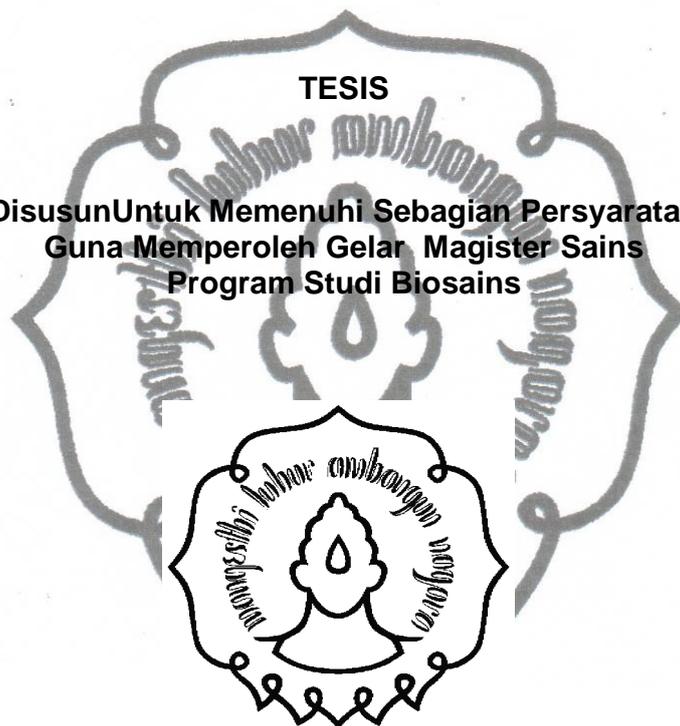


**PRODUKSI BIOGAS DARI BIOMASSA KOTORAN SAPI DALAM
BIODIGESTER *FIX DOME* DENGAN PENGECERAN DAN
PENAMBAHAN AGITASI**

TESIS

**Disusun Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Magister Sains
Program Studi Biosains**



Oleh :
Wedo Sasongko
S 900208031

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS SEBELAS MARET
SURAKARTA
2010**

**PRODUKSI BIOGAS DARI BIOMASSA KOTORAN SAPI DALAM
BIODIGESTER *FIX DOME* DENGAN PENGENCERAN
DAN PENAMBAHAN AGITASI**

TESIS

**Disusun oleh :
Wedo Sasongko
S900208031**

Telah disetujui oleh Tim Pembimbing

Komisi Pembimbing	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Pembimbing I	Prof.Drs Sutarno,M.Sc.,Ph.D NIP. 196008091986121001	.....	.....
Pembimbing II	Dr.Edwi Mahajoeno,M.Si NIP. 196010251997021001	.....	.....

Mengetahui

Ketua Program Studi Biosains

Dr.Sugiyarto,M.Si
NIP. 196704301992031002

commit to user

**PRODUKSI BIOGAS DARI BIOMASSA KOTORAN SAPI DALAM
BIODIGESTER *FIX DOME* DENGAN PENGENCERAN
DAN PENAMBAHAN AGITASI**

TESIS

Oleh
Wedo Sasongko
S900208031

Telah dipertahankan di depan penguji
Dinyatakan telah memenuhi syarat
Pada tanggal 2010

Telah disetujui oleh tim penguji

Jabatan	Nama	Tanda Tangan	Tanggal
Ketua	Prof. Drs. Suranto, M.Sc. PhD. NIP. 195708201985031004	.....	.....
Sekretaris	Dr. Sugiyarto, M.Si. NIP. 196704301992031002	.....	.....
Anggota Penguji	Prof. Drs. Sutarno, M.Sc., Ph.D NIP. 196008091986121001	.....	.....
	Dr. Edwi Mahajoeno, M.Si NIP. 196010251997021001	.....	.....

Mengetahui

Direktur Program Pascasarjana UNS

Ketua Program Studi Biosains

Prof. Drs. Suranto, MSc., Ph.D.
NIP. 195708201985031004

Dr. Sugiyarto, M.Si.
NIP. 196704301992031002

commit to user

Produksi Biogas Dari Biomassa Kotoran Sapi Dalam Biodigester *Fix Dome* Dengan Pengenceran Dan Penambahan Agitasi

Wedo Sasongko, Sutarno dan Edwi Mahajoeno
Program Studi Magister Biosains, PPS-UNS Surakarta.

ABSTRAK

Indonesia sebagai negara agraris dan tropis, mempunyai kekayaan alam melimpah sebagai sumber bahan baku bioenergi dalam bentuk biomasa, yang dapat dimanfaatkan untuk menghadapi kelangkaan energi fosil di masa mendatang. Salah satu bahan baku tersebut adalah limbah kotoran sapi. Disamping sebagai sumber pencemar, di sisi lain limbah ini dapat dipakai sebagai bahan baku pembuatan biogas.

Penelitian optimasi rasio pengenceran optimal dalam produksi biogas secara laboratorium ini menggunakan jerigen modifikasi biodigester 20 l, yang selanjutnya diaplikasikan dilapangan untuk skala semi pilot dengan menggunakan biodigester fix dome 9 m³. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimen skala laboratorium dan skala lapangan. Perlakuannya berupa penambahan pengenceran dan agitasi, sedangkan variabel yang diamati adalah produksi biogas. Untuk analisis data skala laboratorium digunakan statistik deskriptif dan statistik multivariat, sedangkan untuk analisis data skala lapangan digunakan statistik deskriptif.

Hasil penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi perombakan bahan dalam substrat (VS, TS, COD), rasio 1:3 masing-masing adalah 81,28%; 80,63%; 80,63%. Pada pengenceran 1:1 efisiensi perombakan VS, TS, COD masing-masing 79,69%; 78,36%; 77,20%. Pada rasio pengenceran 1:5 efisiensi perombakan VS, TS, COD masing-masing 50,28%; 50,64%; 49,77% dan pada pengenceran 1:7 efisiensi perombakan VS, TS, COD masing-masing 50,46%; 50,54%; 49,72%. Produksi biogas paling tinggi pada rasio pengenceran 1:3 sebesar 1,11 l/hari, dan produksi biogas paling cepat dengan rasio 1:1, rerata hasil yang diperoleh adalah 1,03 l/hari. Produksi biogas terendah pada Rasio pengenceran 1:5 dan 1:7 masing-masing; 0,43 l/hari; 0,37 l/hari. Selanjutnya direkomendasikan untuk skala semi pilot dengan rasio pengenceran 1:3, dan 1:1. Agitasi berpengaruh nyata terhadap efisiensi perombakan bahan terlarut maupun produksi biogas. Efisiensi perombakan rasio pengenceran 1:3 lebih tinggi dibanding 1:1. Hasil pengukuran parameter COD, TS, VS untuk rasio 1:3 masing-masing 78,45%; 82,56%; 82,75%. Pada perombakan rasio 1:1, efisiensi COD, TS, VS masing-masing 51,64%; 65,22%; 57,67%. Rerata produksi biogas sebesar 18 m³/hari untuk rasio pengenceran 1:3 dengan agitasi, dan tanpa agitasi 6,62 m³/hari, sedang pengenceran 1:1 adalah 6,16 m³/hari. Kesimpulannya adalah bahwa rasio pengenceran berpengaruh terhadap efisiensi perombakan bahan terlarut pada setiap parameter terukur, demikian pula terhadap biogas. Agitasi dapat meningkatkan efisiensi bahan terlarut dalam substrat dan peningkatan produksi biogas skala semi pilot.

Kata kunci : Biodigester, biogas, rasio pengenceran, agitasi, efisiensi perombakan organik

The production of Biogas and Biomass From cow Feces *Fix Dome* Biodigester By Dilution and Adding Agitation

Wedo Sasongko, Sutarno, and Edwi Mahajoeno
Program of Study: Master's Degree of Bioscience, Postgraduate Program
"Sebelas Maret" University, Surakarta

ABSTRACT

Indonesia, an agricultural and tropical country, has abundant natural resources that can be used as a source of bioenergy raw materials in the form of biomass, which can be exploited to deal with the scarcity of fossil energy in the future. One of the raw materials is cow manure. Beside as a source of pollution, this manure can be used as the raw material for biogas.

In the research of dilution ratio optimization in laboratorial scale gas production, we use modified 20 l jerry can biodigester, then it is applied on the field in semi-pilot scale by using biodigester fix dome 9m³. Experiment method in laboratorial and field scales are used. The treatment is by adding dilution and agitation, while the observed variable is the gas production. For laboratorial scale data analysis, descriptive and multivariate statistics are used., whereas for field scale analysis, descriptive statistic is used.

The results obtained showed that the breaking down efficiency of the material in the substrates (VS, TS, COD), the ratio of 1:3 are respectively 81.28%, 80.63%, and 80.63%. With 1:1 dilution the breaking down efficiency of VS, TS, COD are respectively 79.69%, 78.36%, and 77.20%. With 1:5 dilution, the ratio of breaking down efficiency of VS, TS, COD are respectively 50.28%, 50.64%, and 49.77%, and with 1:7 dilution the breaking down efficiency of VS, TS, COD are respectively 50.46%, 50.54%, and 49.72%. The highest biogas production at a ratio of 1:3 dilution is 1.11 per day, and the fastest biogas production ratio 1:1 is the average production of 1.03 l per day. The lowest gas production with dilution ratio of 1:5 and 1:7 are respectively 0.43 l per day and 0.37 l per day. Henceforth it is recommended for semi-pilot scale with a dilution ratio of 1:3, and 1:1 . Agitation affects significantly to the breaking down efficiency of the dissolved materials and the production of biogas. The breaking down efficiency with dilution ratio 1:3 is higher than ratio 1:1. Measurement result of COD, TS, VS for the ratio 1:3 are respectively 78.45%, 82.56%, and 82.75%. For breaking down with ratio 1:1, the efficiency of COD, TS, VS are respectively 51.64%, 65.22%, and 57.67%. The average production is 18 m³/day for the dilution ratio 1:3 with agitation, and 6.62 m³/day without agitation, while 1:1 dilution is 6.16 m³/day. The conclusion is that the ratio of dilution affects the breaking down efficiency of the dissolved materials in each of the parameter measured, as well as on biogas. Agitation can increase the efficiency of dissolved materials in the substrate and increase biogas production of semi-pilot scale.

Key words : biodigester, biogas, dilution ratio, agitation, organic reduction efficiency.

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

” Jangan sekali-kali menganggap sempurna suatu inspirasi kalbu yang buahnya belum engkau ketahui. Tujuan dari bergumpalnya awan bukanlah turunnya hujan, melainkan tumbuhnya bebuahan”

(Mutiara Al Hikam)



Karya sederhana ini kupersembahkan kepada

istriku dan anakku tercinta

Sri Sulanjari

Muhammad Jaya Sasongko

KATA PENGANTAR

Alkhamdulillah dipanjatkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, Maha Esa dan Kuasa, atas limpahan berkat, rahmat, dan karunia-Nya, Tesis berjudul Produksi Biogas Dari Biomassa Kotoran Sapi Dalam Biodigester *Fix Dome* Dengan Pengenceran dan Penambahan Agitasi, dapat diselesaikan.

Tulisan ini, disajikan beberapa pokok bahasan, meliputi berbagai pengenceran maupun agitasi dan produksi biogas pada biodigester anaerob skala laboratorium dan skala semi pilot

Nilai penting penelitian ini adalah untuk optimasi hasil produksi biogas terbaik dalam biodigester, dengan perlakuan pengenceran dan agitasi, sehingga dapat memberi kontribusi bagi khasanah ilmu pengetahuan dan implementasi teknologi tepat guna di daerah-daerah sumber biomasa.

Dalam penyelesaian tesis ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak baik moril maupun materiil. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan penyusunan tesis . Semoga bantuan, dukungan, dan dorongan yang telah diberikan mendapatkan limpahan barokah dari Allah S.W.T.

Disadari bahwa dengan kekurangan dan keterbatasan yang dimiliki penulis, walaupun telah berupaya segala kemampuan untuk lebih teliti, tetapi masih dirasakan banyak kelemahan dan kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran yang membangun agar tulisan ini lebih bermanfaat.

Surakarta, Agustus 2010

Penulis,

commit to user

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah hirobil 'alamin atas segala rahmat dan inayah Allah SWT yang telah senantiasa tercurah pada penulis sehingga dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Produksi Biogas Dari Biomassa Kotoran Sapi Dalam Biodigester Fix Dome Dengan Pengenceran dan Penambahan Agitasi. Dalam penyusunan tesis ini penulis telah memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Much. Syamsulhadi, dr. Sp.K.J.(K). Rektor Universitas Sebelas Maret Surakarta yang telah memberikan ijin untuk mengadakan penelitian ini.
2. Direktur Program Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta Prof..Drs. Suranto, M.Sc, Ph.D, yang telah memberikan kesempatan yang seluas-luasnya mengikuti pendidikan pascasarjana ini.
3. Ketua Program Studi Biosains Pascasarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta Dr. Sugiyarto, Msi, yang telah membimbing dan memotivasi dalam menyelesaikan program perkuliahan.
4. Prof..Drs. Sutarno,M.Sc.,Ph.D selaku pembimbing pertama dan Dr.Edwi Mahajoeno,M.Si, selaku pembimbing kedua yang telah berkenan membimbing dengan penuh kesabaran dan ketelitian sehingga tesis ini dapat penulis selesaikan.
5. Dr. Siti Chalimah, M.si., Dosen Universitas Muhammadiyah Surakarta yang telah membantu dan membimbing sehingga tesis ini dapat terselesaikan.

commit to user

6. Bapak Jaka Utama , Diektur PT. Wahyu Utama Tuban Jawa Timur yang telah menyediakan tempat penelitian lapangan
7. Drs. Suparno Hadi Prasetya, MM, selaku Kepala SMA N 1 Pati yang telah memberikan izin Penulis untuk menempuh pendidikan magister di Program Pasca sarjana Universitas Sebelas Maret Surakarta.
8. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini.

Semoga amal baik beliau-beliau senantiasa mendapatkan balasan pahala, rahmat dan hidayah dari Allah, SWT.

Surakarta, Agustus 2010

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul Dalam.....	i
Halaman Pengesahan Pembimbing.....	ii
Halaman Pengesahan Tesis.....	iii
Pernyataan Orisinalitas.....	iv
Abstrak.....	v.
Abstract.....	vi.
Motto dan Persembahan.....	vii
Kata Pengantar.....	viii
Ucapan Terima Kasih.....	ix
Daftar Isi	xi
Daftar Tabel.....	xiv
Daftar Gambar.....	xv
Daftar Lampiran.....	xvii
Daftar Singkatan.....	xix
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang Penelitian.....	1
B. Rumusan Masalah	6
C. Tujuan Penelitian	6
D. Manfaat Penelitian	7

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
	A. Landasan Teori.....	8
	1. Biogas dari limbah peternakansapi.....	8
	2. Teknologi Digesi anaerob	9
	3. Prinsip proses digesi anaerob	12
	4. Faktor-faktor yang mempengaruhi digesi anaerob.....	14
	5. Desain digesi anaerob	20
	6. Beberapa faktor ketidakseimbangan proses digesi anaerob.....	25
	7. Penetapan Ukuran Digester	27
	B. Kerangka berpikir.....	28
	C. Hipotesis.....	32
BAB III	METODE PENELITIAN	
	A. Tempat dan Waktu Penelitian	33
	B. Alat dan Bahan	33
	1. Alat	33
	2. Bahan	34
	C. Rancangan Penelitian	34
	1. Skala Laboratorium.....	34
	2. Skala Semi Pilot.....	36
	D. Analisis Data	37

BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	
	A. Hasil Penelitian skala Laboratorium	38
	1. Hasil Analisis Deskriptif Skala Laboratorium.....	38
	2. Analisis Multivariat Skala Laboratorium.....	43
	B. Hasil Pengukuran Produksi Biogas dalam Skala Semi Pilot	48
	1. Hasil analisis produksi Biogas dengan rasio 1 : 1 dan 1 : 3.....	49
	2. Hasil Analisis Produksi Biogas rasio 1 : 3 dengan Agitasi dan Tanpa Agitasi	50
	3. Hasil Analisis Produksi Biogas Dengan Berbagai Perlakuan	51
	4. Hasil analisis Efisiensi Perombakan Bahan Terlarut	52
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
	A. Kesimpulan.....	55
	B. Saran	56
	DAFTAR PUSTAKA.....	57
	LAMPIRAN - LAMPIRAN	
	Lampiran 1	61
	Lampiran 2	63
	Lampiran 3	72

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1	Komponen penyusun biogas 9
Tabel 2	Efisiensi perombakan VS,TS,COD berbagai rasio pengenceran dalam %..... 39
Tabel 3	Hasil perombakan VS, TS, dan COD berbagai pengenceran dalam setiap waktu pengamatan 40
Tabel 4	Rerata produksi bigas setiap minggu skala laboratorium dengan berbagai rasio pengenceran perhari/l..... 41
Tabel 5.	Rerata produksi Biogas Semi Pilot tanpa agitasi dan dengan Agitasi 49
Tabel 6	Hasil perhitungan efisiensi perombakan COD, TS, VS, Skala Semi Pilot..... 52

DAFTAR GAMBAR

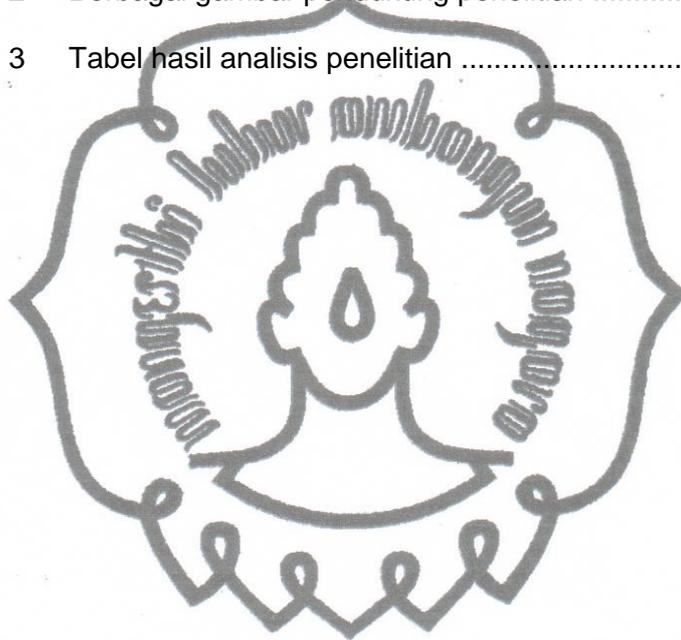
		Halaman
Gambar 1	Skema sederhana proses perombakan anaerob.....	12
Gambar 2	Bagan alir kerangka berpikir peningkatan kapasitas biodigester anaerob	31
Gambar 3	Diagram batang efisiensi perombakan VS, TS, COD berbagai rasio pengenceran	40
Gambar 4	Produksi biogas dari berbagai rasio pengenceran substrat, dalam setiap waktu dalam minggu	42
Gambar 5	Diagram batang produksi biogas dalam rasio pengenceran yang berbeda tanpa agitasi	49
Gambar 6	Diagram batang dengan rasio yang sama 1 : 3 perlakuan agitasi dan tanpa agitasi	50
Gambar 7	Diagram batang analisis produksi biogas dengan berbagai perlakuan	51
Gambar 8	Diagram batang nilai efisiensi permbakan bahan terlarut skala lapang (semi pilot).....	53
Gambar 9	Model alur proses biodigester <i>Fix dome</i>	63
Gambar 10	Skema konstruksi biodigester <i>Fix dome</i>	63
Gambar 11	Skema digester anaerob modifikasi sistem curah untuk produksi biogas skala laboratorium (jawed dan tare 1999)	64
Gambar 12	Biodigester anaerob modifikasi dengan jrigen.....	64
Gambar 13	Jenis pengenceran substrat dan air dengan perbandingan	

commit to user

	1 : 1, 1 : 3, 1 : 5 , 1 : 7	65
Gambar 14	Penggojogan tiap pagi dan sore, masing-masing 50X	65
Gambar 15	Bahan substrat kotoran sapi	66
Gambar 16	Kotoran sapi diencerkan, dimasukkan ke dalam biodigester	66
Gambar 17	Pengenceran dengan perbandingan 1 : 1	67
Gambar 18	Pengenceran dengan perbandingan 1 : 3	67
Gambar 19	Plastik penampung gas, biodigester, aerotor	68
Gambar 20	Plastik penampung gas, biodigester, aerotor	68
Gambar 21	Biogas dinyalakan dengan korek api	69
Gambar 22	Biogas dinyalakan dengan korek api	69
Gambar 23	Biodigester, aerotor, kantong plastik penampung gas	70
Gambar 24	Biodigester, aerotor, kantong plastik penampung gas	70
Gambar 25	Perlakuan dengan agitasi	71
Gambar 26	Perlakuan dengan agitasi	71

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Metode Analisis Penelitian	61
Lampiran 2 Berbagai gambar pendukung penelitian	63
Lampiran 3 Tabel hasil analisis penelitian	72



commit to user

DAFTAR SINGKATAN

ALRP : Asam Lemak Rantai Panjang

C : Karbon

C : Celsius

Ca : Kalsium

Cal : kalori

Cm : Centimeter

CO : Karbonmonoksida

CO₂ : Karbondioksida

Cu : Tembaga

CH₄ : Methana

COD : Chemical Oksigen Demand

ERK : Efek Rumah Kaca

Fe : Ferrum

KS : Kotoran sapi

K : Kalium

l : Liter

LPG : Liquid Petroleum Gas

M : Molar

Mg : Magnesium

mg : miligram

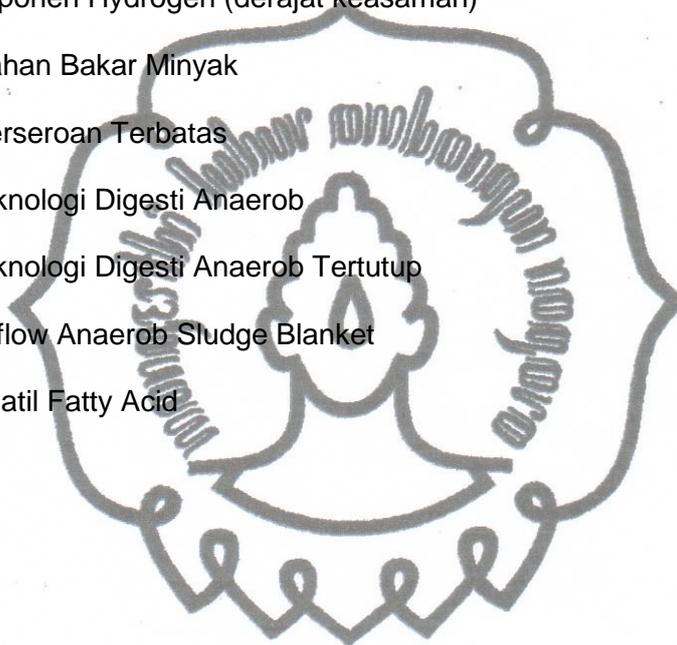
m³ : meterkubik

N : Nitrogen

Na : Natrium

commit to user

- NH_3 : Amonia
 O_2 : Oxygen
 φ : Derajat
TS : Total Solid
VS : Volatil Solid
pH : exponen Hydrogen (derajat keasaman)
BBM : Bahan Bakar Minyak
PT : Perseroan Terbatas
TDA : Teknologi Digesti Anaerob
TDAT : Teknologi Digesti Anaerob Tertutup
UASB : Upflow Anaerob Sludge Blanket
VFA : Volatil Fatty Acid



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Industri peternakan merupakan industri yang menghasilkan limbah padat dan cair dalam jumlah yang besar dengan konsentrasi karbon antara 8000-10000 mg (Mahajoeno 2009), sehingga industri tersebut berpotensi mencemari lingkungan, jika tidak dilakukan pengelolaan. Langkah yang telah ditempuh oleh industri dalam menangani masalah limbah umumnya dengan sistem pengolahan limbah padat maupun cair secara anaerobik terbuka, dimana sistem tersebut akan merombak kandungan polutan karbon dan nitrogen menjadi gas metan, karbon dioksida, dan senyawa lainnya oleh mikroorganisme anaerobik, sehingga berakibat mencemari lingkungan, dan dapat sebagai agen Efek Rumah Kaca (ERK). Disisi lain hasil perombakan limbah organik dapat menghasilkan biogas dan pupuk organik yang berkualitas, sehingga dapat dikatakan bahwa limbah industri peternakan bagai tombak bermata dua, satu sisi sebagai agen pencemar lingkungan, dalam sisi lain sebagai sumber energi yang *renewable*. Oleh karenanya limbah tersebut seharusnya mendapatkan perhatian yang khusus dan serius, agar mendapatkan keduanya, yaitu menekan pencemaran lingkungan dan mendapatkan pupuk dan biogas. Fenomena yang terjadi didunia saat ini, menyusutnya bahan bakar fosil, dan efek pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh bahan bakar fosil. Limbah peternakan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternatif untuk menyediakan

bahan bakar yang *renewable*, bersih lingkungan, sehingga sangat penting dilakukan pengujian agar mendapatkan metode yang optimal dalam pemanfaatannya.

Bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batubara merupakan sumber energi utama di Indonesia, akan tetapi sumber energi tersebut berdampak merusak lingkungan termasuk pencemaran udara, emisi gas rumah kaca dan pemanasan global. Permasalahan lain adalah tingginya harga bahan bakar fosil, kenaikan jumlah impor minyak bumi akibat konsumsi bahan bakar nasional, serta cadangan minyak bumi yang semakin menipis. Kebutuhan energi nasional diketahui bahwa lebih dari 50% penggunaannya didominasi oleh bahan bakar fosil, untuk itu pengembangan energi alternatif menjadi pilihan yang penting. Sudah saatnya semua negara memutuskan ketergantungan terhadap sumber energi fosil beralih ke sumber energi alternatif berbahan baku nabati yang sifatnya terbarukan (Hambali *et al.* 2007). Usaha mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan pengembangan sumber energi alternatif termasuk bioenergi yang terus diupayakan dan dilakukan. Bioenergi adalah energi terbarukan yang berasal dari biomasa. Biomasa merupakan materi hasil proses fotosintesis, tetapi biomasa juga dapat dihasilkan dari hewan misalkan kulit dan kotoran yang mengandung mikroorganisme. Energi terbarukan dihasilkan dari sumberdaya yang tidak pernah habis, sumber energi terbarukan meliputi, matahari, angin, bumi, air, biomasa dan energi dari limbah .

Pemerintah telah menetapkan bauran energi nasional tahun 2025 dengan peran minyak bumi sebagai energi, akan dikurangi dari 52% saat ini, hingga kurang dari 20% pada tahun 2025. Strategi utama yang ditetapkan oleh pemerintah untuk pengembangan bahan bakar nasional dikenal dengan sebutan *Fast Track Program*,

yaitu pengembangan desa mandiri energi sesuai dengan potensi daerah masing-masing. Dengan strategi tersebut diharapkan dalam jangka pendek akan tercipta lapangan kerja dan pengurangan kemiskinan, sehingga jangka panjang akan tercapai keamanan pasokan energi dan pertumbuhan ekonomi (Hambali *et al.* 2007). Bioenergi merupakan salah satu bentuk energi alternatif yang prospektif untuk dikembangkan. Pengembangan bioenergi bukan saja dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak (*BBM*) yang harganya terus meningkat, tetapi juga dapat meningkatkan keamanan pasokan energi nasional. Perhatian masyarakat dunia yang semakin meningkat pada penggunaan bahan bakar ramah lingkungan seperti tertuang dalam Protokol Kyoto menjadikan pengembangan bioenergi sangat strategis dan menuntut untuk direalisasikan.

Limbah peternakan khususnya ternak sapi merupakan bahan buangan dari usaha peternakan sapi yang selama ini juga maenad salah satu sumber masalah dalam kehidupan manusia sebagai penyebab menurunnya mutu lingkungan melalui pencemaran lingkungan, mengganggu kesehatan manusia dan juga sebagai salah satu penyumbang emisi gas efek rumah kaca. Pada umumnya limbah peternakan hanya digunakan untuk pembuatan pupuk organik. Untuk itu sudah selayaknya perlu adanya usaha pengolahan limbah peternakan menjadi suatu produk yang bisa dimanfaatkan manusia dan bersifat ramah lingkungan. Pengolahan limbah peternakan melalui proses anaerob atau fermentasi perlu digalakkan karena dapat menghasilkan biogas yang menjadi salah satu jenis bioenergi. Pengolahan limbah peternakan menjadi biogas ini diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak yang mahal dan terbatas, mengurangi pencemaran lingkungan

dan menjadikan peluang usaha bagi peternak karena produknya terutama pupuk kandang banyak dibutuhkan masyarakat. Adanya penggantian bahan bakar minyak ke gas, maka diperlukan gas yang lebih banyak. Karena persediaan minyak tanah semakin menipis dan harganya mahal, masyarakat banyak menggunakan kompor gas, oleh karena itu gas semakin banyak diperlukan. Dengan itu muncullah ide-ide atau alternatif-alternatif lainnya guna mencukupi kebutuhan akan gas. Untuk itu kita dapat melakukan usaha seperti pengelolaan lingkungan hidup salah satunya yaitu, dengan pengelolaan limbah ternak menjadi biogas. Dimana pada saat ini biogas sangat diperlukan bagi masyarakat

Indonesia sebagai negara agraris dan tropis, mempunyai kekayaan alam melimpah bermanfaat sebagai sumber bahan baku bioenergi guna menghadapi kelangkaan energi fosil di masa mendatang. Bioenergi bersifat ramah lingkungan, dapat diperbaharui, serta mampu mengeliminasi emisi gas kontaminan dan efek rumah kaca. Bahan baku bioenergi yang melimpah, diantaranya singkong, sagu, kelapa sawit, jarak pagar, dan kelapa, limbah organik, bahkan minyak goreng bekas dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioenergi (Indartono 2006). Ketersediaan bahan baku yang melimpah menuntut pengetahuan teknologi pengolahan bioenergi dikuasai dengan baik, agar sumberdaya yang ada tidak sia-sia. Sehingga dengan dihasilkannya gas metana, diharapkan dapat menjadi sumber alternatif pengganti minyak tanah ataupun gas *LPG* dengan membuat instalisasi pengolahan kotoran sapi.

Penanganan Limbah kotoran sapi di Indonesia sampai saat ini biasa diolah dengan sistem terbuka, karena cukup sederhana dan dianggap murah, namun

sistem demikian menimbulkan dampak terhadap lingkungan dan udara diantaranya adalah gas rumah kaca, yang berdampak terhadap pemanasan global. Selain itu lahan yang digunakan untuk pengolahan limbah sangat luas, dan pengolahan sistem anaerob terbuka seringkali bermasalah, karena menimbulkan pencemaran udara dari gas metan (Ahuat 2005). Peningkatan jumlah populasi sapi berakibat pertambahan limbah kotoran, yang membutuhkan lahan luas dan masa retensi menjadi semakin singkat. Disamping itu gas metana, CO₂ dan emisi gas efek rumah kaca (ERK) dengan sistem terbuka yang umum dilakukan, berdampak negatif terhadap pemanasan global dan perubahan iklim (Suzuki 2003).

Dengan demikian sistem anaerob terbuka, dan dilakukan secara konvensional belum mampu mengendalikan dampak negatif terhadap lingkungan, dan buangan akhir limbah pengolahan belum memenuhi baku mutu lingkungan. Penerapan teknologi digesti anaerob (TDA) tidak membutuhkan lahan luas, masa retensi lebih singkat dan efisiensi pengolahan limbah sangat tinggi serta dihasilkan biogas (Yuliasari 2001), Sistem pengolahan limbah tertutup sangat efisien, konsentrasi bakteri dalam perombakan bahan organik berjalan lebih cepat dan biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif terbarukan, Pengelolaan limbah kotoran dengan TDA sangat mendukung upaya pemerintah dalam meratifikasi Protokol Kyoto sejak 1998, mengurangi emisi gas rumah kaca dalam kegiatan pembangunan (Soemarwoto 2002; Suzuki 2003; MNKLH-NORAD, 2004).

Dari hasil penelitian sebelumnya dengan berbagai percobaan tentang biogas, menunjukkan bahwa telah dilakukannya beberapa percobaan tentang

karakterisasi berbagai macam jenis limbah. Ada pengaruh faktor lingkungan biotik maupun abiotik terhadap produksi biogas. Faktor biotik meliputi jumlah nutrisi (substrat) organik, konsentrasi inokulum, sehingga penelitian ini mencoba membedakan perlakuan beberapa jenis rasio pengenceran substrat limbah kotoran sapi terhadap produksi biogas. Faktor abiotik meliputi pH, pemerataan substrat, temperatur. Maka penelitian ini akan mencoba dengan perlakuan pengenceran substrat dan agitasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah pengaruh pengenceran limbah kotoran sapi terhadap produksi biogas dalam digester anaerob sistem curah?
2. Bagaimanakah pengaruh agitasi substrat (limbah kotoran sapi) dalam digester anaerob skala semi pilot (*fixed dome*) yang ada dan kualitas limbah yang layak diperoleh?

C. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui pengaruh pengenceran substrat kotoran sapi terhadap produksi biogas dalam digester anaerob sistem curah dalam skala laboratorium.
2. Mengetahui pengaruh agitasi limbah kotoran sapi dalam digester anaerob skala semi pilot (*fixed dome*), terhadap kuantitas biogas dan kualitas limbah tercerna.

D. Manfaat Penelitian

1. Mendapatkan teknologi pengelolaan limbah penampungan kotoran sapi yang lebih efisien, efektif, dan berdaya guna dalam reduksi residu peternakan
2. Mendapatkan informasi hasil penerapan teknologi tepat guna sebagai upaya mitigasi emisi gas rumah kaca dan produksi energi terbarukan dengan teknologi bersih dan ramah lingkungan
3. Pengelolaan limbah kotoran sapi dengan pemanfaatan keanekaragaman hayati mikroba anaerob yang ada dalam sistem pencernaan anaerob tertutup (biodigester) sebagai bahan penghasil bioenergi (biogas)
4. Memberi kontribusi bagi khasanah ilmu pengetahuan dan implementasi teknologi tepat guna di daerah-daerah sumber biomasa, menopang kebijakan Pemerintah dengan potensi energi terbarukan yang melimpah dan tidak mencemari.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1 . Biogas dari Limbah Peternakan sapi

Limbah peternakan seperti feses, urin beserta sisa pakan ternak sapi merupakan salah satu sumber bahan yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan biogas. Namun di sisi lain perkembangan atau pertumbuhan industri peternakan menimbulkan masalah bagi lingkungan seperti menumpuknya limbah peternakan termasuk didalamnya limbah peternakan sapi. Limbah ini menjadi polutan karena dekomposisi kotoran ternak *berupa BOD dan COD (Biological/Chemical Oxygen Demand)*, bakteri patogen sehingga menyebabkan polusi air (air bawah tanah, air permukaan terkontaminasi), polusi udara dari debu dan bau yang ditimbulkannya. Biogas dapat menggantikan bahan bakar yang berasal dari fosil seperti minyak tanah dan gas alam (Houdkova L, *et.al*, 2008).

Biogas juga sebagai salah satu jenis bioenergi yang didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, jerami, sekam dan daun-daun hasil sortiran sayur difermentasi atau mengalami proses metanisasi. Gas metan ini sudah lama digunakan oleh warga Mesir, China, dan Roma kuno untuk dibakar dan digunakan sebagai penghasil panas. Sedangkan proses fermentasi lebih lanjut untuk menghasilkan gas metan ini pertama kali ditemukan oleh *Alessandro Volta (1776)*. Hasil identifikasi gas yang dapat terbakar ini dilakukan oleh *William Henry* pada tahun 1806, dan

Becham (1868) murid Louis Pasteur dan Tappeiner (1882) adalah orang pertama yang memperlihatkan asal mikrobiologis dari pembentukan gas metan. Gas ini berasal dari berbagai macam limbah organik seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses *anaerobik digestion* (Pambudi, 2008). Biogas yang terbentuk dapat dijadikan bahan bakar karena mengandung gas metan (CH_4) dalam persentase cukup tinggi. Biogas merupakan *renewable energy* yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif .

Tabel 1. Komponen penyusun Biogas

Jenis Gas	Persentase
Metan (CH_4)	54-70%
Karbon dioksida (CO_2)	27-35%
Nitrogen (N_2)	0,5- 2%
Karbon monoksida (CO)	0,1%
sulfide (H_2S)	kecil

Sumber : Hadi (1980)

2. Teknologi Digesi Anaerob

Pada hakekatnya, energi terkandung dalam bahan organik merupakan energi matahari yang diikat oleh tanaman melalui proses fotosintesis. Pemanfaatan kembali menjadi energi, baik secara langsung maupun tidak langsung adalah pengambilan kembali energi matahari yang terikat biomasa. 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). Kedua proses tersebut disebut pula biokonversi, terjadi perubahan bentuk bahan polimer atau produk biomasa menjadi berbagai jenis produk nabati maupun hewani berlangsung secara simultan, meskipun terdapat fluktuasi keseimbangan proses akibat berbagai pengaruh (Judoamidjojo *et al.* 1989).

Produksi peternakan menghasilkan air buangan dengan beban organik tinggi, salah satunya adalah limbah kotoran peternakan sapi tersusun atas bahan organik dengan nilai BOD, COD dan kandungan padatan tinggi. Air buangan merupakan sumber pencemar sangat potensial. Pengelolaan air limbah peternakan dengan cara fisika-kimia biasa dilakukan dengan koagulasi dan flokulasi, namun biaya operasionalnya sangat mahal walaupun hasilnya cukup memuaskan. Hal ini banyak menyebabkan peternakan skala kecil tidak sanggup melakukan kegiatan produksi lebih lanjut, karena dianggap mencemari lingkungan perairan sekitarnya (Syafila *et al.* 2001, Metchalf dan Eddy 2003).

Biokonversi anaerob bahan organik dan pencemar merupakan suatu teknologi yang dikembangkan untuk melindungi lingkungan melalui pengelolaan limbah dan air limbah. Produk akhir biokonversi kondisi anaerob adalah biogas suatu campuran metana dan karbon dioksida yang bermanfaat, sebagai sumber energi terbarukan. Digesti (pencernakan) anaerob merupakan proses sederhana secara teknologik yang membutuhkan energi rendah untuk mengubah bahan organik dari berbagai jenis air limbah, buangan padat dan biomas menjadi metana. Aplikasi teknologi yang lebih luas sekarang menjadi kebutuhan dalam usaha menuju pembangunan berkelanjutan dan produksi energi terbarukan. Kecenderungan ini didukung oleh pertumbuhan kebutuhan pasar akan energi "hijau" dan oleh optimisasi substansial TDA pada dekade lalu, terutama perkembangan modern sistem co-digesti dan "laju tinggi" (De Mes T.Z.D *et al.* 2003).

Teknologi perombakan (pencernakan) anaerob merupakan salah satu bagian strategi pengelolaan air limbah atau buangan peternakan yang cukup berdayaguna dan efektif. Penerapan teknologi ini selain murah dan praktis untuk

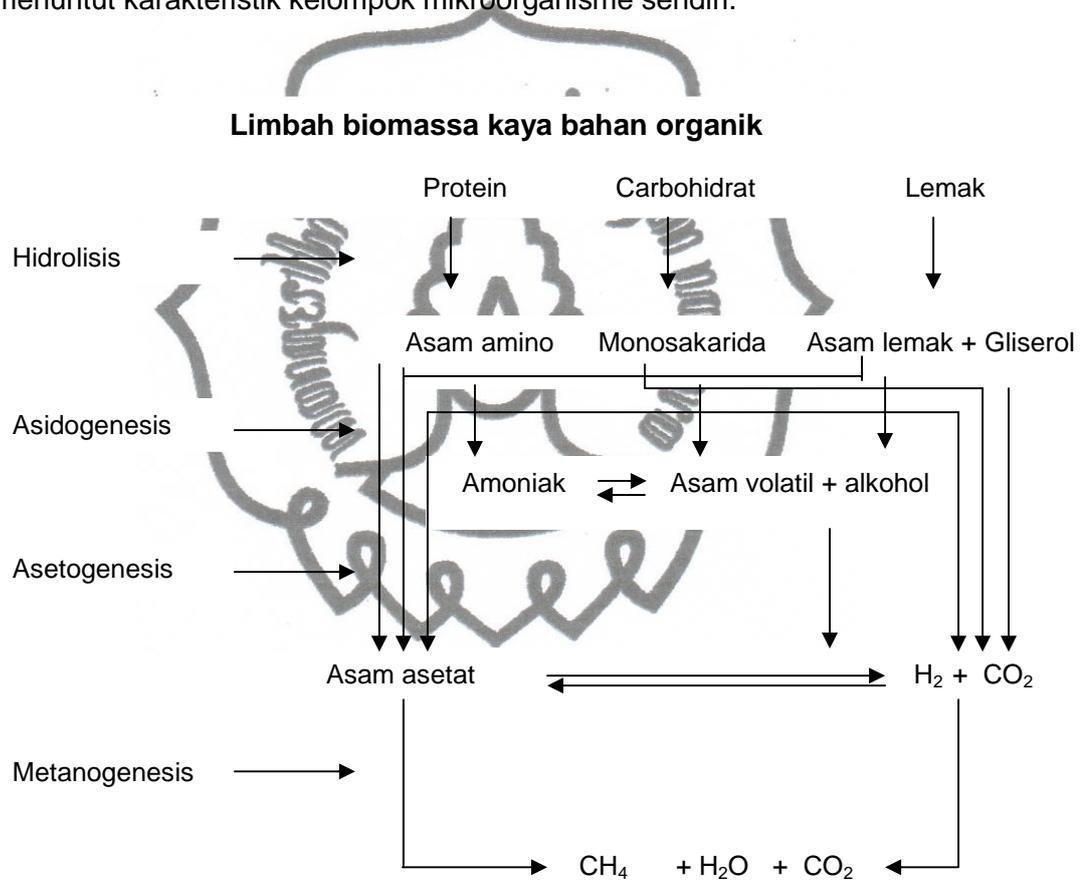
buangan dengan beban organik dan berat molekul tinggi, mampu mereduksi energi terkandung dalam limbah untuk pengelolaan lingkungan dan mampu mendegradasi senyawa-senyawa senobiotik maupun rekalsitran (Bitton 1999).

Perombakan anaerob secara alami terjadi di sediment-sedimen sungai/ aliran dan kolam yang tidak teraerasi cukup, yang mengubah senyawa karbon menjadi gas-gas metana, nitrogen dan asam sulfida (yang menyusun gas rawa dan sawah), sebagai pengganti karbon dioksida maupun air yang dihasilkan dalam perombakan aerob. Gas metana dibebaskan, dalam lingkungan anaerob, dari asam cuka oleh *Methanosarcina*, *Methanococcus*, *Methanobacterium*, dan *Methanobacillus*. Sementara *Methylococcus* akan merombak gas dalam suatu lingkungan aerob, jadi penting mencegah pertumbuhannya dengan mengeluarkan semua oksigen bebas dari manapun proses yang dirancang, untuk menghasilkan metana. Perombakan anaerob secara luas digunakan untuk memantapkan padatan organik terkonsentrasi (memadat/lumpur), dengan BOD lebih besar dari 10,000 mg/l., dipindahkan dari tangki-endap, filter biologik, dan pembangkit lumpur aktif. Beberapa pembangkit menggunakan pencernak anaerob sebagai langkah pertama membuang kelebihan zat lemas (nitrogen) dari aliran sisa sebelum perlakuan aerob (Werner *et al.*1989).

Sistem pengolahan anaerob laju tinggi seperti UASB (*Upflow Sludge Blanket Anaerobic*) reaktor, Saringan Anaerob dan Proses Kontak kurang layak untuk pencernaan jenis lumpur tetapi pantas dikonsentrasikan pada air limbah dan atau bagian dari suatu sistem beberapa fase. Waktu tinggal lumpur lebih panjang dibanding waktu tinggal hidraulik, karenai kotoran tertahan dalam reaktor. Sistem laju tinggi pantas untuk aliran limbah dengan padatan mengendap rendah.

3. Prinsip-prinsip proses digesti anaerob

Dekomposisi mikrobiologis anaerob merupakan proses dimana mikroorganisme menggunakan energi dan tumbuh dengan memetabolisa bahan organik dalam lingkungan anaerob mengakibatkan produksi metana. Proses digesti anaerob dapat dibagi menjadi empat tahap berikut, masing-masing menuntut karakteristik kelompok mikroorganisme sendiri.



Sumber : *Reit et al 2003*

Gambar 1. Skema sederhana proses perombakan anaerob

- a. Hidrolisis senyawa polimer organik menjadi senyawa-senyawa berat molekul lebih rendah agar dapat diserap membran sel mikroba. Hidrolisis karbohidrat

menjadi monomer-monomernya, protein menjadi asam-asam amino, dan lemak atau minyak menjadi asam-asam lemak rantai panjang ataupun alkohol.

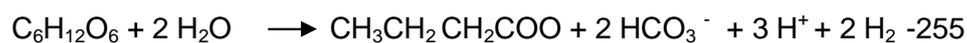
b. Fermentasi senyawa sederhana berikut dalam reaksi bertahap. Proses ini merupakan sumber energi populasi non-metanogenik. Fermentasi hasil hidrolisis tersusun berbagai senyawa organik sederhana terutama asam lemak volatil (VFA) gas-gas CO₂ dan H₂, beberapa asam laktat dan etanol. Tahap ini dikenal sebagai fermentasi asam atau asidogenesis

c Banyak hasil-hasil reduksi fermentasi asam harus dioksidasi dibawah kondisi anaerob menjadi asam asetat, CO₂, dan hidrogen dan ini menjadi substrat bakteri metan. Konversi ini terjadi jika tekanan hidrogen parsial tetap sangat rendah karena asupan hidrogen oleh metanogen. Bakteri pembentuk oksidasi ini adalah bakteri syntrophik atau disebut juga bakteri asetogen atau obligat mikroba pereduksi proton.

d. Tahap akhir pengolahan limbah cair anaerob ini adalah fermentasi metana: yakni dua tipe reaksi yang terjadi selama tahapan CO₂ dan H₂ diubah menjadi metana dan air serta tahapan kedua asetat diubah menjadi metana dan CO₂

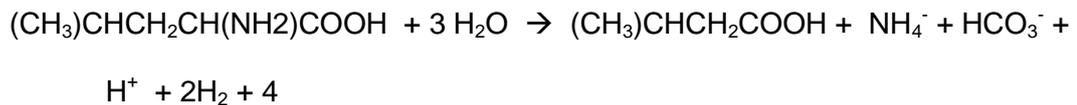
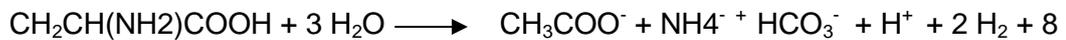
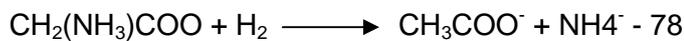
Terdapat empat tahap pengurutan senyawa organik menjadi metana dan CO₂ yang melibatkan empat jenis bakteri:

1) Asidogenesis karbohidrat

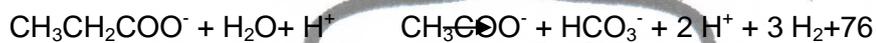


2) Asidogenesis asam-asam amino





3) Asetogenesis



4) Metanogenesis



4. Faktor-faktor yang mempengaruhi digesti anaerob

Digesti anaerob merupakan proses biologis, yang sangat kuat dipengaruhi oleh faktor-faktor lingkungan. Faktor utama pengendali itu antara lain: Suhu, pH, alkalinitas dan senyawa beracun (De Mes *et al* 2003).

Proses perombakan anaerob bahan organik untuk pembentukan gasbio dipengaruhi oleh dua faktor yaitu, biotik dan abiotik. Factor biotik berupa mikroorganisme dan jasad aktif di dalam proses ataupun mikroba dan jasad kehidupan di antara komunitas jasad. Faktor abiotik meliputi: substrat; kadar air bahan/substrat; rasio C/N dan P dalam bahan/substrat; suhu; aerasi; kehadiran bahan toksik (unsur beracun); pH dan pengadukan (Wellinger 1999).

Rancangan sederhana tidak hanya untuk konstruksi digester tapi juga bahan baku (substrat) dengan rasio C/N tinggi yang dicampur dengan rasio C/N rendah memberikan rerata komposisi rasio input sesuai kadar yang diinginkan.

Seperti di Cina agar rasio C/N seimbang, pengguna memberi sekam padi pada dasar digester di atas limbah kakus. Sama seperti di Macan Wildlife terletak di kecamatan Chittawan Nepal pengumpanan digester dengan kotoran gajah dicampur dengan limbah manusia memungkinkan keseimbangan rasio C/N mendorong produksi gasbio stabil.

Jenis Limbah: Pembatas utama laju beban limbah peternakan adalah kandungan nitrogen (N) tinggi dibandingkan kadar carbon (C). Rasio carbon terhadap nitrogen limbah ditambahkan ke digester sebaiknya 20 bagian C terhadap satu bagian N (20:1) untuk memperoleh produksi optimum metana. Residu panen dan sayuran (dedaunan), biasanya berkadar N rendah tapi tinggi kadar C, dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kinerja digester. Pencampuran residu panen pertanian dengan N tinggi limbah peternakan memberi lebih baik rasio C/N untuk produksi gasbio.

Bakteri campuran terlibat dalam proses perubahan bentuk (transformasi) senyawa-senyawa organik kompleks dengan berat molekul tinggi menjadi metana. Interaksi sinergi di antara berbagai kelompok mikroba terjadi pada perombakan anaerob limbah kotoran sapi. Gas metana dibebaskan, dalam suatu lingkungan anaerobic, dari asam cuka oleh Methanosarcina, Methanococcus, Methanobacterium, dan Methanobacillus. Methyloccoccus akan merombak gas dalam suatu lingkungan aerobic. Terdapat dua kelompok bakteri metanogen penting pada proses anaerob, yaitu metanogen hidrogenotrofik (menggunakan H₂/kemolitotrof) mengubah hidrogen dan CO₂ menjadi metana, dan metanogen asetotrofik metanogen pemisah asetat yang mengubah asetat menjadi metana dan CO₂, *Bitton* (1999).

Suhu berpengaruh terhadap proses perombakan anaerob bahan organik dan produksi gas. Pada kondisi *chryophilic*, 5-20 °C, proses perombakan berjalan lambat, kondisi *mesophilic*, 25-40 °C, perombakan berlangsung cukup baik dan terjadi percepatan proses perombakan dengan kenaikan suhu, serta kondisi *thermophilic*, 45-65 °C untuk bakteri *thermophilic* dengan perombakan optimal pada 55 °C (NAS 1981, Bitton 1999).

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

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

Sahirman (1994) mengungkapkan bahwa pengaturan pH awal dengan (CaCO_3) bersama pengadukan kontinyu 100 rpm (tekanan 1 atm suhu kamar) 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. Perombakan anaerob optimal pada fermentor volume 2 L berpengaduk kontinyu, mampu menimbulkan *plugging* gas dan luaran lumpur untuk pembenah tanah pada suhu 35° C dengan inokulan 12,5% bila dibandingkan tanpa pengadukan. Kandungan metana dalam gasbio hasil fermentasi tersebut berkisar antara 54,0 – 74,6% sesuai dengan kandungan metana gasbio limbah kotoran

sapi umumnya yang berkisar 60-70%., sedang Kusarpoko (1994) mendapati 6-12% saja dan produksi gasbio perhari adalah 0,139 l dan selama 30 hari sebesar 8,4 l.

Bioreactor (digester) fermentasi dapat dibedakan menurut sistem *feeding* (pengumpanan), penggunaan suhu, tingkat fermentasi, dan proses fermentasi dua fase. Berdasarkan sistem pengumpanan, fermentasi dapat dibedakan lebih lanjut dengan: tiga macam cara: fermentasi kontinu, semi kontinyu dan curah. Fermentasi berdasarkan suhu juga dibedakan menjadi tiga macam yaitu suhu termofilik (45-60) °C untuk penghancuran cepat dan produksi tinggi (m³ gas/m³ bahan per hari) serta waktu retensi pendek bebas dari desinfektan, mesofilik 27-40 °C (suhu kamar ruang/lingkungan), kryofilik < 22 °C (banyak dipengaruhi udara musim sedang biaya relatif lebih murah). Fermentasi satu tingkat, fermentasi dilakukan dalam satu tangki atau dapat dilakukan pada dua tingkat atau lebih sehingga terjadi waktu retensi lebih lama tapi dekomposisi bahan organic lebih baik. Fermentasi dua fase yaitu dirancang menjadi 2 periode: pembentukan asam dan periode pembentukan metana. Keuntungan proses ini selain pengendaliannya lebih mudah rendeman gas tinggi. Fermentasi proses baru seperti penggunaan total solid tinggi, fermentasi kering, sistem filter dalam penelitian lebih lanjut (Loebis dan Tobing 1984, 1990, Metchalf dan Eddy (2003).

Senyawa kompleks organik tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh bakteri di dalam proses metabolismenya karena membran sel bakteri hanya dapat dilewati oleh senyawa organik sederhana seperti glukosa, asam amino dan asam lemak volatil. Proses penguraian senyawa kompleks organik menjadi senyawa organik sederhana berlangsung pada proses hidrolisis yang dilakukan oleh kelompok bakteri hidrolitik. Limbah cair mengandung senyawa kompleks

organik pengendali proses terletak pada tahap hidrolisis, karena proses hidrolisisnya lebih lambat dibandingkan dengan tahap proses lain. Senyawa kompleks organik dihidrolisis mengikuti kinetika reaksi orde satu. Hal ini secara langsung menyatakan bahwa proses hidrolisis merupakan salah satu tahap proses yang sangat penting agar tidak terjadi kegagalan proses pada biodegradasi anaerob. Hidrolisis akan mempengaruhi kinetika proses keseluruhan karena tahap yang berlangsung paling lambat dapat mempengaruhi laju keseluruhan (Adrianto et al. 2001)

Tahap proses hidrolisis: biomasa yang digunakan untuk proses hidrolisis terlebih dulu diadaptasikan pada substrat yang digunakan (limbah cair kotoran sapi). Proses hidrolisis substrat campuran menggunakan biomasa yang telah diadaptasikan dalam substrat limbah cair tersebut. Proses hidrolisis karbohidrat menjadi senyawa terlarut berlangsung atas bantuan enzim ekstraseluler yang dikeluarkan oleh kelompok bakteri hidrolitik. Proses biodegradasi ini terjadi di dalam curah (*bulk*) cairan limbah sehingga produk yang dihasilkan dilepaskan ke curah limbah dan dapat dideteksi dengan memisahkan antara cairan dengan partikulat padatan. Proses hidrolisis protein menurut (Pavlostatis dan Giraldo, 1991 dalam Adrianto 2001) dilakukan oleh enzim protease menjadi polipeptida dan asam amino. Enzim protease terdiri dari peptidase dan proteinase. Enzim yang dihasilkan oleh satu genus yaitu *Clostridium*. Laju reaksi hidrolisis substrat campuran secara umum lebih rendah dibandingkan dengan laju reaksi hidrolisis substrat tunggal. Hal ini secara tidak langsung menjelaskan bahwa reaksi hidrolisis substrat tunggal lebih cepat dibanding substrat campuran, karena dalam substrat tunggal hanya terdapat satu komponen saja yang dihidrolisis tanpa gangguan oleh komponen lain, sedangkan dalam substrat campuran

terjadi hidrolisis multi-komponen secara simultan dan ini menghambat laju hidrolisis.

Senyawa paling lambat dihidrolisis adalah minyak, lemak karena konstanta hidrolisis terkecil berarti minyak lemak merupakan faktor pengendali dalam proses hidrolisis campuran maupun tunggal. Hidrolisis protein pada kondisi anaerob adalah lebih rendah daripada laju hidrolisis karbohidrat. Verstraete *et al.* (1981) dalam Adrianto, 2001; menyatakan bahwa lipid terhidrolisis dengan sangat lambat dan lipid menjadi pembatas laju keseluruhan hidrolisis. Pada kondisi termofil lipid non polar sangat lambat degradasi dari pada komponen polar. Hal ini menjelaskan bahwa komponen organik yang perlu mendapat perhatian lebih lanjut dalam biodegradasi senyawa kompleks organik secara anaerob. Penguraian senyawa kompleks organik tersebut mengikuti kinetika reaksi hidrolisis orde satu. Laju reaksi hidrolisis karbohidrat pada substrat lebih cepat dibandingkan laju reaksi protein. Dengan demikian model kinetika reaksi hidrolisis orde satu mampu menggambarkan fenomena reaksi hidrolisis kompleks organik secara anaerob.

Secara umum menurut Sweeten (1979), yang disitasi oleh Fontenot (1983), menerangkan bahwa proses fermentasi/pencernaan limbah ternak di dalam tangki pencerna dapat berlangsung 60 sampai dengan 90 hari, tetapi menurut Sahidu (1983) hanya berlangsung selama 60hari dan perkiraan produksi dan kandungan ternak sapi potong bobot 520kg adalah 29kg dan bahan kering kotoran 12kg .

Memperhatikan tabel tersebut di atas berarti untuk mengganti atau memasukkan kotoran ternak baru ke dalam tangki pencerna setiap harinya adalah membagi volume kotoran yang dimasukkan pertama kali dengan lama

cernanya. Misalnya kotoran sapi mula-mula pertama kali dimasukkan adalah $3,56 \text{ m}^3$, apabila menggunakan lama cerna 60 hari (pemilihan waktu didasarkan pada suhu udara atau pengalaman yang ada) karena suhu udara tinggi, maka jumlah kotoran ternak yang harus dimasukkan untuk mengganti yang lama adalah :

Jumlah kotoran yang dimasukkan = $3,56 \text{ m}^3 / 60 \text{ hari} = 0,059 \text{ m}^3 / \text{hari} = 59 \text{ kg/hari}$ (Yunus *et al* 1995).

Menurut Yoshya (1981), penambahan kotoran sapi pada unit gas bio ukuran 8 m^3 setiap harinya cukup 3 sampai 4 ember (1 ember = 15kg) 40 sampai 60 kg kotoran baru.

5. Desain proses digesi anaerob

Faktor-faktor kimia fisika penting yang mempengaruhi proses digester anaerob menurut Annex C^[2]. Batasan penting dan istilah yang dapat dijumpai dalam Annex C, antara lain:

a. Nutrisi

Microorganismes membutuhkan beberapa jenis unsur hara bergantung pada komposisi kimia bahan sel. Konsentrasi minimum unsur hara yang dibutuhkan sebaiknya ada dalam media agar dapat menjadi pakan proses pencernaan anaerob. Nutrisi itu adalah:

1) *Hydrogen* (H), *Nitrogen* (N), *Oxygen* (O), and *Carbon* (C) sebagai bahan

utama penyusun : bahan organik

2) *Sulphur* : kebutuhan untuk sintesis asam amino

3) *Phosphorus*: komponen penting dalam asam nukleat

4) Kalium (K), *Calcium* (Ca), *Magnesium* (Mg), and *Ferrum* (Fe) : dibutuhkan

untuk aktifitas enzim dan komponen-komponen logam kompleks

commit to user

Sepuluh unsur ini sebaiknya ada dalam konsentrasi sekitar 10^{-4} M. Ada unsur lain yang sebaiknya terdapat dalam konsentrasi lebih kecil, misalnya Ni (nikel) penting untuk pertumbuhan bakteri anaerob. Konsentrasi tinggi Ca, Mg, K dan Na akan bertindak sebagai faktor penghambat. Sementara konsentrasi rendah (0,01-0,005 M) kation-kation ini dapat aktif dan meningkatkan proses pencernaan. Akibatnya terjadi hubungan antar kation-kation berbeda.

b. Suhu

Suhu merupakan faktor sangat penting yang mempengaruhi aktifitas mikroorganismenya. Suhu optimal proses digester anaerob adalah 30-40 °C. Suhu optimal untuk proses digesti anaerob *mesophilic* (30-40 °C) dan *thermophilic* (50-60 °C). Keuntungan proses *thermophilic* dibanding proses *mesophilic* adalah:

- 1) Waktu tinggal dalam pembangkit gasbio lebih sedikit karena laju pertumbuhan bacteria *thermophilic* lebih tinggi dari pada laju pertumbuhan bacteria *mesophilic*.
- 2) Pembasmian organisme pathogenic lebih baik, merupakan keuntungan sangat penting
- 3) Meningkatkan pemisahan bahan padatan dari fase cair
- 4) Degradasi asam lemak rantai panjang lebih baik
- 5) Rseidu pembentukan biomas rendah
- 6) Meningkatkan kelarutan dan ketersediaan substrat.

Kerugian-kerugian penting proses *thermophilic* adalah:

- 1) Derajat ketidakstabilan tinggi
- 2) Jumlah konsumsi energi tinggi/besar
- 3) Risiko hambatan ammonia tinggi

Process digesti anaerob sangat peka terhadap perubahan suhu, suhu optimal didapat pada suhu 52-58 °C. Dampak negatif dapat terjadi pada suhu lebih tinggi dari 60 °C. Karena baik toksisitas ammonia meningkat dengan meningkatnya suhu, sementara kekentalan bahan tercernak rendah pada suhu tinggi (substrat lebih encer pada suhu tinggi) yang memudahkan difusi bahan terlarut. Di lain pihak pada suhu di bawah 50 °C laju pertumbuhan bakteri termofilik rendah dan tercuci populasi mikroba dapat terjadi terkait dengan laju pertumbuhan bakteri rendah dari pada laju tinggal hidrolis. Waktu tinggal juga merupakan faktor penting, dimana periode waktu cukup sebaiknya dipertahankan antara input biomas ke dalam reaktor dan penghilangan bahan tercernak. Dua faktor ini saling berhubungan dan karena itu pengkhususan nilai-nilai optimal kedua parameter adalah vital untuk meningkatkan efisiensi proses digesti. Sebuah digester anaerob efisien merupakan reaktor, yang menghasilkan banyak gasbio atau jumlah biomas lebih banyak tercernak. Ini dapat dilakukan dengan menjalankan reaktor pada beban input biomas tinggi atau dengan menurunkan waktu tinggal. Kenyataan digester termofilik lebih efisien dari pada digester mesofilik jika mereka beroperasi pada kondisi sama.

3. pH

Interval pH terjadinya pembentukan gasbio adalah 6.0 hingga 8.5, nilai pH di luar interval ini dapat menyebabkan proses tak seimbang. Parameter ini berpengaruh pada pertumbuhan bakteri dan mempengaruhi disosiasi ammonia, sulfida dan asam-asam organik, yang mana merupakan senyawa untuk proses pencernaan anaerob.penting. Nilai pH reaktor anaerob terutama dikendalikan sistem penyangga bikarbonat yang juga dikendalikan oleh tekanan parsial CO₂

dan konsentrasi alkali maupun komponen asam dalam fase cair. Beberapa senyawa seperti asam organik dan karbon dioksida menyebabkan penurunan nilai pH, sebaliknya senyawa seperti ammonia akan meningkatkan nilai pH. Nilai pH pada reaktor termofilik lebih tinggi dari pada reaktor mesofilik.

Pembentukan asetat selama degradasi kotoran dalam digester anaerob, tetapi akumulasi asetat tak dapat diketahui langsung dengan nilai pH. Dengan kata lain konsentrasi asetat akan melebihi konsentrasi tertentu sebelum dapat dideteksi sebagai perubahan pH yang signifikan. Karena itu jika pH dalam reaktor turun yang menunjukkan konsentrasi tinggi asetat dalam digester dan proses digesti sudah terhambat. Akibatnya nilai pH bukan indikator yang baik untuk ketidakseimbangan fermentasi terkait biomas sebagai pupuk hewan. Sifat negatif lain, nilai pH kotoran rabuk bervariasi dengan musim karenanya bervariasi komposisi pakan hewan. Berdasarkan pada pengalaman praktis, nilai pH untuk proses fermentasi kotoran hewan dan limbah padat rumah tangga sebaiknya berkisar pH 7,5 – 8,5. Perubahan pH tiba-tiba pada pengukuran pH sebagai isyarat perhatian pemberian pakan.

4. Ammonia

Konsentrasi ammonia tinggi ($\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$) dalam biomas dapat menghambat proses digesti anaerob. Kotoran hewan (urine) mengandung ammonia tinggi; karena itu menghambat proses. Tapi belum diketahui pada konsentrasi ammonia berapa proses digesti anaerob berhenti. Hambatan dengan ammonia lebih tinggi pada reaktor termofilik dari pada reaktor mesofilik berdasarkan kenyataan bahwa bentuk ammonia yang tak terionisasi (ammonium)

NH_3 bertanggungjawab untuk hambatan ammonia. Ammonium banyak terdapat pada digester termofilik.

Akibatnya kenaikan pH dan kenaikan suhu akan meningkatkan konsentrasi ammonia bebas (*ammonium*), dan karenanya meningkatkan kemungkinan hambatan ammonia. Hambatan dengan ammonia akan menurunkan pH dan karenanya menurunkan konsentrasi ammonium. Ini akan menyebabkan efek berlawanan hambatan ammonia dan dus kondisi siap dapat dicapai

5. Penghambat Substrat.

Senyawa yang didegradasi dengan mudah, misalnya: protein dan lemak dan dapat menghambat proses perombakan. Senyawa-senyawa ini mengandung asam lemak rantai panjang yang dapat menghambat mikroba dalam pembangkit gasbio. Karena itu tambahan mendesak asam lemak rantai panjang dapat menghambat mikroorganisme dalam pembangkit gasbio. Oleh karena itu penambahan mendadak senyawa-senyawa ke dalam digester anaerob dapat menghambat proses digesi anaerob. Akan tetapi ini bergantung pada kecepatan proses hidrolisis (langkah pertama proses digesi) dibanding dengan fermentasi lebih lanjut. Pada kenyataan lipid memiliki kandungan energi tinggi dan kandungan itu dapat didegradasi lengkap menjadi biogas, Jika pembangkit gasbio diadopsi untuk mendegradasi konsentrasi lemak tinggi, banyak effluen biogas dapat diperoleh

Efek sama terhadap protein juga diamati. Dimana biomass dengan kandungan protein tinggi dapat menghambat proses digesi. Oleh karena itu periode waktu tinggal lebih lama yang dikehendaki is required dalam hal apakah

input biomass memiliki kandungan protein tinggi. Periode waktu cukup diperlukan dalam hal ini untuk memecah protein menjadi satuan yang lebih kecil.

6. Senyawa racun

Beberapa unsur dapat menyebabkan kematian bakteri anaerob, misalnya logam berat dan pelarut organik. Tetapi banyak senyawa-senyawa racun dapat diserap oleh bahan netral dalam digester dan dengan demikian terhindar efek negatifnya pada proses digesti.

6. Beberapa faktor ketidakseimbangan proses digesti anaerob

Digesti anaerob merupakan proses kompleks bergantung pada keseimbangan antara senyawa-senyawa dan unsur-unsur berbeda yang ada. Demikian juga proses ini bergantung pada interaksi antara kelompok-kelompok bakteri dan keseimbangan kanan di antara jenis-jenis mikroorganisme vital yang diperoleh hasil biogas terbesar. Dampak negatif dapat terjadi oleh ketidakseimbangan, dimana fermentasi anaerob secara total dapat berhenti atau menurun. Alasan-alasan utama ketidakseimbangan proses-proses itu adalah :

1) Beban berlebih Hidraulik

Hal ini terjadi jika waktu tinggal dalam digester anaerob rendah/ singkat dibandingkan laju pertumbuhan bakteri. Oleh karena bacteria tidak akan cukup waktu tumbuh dalam reaktor dan akan dapat tercuci. Secara nyata, beban berlebih hydraulic terjadi bila volume efektif (volume bersih) reaktor menurun oleh karena akumulasi bahan-bahan inert (misal: lumpur dan pasir) atau bila beban lebih substrat terhadap reaktor berlangsung.

2) Beban lebih organik

Masalah muncul manakala biomas dengan kandungan organik tinggi diasupkan ke dalam reactor. Pada keadaan ini bakteri tak mampu memecah senyawa organik yang ada dan karena itu proses digesi anaerob akan berjalan lambat.

3) Bahan racun

Bahan racun dapat berupa senyawa yang sudah ada dalam biomasa atau senyawa yang dihasilkan selama proses fermentasi anaerob. Hal ini dapat terjadi jika biomasa kaya protein digunakan, menghasilkan sejumlah besar ammonia yang menyebabkan hambatan ammonia. Fermentasi dapat juga memecah jika biomas terkelola mengandung konsentrasi tinggi lemak yang didegradasi menjadi senyawa beracun (asam lemak rantai panjang).

4) Perubahan tiba-tiba

Sebuah perubahan mendadak pada salah satu parameter (misal: suhu, pH laju beban, beban ammonia dst) menyebabkan dampak negatif pada proses digesi sekalipun perubahan dalam batas dapat diterima. Selama proses fermentasi, bahan organik terdigesi menjadi asetat dan hidrogen. Jika bakteri penghasil asetat memiliki laju pertumbuhan lebih rendah dari pada bakteri fermentatif, substrat asetogenik (misal: asam lemak, asetat, alkohol dan hidrogen) akan berkumulasi dan karenanya menghambat proses fermentasi. Jadi akumulasi substrat asetogenik merupakan indikator proses tak seimbang. Penelitian menunjukkan bahwa substrate acetogenic tidak beracun, karena itu tidak beralasan bagi proses tak seimbang tapi merupakan indikator. Kenaikan

konsentrasi asam organik menjadi peringatan bahwa asam banyak dihasilkan daripada dikonsumsi, yang berarti bahwa proses tak seimbang.

Penelitian-penelitian menunjukkan bahwa substrat asetogenik tidak toksis, oleh karena itu tidak beralasan ketidakseimbangan proses. Tetapi pemberian pakan tak seimbang ke dalam reaktor mungkin menyebabkan kenaikan konsentrasi asam organik. Oleh karena itu, konsentrasi dan komposisi asam sebaiknya diukur dalam interval waktu lebih sempit dari pada respons waktu system. Ketidak seimbangan proses dapat diketahui dari konsentrasi H₂ dan CO . Ukuran H₂ dan CO sendiri tidaklah nyata oleh karena interaksi antara kedua senyawa itu. Tambahan, H₂ tersedia dalam fase gas dan cair karenanya pengukuran konsentrasinya dalam fase gas tak mencerminkan konsentrasi aktual dalam sistem.

7. Penetapan ukuran digester

Dimensi reaktor dan potensi gasbio bergantung pada: jenis substrat yang dirombak, Kuantitas setiap bahan per ton, persentase kandungan total padatan : TS = 100% - % kandungan air, dan persentase kandungan bahan organik. Bahan organik kering ditetapkan dengan membakar sampel kering pada 550°C selama 6 jam dan timbang abu sisa: kand. bahan organik = (TS – total abu x 100) : TS (*Renewable Energy Technology*, 2005).

Ukuran digester (Vd) ditetapkan oleh waktu retensi dan substrat input harian (m³) (Sd). Rumusan berikutnya dapat digunakan untuk menghitung volume sesungguhnya (Vd): Sd x RT (Werner *et al.*, 1989).

Waktu retensi rerata yang dibutuhkan untuk limbah buah dan sayuran adalah 40 hari. Seperti ditunjukkan pada kisaran hasil paling efisien dari data

limbah harian yang dikumpulkan berikut adalah sebanyak 630 ton dan tampak realistis pada penelitian ini. Substrat input harian sebanyak 1250 kg per hari sama dengan 1,26 (630 kg biomasa : 630 kg air, karena perbandingan larutan 1: 1). Jadi digester memerlukan volume 50,4 m³ atau ($V_d = S_d \times RT = 50,4 \text{ m}^3$).

Cara lain menghitung volume digester didasarkan pada laju Loyd yang sebaiknya tidak melebihi 1,5 kg VS per m³ hari (Werner *et al.*, 1989). Kandungan padatan volatil limbah buah dan sayuran hampir 88 g/kg (Boulaggni *et al.*, 2004). Sebanyak 630 kg limbah organik karena itu sekitar 55 kg VS per hari. Karena itu volume digester setidaknya dibuat sebesar 36,6m³. Karena itu digester sebesar 50 m³. Dalam penelitian ini digester dibuat dengan ukuran 9 m³.

B. Kerangka Berpikir

Pemanfaatan teknologi perombakan anaerob untuk mengurangi beban limbah industri pertanian akhir-akhir ini digiatkan kembali seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan rekayasa sistem produksi bioenergi (biogas). limbah penampungan kotoran sapi anaerob sebagai sumber bioenergi melalui proses fermentasi/perombakan anaerob menjadi biogas sangat potensial, namun belum efisien dimanfaatkan. Di satu sisi kebutuhan energi Indonesia terutama bahan bakar minyak kian bertambah dan harga perolehannya semakin mahal, meskipun pemakaian energi tidak terbarukan berpotensi tinggi sebagai bahan pencemar dan semakin menyusut ketersediaannya. Teknologi produksi bioenergi merupakan teknologi tepat guna untuk pengelolaan kolam limbah penampungan kotoran sapi yang memiliki nilai BOD dan COD tinggi, berturut-turut lebih dari 20.000 dan 40.000 mg/l. Proses perombakan anaerob limbah kotoran sapi terjadi di kolam-kolam limbah atau dapat dilakukan pada kolam tertutup tanpa oksigen bebas, yang disebut teknologi digester anaerob.

Pengelolaan limbah kotoran sapi secara tradisional (sistem terbuka) umum diterapkan, namun diketahui menjadi sumber pencemar udara yang nyata, yakni penyebab pemanasan global akibat efek gas rumah kaca (biogas). Pertambahan kapasitas industri peternakan sapi guna memenuhi kebutuhan masyarakat akan sumber daging (protein) semakin meningkat, sebaliknya besar beban organik yang dibuang (ditimbulkan) ke lingkungan semakin meningkat dan tanpa pengelolaan limbah yang memadai. Sementara usaha peternakan oleh petani (peternak kecil) dengan beberapa ekor sapi potong banyak terdapat di daerah pedesaan dan belum banyak dilakukan pengelolaan limbah kotoran sapi dengan bioteknologi tepat guna yang murah dan mudah sehingga diperoleh nilai tambah lebih besar dan ramah lingkungan. Selain itu luaran dari pengelolaan limbah jauh memenuhi ambang baku mutu perairan umum yang diperbolehkan. Pengembangan bioteknologi pencernaan anaerob dan rekayasa sistem biogas melalui percepatan perombakan bahan organik yang dihasilkan, sebagai alternatif penanganan yang lebih cepat dan penting dilakukan.

Pengelolaan timbunan limbah kotoran sapi di Indonesia dalam kurun waktu dua dekade terakhir semakin meningkat dan informasi produksi biogas hasil perombakan anaerob limbah kotoran sapi terkait isu lingkungan akhir-akhir ini memiliki potensi tinggi sebagai penyumbang emisi gas rumah kaca (biogas) penyebab pemanasan global. Sebagai alternatif pengganti bahan bakar minyak dan sumber kalor kebutuhan industri peternakan, hasil utama biogas dan produk samping pupuk organik dari proses biometanasi dalam biodigester anaerob dapat dimanfaatkan-kembangkan untuk keperluan tersebut. Pada skala rumah tangga yang terdiri atas 4-5 orang per keluarga per hari dapat dipenuhi kebutuhan energi berupa kalor sebagai bahan bakar masak memasak dan

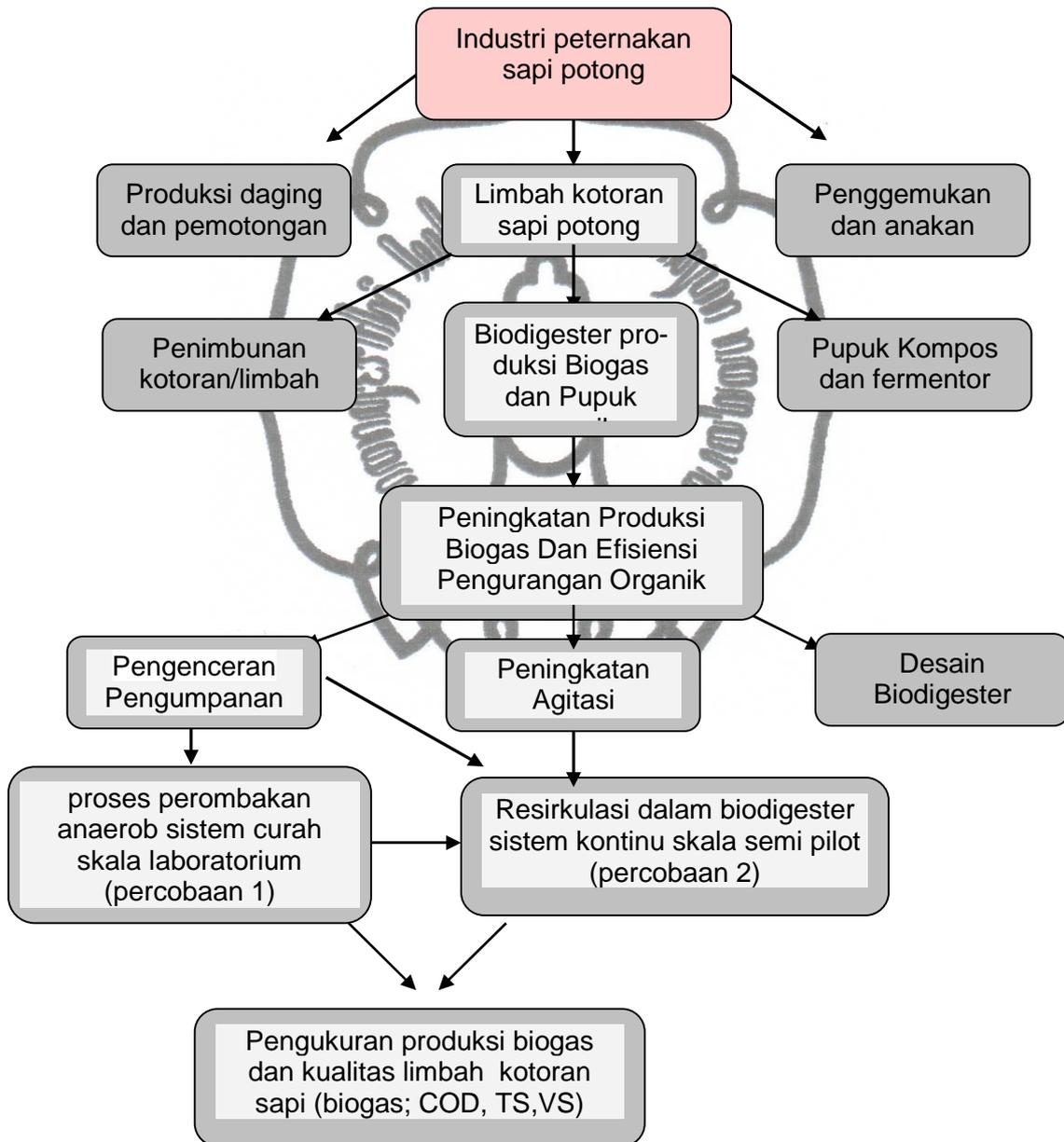
peralatan rumatangga lainnya dari biodigester anaerob limbah kotoran sapi sebanyak dua-tiga ekor sapi per hari. Demikian pula kebutuhan kalor dan listrik pada industri ternak sapi di Amerika Serikat, dengan pemanfaatan kolam skala industri dan tertutup sebagai digester anaerob diperoleh cukup kalor dan listrik hasil konversi biogas untuk keperluan industri tersebut (*Eerec 2000, Stowell, Victoria 2000, NAS 1981*).

Hasil pengelolaan limbah kotoran sapi dengan teknologi digesti anaerob tertutup (TDAT), selain dihasilkan biogas dan produk samping pupuk organik (cair maupun padat/lumpur) untuk pertanian sekitar industri ternak/pabrik, juga dapat dikembangkan sebagai pengganti bahan bakar kendaraan bermotor (mobil). Selain itu pengelolaan limbah kotoran sapi yang lebih berdayaguna ini menambah peluang kerja dan menekan pengeluaran/pembelanjaan bahan bakar/energi kebutuhan sehari-hari dan bahkan berdampak peningkatan penghasilan/ekonomi industri (keluarga). Pada akhirnya peningkatan/pengembangan dan penerapan bioteknologi pengelolaan limbah tepat guna ini diharapkan dapat meningkatkan kapasitas produksi dan daya saing produk industri ternak (daging) di pasaran. Dampak positif lebih jauh penerapan bioteknologi ini dapat meningkatkan aktivitas dan ekonomi masyarakat (desa) pada tingkat lokal dan produksi bersih mendukung kebijakan pembangunan pemerintah program pengurangan emisi gas rumah kaca.

Biogas hasil limbah penampungan kotoran sapi yang telah ditingkatkan, dapat dimanfaatkan untuk sumber energi pembangkit listrik di sekitar lokasi peternakan, juga pengganti bahan bakar minyak. Pertimbangan terhadap upaya mengatasi berbagai keterbatasan yang ada dan peluang luaran yang lebih bermanfaat, maka penelitian difokuskan pada kajian peningkatan efisiensi proses

biometanasi dan kualitas limbah cair tercerna pada skala laboratorium, dan penyelesaian pada skala semi pilot di areal peternakan sapi PT Wahyu Utama Sukolilo Bancar Tuban Jawa Timur seperti pada Gambar 1, sebagai berikut :

Kerangka Berpikir :



Gambar 2. Bagan alir kerangka berpikir peningkatan kapasitas biodigester anaerob

Keterangan : bagian penelitian percobaan yang dilakukan

C. Hipotesis

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan hipotesis, antara lain:

1. Pengenceran berpengaruh terhadap kualitas biomassa kotoran sapi maupun kuantitas produksi biogas dalam biodigester anaerob sistem curah skala laboratorium.
2. Pemberian agitasi (pengadukan) berpengaruh terhadap kuantitas produksi biogas dalam digester anaerob (*fix dome*) sistem kontinyu skala semi pilot.



BAB III METODE PENELITIAN

A. Tempat dan waktu penelitian

1. Tempat

Penelitian skala laboratorium dilakukan di UPT Laboratorium MIPA Pusat UNS Surakarta. Limbah kotoran sapi digunakan sebagai bahan baku substrat dalam reaktor (*jerigen*) anaerob sistem curah

Penelitian skala semi pilot lokasi percobaan dilakukan di peternakan sapi PT Wahyu Utama Sukolilo Bancar Tuban Jawa Timur. Menggunakan unit biodigester *fix dome* (Gambar 9 dalam lampiran 2 halaman 63) dengan ukuran 9 m³ sebagai digester semi pilot.

2. Waktu

Penelitian skala laboratorium dilakukan mulai bulan April 2009 sampai bulan Nopember 2009. Sedangkan penelitian skala semi pilot dilakukan mulai bulan September 2009 sampai bulan November 2009.

B. Alat dan Bahan

1. Alat

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian skala laboratorium adalah : jerigen 20 L, Botol plastik air mineral 1,5 L, Slang diameter 0,5 Cm, Corong , Ember, pH meter, Bor kayu, Isolasi , Korek api, Termometer , Alat timbang barang 100kg,

kawat. Alat percobaan skala laboratorium adalah biodigester modifikasi (*jerigen*) dengan rangkaian alat penampung biogas terhitung berupa botol plastik air mineral volume 1,5 l (Gambar 12 lampiran 2 halaman 64)

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian skala semi pilot Adalah : Biodigester fix dome volume 9 m³ (Gambar 9 lampiran 2 halaman 63), Kantong plastik, Slang plastik 1 Cm, Kran gas, Aerotor, Tali rafia/karet, Besi diameter 0.6 mm, Slang plastik 0,5 mm, Roll meter, Kabel, Sumber listrik, Timer pengatur waktu, aerator dan kompresor.

2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian skala laboratorium maupun semi pilot adalah inokulum limbah kotoran sapi dan air.

C. Rancangan Penelitian

Cara kerja yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Skala laboratorium

Teknik pengambilan sampel dengan menggunakan Rancangan acak lengkap dengan sistem curah. Masing-masing menggunakan biodigester anaerob modifikasi (Gambar 11 dalam lampiran 2 halaman 64), empat perlakuan pengenceran antara substrat dan air dengan perbandingan : 1 : 1, 1 : 3, 1 : 5, dan 1 : 7, dengan ulangan masing-masing 3x, lama waktu perlakuan 35 hari.

a. Persiapan

Penyediaan alat dan bahan pembuatan biodigester modifikasi berjumlah 12 buah, dilanjutkan pengisian substrat dengan pengenceran sesuai perlakuan pembuatan formulasi pengisian biodigester .

b. Pelaksanaan

Biodigester yang sudah terpasang dan diisi substrat, dilakukan penggojokan tiap pagi dan sore hari, masing-masing 50X, dengan proses perombakan anaerob berlangsung selama 35 hari dengan interval 1 minggu (7 hari). Perlakuan dengan 3X ulangan.

Mengukur volume gas yang dihasilkan dihitung perminggu, yaitu minggu pertama, kedua, ketiga keempat dan kelima, dari seluruh perlakuan pengenceran 1 : 1, 1 : 3, 1 : 5, dan 1 : 7. (Gambar 13 dalam lampiran 2 halaman 65)

Pengambilan sampel untuk dianalisis COD, TS, VS (Metode Titrasi, evaporasi, dan penyaringan, Greenberg *et al.* 1992), di laboratorium, dimulai minggu I (0-7 hari), minggu II (8 – 14 hari), minggu III, (15 -21 hari), minggu IV (22 – 28 hari), dan minggu V (29 – 35 hari).Metode analisis terlampir (lampiran 1). Hasil pengukuran dianalisis, yang selanjutnya hasil penelitian skala laboratorium, akan diekomendasikan untuk penelitian skala semi pilot.

2. Skala Semi Pilot

a. Persiapan

Membuat kantong plastik penampung gas (Gambar 20 lampiran 2 halaman 68)

Pengurusan biodigester hingga kondisi siap pakai.

b. Pelaksanaan

Biodigester diisi starter (inokulum berupa lumpur aktif) sebanyak 20 % dari volume biodigester yang ada (9 m³). Selanjutnya diisi substrat sebanyak 50 %, sedang 30 % lainnya digunakan untuk pembentukan biogas. Rasio pengenceran yang umumnya digunakan dipeternakan 1:1, selanjutnya digunakan sebagai perbandingan produksi Biogas perlakuan yaitu 1:3, dengan agitasi maupun tanpa agitasi.

Pertama yang dilakukan adalah pengisian lumpur aktif dalam biodigester sebanyak 20 %, kurang lebih 2 m³ (Mahajoeno 2007), selanjutnya ditambah limbah Kotoran Sapi sebanyak 50% (4 m³), sedang 30 % digunakan sebagai penampung biogas yang terbentuk. Pengambilan data produksi biogas dilakukan 24 jam dengan ulangan 3 kali (72 jam) menggunakan plastik dengan ukuran 6 m³ (gambar 19,20 lampiran 2 halaman 69) Setelah mendapatkan data, Biodigester dikosongkan, kemudian diisi dengan perbandingan kotoran sapi dengan air (pelarut) 1 : 3 melalui *inlet* digester hingga mencapai 6 m³, dimana 4 m³ sisa umpan (limbah kotoran sapi) yang keluar dari *outlet* digester., Sisa umpan masuk kedalam bak terbuka tanpa penutup (penampung biogas). Kantong plastik rangkap penampung biogas disiapkan kembali, dirapikan dan selalu dicek kemungkinan terjadi kebocoran sehingga biogas tidak keluar. Digester dengan komposisi limbah cair kotoran sapi

demikian langsung berproduksi setelah 24 jam. Gas yang terbentuk ditampung dalam kantong plastik, kemudian diukur volumenya. (tanpa agitasi). Perlakuan yang sama yaitu dengan pengosongan biodigester, selanjutnya diisi umpan (substrat dengan perbandingan 1:3) menggunakan perlakuan agitasi. Agitasi dilakukan dengan interval 4 jam (4 jam agitasi, 4 jam istirahat hingga 24 jam, dan ulangan 3 kali), hal tersebut dilakukan untuk mengantisipasi kerusakan alat yang digunakan agitasi (aerator dan kompresor, ditunjukkan pada gambar 23, 24 lampiran 2 halaman 68). Total waktu percobaan dilakukan 72 jam. Gas yang terbentuk ditampung dalam kantong plastik, kemudian diukur volumenya. (Suzuki *et al.* 2003).

D. Analisis Data

1. Hasil pengamatan karakterisasi nilai kisaran, rata-rata pada parameter : COD, TS, VS, produksi biogas limbah kotoran sapi dengan Analisis multivariat dan statistik deskriptif dari masing-masing perlakuan, kemudian digunakan sebagai rekomendasi pengukuran dalam percobaan skala lapang. Data disajikan dalam bentuk tabulasi dan gambar grafik.
2. Untuk mengetahui pengaruh pengenceran optimum maupun agitasi limbah kotoran sapi dalam digester anaerob semi pilot (*fix dome*) diuraikan secara deskriptif yang disajikan secara tabulasi data dan gambar. Analisis yang digunakan pada semi pilot digunakan statistik deskriptif, dan data disajikan dengan tabulasi data dan gambar diagram.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Persyaratan parameter limbah pada umumnya antara lain: *Chemical Oxygen Demand (COD)*, *Biological Oxygen Demand (BOD)*, *Total Suspended Solid (TSS)*, dan *volatil solid (VS)*. Parameter tersebut mempunyai hubungan yang dekat, sehingga tidak harus semua dianalisis, pernyataan ini dapat dipertanggung jawabkan (Darsono, 2007). Oleh karenanya dengan berbagai pertimbangan parameter yang diukur dalam riset tersebut diantaranya COD, TS, VS dan Biogas. Hasil penelitian dibagi dalam dua bagian yaitu hasil analisis skala laboratorium dan skala semi pilot yang dilakukan di lapang (Peternakan PT. Wahyu Utama) . Hasil disajikan dalam berbagai bentuk diantaranya Tabel dan Gambar.

A. Hasil Penelitian skala Laboratorium

Analisis penelitian skala laboratorium dibagi menjadi dua sub bagian yaitu hasil analisis Statistik deskriptif dan Multivariat

1. Hasil Analisis Diskriptif Skala Laboratorium

Hasil yang diperoleh menunjukkan penurunan nilai bahan terlarut pada setiap waktu dalam minggu, baik VS, TS maupun COD. Proses perombakan relatif berbeda setiap rasio pengencerandalam tabel 2 berikut :

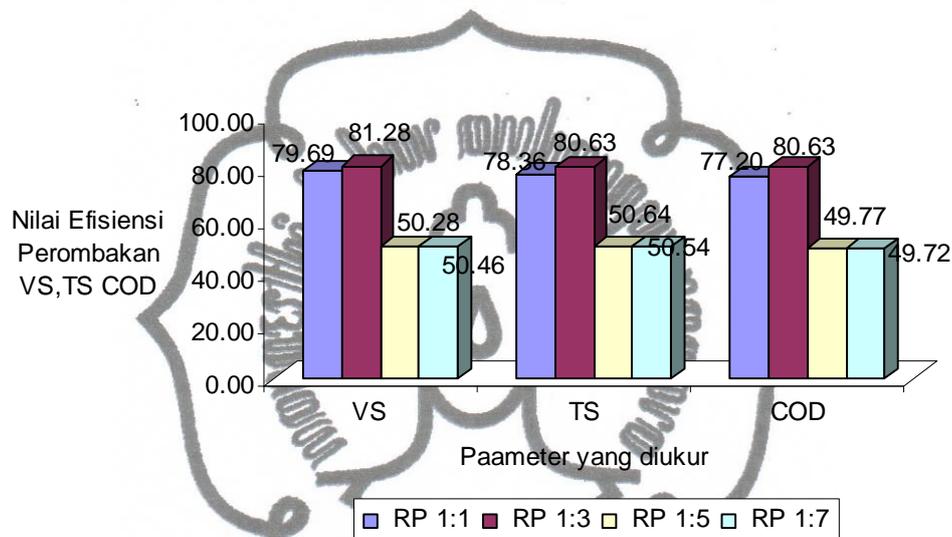
Tabel 2. Hasil perombakan VS, TS dan COD berbagai pengenceran dalam setiap waktu pengamatan

Parameter/ minggu	Rasio Pengenceran kotoran sapi			
	1 : 1	1 : 3	1 : 5	1 : 7
VS/mg				
0 mgg	17593	16167	12350	12173
1 mgg	14027	13437	11730	11300
2 mgg	12560	12133	10487	10640
3 mgg	8320	8257	9193	9713
4 mgg	5760	4100	7760	7783
5 mgg	3573	3027	6140	6030
TS/mg				
0 mgg.	15973	15760	13250	11713
1 mgg	14796	14687	12733	11330
2 mgg	12561	12547	11333	10840
3 mgg	10807	9807	10113	9680
4 mgg	9420	7280	8820	7213
5 mgg	3457	3053	6540	5793
COD/mg				
0 mgg	36986	36867	32967	32294
1 mgg	36176	35862	30601	31107
2 mgg	33985	25959	28454	28905
3 mgg	25256	20252	26247	26530
4 mgg	10535	9930	24137	23955
5 mgg	8433	7142	16558	16239

Hasil perombakan yang terjadi (dalam tabel 2), tampak ada dua kategori yang terlihat jelas, yaitu perombakan pada rasio pengenceran 1:1 dan 1:3 relatif sama dan cukup tinggi, sedang rasio pengenceran 1:5 dan 1:7 relatif rendah. Hal tersebut dapat dipahami karena perombakan yang terjadi disebabkan karena aktifitas mikroba. Pertumbuhan dan aktifitas mikroba sangat dipengaruhi oleh berbagai hal, diantaranya tersedianya nutrisi dalam substrat, pH, dan suhu (Darsono 2007; Nugraheni *et al* 2008). Selanjutnya hasil efisiensi perombakan dalam % pada tabel 3 dan gambar 3 berikut :

Tabel 3. Efisiensi perombakan VS,TS,COD berbagai rasio pengenceran dalam %

	RP 1:1	RP 1:3	RP 1:5	RP 1:7
VS	79.69	81.28	50.28	50.46
TS	78.36	80.63	50.64	50.54
COD	77.20	80.63	49.77	49.72



Gambar 3 Diagram batang efisiensi perombakan VS,TS,COD Berbagai Rasio pengenceran

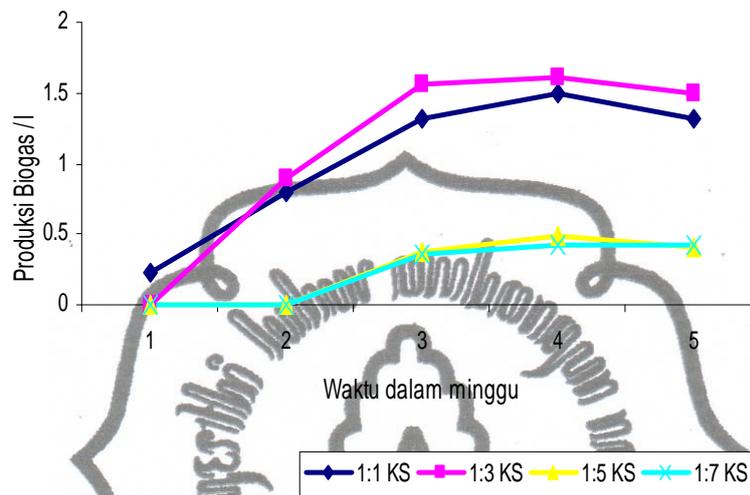
Hasil analisis efisiensi perombakan pada (gambar 3) dalam diagram batang dan dinyatakan dalam persen, menunjukkan bahwa efisiensi perombakan VS, TS dan COD tertinggi pada rasio pengenceran kotoran sapi 1:3, masing-masing sebesar 81 %, 80% dan terendah 80%, selanjutnya diikuti rasio pengenceran 1:1. Sedang efisiensi perombakan terendah pada rasio 1:5 dan 1:7 (dalam tabel 3). Hal tersebut mungkin disebabkan oleh banyaknya air yang ada dalam substrat, sehingga perkembangan mikroba kurang optimal, demikian pula sebaliknya rasio 1:1 dan 1:3 menunjukkan efisiensi perombakan yang baik, karena bahan padat merupakan nutrisi dari mikroba, sehingga dapat berkembang dengan baik. Sedang proses

pembentukan Biogas secara anaerob, peran utama adalah perkembangan dan aktifitas mikroba yang ada dalam substrat. Selain perombakan bahan-bahan dalam substrat, perkembangan dan aktivitas mikroba juga dipengaruhi oleh pH (kadar keasaman substrat) dan suhu. pH optimal untuk perkembangan dan aktifitas mikroba antara 6,5 – 8,3 , sedang suhu pada thermofilik (Mahajoeno 2007, Nugraheni *et al* 2008)

Tabel 4. Rerata produksi biogas setiap minggu skala laboratorium dengan berbagai rasio pengenceran perhari/l

Rasio pengenceran	Rerata produksi Biogas harian/l/minggu					Rerata Produksi Biogas/hari/l
	1	2	3	4	5	
1:1 KS	0.23	0.79	1.22	1.39	0.98	1.03
1:3 KS	0	0.9	1.56	1.61	1.5	1.11
1:5 KS	0	0	0.37	0.49	0.41	0.43
1:7 KS	0	0	0.36	0.42	0.43	0.37

Produksi biogas yang diperoleh dalam skala laboratorium menunjukkan bahwa perbedaan pengenceran (rasio pengenceran substrat) berpengaruh terhadap produksi biogas. Poduksi biogas paling banyak dihasilkan pada rasio pengenceran 1:3, baik mulai produksi Biogas hingga minggu kelima, dengan rerata 1,11 liter, selanjutnya disusul oleh rasio pengenceran 1:1 dengan rerata 1,03 liter dan produksi biogas paling rendah pada pengenceran 1:5 selanjutnya 1:7, masing-masing rerata produksi biogas 0,43 dan 0,37, (Tabel 4 dan gambar 4.)



Gambar 4. Rerata produksi biogas/l/hari dari berbagai rasio pengenceran substrat, dalam setiap waktu dalam minggu

Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rasio pengenceran 1:1 KS, produksi biogas paling cepat dan diikuti rasio pengenceran 1:3, masing-masing 1:1 pada minggu pertama, 1:3 pada minggu kedua, dan rasio pengenceran 1:5 dan 1:7 produksi biogas pada minggu ketiga. Hal tersebut dapat dimengerti produksi biogas hasil perombakan secara anaerob dilakukan oleh konsorsium mikroba. Apabila lingkungan mendukung pertumbuhan dan perkembangan serta aktivitas mikroba, maka produksi biogas akan meningkat. Hal yang dapat memacu pertumbuhan mikroba adalah tersedianya nutrisi, pH dan Suhu. Hal tersebut dapat dilihat semakin tinggi proses perombakan materi substrat dalam limbah, akan diikuti meningkatnya produksi biogas. Rasio pengenceran 1:3 kemudian 1:3 menunjukkan produksi biogas paling tinggi, diduga karena persediaan nutrisi dalam substrat lebih dari cukup dibanding rasio pengenceran 1:5 dan 1:7. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa

laju pembebanan COD, TS dan VS menimbulkan peningkatan konsentrasi biomassa di dalam bioreaktor. Peningkatan konsentrasi biomasa berkaitan dengan banyaknya nutrisi dengan asumsi konsentrasi biomassa tinggi yang ada dalam sistem. Peningkatan pembebanan organik berarti meningkatnya pasokan makanan yang diperlukan oleh bakteri anaerob, dengan sendirinya kebutuhan nutrisi untuk pertumbuhan bakteri dapat dicukupi sehingga pertumbuhan bakteri anaerob lebih baik dibandingkan dengan pasokan makanan yang rendah (Darsono 2007; Mahajoeno 2007; Wijaya *et al* 2008, dan Borja *et al* 2002)

2. Analisis Multivariat Skala Laboratorium

Hasil analisis statistik multivariat disajikan bentuk tabulasi antara lain pada tabel lampiran 3 Faktor subyek penelitian. Tabel tersebut menunjukkan jenis variabel bebas maupun terikat dengan jumlah sampel yang digunakan. Digunakan dua variabel bebas yaitu waktu inkubasi dalam minggu (0 – 5 minggu), dan rasio pengenceran (1:1; 1:3; 1:5; dan 1:7). Variabel tergantung yang diukur adalah COD, TS, VS dan produksi Biogas (Tabel Hasil Analisis Multivariat pada masing-masing variable lampiran 3 halaman 75).

Hasil analisis menunjukkan nilai signifikansi kurang dari 0.05, artinya bahwa variabel bebas berpengaruh terhadap variabel tergantung, terkecuali interaksi kedua variable bebas terhadap produksi biogas. Percobaan ini, variable bebas rasio pengenceran empat macam jenis perlakuan pengenceran yaitu 1:1(6); 1:3 (7); 1:5(8); 1:7(9). Dilihat dari masing masing variable menunjukkan bahwa hampir semua perlakuan berpengaruh nyata terhadap variable yang diukur yaitu COD, VS,

TS dan biogas(dalam tabel Hasil Analisis Multivariat pada masing-masing variable lampiran 3 halaman 73).

Hasil analisis statistik multivariat menunjukkan adanya suatu perbedaan yang signifikan antar rasio pengenceran dan waktu dalam minggu dari masing-masing variabel, ketentuan tersebut berlaku jika hasil yang diperoleh tidak melebihi 0,5, sedang hasil yang diperoleh dengan nilai P 0,00. Hasil tersebut menunjukkan bahwa perombakan dari masing-masing parameter berbeda, waktu inkubasi dan rasio pengenceran juga berperan dalam perombakan bahan yan ada dalam limbah. Hal tersebut diduga karena faktor-faktor yang yang diukur dapat mempengaruhi aktifitas mikroba, sedang perombakan yang terjadi pada proses anaerob, dlakukan oleh konsorsium mikroba. Sehingga dapat dikatakan hasil analisis statistik menunjukkan adanya perbedaan pengaruh pengenceran maupun waktu memberikan secara nyata terhadap parameter yang diukur .

Hasil analisis dalam skala laboratorium dengan Multivariat (tabel Hasil analisis multivariat pengaruh masing-masing variabel, lampiran 3) dari masing-masing variabel bebas menunjukkan angka lebih kecil dari 0.05, artinya bahwa variable bebas memberikan pengaruh berbeda nyata terhadap variable tergantung. Dengan demikian analisis akan dilanjutkan untuk dilihat pengaruh masing-masing variable bebas terhadap variable tergantung dengan analisis manova. .

Variable bebas waktu inkubasi dibagi dalam beberapa jenis waktu inkubasi yaitu waktu 0 – 5 minggu, dengan kode masing-masing 0, 1, 2, 3, 4, 5 minggu (dalam tabel hasil analisis multivariat masing-masing variabel lampiran 3 halaman 72). Hasil yang diperoleh menunjukkan hampir semua perlakuan berpengaruh nyata

terhadap variable yang diukur, menunjukkan adanya perbedaan yang nyata. Hasil pengolahan limbah kotoran sapi sistem anaerob skala laboratorium, dari hasil analisis statistik diskriptif maupun hasil analisis Multivariat menunjukkan ada perbedaan signifikan (nyata) bila dibandingkan dengan karakteristik limbah sebelum pengolahan secara anaerob. Hasil pengukuran nilai COD, TS dan VS pengelolaan sistem pencernaan anaerob, menunjukkan penurunan konsentrasi parameter diukur, sejalan dengan pertambahan waktu inkubasi. Persentase efisiensi perombakan organik parameter di atas berkisar antara 79-81% untuk rasio pengenceran 1:1 dan 1:3, sedang rasio pengenceran 1:5 dan 1:7 berkisar antara 45 -50%. Keuntungan pengelolaan sistem pencernaan anaerob adalah selain dapat menurunkan kadar zat polutan, juga dihasilkan biogas, yang dapat digunakan sebagai pengganti BBM, terbarukan dan ramah lingkungan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang menyatakan bahwa system pengelolaan secara anaerob pada limbah biomasa dapat menurunkan kadar polutan dan memproduksi biogas yang ramah lingkungan (Mahajoeno 2008)

Proses pencernaan anaerob merupakan dasar pengembangan teknologi biogas. Menurut *Welinger* (1999) proses pemecahan bahan organik dalam suatu habitat mikro anaerob dilakukan oleh aktifitas konsorsia bakteri anaerobik. Bakteri ini secara alami terdapat dalam limbah yang mengandung bahan organik, seperti kotoran binatang, manusia, dan sampah organik rumah tangga, maupun limbah dari proses olahan hasil pertanian maupun proses produksi bahan pangan, misalkan limbah tahu dan atau limbah pembuatan tapioka singkong. Proses pengelolaan limbah secara anorganik meliputi 3 tahap. Tahap pertama proses hidrolisis terjadi

penguraian bahan organik serta pemecahan bahan organik kompleks menjadi senyawa sederhana dengan bantuan air, yaitu perubahan struktur polimer menjadi monomer. Selanjutnya proses pengasaman, yakni tahap dimana komponen monomer menjadi sumber nutrisi mikroorganisme pembentuk asam asetat dan asam-asam lemak rendah karbon, yang menghasilkan asam asetat, propionate, format, alcohol, gas CO₂, hidrogen dan amoniak. Hasil tersebut dimanfaatkan untuk pertumbuhan dan perkembangan bakteri metanogenik pembentuk gas metan yang selanjutnya disebut biogas dari proses anaerob.

Houdkova *et.al.* (2008) menyatakan bahwa biogas merupakan *energy* terbarukan yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar berasal dari fosil, seperti minyak tanah dan gas alam. Biogas juga sebagai salah satu jenis bioenergi yang didefinisikan sebagai gas yang dilepaskan jika bahan-bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, limbah organik, jerami, sekam dan daun-daun hasil sortiran sayur difermentasi anaerob atau mengalami proses metanisasi (Hambali E., 2008). Pambudi (2008) menyatakan bahwa biogas berasal dari berbagai macam limbah organik seperti sampah biomassa, kotoran manusia, kotoran hewan dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses pencernaan anaerob.

Faktor-faktor berpengaruh pada proses anaerobik terdapat beberapa hal penting diantaranya adalah, **komposisi nutrien**. Parameter penting pada proses anaerob adalah total padatan organik (TS) yang merupakan ukuran senyawa penyusun material seperti karbohidrat, protein, dan lemak. Seluruh substrat itu dapat dikonversi menjadi asam-asam teruapkan dan metan. **Kandungan oksigen**

terlarut (DO). Oksigen terlarut dalam digester anaerob dapat menghambat seluruh tahapan anaerob yang meliputi hidrolitik, asetogenik dan metanogenik, **Temperatur**. Hampir seluruh aktivitas biologi dipengaruhi oleh temperature, karena dapat menghambat atau mempercepat pertumbuhan mikroba, penguraian bahan organik, produksi gas, penggunaan substrat, dan banyak aktivitas biologi lainnya. Salah satu alasan adalah karena berbagai aktivitas biologi melibatkan reaksi-reaksi berbantuan enzim, dan enzim sangat sensitif terhadap perubahan temperatur (Wibisono, 1995).

Konsentrasi VS (*volatile solids*) merupakan parameter penting dan dapat digunakan untuk perhitungan pembebanan kapasitas bioreaktor/biodigester. Semakin tinggi konsentrasi VS semakin tinggi pula pembebanan proses perombakan. VS merupakan bahan makanan untuk proses hidrolisis dan pembentukan asam secara anaerob (Karki, Gautam and Karki, 1994). Proses produksi biogas dalam digester anaerob dapat optimal jika tersedia kecukupan mikroba methanogen, tingkat keasaman (pH) dan suhu substrat sesuai, adanya agitasi (pengadukan), tersedianya nutrisi cukup (P dan N), lamanya waktu inkubasi (retensi hidrolitik), kadar air dan rendah oksigen, serta tidak terdapat bahan toksik (Wibisono, 1995).

Karakteristik limbah makanan dapat dianggap sebagai agen polutan dengan nilai COD dan TS, tinggi dan bau tidak sedap. Pengelolaan cara perombakan anaerob, dapat menurunkan zat polutan dan mengurangi bau tidak sedap. Hasil sampingan yang diperoleh adalah pupuk organik, sehingga dapat dikatakan bahwa pengelolaan limbah atau penanggulangan pencemaran akibat limbah organik

makanan, sangat tepat menggunakan sistem anaerobik, selain dapat menurunkan zat polutan juga menghasilkan biogas yang terbarukan dan ramah lingkungan. Karakteristik kimia fisik limbah organik sumber pembentukan biogas dan penanggulangan pencemaran penting dilakukan.

Hasil analisis produksi biogas menunjukkan bahwa biogas terbentuk pada awal minggu kedua, dan efisiensi produksi biogas selama waktu inkubasi minggu kedua hingga lima minggu berikutnya adalah 54-81%, dan efisiensi produksi biogas setelah empat minggu inkubasi menurun antara 8-50%. Praperlakuan untuk percepatan produksi biogas dengan perlakuan agitasi, pH awal 7, dapat dicapai dengan penambahan CaCO_3 5-7g/l, peningkatan suhu, dan inokulum sebanyak 20% kapasitas kerja biodigester (Mahajoeno 2008). Dengan demikian mempelajari karakteristik biomasa limbah organik dan pengelolaan kedalam sistem pencernaan anaerob merupakan kegiatan awal (praperlakuan) yang penting dilakukan agar dapat diperoleh percepatan dan peningkatan produksi biogas, sebagaimana penelitian terapan yang dilakukan pada penelitian awal produksi biogas dari limbah PKMS (Mahajoeno 2008).

B. Hasil Pengukuran Produksi Biogas dalam Skala Semi Pilot

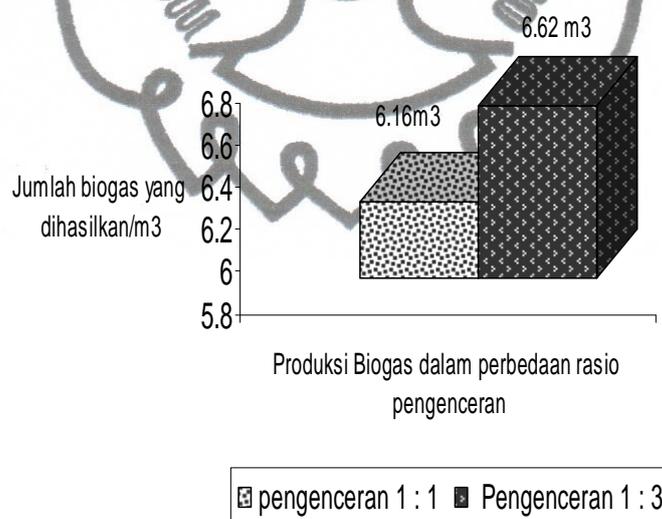
Pelaksanaan penelitian skala Semi Pilot dilakukan dari hasil rekomendasi skala laboratorium. Hasil pengukuran skala laboratorium produksi biogas paling tinggi pada rasio pelarut 1 : 3 (1 bagian substrat dari kotoran Sapi dilarutkan dengan 3 bagian pelarut). Volume bioreaktor sebanyak 9 m³, dan penggunaan bioreaktor tersebut dengan rasio substrat 1:1, dan selanjutnya rasio tersebut digunakan

sebagai kontrol. Uji peningkatan produksi Biogas secara semi pilot dengan volume bioreaktor 9 m³, menggunakan agitasi, sehingga hasil yang diperoleh dibagi dalam tiga macam diagram yang terdiri dari : Perbandingan produksi Biogas dengan rasio 1 : 1, dan 1 : 3 tanpa agitasi dan 1 : 3 dengan agitasi. Pengukuran dilakukan selama 24 jam dengan tiga kali ulangan (waktu pengambilan data masing-masing perlakuan diperlukan 72 jam), dan hasil yang diperoleh dibuat rerata (Tabel 5)

Tabel 5. Rerata produksi Biogas Semi Pilot tanpa agitasi dan dengan Agitasi

No	Perlakuan rasio Substrat	Rerata produksi Biogas/m ³ /hari	Keterangan
1	1 : 1	6,16	Tanpa agitasi
2	1 : 3	6,62	Tanpa agitasi
3	1 : 3	18	Dengan agitasi

1. Hasil analisis produksi Biogas dengan rasio 1 : 1 dan 1 : 3

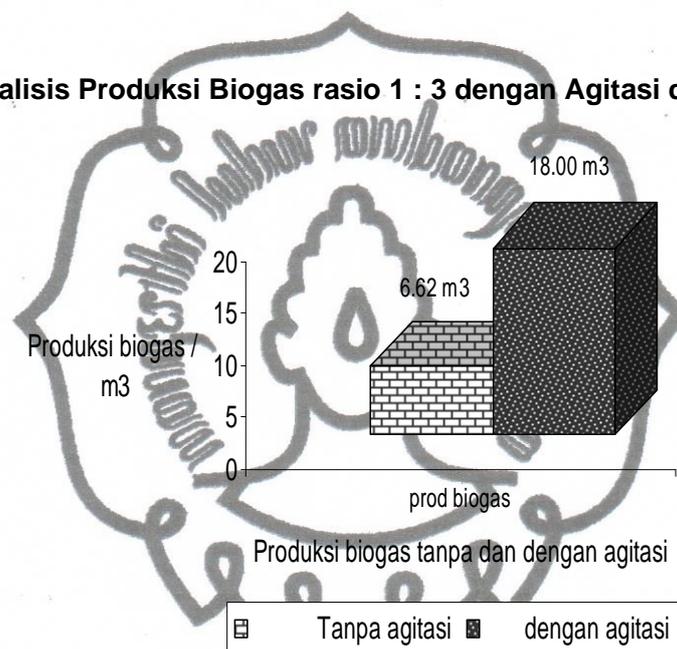


Gambar 5. Diagram batang produksi biogas dalam rasio pengenceran yang berbeda tanpa agitasi

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rerata produksi biogas dengan rasio substrat 1 : 1 dan 1 : 3 menunjukkan perbedaan yang relatif kecil, namun dalam diagram batang masih tampak jelas perbedaan produksi biogasnya. Rasio 1 :

1 dapat menghasilkan rerata biogas sebanyak 6,16 m³, sedang rasio 1 :3 rerata produksi biogas sebanyak 6, 62 m³. Masing-masing rasio dilakukan pengukuran selama 24 jam dengan tiga kali ulangan, sehingga pengambilan data masing-masing rasio memerlukan waktu 3 hari ditunjukkan pada gambar 5.

2. Hasil Analisis Produksi Biogas rasio 1 : 3 dengan Agitasi dan Tanpa Agitasi

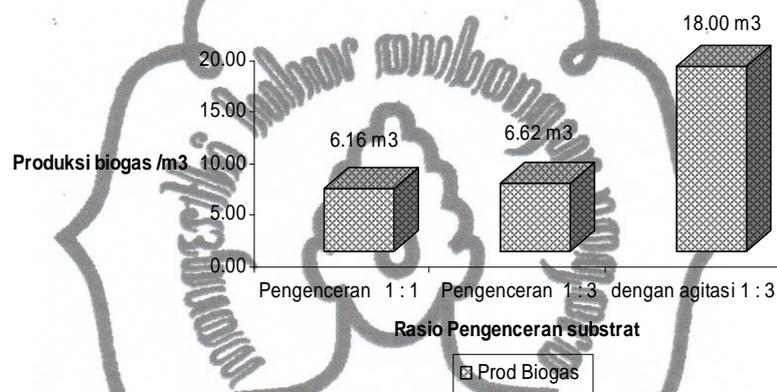


Gambar 6. Diagram batang dengan rasio yang sama 1:3 perlakuan agitasi dan tanpa agitasi

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa produksi biogas menggunakan agitasi dapat meningkatkan produksi biogas, hingga lebih dari dua kali lipat. Rerata produksi biogas tanpa agitasi sebanyak 6,62 m³/24 jam, dengan agitasi sebanyak 18 m³/24 jam, dengan ulangan 3 kali (3X24jam = 72 jam). Hal tersebut dapat dimengerti karena pengenceran dapat mengaktifkan kerja konsorsium bakteri perombak, yang dapat dilihat dari hasil perhitungan efisiensi perombakan lebih baik dibanding rasio 1:1, sehingga ketersediaan nutrisi untuk dirombak lebih banyak,

sehingga produksi biogas yang dihasilkan juga relatif lebih tinggi. Hasil tersebut sesuai dengan pendapat yang menyatakan bahwa persediaan nutrisi dalam substrat dapat meningkatkan produksi biogas (Darsono 2007). (Gambar 6).

3. Hasil Analisis Produksi Biogas Dengan Berbagai Perlakuan



Gambar 7. Diagram batang dengan berbagai perlakuan

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa produksi biogas paling banyak rasio 1:3 menggunakan agitasi sebanyak 18 m³/24 jam, sedang tanpa agitasi dengan rasio yang sama hanya 6,62 m³/24 jam, dan produksi biogas paling rendah pada control yaitu rasio 1 : 1 sebanyak 6,16 m³/24 jam. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa perlakuan agitasi dapat meningkatkan produksi biogarnya Mahajoeno (2007, 2008 dan 2009) bahwa agitasi adalah salah satu faktor penting untuk peningkatan produksi biogas. Hal tersebut dapat dipahami karena agitasi dapat meningkatkan suhu, dan konsorsium mikroba dapat kontak langsung dengan substrat dan merata, serta homogen, maka perombakan yang dilakukan konsorsium

mikroba tersebut juga optimal, sehingga produksi biogas dapat meningkat secara drastis (gambar diagram 7).

4. Hasil analisis Efisiensi Perombakan Bahan Terlarut

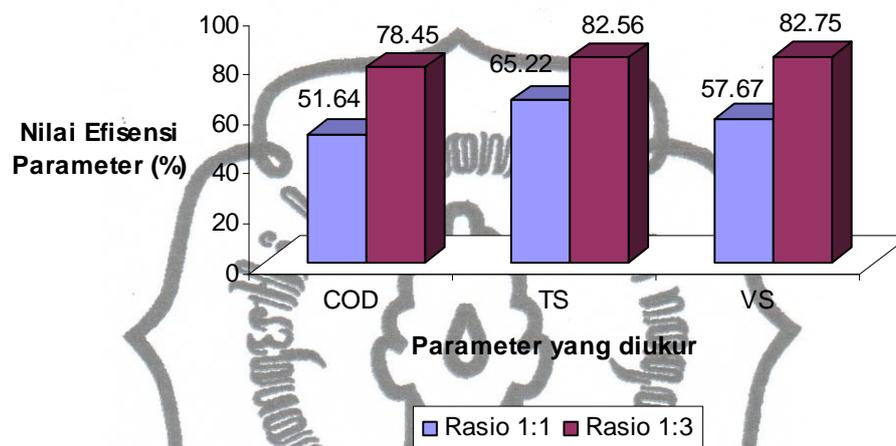
Hasil efisiensi perombakan bahan terlarut disajikan dalam bentuk tabulasi data

Tabel 6. Hasil Perhitungan Efisiensi Perombakan COD, TS, VS Skala semi pilot

N0	Indikator	Rasio Kotoran sapi	Efisiensi (%)
1	COD	1:1	51.64
2	TS	1:1	65.22
3	VS	1:1	57.67
4	COD	1:3	78.45
5	TS	1:3	82.56
6	VS	1:3	82.75

Hasil perhitungan efisiensi perombakan COD, TS dan VS menunjukkan terjadi perbedaan antara rasio pengenceran 1:1 dan 1:3 (tabel 6). Nilai efisiensi perombakan tertinggi pada rasio 1:3. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa efisiensi perombakan pada rasio pengenceran 1:1, baik pada COD, TS dan VS masing-masing 52 %, 66 % dan 58%, nilai efisiensi berkisar antara 52 – 66%, sedang nilai efisiensi perombakan pada rasio pengenceran 1: 3 pada COD, TS dan VS masing-masing 78%, 83% dan 83% (gambar 8), dapat dikatakan nilai efisiensi perombakan dari ketiga parameter diukur antara 78 – 83%. Kondisi tersebut diikuti dengan meningkatnya produksi biogas, dimana rasio pengenceran 1:3 lebih tinggi dibanding rasio pengenceran 1:1. Hal tersebut sejalan dengan hasil yang diperoleh pada skala laboratorium, bahwa rasio pengenceran 1:3 nilai efisiensi perombakannya lebih tinggi dibanding rasio pengenceran 1:1. Hal tersebut menunjukkan bahwa peningkatan pembebanan organik berarti meningkatnya pasokan makanan yang diperlukan oleh bakteri anaerob, dengan sendirinya kebutuhan nutrisi untuk

pertumbuhan bakteri dapat dicukupi sehingga pertumbuhan bakteri anaerob lebih baik dibandingkan dengan pasokan makanan yang rendah (Darsono 2007; Mahajoeno 2007; Wijaya *et al* 2008, dan Borja *et al* 2002)



Gambar 8. Diagram batang Nilai efisiensi perombakan Bahan terlarut skala lapang (semi Pilot)

Hasil yang diperoleh dari skala laboratotium menunjukkan bahwa fenomena nilai efisiensi perombakan skala laboratorium setara dengan hasil yang diperoleh dalam skala semi pilot, walaupun tidak sama persis, yaitu produksi biogas relatif lebih tinggi pada perlakuan rasio pelarut 1 : 3 dibanding rasio 1 : 1. Efisiensi perombakan COD, TS dan VS tertinggi juga pada rasio pengenceran 1:3, demikian pula produksi biogas. Hal tersebut dapat dipahami karena pengenceran substrat akan memudahkan dan mempercepat proses perombakan, yang berlanjut dengan tersedianya nutrisi konsorsium mikroba, dengan demikian pertumbuhan dan perkembangan serta aktifitas mikroba lebih baik, sedang pada rasio pengenceran 1:1 relatif lebih rendah dibanding rasio pengenceran 1:3, hal tersebut terkait dengan optimalnya perombakan bahan dalam substrat, karena rasio pengenceran 1:1 masih

relatif lebih padat, sehingga efisiensi perombakannya tidak setinggi pada rasio pengenceran 1:3. Perombakan yang tinggi memberikan peluang aktifitas mikroba yang lebih baik, sehingga hasil biogas yang diperoleh lebih tinggi.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa rerata produksi biogas pada rasio 1:1 6,16 m³/24 jam, 6,62 m³/24 jam untuk rasio 1 : 3. Sedang perlakuan dengan agitasi menunjukkan hasil 18 m³/24 jam seperti yang ditunjukkan pada gambar 8. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Mahajoeno (2007), menyatakan bahwa perlakuan agitasi merupakan salah satu faktor untuk peningkatan produksi Biogas limbah cair kelapa sawit secara anaerob. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pengenceran substrat dapat meningkatkan perombakan COD, TS dan VS, dan meningkatnya perombakan substrat dapat meningkatkan produksi biogas. Hal tersebut dapat dipahami karena perombakan substrat dapat meningkatkan pH dan suhu, dengan demikian akan meningkat pula aktifitas konsorsium mikroba, dan bahan yang akan drombak menjadi biogas tersedia secara optimal, dengan demikian produksi biogas dapat meningkat, selain itu agitasi dapat meratakan atau pencampuran yang homogen antara mikroba dan substrat yang terbentuk, sehingga akan mendukung aktifitas mikroba, yang akhirnya dapat meningkatkan produksi biogas (mahajoeno 2007 dan 2009)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Hasil analisis penelitian yang diperoleh dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. a. Hasil analisis Multivariat skala laboratorium menunjukkan bahwa P kurang dari 0,05, rasio pengenceran berpengaruh nyata terhadap perombakan substrat maupun produksi biogas.
- b. Produksi Biogas paling banyak pada rasio pengenceran 1:3 dengan rerata 1,11 l/hari. Rasio pengenceran 1:1; 1:5 dan 1:7 rerata produksi biogas masing-masing 1,03 l/hari, 0,43 l/hari dan 0,37 l/hari. Selanjutnya direkomendasikan untuk skala semi pilot digunakan rasio pengenceran 1:1, dan rasio 1:3 dan 1 : 3 dengan agitasi.
2. a. Agitasi berpengaruh nyata terhadap efisiensi perombakan bahan terlarut maupun produksi biogas. Rerata produksi biogas sebesar 18 m³/hari untuk rasio pengenceran 1:3 dengan agitasi, 6,62 m³/hari dengan perlakuan tanpa agitasi, dan hasil tersebut lebih tinggi dibanding rasio 1:1 = 6,16 m³/hari.
- b. Efisiensi perombakan COD, TS, VS pada rasio pengenceran 1:3 adalah 78,45% , 82,56% , dan 82,75% , lebih tinggi dibanding rasio 1:1 yaitu 51,64% , 65,22% dan 57,67%.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, beberapa saran dapat diberikan sebagai berikut :

1. Penelitian penerapan lebih lanjut dengan perlakuan penambahan agitasi lebih terkendali dan desain biodigester yang sesuai dan terkendali untuk pengenceran 1:3 perlu dilakukan sehingga waktu retensi hidrolitik lebih terkendali.
2. Penelitian penerapan pengaruh pengenceran dan agitasi serta penerapan desain biodigester dengan perlakuan waktu retensi hidrolitik perlu dilakukan untuk dapat diterapkan pada produksi biogas skala lebih besar.

