. Produksi biogas minggu ke-4 hanya satu kali menghasilkan biogas, ditandai dengan pH substrat 7,57. Pada minggu ke-6 kelompok A kembali menghasilkan biogas namun dalam jumlah yang sedikit karena kondisi pH pada minggu ini mendekati basa yaitu 7,91. Produksi biogas yang menurun juga disebabkan karena perubahan kondisi lingkungan di dalam biodigester anaerob (faktor abiotik seperti pH dan suhu) dan kurangnya jumlah bakteri yang mendegradasi bahan-bahan organik. Pada kelompok C, produksi biogas meningkat dari minggu ke-0 sampai minggu ke-4 dan mengalami penurunan pada minggu ke-6. Peningkatan pH substrat sampai minggu ke-4 adalah 7,54 dan masih bersifat netral, sedangkan minggu ke-6 pH substrat menjadi basa yaitu 8,17. Pada pH substrat yang basa ini menyebabkan produksi biogas menurun. Derajat keasaman optimum untuk perkembangan bakteri pembentuk metana adalah pada pH 6,8 sampai 8 (Kadarwati, 2003). Laju pencernaan anaerob akan menurun pada kondisi pH yang lebih tinggi atau rendah (Haryati, 2006). Pada penelitian ini kondisi pH substrat yang meningkat atau basa (lebih dari 8) menyebabkan produksi biogas menurun.

B. Pengaruh Suhu dan Substrat terhadap Produksi Biogas

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 3) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan terhadap volume biogas pada variasi substrat, namun tidak demikian dengan variasi suhu substrat dan interaksi antara kedua perlakuan tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa variasi substrat memberikan pengaruh yang nyata terhadap produksi biogas, sedangkan variasi suhu substrat

dan interaksi antara variasi substrat dan suhu substrat memberikan pengaruh yang tidak nyata terhadap produksi biogas. Hasil rerata volume biogas pada variasi substrat dan suhu selama 6 minggu disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rerata volume biogas dari variasi substrat limbah makanan pada suhu ruang dan suhu termofilik selama 6 minggu.

Suhu	Kelompok A (ml)	Kelompok B (ml)	Kelompok C (ml)
Suhu ruang (R)	1969	10800	21200
Suhu termofilik (T)	2986	13000	12200
Rerata	2478a	11900ab	16700b

Keterangan :

*Angka yang diikuti huruf yang tidak sama pada baris dan kolom menunjukkan ada beda nyata

*Kelompok A= limbah tahu 80% (kontrol),

Kelompok B= limbah tahu 60% + limbah rumah makan 20% (3:1),

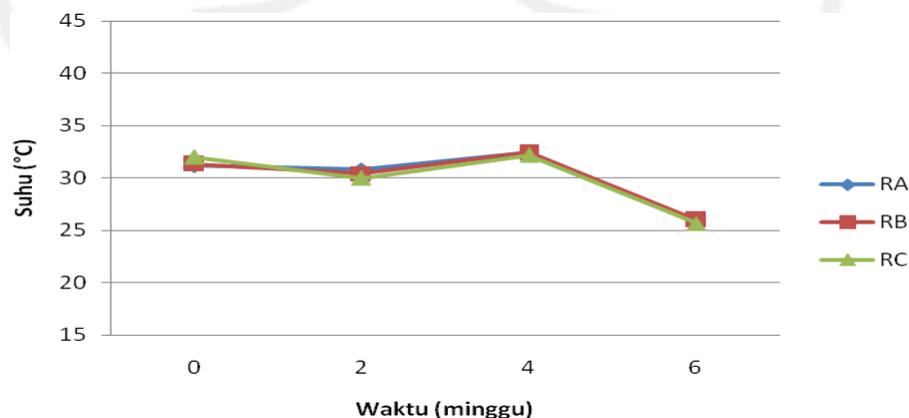
Kelompok C= limbah tahu 40% + limbah rumah makan 40% (1:1).

Dari tabel 6. di atas dapat diketahui bahwa kelompok A berbeda nyata dengan kelompok C tetapi tidak berbeda nyata dengan kelompok B. Produksi biogas dipengaruhi oleh perbedaan konsentrasi substrat. Adanya penambahan substrat limbah rumah makan memberikan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan produksi biogas. Semakin banyak substrat limbah rumah makan yang ditambahkan maka semakin meningkat pula produksi biogas. Hal ini berkaitan dengan kebutuhan nutrisi yang digunakan oleh bakteri untuk pertumbuhan dan perkembangbiakan selama proses perombakan anaerob di dalam biodigester anaerob. Perlakuan suhu memberikan pengaruh yang tidak nyata terhadap produksi biogas pada masing-masing kelompok perlakuan. Kelompok A (kontrol) dan B (limbah cair tahu 60 % + limbah rumah makan 20 %) dihasilkan biogas yang lebih banyak pada suhu termofilik daripada suhu ruang, sedangkan kelompok C (limbah cair tahu 40 % + limbah rumah makan 40 %) dihasilkan

biogas lebih banyak pada suhu ruang daripada suhu termofilik. Hal ini terjadi karena beberapa faktor, diantaranya pengaruh suhu, pH, agitasi. Substrat kelompok C (limbah cair tahu 40 % + limbah rumah makan 40 %) pada suhu termofilik belum terdegradasi sempurna karena mikroba yang berperan dalam perombakan anaerob belum secara optimal merombak bahan organik. Selain itu komposisi bahan organik atau nutrisi masih kurang memenuhi kebutuhan bakteri. Bahan organik yang ada masih berupa padatan, terdapat serat berupa lignin yang berasal dari sayuran sehingga sulit terdegradasi. Adanya senyawa beracun juga dapat menghambat proses perombakan.

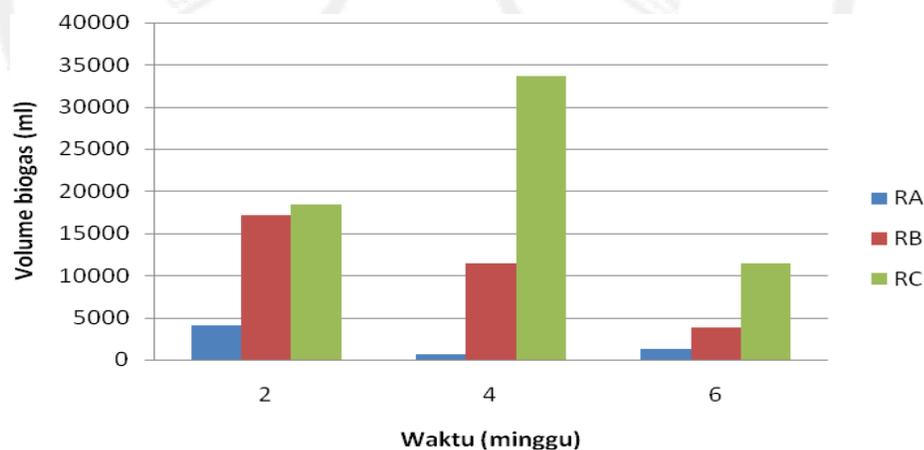
B.1. Pengaruh suhu dan substrat terhadap produksi biogas pada suhu ruang

Gas dapat dihasilkan jika suhu antara 4-60°C dan suhu dijaga konstan. Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada temperatur optimum. Semakin tinggi temperatur reaksi juga akan semakin cepat tetapi bakteri akan semakin berkurang.



Gambar 3. Perubahan suhu substrat selama proses perombakan anaerob suhu ruang

Proses pembentukan metana bekerja pada rentang temperatur 30-40°C, tapi dapat juga terjadi pada temperatur rendah, 4°C. Laju produksi gas akan naik 100-400 % untuk setiap kenaikan temperatur 12°C pada rentang temperatur 4-65°C. Mikroorganisme yang berjenis termofilik lebih sensitif terhadap perubahan temperatur daripada jenis mesofilik. Temperatur kerja yang optimum untuk penghasil biogas adalah 35°C, sedangkan pencernaan anaerobik dapat berlangsung pada kisaran 5°C sampai 55°C (Kadarwati, 2003). Pada minggu keenam terjadi penurunan suhu yang cukup signifikan. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang berubah, yaitu suhu lingkungan yang rendah karena hujan. Sehingga kondisi suhu substrat di dalam biodigester pun menjadi rendah. Material bahan dalam hal ini jerigen yang digunakan sebagai biodigester bukan merupakan isolator/penahan panas yang baik sehingga temperatur lingkungan dapat mempengaruhi materi di dalam biodigester (Raliby dkk, 2009).



Gambar 4. Volume biogas hasil perombakan anaerob pada suhu ruang

Produksi gas yang memuaskan berada pada daerah mesofilik yaitu antara 25-30°C. Biogas yang dihasilkan pada kondisi diluar suhu tersebut mempunyai kandungan karbondioksida yang lebih tinggi (Haryati, 2006). Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 3 dan 8a) menunjukkan bahwa penambahan substrat limbah rumah makan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan produksi biogas.

Tabel 7. Volume biogas dari variasi substrat limbah makanan pada suhu ruang selama 6 minggu.

Kelompok	Volume Biogas (ml)			Rerata volume biogas (ml)
	Minggu ke-2	Minggu ke-4	Minggu ke-6	
RA	4028	640	1240	1969a
RB	17124	11450	3840	10800ab
RC	18447	33675	11490	21200b

Keterangan: RA = Limbah cair tahu 80% (kontrol);
 RB = Limbah cair tahu 60% ditambah limbah rumah makan 20% (3:1);
 RC = Limbah cair tahu 40% ditambah limbah rumah makan 40% (1:1).
 Angka yang diikuti huruf yang sama pada baris dan kolom menunjukkan tidak ada beda nyata (taraf uji 5%)

Dari Gambar 4. dan Tabel 7. dapat dilihat bahwa produksi biogas yang terbaik pada kondisi suhu ruang adalah pada minggu ke-4, yaitu kelompok C dengan komposisi limbah cair tahu 40 % dan limbah rumah makan 40 %. Volume biogas yang dihasilkan sebesar 33.675 ml. Kelompok A (limbah cair tahu tanpa penambahan substrat limbah rumah makan) menghasilkan volume biogas yang terendah. Lama waktu perombakan bahan organik selama 4 minggu merupakan kondisi yang optimal untuk menghasilkan biogas. Setelah waktu perombakan anaerob selama 4 minggu, produk biogas yang dihasilkan cenderung menurun. Hal ini dikarenakan perubahan kondisi suhu lingkungan yang menurun cukup signifikan sehingga mengakibatkan suhu substrat menurun pula. Selain itu kondisi pH substrat juga semakin basa. Rerata-rata volume biogas yang terbaik pada suhu

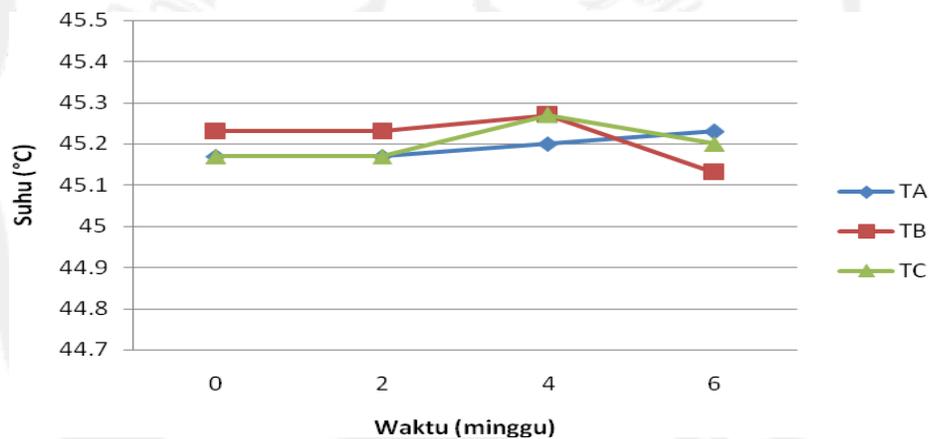
ruang selama 6 minggu adalah kelompok C (limbah cair tahu 40 % + limbah rumah makan 40 %) sebesar 21.200 ml.

Mikroba yang bekerja membutuhkan nutrisi yang terdiri dari karbohidrat, lemak, protein, fosfor, dan unsur-unsur mikro. Melalui siklus biokimia, nutrisi diuraikan dan dihasilkan energi untuk tumbuh. Nutrisi diperoleh dari limbah rumah makan karena di dalamnya terdapat limbah sayuran dan buah-buahan. Menurut Haryati (2006), limbah sayuran mempunyai rasio C:N yang tinggi dibandingkan limbah kotoran ternak dan menghasilkan biogas delapan kali lebih banyak dibandingkan limbah kotoran ternak. Adanya ketersediaan nutrisi yang cukup bagi mikroba yang berasal dari limbah rumah makan juga mendukung proses perombakan anaerob. Dengan demikian campuran limbah cair tahu dan limbah rumah makan dengan perbandingan yang sama diperoleh biogas terbanyak. Selain didukung nutrisi untuk pertumbuhan bakteri, kondisi pH yang masih netral dan kondisi suhu yang sesuai juga berpengaruh dalam produksi biogas.

B.2. Pengaruh suhu dan substrat terhadap produksi biogas pada suhu termofilik

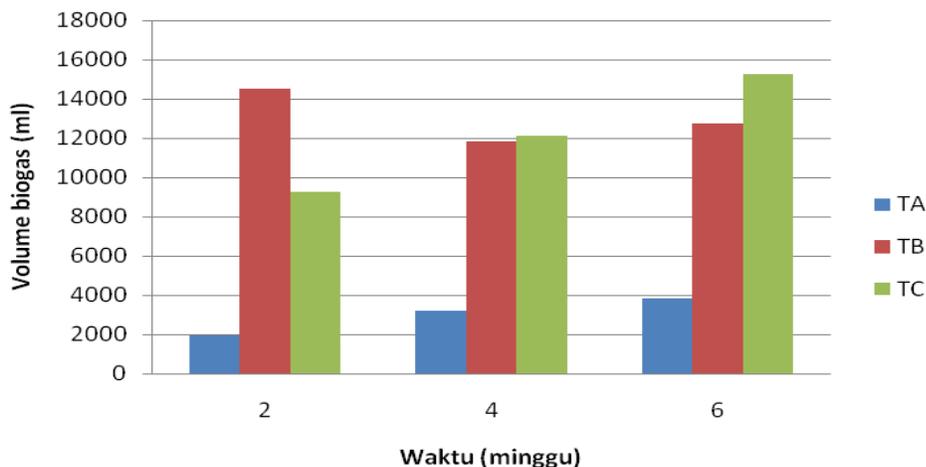
Pada perlakuan suhu termofilik, produksi biogas kelompok A dan C cenderung mengalami peningkatan sampai pada minggu ke-6. Kondisi pH substrat pada minggu ke-6 mengalami penurunan dari pH 7,83 menjadi 7,73 dan pH 8,09 menjadi 8,06. Rentang pH ini masih dalam kondisi pH optimum. Pada kelompok B produksi biogas pada minggu ke-4 mengalami penurunan kemudian meningkat

kembali pada minggu ke-6. Perubahan pH substrat yang menurun ini yang mengakibatkan produksi biogas meningkat, sedangkan suhu substrat tidak mengalami banyak perubahan sehingga tidak berpengaruh pada produksi biogas. Menurut Hermawan, dkk (2007), ketika pH turun, perubahan substrat menjadi biogas menjadi terhambat sehingga mengakibatkan penurunan kuantitas biogas, namun pada penelitian ini pH yang menurun mengakibatkan peningkatan volume biogas. Hal ini dimungkinkan perubahan pH tidak terlalu signifikan dan masih mendekati netral. Perubahan suhu substrat selama proses perombakan anaerob suhu termofilik dapat dilihat pada Gambar 5. berikut ini.



Gambar 5. Perubahan suhu substrat selama proses perombakan anaerob suhu termofilik

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 3 dan 8b) menunjukkan bahwa suhu memberikan pengaruh yang tidak signifikan terhadap produksi biogas. Dari Gambar 6. dan Tabel 8. dapat diketahui bahwa produksi biogas yang terbaik pada kondisi suhu termofilik adalah pada minggu ke-6 yaitu kelompok C (limbah cair tahu 40 % + limbah rumah makan 40 %) sebesar 15.280 ml.



Gambar 6. Volume biogas hasil perombakan anaerob pada suhu termofilik

Pada minggu ke-2 volume biogas tertinggi yang dihasilkan pada suhu termofilik adalah kelompok B (limbah cair tahu 60 % + limbah rumah makan 20 %) dengan pH 7,16 yaitu sebesar 14.520 ml, sedangkan terendah dihasilkan oleh kelompok A (kontrol) dengan pH 7,68 yaitu sebesar 1920 ml. Setelah perombakan anaerob selama 2 minggu, produksi biogas masing-masing kelompok pada minggu ke-4 sampai ke-6 semakin meningkat. Rerata-rata volume biogas yang terbaik pada suhu termofilik selama 6 minggu adalah kelompok B (limbah cair tahu 60 % + limbah rumah makan 20 %) sebesar 13.000 ml.

Tabel 8. Volume biogas dari variasi substrat limbah makanan pada suhu termofilik selama 6 minggu.

Kelompok	Volume Biogas (ml)			Rerata volume biogas (ml)
	Minggu ke-2	Minggu ke-4	Minggu ke-6	
TA	1920	3200	3840	2986
TB	14520	11820	12760	13000
TC	9270	12100	15280	12200

Keterangan: TA = Limbah cair tahu 80% (kontrol);

TB = Limbah cair tahu 60% ditambah limbah rumah makan 20% (3:1);

TC = Limbah cair tahu 40% ditambah limbah rumah makan 40% (1:1).

Adanya penambahan substrat limbah makanan pada limbah tahu dapat meningkatkan produksi biogas. Ketersediaan makanan (bahan organik) bagi mikroba menyebabkan pertumbuhan biomassa mikroba menjadi meningkat. Hal ini sesuai dengan pendapat Soeparno (1992), yang menyatakan bahwa semakin lama dibibit, maka beban mikroba semakin meningkat yang disebabkan sel mikroba mengalami pembelahan atau perkembangbiakan. Mikroba membutuhkan waktu yang cukup untuk berkembangbiak apabila komponen yang dibutuhkan cukup tersedia, maka mikroba akan berkembang pesat seperti halnya mikroba membutuhkan zat gizi untuk pertumbuhannya.

Biogas yang terbentuk dalam penelitian merupakan hasil proses degradasi COD campuran limbah oleh mikroba dalam lumpur anaerobik yang merupakan media utama pendegradasi dalam sistem *biodigester anaerob* ini. Meskipun perolahan biogas hasil perombakan anaerob masing-masing perlakuan tidak sama, secara keseluruhan biogas yang dihasilkan sebanding dengan penurunan COD.

Secara seluruhan dapat dikatakan bahwa selama 6 minggu volume biogas pada suhu termofilik lebih banyak dihasilkan dari pada suhu ruang. Tetapi hanya pada kelompok A dan B, sedangkan kelompok C lebih banyak dihasilkan pada suhu ruang. Biogas terbanyak pada suhu ruang adalah kelompok C (limbah tahu 40 % + limbah makanan 40%) sebesar 21.200 ml, sedangkan biogas terbanyak pada suhu termofilik adalah kelompok B (limbah cair tahu 60 % + limbah rumah makan 20 %) sebesar 13.000 ml.

Pada kondisi operasi yang sama, perombakan termofil lebih efisien dari pada perombakan mesofil (Lusk 1991). Beberapa keuntungan yang diperoleh dari

proses termofil dibandingkan dengan proses mesofil antara lain: waktu tinggal organik dalam biodigester lebih singkat karena laju pertumbuhan bakteri termofil lebih tinggi dibandingkan dengan laju pertumbuhan bakteri mesofil, penghilangan organisme patogen lebih baik, degradasi asam lemak rantai panjang lebih baik dan meningkatkan kelarutan substrat. Di samping itu, ada beberapa kerugian dalam proses termofi, yaitu: derajat ketidakstabilan tinggi, jumlah konsumsi energi lebih besar, dan risiko hambatan ammonia tinggi (Wellinger and Lindeberg, 1999). Pada penelitian ini pemberian suhu yang lebih tinggi (termofilik) menghasilkan produk biogas yang lebih banyak dibandingkan suhu ruang, kecuali pada kelompok C (limbah tahu 40 % + limbah makanan 40%) sehingga dapat dikatakan bahwa perlakuan suhu termofilik (45-50°C) dihasilkan biogas yang kurang optimal untuk kelompok C.

C. Efisiensi Perombakan Anaerob Bahan Organik

Jika dilihat dari segi pengolahan limbah, proses perombakan anaerob juga memberikan beberapa keuntungan yaitu menurunkan nilai COD dan BOD, *total solids*, *volatile solid*, nitrogen nitrat, dan nitrogen organik. Bakteri *coliform* dan patogen lainnya, telur insek, parasit, bau juga dihilangkan atau menurun (Haryati, 2006). Hasil pengukuran parameter fisika dan kimia limbah makanan dari hasil perombakan anaerob selama 6 minggu disajikan pada Tabel 5.

Dari Tabel 5. dapat dilihat bahwa limbah hasil proses perombakan anerob diperoleh pH dan kadar VS yang lebih tinggi dibandingkan sebelum pengolahan limbah. Parameter COD, BOD, dan TS cenderung menurun. Hal ini terjadi karena

bahan organik telah mengalami degradasi oleh bakteri anerob menjadi biogas sehingga menghasilkan kadar organik yang lebih rendah dan mengurangi kadar polutan dalam limbah.

1. COD (*Chemical Oxygen Demands*)

COD atau kebutuhan oksigen kimia (KOK) adalah jumlah oksigen (mg O₂) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam satu liter sampel air, dimana pengoksidannya adalah K₂Cr₂O₇ atau KMnO₄. COD merupakan variabel terpenting yang menunjukkan berhasil atau tidaknya proses degradasi. Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 4) menunjukkan bahwa variasi substrat dan suhu substrat, serta interaksi antara kedua perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar COD. Efisiensi penurunan COD disajikan pada Lampiran 1 dan 2.

Efisiensi penurunan COD yang tertinggi setelah perombakan anaerob selama 45 hari terjadi pada suhu ruang, yaitu kelompok B (dengan perbandingan substrat limbah tahu:limbah makanan 3:1) dari 8,85 mg/l menjadi 2,84 mg/l sebesar 68 %. Namun efisiensi penurunan COD kelompok A dan C pada suhu ruang lebih rendah dibandingkan suhu termofilik, yaitu sebesar 57 % dan 62 %. Peningkatan konsentrasi bahan organik menyebabkan penurunan nilai COD dalam air buangan (hasil perombakan anaerob). Penurunan ini disertai pula dengan peningkatan produksi gas metana (biogas). Pada suhu termofilik, penurunan COD tertinggi adalah sama pada kelompok B dan C, yaitu sebesar 68 %. Efisiensi penurunan COD yang tinggi terjadi pada minggu ke-6 karena pada tahap ini bakteri pendegradasi limbah cair dapat bekerja secara optimal. Hal ini

dikarenakan waktu tinggal (HRT) yang cukup lama untuk memberi kesempatan kontak lebih lama antara lumpur anaerobik dengan limbah cair, sehingga proses degradasi menjadi lebih baik, sedangkan efisiensi penurunan COD yang rendah terjadi pada minggu kedua. Hal ini disebabkan bakteri belum berkembang banyak sehingga proses degradasi masih lambat atau belum berjalan optimal.

Proses reduksi/penurunan kandungan COD limbah cair dan limbah makanan berlangsung dengan cepat meskipun masih mengandung bahan pencemar yang tinggi. Hal ini menunjukkan mikroorganisme yang berasal dari lumpur aktif limbah tahu masih dapat beraktivitas dengan tinggi dalam campuran limbah makanan yang digunakan. Istilah lumpur aktif digunakan untuk suspensi biologis atau massa mikroba yang sangat aktif mendegradasi bahan-bahan organik terlarut. Cara ini dilakukan dengan memanfaatkan kemampuan mikroba mendegradasi bahan organik kompleks menjadi senyawa stabil dan dapat menurunkan nilai BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD limbah sekitar 70-95%.

2. BOD (*Biochemical Oxygen Demand*)

Hasil pengukuran BOD menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme (bakteri) untuk menguraikan senyawa organik yang terkandung di dalam air limbah. Sehingga semakin kecil kadar BOD menunjukkan bahwa jumlah mikroorganisme dalam limbah kecil, sebab oksigen yang dibutuhkan juga sedikit. BOD merupakan parameter yang umum dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran bahan organik pada air limbah. BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan bakteri aerobik untuk menguraikan bahan

organik di dalam air melalui proses oksidasi biologis (biasanya dihitung selama waktu 5 hari pada suhu 20°C). Semakin tinggi nilai BOD dalam air limbah, semakin tinggi pula tingkat pencemaran yang ditimbulkan.

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 5) menunjukkan bahwa variasi substrat dan suhu substrat, serta interaksi antara kedua perlakuan tersebut memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar BOD. Efisiensi perombakan anaerob pada suhu ruang ditunjukkan pada Lampiran 1. dan 2. Dari lampiran dapat terlihat bahwa terjadi penurunan nilai BOD untuk kelompok A dari 0,62 mg/l menjadi 0,44 mg/l sebesar 29 %, kelompok B dari 2,55 mg/l menjadi 1,68 mg/l sebesar 34%, dan kelompok C dari 2,83 mg/l menjadi 1,93 mg/l sebesar 32 %. Pada suhu termofilik terjadi penurunan BOD untuk kelompok A dari 0,62 mg/l menjadi 0,38 mg/l sebesar 38 %, kelompok B sebesar 41 %, dan kelompok C sebesar 43 %. Pada kelompok A mengandung bahan organik yang lebih sedikit dibandingkan kelompok yang lain sehingga kadar BOD hasil pengukuran relatif sedikit. Penurunan BOD kelompok B dari 2,55 mg/l menjadi 1,49 mg/l, sedangkan kelompok C dari 2,81 mg/l menjadi 1,66 mg/l. Efisiensi penurunan BOD yang tertinggi dari perombakan anaerob pada suhu termofilik, yaitu kelompok C.

3. TS (*Total Solids*)

Kadar *total solids* diukur berdasarkan jumlah padatan (mg/l) yang tersisa pada pemanasan suhu 103-105°C (Isa. *et al.*, 1980). Reduksi *total solid* (TS) antara 32 % sampai 38%, sedangkan bahan *activated sludge* reduksi TS sebesar 45 %-55 % (Priyono, 2002). Penurunan *total solids* disebabkan perombakan oleh

mikroorganisme, dimana kandungan bahan organik pada limbah cair tahu dan limbah rumah makan sangat tinggi dan mengandung unsur protein, lemak, dan karbohidrat rantai panjang. Karakteristik yang demikian membuat bahan tersebut mudah diolah secara biologis.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar TS. Hal tersebut terjadi karena bahan-bahan organik mengalami degradasi pada saat proses hidrolisis. Pada saat reaksi hidrolisis masih berlangsung, zat terlarut tersebut digunakan untuk reaksi selanjutnya yaitu asidogenesis, sehingga padatan total terlarut turun kembali. Selama proses hidrolisis, padatan tersuspensi berkurang karena telah berubah menjadi terlarut.

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 6) menunjukkan bahwa variasi substrat dan suhu substrat memberikan pengaruh yang nyata terhadap kadar TS, sedangkan interaksi antara kedua perlakuan tersebut tidak berpengaruh secara nyata.

Efisiensi penurunan TS tertinggi pada perlakuan suhu ruang dan suhu termofilik adalah sama pada kelompok C sebesar 71 % dan 80 %, sedangkan terendah pada kelompok A yaitu sebesar 64 % dan 66 %. Efisiensi penurunan TS pada perlakuan suhu tinggi yang tertinggi adalah kelompok B sebesar 72 %, sedangkan terendah pada kelompok A sebesar 42 %

4. VS (*Volatile Solids*)

Kadar VS ditentukan berdasarkan padatan tersuspensi mudah menguap (mg/l) yang berada pada bagian tengah sampel setelah pengocokan dan pendiaman selama 45 menit. Padatan tersebut kemudian dikeringkan dalam tanur

suhu 550°C selama 2 jam (Isa. *et al.*, 1980). Konsentrasi merupakan parameter penting dan dapat digunakan untuk perhitungan pembeban kapasitas biodigester. Semakin tinggi konsentrasi VS maka semakin tinggi pula pembebanan proses perombakan. *Volatile Solids* merupakan bahan makanan untuk proses hidrolisis dan pembentukan asam secara anaerob (Karki, Gautam and Karki, 1994).

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 7) menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan terhadap kadar VS pada variasi substrat, namun tidak demikian dengan variasi suhu dan interaksi antara kedua perlakuan tersebut.

Jumlah VS yang terproses menunjukkan jumlah bahan organik yang terdekomposisi dan gas yang diproduksi. Laju produksi gas dapat dihitung berdasarkan perhitungan VS yang terdekomposisi. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa terjadi peningkatan VS pada masing-masing kelompok. Peningkatan VS tertinggi pada perlakuan suhu ruang adalah kelompok C, sebesar 71 %, sedangkan terendah adalah kelompok A sebesar 64 %. Peningkatan VS tertinggi adalah sama pada perlakuan suhu ruang dan suhu termofilik yaitu pada kelompok B sebesar 79 %, sedangkan terendah kelompok A pada perlakuan suhu ruang yaitu sebesar 64 %. Persentase VS yang terdekomposisi dari bahan organik masih berada dalam kisaran pemrosesan bahan organik yang normal yaitu 28-70%. Persentase *volatil solid* dan efisiensi yang besar menunjukkan bahwa bahan terproses dengan optimal.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Variasi substrat limbah cair tahu dan limbah rumah makan berpengaruh meningkatkan produksi biogas. Perombakan anaerob pada suhu ruang selama 6 minggu dihasilkan biogas tertinggi dari limbah cair tahu 40 % dan limbah rumah makan 40 % yaitu sebesar 21.200 ml.
2. Suhu termofilik meningkatkan produksi biogas. Produksi biogas variasi substrat limbah cair tahu 60 % dan limbah rumah makan 20 % pada suhu termofilik lebih tinggi daripada suhu ruang yaitu sebesar 13.000 ml.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, maka saran dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian lebih lanjut mengenai perlakuan suhu tinggi yang lebih optimal masih perlu dilakukan sehingga produksi biogas yang diperoleh lebih berkualitas dalam segi komposisi dan volume biogas.
2. Penelitian komposisi biogas dan perbaikan rangkaian teknologi biodigester anaerob perlu dilakukan agar lebih efektif dalam pengolahan limbah menjadi biogas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, A.S. 2005. *Refining Biogas Produced from Biomass: An Alternative to Cooking Gas*. Chemical Engineering Department, Federal University of Technology, Minna, Niger state, Nigeria.
- Adrianto A., Setiadi, T., Syafilla, M., dan Liang, O.B. 2001. Studi kinetika reaksi hidrolisis senyawa kompleks organik dalam proses biodegradasi anaerob. *Jurnal Biosains* 6(1) : 1-9.
- Anonim. 2002. *Membuat Kompos dari Limbah Dapur*. Minggu pagi online. <http://www.kr.co.id/mp/function.setlocale> [20 Februari 2009].
- Anwar, N .2006. Kinetika Pertumbuhan Biofilm pada Proses Anaerobik dalam Reaktor Tangki. [*Tesis*] Magister Teknik Kimia. – ITB.
- Ann BX., Preston TR., Dolberg F., 2003. *The Introduction of Low Cost Polyethylene Tube Biodigester on Small-Scale Farm in Vietnam*. University of Tropical Agriculture Foundation Finea Ecologica. University of Agriculture and Forestry. The Duc. Ho Chi Minh City. Vietnam.
- Bitton, G. 1999. *Wastewater Microbiology*. 2nd ed. Wiley Liss Inc. New York
- Clifton Potter, dkk. 1994. *Limbah Cair Berbagai Industri di Indonesia Sumber Pengendalian dan Baku Mutu*. Proyek of EMDI-BAPEDAL.
- Dewanto, E. 2008. *Pengolahan Limbah Tapioka Menjadi Biogas (Energi Alternatif) Melalui Penerapan Teknologi Bioproses*. Fakultas Pertanian. Universitas Soedirman. Purwokerto.
- Djarwanti, Sartamtomo, dan Sukani. 2000. *Pemanfaatan Energi Hasil Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. Laporan Penelitian. Badan Penelitian dan Pengembangan Industri
- De Mez , T. Z. D., Stams, A. J. M., Reith, J. H., and Zeeman, G. 2003. Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. In : *Biomethane and Biohydrogen Status and Perspectives of biological methane and hydrogen production*. Edited by J.H. Reith, R.H. Wijffels and H. Barten. Dutch Biological Hydrogen Foundation.
- Diky, A., Fahritesi, AR., Feronica, SW., Putri, DS. 2008. Proses Pengolahan Limbah Tahu dan Penurunan Baku Mutu Lingkungan Limbah Cair yang layak Dibuang ke Lingkungan. [*Tugas Akhir*]. Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Dina, NF, 2007. Pengaruh Lemak pada Limbah Instalasi Gizi (dapur) terhadap Efektifitas Pengolahan Limbah di Rumah Sakit PKU Muhammadiyah

Surakarta. [Skripsi]. Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Fry, L.J., 1974, *Practical Building of Methane Power Plant For Rural Energy Independence*, 2nd edition, Chapel River Press, Hampshire-Great Britain.

Grady, Gel. 1980. *Biological Waste Water Treatment Theory and Application*. Marcal and Dekker, Inc. New York.

Gunnerson, C.G., and Stuckey, D.C. 1986, Integrated Resources Recover Anaerobic Digestion Principles and Practices for Biogas System, *World Bank Technical paper* Number 49, Washington DC.

Harahap FM., Apandi dan Ginting. 1978. *Teknologi Gasbio*. Pusat Teknologi Pengembangan Insitut Teknologi Bandung. Bandung.

Hartati. 2003. *Mengelola Air Limbah Hasil Proses Pembuatan Tahu*. Proristand Indag. Surabaya

Haryati, T. 2006. Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. Balai Penelitian Ternak. *Jurnal Wartazoa*. Vol. 16., No. 3. [<http://neilamz.files.wordpress.com/2010/01/wazo163-5.pdf>].

Hermawan, B., Lailatul, Q., dan Candrarini, P. 2007. *Pemanfaatan Sampah Organik sebagai Sumber Biogas Untuk Mengatasi Krisis Energi Dalam Negeri*. Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa. Universitas Lampung. Bandar Lampung

Indriani TH. 2000. *Teknik Pengolahan Limbah Kegiatan Usaha Peternakan*. Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lembaga Penelitian. IPB. Bogor.

Indriyati 2002. Pengaruh Waktu Tinggal Substrat Terhadap Efisiensi Reaktor Tipe Totally Mix. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia* 4:67-71

Jawad, M and Tare, V. 1999. *Microbial composition assessment of anaerobic biomass through methanogenic activity tests*. Water S.A. no.25. <http://www.ias.unu.edu/pub/re-briefs/full-text.pdf> [22 Februari 2009]

Karki, A. B., Gautam, K. M., and Karki, A. 1994. *Biogas for Sustainable Development in Nepal*. Paper presented at Second International Conference on Science ant Technology for Poverty Alleviation organized by Royal Nepal Academy for Science and Technology (RONAST), Kathmandu, Nepal. 8-11 June 1994.

Kadarwati, S. 2003. *Studi Pembuatan Biogas dari Kotoran Kuda dan sampah organik Skala Laboratorium*. Publikasi P3TEK Vol. 2, No.1. Bandung.

- Kasmidjo, RB. 1990. *Penanganan Limbah Pertanian, Perkebunan dan Industri Pangan*. Pusat AntarUniversitas Pangan dan Gizi. UGM. Yogyakarta.
- Kresnawaty, I., Susanti, I., Siswanto, dan Panji, T. 2008 Optimasi Produksi Biogas dari Limbah lateks Cair dengan Penambahan Logam. *Menara Perkebunan*. No 76(1) hal 23-35.
- Lusk, P. 1991. Methane recovery from animal manures: the current opportunities casebook. *National Renewable Energy Laboratory*, NREL/SR-580-25245. <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/25145.pdf>
- Mackie, R. J. and M. P. Bryant. 1995. Anaerobic digestion of cattle waste and mesophilic and thermophilic temperatures. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 43: 346–350.
- Mahajoeno, E 2008. Pengembangan Energi Terbarukan dari Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit. [*Disertasi*] Program Pascasarjana IPB Bogor.
- Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatra Utara.
- Maramba, Felix D., Sr. 1978. *Biogas and waste recycling: The Philippine experience*. Philippines: Metro Manila Maya Farms Division--Liberty Flour Mills.
- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*. 4th ed. McGraw-Hill, Singapore.
- Moog, FA., Avilla, HF., Agpaoa, EV., Valenzuela, FG., and Concepcion, FC. 1997. *Promotion and Utilization of Polyethylene Biodigester in Smallhold Farming System in The Philippines*, Livestock Research for Rural Development, Vol. 9, No. 2. Philippine.
- Mukono, H.J. 2000. *Prinsip dasar Kesehatan Lingkungan*. Universitas Airlangga Press. Surabaya
- Mustofa, H.A. 2000. *Kamus Lingkungan*. Cetakan pertama. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
- National Academy of Sciences (NAS) 1981. *Methane generation from human, animal, and agricultural wastes*. Second edition. National Academy of Sciences, Washington, D.C. 131p.
- Nugroho, A., Djoko M R.P., dan Danny S. 2007. *Cara Mengatasi Limbah Rumah Makan*. Teknik Kimia Universitas Diponegoro : Semarang.

- Ojolo, S.J., Oke, S.A., Animasahun, K., and Adesuyi, B.K. 2007. Utilization of Poultry, Cow and Kitchen Waste for Biogas Production: A Comparative Analysis. *Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng.*, Vol. 4, No. 4, pp. 223-228
- Pambudi, N.A. 2008. *Pemanfaatan biogas sebagai energi alternatif*. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik:Universitas Gadjah Mada. <http://www.dikti.org/?=node/99> [21 Desember 2009]
- Poels, J., Neukermans, G., van Assche, P., Debruychere, P., and Verstraete. W. 1983. Performance, operations, and benefits of an anaerobic digestion system on a closed piggery farm. *Agric. Wastes* 8:233-249.
- Priyono, H. 2002. *Pemanfaatan Lumpur dan Limbah Padat Industri Tapioka untuk Produksi Piogas*, Pascasarjana IPB, Bogor.
- Raliby, O; Retno,R.; dan Imron, R. 2009. Pengolahan limbah cair tahu menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif pada industri pengolahan tahu.
- Reith, J.H., H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, Niessen, J.J., de Jong, E., Elbersen, H.W., Weusthuis, R., van Dijken, J.P. and Raamsdonk, L. 2002. Co-production of bio-ethanol, electricity and heat from biomass residues. *Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, 17 -21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands*. pp. 1118 - 1123.
- Reksowardojo, IK dan Soerawidjaja, T H. 2006. *Teknologi pengembangan bioenergi untuk industri pertanian*. Dalam Agung H, Sardjono, TW Widodo, P Nugroho dan Cicik S. Pros. Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian : Bioenergi dan Mekanisasi Pertanian untuk Pembangunan Industri Pertanian. 29-30 Nov. 2006. Bogor.
- Sahirman, S. 1994. Kajian Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Memproduksi Gasbio. [*Tesis*]. Program Pascasarjana IPB : Bogor.
- Said, D. dkk. 2006. *Biogas Skala Rumah Tangga*. Program Bio Energi Pedesaan (BEP). Ditjen PPHP Deptan. Jakarta. .
- Syaf, M. 2007. Efektifitas Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu di Kota Madiun. [*Tesis*]. Program Studi Ilmu Lingkungan. Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Simamora, S. 2004. *Makalah Pelatihan Pembuatan Pupuk Organik Yang Berkualitas dalam Rangka Pengembangan Pertanian Terpadu yang Berwawasan Lingkungan*, Kerja sama IPB dan Earth University. IPB Press. Bogor.
- Singgih, M.L dan Mera, K. 2008. Perancangan Alat Teknologi Tepat Guna untuk Mengurangi Dampak Lingkungan dan Meningkatkan Pendapatan Rumah

Pemotongan Ayam. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi VIII*. Program Studi MMT-ITS : Surabaya.

- Siregar, P. 2009. Produksi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Cair pabrik Kelapa Sawit dengan Digester Anaerob. *Jurnal Lingkungan*. <http://avg.urlseek.vmn.net/search.php?lg=en&mkt=en&type=dns&tb=ie&bn=avg&q=uwityangyoyo%2Ewordpress%2Ecom> [April 2009].
- Soeparno. 1992. *Ilmu Dan Teknologi Daging*. Penerbit Gajah Mada Press. Yogyakarta.
- Sola, L. 1994. *Pengembangan dan Uji Coba Peralatan Pengolahan Air Limbah Industri Tempa dan Tahu*. Laporan Penelitian. Badan Penelitian dan Pengembangan Industri Ujung Pandang.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. UI-Press. Jakarta.
- Sulistiyanto, E dan Swarnam, H. W. 2003. *Tecno Limbah*. Majalah Pusat Pengembangan Teknologi Limbah Cair. Volume 7 tahun 2003. Penerbit Pusat Pengembangan Teknologi Limbah Cair. Yogyakarta.
- Triwahyuningsih, N., Adiprasetya, R. 2008. *Pemanfaatan Energi Biomassa sebagai Biofuel : Konsep Sinergi dengan Ketahanan Pangan di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Fakultas Teknik UMY.
- Wellinger, A. and Lindeberg, A. 1999. Biogas upgrading and utilization. *IEA Bioenergy Task 24: energy from biological conversion of organic wastes*. 18 p <http://www.IEA Bioenergy/Task 24.edu/pdf>.
- Wenas, R.I.F, Sunaryo, dan Styasmi, S. 2002. *Comperative Study on Characteristics of Tannery, "Kerupuk Kulit", "Tahu-Tempe" and Tapioca Waste Water and the Altemative of Treatment*. *Environmental Technology*. Ad. Manag. Seminar, Bandung, January 9-10, 2003 p. Pos 5-1 - pos 5-8.
- Wibowomoekti, PS. 1997. Kandungan *Salmonella spp* dari Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan (Studi Kasus RPH Cakung Jakarta). [Tesis] Program Pascasarjana. IPB. Bogor.
- Wijayanti, E dan Andrianto, G. 2008. Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Industri Tahu dan Limbah Kotoran Sapi. [Tugas Akhir]. Teknik Kimia Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Lampiran 1. Efisiensi penurunan COD, BOD, dan TS serta peningkatan VS setelah perombakan anaerob pada suhu ruang selama 6 minggu.

Parameter	Kelompok Substrat	Waktu				Efisiensi (%)
		Minggu 0	Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	
COD (gr/l)	RA	2,15	1,84	1,28	0,92	57
	RB	8,85	4,25	3,86	2,84	68
	RC	12,32	9,07	5,88	4,57	62
BOD (gr/l)	RA	0,62	0,56	0,48	0,44	29
	RB	2,55	2,45	2,25	1,68	34
	RC	2,83	2,66	2,55	1,93	32
TS (gr/l)	RA	16,26	8,18	6,3	5,84	64
	RB	45,08	26,57	15,17	13,54	70
	RC	67,22	34,31	28,02	19,27	71
VS (gr/l)	RA	1,9	5,73	5,37	5,49	65
	RB	2,42	10,18	10,93	11,75	79
	RC	3,26	12,8	13,54	13,55	76

Lampiran 2. Efisiensi penurunan COD, BOD, dan TS serta peningkatan VS setelah perombakan anaerob pada suhu termofilik selama 6 minggu.

Parameter	Kelompok Substrat	Waktu				Efisiensi (%)
		Minggu 0	Minggu 2	Minggu 4	Minggu 6	
COD (gr/l)	TA	1,69	1,38	0,73	0,64	62
	TB	8,56	3,37	3,11	2,76	68
	TC	11,54	8,05	5,11	3,64	68
BOD (gr/l)	TA	0,62	0,51	0,48	0,38	38
	TB	2,55	2,32	2,12	1,49	41
	TC	2,81	2,59	2,46	1,66	43
TS (gr/l)	TA	16,26	7,45	6,2	5,49	66
	TB	45,08	26,03	15,17	11,75	74
	TC	67,22	32,37	27,83	13,55	80
VS (gr/l)	TA	1,9	4,94	5,37	5,32	64
	TB	2,42	10,3	10,47	11,54	79
	TC	3,26	11,41	13,14	13,61	76

Lampiran 3. Hasil Analisis *General Linear Model (GLM) Univariate* dan dilanjutkan uji *Turkey* pada Volume Biogas selama 6 minggu.

Descriptive Statistics

Dependent Variable: biogas_minggu6

substrat	suhu	Mean	Std. Deviation	N
LT 80%	suhu ruang	1969.33	649.250	3
	suhu termofilik	2986.67	2586.529	3
	Total	2478.00	1776.275	6
LT 60%+LM 20%	suhu ruang	1.08E4	4017.893	3
	suhu termofilik	1.30E4	9189.311	3
	Total	1.19E4	6459.477	6
LT 40%+LM 40%	suhu ruang	2.12E4	8746.600	3
	suhu termofilik	1.22E4	7405.230	3
	Total	1.67E4	8761.725	6
Total	suhu ruang	1.13E4	9632.741	9
	suhu termofilik	9412.22	7735.772	9
	Total	1.04E4	8532.073	18

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: biogas_minggu6

F	df1	df2	Sig.
3.101	5	12	.050

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + substrat + suhu + substrat * suhu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: biogas_minggu6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.595E8 ^a	5	1.519E8	3.813	.027
Intercept	1.935E9	1	1.935E9	48.578	.000
substrat	6.293E8	2	3.146E8	7.898	.006
suhu	1.648E7	1	1.648E7	.414	.532
substrat * suhu	1.137E8	2	5.684E7	1.427	.278
Error	4.781E8	12	3.984E7		
Total	3.173E9	18			
Corrected Total	1.238E9	17			

a. R Squared = .614 (Adjusted R Squared = .453)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

biogas_minggu6

Tukey HSD

substrat	N	Subset	
		1	2
LT 80%	6	2478.00	
LT 60%+LM 20%	6	1.19E4	1.19E4
LT 40%+LM 40%	6		1.67E4
Sig.		.057	.414

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 39839833.944.

Lampiran 4. Hasil Analisis *General Linear Model (GLM) Univariate* dan dilanjutkan uji *Turkey* pada COD minggu ke-6.

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable:COD_minggu6

F	df1	df2	Sig.
1.699	5	12	.209

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + substrat + suhu + substrat * suhu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable:COD_minggu6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.513E7 ^a	5	7025633.656	6.279E3	.000
Intercept	1.181E8	1	1.181E8	1.055E5	.000
substrat	3.371E7	2	1.685E7	1.506E4	.000
suhu	829901.389	1	829901.389	741.719	.000
substrat * suhu	591391.444	2	295695.722	264.276	.000
Error	13426.667	12	1118.889		
Total	1.532E8	18			
Corrected Total	3.514E7	17			

a. R Squared = 1.000 (Adjusted R Squared = .999)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

COD_minggu6

Tukey HSD

substrat	N	Subset		
		1	2	3
LT 80%	6	778.17		
LT 60%+LM 20%	6		2800.67	
LT 40%+LM 40%	6			4104.33
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 1118.889.

Lampiran 5. Hasil Analisis *General Linear Model (GLM) Univariate* dan dilanjutkan uji *Turkey* pada BOD minggu ke-6.

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: BOD_minggu6

F	df1	df2	Sig.
2.803	5	12	.067

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + substrat + suhu + substrat * suhu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: BOD_minggu6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.753E6 ^a	5	1350692.856	717.055	.000
Intercept	2.841E7	1	2.841E7	1.508E4	.000
substrat	6535316.778	2	3267658.389	1.735E3	.000
suhu	164546.722	1	164546.722	87.354	.000
substrat * suhu	53600.778	2	26800.389	14.228	.001
Error	22604.000	12	1883.667		
Total	3.519E7	18			
Corrected Total	6776068.278	17			

a. R Squared = .997 (Adjusted R Squared = .995)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

BOD_minggu6

Tukey HSD

substrat	N	Subset		
		1	2	3
LT 80%	6	410.67		
LT 60%+LM 20%	6		1588.83	
LT 40%+LM 40%	6			1769.67
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 1883.667.

Lampiran 6. Hasil Analisis *General Linear Model (GLM) Univariate* dan dilanjutkan uji *Turkey* pada *Total Solids* minggu ke-6.

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: TS_minggu6

F	df1	df2	Sig.
2.616	5	12	.080

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + substrat + suhu + substrat * suhu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TS_minggu6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	543.375 ^a	5	108.675	247.777	.000
Intercept	2810.001	1	2810.001	6.407E3	.000
substrat	539.397	2	269.698	614.907	.000
suhu	2.707	1	2.707	6.171	.029
substrat * suhu	1.272	2	.636	1.450	.273
Error	5.263	12	.439		
Total	3358.639	18			
Corrected Total	548.638	17			

a. R Squared = .990 (Adjusted R Squared = .986)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

TS_minggu6

Tukey HSD

substrat	N	Subset		
		1	2	3
LT 80%	6	5.6533		
LT 60%+LM 20%	6		12.7767	
LT 40%+LM 40%	6			19.0533
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .439.

Lampiran 7. Hasil Analisis *General Linear Model (GLM) Univariate* dan dilanjutkan uji *Turkey* pada *Volatile Solids* minggu ke-6.

Levene's Test of Equality of Error Variances^a

Dependent Variable: VS_minggu6

F	df1	df2	Sig.
2.474	5	12	.092

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Design: Intercept + substrat + suhu + substrat * suhu

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VS_minggu6

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	219.075 ^a	5	43.815	293.492	.000
Intercept	1876.802	1	1876.802	1.257E4	.000
substrat	218.958	2	109.479	733.335	.000
suhu	.056	1	.056	.372	.553
substrat * suhu	.062	2	.031	.208	.815
Error	1.791	12	.149		
Total	2097.669	18			
Corrected Total	220.867	17			

a. R Squared = .992 (Adjusted R Squared = .989)

Post Hoc Tests

Homogeneous Subsets

VS_minggu6

Tukey HSD

substrat	N	Subset		
		1	2	3
LT 80%	6	5.4067		
LT 60%+LM 20%	6		11.6467	
LT 40%+LM 40%	6			13.5800
Sig.		1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = .149.

Lampiran 8. Hasil Analisis sidik ragam (ANOVA) dan dilanjutkan uji *Duncan* signifikansi 5 % pada Volume Biogas pada suhu ruang dan suhu termofilik selama 6 minggu.

a. Suhu Ruang

Descriptives

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
RA	3	1969.33	649.250	374.845	356.51	3582.16	1220	2364
RB	3	1.08E4	4017.893	2319.732	823.67	20785.67	6940	14960
RC	3	2.12E4	8746.600	5049.852	-523.76	42931.76	11400	28207
Total	9	1.13E4	9632.741	3210.914	3921.62	18730.38	1220	28207

Test of Homogeneity of Variances

biogas_minggu6				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
4.892	2	6	.055	

ANOVA

biogas_minggu6					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.562E8	2	2.781E8	8.964	.016
Within Groups	1.861E8	6	3.102E7		
Total	7.423E8	8			

biogas_minggu6

Tukey HSD

perlakuan 1	N	Subset for alpha = 0.05	
		1	2
RA	3	1969.33	
RB	3	10804.67	10804.67
RC	3		21204.00
Sig.		.207	.134

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

b. Suhu termofilik**Descriptives**

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
TA	3	2986.67	2586.529	1493.333	-3438.63	9411.96	640	5760
TB	3	1.30E4	9189.311	5305.451	-9794.18	35860.85	6290	23500
TC	3	1.22E4	7405.230	4275.412	-6178.94	30612.28	5760	20300
Total	9	9412.22	7735.772	2578.591	3465.98	15358.46	640	23500

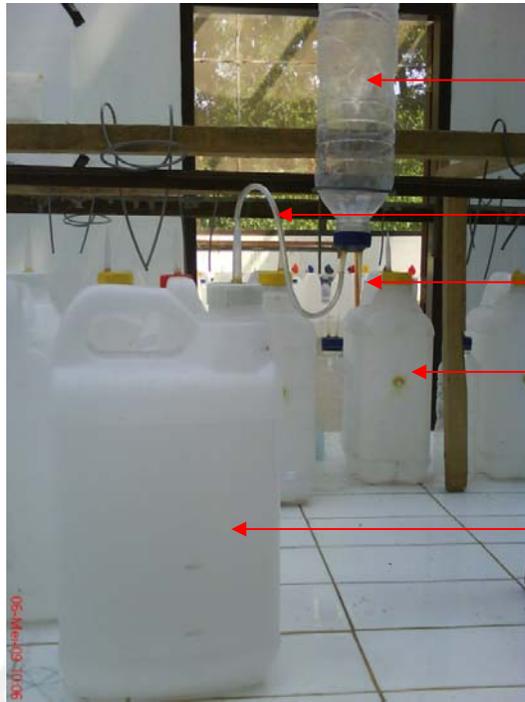
Test of Homogeneity of Variances

biogas_minggu6			
Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.559	2	6	.157

ANOVA

biogas_minggu6					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.868E8	2	9.340E7	1.920	.227
Within Groups	2.919E8	6	4.866E7		
Total	4.787E8	8			

Lampiran 9. Dokumentasi Penelitian



Keterangan:

1. botol pengumpul gas
2. tip (tempat air keluar)
3. selang
4. biodigester anaerob
5. lubang untuk mengambil sampel

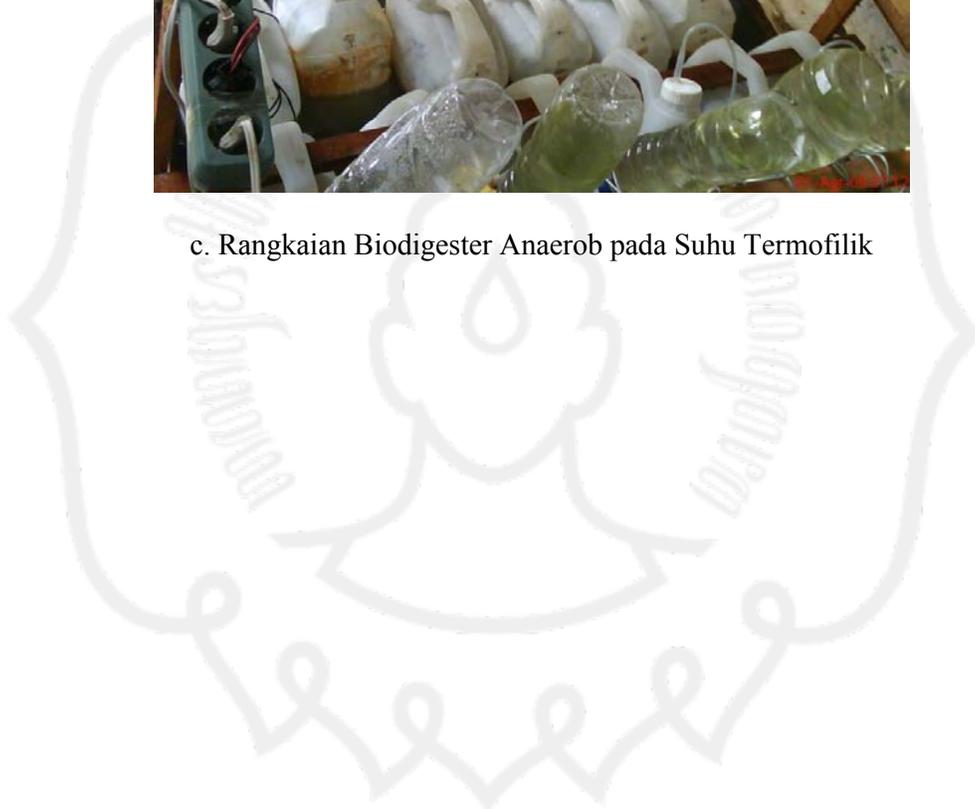
a. Satu Rangkaian Biodigester Anaerob



b. Rangkaian Biodigester Anaerob pada Suhu Ruang



c. Rangkaian Biodigester Anaerob pada Suhu Termofilik



RIWAYAT HIDUP PENULIS

Nama lengkap : Siti Nur Chotimah

Tempat dan tanggal lahir : Klaten, 26 November 1986

Jenis kelamin : Perempuan

Agama : Islam

Status pernikahan : Belum menikah

Alamat asal : Jln. Dr. Soetomo No. 157, Karanganom, Klaten
Utara, Klaten 57438

Alamat di Solo : Jln. Halilintar VI Rt 03/10 Ketingan Kulon,
Jebres, Surakarta 57126

No. Hp : 085642041519

Alamat E-mail : Siti_nurchotimah@yahoo.co.id

Pendidikan Formal

Tingkat pendidikan	Nama	Tahun mulai	Tahun selesai
TK	TK Aisyah Bustanul Alfa Karanganom	1990	1992
SD	MIM 8 Karanganom	1993	1999
SLTP	SLTP Negeri 4 Klaten	1999	2002
SLTA	SMA Negeri 1 Karanganom	2002	2005

Pendidikan Non Formal

Nama Pelatihan/ Kursus	Instansi Penyelenggara	Tahun
Ajang Pelatihan dan Peningkatan Motivasi Mahasiswa	BEM FMIPA UNS	2005
Test EAP (English for Academic Purposes)	UPT P2B UNS	2006
Pelatihan Teknis Penulisan Proposal dan Karya Ilmiah untuk Mahasiswa dalam Mempercepat Tugas Akhir	Hibah Kompetisi- A2 Jurusan Biologi FMIPA UNS	2009

Beasiswa yang pernah diperoleh

Nama beasiswa	Instansi pemberi	Tahun
TPSDP	-	2006-2007

Pengalaman Organisasi

Organisasi	Jabatan	Tahun
Himabio	Staff Bidang Pendidikan dan Keilmiahan	2007-2008

Pengalaman Bekerja

Pekerjaan	Tahun
Praktek Kerja Lapangan di BPSDA Surakarta	2007

Surakarta, Maret 2010

Siti Nur Chotimah