library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH RUMAH MAKAN MELALUI PENINGKATAN SUHU DAN PENAMBAHAN UREA PADA PEROMBAKAN ANAEROB

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna memperoleh gelar Sarjana Sains

Disusun oleh :
Anugrah Adi Santoso
M0404028

JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010

Halaman Persetujuan Pembimbing

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH RUMAH MAKAN MELALUI PENINGKATAN SUHU DAN PENAMBAHAN UREA PADA PEROMBAKAN ANAEROB

Oleh :

Anugrah Adi Santoso
M0404028

Telah disetujui oleh Tim Pembimbing

Tanda Tangan

Pembimbing I Dr. Edwi Mahajoeno, M. Si
.....
NIP. 196010251997021001

Pembimbing II Dr. Sunarto, M. S
.....
NIP. 195406051991031002

Surakarta, 5 Maret 2010

Mengetahui
Ketua Jurusan Biologi

Dra. Endang Anggarwulan, M.Si
NIP. 195003201978032001

PENGESAHAN

SKRIPSI

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH RUMAH MAKAN MELALUI PENINGKATAN SUHU DAN PENAMBAHAN UREA PADA PEROMBAKAN ANAEROB

Oleh :
Anugrah Adi Santoso
NIM. M0404028

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 9 Februari 2010
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Surakarta,.....

Penguji I	Penguji II
Dr. Prabang Setyono, M.si	Prof. Drs. Sutarno, M.Sc., Ph.D
NIP. 197205241999031002	NIP. 19600809 198612 1 001
Penguji III	**Penguji IV**
Dr. Sunarto, Drs., M.S	Dr. Edwi Mahajoeno, M. Si
NIP. 19540605 19910 31 002	NIP. 19601025 199702 1 001

Mengesahkan

Dekan FMIPA	Ketua Jurusan Biologi
Prof. Drs. Sutarno, M.Sc., Ph.D.	Dra. Endang Anggarwulan, M.Si.
NIP. 19600809 198612 1 001	NIP. 19500320 197803 2 001

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil penelitian saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

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,

Anugrah Adi Santoso
NIM. M0404028

PRODUKSI BIOGAS DARI LIMBAH RUMAH MAKAN MELALUI PENINGKATAN SUHU DAN PENAMBAHAN UREA PADA PEROMBAKAN ANAEROB

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

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

ABSTRAK

Pada masyarakat modern dihasilkan sejumlah besar limbah organik. Sampah atau limbah padat berasal dari sisa tanaman, sisa makanan, kotoran, limbah perkotaan, dan lumpur yang berasal dari limbah pengolahan air. Bahan-bahan tersebut sering dibuang ke landfill yang dapat menyebabkan masalah lingkungan.Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kondisi efektif untuk produksi biogas pada perombakan anaerob jenis substrat limbah rumah makan dan mengetahui pengaruh perbedaan temperatur substrat perombakan anaerob yang mampu meningkatkan produksi biogas, serta mengetahui pengaruh penambahan urea dalam digester terhadap produksi biogas.

Penelitian dimulai dengan pembuatan inokulum dan substrat dari bahan dasar limbah makanan selama perombakan anaerob. Hasil dari perombakan anaerob dianalisis kimiawi dan volume biogas yang dihasilkan, meliputi : Suhu, pH, TS, VS, COD, BOD, dan Volume biogas. Konsentrasi substrat dan inokulum diperlakukan pada suhu mesofilik (ruang) dan suhu thermofilik (tinggi) dengan penambahan Urea. Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan perlakuan konsentrasi : inokulum 20% dan substrat 80% (kontrol), dan kontrol dengan penambahan urea 3% dan 6%. Semua pelakuan dilakukan pada suhu ruang (mesofilik) dan suhu tinggi (thermofilik) dalam digester dengan ulangan 3 kali. Pengukuran parameter dilakukan pada hari ke-0, 15, 30, dan 45. Data diperoleh dianalisis dengan ANOVA dilanjutkan dengan uji DMRT pada taraf signifikansi 5%.

Hasil penelitian menunjukkan perombakan anaerob limbah makanan dengan penambahan urea 3% pada suhu tinggi (thermofilik) diperoleh produksi biogas terbaik.

Kata kunci : Limbah makanan, biogas, perombakan anaerob, urea, suhu, pH

BIOGAS PRODUCTION FROM WASTE FOOD RESTAURANT ENHANCEMENT BY TEMPERATURE EXCALATION AND THE UREA ADDITION OF ANAEROBIC REFORMS

Anugrah Adi santoso
Department of Biology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Sebelas Maret, Surakarta

ABSTRACT

In modern society generated a large amount of organic waste. Garbage or solid waste originating from crop residues, food scraps, manure, urban waste, and

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

sludge from waste water treatment. These materials are often dumped into landfills which can cause problems lingkungan.Tujuan this study was to determine the effective conditions for biogas production in anaerobic substrates revamp waste restaurant and know the effect of different substrate temperature anaerobic reforms which can increase biogas production, and to know the effect of adding urea in the digester for biogas production.

The study began with the creation of inoculum and substrate of the basic materials of food waste for anaerobic reshuffle. Results of chemical analysis and overhaul of anaerobic biogas volume produced, including: Temperature, pH, TS, VS, COD, BOD, and the volume of biogas. Substrate concentration and inoculum treated at mesophilic temperature (space) and thermofilik temperature (high) with the addition of urea. The design used in this study completely randomized design (CRD) with treatments of concentration: 20% inoculum and substrate 80% (control), and control with the addition of urea 3% and 6%. All pelakuan conducted at room temperature (mesophilic) and high temperature (thermofilik) in the digester with 3 replications. Parameter measurements performed on days 0, 15, 30, and 45. The data obtained were analyzed by ANOVA followed by DMRT at 5% significance level.

Results showed revamp with the addition of food waste anaerobic urea 3% at high temperature (thermofilik) obtained the best biogas production.

Keywords: food waste, biogas, anaerobic reform, urea, temperature, pH

MOTTO

"(sebab) sesungguhnya beserta (setelah) kesulitan ada kemudahan"

(QS. Al Insyirah 5-6)

"Seseorang dengan tujuan yang jelas akan membuat kemajuan, walaupun melewati jalan sulit. Seseorang yang tanpa tujuan tidak akan membuat kemajuan, walaupun ia berada di jalan yang mulus"

(Thomas Carlyle)

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

"Dalam hidup ini, kita buat sungai kehidupan kita. Kemudian alirkan kisah hidup kita disana. Sehingga hidup jadi lebih baik karenanya"

(Penulis)

"Sesungguhnya jalan hidup sudah dituliskan dalam suratan takdir sampai bagian terkecil dari tubuh ini. Maka jalani hidup ini dengan ikhlas penuh pejuangan (ikhtiar dan tawakal)"

(Penulis)

"Selalu berfikiran positif dalam hidup. Pasti akan membawa dampak/aura positif juga dalam hidup. Menjadikan hidup lebih baik dan bahagia"

(Penulis)

"Satu kata untuk menggambarkan hidup ini yaitu cinta"

(Penulis)

PERSEMBAHAN

Syukur alhamdulillah kupersembahkan karya indah ini untuk:
Allah SWT dan Rasulullah SAW
Negara Kesatuan Republik Indonesia
Ibu dan Bapakku Tercinta
Kakak (Kurnia Adi Cahyanto) dan adek (Wahyu Adi Wibowo) ku tersanyang kalian adalah bunga penghias taman kehidupanku.
Seluruh keluargaku tercinta dan tersayang
Para Guru yang telah mendidikku
Semua temanku and someone special
yang selalu ada dihatiku dan selalu mendukungku

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Al-Hadist dan Al-Furqon

Terima kasih atas kasih sayang, dukungan, perhatian, semangat dan doa kalian yang menjadi sumber energi untuk meraih cita dan cinta sampai detik ini.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahi rabbil alamin, puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan skripsi yang berjudul: " Produksi Biogas dari Limbah Rumah Makan Melalui Peningkatan Suhu dan Penambahan Urea pada Perombakan Anaerob". Penyusunan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar kesarjanaan strata 1 (S1) pada Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Selama melakukan penelitian maupun penyusunan skripsi ini penulis telah mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak yang sangat berguna dan bermanfaat baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

kesempatan yang baik ini dengan kelembutan hati penulis ingin mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya dan sebesar-besarnya kepada:

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., Ketua Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah memberikan ijin penelitian untuk keperluan skripsi.

Dr. Edwi Mahajoeno, M. Si., selaku dosen pembimbing I, yang telah memberikan bimbingan, meluangkan waktu, memberikan arahan, kesabaran dan dorongan kepada penulis selama penelitian sampai selesainya penyusunan skripsi. Terima kasih atas ilmu dan semua bantuan yang telah diberikan.

Dr. Sunarto, M.S., selaku dosen pembimbing II, yang telah memberikan bimbingan, meluangkan waktu, memberikan arahan, kesabaran dan dorongan kepada penulis selama penelitian sampai selesainya penyusunan skripsi.

Dr. Prabang Setyono, M.Si., selaku dosen penelaah I yang telah memberikan bimbingan selama penelitian sampai selesainya penyusunan skripsi.

Solichatun, M.Si., selaku pembimbing akademik yang telah membimbing dan memberi arahan kepada penulis.

Seluruh dosen dan staff di Jurusan Biologi yang dengan sabar memberikan ilmu dan dorongan baik spiritual maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Seluruh staff laboratorium pusat MIPA Sub. Lab. Biologi dan Sub Lab Kimia, serta Lab. Biologi Jurusan dan Lab. Kimia dan seluruh staff BBTKL PPM Yogyakarta. Terima kasih atas bantuan dan kerjasamanya selama ini.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Dengan kerendahan hati penulis menyadari bahwa dalam melakukan penelitian dan penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu masukan berupa saran dan kritik yang membangun dari pembaca akan sangat membantu. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi kita semua dan pihak-pihak terkait.

Surakarta,

Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERSETUJUAN ii
HALAMAN PERNYATAAN iv
ABSTRAK v
ABSTRACT vi
HALAMAN MOTTO vii
HALAMAN PERSEMBAHAN viii
KATA PENGANTAR ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
DAFTAR SINGKATAN xviii

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB I. PENDAHULUAN 1
A. Latar Belakang Masalah 1
B. Perumusan Masalah 3
C. Tujuan Penelitian 3
D. Manfaat Penelitian 4
BAB II. LANDASAN TEORI 5
A. Tinjauan Pustaka 5
1. Limbah Industri Pangan 5
1.1 Limbah Rumah Makan 5
2. Teknologi Fermentasi Anaerob 7
2.1 Prinsip Proses Fermentasi Anaerob 9
2.2 Faktor yang Berpengaruh pada Fermentasi Anaerob. 10
3. Produksi Biogas 18
3.1 Kualitas Biogas 19
B. Kerangka Pemikiran 22
BAB III. METODE PENELITIAN 24
A. Waktu dan Tempat Penelitian 24
B. Alat dan Bahan 24
C. Cara Kerja 26
a.Tahap Perisapan 27
b.Tahap Penelitian 27
1.Pembuatan Inokulum 27
2.Fermentasi Anaerob (Produksi Biogas) 28
3.Pengukuran pH dan Suhu 30
4.Pengukuran COD dan BOD 30
5.Pengukuran Total Solids (TS) dan Volatil solids (VS) 31
D. Rancangan Percobaan 32
E. Analisis Data 34
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 35
a. Hasil Penelitian 35
b. Pembahasan 43

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB V. PENUTUP 65
A. Kesimpulan 65
B. Saran 65
DAFTAR PUSTAKA 66
LAMPIRAN 74
RIWAYAT HIDUP PENULIS 100

DAFTAR TABEL

Halaman

Tabel 1. Macam bakteri berdasarkan temperatur hidup 10
Tabel 2. Komposisin biogas 19
Tabel 3. Nilai kalori biogas dan bahan bakar lain 20
Tabel 4. Rancangan percobaan pencernakan limbah anaerob..... 33
Tabel 5. Karakterisasi awal substrat untuk percobaan 35
Tabel 6. Rata-rata pH substrat dalam 4 kali waktu pengamatan 36
Tabel 7. Produksi biogas dari limbah organik rumah makan, inokulum ,dan urea menggunakan biodigester sistem curah dengan waktu fermentasi 6 minggu 37
Tabel 8. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) pada nilai COD substrat limbah rumah makan, inokulum, dan urea pada fermentasi anaerob..... 39
Tabel 9. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) pada nilai BOD substrat limbah rumah makan, inokulum, dan urea pada fermentasi anaerob..... 39
Tabel 10. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%)total solids substrat limbah rumah makan dan campuran molase pada fermentasi anaerob 40

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Tabel 11. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) volatil solids substrat limbah rumah makan dan campuran molase pada fermentasi anaerob 40

Tabel 12. Pengaruh konsentrasi COD pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob 41

Tabel 13. Pengaruh konsentrasi BOD pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob 41

Tabel 14. Pengaruh konsentrasi TS pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob 41

Tabel 15. Pengaruh konsentrasi VS pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob. 42

Tabel 16. pH substrat sebelum dan sesudah diberi kapur dan NaOH sebagai pH pada hari ke-0 55

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 1. Bagan alir kerangka pemikiran penelitian..... 23

Gambar 2. Produksi biogas pada suhu ruang (25-32°C) dan suhu tinggi (50°C)..... 38

Gambar 3. Jumlah volume biogas yang diperoleh dari masing-masing kelompok substrat pada kondisi suhu ruang (25-32°C) pada hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45..... 46

Gambar 4. Jumlah volume biogas yang diperoleh dari masing-masing kelompok substrat pada kondisi suhu tinggi (50°C) pada hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45..... 46

Gambar 5. Rata-rata suhu substrat pada kondisi suhu ruang (25-32°C) pada hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45.. 52

Gambar 6. Rata-rata suhu substrat pada kondisi suhu tinggi (50°C) pada hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45 53

Gambar 7. Rata-rata pH masing-masing kelompok substrat pada suhu ruang (25-32°C) pada hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45..... 55

Gambar 8. Rata-rata pH masing-masing kelompok substrat pada suhu tinggi (50ºC) pada hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45..... 56

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Lampiran 1. Hasil pengukuran parameter fisik (suhu, volume biogas, dan uji nyala), kimia (pH, COD, BOD, VS, dan TS), dan biologi dalam 4 kali waktu pengamatan selama 45 hari waktu penelitian 74

Lampiran 2. Pengaruh variasi jenis substrat dan perbedaan suhu lingkungan terhadap nilai COD dalam 4 kali waktu pengamatan selama 45 hari waktu penelitian..... 76

a.Uji Anava 76

b.Uji DMRT 76

Lampiran 3. Pengaruh variasi jenis substrat dan perbedaan suhu lingkungan terhadap nilai BOD dalam 4 kali waktu pengamatan selama 45 hari waktu penelitian..... 76

a.Uji Anava 76

b.Uji DMRT 76

Lampiran 4. Pengaruh variasi jenis substrat dan perbedaan suhu lingkungan terhadap nilai total solids (TS) dalam 4 kali waktu pengamatan selama 45 hari waktu penelitian..... 77

a.Uji Anava 77

b.Uji DMRT 88

Lampiran 5. Pengaruh variasi jenis substrat dan perbedaan suhu lingkungan terhadap nilai volatil solids (VS) dalam 4 kali waktu pengamatan selama 45 hari waktu penelitian..... 79

a.Uji Anava 79

b.Uji DMRT 80

Lampiran 6. Pengaruh variasi jenis substrat dan perbedaan suhu lingkungan terhadap jumlah volume biogas selama 45 hari waktu pengamatan 81

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Kepanjangan
CH_4	Karbon Tetra Hidroksida (metana)
CO_2	Karbon dioksida
C	Karbon
N	Nitrogen

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

O	Oksigen
H_2	Hidrogen
H_2S	Hidrogen sulphur
l	Liter
ml	Mililiter
kg	Kilogram
m^3	Meter kubik
LPG	Liquid Petroleum Gas
°C	Derajat celcius
VS	Volatil solids
SPC	Sistem Pengisian Curah
TS	Total Solids
P	Posfor
K	Kalium
Ca	Kalsium
Mg	Mangan
Fe	Fero (besi)
M	Molar
Na	Natrium
kwj	Kilo watt joule
kkal	Kilo kalori
Cl_2	Diklorid
F_2	Fluor II
ppm	Part Per Million
SO_2	Sulphur dioksida
SO_3	Sulphur trioksida
H_2SO_3	Sulphur acid
cm	Sentimeter
Na(OH)	Natrium hidroksida

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

mm	Milimeter
COD	Chemical Oxygen Demand
ANAVA	Analisis of Varian
DMRT	Duncan Multiple Range Test
LM+M	Limbah makanan ditambahkan molase
NH_3	Nitrit
M_n	Minggu ke_n
SnTnMn	Substrat, Suhu, Waktu
mM	Mili molar
µg	Mikro gram
LCPMKS	Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit
VFA	Volatile Fatty Acid
mg/l	Milligram per liter
NAS	National Academy of Sciences
pH	Derajat keasaman
g/l	Gram per liter
HRT	Hidrolitic Retention Time

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Berbagai kegiatan manusia selain menghasilkan produk juga menghasilkan limbah baik organik maupun anorganik. Limbah yang dihasilkan berasal dari sisa tanaman, sisa makanan, kotoran, limbah perkotaan, dan lumpur yang berasal dari limbah pengolahan air. Bahan-bahan tersebut sering dibuang ke landfill, di mana dapat menyebabkan masalah lingkungan, seperti : melepaskan mineral dan logam berat, serta menguapnya gas methan, CO_2, hidrogen sulfida, dan lain-lain.

Dampak yang telah dirasakan oleh seluruh masyarakat dunia akibat dari pencemaran limbah tersebut salah satunya adalah pemanasan global atau "*Global Warming*" yang merupakan fenomena naiknya suhu bumi sehingga dikhawatirkan akan mengancam kesehatan manusia.

Menurut Nurmaini (2001), pemanasan global dan rusaknya lapisan ozon pada stratosfer bumi disebabkan terakumulasinya gas rumah kaca dalam jumlah yang berlebihan. Gas inilah yang bergesekan atau bereaksi dengan lapisan ozon, yang menyebabkan ozon rusak. Dalam hal ini maka perlu dilakukan suatu tindakan nyata yaitu dengan mengolah limbah tersebut agar tidak merusak lingkungan sekitar.

Berbagai teknik pengolahan limbah organik menjadi biogas dan produk alternatif lainnya yang telah dicoba dan dikembangkan selama ini belum

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

memberikan hasil yang optimal. Dalam mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan suatu metode penanganan limbah yang tepat, terarah dan berkelanjutan. Teknologi biokonversi (digester) anaerob merupakan teknologi sederhana, mudah dipraktekkan, dengan peralatan relatif murah dan mudah didapat.

Permasalahan yang ada saat ini adalah desain digester yang selama ini telah digunakan dalam pengolahan limbah organik umumnya memiliki desain yang rumit sehingga diperlukan tenaga ahli untuk membuatnya dan juga membutuhkan dana besar dalam pembuatannya (Kharistya, 2004). Oleh karena itu diperlukan tipe digester alternatif yang lebih sederhana dan mudah pengoperasiannya, sehingga dapat diterapkan di industri rumah makan kecil. Selain itu, perlu modifikasi sistem biodigester agar dapat dihasilkan biogas secara optimal. Modifikasi tersebut misalnya pemberian variasi substrat, baik jenis maupun konsentrasi dan dengan perlakuan yang berbeda pada beberapa parameter, seperti suhu, pH, agitasi dan sebagainya, terhadap substrat yang digunakan

Perlakuan dengan amonia atau amoniasi merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan nilai nutrisi dan memungkinkan penyimpanan bahan berkadar air tinggi dengan menghambat pertumbuhan jamur (Owen, 1984).

Kesadaran para pelaku industri khususnya industri rumah makan baik dalam skala kecil ataupun besar dalam pengelolaan limbah yang dihasilkan mendorong dilakukannya penelitian yang mengkaji tentang pembentukan biogas

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

melalui metode biokonversi (digester) anaerob dengan media limbah rumah makan/kantin melalui peningkatan suhu dan penambahan urea pada perombakan anaerob. Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi ini diharapkan dapat mengurangi limbah atau pencemaran.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi efektif produksi biogas di dalam perombakan anaerob berdasarkan jenis substrat campuran limbah rumah makan ?
2. Apakah pengaruh perbedaan temperatur substrat dalam perombakan anaerob mampu meningkatkan produksi biogas ?
3. Bagaimana pengaruh penambahan urea dalam digester terhadap produksi biogas ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian adalah :

1. Mengetahui kondisi efektif untuk produksi biogas di dalam perombakan anaerob berdasarkan jenis substrat limbah rumah makan.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan temperatur substrat perombakan anaerob mampu meningkatkan produksi biogas.
3. Mengetahui pengaruh penambahan urea dalam digester terhadap produksi biogas.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah diharapkan dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang pengolahan limbah rumah makan menjadi biogas melalui teknologi alternatif biokonversi (digester) anaerob, dan juga memberi saran kepada masyarakat pada umumnya serta para pelaku industri rumah makan khususnya sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan limbah yang dihasilkannya sehingga pencemaran limbah organik yang dihasilkan dapat dikurangi. Pemanfaatan limbah rumah makan dengan sistem perombakan anaerob sebagai bahan penghasil biogas, dapat menjadi salah satu upaya peningkatan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan serta dapat mengurangi efek pencemaran sehingga dapat menunjang pembangunan yang berkelanjutan.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Limbah Pangan (Limbah Rumah Makan)

Proses daur hidup di alam oleh semua makhluk hidup berlangsung melalui berbagai tahapan panjang yang dapat dibedakan menjadi dua arah yaitu : pembentukan (biosintesa) dan pemecahan (biolisa). Proses biologis dua arah tersebut disebut biokonversi.

Proses biokonversi adalah perubahan bentuk suatu bahan polimer atau produk biomassa menjadi berbagai jenis produk nabati maupun hewani berlangsung secara simultan, meskipun terdapat fluktuasi keseimbangan proses akibat berbagai pengaruh misalnya pengaruh kondisi setempat dan terjadi dalam kondisi anaerob oleh mikroorganisme, yang dihasilkan produk samping biogas sebagai energi terbarukan dan lumpur pekat sebagai pupuk organik

Pemanfaatan kembali menjadi energi terbarukan, baik secara langsung maupun tidak langsung adalah pengambilan kembali energi matahari yang terikat biomassa (limbah organik dari rumah makan). Teknologi konversi secara umum dapat dibedakan menjadi empat kelompok yaitu : pembakaran langsung (melalui tungku/tanur), gasifikasi (hasil berupa gas CO_2 dan H_2), pirolisa (pengarangan) dan fermentasi (biogas/alkohol) (Judoamidjojo *et al.*, 1989).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Gas rumah kaca adalah gas-gas yang ada di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca. Gas tersebut sebenarnya muncul secara alami di lingkungan, tetapi dapat juga timbul akibat aktifitas manusia.

Efek rumah kaca disebabkan karena naiknya konsentrasi gas karbondioksida (CO_2) dan gas lainnya di atmosfer. Kenaikan konsentrasi gas CO_2 ini disebabkan oleh kenaikan pembakaran bahan bakar minyak (BBM), batu bara dan bahan bakar organik lainnya yang melampaui kemampuan tumbuhan dan laut untuk mengabsorbsinya (NetSains.com, 2007).

Selain gas CO_2, yang dapat menimbulkan efek rumah kaca adalah sulfur dioksida (SO_2), nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) serta beberapa senyawa organik seperti gas metana (CH_4) dan chlorofluorocarbon (CFC). Gas-gas tersebut memegang peranan penting dalam meningkatkan efek rumah kaca (http://id.wikipedia.org, 2008).

Potensi metana untuk meningkatkan temperatur lebih tinggi dibandingkan dengan karbondioksida. Satu studi penelitian reaktifitas metana telah dilakukan, disimpulkan bahwa potensi pemanasan globalnya lebih dari 20 kali karbondioksida dan konsentrasinya pada atmosfer meningkat satu hingga dua persen per tahun (NetSains.com, 2007).

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 (NetSains.com, 2007).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Limbah biomassa berasal dari limbah makanan, argo industri, perternakan atau pabrik pengolahan hasil pertanian maupun limbah kota/domestik, umumnya mengandung konsentrasi bahan organik sangat tinggi. Bahan organik tersebut terdiri dari karbohidrat, protein, lemak dan selulosa atau ligno selulosa yang dapat didegradasi secara biologi. Kadangkala limbah cair tersebut mengandung nitrogen, phospat dan natrium. Besar atau kecilnya pencemaran limbah organik diukur oleh Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD) untuk limbah cair, sedangkan untuk yang berbentuk sludge atau lumpur diukur dengan Total Volatile Solid (TVS) (Jenie dan Winiati, 1993).

Sebuah proses biokonversi dipilih untuk mengolah limbah organik dari makanan. Kuncinya adalah untuk mendapatkan pH seimbang dan suhu yang tepat sehingga enzim dan mikroorganisme yang digunakan dapat bekerja maksimal (Riyadi, 2007). Limbah tinggi kandungan energi dan tinggi nitrogen mencakup tepung ikan, bungkil dan beberapa limbah sayuran.

Limbah pangan yang digunakan sebagai substrat dalam penelitian ini adalah limbah rumah makan.

2. Teknologi Perombakan Anaerob

Pengendalian secara biologis dapat dilakukan dengan proses aerob dan anaerob. Proses anaerob mampu merombak senyawa organik yang terkandung dalam limbah sampai batas tertentu yang dilanjutkan dengan proses aerob secara alami atau dengan bantuan mekanik. Perombakan senyawa organik tersebut akan menghasilkan gas metana, karbon dioksida yang merupakan hasil kerja dari

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

mikroba asetogenik dan metanogenik. Berbagai sistem dan jenis air buangan telah dikembangkan dan diteliti, yang semuanya bertujuan untuk memberi perlindungan terhadap lingkungan dan dari beberapa penelitian tersebut diketahui bahwa proses anaerobik memberikan hasil yang lebih baik untuk mengolah limbah dengan kadar COD yang lebih tinggi (Manurung, 2004).

Perbedaan lain antara proses aerobik dan anerobik terletak pada karakteristik biomassa yang menentukan jalannya proses perombakan. Pada proses aerobik, biomassa terdiri atas berbagai jenis mikroorganisme, tetapi masing-masing merombak bahan organik untuk keperluannya masing-masing. Pada proses anaerobik, sebenamya biomassa juga terdiri atas berbagai jenis mikroorganisme, tetapi merombak bahan organik satu setelah yang lain dari bahan organik hingga biogas. Dengan demikian, proses berlangsung sempurna hingga menghasilkan produk akhir, hanya jika proses pertukaran massa pada setiap mikroorganisme yang terlibat berlangsung dengan kecepatan sama. Karena alasan tersebut, proses anaerobik lebih sensitif terhadap pengaruh bahan toksik, pH, dan temperatur dibanding dengan proses aerobik (Bapedal, 1995).

Proses anaerob mempunyai banyak keunggulan bila dibandingkan dengan proses aerob antara lain tidak membutuhkan energi untuk aerasi, lumpur atau sludge yang dihasilkan sedikit, polutan yang berupa bahan organik hampir semuanya dikonversi ke bentuk biogas (gas metan) yang mempunyai nilai kalor cukup tinggi. Kelemahan proses degradasi ini adalah kemampuan pertumbuhan bakteri metan sangat rendah, membutuhkan waktu dua sampai lima hari untuk

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

penggandaannya, sehingga membutuhkan reaktor yang bervolume cukup besar (Mahajoeno, 2007).

Mikrobia merupakan salah satu faktor kunci yang ikut menentukan berhasil tidaknya suatu proses penanganan limbah cair organik secara biologi. Keberadaanya sangat diperlukan untuk berbagai tahapan dalam perombakan bahan organik. Efektifitas biodegradasi limbah organik menjadi metana membutuhkan aktifitas metabolik yang terkoordinasi dari populasi mikrobia yang berbeda-beda (Jenie dan Winiati, 1993).

Bakteri suatu grup prokariotik, adalah organisme yang mendapat perhatian utama baik dalam air maupun dalam penanganan air limbah (Jenie dan Winiati, 1993). Jadi, dalam proses anaerobik, mikrobia yang digunakan berasal dari golongan bakteri. Bakteri yang bersifat fakultatif anaerob yaitu bakteri yang mampu berfungsi dalam kondisi aerobik maupun anaerobik. Bakteri tersebut dominan dalam proses penanganan limbah cair baik secara aerobik ataupun anaerobik.

Lingkungan besar pengaruhnya pada laju pertumbuhan mikroorganisme baik pada proses aerobik maupun anaerobik. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses anaerobik antara lain: temperatur, pH, konsentrasi substrat, rasio C/N dan zat beracun.Dalam hal ini hanya faktor-ktor suhu, pH, dan urea yang menjadi pokok bahasan.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

1. Temperatur

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. Beberapa jenis bakteri dapat bertahan pada rentang temperatur tertentu dapat dillihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Macam Bakteri Berdasarkan Temperatur Hidup

Jenis Bakteri	Rentang temperatur(^{o}C)	Temperatur Optimum(^{o}C)
a. Cryophilic	2 – 20	12 – 18
b. Mesophilic	20 – 45	30 – 40
c. Thermophilic	45 – 75	50 – 60

Pengaruh temperatur terhadap daya tahan hidup bakteri (Harold, 1981).

Suhu berpengaruh terhadap proses pencernaan anaerobik bahan organik dan produksi gas. Pencernaan berlangsung baik pada suhu 30 – 40 ºC untuk kondisi mesofilik dan pada suhu 45 - 55ºC, suhu 50 - 60ºC untuk kondisi termofilik. Kecepatan fermentasi menurun pada suhu di bawah 20ºC. Suhu optimal kebanyakan bakteri mesofilik dicapai pada 35ºC, tetapi utuk bakteri termofilik pada suhu 55ºC. Suhu optimal untuk berbagai desain tabung pencerna termasuk Indonesia adalah 35ºC (Sahirman, 1994).

2. pH (keasaman)

pH pada proses perombakan anaerob biasa berlangsung antara 6,6-7,6; bakteri metanogen tidak dapat toleran pada pH di luar 6,7-7,4; sedangkan bakteri non metanogen mampu hidup pada pH 5-8,5 (NAS, 1981). Praperlakuan kimia umumnya diperlukan pada limbah cair dengan derajat keasaman tinggi (< pH 5)

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

dan umumnya penambahan $Ca(OH)_2$ dan NaOH digunakan untuk meningkatkan pH limbah cair menjadi netral (Bitton, 1999).

3. Perlakuan dengan Amonia

Perlakuan dengan amonia atau amoniasi merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan pakan kasar sebagai pengganti NaOH. Amoniasi mampu meningkatkan nilai nutrisi pakan kasar melalui peningkatan daya cerna, konsumsi, kandungan protein kasar pakan dan memungkinkan penyimpanan bahan pakan berkadar air tinggi dengan menghambat pertumbuhan jamur.

Sumber amonia dalam amoniasi yang digunakan dapat berupa gas amonia, amonia cair, urea maupun urin. Daya kerja amonia dalam perlakuan amoniasi diantaranya sebagai bahan pengawet terhadap bakteri dan fungi yang berkembang pada bahan selama proses dan sumber nitrogen. Urea merupakan sumber amonia yang murah karena setiap kg urea akan dihasilkan 0.57 kg amonia. Urea akan dihidrolisis dengan bantuan enzim urease menjadi ammonia.

$$\underset{60}{CO(NH2)2} + \underset{18}{H2O} \longrightarrow \underset{34}{2\ NH2} + \underset{44}{CO2}$$

Perombakan urea menjadi amonia selain membutuhkan enzim urease, juga dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu saat perlakuan. Untuk alasan teknis, kisaran kelembaban media sekitar 30-60%. Kelembaban media di bawah 30%, perombakan urea akan berjalan lambat dan kelembaban di atas 60% akan mengurangi kekompakan substrat, peluruhan larutan urea ke bagian bawah media dan tumbuhnya jamur.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Suhu optimum perombakan urea berkisar antara 30-60°C. Kecepatan reaksi dikalikan (atau dibagi) dengan 2 setiap kenaikan (atau penurunan) suhu sebesar 10°C. Perombakan urea secara sempurna dapat terjadi setelah satu minggu atau bahkan 24 jam pada kisaran suhu 20-45°C. Perombakan urea berjalan sangat lambat (Owen, 1984).

Dosis amonia merupakan berat nitrogen yang dipergunakan dibandingkan berat bahan. Dosis amonia optimum sekitar 3-5% dari bahan . Konsentrasi amonia kurang dari 3% tidak berpengaruh terhadap daya cerna dan protein kasar bahan dan amonia hanya berperan sebagai pengawet. Konsentrasi amonia lebih dari 5% menyebabkan perlakuan tidak efisien karena banyak amonia yang terbuang. Asumsi setiap kilogram urea secara sempurna dikonversi akan menghasilkan 0.57 kg amonia, maka dapat diperkirakan dosis optimum urea untuk amoniasi yaitu berkisar antara 5 – 7% (Owen, 1984).

4 Rasio C/N

Salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan Karbon (C) dan Nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktifitas metabolisme dari bakteri metanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20. Pertumbuhan mikroba yang optimum biasanya membutuhkan perbandingan unsur C : N : P sebesar 150 : 55 : 1 (Jenie dan Winiati, 1993). Konsentrasi substrat (rasio C:N) terkait kebutuhan nutrisi mikroba; homogenitas sistem dan kandungan air

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

(padatan tersuspensi (SS); padatan total (TS), asam lemak volatile (VFA)) (Bitton, 1999).

5. Zat beracun

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).

6. Substrat

Sel mikroorganisme mengandung Carbon, Nitrogen, Posfor dan Sulfur dengan perbandingan 100 : 10 : 1 : 1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme, unsur-unsur di atas harus ada pada sumber makanannya (substart). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat (Manurung, 2004).

Kandungan air dalam substart dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih intim (Manurung, 2004).

Starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik menjadi biogas, bisa digunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen (Ginting, 2007).

Sahirman (1994) mengungkapkan bahwa pengaturan pH awal dengan ($CaCO_3$) bersama pengadukan kontinyu 100 rpm (tekanan 1 atm, suhu kamar)

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

sangat berpengaruh terhadap total biogas yang dihasilkan selama 4 minggu fermentasi. Hal ini dikarenakan adanya intensitas kontak antara mikroorganisme dan substrat jauh lebih baik dan menghindari akumulasi padatan terbang ataupun padatan mengendap yang akan mengurangi volume keefektifan digester.

Mekanisme Reaksi Pengolahan Limbah Makanan dengan Proses Anaerobik

Penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak dan protein yang terdapat dalam limbah cair dengan proses anaerobik akan menghasilkan biogas yang mengandung metana (50-70%), CO2 (25-45%) dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen dan hidrogen sulfida (Manurung, 2004).

Penguraian dengan proses anaerobik secara umum dapat disederhanakan menjadi 2 tahap:

- Tahap pembentukan asam
- Tahap pembentukan metana

Pembentukan asam dari senyawa organik sederhana (monomer) dilakukan oleh bakteri penghasil asam yang terdiri dari sub divisi acids/farming bacteria dan asetogenik bakteria. Asam propionat dan butirat diuraikan oleh asetogenik bakteria menjadi asam asetat (Manurung, 2004).

Pembentukan metana dilakukan oleh bakteri penghasil metana yang terdiri dari sub divisi asetoklastik methane bacteria yang menguraikan asam asetat menjadi metana dan karbon dioksida. Karbon dioksida dan hidrogen yang terbentuk dari reaksi penguraian di atas, disintesa oleh bakteri pembentuk metana menjadi metana dan air (Manurung, 2004).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Proses pembentukan asam dan gas metana dari suatu senyawa organik sederhana melibatkan banyak reaksi percabangan. Mosey (1983) yang menggunakan glukosa sebagai sampel untuk menjelaskan bagaimana peranan keempat kelompok bekteri tersebut menguraikan senyawa ini menjadi gas metana dan karbon dioksida sebagai berikut :

1. Hidrolisis

Pada tahapan hidrolisis, mikrobia hidrolitik mendegradasi senyawa organik kompleks yang berupa polimer menjadi monomernya yang berupa senyawa tak terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan. Lipida 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. Konversi lipid berlangsung lambat pada suhu di bawah 20°C. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi exo-enzim yang dieksresi oleh bakteri fermentatif . Hidrolisis molekul komplek dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti sellulase, protease, dan lipase. Walaupun demikian proses penguraian anaerobik sangat lambat dan menjadi terbatas dalam penguraian limbah sellulolitik yang mengandung lignin (Said, 2006).

Pada proses ini bakteri pengurai asam menguraikan senyawa glukosa menjadi :

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$ (as. asetat)

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$ (as. butirat)

$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \longrightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$ (as. propionat)

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

2. Asidogenesis.

Monomer-monomer hasil hidrolisis dikonversi menjadi senyawa organik sederhana seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, senyawa mineral seperti karbondioksida, hidrogen, amoniak, dan gas hidrogen sulfida. Tahap ini dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri, mayoritasnya adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian yang lain bakteri anaerob fakultatif (Manurung, 2004).

3. Asetogenesis

Hasil asidogenesis dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana berupa asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Sekitar 70 % dari COD semula diubah menjadi asam asetat. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya.

Etanol, asam propionat, dan asam butirat dirubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik dengan reaksi seperti berikut (Said, 2006) .

Pada proses ini acetogenic bakteria menguraikan asam propionat dan asam butirat menjadi :

$CH_3CH_2OH + CO_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2$ ..... (pers. 1)

Etanol Asam Asetat

$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$ ..... (pers. 2)

Asam Propionat Asam Asetat

$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \longrightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$ ..... (pers. 3)

Asam Butirat Asam Asetat

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

4. Metanogenesis.

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

Pada proses ini methane bacteria mensintesa hidrogen dan karbondioksida menjadi :

$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2$ (metana)

$2H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$ (metana)

Tiga tahap pertama di atas disebut sebagai fermentasi asam sedangkan tahap keempat disebut fermentasi metanogenik (Lettinga, 1994). Tahap asetogenesis terkadang ditulis sebagai bagian dari tahap asidogenesis.

Beberapa jamur (fungi) dan protozoa dapat ditemukan dalam penguraian anaerobik, tetapi bakteri merupakan mikroorganisme yang paling dominan bekerja didalam proses penguraian anaerobik. Sejumlah besar bakteri anaerobik dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik antara lain adalah *Bacteroides, Bifidobacterium, Clostridium, Lactobacillus, Streptococcus*. Bakteri asidogenik (pembentuk asam) seperti *Clostridium,* bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H_2) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomonas wolfei* (Said, 2006) .

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Bakteri metana yang telah berhasil diidentifikasi terdiri dari empat genus (Jenie dan Rahayu, 1993) :

1. Bakteri bentuk batang dan tidak membentuk spora dinamakan *Methanobacterium*.
2. Bakteri bentuk batang dan membentuk spora adalah *Methanobacillus.*
3. Bakteri bentuk kokus yaitu *Methanococcus* atau kelompok koki yang membagi diri.
4. Bakteri bentuk sarcina pada sudut 90^{O} dan tumbuh dalam kotak yang terdiri dari 8 sel yaitu *Methanosarcina.*

Fermentasi asam cenderung menyebabkan penurunan pH karena adanya produksi asam lemak volatil dan intermediet-intermediet lain yang memisahkan dan memproduksi proton. Metanogenesis hanya akan berkembang dengan baik pada kondisi pH netral sehingga ketidakstabilan mungkin muncul sehingga aktivitas metanogen dapat berkurang. Kondisi ini biasa disebut *souring* (pengasaman) (Lettinga, 1994).

3. Biogas

Perombakan (degradasi) limbah cair organik akan menghasilkan gas metana, karbondioksida dan gas-gas lain serta air. Perombakan tersebut dapat berlangsung secara aerobik maupun anaerobik. Pada proses aerobik limbah cair kontak dengan udara, sebaliknya pada kondisi anaerobik limbah cair tidak kontak dengan udara luar (Sugiharto, 1987).

Dari proses fermentasi dihasilkan campuran biogas yang terdiri atas, metana (CH4), karbon dioksida, hidrogen, nitrogen dan gas lain seperti H2S.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Metana yang dikandung biogas ini jumlahnya antara 54 – 70%, sedang karbon dioksidanya antara 27 – 43%. Gas-gas lainnya memiliki persentase hanya sedikit saja (Setiawan, 2005).

Dekomposisi bahan-bahan organik di bawah kondisi-kondisi anaerobik menghasilkan suatu gas yang sebagian besar terdiri atas campuran metan dan karbondioksida. Gas ini dikenal sebagai *rawa* ataupun biogas (Kadir, 1995).

Tabel 2. Komposisi Biogas

Penjelasan	*Rumus*	*Persentase*
Metan	CH_4	55-65%
Karbondioksida	CO_2	36-45%
Nirogen	N_2	0-3%
Hidrogen	H_2	0-1%
Oksigen	O_2	0-1%
Hidrogen Sulfida	H_2S	0-1%

Sumber : Energi Resources Development Series No. 19, Escap, Bangkok (Kadir, 1995)

Penggunaan biogas sebagai energi alternatif tidak menghasilkan polusi, disamping berguna menyehatkan lingkungan karena mencegah penumpukan limbah sebagai sumber penyakit, bakteri, dan polusi udara. Keunggulan biogas adalah karena konstruksi digester sederhana, hemat ruang, awet, mudah perawatan dan penggunaannya, dan dihasilkan lumpur kompos maupun pupuk cair (Abdullah, dkk. 1991).

Gas metana termasuk gas rumah kaca (*green house gas*), bersama dengan gas karbondioksida (CO2) memberikan efek rumah kaca yang menyebabkan

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

terjadinya fenomena pemanasan global. Pengurangan gas metana secara lokal ini dapat berperan positif dalam upaya penyelesaian permasalahan global. Campuran gas ini adalah hasil daripada fermentasi atau peranan anaerobik yang disebabkan sejumlah besar jenis organisme mikro, terutama bakteri metan. Suhu yang baik untuk proses fermentasi ini adalah dari 30^0C hingga kira-kira 55^0C (Kadir, 1995).

Gas metana (CH_4) yang merupakan komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi (Tabel 1.3). Karena nilai kalor yang cukup tinggi itulah biogas dapat dipergunakan untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya (Abdullah, 1991; GTZ, 1997; UN, 1980 dalam Nurhasanah dkk, 2006). Sistem produksi biogas juga mempunyai beberapa keuntungan seperti (a) mengurangi pengaruh gas rumah kaca, (b) mengurangi polusi bau yang tidak sedap, (c) sebagai pupuk dan (d) produksi daya dan panas (Koopmans, 1998; UN, 1980; Yapp *et al.*, 2005 dalam Nurhasanah dkk, 2006).

Tabel 3. Nilai Kalori Biogas dan Bahan Bakar Lain

Bahan Bakar	Nilai Kalori (KJ/Kg)
Bio Gas	15.000
Kayu	2.400
Arang	7.000
Minyak Tanah	8.000

(Ginting, 2007).

Bahan biogas dapat diperoleh dari limbah pertanian yang basah, kotoran ternak (manure), kotoran manusia dan campurannya. Kotoran ternak seperti sapi,

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

kerbau, babi dan ayam telah diteliti untuk diproses dalam alat penghasil biogas dan hasil yang diperoleh memuaskan (Harahap *et al.*, 1978).

Prinsip Pembuatan Biogas

Prinsip pembuatan biogas adalah adanya dekomposisi bahan organik secara anaerobik (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebagian besar berupa metana (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbondioksida.

Proses dekomposisi anaerobik dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan. Suhu yang baik untuk proses fermentasi adalah 30-55 ^{0}C. Pada suhu tersebut mikroorganisme dapat bekerja secara optimal merombak bahan-bahan organik (Ginting, 2007).

B. Kerangka Pemikiran

Pemanasan global merupakan dampak yang ditimbulkan dari GRK (Gas Rumah Kaca). Antara lain : CH4, SO2, NO, NO2, CFC, CO2.

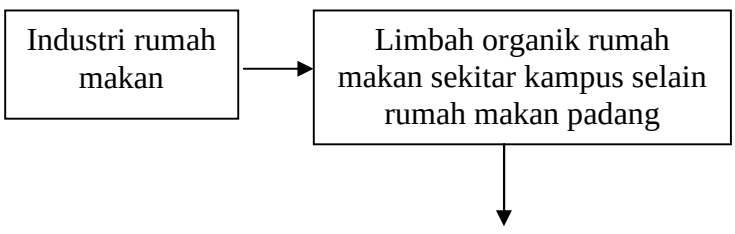
library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Limbah yang dihasilkan industri rumah makan berpotensi menghasilkan gas metan / CH4 yang merupakan salah satu sumber penyebab efek rumah kaca jika terbuang ke atmosfer. Potensi gas metan yang besar ini seharusnya bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil (Singgih dan Mera, 2008).

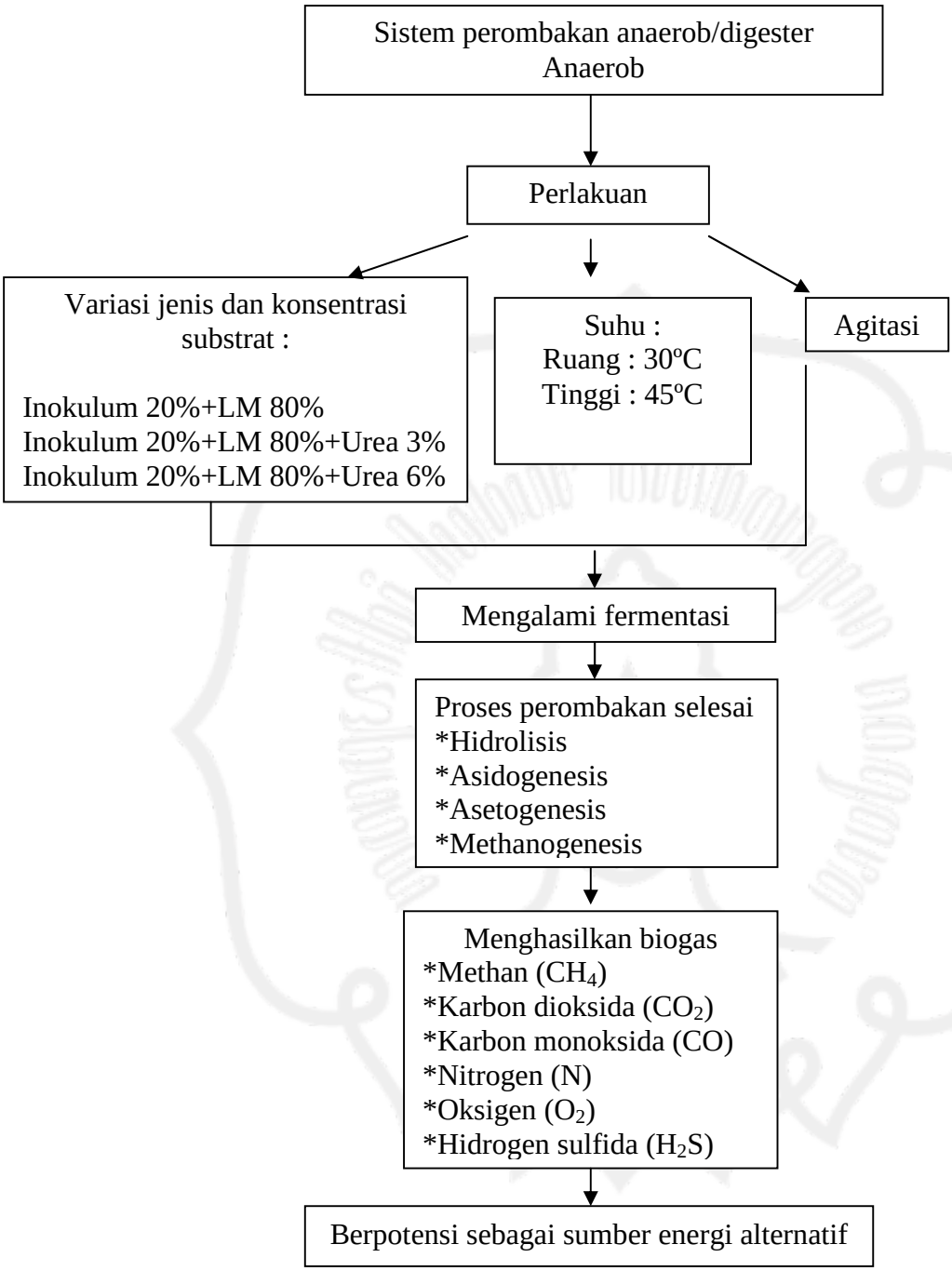
Bahan organik dapat diolah untuk menghasilkan energi berupa gas metan (CH4) atau biogas. Biogas dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri metanogenesis dalam keadaan anaerob yang dilakukan di dalam digester, yaitu tempat untuk menampung dan menguraikan bahan organik dalam keadaan anaerob. Biogas atau gas metan bersifat mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar (APO, 2003).

Modifikasi dalam teknik pengolahan limbah menjadi biogas dan produk alternatif lainnya guna mendapatkan solusi yang lebih baik. Dengan memanfaatkan limbah organik sebagai bahan baku untuk menghasilkan biogas maka diperoleh keuntungan secara ekonomis dan secara ekologis (APO, 2003).

Secara skematis, kerangka pemikiran penelitian ini dapat disajikan sebagai berikut:



library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 1. Diagram Alir Kerangka Pemikiran

BAB III

METODE PENELITIAN

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Maret 2009. Tempat penelitian adalah di Greenhouse Laboratorium Pusat MIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta untuk percoban penelitian. Sedangkan untuk pengambilan sampel limbah adalah di Rumah-rumah makan sekitar kampus.

B. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini mencakup serangkaian alat konstruksi digester, peralatan gelas dan peralatan pengukur untuk analisis fisika kimia serta peralatan lain sebagai pendukungnya.

A. Alat yang digunakan :

1. Alat Konstruksi digester

- Jerigen 5 L
- Botol minum 600 ml
- Selang kecil, panjang 20 cm
- Mikrotip
- Rak penyangga
- Ember besar
- Drum besar

2. Peralatan gelas

- Batang pengaduk
- Gelas ukur
- Cawan porselin
- Perangkat soxchlet
- Condenser
- Botol jam
- Botol serum
- Botol flakon
- Tabung reaksi
- Labu ukur
- Pipet biuret
- Pipet ukur

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

- Pipet tetes
- Tips pipet plastic
- Gelas Erlenmeyer 50-1000 ml

3. Alat pengukur (analisis fisika dan kimia)

- Neraca analitik
- Oven
- Thermometer
- pH meter atau kertas lakmus
- Tabung gas N dan metana
- Hot plate
- Spektrofotometer
- Porapak Q (80-100 mesh)
- Injektor
- Detekktor suhu
- Pengukur tekanan gas

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

4. Alat-alat lain (pendukung)

- Blender
- Heater
- Roll kabel

B. Bahan yang digunakan :

1. Sebagai substrat ;

- Limbah Rumah Makan/Kantin

2. Sebagai sumber inokulum :

- Limbah rumah makan/kantin yang difermentasikan selama kurang Lebih 2 minggu dengan konsentrasi 20% dari volume kerja digester (4 L)

3. Air

4. Larutan Ca(OH)2 sebagai pemberi suasana basa (agar pH netral)

C. Cara Kerja

Penelitian ini menggunakan limbah dari rumah makan sebagai substrat atau media utama untuk produksi biogas. Sumber inokulum berasal dari limbah rumah makan itu sendiri, namun telah difermentasikan terlebih dahulu selama dua sampai tiga minggu hingga terbentuk sludge (lumpur aktif). Pada penelitian ini digunakan digester dengan volume 5 liter, yaitu 80% dari volume digester digunakan sebagai volume kerja, sedangkan sisanya (20%) sebagai ruang udara. Dari 80% (4 L) volume kerja digester diisi oleh sumber inokulum dengan konsentrasi 10%, 20% kemudian volume sisanya digunakan untuk substrat.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Penelitian ini mencakup beberapa tahap/skala percobaan. Tahap percobaan tersebut adalah :

a. Tahap Persiapan

Tahap ini mencakup percobaan pendahuluan, menyediakan kebutuhan alat dan bahan percobaan, serta skematik rancangan percobaan. Persiapan alat dan bahan serta analisis peubah diamati baik kimia maupun fisika, masing-masing akan diuraikan pada tahap pelaksanaan percobaan skala laboratorium.

Substrat dan sumber inokulum akan di fermentasikan dalam bioreaktor modifikasi (jerigen volume 5 L, botol minum 600 ml dan selang kecil dengan panjang 20 cm) yang dilakukan di dalam *green house*. Tujuan penelitian ini adalah mempelajari pengaruh variasi jenis maupun konsentrasi substrat serta variasi suhu substrat terhadap produksi biogas pada perombakan anaerob.

b. Tahap Penelitian

1. Pembuatan inokulum

Inokulum dibuat dengan cara mencampur biomassa (limbah) dan air dengan perbandingan volume 1:1. Sumber inokulum dibuat dari limbah rumah makan. Sebelumnya, biomassa (limbah) dihomogenasikan terlebih dahulu dengan tambahan air menggunakan blender. Biomassa yang sudah homogen dimasukkan ke dalam drum. Karena proses ini berlangsung secara anaerob maka drum harus tertutup rapat. Proses fermentasi berlangsung selama kurang lebih dua sampai tiga minggu, hingga terbentuk sludge (lumpur aktif). Perlu dilakukan agitasi selama proses fermentasi berlangsung. Hal ini bertujuan agar material-material organik (biomassa) yang ada dalam drum dapat dengan mudah dimanfaatkan oleh bakteri

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

sebagai sumber makanan sehingga metabolisme maupun perkembangan bakteri dapat berjalan dengan baik. Setelah sludge terbentuk, dapat langsung dimanfaatkan sebagai sumber inokulum (starter) dalam pencernakan anaerob (digester).

2. Pembuatan biogas

Sistem yang digunakan untuk pembuatan biogas dalam penelitian ini adalah sistem curah, yaitu dengan cara penggantian bahan dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu tangki pencerna dan tangki pengumpul gas. Untuk memperoleh biogas yang banyak, sistem ini perlu dibuat dalam jumlah yang banyak agar kecukupan dan kontinyuitas hasil biogas tercapai (Abdullah, 1991; GTZ, 1990; Teguh, 2005; UN, 1980 dalam Nurhasanah dkk, 2006).

Sebelum dilakukan proses biokonversi dalam digester anaerob, perlu dilakukan homogenisasi biomassa (limbah) dengan air agar substrat lebih mudah dicerna oleh mikroorganisme. Proses homogenisasi dilakukan dengan menggunakan blender. Setelah proses homogenisasi selesai, selanjutnya dilakukan pengukuran beberapa parameter diantaranya : suhu, pH, COD, BOD, TS, VS, uji nyala biogas. Pengukuran parameter seperti suhu, pH, COD, BOD, TS dan VS dilakukan setiap 15 hari sekali dari 45 hari. Pengukuran uji nyala biogas dilakukan di akhir penelitian.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Apabila substrat bersifat asam dan ingin dinetralkan maka dapat dilakukan dengan penambahan $Ca(OH)_2$, NaOH sebagai pemberi suasana basa. Beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktifitas metabolisme dari bakteri metanogen akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20 (Anonim 2, -). Proses perombakan anaerob berjalan optimal pada suhu tinggi (45-65^{0}C) (Bitton, 1999).

Langkah pertama yang dilakukan dalam mencampur substrat dengan sumber inokulum dalam digester adalah sumber inokulum dimasukkan terlebih dahulu ke dalam digester dengan konsentrasi tertentu (pada penelitian digunakan konsentrasi 20% dari 4L volume kerja digester atau setara dengan 0,8 L). Langkah selanjutnya adalah substrat dimasukkan ke dalam digester sebanyak volume yang tersisa dari volume kerja digester yaitu 80% dari 4L, atau kurang lebih 3,2 L). Setelah semua bahan dimasukkan dalam digeser (jerigen), digester harus segera ditutup rapat. Proses fermentasi berjalan selama kurang lebih satu bulan, hingga biogas terbentuk. Setelah biogas terbentuk maka biogas akan dialirkan dari tangki pencerna (jerigen) ke dalam tangki pengumpul gas (botol minum 600 ml) melalui selang kecil. Sebelumnya, tangki pengumpul gas sudah penuh terisi air (600 ml). Sehingga ketika gas masuk ke dalam tangki pengumpul gas, maka air akan terdorong keluar dan biogas akan masuk ke dalam tangki tersebut (menggantikan air). Dengan demikian, dapat diketahui volume gas yang masuk ke dalam tangki pengumpul gas sama dengan volume air yang keluar dari botol pengumpul gas. Selama proses fermentasi berjalan, dilakukan agitasi sebanyak 2 kali setiap harinya.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

3. Pengukuran pH dan suhu

Bahan disediakan : larutan Buffer pH : 4, Larutan Buffer pH : 7 dan pH meter. Elektroda pH meter dimasukkan ke dalam air suling, dilap dengan tisu lalu dimasukkan dalam larutan Buffer pH : 4, bilas dengan air, lap dengan tisu dan dimasukkan ke dalam Buffer pH : 7. pengukuran pada contoh, elektroda dimasukkan ke dalam 25 ml contoh dalam gelas piala lalu pH meter dibaca. Demikian pula untuk pengukuran suhu substrat menggunakan elektroda terpasang.

4. Pengukuran COD dan BOD

Kebutuhan oksigen kimia (COD) (Metode Titrasi, Greenberg *et al*., 1992). Bahan disiapkan antara lain : $K_2Cr_2O_7$; Ag_2SO_4; Fe $(NH_4)_2$ $(SO_4)_2$ $6H_2O$; indikator feroin; $HgSO_4$; larutan H_2SO_4 pekat dan peralatan Refluks, Kondensor Liebiq, 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, dititrasi dengan larutan $Fe(NH_4)_2(SO_4)$ 0.025 N, dengan indikator feroin. titrasi dihentikan setelah terjadi perubahan warna biru kehijauan menjadi merah anggur. Volume $Fe(NH_4)_2(SO_4)$ 0.025 N yang digunakan untuk titrasi dicatat sebagai a ml. dengan prosedur yang sama, dilakukan titrasi terhadap blangko air suling. volume $Fe(NH_4)_2(SO_4)$ yang digunakan dicatat b ml.

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

Keterangan :

f : Faktor pengenceran

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

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, $Na_2S_2O_3.\ 5H_2O$ dengan peralatan : botol Winkler 250 ml dan perangkat titrasi. Contoh yang bersifat asam atau basa dinetralkan dengan penambahan NaOH atau HCl. Penambahan Na_2SO_3 ke dalam contoh dilakukan jika diduga mengandung senyawa khlor aktif dengan perbandingan molar yang sama. botol-botol disimpan dalam inkubator pada suhu 30^0C, selama satu jam (tiap contoh sampel menggunakan dua botol BOD). Salah satu botol diambil, kemudian dianalisa kadar oksigen terlarutnya. Botol yang lainnya disimpan selama tiga hari dalam inkubator 30^0C sebelum dianalisa kadar oksigen terlarutnya. Analisis oksigen terlarut dilakukan juga terhadap blangko.

$$\mathrm{BOD(ppm)} = \frac{(\mathrm{Xo} - \mathrm{X3}) - (\mathrm{Bo} - \mathrm{B3})}{\mathrm{f}}\ (1 - \mathrm{f})$$

Keterangan :

Xo : Kadar oksigen terlarut dalam contoh pada hari – 0

X_3 : Kadar oksigen terlarut dalam contoh pada hari – 5

Bo : Kadar oksigen terlarut dalam blangko pada hari – 0

B_3 : Kadar oksigen terlarut dalam blangko pada hari – 5

f : Faktor pengenceran

5. Padatan total (Total Solids) (Metode Evaporasi, Greenberg *et al.*, 1992)

Sebanyak 25-50 ml contoh yang telah diaduk dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang bersama cawan dan dianggap sebagai w_2. Sebelum digunakan

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

cawan dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 103^{0}C selama satu jam. Setelah itu cawan didinginkan di dalam desikator hingga suhu ruang dan ditimbang (w_1). Contoh diuapkan dalam cawan dan diteruskan dengan pengeringan di dalam oven pada sub 103^{0}C, selama satu jam atau hingga bobot konstan. Setelah didinginkan didalam desikator cawan ditimbang lagi (w_3).

$$\text{Padatan Total} = \frac{(W3 - W1) \times 100\%}{(W2 - W1)}$$

6. Padatan mudah uap (Volatile Solids) (Greenberg *et al.*, 1992)

Setelah penetapan padatan total kemudian dibakar pada suhu 550^{0}C selama 3 jam dengan menggunakan *furnace*, lalu didinginkan dalam desikator dan timbang sampai bobot tetap.

$$\text{Padatan Total(ppm)} = \frac{(W3 - Wo) \times 1000}{\text{ml contoh}}$$

D. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap Olah Faktorial dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama adalah temperatur substrat yang berbeda dalam 2 kondisi yang berbeda, yaitu dengan suhu ruang 30-35^{0}C (T1) dan suhu tinggi/termofilik 45-50^{0}C (T2), dan faktor kedua adalah perlakuan variasi sumber inokulum dan substrat limbah makanan.

Masing-masing perlakuan dengan 3 ulangan. Kombinasi perlakuan yang diperoleh adalah sebagai berikut :

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

1 : Limbah makanan 80%, inokulum 20% pada suhu ruang (1T1)

2 : Limbah makanan 80%, inokulum 20% suhu termofilik (2T2)

3 : Limbah makanan 80%, inokulum 20% + urea 3% pada suhu ruang (3T1)

4 : Limbah makanan 80%, inokulum 20% + urea 3% pada suhu termofilik (4T2)

5 : Limbah makanan 80%, inokulum 20% + urea 6% pada suhu ruang (5T1)

6 : Limbah makanan 80%, inokulum 20% + urea 6% pada suhu termofilik (6T2)

Sumber inokulum, pH dan agitasi, data dibuat homogen (tidak dibedakan). Berikut rancangan percobaan ditampilkan dalam bentuk tabel :

Tabel 4. Rancangan Percobaan Pencernakan Anaerob Limbah Makanan

Substrat	Inokulum	Suhu (^{0}C)	pH	Agitasi
1T1	Limbah makanan	30^{0}C	7	2x/hr
2T2	Limbah makanan	45^{0}C	7	2x/hr
3T1	Limbah makanan	30^{0}C	7	2x/hr
4T2	Limbah makanan	45^{0}C	7	2x/hr
5T1	Limbah makanan	30^{0}C	7	2x/hr
6T2	Limbah makanan	45^{0}C	7	2x/hr

pH dinetralkan dengan penambahan NaOH dan $CaCO_3$. Parameter yang akan diukur antara lain pH, suhu, kadar BOD dan COD, kadar VS dan TS dan pembentukan biogas.

Volume kerja digester : 4 L

Kapasitas kerja digester : 5 L

Ruang vakum digester : 1 L

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

E. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis berdasarkan produksi biogas yang dihasilkan kurang lebih 3-4 minggu dengan variasi sifat kimia (COD, BOD, pH, TS, VS) dan variasi sifat fisik/mekanik (suhu dan agitasi). Dari beberapa variasi perlakuan diperoleh data. Kemudian dianalisis untuk didapatkan data terbaik, yaitu dimana dihasilkan biogas secara optimum untuk perlakuan variasi suhu, pH, dan urea.

Pada penelitian ini digunakan digester dengan kapasitas volume 5 liter, yaitu 80% dari volume digester digunakan sebagai volume kerja, sedangkan sisanya (20%) sebagai ruang udara/vakum. Dari 80% (4L) volume kerja digester diisi oleh sumber inokulum dengan konsentrasi 20%, 10% dan volume sisanya 80%, 90% digunakan untuk substrat dan air.

Rancangan penelitian yang digunakan pada penelitian ini berupa Rancangan Acak Lengkap (RAL) yaitu dengan menggunakan tiga kelompok perlakuan :

Data yang diperoleh adalah data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan analisis varian (ANAVA). Uji lanjut menggunakan Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) dengan taraf uji 5%. Sedangkan data kualitatif dianalisis dengan analisis deskriptif.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Tujuan dari karakterisasi adalah untuk melihat nilai efisiensi perombakan substrat limbah organik terhadap beberapa sifat fisik, kimia, dan biologi dari limbah seperti pH, suhu, COD, BOD, TS dan VS, yang terjadi selama proses fermentasi. Selain itu, karakterisasi di awal juga dapat dijadikan acuan untuk mengetahui sifat limbah yang baik untuk produksi biogas, karena limbah belum mendapat perlakuan. Berikut adalah karakter substrat sebelum dilakukan proses fermentasi anaerob :

Tabel 5. Karakterisasi awal substrat untuk percobaan

Kelompok substrat	Parameter					
	pH	Suhu (°C)	COD (mg/l)	BOD (mg/l)	TS (g/l)	VS (g/l)
*LM80%+I20%	7.21	31	125460	27215	255	159
*LM80%+I20% +U3%	7.35	31	157509	27614	257	190
*LM80%+I20% +U6%	7.15	31	126379	27135	209	176

Berdasarkan data pada Tabel 5, diketahui bahwa substrat dengan penambahan urea memiliki nilai COD, BOD, TS, VS hampir sama/tidak terlalu berpengaruh dibandingkan dengan substrat murni limbah rumah makan tanpa penambahan urea. Ini menandakan bahwa penambahan urea (tanpa pengenceran) tidak menambah beban organik pada substrat.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Namun perbedaan jenis substrat dapat memberikan pengaruh terhadap nilai pH selama proses fermentasi anaerob. pH substrat akan mengalami sedikit banyak perubahan. Berikut adalah rata-rata nilai pH dalam empat kali waktu pengamatan (minggu ke_n) selama proses fermentasi anaerob berlangsung :

Tabel 6. Rata-rata pH substrat dalam 4 kali waktu pengamatan

Kelompok substrat	pH substrat			
	M0	M2	M4	M6
1. Suhu ruang (TI)				
LM80%+I20% (1T1)	7.21	6.05	6.26	6.27
LM80%+I20% +U3%(3T1)	7.35	5.62	5.75	5.78
LM80%+I20% +U6%(5T1)	7.15	8.58	9.25	9.00
2.Suhu tinggi (T2)				
LM80%+I20% (2T2)	7.41	6.74	6.39	6.79
LM80%+I20% +U3%(4T2)	7.02	5.88	5.91	6.06
LM80%+I20% +U6%(6T2)	6.71	9.56	9.40	9.49

Berdasarkan Tabel 6, pH substrat mulai mengalami penurunan pada minggu kedua. Kemudian setelah itu pH dapat kembali netral, dan hal demikian terjadi hampir pada semua kelompok substrat 1T1, 3T1, 2T2, dan 4T2. Sedangkan kelompok substrat lain (5T1, 6T2), pH cenderung mengalami kenaikan. pH paling tinggi dimiliki oleh kelompok dengan penambahan urea 6% (kelompok 5T1dan 6T2).

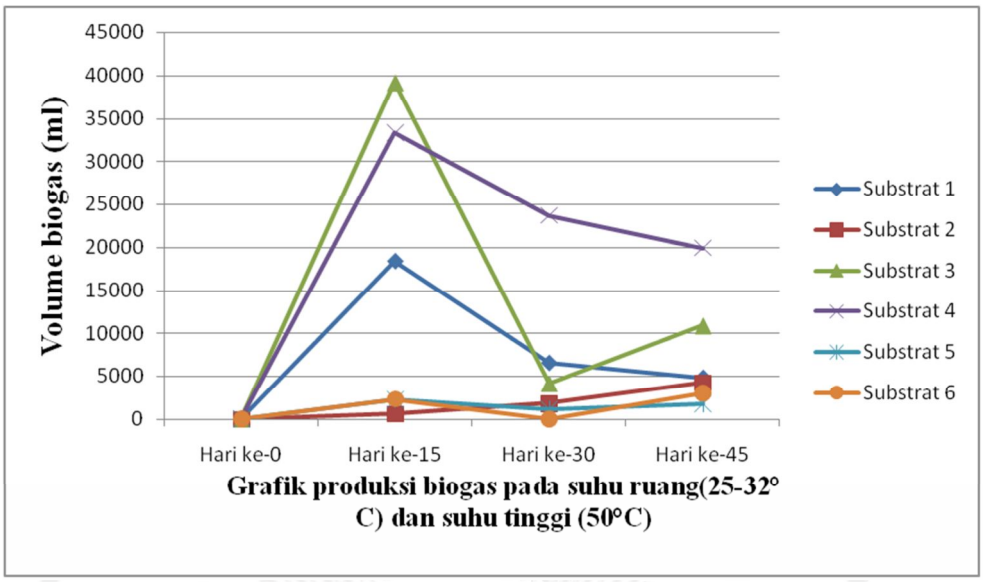
library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Selain faktor lingkungan seperti pH dan suhu, jenis substrat juga berpengaruh terhadap hasil produksi biogas. Berikut adalah hasil produksi biogas berdasarkan variasi jenis substrat dan perbedaan suhu lingkungan dalam biodigester sistem curah skala laboratorium dengan waktu fermentasi 6 minggu :

Tabel 7. Produksi biogas dari limbah organik rumah makan, inokulum, dan urea menggunakan biodigester sistem curah dengan waktu fermentasi 6 minggu

Kelompok substrat	Produksi biogas (ml)			Total
	$M_{(0-2)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$	(ml)
1. Suhu ruang (T1)				
LM80%+I20% (1T1)	18371	6533	4832	29736
LM80%+I20% +U3%(3T1)	39180	4129	10867	54176
LM80%+I20% +U6%(5T1)	2333	1147	1827	5307
2. Suhu tinggi (T2)				
LM80%+I20% (2T2)	610	1815	4236	6661
LM80%+I20% +U3%(4T2)	33372	23677	19931	76980
LM80%+I20% +U6%(6T2)	2306	0	3001	5307

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 2. Produksi biogas pada suhu ruang (25-32°C) dan suhu tinggi (50°C)

Berdasarkan data yang diperoleh, diketahui bahwa produksi biogas tertinggi diperoleh dari kelompok substrat limbah rumah makan, inokulum ditambah urea 3% pada suhu tinggi (4T2). Sedangkan produksi terendah adalah kelompok substrat dengan penambahan urea 6% pada suhu ruang dan suhu tinggi (5T1 dan 6T2).

Selain produksi biogas, fermentasi anaerob juga dapat menurunkan tingkat pencemaran dari limbah organik sehingga lebih aman bagi lingkungan. Besar atau kecilnya penurunan tersebut dapat dilihat dari nilai efisiensi perombakan atau degradasi limbah. Berikut merupakan nilai efisiensi perombakan dilihat dari nilai rata-rata COD, BOD, TS dan VS nya :

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Tabel 8. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) pada nilai COD substrat limbah rumah makan, inokulum, dan urea pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi COD (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$
1. Suhu ruang (T1)					
LM80%+I20% (1)	37.66	42.63	43.60	7.97	1.70
LM80%+I20%+U3%(3)	54.32	63.53	69.44	20.15	16.20
LM80%+I20% +U6%(5)	11.55	34.93	29.11	26.43	-8.95
2. Suhu tinggi (T2)					
LM80%+I20% (2)	26.91	32.61	44.00	7.80	16.89
LM80%+I20% +U3%(4)	45.86	76.37	79.09	56.34	11.55
LM80%+I20% +U6%(6)	8.41	27.63	20.08	20.98	-10.42

Tabel 9. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) pada nilai BOD substrat limbah rumah makan, inokulum, dan urea pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi BOD (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$
3. Suhu ruang (T1)					
LM80%+I20% (1)	48.78	49.69	50.15	1.77	0.93
LM80%+I20%+U3%(3)	50.77	51.50	53.23	1.47	3.58
LM80%+I20% +U6%(5)	1.18	45.09	39.75	44.43	-9.72
4. Suhu tinggi (T2)					
LM80%+I20% (2)	50.35	50.61	62.64	0.54	24.35
LM80%+I20% +U3%(4)	50.91	59.04	84.76	16.56	62.79
LM80%+I20% +U6%(6)	41.50	48.17	43.80	11.40	-8.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Tabel 10. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) total solids substrat limbah rumah makan, inokulum, dan urea pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi TS (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$
5. Suhu ruang (T1)					
LM80%+I20% (1)	13.14	33.66	56.37	23.63	34.24
LM80%+I20%+U3%(3)	37.48	54.51	73.95	27.24	42.74
LM80%+I20% +U6%(5)	-11.29	-0.19	-12.58	9.97	-12.37
6. Suhu tinggi (T2)					
LM80%+I20% (2)	39.71	50.90	65.36	18.57	29.42
LM80%+I20% +U3%(4)	55.39	61.75	80.77	14.26	49.72
LM80%+I20% +U6%(6)	12.66	24.86	23.72	13.97	-1.52

Tabel 11. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) volatil solids substrat limbah rumah makan, inokulum, dan urea pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi VS (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$
7. Suhu ruang (T1)					
LM80%+I20% (1)	20.75	38.36	68.55	22.22	48.98
LM80%+I20%+U3%(3)	56.84	68.42	81.58	26.82	41.67
LM80%+I20% +U6%(5)	17.05	24.43	18.18	8.90	-8.27
8. Suhu tinggi (T2)					
LM80%+I20% (2)	72.31	76.15	82.31	13.89	25.81
LM80%+I20% +U3%(4)	75.78	78.90	85.94	12.90	33.33
LM80%+I20% +U6%(6)	18.60	43.02	38.37	30.00	-8.16

Dari tabel di atas (tabel 8, 9, 10, 11) menunjukkan bahwa nilai effisiensi perombakan tertinggi baik COD, BOD, TS maupun VS adalah dari kelompok substrat, inokulum limbah rumah makan dengan penambahan urea 3% pada suhu

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

tinggi (4T2) dengan masing-masing memiliki nilai efisiensi 79.09%, 84.76%, 80.7% dan 85.94%. Sedangkan nilai efisiensi terendah adalah kelompok substrat dengan penambahan urea 6% kondisi suhu ruang (5T1), yaitu nilai efisiensi COD 29.11%, BOD 39.75%, TS -12.58% dan VS 18.18%.

Adapun nilai rata-rata COD, BOD, TS, VS dan volume biogas dipengaruhi oleh interaksi antara jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu fermentasi berdasarkan uji ANAVA yang dilanjutkan uji DMRT 5% ditampilkan pada Tabel berikut :

Tabel 12. Pengaruh konsentrasi COD pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob.

No	Kelompok substrat	Rata-rata COD (mg/l)
1.	LM80%+ M20%(1T1)	86.59950[a]
2.	LM80%+ M20%(2T2)	73.22975[a]
3.	LM80%+M20%+U3%(3T1)	83.75600[a]
4.	LM80%+M20%+U3%(4T2)	58.21725[a]
5.	LM80%+M20%+U6%(5T1)	102.49400[a]
6.	LM80%+M20%+U6%(6T2)	82.49175[a]

Tabel 13. Pengaruh konsentrasi BOD pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob.

No	Kelompok substrat	Rata-rata BOD (mg/l)
1.	LM80%+ M20%(1T1)	17103.75[a]
2.	LM80%+ M20%(2T2)	16141.00[a]
3.	LM80%+M20%+U3%(3T1)	16879.25[a]
4.	LM80%+M20%+U3%(4T2)	14254.00[a]
5.	LM80%+M20%+U6%(5T1)	21300.25[a]
6.	LM80%+M20%+U6%(6T2)	17921.00[a]

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Tabel 14. Pengaruh konsentrasi TS pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob.

No	Kelompok substrat	Rata-rata TS (g/l)
1.	LM80%+ M20%(1T1)	189.825[c]
2.	LM80%+ M20%(2T2)	80.650[ab]
3.	LM80%+M20%+U3%(3T1)	150.500[bc]
4.	LM80%+M20%+U3%(4T2)	69.875[a]
5.	LM80%+M20%+U6%(5T1)	222.525[c]
6.	LM80%+M20%+U6%(6T2)	111.025[ab]

Tabel 15. Pengaruh konsentrasi VS pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob

No	Kelompok substrat	Rata-rata VS (g/l)
1.	LM80%+ M20%(1T1)	108.52[ab]
2.	LM80%+ M20%(2T2)	55.75[a]
3.	LM80%+M20%+U3%(3T1)	92.50[ab]
4.	LM80%+M20%+U3%(4T2)	48.50[a]
5.	LM80%+M20%+U6%(5T1)	150.25[b]
6.	LM80%+M20%+U6%(6T2)	65.25[a]

Keterangan : angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata antar perlakuan (taraf uji 5%).

Berdasarkan tabel diatas, interaksi yang terjadi antara jenis substrat dan suhu lingkungan terhadap lama waktu fermentasi memberikan hasil yang beda nyata terhadap nilai COD, BOD, TS, dan VS. Interaksi terbaik adalah pada jenis substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan dengan penambahan urea 3% pada kondisi suhu tinggi (4T2).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

B. Pembahasan

Penelitian ini menggunakan limbah organik rumah makan di area kampus UNS, kecuali rumah makan padang. Pengecualian ini dilakukan dengan alasan karena limbah organik dari rumah makan padang mengandung unsur lemak yang cukup tinggi. Menurut Mahajoeno (2008), limbah organik yang mengandung lemak tinggi kemungkinan dapat mengganggu proses perombakan substrat dan secara tidak langsung akan mengganggu laju produksi biogas. Hal ini karena apabila lemak berinteraksi dengan NaOH (bahan penetral pH substrat) maka akan terbentuk gliserol dan asam lemak yang dapat mengganggu proses perombakan tersebut (Adrianto, 2003). Selain itu, Wellinger and Lindeberg (1999) juga menyatakan bahwa biomassa yang mengandung konsentrasi tinggi lemak dapat menghambat proses fermentasi, sebab dari hasil perombakan dihasilkan senyawa beracun berupa asam lemak rantai panjang.

Limbah rumah makan ini terdiri dari nasi, sayuran, buah-buahan, ikan, daging, telur, dan aneka sisa makanan lainnya. Perlakuan dengan amonia (urea) atau amoniasi merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan amonia dan nitrogen sebagai pengganti NaOH. Amoniasi mampu meningkatkan nilai nutrisi, kandungan protein dan memungkinkan penyimpanan berkadar air tinggi dengan menghambat pertumbuhan jamur dan bakteri non anaerob (Owen dkk, 1984).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Produksi biogas juga sangat ditentukan oleh sifat substrat yang digunakan. Pemilihan limbah rumah makan sebagai substrat utama produksi biogas karena limbah tersebut termasuk limbah organik yang belum banyak dimanfaatkan, terutama untuk produksi biogas. Alasan lain adalah karena limbah rumah makan mengandung banyak unsur material organik seperti karbohidrat, lemak, dan protein yang dapat didegradasi oleh bakteri melalui proses perombakan anaerob dan menghasilkan gas metana (Jenie dan Winiati, 1993). Menurut Hammad (1999), sampah organik seperti sayuran dan buah-buahan adalah substrat terbaik untuk menghasilkan biogas. Didukung pernyataan Haryati (2006) yang menyatakan bahwa limbah sayuran dapat menghasilkan biogas 8 kali lebih banyak dibandingkan limbah kotoran ternak.

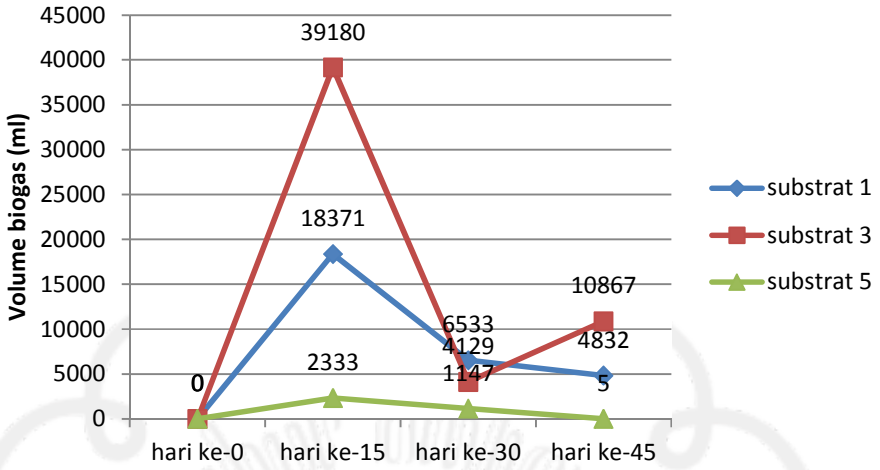
Selain substrat, pada proses perombakan anaerob juga digunakan inokulum sebagai starter. Inokulum yang digunakan berasal dari limbah rumah makan yang sudah difermentasikan (anaerob) terlebih dahulu selama tiga minggu. Setelah dua minggu akan terbentuk *sludge* (lumpur aktif) yang mengandung biakan metanogen. *Sludge* ini digunakan sebagai starter untuk mempercepat proses fermentasi anaerob. Perbandingan antara inokulum dengan substrat yang digunakan adalah 20% dan 80%. Pemakaian inokulum 20% dimaksudkan agar dapat menghasilkan biogas yang optimal. Karena berdasarkan hasil penelitian Mahajoeno, dkk (2008) bahwa inokulum LKLM II-20% (b/v) (lumpur kolam dari limbah cair pabrik minyak kelapa sawit (LCPMKS) dengan substrat LCPMKS 15 L, diperoleh produksi biogas paling baik dibandingkan konsentrasi lainnya, dengan biogas yang mencapai 121 liter.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

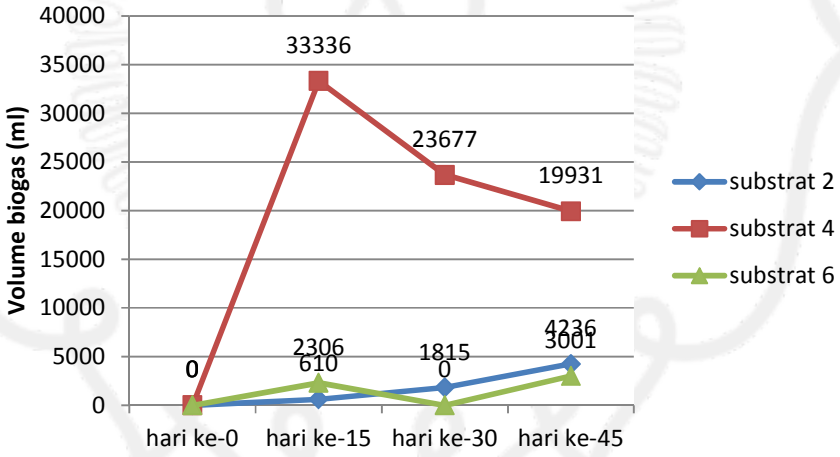
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah biogas yang dihasilkan dari proses perombakan anaerob limbah rumah makan, serta mengetahui pengaruh pemberian suhu tinggi (50ºC) terhadap jumlah biogas yang dihasilkan dari proses perombakan tersebut dengan menggunakan biodigester tipe curah (*batch*) skala laboratorium selama 45 hari waktu pengamatan. Parameter yang digunakan antara lain pH dan suhu substrat, BOD, COD, total solids, volatil solids, volume biogas, dan uji nyala. Karena parameter tersebut dapat digunakan untuk mengukur tingkat dekomposisi/proses perombakan limbah makanan.

Berdasarkan data yang diperoleh, dapat diketahui bahwa substrat dengan penambahan urea 3% dapat menghasilkan biogas lebih banyak dibandingkan substrat tanpa urea. Hasil ini di dapat baik pada kondisi suhu ruang maupun suhu tinggi (50°C) (Tabel 7). Selain itu, pada grafik (Gambar 3 dan 4) terlihat bahwa pemberian suhu 50ºC pada biodigester juga dapat meningkatkan produksi biogas. Jumlah volume biogas yang diperoleh berdasarkan perbedaan jenis maupun konsentrasi substrat dan juga perbedaan suhu lingkungan dalam 45 hari waktu pengamatan terlihat pada Gambar 3 dan 4.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 3. Volume biogas yang diperoleh dari variasi substrat pada kondisi suhu ruang (25-32°C) selama fermentasi anaerob



Gambar 4. Volume biogas yang diperoleh dari variasi substrat pada kondisi suhu tinggi (50°C) selama fermentasi anaerob

Keterangan :
1 dan 2 : Limbah makanan 80% (+ inokulum 20%)
3 dan 4 : Limbah makanan 60% dan Urea 3% (+ inokulum 20%)
5 dan 6 : Limbah makanan 40% dan Urea 6% (+ inokulum 20%)
T1 : Suhu ruang (25-32ºC)
T2 : Suhu tinggi (50ºC)

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Berdasarkan Gambar 3 dan 4, kelompok substrat yang menghasilkan biogas paling banyak adalah dari kelompok 3T1 dan 4T2, sedangkan kelompok 1T1, 2T2 dan 5T1, 6T2 menghasilkan biogas lebih sedikit. Namun demikian, banyak sedikitnya jumlah biogas yang dihasilkan tidak dapat menentukan nyala tidaknya biogas yang dihasilkan. Pada kelompok 5T1 dan 6T2, ada biogas yang dihasilkan walapun paling sedikit. Namun biogas yang dihasilkan sebagian besar tidak dapat menghasilkan nyala api. Hal ini mungkin dikarenakan kandungan gas metana pada biogas hanya sedikit. Pada umumnya, biogas hasil fermentasi anaerob limbah organik tersusun atas metana 55-70%, karbon dioksida 30-45% dan sedikit hidrogen sulfida dan amonia maupun gas-gas lainnya ≤1% (Kottner, 2002). Hammad mengatakan bahwa biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 57%. Sedangkan menurut Hessami dkk. (1996) biogas dapat terbakar jika kandungan metana minimal 60%.

Berdasarkan hasil uji nyala api, tidak semua kelompok substrat dapat menghasilkan nyala api. Hanya kelompok 1T1, 2T2, 3T1, dan 4T2 saja yang dapat menghasilkan nyala api, sedang kelompok lain (5T1 dan 6T2) kebanyakan mati walaupun ada sedikit yang bisa menghasilkan nyala api. Pada kelompok 5T1 dan 6T2 pH cenderung terus naik (Tabel 6), artinya proses tidak dapat berlangsung. Menurut Owen (1984) kenaikan pH terjadi karena Konsentrasi amonia lebih dari 5% menyebabkan perlakuan tidak efisien karena banyak amonia yang terbuang dan justru mengakibatkan kenaikan pH atau dapat menjadi zat racun bagi bakteri anaerob. Nilai pH yang terus naik mengakibatkan biogas yang dihasilkan tidak optimal

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

(kandungan metana rendah atau bahkan tidak terbentuk). Karena lingkungan yang terlalu asam/basa tidak cocok untuk perkembangan metanogen.

Gas yang dihasilkan pada kelompok 1T1, 2T2, 3T1, dan 4T2 saat pertama kali menghasilkan nyala api tetapi tidak terlalu banyak. Gas yang dihasilkan pada kelompok substrat saat pertama kali sedikit menghasilkan nyala api pada kontrol mesofilik. Tetapi berbeda dari kontrol thermofilik yang langsung banyak menghasilkan nyala api. Hal ini dikarenakan proses perombakan anaerob memerlukan beberapa tahapan, diantaranya : hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan methanogenesis. Pada saat awal perombakan masih didominasi oleh proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis sehingga gas yang dihasilkannya pun kebanyakan masih berupa gas CO_2, H_2, dan senyawa yang bersifat asam seperti asam asetat. Gas sudah dapat menghasilkan nyala api optimal pada minggu berikutnya (Manurung, 2004).

Pada hasil awal semua botol gas dapat menghasilkan nyala api. Namun masih lebih sedikit dibandingkan minggu-mingu beikutnya. Hal ini dikarenakan pH substrat mengalami penurunan pada hari ke-15, artinya proses yang berlangsung adalah tahap asidogenesis. Setelah setengah bulan berjalan (>3 minggu), baru diperoleh biogas dengan hasil terbanyak dengan nyala api yang besar dan berwarna lebih biru. Ketika nyala api biru berarti biogas yang dihasilkan sudah baik. Pembakaran akan mengeluarkan api yang berwarna biru, karena gas yang dibakar adalah gas metan (CH4), yang ikatan molekulnya hanya mengandung 1 atom C dan 4

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

atom hydrogen (Orbis, 2008). Berbeda dengan substrat kelompok 5T1 dan 6T2, gas yang dihasilkan paling sedikit dan kebanyakan tidak menghasilkan nyala api, karena proses terhambat oleh faktor pH tinggi/basa.

Jumlah volume biogas yang dihasilkan dari masing-masing kelompok perlakuan menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan (Tabel 7). Berdasarkan hasil uji ANAVA diketahui bahwa adanya variasi jenis dan konsentrasi substrat serta perbedaan suhu lingkungan memberikan pengaruh yang cukup signifikan terhadap hasil produksi biogas ($P<0,05$) (Lampiran 4). Setelah dilakukan uji lanjut dengan menggunakan DMRT 5% diketahui bahwa terdapat beda nyata dari masing-masing kombinasi perlakuan (Tabel 14 dan 15). Dari hasil yang diperoleh, kondisi terbaik terjadi pada kombinasi perlakuan S80%+I20%+U3%T2M2, yaitu : penggunaan limbah makanan kelompok (4T2), karena memiliki beban organik (nilai COD, BOD, TS, VS) paling rendah; pemberian suhu tinggi (T2) karena terjadi proses degradasi cepat dan suhu yang konstan; dan pada minggu ke-2 (M2) karena proses perombakan sudah berjalan lebih sempurna dibandingkan waktu sebelumnya dan sesudahnya. Kondisi tersebut merupakan kombinasi perlakuan terbaik dibandingkan dengan kombinasi perlakuan lain yang menghasilkan volume biogas lebih sedikit.

Menurut Owen (1984) jumlah produksi biogas yang sangat kecil menunjukkan bahwa telah terjadi proses degradasi yang tidak maksimal. Kelompok 5T1 dan 6T2 dengan penambahan urea 6% pada substrat limbah makanan menunjukkan terjadi degradasi yang tidak maksimal. Hal ini terlihat dari total

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

produksi gas yang sangat kecil, yaitu 0,5 - 3 liter dalam waktu 45 hari (Tabel 7). Hal ini merupakan pengaruh dari variasi jenis dan konsentrasi substrat dan perbedaan suhu lingkungan pada masing-masing kelompok perlakuan. Penambahan urea yang terlalu banyak pada substrat limbah rumah makan (kelompok 5T1 dan 6T2) menimbulkan beban organik berlebih. Hal ini terlihat pada nilai konsentrasi COD, BOD, VS, TS dari awal dan seterusnya yang tinggi pada kelompok 5T1 dan 6T2 (Tabel 8, 9, 10, 11). Banyaknya senyawa-senyawa kompleks pada biomassa substrat yang sulit didegradasi oleh mikroorganisme dapat mempengaruhi produksi biogas.

Gambar 7 dan 8 membuktikan bahwa pada kelompok substrat 5T1 dan 6T2 (pada kondisi suhu ruang dan suhu tinggi) menghasilkan biogas yang lebih sedikit dibandingkan dengan kelompok substrat yang lain. Pada kelompok substrat tersebut (5T1 dan 6T2) proses metanogenesis belum/tidak dapat berlangsung sempurna. Dilihat dari perubahan pH masing-masing kelompok substrat yang cenderung naik (Gambar 7 dan 8 & Tabel 6). Peningkatan pH ini dimungkinkan karena adanya penambahan urea yang berlebih. Sebab pada kelompok substrat yang lain, pH substrat masih dapat kembali netral, yang berarti bahwa proses perombakan dapat berjalan seimbang sehingga biogas yang dihasilkan optimal dan dapat menghasilkan nyala api. Sedangkan pada kelompok substrat 5T1 dan 6T2 proses perombakan tidak dapat berjalan seimbang, dilihat dari pH substrat yang semakin basa sehingga biogas tidak dapat menghasilkan nyala api (kandungan metana sedikit). Dengan demikian

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

proses perombakan menjadi tidak seimbang. Menurut NAS (1981) metanogen tidak dapat toleran pada pH diluar 6,7-7,4.

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).

Faktor lain yang dapat menghambat produksi biogas adalah adanya bahan beracun. Bahan beracun dapat berupa senyawa yang sudah ada dalam biomassa atau senyawa yang dihasilkan selama proses fermentasi anaerob. Banyak penelitian menunjukkan bahwa indikator ketidakseimbangan proses perombakan terjadi karena urea yang terlalu banyak dan dapat bersifat toksik sehingga mengakibatkan pH digester meningkat. Karena perlakuan dengan amonia atau amoniasi merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan nutrisi sebagai pengganti NaOH (Owen, 1984). Kelompok 5T1 dan 6T2 (suhu ruang dan suhu tinggi) memiliki konsentrasi urea yang tinggi (Gambar 7 dan 8).

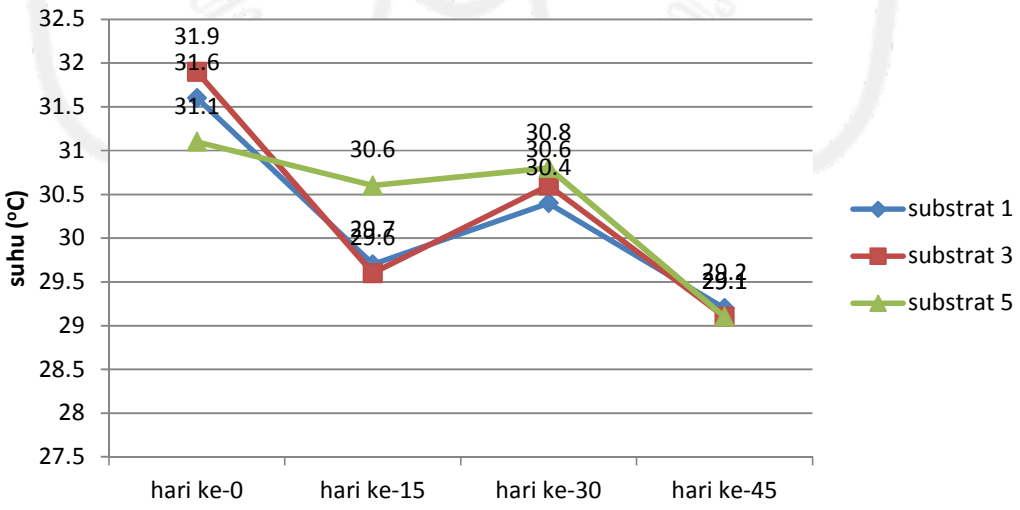
Pada kelompok substrat dengan perlakuan suhu tinggi (50°C) dapat menghasilkan biogas lebih banyak dibandingkan kelompok substrat pada suhu ruang. Hal ini mungkin dikarenakan perbedaan suhu lingkungan diantara kedua kelompok substrat tersebut (Gambar 3 dan 4). Pada suhu tinggi (50°C) substrat akan terdegradasi lebih cepat dan memudahkan difusi bahan terlarut, sehingga pembentukan gas akan lebih cepat pula. Sesuai dengan pernyataan Metcalf & Eddy

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

(2003) bahwa suhu termofilik digunakan untuk penghancuran cepat dan produksi tinggi (m^3 gas/m^3 bahan per hari) serta waktu retensi pendek dan bebas dari desinfektan.

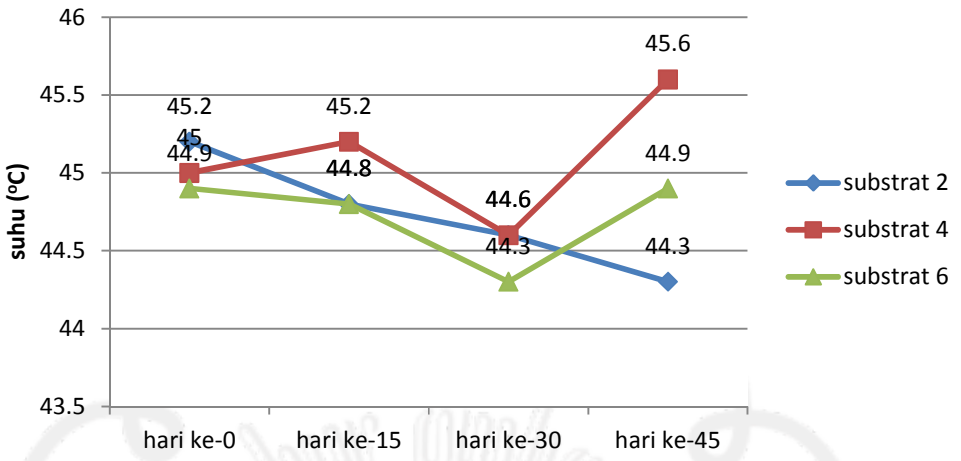
Proses fermentasi anaerob sangat peka terhadap perubahan suhu (Wellinger and Lindeberg, 1999). Produksi biogas akan menurun secara cepat akibat perubahan temperatur yang mendadak di dalam reaktor (Ginting, 2007). Bakteri metanogenik berkembang lambat dan sensitif terhadap perubahan mendadak pada kondisi-kondisi fisik dan kimiawi.

Suhu berpengaruh terhadap produksi biogas (Ginting, 2007). Gambar 5 dan 6 merupakan hasil pengamatan suhu substrat pada dua kondisi yang berbeda yaitu kondisi suhu ruang (25-32°C) dan suhu tinggi (50°C) dalam 45 hari waktu pengamatan.



Gambar 5. Rata-rata suhu substrat pada kondisi suhu ruang (25-32°C) selama fermentasi anaerob

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 6. Rata-rata suhu substrat pada kondisi suhu tinggi (50°C) selama fermentasi anaerob

Lain halnya dengan kelompok substrat pada kondisi suhu ruang, pada kelompok substrat suhu tinggi, bagian luar digester sudah diberi termokopel dengan tujuan mempertahankan suhu agar tetap konstan. Berdasarkan uji pendahuluan yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa ketika suhu lingkungan di luar digester diatur 50°C maka suhu substrat (dalam digester) adalah ±45°C. Perbedaan suhu antara di luar dan di dalam digester mungkin disebabkan karena perbedaan dari masing-masing bahan/media menyerap panas tersebut. Kondisi di luar digester lebih panas karena media yang menerima panas dalam bentuk cair (air) sehingga lebih cepat menyerap panas, sedangkan media yang menerima panas di dalam digester adalah limbah dalam bentuk mendekati padat (sedikit cair/kental) sehingga proses penyerapan panasnya lebih lama. Suhu lingkungan di luar digester tetap dipertahankan 50°C dengan menggunakan termokopel, agar tidak terjadi perubahan suhu substrat (konstan).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Jumlah volume biogas yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi oleh variasi jenis maupun konsentrasi substrat dan pemberian suhu lingkungan yang berbeda saja, tetapi dipengaruhi juga oleh beberapa faktor lain, faktor biotik maupun abiotik. Faktor lain tersebut diantaranya pH substrat, komposisi bahan organik (konsentrasi COD, BOD, VS, dan TS), dan mikroorganisme.

Karena proses anaerobik terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana, maka pengaturan pH awal proses sangat penting. Tahap pembentukan asam akan menurunkan pH awal. Jika penurunan ini cukup besar akan dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penghasil metana sebab pH yang menurun, untuk meningkatkan pH dapat dilakukan dengan penambahan kapur dan NaOH (Manurung, 2004). Nilai pH optimum dalam produksi biogas berkisar antara 7-8 (Fulford, 1988).

Pada awal penelitian, pH limbah makanan sedikit asam yaitu 5,8. pH sangat asam dikarenakan banyaknya limbah jeruk yang terkandung dalam limbah makanan. Sedangkan pH awal inokulum adalah 7,2. Setelah kedua substrat tersebut dicampur dalam suatu biodigester, pH dari masing-masing kelompok perlakuan sudah berbeda yaitu antara 5,8 - 6,3 (Tabel 6).

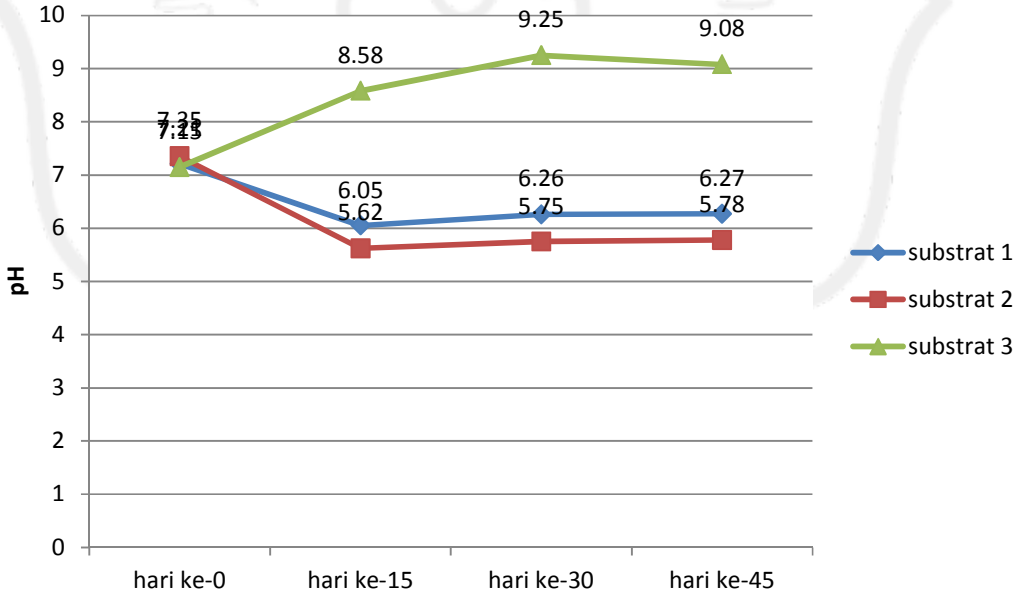
Mahajoeno dkk (2008) menyatakan bahwa pH awal substrat 7 memberikan peningkatan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH yang lain. Oleh karena itu, di awal penelitian semua kelompok substrat dijadikan netral dengan penambahan kapur ($CaCO_3$) dan NaOH (Ginting, 2007).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Tabel 16. pH substrat sebelum dan sesudah diberi kapur dan NaOH sebagai pH pada hari ke-0

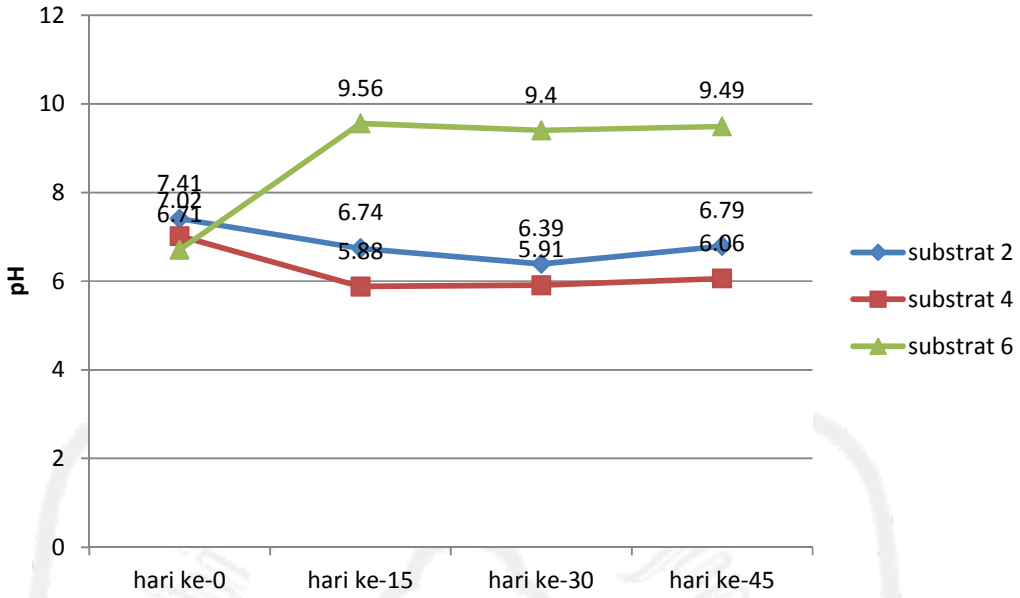
No	Kelompok substrat	Kapur (gr)	NaOH (gr)	pH (mesofilik/termofilik)
1	LM80%+I20%	100	15	7.21/7.41
2	LM80%+I20%+U3%	100	15	7.35/7.02
3	LM80%+I20%+U6%	100	15	7.15/6.72

Setelah pH substrat netral maka penelitian dapat dimulai. Pengukuran pH dilakukan 4 kali selama penelitian, yaitu hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45. Hasil pengukuran rata-rata pH ditampilkan pada gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Rata-rata pH masing-masing kelompok substrat pada suhu ruang (25-32°C) selama fermentasi anaerob

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id



Gambar 8. Rata-rata pH masing-masing kelompok substrat pada suhu tinggi (50ºC) selama fermentasi anaerob

Jika dilihat dari data pH yang diperoleh, baik pada suhu ruang (Gambar 7) maupun suhu tinggi (Gambar 8) diketahui bahwa telah terjadi penurunan nilai pH pada hari ke-15 dan kembali naik hingga hari ke-45 (Tabel 6). Tetapi tidak demikian pada kelompok 5T1 dan 6T2. Pada kelompok ini pH selalu mengalami kenaikan mulai hari ke-15, kemudian pH kembali naik pada hari ke-30 hingga hari ke-45. pH menurun disebabkan karena sedang terjadi proses asidifikasi (pembentukan asam). Setelah proses asidifikasi selesai, selanjutnya masuk pada tahap metanogenesis yaitu perubahan asam menjadi metana. Asam yang terbentuk pada tahap asidifikasi akan digunakan oleh bakteri metanogen sebagai substrat dalam pembentukan gas metan dan CO_2 sehingga pH kembali netral (Gambar 7 dan 8 : kelompok 1T1, 2T2, 3T1, dan

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

4T2 (pada hari ke-30 dan 45). Sedangkan pada kelompok substrat 5T1 dan 6T2 pH mengalami kenaikan karena pemberian urea dengan konsentrasi yang tinggi.

Fulford (1988) menyatakan bahwa diawal reaksi pembentukan biogas, bakteri penghasil asam akan aktif lebih dulu sehingga pH pada digester menjadi rendah, kemudian bakteri metanogen menggunakan asam tersebut sebagai substrat sehingga menaikkan nilai pH. Ini menandakan bahwa dalam proses produksi biogas terjadi pengaturan pH secara alami. Tingkat keasaman diatur oleh proses itu dengan sendirinya. Kresnawaty, dkk (2008) dalam penelitiannya juga mengatakan bahwa nilai pH pada awal proses menunjukkan penurunan karena terjadi hidrolisis yang umumnya terjadi dalam suasana asam, kemudian bakteri metanogen menggunakan asam tersebut sebagai substrat sehingga menaikkan nilai pH sehingga nilai ini cenderung stabil pada tahap selanjunya, yaitu pada kisaran pH 6,7-7,7. Rentang pH ini mendekati kondisi ideal pertumbuhan metanogen, yaitu 6,8-7,2. Hal demikian terjadi karena asam-asam organik diuraikan menjadi metana dan karbondioksida dan kemungkinan terbentuknya NH_3 yang meningkatkan pH larutan (Ginting, 2007).

Sedangkan pada kelompok substrat 5T1 dan 6T2, nilai pH semakin naik (basa) hingga hari ke-45. pH paling tinggi adalah dari kelompok substrat 5T1 dan 6T2 yaitu pada kisaran pH 7 - 10. Sedangkan pada kelompok substrat lain (suhu ruang dan tinggi), substrat berada pada kisaran pH 6-7. pH yang basa/tinggi pada kelompok 5T1 dan 6T2 disebabkan penambahan urea yang terlalu tinggi konsentrasinya. Dosis amonia merupakan berat nitrogen yang dipergunakan

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

dibandingkan berat bahan. Dosis amonia optimum sekitar 3-5% dari bahan . Konsentrasi amonia kurang dari 3% tidak berpengaruh terhadap proses dekomposisi dan amonia hanya berperan sebagai pengawet. Konsentrasi amonia lebih dari 5% menyebabkan perlakuan tidak efisien karena banyak amonia yang terbuang. Asumsi setiap kilogram urea secara sempurna dikonversi akan menghasilkan 0.57 kg amonia, maka dapat diperkirakan dosis optimum urea untuk amoniasi yaitu berkisar antara 5 – 7% (Owen dkk, 1984). Mungkin juga kualitas urea yang kurang baik, karena mengandung sedikit bahan toksik/campuran bahan lain yang dapat mengambat proses perombakan anaerob.

Selain dihasilkan biogas sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, proses perombakan anaerob juga dapat menurunkan tingkat pencemaran dari limbah organik sehingga aman bagi lingkungan. Proses perombakan atau degradasi bahan organik dapat dilihat dari perubahan karakter atau sifat outlet limbah (effluent), baik sifat fisik maupun kimia seperti pH, BOD, COD, VS, dan (TS). Selain perubahan sifat, proses degradasi juga dapat dilihat dari nilai reduksi/effisiensi perombakan (Tabel 8, 9, 10 dan 11).

Berdasarkan hasil uji ANAVA diketahui bahwa perbedaan jenis substrat dan suhu lingkungan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai rata-rata COD dan BOD ($P<0,05$) (Lampiran 2 dan 3). Setelah dilakukan uji lanjut dengan menggunakan DMRT pada taraf 5% diketahui bahwa terdapat beda nyata antar masing-masing kelompok kombinasi perlakuan (Tabel 14 dan 15). Kelompok yang

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

memiliki nilai rata-rata COD terendah adalah S1T2M6 (23,22 g/l). Nilai ini tidak berbeda nyata dengan kelompok S1T1M6, tetapi berbeda nyata dengan kelompok lain. Seperti halnya COD, nilai rata-rata TS terendah juga pada kelompok S1T2M6 (30.97 g/l), nilai ini tidak berbeda nyata dengan kelompok S1T2M4 tetapi berbeda nyata dengan kelompok kombinasi perlakuan lain.

Mikroorganisme dalam limbah terus menerus melakukan proses metabolisme sepanjang kebutuhan energinya terpenuhi dan akan menghasilkan senyawa-senyawa yang dapat memberikan dampak terhadap turun naiknya COD (Hanifah dkk, 2001). COD merupakan variabel terpenting yang menunjukkan berhasil atau tidaknya proses degradasi (Nugrahini dkk, 2008). Pengukuran COD mendeteksi keseluruhan senyawa organik, baik organik komplek maupun organik sederhana (Syamsudin dkk, 2008).

Pada masing-masing perlakuan mengalami penurunan nilai BOD, COD, TS, VS tetapi dengan nilai effisiensi yang berbeda-beda (Tabel 8, 9, 10, 11). Chemical oxygen demand adalah kapasitas air untuk menggunakan oksigen selama peruraian senyawa organik terlarut dan mengoksidasi senyawa anorganik seperti amonia dan nitrit (Ginting, 2007).

Bahan organik tinggi yang terkandung dalam air buangan berpotensi untuk mencemari lingkungan alam sekitarnya. Pengolahan secara biologi merupakan salah satu alternatif usaha untuk menanggulanginya. Bahan organik tinggi (COD > 4.000

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

mg/L). Persentase penyisihan COD akan menurun disertai dengan penurunan persentase pembentukan gas CH4 (Mindriany, 2003).

Menurut Kresnawaty (2008) penurunan nilai COD disebabkan karena telah terjadi proses hidrolisis. Pada tahap tersebut, bahan organik dimanfaatkan oleh mikroorganime sebagai nutrisi dan mengubahnya ke dalam bentuk senyawa yang lebih sederhana. Reduksi tertinggi sebesar 79,09% yaitu pada kelompok 4T2 (substrat limbah makanan pada kondisi suhu tinggi) dengan penambahan urea 3% yang terjadi pada minggu ke 0 sampai minggu ke 6. Pada tahapan tersebut bakteri pendegradasi limbah dapat bekerja secara optimal, karena waktu tinggal (HRT) yang cukup lama memberi kesempatan kontak lebih lama antara lumpur anaerobik (inokulum) dengan limbah organik (substrat). Dengan demikian proses degradasi menjadi lebih baik dibandingkan waktu lainnya.

Sedangkan reduksi terendah sebesar 20,08% yaitu pada kelompok 6T2 (penambahan 6% urea pada kondisi suhu tinggi) pada dua minggu pertama. Rendahnya nilai effisiensi reduksi COD mungkin dikarenakan kandungan bahan organik yang terlalu tinggi. Hal ini dapat dilihat dari nilai COD influent pada kelompok 5T1 dan 6T2 pada Tabel 8. Kandungan senyawa organik COD yang cukup tinggi menunjukkan bahwa limbah dominan mengandung senyawa organik yang bersifat komplek dengan tingkat pencemaran yang cukup tinggi. Menurut Munazah dan Prayatni (2008), semakin tinggi beban influen maka effisiensi penyisihan akan

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

menurun. Sama halnya dengan yang disampaikan oleh Mathiot *et al.,* (1992) dan Borja *et al.,* (1994) dalam Nachaiyasit (2003).

Selain itu, dapat disebabkan juga oleh tidak sempurnanya proses fermentasi substrat akibat terlalu tingginya derajat keasaman substrat, sehingga proses dekomposisi anaerob pada biodigester tidak mencapai tahapan *methanogenic* sempurna. Hal ini terlihat dari derajat keasaman substrat yang tinggi pada akhir produksi (kelompok 5T1 dan 6T2) (Tabel 6), yang menandakan tidak berlangsungnya/terhambatnya tahap-tahap proses perombakan anaerob (tahap produksi biogas) (Ratnaningsih, 2009). Pada kelompok 5T1 dan 6T2, besarnya nilai COD yang relatif tinggi mungkin juga dikarenakan pada proses fermentasi tidak terjadi penyisihan COD, melainkan senyawa organik hanya berubah bentuk ke senyawa organik lainnya (Gaudy dan Gaudy, 1980). Oleh karenanya proses yang tidak berlangsung pada biodigester karena pH yang cukup tinggi dan diduga bersifat toksik, sehingga bakteri mengalami kematian/non aktif (Owen dkk, 1984). Hal ini didukung oleh nilai pH yang tinggi pada kelompok tersebut (Tabel 6).

Gas terbentuk dari proses degradasi limbah oleh mikroba dalam lumpur anaerobik yang merupakan media utama pendegradasi dalam sistem biodigester. Selama penelitian dilaksanakan, jumlah volume gas yang didapatkan cukup fluktuatif (Lampiran 1). Berdasarkan hasil yang diperoleh, bahwa jumlah gas yang terakumulasi sebanding dengan nilai reduksi COD. Tingkat reduksi yang tinggi akan menghasilkan jumlah akumulasi gas yang besar dan begitu juga sebaliknya

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

(Nugrahini, 2008). Pernyataan ini sesuai dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian bahwa kelompok substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 3% pada kondisi suhu tinggi (4T2) mempunyai nilai reduksi paling tinggi dan disertai dengan banyaknya volume biogas yang terbentuk. Terjadinya reduksi COD yang kecil dikarenakan senyawa organik sederhana hasil hidrolisis mempunyai nilai COD lebih kecil dibandingkan senyawa organik komplek yang memilki berat molekul lebih besar (Syamsudin, 2008).

Selain nilai COD, perubahan sifat pada effluent limbah juga dapat dilihat dari perubahan nilai total solidnya (TS). Berdasarkan perolehan data total solids selama 45 hari proses perombakan anaerob, diketahui bahwa terjadi penurunan kadar TS pada semua bahan (Lampiran 1), efisiensi perombakan organik TS sebesar 15-37% (Tabel 10). Reduksi total solids ini disebabkan perombakan bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme (Ratnaningsih, 2009). Nilai efisiensi perombakan organik TS tertinggi sebesar 80,77%, yaitu untuk kelompok substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 3% pada kondisi suhu tinggi (4T2). Sedangkan terendah adalah -12,58% untuk kelompok substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 6% pada kondisi suhu ruang (5T1).

Nilai efisiensi perombakan organik TS yang cukup tinggi dikarenakan kandungan bahan organik pada limbah makanan cukup tinggi dan mengandung unsur protein, lemak, dan karbohidrat. Karakteristik yang demikian membuat bahan tersebut mudah dicerna oleh mikroorganisme atau mudah diolah secara biologis.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Sedangkan rendahnya nilai reduksi TS pada kelompok 5T1 dan 6T2 mungkin dikarenakan kandungan bahan organik yang terlalu tinggi pada urea sehingga mikroorganisme sulit mendegradasi senyawa-senyawa kompleks yang ada dan membutuhkan waktu yang relatif lama (Nugraha, 1995).

Untuk nilai reduksi VS,nilai reduksi tertinggi pada kelompok substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 3% pada kondisi suhu tinggi (4T2) yaitu : 85,94% dan nilai reduksi terendah pada kelompok substrat substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 6% pada kondisi suhu ruang (5T1) yaitu: 18,18%.

Biological (biochemical) oxygen demand adalah kuantitas oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam menguraikan senyawa organik terlarut. jika BOD tinggi maka dissolved oxygen (DO) menurun karena oksigen yang terlarut tersebut digunakan oleh bakteri (Ginting, 2007)

Jenis limbah akan menentukan besar kecilnya BOD, apakah limbah tersebut mudah membusuk atau tidak. Semakin mudah terjadi pembusukan / perombakan, maka BOD akan semakin besar. Proses dekomposisi sangat dipengaruhi oleh suhu (Ginting, 1992).

Derajat keasaman pH air akan sangat menentukan aktivitas mikroorganisme, pada pH antara 6,5 – 8,3 aktivitas mikroorganisme sangat baik. Pada pH yang sangat kecil atau sangat besar, mikroorganisme tidak aktif, atau bahkan akan mati (Darsono, 2007).

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Selain faktor tersebut yang sudah dijelaskan, aktivitas mikroorganisme ditentukan oleh kondisi air secara keseluruhan. Kondisi air secara keseluruhan yang mendukung berkembang biaknya mikroorganisme akan menyebabkan BOD besar. Mikroorganisme akan sangat terganggu oleh adanya sabun atau bahkan mati bila ada racun (Darsono, 2007).

Untuk nilai reduksi BOD hampir sama dengan COD. Nilai reduksi tertinggi pada kelompok substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 3% pada kondisi suhu tinggi (4T2) yaitu : 84,76% dan nilai reduksi terendah pada kelompok substrat substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 6% pada kondisi suhu ruang (5T1) yaitu: 39,75%.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Kondisi efektif untuk produksi biogas di dalam perombakan anaerob berdasarkan jenis substrat limbah rumah makan terbaik adalah kombinasi kelompok substrat 80%, inokulum 20% limbah rumah makan ditambah dengan urea 3% pada suhu tinggi.
2. Perbedaan temperatur substrat perombakan anaerob berpengaruh terhadap produksi biogas.
3. Penambahan urea dan perbedaan pH awal dalam digester dapat meningkatkan produksi biogas.

C. Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan menggunakan substrat limbah makanan atau substrat limbah yang lain dan dengan kombinasi yang lain/bermacam-macam, sehingga mungkin dapat ditemukan alternatif lain yang lebih efektif, karena pada penelitian ini pengaruh substrat, pH, dan suhu dapat mempengaruhi poduksi biogas.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Daftar Pustaka

Abdullah,K., Abdul Kohar Irwanto, Nirwan Siregar, Endah Agustina, Armansyah H.Tambunan, M. Yasin, Edy Hartulistiyoso, Y. Aris Purwanto, 1991. *Energi dan Listrik Pertanian*, JICA-DGHE/IPB Project/ADAET, JTA-9a (132).

Adam, K. H. 1980. Process parameter retention time and loading rates. *In National Workshop on Biogas Technology*, Kuala Lumpur, 23-24 March 1981, 172-188.

Adrianto A., T. Setiadi, M. Syafilla dan O.B., Liang. 2001. Studi kinetika reaksi hidrolisis senyawa kompleks organic dalam proses biodegradasi Anaerob. *Jurnal Biosains* 6(1) : 1-9.

A. Malakahmad, N. Ahmad, B. & S. Md. Zain. 2009. *An application of anaerobic baffled reactor to produce biogas from kitchen waste*. http://library.witpress.com/index.html.

Alps Environmental Technologies. 2005. AGRI/*Kitchen waste based biogas plant*. http://www.alpsenviro.com/index.html.

Anonim1.-.*Klasifikasi dan Karakteristik Limbah*. http://www.google.com/karakteristik limbah[pdf].

Anonim 2. -. *Dasar-Dasar Teknologi Biogas*. http://www.google.com/teknologi biogas [pdf].

[APO] Asian Productivity Organization. 2003. *A Measurement Guide to Green Productivity*. Tokyo, Asian Productivity Organization.

Bapedal 1995. Teknologi Pengendalian Dampak Lingkungan Industri Penyamakan Kulit.. Jakarta.

Bardia, N and A.C. Gaur. 1994. Iron suplementation enhances biogas generation. *In*: Klass, D.L. (ed). *Proceedings Biomass Conference of the Americas II*. New York: National Renewable Energy Laboratory Golden Co.

Bitton, G. 1999. *Wastewater Microbiology*. 2nd ed. Wiley Liss Inc. New York.

De Baire, L., (1999) Anaerobic Digestion of Solid Waste: State of the Art, *Water, Science Technology*. 41: 283-290.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

De Mez , T. Z. D., Stams, A. J. M., Reith, J. H., and G., Zeeman. 2003. Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. In : *Biomethane and Biohydrogen Status add Perspectives of biological methane and hydrogen production.* Edited by J.H. Reith, R.H. Wijffels and H. Barten. Dutch Biological Hydrogen Foundation.

Duryatmo, S. 2007. *Metamorfosis Limbah Tetes Tebu*. Majalah Trubus.

Energy Resources Development Series No.19 Escap, Bangkok.

Engler, C.R., M.J. McFarland and R.D. Lacewell,. 2000. Economic and environmental impact of biogas production and use. http//:dallas.edu/biogas/eaei.html.

Fry, L.J. 1973. *Practical Building of Methane Power Plant For Rural Energy Independence*, 2nd edition, Chapel River Press, Hampshire-Great Britain.

Gaudy, A. and Elizabeth ,G. 1980. *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*. McGraw Hill, New York, (1980).

Garcelon, J. and Clark, J. *Waste Digester Design*. Civil Engineering Laboratory Agenda, University of Florida, http://www.ce.ufl.edu/activities/waste/wddndx.html.

Ginkel.J.T. 1999. Physical and Biochemical Processes In Composting Material.

Ginting, N. 2007. Penuntun Praktikum : *Teknologi Pengolahan Limbah Peternakan*. Departemen Peternakan Fakultas Pertanian : Universitas Sumatera Utara.

Greenberg, A.E., L.S. Clasceri and A.D. Easton. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water Wastewater*. 18th ed. APHA, AWWA, WACF. Washington.

GTZ.1990.*BiogasUtilization*.http://gtz.de/gate/techinfo/biogas/appldev/operation/utilizat.

Guiot, S. R. dan Van Den L. Berg., 1985. Performance of an Upflow Anaerobic Reactor Combining a Sludge Blanket and a Filter Treating Sugar Waste. Biotechnology and Bioengineering. Vol. 27. Hal. 800-806. John Wiley & Sons Inc., 1985.

Gunnerson, C.G. and Stuckey, D.C. 1986. Anaerobic Digestion : Principles and Practices for Biogas System. The World bank Washington, D.C., USA.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Hammad S.M.D. 1999. Integrated environmental and sanitary engineering project at Mirzapur. Journal of Indian Water Work Association 28:231-236.

Hanifah, T.A; Christine, J; dan Titania, T.N. 2001. Pengolahan limbah cair tapioka dengan teknologi EM (*Effective Microorganisms*). Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Riau. Jurnal Natur Indonesia III (2): 95-103 (2001).

Hansen, H. H., Angelidaki, I. and Ahring, B. K. 1999. "*Improving thermophilic anaerobic digestion of swine manure*", Wat. Sci. Tech., 33(8), 1805-1810.

Harahap, F.M., Apandi, dan Ginting, S. 1978. Teknologi Gasbio. Bandung : treatment. *Journal of Animal Science* 12 (4): 604 – 606.

Harold ,B. G. 1965. Composting. World Health Organization. Geneva. Haug. R. T. 1962. Compost Engineering. Principle and Practice. USA.

Hessami M.A., Christensen S. and Gani R. 1996. *Anaerobic digestion of household organic waste to produce biogas*. Renewable Energy (9) : 1-4, 954-957.

Jenie, B.S.L. dan Winiati P.R. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius. Yogyakarta.

Jawed, M. and Tare, V.R. 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.

Judoamidjojo, R.M., E.G. Said dan L. Hartoto. 1989. *Biokonversi*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Dit. Jend. Pendidikan Tinggi. P A U Bioteknologi IPB : Bogor.

Kadir, A. 1995. *Energi* : *Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Edisi kedua. Jakarta : Universitas Indonesia (UI Press).

Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1997. Agenda 21 Indonesia : Strategi Nasional untuk Pembangunan Berkelanjutan, Jakarta : Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup, 690 hlm.

Kharistya, A. 2004. Rancang Bangun dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethilene Skala Kecil (Studi Kasus Ds. Cidatar Kec. Cisurupan, Kab. Garut). (Tugas Akhir). Fakultas Pertanian, UNPAD : Indonesia.

Koopmans, A. 1998. *Trend in Energy Use. Expert Consultation on Wood Energy, Climate and Health*. 7-9 October, 1998, Phuket, Thailand**.**

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Kottner, M. 2002. Dry fermentation – a new method for biological treatment in ecological sanitation systems (ecosan) for biogas and fertilizer production from stackable biomass suitable for semiarid climates. *In 3rd International Conference & Exhibition on Integrated Environmental Management in Southern Africa*. Johannesburg, South Africa, Aug 27-30 2002, pp http://www.misa.umn.edu/%7Emnproj/pdf/hauby%20final3.pdf.

Kresnawaty, I., I. Susanti., Siswanto., dan Panji, T.. 2008. *Optimasi produksi biogas dari limbah lateks cair pekat dengan penambahan logam*. Jurnal Menara Perkebunan. Vol 76(1),hal 23-35 Th 2008. Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia : Bogor.

Kusarpoko, B. 1994. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Anaerob Perombak Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit. [*Tesis*]. Program Pascasarjana IPB : Bogor.

Loebis A & Tobing. 1992. *Penetapan Kualitas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Metode Pengujian Sederhana*. Berita Penelitian Perkebunan 2:146-151.

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.

Mahajoeno, E., Lay W.B, Sutjahjo, H.S., Siswanto. 2008. Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas. *Biodiversitas* vol 9:48 – 52.

Manurung, R. 2004. *Proses Anaerobik Sebagai Alternatif Untuk Mengolah Limbah Sawit*. Program Studi Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.

[NAS] National Academy of Sciences. 1981. *Methane generation from human, animal, and agricultural wastes*. 2nd Ed. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

NetSains. 2007. "*Mengapa Biomassa Mampu Menekan Efek Pencemaran*?". http://www.NetSains.com/biomassa.

Nugroho, A., R.P Djoko M. dan Danny S. 2007. *Cara Mengatasi Limbah Rumah Makan*. Teknik Kimia Universitas Diponegoro : Semarang.

Nurhasanah, Ana., Teguh W.W., Ahmad A. dan Elita R. 2006. *Perkembangan Digester Biogas di Indonesia (Studi Kasus di Jawa Barat dan Jawa Tengah)*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian : Serpong.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Nurmaini. 2001. *Peningkatan Zat-Zat Pencemar Mengakibatkan Pemanasan Global*. Fakultas Kesehatan Masyarakat : Universitas Sumatera Utara.

Owen. 1984, "Biochemical engineering fundamental", 2-nd ed., Mc Graw Hill Book Co, International edition, hal. 161 - 163, 943 - 957.

Panji, Tri; Suharyanto; dan Siswanto. 2007. Pemanfaatan limbah lateks pekat untuk produksi biogas dan bioindustri menuju produksi bersih. *Laporan Kemajuan Penelitian Proyek Riset Insentif Terapan*. Bogor, Balai Penelitian Bioteknologi Perkebunan Indonesia. 49p.

Pambudi, N.A. 2008. *Pemanfaatan biogas sebagai energi alternatif*. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik:Universitas Gadjah Mada. http://www.dikti.org/.

Pramana, A.S.D. 2008. *Selayang Pandang Tentang Molase (Tetes Tebu)*. Chemical Engineering Knowledge.

Prastowo, B. 2007. Potensi Sektor Pertanian Sebagai Penghasil dan Pengguna Energi Terbarukan : Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan Indonesian Center for Estate Crops Research and Development. *Perspektif* Vol. 6 No. 2 Desember 2007. Hal 84 – 92.

Prometheus. 2005. Reaktor Biogas Skala Kecil/Menengah (Bagian Kedua). *Artikel IPTEK : Bidang Energi dan Sumber Daya Alam*. http://www.prometheus-energy.com/digester.html.

Pudja, I .P. 2007. Perubahan Iklim Bukan Tanggung Jawab Parsial. *Artikel Bali Post*. Denpasar.

Purwono. 2003. *Penentuan Rendeman Gula Tebu Secara Cepat*. Science Philosophy, Graduate Program (S3) Institut Pertanian Bogor.

Ratnaningsih; H. Widyatmoko; Trieko Yananto. 2009. Potensi pembentukan biogas pada proses biodegradasi campuran sampah organik segar dan kotoran sapi dalam *batch* reaktor anaerob. Vol.5 No.1, Juni 2009. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta.

Reith, J.H., H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, J.J. Niessen, E. de Jong, H.W. Elbersen, R. Weusthuis, J.P. van Dijken & L. Raamsdonk. 2002. Co-production of bio-ethanol, electricity and heat from biomass residues. *Proceedings* of the 12th European Conference on Biomass for Energy,

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Industry and Climate Protection, 17 -21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. pp. 1118 - 1123.

Riyadi, A. 2007. *Portable Refinery menghasilkan bahan bakar dari limbah makanan dan sampah*. http://www.Aw/livescience.com.

Sahirman, S. 1994. Kajian Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Memproduksi Gasbio. [*Tesis*]. Program Pascasarjana IPB : Bogor.

Said, E. G. 198. Bioindustri: Penerapan Teknologi Fermentasi. Jakarta: PT. Mediyatama Sarana Perkasa.

Setiawan. 2004. Industri apioka Penanganan Limbah Cair dan Padat. Makalah pada Lokakarya Pemanfaatan Limbah Industri Tapioka, Bogor, 19-20 Juli 2004.

Sherrington, K.B. 1981. Ilmu Pangan : Pengantar Ilmu Pangan Nutrisi dan Mikrobiologi. Yogyakarta :UGM Press.

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.

Spangler, D.J.and G.H. Emert. 1986. Simultaneos saccharification/fermentation with *Zymomonas mobilis*. *Biotech*. Bioeng. 28:115 - 118.

Sufyandi, A. 2001. *Informasi Teknologi Tepat guna Untuk Pedesaan Biogas*. Bandung.

Sugiharto. 1987. *Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*. Jakarta : UI-Press.

Suyati, F. 2006. Perancangan awal instalasi biogas pada kandang terpencar Kelompok Ternak Tani Mukti Andhini Dukuh Butuh Prambanan Untuk Skala Rumah Tangga. *Skripsi*. Jurusan Teknik Fisika:Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Syafila, M., H.D.L Azis dan E. Lyastuti, 2003. Studi mekanisme sel termobilisasi dan sel bebas dalam fase terlekat pada reactor hibrit anaerob dengan beban organik tinggi dan perlakuan waktu retensi. *Jurnal. Biosains* (1):16-23.

Syamsudin; Purwati, S; dan Andri, T. R. 2008. Efektivitas aplikasi enzim dalam sistem lumpur aktif pada pengolahan air limbah pulp dan kertas. Balai Besar Pulp dan Kertas, Bandung. *Berita Selulosa* Vol. 43(2), hal 83-92, Desember 2008.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Teguh , W. W and Agung, H. 2005. Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia. *Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable Development*. Beijing, October 17-20,2005. pp. 255-261 [in English].

Triwahyuningsih, N dan Rahmat A. 2006. *Pemanfaatan Energi Biomassa sebagai Biofuel* : *Konsep Sinergi dengan Ketahanan Pangan di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Fakultas Pertanian UMY.

United Nations. 1980. *Guidebook on Biogas Development*. Energy Resources Development Series No. 21. Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Bangkok. Thailand.

Veziroglu, T.N. 1991. Hydrogen Technology for Every Needs of Human Settlement. Int. *Journal Hydrogen Energy*, 12:99.

Weijma, J., A.J.M. Stams, L.W. Hulshoff-Pol and G. Lettinga. 2000. Thermophilic sulfate reduction and methanogenesis with methanol in a high rate anaerobic reactor. *Biotech*. Bioeng. 67(3):354 – 363.

Wellinger A, & A. Lindeberg 1999. Biogas upgrading and utilization. IEA Bioenergy Task 24: *energy from biological conversion of organik wastes*. 18 p http://www. IEA Bioenergy/Task 24.edu/pdf.

Wellinger A. 1999. *Process design of agricultural digesters*. http://ww.homepade.2.nifty.com/biogas/cont/ref.doc/wherefdrcom/d.14prod.gas.pdf.

Werner U., Stochr V. and N. Hees. 2004. *Biogas Plant in Animal Husbandry* : Application of the Dutch Guesllechaft Fuer Technische Zusemmernarbeit (GTZ) GnbH.

Widodo, T.W and Agung, H. 2005. Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia. *Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable Development*. Beijing, October 17-20,2005. pp. 255-261 [in English].

Widodo, T.W., Asari, A., Ana, N., dan Elita, R. 2006. Rekayasa dan Pengujian Reaktor Biogas Skala Kelompok Tani Ternak. *Jurnal Engineering Pertanian*, Vol. IV, No. 1.

Widodo, T.W., Asari, A., Ana, N., dan Elita, R. 2008. *Pemanfaatan Limbah Industri Pertanian Untuk Energi Biogas*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian Serpong. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.

library.uns.ac.id digilib.uns.ac.id

Wikipedia. 2008. *Efek Rumah Kaca*. http://id.wikipedia.org/wiki/Pemanasan_global.

Wikipedia. 2008. *Gas Rumah Kaca*. http://id.wikipedia.org/wiki/Gas Rumah Kaca.

Wright, J.D., C.E Wyman and K. Grohmann. 1988. Simultaneous saccharification and fermentation of lignocelluloses. Appl. *Biochem. Biotechnol* 18:75-81.

Yapp, Jason and Rijk, Adrianus.2005. *CDM Potential for the Commercialization of the Integrated Biogas*.

Zhang, R., El-Mashad, H.M., Hartman, K., Wang, F., Liu, G Choate, C., and Gamble, P., 2007. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*. 98 (4), 929-935.