

**POTENSI CAMPURAN SAMPAH SAYURAN DAN KOTORAN SAPI
SEBAGAI PENGHASIL BIOGAS**

SKRIPSI

Oleh:

SRI MARYANI

NIM. 11620056



**JURUSAN BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**POTENSI CAMPURAN SAMPAH SAYURAN DAN KOTORAN SAPI
SEBAGAI PENGHASIL BIOGAS**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh :

SRI MARYANI

11620056

JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM

MALANG

2016

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sri Maryani

NIM : 11620056

Jurusan : Biologi

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Sebagai Penghasil Biogas

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tugas akhir atau skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan tugas akhir/skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 19 Januari 2016

Yang membuat pernyataan,



Sri Maryani

NIM. 11620056

**POTENSI CAMPURAN SAMPAH SAYURAN DAN KOTORAN SAPI
SEBAGAI PENGHASIL BIOGAS**

SKRIPSI

oleh:

**SRI MARYANI
11620056**

Telah disetujui oleh:

Pembimbing I



Dr. Ulfah Utami, M.Si
NIP. 19650509 199903 02 002

Pembimbing II



M. Mukhlis Fahrudin, M.Si
NPT. 201402011409

Tanggal, 31 Desember 2015
Mengetahui,
Ketua Jurusan Biologi




Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

**POTENSI CAMPURAN SAMPAH SAYURAN DAN KOTORAN SAPI
SEBAGAI PENGHASIL BIOGAS**

SKRIPSI

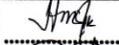
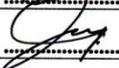
Oleh :

SRI MARYANI

11620056

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal : 11 Januari 2016

Penguji Utama	<u>Drs. Agus Supravitno, M.Kes</u>	
Ketua Penguji	<u>Ir. Liliek Harianie, A.R, M.P</u>	
Sekretaris Penguji	<u>Dr. Hj. Ulfah Utami, M.Si</u>	
Anggota Penguji	<u>M. Mukhlis Fahrudin, M.SI</u>	

Mengetahui,
Ketua Jurusan Biologi


Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 197410182003122 002

MOTTO

Rajin, Semangat, Berusaha, Mampu mengubah kondisi sendiri dari kemunduran dan keterbelakangan untuk menuju kepada kemajuan dan selalu bersyukur atas Nikmat dan Musibah yang Diberikan Allah

SWJ.

سَعَى مَا إِلَّا لِأَنْفُسِنَا لَيْسَ وَأَنْ

(Q.S. An-Najm: 39)

LEMBAR PERSEMBAHAN

Syukur Alhamdulillah hamba panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala nikmat yang diberikan kepada hamba, Ibu dan almarhum Bapak beserta saudara-saudara hamba. Hidup tidak selalu semulus yang dibayangkan dan direncanakan, hidup akan selalu diuji oleh Allah, begitupula pada saat penelitian untuk menjadi sarjana biologi ini. Orang tua selalu ada untuk memberikan kekuatan, memberikan semangat dan selalu mendoakan, sehingga menjadikan putri yang mengenal hidup dan dapat meraih impian atas izin Allah Azza wa Jalla. Jadikanlah tercapainya sarjana ini Engkau berikan menjadi nikmat hamba dan orang-orang yang hamba cintai dan sayangi, karena tak hentinya memanjatkan doa dan berusaha dengan sekuat tenaga untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.

Dengan kerendahan dan ketulusan hati kupersembahkan karya ini kepada: yang tercinta Ibuku Simpen dan almarhum Bapakku Sastro Pono, doa dan restumu yang selalu menyertai setiap langkah putrimu. Kakak-kakakku Sugiganto, Sukanti dan Teguh Santoso yang telah mengemangati dan membantu dalam perkuliahan. Tak lupa kesuksesan ini berasal dari Bapak/ibu Guruku/dosen dengan ikhlas mendidik dan membimbingku, Ibu Ulfah Utami dan Pak Mukhlis Fachruddin yang telah memberikan ilmu dan bimbingannya. Bapak Agus Supriyanto sebagai dosen luar kampus dan Bapak Ni selaku laboran terima kasih atas motivasi dan bantuan yang telah diberikan selama saya melakukan dan menyelesaikan penelitian di Laboratorium mikro UNAIR. Tak lupa kiranya penghuni Kos Bapak Bardji (Ima, Zainin), untuk teman satu dosen bimbingan skripsi (Zaenal, Nadya, Weni, Atik, Magang, Izzah, Mumat dan Purwa) dan untuk terkhusus teman-teman satu kelompok penelitian (Zaenal, Purwa dan Izzah) terima kasih banyak atas suka dukanya selamanya proses penelitian dan pengerjaan. Serta semua teman-temenku seperjuangan Biologi angkatan 2011 yang tak bisa ku sebutkan satu per satu Semoga Allah SWT selalu menuntun dan menyertai setiap langkah kita semua

Aamiin Ya Rabbal Alamin

PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB LATIN

Penulisan transliterasi Arab-Latin dalam skripsi ini menggunakan pedoman transliterasi berdasarkan keputusan bersama Menteri Agama RI dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI no.158 tahun 1987 dan no.0543 b/U/1987 yang secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Konsonan

No	Arab	Latin	No	Arab	Latin
1	ا	Tidak dilambangkan	16	ط	t
2	ب	b	17	ظ	z
3	ت	t	18	ع	'
4	ث	ṯ	19	غ	g
5	ج	j	20	ف	f
6	ح	ḥ	21	ق	q
7	خ	kh	22	ك	k
8	د	d	23	ل	l
9	ذ	ẓ	24	م	m
10	ر	r	25	ن	n
11	ز	z	26	و	w
12	س	s	27	ه	h
13	ش	sy	28	ء	'
14	ص	ṣ	29	ي	y
15	ض	ḍ			

2. Vokal Pendek

ا = a كَتَبَ kataba	ا... = ā قَال qāla	
ي = i سِئِلَ su'ila	إِي = ī قِيل qīla	
و = u يَذْهَبُ yaẓhabu	أُو = ū يَقُولُ yaqūlu	

3. Vokal Panjang

4. Diftong

أَي = ai كَيْفَ kaifa	
أُو = au حَوْلَ ḥaula	

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Syukur Alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat, Inayah, Taufikserta Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Sebagai Penghasil Biogas”. Shalawat serta salam senantiasa terlimpah curahkan kepada Baginda Rasullullah Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya.

Selanjutnya penulis ucapan terimakasih seiring doa dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terimakasih inipenulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Si, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. drh. Hj. Bayyinatul Muchtaromah, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P, selaku Ketua Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Bapak Drs. Agus Supriyanto, M.Kes sebagai dosen luar kampus (UNAIR) yang telah memberikan bimbingan dan selaku dosen penguji karena telah banyak berbagi ilmu pengetahuan kepada saya. Semoga Allah SWT memanjangkan umurnya beserta umur taat beliau. Aamiin.
5. Dr. Ulfah Utami, M.Si, sebagai dosen pembimbing Jurusan Biologi yang telah sabar memberikan bimbingan, arahan dan memberikan waktu untuk membimbing penulis sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat-Nya kepada beliau dan keluarga. Amiin.
6. Muhammad Mukhlis Fahrudin, M.SI, sebagai dosen pembimbing integrasi sains dan agama yang memberikan arahan serta pandangan sains dari perspektif Islam sehingga skripsi ini terselesaikan dengan baik. Semoga

Allah SWT selalu melimpahkan Rahmat-Nya kepada beliau dan keluarga.
Aamiin.

7. Ir. Liliek Harianie, A.R., M.P dan Mujahidin Ahmad, M.Sc sebagai dosen penguji yang telah memberikan saran terbaiknya.
8. Segenap Bapak/Ibu dosen dan Laboran Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan bimbingan kepada penulis selama menempuh studi.
9. Keluarga tercinta, Ibu saya yang tersayang Simpen dan Almarhum Bapak saya yang tercinta Sastro Pono beserta kakak-kakak saya terbaik didunia ini yaitu Sugiayanto, Sukamti, Teguh Santoso yang selalu memberikan dukungan moril, materiil dan spiritual serta ketulusan do'anya sehingga penulisan skripsi ini dapat terselesaikan.
10. Keluarga besar yang sudah perhatian kepada saya selama menjalani studi terutama saat skripsi, terima kasih.. Semoga Allah memberi rahmat-Nya selalu dan berkah-Nya. Aamiin.
11. Seluruh teman-teman Biologi angkatan 2011 yang berjuang bersama-sama untuk mencapai kesuksesan yang diimpikan.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang turut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini baik berupa materiil maupun moril.

Semoga Allah SWT memberikan balasan atas do'a, bantuan dan pemikirannya. Akhir kata, penulis berharap skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya serta menambah khasanah ilmu pengetahuan. *Aamiin Ya Rabbal 'Alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 5 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB LATIN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTACT.....	xvi
مستخلص البحث.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Hipotesis	6
1.6 Batasan Masalah	6
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Biogas	8
2.1.1 Pengertian Biogas.....	8
2.1.2 Komponen Penyusun Biogas	8
2.2 Tahap Produksi Biogas	9
2.3 Faktor Pembentukan Biogas	19
2.4 Bahan Baku dalam Produksi Biogas.....	33
2.5 Sampah Sayuran.....	36
2.6 Kotoran Sapi dalam Produksi Biogas.	41
2.7 Bakteri Metanogen.....	44
2.7.1 Pengertian Teknik Isolasi Mikroba.....	44
2.7.2 Macam-macam Teknik Isolasi Mikroba.	45
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Jenis Penelitian.....	49
3.2 Variabel Penelitian	50
3.3 Waktu dan Tempat	50
3.4 Prosedur Penelitian	50
3.4.1 Alat Penelitian	50

3.4.2 Bahan Penelitian	51
3.5 Tahap Penelitian.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Volume Biogas (mL) yang Lebih Tinggi yang terdapat Dalam Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi	59
4.2 Kadar Metana (%) yang Lebih Tinggi yang terdapat Dalam Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi.....	64
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	89
5.2 Saran	89
DAFTAR PUSTAKA	90
LAMPIRAN	97



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Senyawa Penyusun Biogas.	1
Tabel 2. Perbandingan C dan N persentase berat kering unsur N dari beberapa jenis kotoran hewan dan tumbuhan	23
Tabel 3. Kondisi optimum produksi biogas	24
Tabel 4. Kandungan rata-rata kandungan bahan kering berbagai jenis kotoran	25
Tabel 5. Perkiraan Produksi Biogas dari Beberapa Jenis Kotoran.	27
Tabel 6. Komposisi Sampah Organik	36
Tabel 7. Komposisi Sampah Berdasarkan Unsur	37
Tabel 8. Rasio C/N untuk Beberapa Bahan Organik.	37
Tabel 9. Komponen Padatan Volatil (VS).	38
Tabel 10. TS Beberapa Material Organik Lain Selain Kotoran Hewan.	39
Tabel 11. Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin dalam Biomassa.	39
Tabel 12. Rancangan Penelitian.	49
Tabel 13. Volume Biogas (mL).	59
Tabel 14. Kadar Metana (%).	64
Tabel 15. Ciri Morfologi Bakteri Anaerob pada Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi.	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tahapan Pembentukan Metana	10
Gambar 2. Tahapan Proses Pembentukan Biogas.....	15
Gambar 3. Bentuk bioreaktor	52
Gambar 4. Isolat bakteri B4 yang diisolasi dalam media TSA	70
Gambar 5. Isolat bakteri B2 yang diisolasi dalam media TSA	71
Gambar 6. Isolat bakteri B3 yang diisolasi dalam media TSA	71
Gambar 7. Isolat bakteri B1 yang diisolasi dalam media TSA	72
Gambar 8. Isolat B1 yang di bawah mikroskop	74
Gambar 8. Isolat B2 yang di bawah mikroskop	75
Gambar 8. Isolat B3 yang di bawah mikroskop	76
Gambar 8. Isolat B4 yang di bawah mikroskop	76



DAFTAR GRAFIK

Grafik 1. Volume Biogas (mL) yang dihasilkan pada tiap konsentrasi 60

Grafik 2. Kadar Metana (%) yang dihasilkan pada tiap konsentrasi..... 59



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Diferensiasi genus, spesies bakteri metanogenik t metode Bergey's.	97
Lampiran 2. Gambar Penelitian.....	101
Lampiran 3. Data volume biogas dan kadar metana dari BPKI ulangan 1	103
Lampiran 4. Flow chart cara kerja	104



ABSTRAK

Maryani, Sri. 2016. **Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Sebagai Penghasil Biogas.** Skripsi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dosen Pembimbing: Dr. Ulfah Utami, M.Si dan M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I

Kata Kunci: Biogas, Gas Metana, Kotoran Sapi, Anaerob

Sampah sayuran adalah sampah yang dihasilkan oleh pasar dalam jumlah yang cukup besar. Sampah dalam kehidupan sehari-hari belum diolah dengan optimal. Padahal sampah ini sangat berpotensi untuk bisa menjadi substrat biogas sehingga menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai energi alternatif. Kotoran sapi yang juga melimpah diberbagai daerah sehingga kotoran sapi ini dapat digunakan sebagai campuran dalam pembuatan biogas. Jika tidak diolah akan mencemari lingkungan.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Airlangga, menggunakan metode eksperimental dengan perlakuan penambahan konsentrasi kotoran sapi dan sampah sayuran. Penelitian dilakukan dengan cara persiapan sampah sayuran, pembuatan konsentrasi kotoran sapi dengan cara kotoran sapi diencerkan dengan air dengan perbandingan 1:1,5, pemasukan digester dengan empat perlakuan yaitu perbandingan tanpa kotoran, 80:20, 70:30 dan 50:50, pengujian biogas dan kadar metana lalu isolasi dan pengamatan karakter morfologi bakteri anaerob campuran sampah sayuran dan kotoran sapi. Pengamatan dilakukan selama 14 hari dan diamati setiap 7 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran sampah sayuran dan kotoran sapi yang paling baik dalam memproduksi biogas dengan kandungan gas metana yang tinggi didapatkan pada perlakuan kedua dengan konsentrasi 80:20 yakni 175 gram sampah sayuran + 75 gram kotoran sapi + 250 mL air. Produksi biogas rata-rata 173 mL dan 66,51%. Hal ini disebabkan karena nutrisi yang ada dalam digester cukup banyak dengan kandungan air yang mencukupi sehingga bakteri dapat hidup dengan baik. Hasil isolasi mendapatkan 4 isolat bakteri anaerob dengan ciri morfologi bakteri anaerob dari campuran sampah sayuran adalah memiliki ciri yang juga dimiliki oleh genus *Methanococcus*, *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanosarcina*.

ABSTRACT

Maryani, Sri. 2016. **Vegetables Garbage Mixture Potential and Cow Manure As a Producer Biogas**. Thesis. Department of Biology. Faculty of Science and Technology. State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang.

Supervisor: Dr. Ulfah Utami, M.Si and M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I

Keywords: Renewable Energy, Methane, Cow Manure, Anaerobic

Vegetable garbage is garbage generated by the market in large quantities. Garbage in everyday life has not been treated optimally. The garbage has the potential to be a biogas substrate so as to produce biogas which can be used as an alternative energy. Cow manure is also abundant in various areas so that the manure can be used as an ingredient in the biogas producing. If not, it will pollute the environment.

This research was conducted at the Laboratory of Microbiology, Faculty of Mathematics and Natural Sciences of Airlangga University, used experimental methods with the addition of a concentration treatment of cow manure and vegetable garbage. The study was conducted by way of preparation vegetable garbage, cow manure concentration manufacture was by way of manure diluted with water at a ratio of 1: 1.5, the inclusion digester with four treatments that comparison without dirt, 80:20, 70:30 and 50:50, biogas testing and methane concentration and isolation and observations of morphological characters of anaerobic bacteria of Vegetables garbage Mixed and cow manure. Observations was carried out for 14 days and observed every 7 days.

The results showed that the best mixture of vegetable garbage and cow manure in producing biogas with high methane obtained in the second treatment with a concentration of 80:20 namely 175 grams of garbage vegetables + 75 grams of cow manure + 250 mL of water. Biogas production was average of 173 mL and 66.51%. This was because the nutrient in the digester was enough water so bacteria can live well. Isolated resulted 4 isolates of anaerobic bacteria with morphological characteristic of anaerobic bacteria from a mixture of vegetable garbage has a characteristic which was also owned by genus of *Methanococcus*, *Methanobrevibacter*, *Methanobacterium*, *Methanosarcina*.

ملخص

مريانى، سرى. 2016. الإحتمال المزيج النفاية الخضروة وروث البقر كانتاج الغاز الحيوى. قسم الأحياء. كلية العلوم والتكنولوجيا. الجامعة الإسلامية الحكومية مولانا مالك إبراهيم مالانج.

المشرف: الدكتورة أفة أوتامى، الماجستير و محمد مخلص فخرالدين الماجستير

الكلمات البحث: الغاز الحيوى، الميثان، روث البقر، اللاهوائية

النفايات الخضروة هي النفايات المتولدة في السوق بكميات كبيرة بما فيه الكفاية . القمامة في الحياة اليومية لم تعالج على النحو الأمثل .على الرغم من هذه النفايات لديها القدرة على أن تكون ركيزة الغاز الحيوى وذلك لإنتاج الغاز الحيوى والتي يمكن استخدامها كمصدر للطاقة البديلة .روث البقر هو أيضا وفيرة في مختلف المجالات بحيث السماد يمكن استخدامها كمكون في صناعة الغاز الحيوى .إذا لم يعالج سوف تلوث البيئة .

وقد أجريت هذه الدراسة في مختبر الأحياء الدقيقة، كلية الرياضيات والعلوم في جامعة أئيرلنكا، وذلك باستخدام الطرق التجريبية مع إضافة العلاج تركيز روث البقر وصناديق الخضار .وقد أجريت الدراسة عن طريق القمامة إعداد الخضار، بقرة تصنيع تركيز السماد عن طريق السماد المخفف بالماء بنسبة 1:1,5، وهاضم إدراج مع أربعة العلاجات التي المقارنة دون الأوساخ، 80:20، 70:30 و 50:50، الاختبارات الغاز الحيوى وتركيز الميثان والعزلة والملاحظات من الصفات المورفولوجية البكتيريا اللاهوائية مزيج القمامة الخضروة وروث البقر .قامت الملاحظات من لمدة أربعة عشر يوما ورصدت كل سبعة أيام .

وأظهرت النتائج أن خليط من النفايات النباتية وروث البقر أفضل في إنتاج الغاز الحيوى مع محتوى غاز الميثان عالية تم الحصول عليها في المعالجة الثانية مع تركيز 175 غراما من الخضار 80:20 أي القمامة + 75 غراما من روث البقر 250 + مل من الماء . الغاز الحيوى متوسط إنتاج 173 مل و 66,51%. وذلك لأن المواد الغذائية في هاضم الكثير جدا مع محتوى كاف المياه حتى البكتيريا يمكن أن يعيش بشكل جيد .الحصول على 4 يعزل البكتيريا اللاهوائية المعزولة مع التشكل مميزة من البكتيريا اللاهوائية من خليط من صناديق الخضار كانت فيه خصلة التي تملكها أيضا من جنس *Methanococcus*,

Methanobrevibacter, *Methanobacterium*, *Methanosarcina*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia yang sampai saat ini masih bisa disebut negara agraris adalah tempat yang kaya akan berbagai tumbuhan. Dan salah satu yang banyak dihasilkan oleh petani dan juga merupakan salah satu kebutuhan nutrisi pokok bagi manusia adalah sayur-sayuran. Sayuran ini mengandung bahan-bahan organik sebagai sumber nutrisi bagi tubuh makhluk hidup seperti manusia dan mikroba. Hal ini tentu merupakan peluang untuk dilakukan penelitian tentang sayur sebagai salah satu sumber energi alternatif. Penggunaan sayur segar tentu tidak akan efisien karena akan berebut dengan makanan manusia dan harganya akan relatif mahal. Hal ini akan sangat berbeda jika digunakan sayuran yang tidak laku jual karena kualitas yang rendah sebagai pangan manusia dan juga sisa sayuran lainnya.

Sampah sayuran yang berasal dari pasar tradisional mendominasi penumpukan sampah di tempat pembuangan akhir (TPA) di beberapa kota besar di Indonesia. Data survei menunjukkan bahwa 48% dari 204.128 kg sampah yang menumpuk setiap hari di TPA Malang berupa sampah sayuran (Muktiani dkk, 2007). Sampah sayuran mengandung bahan-bahan organik sehingga termasuk biomassa yang dapat diubah menjadi biogas.

Salah satu bahan organik yang dapat digunakan sebagai bahan dalam pembuatan biogas adalah sampah sayuran. Hal ini karena sampah sayuran yang

melimpah di TPA dan ditempat pembuangan sampah lain dapat mengakibatkan berbagai masalah yakni pencemaran udara, karena sampah yang ada akan berbau busuk seiring dengan pembusukan, pencemaran air didalam tanah, gas metan dari hasil pembusukan akan mengakibatkan pemansan global, penyebab penyakit bagi lingkungan disekitar TPA, serta mengurangi nilai estetika karena lingkungan akan menjadi kumuh.

Kotoran sapi ini harus ditambahkan pada pembuatan biogas sampah sayuran karena tanpa penambahan kotoran sapi biogas yang dihasilkan memiliki kadar metan yang minim dan mendekati *zero* agar dapat memproduksi biogas. Indonesia mempunyai potensi ternak yang cukup banyak antara lain hewan besar seperti sapi potong dan sapi perah pada tahun 2011 populasinya mencapai 15.421.586 ekor (Statistik Peternakan, 2012 dalam Zalizar dkk, 2012). Mengingat ternak tersebut per ekor setiap hari dapat menghasilkan kotoran ternak sampai lebih dari 10 kg maka berpotensi menjadi sumber energi alternatif (biogas) untuk mengurangi ketergantungan masyarakat khususnya keluarga peternak terhadap bahan bakar minyak (BBM) dan listrik.

Kabupaten Malang jumlah sapi potong dan sapi perah pada tahun 2011 masing-masing sebesar 225.895 dan 89.431ekor. Total jumlah ternak besar tersebut mencapai 315.326 ekor. Potensi biogas yang dapat dihasilkan sebesar 189.196 m³/hari atau sekitar 68.110.416 m³/tahun. Jumlah biogas sebesar itu setara dengan 42.228.458 lt minyak tanah, sehingga apabila harga minyak tanah per liter Rp 11.000,-maka dana yang dapat dihemat per tahun mencapai Rp.464.513.037.120, selain itu ada nilai ekonomi dari penjualan limbah biogas,

sebesar 3,15 milyar/hari dengan catatan harga memakai harga minimal yaitu Rp 500/kg (Zalizar dkk, 2015).

Potensi ekonomis biogas adalah sangat besar, hal tersebut mengingat bahwa 1 m³ biogas dapat digunakan setara dengan 0,62 liter minyak tanah (Fahri,2011 dalam zalizar dkk, 2015), maka produksi gas nasional tersebut di atas setara dengan 2,036 milyar liter minyak tanah. Jika biogas dimanfaatkan masyarakat Indonesia sebagai energi alternatif pengganti minyak tanah untuk memasak maka dapat menghemat dana sekitar Rp 22,4 trilyun/tahun (Zalizar dkk, 2015).

Melihat melimpahnya sampah sayuran diberbagai tempat baik di Malang maupun seluruh Indonesia dan juga ketersediaan kotoran sapi yang melimpah dan keduanya akan selalu dihasilkan setiap harinya. Hal ini sangat bagus jika diolah menjadi biogas guna memandirikan sumber energi Indonesia selain bergantung pada minyak bumi yang tidak dapat diperbaharui.

Islam telah mengajarkan kepada kaum muslimin untuk tidak rakus dalam mengelolah sumber-sumber energi. Karena hal tersebut akan menimbulkan bencana kelangkaan energi. Tentunya hal tersebut demi kemaslahatan bersama.

Nabi Muhammad telah bersabda:

حَدَّثَنَا وَكَيْعٌ حَدَّثَنَا ثَوْرُ الشَّامِيِّ عَنْ حَرِيْزِ بْنِ عُثْمَانَ عَنْ أَبِي خِرَاشٍ عَنْ رَجُلٍ مِنْ أَصْحَابِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ الْمُسْلِمُونَ شُرَكَاءُ فِي ثَلَاثِ الْمَاءِ وَالْكَأْلِ وَالْأَمْرِ.

Artinya : “Waki telah menyampaikan hadits pada kami. Tsaur al-Syami menyampaikan hadits pada kami dari Hariz bin Utsman dari Abi Khirasy dari seorang shahabat yang menyatakan bahwa Rasul SAW bersabda: Kaum muslimin berserikat dalam tiga perkara yaitu air, rumput liar dan energi api“(Hr. Ahmad).

Hadits tersebut menjelaskan bahwa manusia khususnya umat Islam sangat dianjurkan untuk berserikat atau mengambil manfaat bersama-sama dalam air, rumput liar dan energi api. Jika diamati lagi, ketiga hal tersebut adalah sumber energi bagi masyarakat luas. Kemudian rumput liar tentunya sangat beranekaragam. Rumput atau tumbuhan liar tersebut juga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi seperti biogas dan bioetanol. Selanjutnya api merupakan wujud dari energi panas yang sangat dibutuhkan manusia.

Kaum muslimin juga berserikat dalam pemanfaatan api. Sebagian ulama berpendapat yang dimaksud “an-naaru” pada hadits ini mencakup bahan bakar yang didapat dari hasil bumi baik berupa kayu bakar dari tumbuhan liar, ataupun api itu sendiri atau dalam pengertian nyala api. Termasuk pula pada kategori api ialah panas bumi, gas, tenaga surya, api menyala, dan pengaturan cahaya. Al-Baydlawi dalam Al Manawi (2000: 353) berpendapat bahwa berserikat dalam api mencakup sinarnya, bahan bakar, sumber api, nyalanya dan cahaya matahari. Siapa pun tidak dibenarkan mencegah orang lain untuk mengambil manfaat dari api tersebut.

Jika dalam al-quran disebutkan bahwa pohon zaitun yang minyaknya dapat menjadi penerang, dimana hal itu berarti minyak zaitun adalah salah satu sumber energi alternatif yang berasal dari tanaman. Maka sangatlah mungkin jika manusia mau untuk berpikir tumbuhan lain yang ada di bumi ini sangat mungkin juga menjadi sumber alternatif. Baik tumbuhan yang berjenis pohon, semak maupun yang lainnya.

Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti mengambil judul “Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi sebagai Penghasil Biogas”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dirumuskan masalah sebagai berikut :

1. Berapakah volume biogas yang lebih tinggi yang terdapat dalam campuran sampah sayuran dan kotoran sapi?
2. Berapakah kadar metana yang lebih tinggi yang terdapat dalam campuran sampah sayuran dan kotoran sapi?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui volume biogas (mL) yang lebih tinggi yang terdapat dalam campuran sampah sayuran dan kotoran sapi.
2. Untuk mengetahui kadar metana (%) yang lebih tinggi yang terdapat dalam campuran sampah sayuran dan kotoran sapi.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat sebagai berikut:

1. Memberi informasi kepada produsen biogas tentang campuran yang optimum biogas yang berasal dari substrat sampah sayuran dan kotoran sapi.
2. Memberi informasi kepada masyarakat tentang sampah sayuran sebagai salah satu biomassa yang dapat digunakan sebagai substrat penghasil biogas.

3. Memberi opsi solusi penanganan sampah sayuran yang banyak dan cenderung kurang termanfaatkan dengan optimal di berbagai pasar tradisional di Indonesia.
4. Memberi sumbangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang mikrobiologi lingkungan dengan memberi informasi tentang keberadaan dan jenis bakteri anaerob pada sampah sayuran.

1.5 Hipotesa

Hipotesa yang dapat dibuat dari penelitian ini adalah:

1. Biogas dari campuran sampah sayuran dengan kotoran sapi ini akan menghasilkan gas metan.
2. Terdapat beberapa spesies bakteri anaerob dalam campuran sampah sayuran.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampah sayuran dalam penelitian ini diambil Pasar Besar Kota Batu.
2. Bakteri yang diamati adalah bakteri anaerob yang berasal dari slurry sampah sayuran.
3. Media yang digunakan untuk isolasi bakteri anaerob adalah media Tryptic Soya Agar (TSA).
4. Waktu inkubasi bakteri anaerob di dalam selama 5 hari (5 x 24 jam).
5. Pengamatan yang dilakukan pasca isolasi hanya pengamatan morfologi koloni saja.

6. Uji yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji pewarnaan gram saja (cat Gram 1: kristal violet, cat gram 2: lugol program, cat gram 3: acetone alkohol, cat gram 4: safranin).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biogas

2.1.1 Pengertian Biogas

Biogas adalah dekomposisi bahan organik secara anaerob (tertutup dari udara bebas) untuk menghasilkan suatu gas yang sebahagian besar berupa metan (yang memiliki sifat mudah terbakar) dan karbondioksida. Gas yang terbentuk disebut gas rawa atau gas bio. Proses dekomposisi anaerob dibantu oleh sejumlah mikroorganisme, terutama bakteri metan (Hadi, 1980).

Sahidu (1983) mengungkapkan bahwa biogas adalah suatu campuran gas-gas yang dihasilkan dalam suatu proses pengomposan bahan organik oleh bakteri dalam keadaan tanpa oksigen (proses anaerob). Definisi lain menyebutkan bahwa biogas adalah campuran beberapa gas yang tergolong bahan bakar hasil fermentasi dari bahan organik dalam kondisi anaerob dan gas yang dominan adalah metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) (Simamora *et al.*, 2006). Energi dari biogas tergantung dari konsentrasi metana. Semakin tinggi kandungan metana, semakin besar nilai kalor pada biogas. Sebaliknya jika kandungan metana rendah, nilai kalor pada biogas tersebut juga rendah (Abbasi *et al.*, 2012).

2.1.2 Komponen Penyusun Biogas

Secara ilmiah proses biogas ini menghasilkan gas yang mudah terbakar yakni CH_4 atau disebut gas metan yang bersifat mudah terbakar (*flamable*), tidak berbau dan tidak berwarna. Menurut LIPI (2005) Gas metana terbentuk karena

proses fermentasi secara anaerobik (tanpa udara) oleh bakteri metan atau disebut juga bakteri anaerobik dan bakteri biogas yang menguraikan sampah-sampah yang banyak mengandung bahan organik (biomassa) sehingga terbentuk gas metan (CH_4) yang apabila dibakar dapat menghasilkan energi panas. Gas metan sama dengan gas elpiji (*Liquid Petroleum Gas/LPG*), bedanya gas metan hanya mempunyai satu atom C, sedangkan elpiji lebih banyak mengandung atom C. Menurut Hermawan (2005) disamping itu terdapat gas-gas lain yang komposisinya dapat dilihat pada tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2.1 Komposisi Senyawa Penyusun Biogas

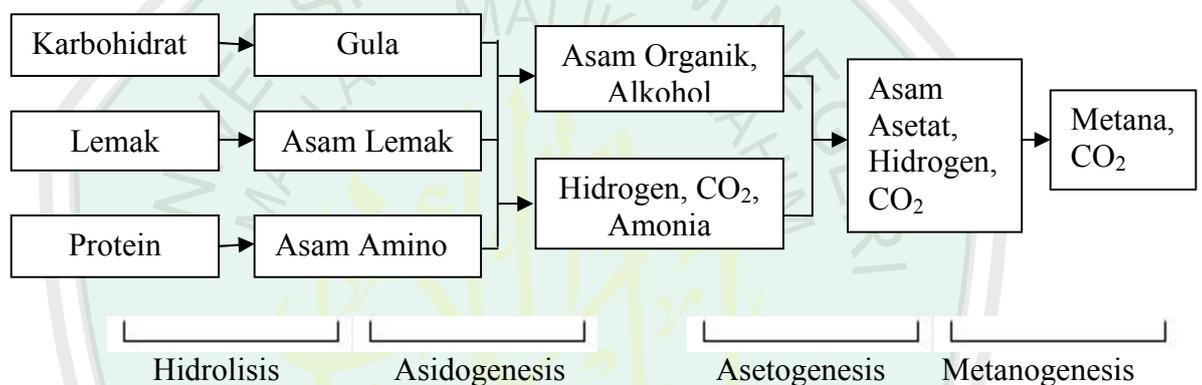
Komponen	Konsentrasi (%)
Metana (CH_4)	55-75
Karbon dioksida (CO_2)	25-45
Nitrogen (N_2)	0-0,3
Hidrogen (H_2)	1-5
Hidrogen Sulfida (H_2S)	0-3
Oksigen (O_2)	0,1-0,5

Wellinger dan Lindenberg (2000), mengatakan bahwa komposisi biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang digunakan. Namun demikian, komposisi biogas yang utama adalah gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2) dengan sedikit hidrogen sulfida (H_2S). Banyak sekali yang mempengaruhi produksi biogas. Faktor pendukung untuk mempercepat proses fermentasi adalah kondisi lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan bakteri perombak.

2.2 Tahapan Produksi Biogas

Dalam fermentasi anaerob terbagi menjadi 4 tahapan proses penguraian (Raskin *et al.*, 2007). Dimana setiap tahapan akan melibatkan kelompok bakteri

yang berbeda yang akan bekerja secara bersinergi antara satu kelompok dengan kelompok bakteri lainnya sehingga terbentuk konsorsium bakteri (Raskin *et al.*, 1997). Konsortia bakteri tersebut dapat digolongkan pada bakteri non metanogen dan bakteri metanogen. Bakteri non metanogen terbagi menjadi golongan bakteri hidrolitik, fermentatif, dan asetojenik. Proses singkatnya seperti gambar di bawah ini.



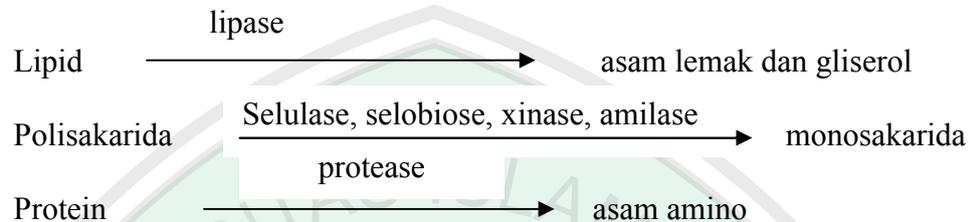
Gambar 2.1 Tahapan Pembentukan Metana (Al Saedi, 2008)

Empat tahap proses transformasi bahan organik pada sistem anaerobik tersebut yaitu (Said, 2006):

a. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan langkah pertama dalam proses fermentasi anaerob, yaitu dengan mengubah senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana. Selama proses hidrolisis, polimer-polimer seperti karbohidrat, lemak, dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, dan asam amino (Al Saedi, 2008). Mikroba hidrolitik seperti *Cellulomonas* sp., *Cytopaga* sp., *Cellvibrio* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, dan *Lactobacillus plantarum* mampu mengeluarkan enzim hidrolase sehingga mengubah biopolimer

menjadi senyawa yang lebih sederhana, berikut proses terjadinya pemecahan komponen polimer tersebut.



Proses penguraian karbohidrat oleh bakteri hidrolitik dilakukan dalam hitungan jam, sedangkan untuk penguraian protein dan lemak dilakukan dalam hitungan hari (Deublein dan Steinhauser, 2008).

Pada sampah sayuran tahapan hidrolisis, mikrobia hidrolitik mendegradasi senyawa organik kompleks yang berupa polimer menjadi monomernya yang berupa senyawa tidak terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan. Lipida berubah menjadi asam lemak rantai panjang dan gliserin, polisakarida menjadi gula (mono dan disakarida), protein menjadi asam amino dan asam nukleat menjadi purin dan pirimidin. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi *exo-enzim* yang disekresi oleh bakteri fermentatif. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti selulase, protease, dan lipase. Sejumlah besar mikroorganisme anaerob dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik antara lain adalah *Clostridium*.

b. Asidogenesis

Produk hasil hidrolisis difermentasi oleh bakteri asidogenesis seperti *Cytopaga* sp. Glukosa, asam amino, dan asam lemak didegradasi menjadi asam organik, alkohol, hidrogen dan amonia (Deublein dan Steinhauser, 2008). Selain

itu, Romli (2010) menyatakan tahap asidogenesis merupakan tahap perombakan bahan organik hasil hidrolisis yang difermentasi menjadi produk akhir, meliputi asam-asam format, asetat, propionat, butirrat, laktat, suksinat, etanol, dan juga senyawa mineral seperti karbohidrat, hidrogen, amonia, dan gas hidrogen sulfida.

Monomer-monomer hasil hidrolisis dari sampah sayuran dikonversi menjadi senyawa organik sederhana seperti asam lemak volatil, alkohol, asam laktat, senyawa mineral seperti karbondioksida, hidrogen, amoniak, dan gas hidrogen sulfida. Tahap ini dilakukan oleh berbagai kelompok bakteri, mayoritasnya adalah bakteri obligat anaerob dan sebagian yang lain bakteri anaerob fakultatif. Contoh bakteri asidogenik (pembentuk asam) adalah *Clostridium* (Said, 2006).

c. Asetogenesis

Hasil metabolisme dari bakteri asidogenesis tidak dapat langsung dikonversi menjadi metana, tetapi melalui tahap asetogenesis terlebih dahulu. *Volatile fatty acid* (VFA) dan alkohol diubah oleh bakteri asetogenesis menjadi asam asetat, hidrogen, dan CO₂. Salah satu contoh bakteri asetogenesis yaitu *Acetobacter aceti*. Peningkatan jumlah hidrogen dari hasil metabolisme tahap asidogenesis yang tidak diiringi dengan peningkatan jumlah bakteri metanogen dapat menghambat pertumbuhan bakteri asetogenesis (Al Saedi, 2008). Sehingga hasil metabolisme dari bakteri asetogenesis bergantung terhadap tekanan hidrogen di dalam substrat. Pada saat tekanan hidrogen rendah, maka hasil metabolisme dari bakteri asetogenesis terdiri dari H₂, CO₂, dan asetat. Jika tekanan hidrogen tinggi, maka hasil metabolisme dari bakteri asetogenesis terdiri dari asam butirrat,

asam propionat, asam valerat, dan etanol. Namun, dari semua hasil metabolisme tersebut, bakteri metanogenesis hanya menggunakan asetat, CO₂, dan H₂ untuk produksi metana (Deublein dan Steinhauser, 2008). Selain itu, waktu generasi bakteri asetogenesis yaitu selama 84 jam.

Hasil asidogenesis dari sampah sayuran dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana berupa asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Sekitar 70 % dari COD semula diubah menjadi asam asetat. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya. Etanol, asam propionate, dan asam butirat dirubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H₂) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomas wolfei* (Said, 2006). Etanol, asam propionat, dan asam butirat dirubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik.

d. Metanogenesis

Pada tahap metanogenesis sampah sayuran, terbentuk metana dan karbondioksida (CO₂). Metana dihasilkan dari asetat atau dari reduksi karbondioksida oleh bakteri *Acetoclastic methanogenesis* dan hidrogenotropik *methanogenesis* dengan menggunakan hidrogen.

Acetoclastic metanogen mengubah asam asetat menjadi :



Asam asetat Gas metan Karbondioksida

Contoh bakteri ini adalah genus *Methanobacterium*, *Methanobrevibacter*, *Methanococcus*, *methanothermus*.

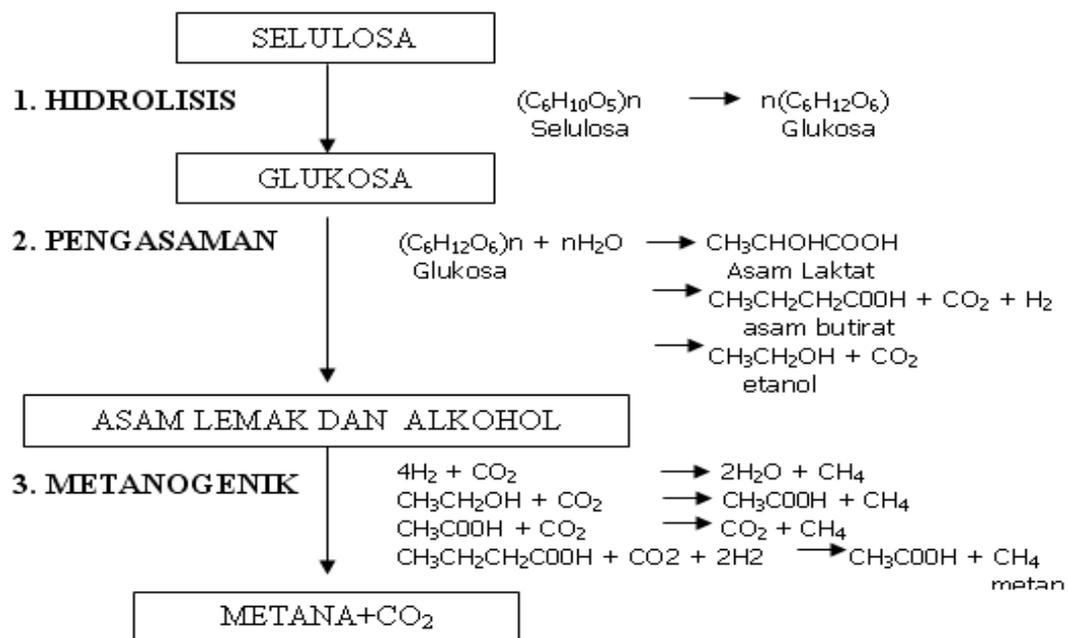
Hidrogenotropik metanogen mensintesa hidrogen dan karbondioksida menjadi :



Hidrogen Karbondioksida Gas metan Air

Contoh bakteri ini adalah bakteri genus *Methanosarcina*, *Methanotrix*.

Namun ada juga yang mengatakan bahwa proses pembentukan biogas ini terdiri dari 3 tahapan (ini berarti tahapan asidogenesis dan asetogenesis dijadikan satu dalam pengasaman), tetapi sebenarnya sama saja. Seperti pada bagan 2.2 dibawah ini (Yazid dan Bastianudin, 2011):



Gambar 2.2 Tahapan Proses Pembentukan Biogas

Berdasarkan proses yang telah diuraikan diatas maka patutlah dicaritahu tentang hukum biogas yakni menurut berbagai sumber sebagai berikut (Fatwa Selangor, 1989):

“Jawatankuasa Perunding Hukum Syara’ (Fatwa) telah membincangkan perkara di atas dengan penuh teliti perkara tersebut iaitu tersebut dalam kitab Asap najis iaitu yang bercerai dari najis dan menegahi api iaitu najis dan

setengah daripadanya iaitu bahwar (wap) yang suci dihantar di atas api yang dinyala dari najis itu pun najis juga, kerana hancur tatkala terkena api maka najis ia akan dia dan keluar kata asap, wap yang keluar dan yang naik dengan ketiadaan menegahi api, maka iaitu suci. Dan kata Sheikh Ramli bermula wap yang keluar dari jamban itu suci, demikian lagi angin yang keluar dari dubur hukumnya seperti sendawa. Keputusannya adalah seperti berikut : Berdasarkan hujah-hujjah yang tersebut di atas, maka Jawatankuasa memutuskan bahawa biogas yang diproses daripada najis tahi lembu adalah suci dan harus digunakan “.

Maksud dari fatwa di atas adalah bahwa uap yang dihasilkan dari biogas yang berasal dari kotoran sapi hukumnya adalah suci dan harus digunakan. Dan masyarakat tidak perlu ragu lagi akan kehalalan biogas ini.

Setidaknya ada dua bahasan utama dalam pemanfaatan kotoran hewan (Mochtar, 2013):

Pertama, at-tanawul atau mengonsumsi yang meliputi makan, minum dan melumuri (taddammukh). Untuk hal ini, penggunaan kotoran hewan sebagai konsumsi dihukumi haram kecuali dalam keadaan darurat atau yang mendekati darurat. Dalil yang biasa digunakan oleh fuqaha' adalah hadist yang diriwayatkan oleh Imam Bukhari yang artinya,“(Nabi memerintahkan) mereka untuk meminum dari kencing onta dan susu onta” (HR.Bukhari). anjuran Nabi tersebut dalam konteks pengobatan karena pada saat itu para sahabat sedang sakit perut.

Kedua, al-Intifa' atau pemanfaatan kotoran hewan. Untuk hal ini, ada enam model pemanfaatan kotoran hewan yang banyak disinggung dalam kitab-kitab fikih (Mochtar, 2013):

1. Kotoran hewan digunakan sebagai pupuk tanaman atau yang disebut dengan pupuk kandang. Pupuk kandang biasanya dibuat dari kotoran ayam, sapi dan kambing. Dalam hal ini hukumnya adalah boleh.

Hanya saja, penggunaan kotoran sebagai pupuk ini ada yang mengatakan makruh, berikut memakan buahnya.

2. Digunakan untuk menyamak kulit hewan, baik yang sudah menjadi bangkai atau tidak; selain kulit anjing dan babi. Penggunaan semacam ini hukumnya juga diperbolehkan, karena proses penyamakan kulit termasuk peralihan rupa (Ihaalah) bukan penghilangan najis (Izaalah) sehingga setelah proses penyamakan, kulit dalam keadaan mutanajjis (terkena najis) yang masih diharuskan untuk disucikan .
3. Kotoran hewan digunakan sebagai campuran batu-bata atau gerabah, seperti gentong dan kendi. Dalam hal ini, ulama berbeda pendapat menanggapi, terkait dengan kesucian gerabah dan air yang ada didalamnya. Menurut Imam al-Qulyubi batu bata atau gerabah tersebut dihukumi sehingga diperbolehkan untuk diperjualbelikan dan dijadikan bahan bangunan. Termasuk juga, air yang ada didalamnya dihukumi suci. Berkaitan dengan ini, dasar pemikiran al-Qulyubi adalah sebuah kaidah umum bahwa kesulitan dapat menarik pada kemudahan (al-Masyaqqah Tajlibut-Taisir). Pendapat al-Qulyubi ini diikuti oleh Imam az-Ziyadi. Pendapat ini, berbeda dengan Imam Abu ath-Thayyib dan Ibnul-Imad.
4. Kotoran hewan digunakan sebagai bahan bakar, seperti memanggang roti dan sate atau memasak dengan kuali, makanan dari hasil pembakaran ini dihukumi suci dan boleh memakannya. Hanya saja, ada perbedaan mengenai najis yang melekat pada makanan. Pendapat

yang kuat, tidak wajib membuangnya Karena dihukumi *ma'fu*. Lantas bagaimana dengan hukum asap yang muncul dari najis? Memang, asap (*Dukhan*) hasil pembakaran benda najis adalah najis dan bisa menajiskan jika mengena pada pakaian yang basah. Akan tetapi, jika menurut pandangan umum masyarakat dianggap sedikit maka hukumnya juga *ma'fu*.

5. Kotoran hewan yang dijadikan sebagai makanan ternak, seperti ayam dan lele, hukumnya juga boleh dan hewan pemakannya dihukumi suci dan halal dimakan, walaupun makruh. Dalam hal ini, tidak bisa dibenturkan dengan kaidah Aghlabiyah berupa, “ *Idza Ijtama'a al-Halal wa al-Haram Ghuliba al-Haram*” yang artinya, Jika halal dan haram bertemu maka haram yang dimenangkan. Sebab, kasus hewan pemakan benda najis ini termasuk pengecualian dari kaidah tersebut.
6. Kotoran hewan digunakan sebagai bahan bakar melalui uap yang ditimbulkan atau dalam bahasa modern disebut biogas. biogas atau uap tersebut biasanya dihasilkan melalui penimbunan kotoran hewan dalam *septic tank*. Gas yang dihasilkan kemudian disimpan dalam sebuah tabung gas yang dapat dialirkan ke kompor gas dan bisa dijadikan untuk memasak dan memanggang. Lantas, bagaimana penggunaan biogas tersebut.

Dalam bahasa fikih, uap tersebut disebut *Bukhar*. *Bukhar* berbeda dengan *dukhan* yang timbul akibat pembakaran. Dalam segi hukum fikih, keduanya berbeda: *Bukhar* hukumnya suci, sedang *Dukhan* hukumnya najis. Dari itu,

pemanfaatan *Bukhar* (biogas) sama dengan benda suci yang lain sehingga jika dibuat memasak makanannya dihukum suci dan boleh memakannya (Mochtar, 2013).

Biogas memang bahan dasarnya diambil dari semua jenis kotoran, mulai dari kotoran hewan atau bahkan kotoran manusia. Hukum yang berlaku untuk kotoran seluruhnya adalah najis dan tidak boleh digunakan untuk main-main, ini berbeda dengan uap atau asap yang timbul darinya, karena dalam terminologi fikih ada perincian-perincian tersendiri (Chudlory, 2015).

Uap dari kotoran atau dalam bahasa Arab dikatakan *bukhar*, dalam hukum fikih dikategorikan barang yang suci karena dihukumi bukan termasuk bagian darinya. Sedangkan asap atau dukhan dalam bahasa Arab, kalau hanya sedikit masih bisa ditoleransi (najis ma'fu, najis yang dimaafkan) asalkan tidak menyebabkan basah dan bukan sebuah kesengajaan untuk menggunakannya (Chudlory, 2015).

Kesimpulannya, melihat dari proses dalam pembuatan biogas, semata-mata bukan merupakan asap dari hasil kotoran yang dibakar, tapi merupakan uap kotoran yang ditampung dalam sebuah tempat yang rapat dan didiamkan untuk beberapa waktu, dari itu tidak ada keraguan sama sekali dalam menggunakannya sebagai energi alternatif pengganti elpiji. Sehingga makanan yang dimasak dengan biogas yang berasal dari kotoran binatang tidak menyebabkan hasil masakannya menjadi najis (Chudlory, 2015).

Makanan tersebut tetap layak dikonsumsi sebagaimana umumnya, kecuali bila masakan tersebut mengandung unsur najis dari bahan baku yang dimasaknya, seperti masakan daging babi dan anjing (Chudlory, 2015).

Demikian api dan panas adalah sumber energi yang penting dalam kehidupan, Allah SWT. sendiri menyinggung dalam al-Qur'an surat al-Waqi'ah ayat 73 dengan bahasa sederhana tapi mencakup makna yang luas: "Kami menjadikan api itu untuk peringatan dan bahan yang berguna bagi musafir di padang pasir", karena urgensinya dalam kehidupan (Chudlory, 2015).

2.3 Faktor yang Mempengaruhi Produksi Biogas

Untuk mendapatkan biogas dengan hasil maksimal maka perlu diatur segala faktor yang berperan dalam pembuatan biogas. Menurut Harahap (2007) faktor-faktor tersebut yakni:

a. Lingkungan Anaerob

Biodigester harus tetap dijaga dalam keadaan anaerob yaitu tidak terjadi kontak langsung dengan oksigen (O_2). Udara mengandung O_2 sebanyak 21% vol sehingga jika memasuki biodigester dapat menyebabkan penurunan produksi metana. Penyebabnya adalah bakteri alami untuk proses penguraian bahan organik membutuhkan kondisi kedap udara, sehingga jika terdapat udara yang mengandung O_2 menyebabkan bakteri berkembang tidak sempurna (Suyitno dkk, 2010).

b. Temperatur

Gas dapat dihasilkan jika suhu antara 4 - 60°C dan suhu dijaga konstan. Bakteri akan menghasilkan enzim yang lebih banyak pada temperatur optimum. Semakin tinggi temperatur reaksi juga akan semakin cepat tetapi bakteri akan semakin berkurang. Proses pembentukan metana bekerja pada rentang temperatur 30-40°C, tapi dapat juga terjadi pada temperatur rendah, 4°C. Laju produksi gas akan naik 100-400% untuk setiap kenaikan temperatur 12°C pada rentang temperatur 4-65°C. Mikroorganisme yang berjenis thermophilic lebih sensitif terhadap perubahan temperatur daripada jenis mesophilic. Pada temperatur 38°C, jenis mesophilic dapat bertahan pada perubahan temperatur $\pm 2,8^\circ\text{C}$. Untuk jenis thermophilic pada suhu 49°C, perubahan suhu yang diizinkan $\pm 0,8^\circ\text{C}$ dan pada temperatur 52°C perubahan temperatur yang diizinkan $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

c. pH (Keasaman)

Bakteri penghasil gas metana sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH optimum untuk jenis bakteri penghasil metana antara 6,4-7,4. Bakteri yang tidak menghasilkan metana tidak begitu sensitif terhadap perubahan pH, dan dapat bekerja pada pH antara 5 hingga 8,5. Karena proses anaerobik terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana, maka pengaturan pH awal proses sangat penting. Tahap pembentukan asam akan menurunkan pH awal. Jika penurunan ini cukup besar akan dapat menghambat aktivitas mikroorganisme penghasil metana. Untuk meningkatkan pH dapat dilakukan dengan penambahan kapur .

Menurut Mahida (1993) bahwa pH berpengaruh terhadap pertumbuhan dan aktivitas mikroba. Organisme-organisme metan sangat sensitif terhadap pH dan paling efisien dalam batas-batas pH yang berkisar antara 6,4 – 7,8. Dalam prakteknya pembatasan pH yang sesempit ini tidaklah selalu mungkin, tetapi harus ditekankan bahwa pH 6 dan diatas pH 8 kecepatan perkembangan organisme merosot dengan sangat pesat. Untuk mencegah penurunan pH pada awal pencernaan dan menjaga pH pada kisaran yang diizinkan, maka perlu ditambahkan larutan kapur ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) atau kapur (CaCO_3) sebagai *buffer*.

d. Konsentrasi Substrat (Rasio C/N)

Sel mikroorganisme mengandung Carbon, Nitrogen, Posfor dan Sulfur dengan perbandingan 100 : 10 : 1 : 1. Untuk pertumbuhan mikroorganisme, unsur-unsur di atas harus ada pada sumber makanannya (substrat). Konsentrasi substrat dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Kondisi yang optimum dicapai jika jumlah mikroorganisme sebanding dengan konsentrasi substrat. Kandungan air dalam substrat dan homogenitas sistem juga mempengaruhi proses kerja mikroorganisme. Karena kandungan air yang tinggi akan memudahkan proses penguraian, sedangkan homogenitas sistem membuat kontak antar mikroorganisme dengan substrat menjadi lebih intim.

Yang sangat penting juga untuk diperhatikan karena sangat vital bagi pertumbuhan mikrobanya adalah rasio C/N. Menurut Yuwono (2005) bahwa rasio C/N adalah perbandingan kadar karbon(C) dan kadar Nitrogen (N) dalam satuan bahan. Semua makhluk hidup terbuat dari sejumlah besar bahan Karbon (C) dan Nitrogen (N) dalam jumlah kecil. Untuk menjamin semuanya berjalan lancar,

unsur-unsur nutrisi yang dibutuhkan mikroba harus tersedia secara seimbang. Dalam pertumbuhan mikroba yang optimum biasanya dibutuhkan perbandingan unsur C : N : P sebesar 100 : 2,5 : 0,5.

Imbangan karbon (C) dan nitrogen (N) yang terkandung dalam bahan organik sangat menentukan kehidupan dan aktivitas mikroorganisme. Imbangan C/N yang optimum bagi mikroorganisme perombak adalah 25-30. Kotoran (feses dan urine) sapi perah mempunyai kandungan C/N sebesar 18. Karena itu perlu ditambah dengan limbah pertanian yang lain yang tinggi (lebih dari 30) Bahan baku isian berupa bahan organik seperti kotoran ternak, limbah pertanian, sisa dapur dan sampah organik. Bahan isian harus terhindar dari bahan anorganik seperti pasir, batu, beling dan plastik (Simamora, dkk, 2006).

Unsur karbon dalam bahan organik (dalam bentuk karbohidrat) dan nitrogen (dalam bentuk protein, asam nitrat, amoniak dan lain-lain), merupakan makanan pokok bagi bakteri anaerob. Unsur karbon (C) digunakan untuk metabolisme energi dan unsur nitrogen (N) untuk membangun struktur sel dalam bakteri. Bakteri memakan habis unsur C 30 kali lebih cepat dari memakan unsur N. Oleh karena itu perbandingan C dan N (C/N) yang paling baik adalah 30. Pada tabel 2.4 dibawah ini tercantum daftar perbandingan C/N dari beberapa jenis kotoran dan bahan tambahan (Harahap, 2007).

Bahan isian dilihat dari persentase kandungan C dan N (C/N=30). Untuk mencapai kandungan C/N=30, biasanya dilakukan pencampuran antara bahan tumbuhan dan kotoran hewan atau manusia. Kandungan C dan N pada beberapa bahan dinyatakan dalam tabel 2.2 dibawah.

Ternak ruminansia seperti sapi, kambing dan domba rata-rata lebih lama dalam menghasilkan gas bio dibandingkan dengan ternak non ruminansia. Lamanya produksi gas bio disebabkan oleh mutu pakan yang lebih rendah, sehingga rasio C/Nnya tinggi akibatnya perkembangan mikroba pembentuk gas lebih lama dibandingkan yang bermutu tinggi. Tinggi rendahnya mutu ini tergantung pada nilai N (nitrogen) di dalam ransum. Namun demikian nilai N juga tergantung pada C (karbon). Jadi, perbandingan C dan N akan menentukan lama tidaknya proses pembentukan gas bio (Yunus, 1995).

Tabel 2.2 Perbandingan C dan N persentase berat kering unsur N dari beberapa jenis kotoran hewan dan tumbuhan

Jenis Bahan	Perbandingan C/N	N Berat Kering (%)
Manusia	6-10	6,0
Ayam	15	6,3
Kambing/domba	25	3,8
Babi	25	3,8
Kuda	25	2,3
Sapi/Kerbau	18	1,7
Rumput Muda	12	4,0
Sayuran (bukan kacang-kacangan)	11-19	2,5- 4,0
Jerami Gandum/Padi	150	0,5
Serbuk Gergaji	200-500	0,1

Sumber: Wulandari (2006)

e. Zat Baracun

Zat organik maupun anorganik, baik yang terlarut maupun tersuspensi dapat menjadi penghambat ataupun racun bagi pertumbuhan mikroorganisme jika terdapat pada konsentrasi yang tinggi. Untuk logam pada umumnya sifat racun akan semakin bertambah dengan tingginya valensi dan berat atomnya. Bakteri penghasil metana lebih sensitif terhadap racun daripada bakteri penghasil asam. Ada beberapa senyawa yang bisa menghambat (proses) penguraian dalam suatu

unit biogas saat menyiapkan bahan baku untuk produksi biogas, seperti antibiotik, desinfektan dan logam berat. Menurut Hermawan (2005) bahwa kondisi optimum proses produksi biogas sebagai berikut:

Tabel 2.3 Kondisi optimum produksi biogas

Parameter	Kondisi optimum
Suhu	35°C
Derajat Keasaman	7-7,2
Nutrient Utama	Karbon dan Nitrogen
Nisbah Karbon dan Nitrogen	20/1 sampai 30/1
Sulfida	< 200 mg/L
Logam-logam Berat Terlarut	< 1 mg/L
Sodium	< 5000 mg/L
Kalsium	< 2000 mg/L
Magnesium	< 1200 mg/L
Ammonia	< 1700 mg/L

f. Lama Fermentasi

Secara umum menurut Sweeten (1979), yang dikutip oleh Fontenot (1983), menerangkan bahwa proses fermentasi/pencernaan limbah ternak di dalam tangki pencerna dapat berlangsung 60-90 hari, tetapi menurut Sahidu (1983), hanya berlangsung 60 hari saja dengan terbentuknya gas bio pada hari ke-5 dengan suhu pencernaan 28°C, sedangkan menurut Hadi (1980), gas bio sekitar 10 hari.

Produksi biogas sudah terbentuk sekitar 10 hari. Setelah 10 hari fermentasi sudah terbentuk kira-kira 0,1 - 0,2 m³/kg dari berat bahan kering. Peningkatan penambahan waktu fermentasi dari 10 hingga 30 hari meningkatkan produksi biogas sebesar 50% (Hadi, 1980).

Pada hari ke- 30 fermentasi jumlah biogas yang terbentuk mencapai maksimal. Dan setelah 30 hari terjadi penurunan jumlah biogas (Sembiring, 2004).

g. Kandungan Bahan Kering

Bahan isian dalam pembuatan bio gas harus berupa bubur. Bentuk bubur ini dapat diperoleh bila bahan bakunya mempunyai kandungan air yang tinggi. Bahan baku dengan kadar air yang rendah dapat dijadikan berkadar air tinggi dengan menambahkan air ke dalamnya dengan perbandingan tertentu sesuai dengan kadar bahan kering bahan tersebut. Bahan baku yang paling baik mengandung 7-9 % bahan kering (Paimin, 2001).

Aktivitas normal dari mikroba metan membutuhkan sekitar 90% air dan 7-10% bahan kering dari bahan masukan untuk fermentasi. Dengan demikian isian yang paling banyak menghasilkan biogas adalah yang mengandung 7-9% bahan kering. Untuk kandungan kering sejumlah tersebut bahan baku isian biasanya dicampur dengan air dengan perbandingan tertentu. Sebagai contoh bahan baku kotoran sapi harus dicampur dengan air dengan perbandingan 1:1 atau 1:1,5. Pada tabel 2.4 dibawah diperlihatkan rata-rata kandungan bahan kering dari berbagai jenis kotoran.

Tabel 2.4 Kandungan rata-rata kandungan bahan kering berbagai jenis kotoran

Jenis Kotoran	Bahan Kering (%)
Ayam/Burung	25
Sapi	18
Babi	11
Manusia	11

Sumber : Meynell (1976)

h. Pengadukan

Bahan baku yang sukar dicerna akan membentuk lapisan kerak dipermukaan cairan. Lapisan ini dapat dipecah dengan alat pengaduk. Oleh karena itu, sebaiknya setiap unit pembuat biogas dilengkapi alat pengaduk. Pemasangan alat pengaduk harus dilakukan dengan hati-hati agar jangan sampai terjadi kebocoran pada tangki pencerna (Paimin, 2001).

Sebelum bahan isian dimasukkan ke dalam digester terlebih dahulu dilakukan pengadukan, dimana tujuan dari pengadukan ini adalah untuk menyeragamkan atau menghomogenkan bahan isian. Jika tidak dilakukan pengadukan akan terjadi penggumpalan atau pengendapan bahan organik yang menyebabkan terhambatnya biogas (Jiwantoro, 2005).

i. Starter

Starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik hingga menjadi biogas. Starter merupakan mikroorganisme perombak yang dijual komersial. Bisa juga menggunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen untuk mempercepat terjadinya proses fermentasi, maka perlu pada permulaan pengumpanan perlu ditambahkan cairan yang telah mengandung banyak bakteri metan yang disebut dengan starter. Starter yang dapat digunakan dikenal dengan tiga macam, yaitu (Harahap, 2007):

- a.** Starter alami : kalau sumbernya dari alam yang diketahui mengandung kelompok bakteri metan seperti lumpur aktif , timbunan sampah lama, timbunan kotoran ruminansia, dan lain-lain.

- b. Starter semi buatan : kalau sumber berasal dari tabung pembuat biogas yang diharapkan kandungan bakteri metannya dalam stadia aktif.
- c. Starter buatan : kalau sumbernya sengaja dibuat, baik dengan media alami maupun media buatan, sedangkan bakteri metannya dibiakkan secara laboratorium.

Pada pemasukan pertama diperlukan lumpur kotoran sapi dalam jumlah banyak. Untuk membangkitkan proses fermentasi bakteri anaerob pada pengisian pertama ini perlu ditambahkan starter (berupa starter komersial yang banyak dijual dipasaran) sebanyak 1 liter atau isi rumen segar dari rumah potong hewan sebanyak 5 karung untuk kapasitas digester 3,5-5,0 m³ (Kamaruddin dkk, 1995).

Tabel 2.5 Perkiraan Produksi Biogas dari Beberapa Jenis Kotoran (Suyitno 2007 dalam Suyitno dkk, 2010)

Jenis kotoran	Perkiraan produksi biogas (m ³) per kg kotoran
Sapi/Kerbau	0,023- 0,04
Babi	0,04- 0,059
Unggas	0,065- 0,116
Manusia	0,02- 0,028
Kuda	0,02- 0,035
Domba/ Kambing	0,01- 0,031
Jerami padi	0,017- 0,028
Jerami jagung	0,035- 0,048
Rumput	0,028- 0,055
Rumput gajah	0,033- 0,056
Bagase	0,014- 0,019
Sayuran	0,03- 0,04
Alga	0,038- 0,055

Tentang starter yang berasal dari kotoran ternak ini Allah Yang Maha Luas ilmu-Nya telah mengisyaratkannya dalam al-quranul karim sejak berabad

lalu saat al-quran diturunkan kepada Nabi Muhammad SAW yakni dalam surat Al-Mu'minun ayat 21:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۚ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنفَعٌ كَثِيرٌ ۖ وَمِنْهَا تَأْكُلُونَ ﴿٢١﴾

Artinya: “Dan Sesungguhnya pada binatang-binatang ternak, benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu, Kami memberi minum kamu dari air susu yang ada dalam perutnya, dan (juga) pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak untuk kamu, dan sebagian daripadanya kamu makan,” (Qs. Al-Mu'minun/23: 21).

Menurut Al-Jazairi dalam tafsir al-Aisar tentang surat Al-Mu'minun ayat 21 ini adalah “Dan firman Allah Ta’ala, ‘Dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak itu benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu...’ maka perhatikanlah proses penciptaan, kehidupan, dan manfaatnya yang bisa menghantarkanmu kepada keimanan, tauhid, dan ketaatan. Firman-Nya, ‘Kami memberi minum kamu dari yang ada dalam perutnya...’ berupa susu yang keluar di antara kotoran dan darah. Firman Allah Ta’ala, ‘Dan juga pada binatang-binatang ternak itu terdapat faidah yang banyak bagi kamu...’ seperti kulit dan bulu unta, air susunya, serta dagingnya yang dapat kalian konsumsi” (Al-Jazairi, 2008: 40).

Walaupun Allah SWT tidak menyebutkan secara gamblang (namun secara tersirat tercakup) tentang manfaat dari kotoran ternak yang salah satunya adalah kotoran sapi, namun Allah berfirman bahwa pada binatang-binatang ternak itu terdapat faedah yang banyak, yang jika kita pikirkan dan renungkan dalam bidang biologi, maka akan didapati pengetahuan bahwa ternyata di dalam kotoran ternak dan lambung ternak itu terdapat bakteri metanogen/bakteri metan. Dimana pada

lambung ternak dapat mengubah senyawa organik dalam proses pencernaan dalam digesti binatang ternak menjadi gas metan yang pada hewan ini tidak cukup menguntungkan karena akan mengurangi nutrisi yang akan masuk ketubuh binatang ternak tersebut dan jika dikeluarkan oleh hewan maka akan menjadi penyumbang gas rumah kaca.

Disisi lain gas ini jika dimanfaatkan sebagai bahan bakar maka akan turut menyumbang penghematan minyak bumi dan gas bumi yang tak terbarukan. Sehingga terbukti bahwa setiap apa yang disebutkan dalam al-quran baik maka akan baik pula manfaatnya bagi kehidupan manusia.

j. Kandungan Air Bahan

Kadar air bahan yang terkandung dalam bahan yang digunakan, juga seperti rasio C/N harus tepat. Jika hasil biogas diharapkan sesuai dengan persyaratan yang berlaku, maka bahan yang digunakan berbentuk kotoran kering dicampur dengan sisa-sisa rumput bekas makanan atau dengan bahan lainnya yang juga kering, maka diperlukan penambahan air (Harahap, 2007). Aktivitas normal dari mikroba metan membutuhkan sekitar 90% air dan 7-10% bahan kering dari bahan masukan untuk fermentasi (Meynell, 1976).

Air merupakan unsur penting dalam kehidupan ini seperti yang didiskripsikan dalam paragraf di atas. Hal ini juga telah diatur dalam al-quran sarat An-Nahl ayat 65:

وَاللَّهُ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ

يَسْمَعُونَ

Artinya: “*Dan Allah menurunkan dari langit air (hujan) dan dengan air itu dihidupkan-Nya bumi sesudah matinya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang mendengarkan (pelajaran)*” (Qs. An-Nahl/16: 65).

Menurut Shihab dalam tafsir al-Aisar tentang surat An-Nahl ayat 65 di atas yakni, “Kelompok ayat ini kembali menguraikan bukti-bukti keesaan Allah SWT serta aneka nikmat yang dianugerahkan-Nya kepada manusia. Hubungannya dengan ayat yang lalu dapat terlihat dari sisi bahwa al-quran yang diturunkan Allah itu menghidupkan jiwa manusia, dan air yang diturunkan-Nya juga menghidupkan jasmani bahkan tumbuh-tumbuhan. Ayat ini menyatakan bahwa: *Dan Allah menurunkan dari langit* pada saat yang Dia kehendaki sesuai dengan hukum-hukum alam yang ditetapkannya, dan dengan kadar yang Dia tentukan, *air hujan*, atau salju atau butir-butir es *maka dengannya* yakni dengan air yang beraneka ragam itu *Dia menghidupkan* yakni menumbuhsururkan *bumi* dan menghidupkan tanaman-tanaman *sesudah matinya* yakni sebelum diturunkannya hujan itu, bumi kering kerontang bagaikan sesuatu yang mati. *Sesungguhnya pada yang demikian itu* yakni pada proses turunnya hujan dan dampak-dampak yang dihasilkannya *benar-benar terdapat tanda* kebesaran dan kekuasaan Allah *bagi orang-orang yang mendengar* yakni merenungkan dengan penuh perhatian” (Shihab, 2002: 274).

Sebelum ini telah disebutkan juga nikmat air (hujan) yang turun dari langit (ayat 10). Di sini hal tersebut diulangi sekali lagi. Namun konteksnya berbeda. Di sana untuk mengingatkan aneka nikmat-Nya, dan disini untuk membuktikan kekuasaan pada *qudra*-Nya yang besar, antara lain dalam menghidupkan yang telah mati. Agaknya karena pengulangan itu pula, sehingga penutup ayat ini

menggunakan kata *bagi kaum yang memikirkan*. Disisi lain dapat juga dikatakan bahwa hujan yang diturunkan Allah untuk menghidupkan bumi setelah kematiannya, adalah bukti kuasa Allah menghidupkan kembali yang telah mati, dan mengadakan kebangkitan. Ini tidak ubahnya dengan menghidupkan tanah yang mati itu. Selanjutnya, karena persoalan kematian dan kebangkitan adalah persoalan metafisika yang tidak dapat dilihat atau diketahuirinciannya oleh pikiran manusia, tetapi hanya didengar informasinya, maka ayat ini ditutup dengan kalimat *bagi orang-orang yang mendengar* yakni mendengar ayat-ayat al-quran dan keterangan-keterangan Rasul SAW” (Shihab, 2002: 274-275).

Menurut tafsir al-Misbah bahwa “Para ilmuwan menegaskan bahwa air meresap ke dalam bumi, melarutkan unsur-unsur kimia di dalam tanah yang dihisap oleh tumbuh-tumbuhan. Unsur- unsur itu kemudian berubah menjadi sel-sel hidup dan seluler. Begitulah proses yang dimaksud oleh ayat ini dengan kalimat *menghidupkan bumi*” (Shihab, 2002: 275).

Menurut Ibnu Katsir di dalam tafsir Ibnu Katsir tentang surat An-Nahl ayat 65 adalah “Sebagaimana Allah SWT telah menjadikan al-quran sebagai penghidup lagi hati yang mati karena kekufurannya. Demikian halnya Dia Telah menghidupkan bumi setelah matinya melalui air yang Dia turunkan dari langit.

إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً لِّقَوْمٍ يَسْمَعُونَ

‘*Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Tuhan) bagi orang-orang yang mendengarkan (pelajaran)*’. Yakni, orang-orang yang memahami makna pembicaraan” (Ibnu Katsir, 2007: 76).

Menurut Al-Maraghi dalam tafsir al-Maraghi tentang Surat An-Nahl ayat 65 ini ialah “Allah SWT mengingatkan para hamba-Nya kepada *hujjah-hujjah* yang membimbing mereka untuk mentauhikan-Nya dan membuktikan bahwa selain Dia tidak ada yang patut memiliki *Uluhiyyah*, tidak pula ada sesuatu pun yang pantas untuk disembah selain Dia. Diterangkan bahwa sembah itu adalah Dia yang menurunkan hujan dari langit, lalu dengan hujan itu Dia menumbuhkan berbagai macam tumbuh-tumbuhan di bumi yang mati dan kering, tidak pula ada rerumputan padanya. Sesungguhnya pada penghidupan yang telah mati itu terdapat dalil yang jelas dan *hujjah* yang pasti atas keesaan, ilmu dan kekuasaan Allah Ta’ala bagi orang yang mendengarkan firman ini dengan penuh perenungan dan pemahaman. Sebab, pendengaran dengan telinga saja tidak ada artinya, ia tidak lebih dari pada pendengaran binatang” (Al-Maraghi, 1992: 187).

Berdasarkan ketiga tafsir diatas maka sangatlah jelas bahwa air adalah sebab untuk menghidupkan yang mati menjadi hidup. Hal ini dikarenakan air adalah unsur vital tubuh makhluk hidup. Karena tubuh makhluk tersusun oleh air sekitar 70% maka air sangatlah penting bagi makhluk hidup. Jika kita hubungkan dengan faktor yang mempengaruhi pembentukan biogas maka air disini berfungsi sebagai zat pelarut campuran kemudian juga sekaligus akan digunakan oleh bakteri metanogen/bakteri metan untuk memenuhi kebutuhan air selama proses pembentukan gas metan dan juga sebagai media untuk pergerakan bakteri tersebut.

Tapi berbeda kalau bahan yang akan digunakan berbentuk lumpur selokan yang sudah mengandung bahan organik tinggi, semisal dari bekas dan sisa

pemotongan hewan yang dicampur dengan sampah. Dalam bahannya sudah terkandung air, sehingga penambahan air tidak akan sebanyak pada bahan yang kering. Air berperan sangat penting didalam proses biologis pembuatan biogas. Artinya jangan terlalu banyak (berlebihan) juga jangan terlalu sedikit (kekurangan) (Harahap, 2007).

2.4 Bahan Baku dalam Produksi Biogas

Biogas dapat diproduksi dari bahan organik dengan bantuan bakteri untuk proses fermentasi anaerobnya. Pada umumnya hampir semua jenis bahan organik dapat diolah menjadi biogas. Untuk biogas sederhana, bahan organik yang paling banyak digunakan di Indonesia adalah kotoran dan urine hewan. Beberapa bahan lain yang digunakan adalah dari kotoran manusia, sampah bio (organik), dan sisa proses pembuatan tahu (Suyitno dkk, 2010).

Jenis-jenis bahan organik yang diproses termasuk beberapa contoh di atas (kotoran dan urine hewan) sangat mempengaruhi kualitas biogas yang dihasilkan. Pemilihan bahan biogas dapat ditentukan dari perbandingan kadar C (karbon) dan N (nitrogen) dalam bahan tersebut. Bahan organik yang umumnya mampu menghasilkan kualitas biogas yang tinggi mempunyai rasio C/N sekitar 20 – 30 (Sasse, 1988 dalam Suyitno dkk, 2010) atau 20-25 (Dennis, 2001 dalam Suyitno dkk, 2010). Perbandingan C dan N dalam bahan biogas merupakan faktor penting untuk berkembangnya bakteri yang akan menguraikan bahan organik tersebut. Pada perbandingan C/N kurang dari 8, dapat menghalangi aktivitas bakteri akibat kadar amonia yang berlebihan (Uli, 1989 dalam Suyitno dkk, 2010). Pada

perbandingan C/N lebih dari 43 mengakibatkan kerja bakteri juga terhambat (Dennis, 2001 dalam Suyitno dkk, 2010). Walaupun demikian, parameter ini juga bukan satu-satunya untuk kualitas biogas yang tinggi karena masih terdapat beberapa parameter lain yang harus diperhatikan khususnya pada reaktor biogas (biodigester).

Menurut Sianturi (1990) bahwa bahan baku yang memproduksi gas metan bisa berasal dari semua bahan organik, baik yang berwujud padat, maupun cair. Bahan yang mudah dicerna banyak mengandung selulosa seperti jerami padi atau gandum, rumput-rumputan dan sebagainya. Sedangkan bahan yang banyak mengandung lignin (kayu) sukar untuk dicerna. Bahan yang memiliki kadar air tinggi lebih mudah untuk dicerna.

Bahan dasar biogas berasal dari limbah pertanian, kotoran hewan, serta limbah organik lainnya (Abdulkareem, 2005). Penelitian pengembangan biogas yang telah dilakukan sampai saat ini antara lain menggunakan kotoran sapi (Dewi dkk, 2010), kotoran kuda (Widodo dan Asari, 2009) dan kotoran hewan lainnya (Nurjahya, 2005). Penelitian tentang bahan organik lain yang berpotensi sebagai bahan baku biogas seperti masih terus dilakukan, salah satunya menggunakan bahan sampah sayuran (S. Felix dkk, 2012).

Menurut Da Silva (1979), menjelaskan bahwa biogas dapat dihasilkan dari berbagai macam bahan organik seperti kotoran ternak, kotoran manusia, limbah kertas dan makanan, tanaman air, eceng gondok, alga berfilamen dan rumput laut. *Ulva lactuca* dan *Laminaria* adalah jenis rumput laut yang terbukti menghasilkan biogas dalam skala yang besar di negara Jepang. Gas metana yang dihasilkan

adalah sebanyak 17 m³/ton yang dapat digunakan untuk pembangkit listrik (Matsui et al, 2006 dalam Susanto dan Yudhistira, 2009). Di Indonesia pembuatan biogas dari rumput laut telah dilakukan oleh Saputra (2010), dengan menggunakan rumput laut jenis *Sargassum duplicatum* dan *Caulerpa raemosa*. Kedua jenis rumput laut ini dapat menghasilkan gas metana yang bermanfaat sebagai bahan bakar alternatif pengganti minyak.

Allah telah memberikan karunia kepada hamba-Nya dengan menyediakan sumber-sumber energi di bumi. Jika manusia mau memikirkan ciptaan-Nya, maka manusia akan dapat mengambil manfaat yang besar. Diantara firman Allah tentang energi adalah surat An-Nuur ayat 35:

اللَّهُ نُورُ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ ۗ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ ۗ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ ۗ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ شَجَرَةٍ مُبْرَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ ۗ نُورٌ عَلَى نُورٍ ۗ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن يَشَاءُ ۗ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَلَ لِلنَّاسِ ۗ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ ﴿٣٥﴾

Artinya : “Allah (Pemberi) cahaya (kepada) langit dan bumi. Perumpamaan cahaya Allah, adalah seperti sebuah lubang yang tak tembus, yang di dalamnya ada pelita besar. Pelita itu di dalam kaca (dan) kaca itu seakan-akan bintang (yang bercahaya) seperti mutiara, yang dinyalakan dengan minyak dari pohon yang banyak berkahnya, (yaitu) pohon zaitun yang tumbuh tidak di sebelah timur (sesuatu) dan tidak pula di sebelah barat (nya), yang minyaknya (saja) hampir-hampir menerangi, walaupun tidak disentuh api. Cahaya di atas cahaya (berlapis-lapis), Allah membimbing kepada cahaya-Nya siapa yang Dia kehendaki, dan Allah memperbuat perumpamaan-perumpamaan bagi manusia, dan Allah Maha Mengetahui segala sesuatu” (Qs. An-Nuur/24: 35).

Ayat di atas menunjukkan bagaimana Allah memberi perumpamaan cahaya-Nya yang berada dalam sebuah kaca, kemudian kaca tersebut seakan-akan memancarkan sinar dikarenakan cahaya didalamnya. Hal ini seperti lampu yang dinyalakan dengan sumber energi berupa minyak dari pohon zaitun. Pohon zaitun sebagai tumbuhan tentunya menyimpan berbagai manfaat bagi manusia dan hewan. Bahkan dalam ayat tersebut Allah menjelaskan bahwa minyak zaitun tanpa disentuh api, juga hampir memberi cahaya. Disinilah Allah menunjukkan bagaimana peran penting api sebagai sumber energi panas bagi manusia.

Ayat tersebut juga menyebutkan bagaimana pohon zaitun mampu menghasilkan minyak yang dapat bercahaya jika disentuh dengan api. Hal ini menunjukkan bagaimana Allah menyediakan sumber energi yang dapat diperbarui yaitu dengan menggunakan tumbuhan sebagai penghasil energi (BBM dan gas).

2.5 Sampah Sayuran

Berdasarkan data yang ada pada Dinas Kebersihan Kota Medan adapun komposisi unsur-unsur (tabel 2.7) dari sampah organik basis kering dari Kota Malang (tabel 2.6) dapat dilihat dalam tabel dibawah ini.

Tabel 2.6 Komposisi Sampah Organik

Bahan Organik	% berat
Sampah Dedaunan	32
Makanan	16,2
Kertas	17,5
Kayu	4,5
Air	29,8

(Sumber : Dinas kebersihan Kota Malang, 2015)

Tabel 2.7 Komposisi Sampah Berdasarkan Unsur

Komponen Sampah	Persentase Massa (berat kering)					
	Carbon	Hidrogen	Oksigen	Nitrogen	Sulfur	Abu
Dedaunan	47,80	6,00	38,00	3,40	0,30	4,50
Makanan	48,00	6,40	37,60	2,60	0,10	5,30
Kertas	43,50	6,00	44,00	0,30	0,20	6,00
Kayu	49,50	6,00	42,70	0,20	0,10	1,50

(Sumber : Dinas kebersihan Kota Medan, 2005)

Bahan organik yang umumnya mampu menghasilkan kualitas biogas yang tinggi mempunyai rasio C/N sekitar 20- 30 (Sasse, 1988 dalam Suyitno dkk, 2010) atau 20- 25 (Dennis, 2001 dalam Suyitno dkk, 2010). Dibawah ini tabel 2.8 adalah harga rasio C/N pada beberapa jenis kotoran hewan.

Tabel 2.8. Rasio C/N untuk Beberapa Bahan Organik (Uli, 1989 dalam Suyitno dkk, 2010)

Jenis Kotoran	Rasio C/N
Urine	0,8
Kotoran sapi	10- 20
Kotoran babi	9- 13
Kotoran ayam	5- 8
Kotoran kambing	30
Kotoran manusia	8
Jerami padi-padian	80- 140
Jerami jagung	30- 65
Rumput hijau	12
Sisa sayuran	35

Tidak semua bahan organik terurai menjadi gas dalam digester anaerob. Bakteri anaerob tidak menguraikan lignin dan beberapa jenis hidrokarbon. Digester yang berisi kotoran yang mengandung nitrogen tinggi dan belerang yang rendah dapat menghasilkan racun berupa amonia dan H₂S. kotoran yang tidak bercampur dengan air akan terurai dengan lambat (Suyitno dkk, 2010).

Selain rasio C/N yang memenuhi syarat dalam pembuatan biogas maka perlu juga diperhatikan *Total Solis (TS)* atau padatan total dan *Volatile Solid (VS)*

atau padatan yang mudah menguap (Suyitno dkk, 2010). Di dalam sampah sayuran ini kaya akan nutrisi yaitu selulosa yang tinggi dan unsur karbohidrat, lemak dan protein yang nantinya akan dirombak oleh mikroba untuk dijadikan biogas.

Dapat dilihat tabel 2.9 komponen padatan volatil (VS) yang patut diketahui dari bahan organik yang akan digunakan sebagai bahan biogas nantinya.

Tabel 2.9 Komponen Padatan Volatil (VS) (Uli, 1989 dalam Suyitno dkk, 2010)

Komponen	% TS
Selulosa	31,0
Hemiselulosa	12,0
Lignin	12,2
Kanji	12,5
Protein	12,5
Eter	2,6
Amonia	0,5
Asam	0,1
Total	83,4

Dari jumlah kotoran yang dihasilkan, yang berperan dalam menghasilkan biogas adalah komponen padatan total (TS). Di dalam padatan total (TS) terdapat padatan volatil (VS). Komponen dari padatan volatil (VS) secara umum terdiri dari selulosa, hemiselulosa, lignin, kanji, protein, eter, amonia dan asam. Komponen terbesar dari VS adalah selulosa sebagaimana dapat dilihat dari tabel 2.9 besarnya VS adalah sekitar 83,4% TS. Dengan mengingat bahwa TS dari kotoran hewan tidak jauh dari 10%, maka dalam biodigester perlu ditambahkan beberapa sisa makanan hewan selain mengandung C/N tinggi juga mempunyai potensi produksi biogas yang tinggi karena mengandung TS yang tinggi (lihat tabel 2.10) (Suyitno dkk, 2010).

Penting diperhatikan bahwa konsentrasi TS hendaknya dijaga tidak lebih dari 15% karena akan menghambat metabolisme. Pada saat memasukkan material organik ke dalam biodigester wajib ditambahkan sejumlah air. Fungsi air di sini selain untuk mempertahankan $TS < 15\%$, juga untuk mempermudah proses pencampuran dan proses mengalirnya material organik ke dalam biodigester. Fungsi lainnya adalah untuk mempermudah aliran gas yang terbentuk dibagian bawah dapat mengalir ke bagian atas biodigester (Suyitno dkk, 2010).

Tabel 2.10 TS Beberapa Material Organik Lain Selain Kotoran Hewan (Uli, 1989 dalam Suyitno 2010)

Material	TS (%)	VS (%)
Jerami padi	89	93
Jerami gandum	82	94
Jerami jagung	80	91
Rumput segar	24	89
Bagase	65	78
Sisa sayuran	12	86

Tabel 2.11 Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin dalam Biomassa (Suyitno, 2007 dalam Suyitno dkk, 2010)

Material	Selulosa (%)	Hemiselulosa (%)	Lignin (%)
Kayu	40-50	15-25	15-30
Tongkol jagung	45	35	15
Jerami padi	32,1	24	18
Bagase	33,4	30	18,9
Dedaunan	15-20	80-85	0
Jerami gandum	30	50	15
Rumput	45	31,4	12

Selulosa dan hemiselulosa dapat diuraikan oleh bakteri dalam biodegister sedangkan lignin tidak dapat diuraikan. Biomassa termasuk bahan organik yang mengandung lignin dalam jumlah yang besar sebagaimana dapat dilihat pada tabel 2.11 sehingga jika beberapa material organik yang mengandung

lignin dalam jumlah tinggi misalnya biomassa masuk dalam biodigester, maka dari material organik jenis ini, biogas yang dihasilkan jumlahnya rendah (Suyitno dkk, 2010).

Mengenai pentingnya menjaga lingkungan Rasulullah telah bersabda, yaitu dengan menjaga kebersihan tempat-tempat di sekitar kita termasuk didalamnya adalah untuk menjaga lingkungan dari sampah.

عن سعد بن أبي وقاص عن أبيه عن النبي : إن الله طيب يحب الطيب نظيف يحب النظافة كريم يحب الكرم جواد يحب الجود فنظفوا أنفسكم (رواه الترمذي).

Artinya: “Diriwayatkan dari Sa’ad bin Abi Waqas dari bapaknya, dari Rasulullah saw. : Sesungguhnya Allah SWT itu suci yang menyukai hal-hal yang suci, Dia Maha Bersih yang menyukai kebersihan, Dia Maha Mulia yang menyukai kemuliaan, Dia Maha Indah yang menyukai keindahan, karena itu bersihkanlah tempat-tempatmu” (HR. Tirmizi)”.

Berdasarkan hadits di atas yang menerangkan bahawa Allah SWT adalah Dzat yang suci dan menyukai hal-hal yang suci pula dan karena Allah Maha Bersih dan menyukai kebersihan pula maka kita sebagai hambanya haruslah selalu dan senantiasa menjaga kebersihan dan kesucian hati, badan kita dan juga lingkungan kita. Karena ketiganya saling berkaitan dengan erat dan apabila terganggu salah satu maka akan menyebabkan yang lainnya juga ikut terganggu. Maka dari itu salah satu masalah lingkungan kita berupa sampah yang menumpuk dan menyebabkan bau yang mengakibatkan menurunnya nilai estetika lingkungan maupun higienitas lingkungan haruslah dikelola dan diolah dengan cerdas dan cermat oleh manusia guna menyelesaikan masalah lingkungan. Dan akan lebih baik lagi jika pengelolaan tersebut membawa nilai lebih, seperti nilai ekonomis

sehingga dapat mengurangi beban pengeluaran anggaran keuangan, contohnya dimanfaatkan untuk biogas.

Yusuf Al-Qardhawi dalam bukunya, “Islam Agama Ramah Lingkungan” membahas tentang konsep pelestarian lingkungan dalam Islam dan bahaya-bahaya yang mengancam lingkungan, seperti: pencemaran air, udara, laut dan daratan. Dalam penelitiannya dihasilkan bahwa pelestarian lingkungan hidup itu hukumnya sama dengan *maqasid asyari'ah* yang terdiri dari menjaga agama, jiwa, akal, keturunan, dan harta, maka hukum melestarikan lingkungan disamakan dengan mewujudkan tujuan pensyari'atan hukum dalam islam yang dihukumi wajib, karena tanpa berdirinya kelima tujuan tersebut, maka kehidupan manusia dan makhluk lainnya akan rusak bahkan punah (Al-Qardhawi, 2001).

2.6 Kotoran Sapi dalam Produksi Biogas

Kotoran sapi adalah limbah peternakan berupa sisa hasil pencernaan (Gunawan, 2013). Sapi merupakan salah satu hewan ruminansia yang memiliki saluran pencernaan khusus yaitu rumen. Pemecahan pakan seperti seluloosa dan polisakarida dilakukan oleh mikroba rumen yaitu bakteri, fungi, dan protozoa (Madigan *et al.*, 2003). Menurut Ramadhani (2010), makanan yang telah tertelan masuk ke dalam rumen dan mengalami proses fermentasi oleh mikroorganisme di dalam rumen. Sisa hasil pencernaan sapi (kotoran sapi) juga mengandung beberapa jenis bakteri. Salah satu bakteri rumen adalah bakteri yang terkandung di dalam kotoran sapi yaitu bakteri metanogen (Here, 2012).

Di dalam isolat anaerobik terdapat bakteri metanogenik dan non metanogenik yakni *Methanobacterium ruminantium*, *Methanobacterium*

formicicum, *Methanothrix soehngeni*, *Methanothrix soehngeni*, *Methanosarcina frisia* (Khalid dan Naz, 2013).

Bakteri non metanogen yang terlibat dalam proses pembentukan biogas sebagai bakteri hidrolitik dan pembentuk asam yakni *Bacteroides fragilis*, *Peptostreptococcus*, *Clostridium difficile*, *E. coli*, *micrococcus*, *Bacillus anthracis*, *Enterococcus*, *Burkholderia vietnamiensis*, *Bacillus cereus*, *Bacillus anthracis*, *Bacillus subtilis*, *Corynebacterium amycolatum*, *Pseudomonas borbori*, *Salmonella enteric*, *Streptococcus bovis*, *Enterococcus* (Khalid dan Naz, 2013). Dan juga *Cellulomonas* sp., *Cellvibrio* sp., *Bacillus licheniformis*, *Pseudomonas* sp., *Acetobacter aceti*, *Lactobacillus plantarum*, *Cytopaga* sp. (Fusvita, 2015).

Peranan dari bakteri hidrolitik adalah untuk menghidrolisis bahan-bahan yang ada di dalam digester. Seperti salah satunya adalah *Bacillus subtilis* yang merupakan bakteri Gram positif dan motilitas positif. Bakteri ini membentuk endospora dengan bentuk endospora bulat atau silinder dan sangat resisten terhadap kondisi yang merugikan (Holt *et al.*, 2004). Saat sporulasi, spora ditebarkan ke udara, struktur spora tidak akan terjadi jika sel sedang berada pada fase pembelahan secara eksponensial, tetapi akan dibentuk terutama pada kondisi nutrisi terbatas misalnya jumlah karbon dan nitrogen sedikit (Madigan *et al.*, 2003). Bakteri ini bersifat aerob dan anaerob (fermentasi), katalase positif, dan dapat ditemukan pada berbagai jenis habitat. *Bacillus subtilis* menghasilkan berbagai jenis enzim seperti alfa-amilase, beta-glukanase, glutaminase, maltogenik amilase, protease, pullulanase, dan xilanase (Pariza dan Johnson, 2001).

Peran bakteri asam adalah membentuk asam dari hasil metabolisme bakteri hirolitik, dan salah satu bakteri pembentuk asam adalah *Acetobacter aceti* yang memiliki bentuk elips hingga batang, berukuran mikroskopis yaitu 0,6-0,8 mikrometer x 1,0-1,4 mikrometer, sel tunggal, berpasangan ataupun membentuk suatu rantai, motil dengan flagelle peritrikus, tidak membentuk endospora, dan Gram negatif. Bakteri ini bersifat aerob abligat sehingga metabolisme selalu dengan respirasi. Katalase positif, memproduksi indol dan H₂S. Mampu mengoksidasi etanol menjadi asam asetat, kemudian asam asetat dan asam laktat diubah menjadi C₂O dan H₂O. Sumber karbon yang baik digunakan untuk pertumbuhan yaitu gliserol, etanol dan laktat. Bersifat kemoorganotrop, suhu optimal untuk tumbuh berkisar 25-30°C, dan pH optimum 5,4-6,3 (Holt *et al.*, 2004).

Bakteri metanogen adalah bakteri yang terdapat pada bahan-bahan organik dan menghasilkan metana secara anaerob (Gunawan, 2013). Bakteri metanogen menggunakan senyawa karbon dan energi untuk melakukan proses metanogenesis. Senyawa karbon yang digunakan misalnya campuran senyawa H₂ dan CO₂, formiat, methanol, methilamin, dan asetat. Bakteri metanogen juga berperan penting terhadap perputaran H₂ pada lingkungan yang anaerob (Adnany dan Mohammad, 2000). Kebanyakan bakteri metanogen bersifat mesofilik dengan kisaran suhu optimum 20-40°C, namun bakteri metanogen juga dapat ditemui pada suhu termofilik (Wise, 1987 dalam Moo-Young, 1997).

Empat genera bakteri anaerob yang diketahui memproduksi metana (Price dan Cheremisinoff, 1981):

1. *Methanobacterium*, bakteri berbentuk batang dan tidak membentuk spora.
2. *Methanobacillus*, bakteri berbentuk batang dan membentuk spora.
3. *Methanococcus*, bakteri berbentuk kokus dan tidak membentuk spora.
4. *Methanosarcina*, bakteri berbentuk delapan kokus yang bergerombol dan tidak membentuk spora.

Menurut Holt *et al.* (2004), bakteri *Methanobacterium* bersifat non motil, anaerob, temperatur optimum 37-45°C untuk bakteri mesofilik dan 55°C untuk yang termofilik, energi diperoleh melalui metabolisme CO₂ menjadi CH₄, menggunakan amonia sebagai sumber nitrogen, dan sulfida sebagai sumber sulfur. *Methanococcus* bersifat non motil, Gram negatif, tumbuh pada kisaran suhu 30-35°C, pH 7-7,5, mereduksi metilamin menjadi CH₄, CO₂ dan NH₃. *Methanosarcina* bersifat Gram variabel, non motil, anaerob, suhu optimum untuk tumbuh berkisar 30-40°C untuk bakteri mesofilik dan 50-55°C untuk yang termofilik, energi didapatkan dengan mereduksi metilamin atau methanol menjadi CO₂, CH₄, H₂, dan asetat.

2.7 Bakteri Metanogen

A. Isolasi Bakteri Metanogen

2.7.1 Pengertian Teknik Isolasi Mikroba

Teknik isolasi mikroorganisme adalah suatu usaha untuk menumbuhkan mikroba diluar dari lingkungan alamiahnya. Pemisahan mikroorganisme dari lingkungan ini bertujuan untuk memperoleh biakan bakteri yang sudah tidak bercampur lagi dengan bakteri lainnya dan disebut biakan murni. Prinsip dari

isolasi mikroba adalah memisahkan satu jenis mikroba dengan mikroba lainnya yang berasal dari campuran bermacam-macam mikroba. Hal ini dapat dilakukan dengan menumbuhkannya dalam media padat, sel-sel mikroba akan membentuk koloni sel yang tetap pada tempatnya (Nur dan Asnani, 2007).

Mikroorganisme dapat diperoleh dari lingkungan air, tanah, udara, substrat yang berupa bahan pangan, tanaman, dan hewan. Jenis mikroorganismenya dapat berupa bakteri, khamir, kapang, dan sebagainya. Populasi dari mikroba yang ada di lingkungan ini sangatlah beranekaragam sehingga dalam mengisolasi diperlukan beberapa tahap penanaman sehingga berhasil diperoleh koloni yang tunggal. Koloni yang tunggal ini kemudian yang akan diperbanyak untuk suatu tujuan penelitian misalnya untuk mengisolasi DNA mikroba yang dapat mendeteksi mikroba yang telah resisten terhadap suatu antibiotik (Ferdiaz, 1992).

2.7.2 Macam-macam Teknik Isolasi Mikroba

Ada beberapa metode untuk memperoleh biakan murni dari isolat campuran. Dua diantaranya yang sering digunakan adalah teknik cawan gores dan teknik cawan tuang. Prinsip dari kedua teknik tersebut sama, yaitu mengencerkan biakan campuran hingga setiap individu spesies dapat dipisahkan, sehingga setiap koloni yang terbentuk merupakan hasil dari pembelahan satu sel. Menurut Afrianto (2004), terdapat berbagai cara mengisolasi mikroba, yaitu:

a. Isolasi pada Agar Cawan

Prinsip pada metode isolasi pada agar cawan adalah mengencerkan mikroorganisme sehingga diperoleh individu spesies yang dapat dipisahkan dari organisme lainnya. Setiap koloni yang terpisah yang

tampak pada cawan tersebut setelah inkubasi berasal dari satu sel tunggal. Terdapat beberapa cara dalam metode isolasi pada agar cawan, yaitu: metode gores kuadran, dan metode agar cawan tuang. Metode gores kuadran, merupakan metode yang dilakukan dengan baik akan menghasilkan isolasi mikroorganisme, dimana setiap koloni berasal dari satu sel. Metode agar tuang berbeda dengan metode gores kuadran, cawan tuang menggunakan medium agar yang dicairkan dan didinginkan (50°C) yang kemudian dicawakan. Pengenceran tetap perlu dilakukan sehingga pada cawan yang terakhir mengandung koloni-koloni yang terpisah diatas permukaan/di dalam cawan.

Dalam penelitian ini metode isolasi yang digunakan untuk mengisolasi bakteri anaerob adalah isolasi pada agar cawan yakni dengan media TSA.

b. Isolasi pada Medium Cair

Metode isolasi pada medium cair dilakukan bila mikroorganisme tidak dapat tumbuh pada agar cawan (medium padat), tetapi hanya dapat tumbuh pada kultur cair. Metode ini juga perlu dilakukan pengenceran dengan beberapa serial pengenceran. Semakin tinggi pengenceran peluang untuk mendapatkan satu sel semakin besar.

c. Isolasi Sel Tunggal

Metode isolasi sel tunggal dilakukan untuk mengisolasi sel mikroorganisme berukuran besar yang tidak dapat diisolasi dengan metode agar cawan/medium cair. Sel mikroorganisme dilihat dengan

menggunakan perbesaran sekitar 100 kali. Kemudian sel tersebut dipisahkan dengan menggunakan pipet kapiler yang sangat halus ataupun micromanipulator, yang dilakukan secara aseptis.

B. Identifikasi Bakteri Metanogen

Bakteri memiliki beberapa macam bentuk yaitu basil (tongkat), coccus, dan spirillum. Bakteri yang berbentuk tongkat maupun kokus dibagi menjadi beberapa macam. Pada bentuk basil pembagiannya yaitu basil tunggal, diplobasil, dan tripobasil. Sedangkan pada coccus dibagi menjadi monococcus, diplococcus, sampai staphylococcus. Khusus pada spirillum hanya dibagi dua yaitu setengah melengkung dan melengkung (Hadioetomo, 1993).

Salah satu cara untuk mengamati bentuk sel bakteri sehingga mudah untuk diidentifikasi ialah dengan metode pengecatan atau pewarnaan. Hal tersebut juga berfungsi untuk mengetahui sifat fisiologisnya yaitu mengetahui reaksi dinding sel bakteri melalui serangkaian pengecatan. Prinsip dasar dari pewarnaan ini adalah adanya ikatan ion antara komponen seluler dari bakteri dengan senyawa aktif dari pewarnaan yang disebut kromogen. Terjadi ikatan ion karena adanya muatan listrik baik pada komponen seluler maupun pada pewarnaan. Berdasarkan adanya muatan ini maka dapat dibedakan pewarna asam dan pewarna basa. Teknik Pewarnaan bukan pekerjaan yang sulit tapi perlu ketelitian dan kecermatan bekerja serta mengikuti aturan dasar yang berlaku (Volk dan Wheeler, 1988).

Berhasil tidaknya suatu pewarnaan sangat ditentukan oleh waktu pemberian warna dan umur biakan yang diwarnai (umur biakan yang baik adalah

24 jam: Biakan muda). Bila digunakan biakan tua, terdapat kemungkinan penyimpangan hasil pewarnaan gram. Pada biakan tua, banyak sel mengalami kerusakan pada dinding-dinding selnya. Kerusakan pada dinding sel ini menyebabkan zat warna dapat keluar sewaktu dicuci dengan larutan pemucat. Ini berarti bahwa bakteri Gram positif dengan dinding sel yang rusak tidak lagi dapat mempertahankan crystal violet sehingga terlihat sebagai bakteri Gram negatif. Umumnya zat warna yang digunakan adalah garam-garam yang dibangun oleh ion-ion yang bermuatan positif dan negatif dimana salah satu ion tersebut berwarna. Zat warna dikelompokkan menjadi dua, yaitu zat pewarna yang bersifat asam dan basa. Jika ion yang mengandung warna adalah ion positif maka zat warna tersebut disebut pewarna basa. Dan bila ion yang mengandung warna adalah ion negatif maka zat warna tersebut disebut pewarna negatif (Hadioetomo, 1993).

Uji biokimiawi bakteri adalah salah satu uji yang dilakukan untuk mengidentifikasi jenis bakteri. Hal ini karena setiap jenis bakteri memiliki sifat biokimia yang berbeda. Secara morfologis, biakan maupun sel bakteri yang berbeda dapat tampak serupa. Karena itu ciri fisiologis atau biokimiawi merupakan kriteria yang amat penting didalam identifikasi spesimen yang tidak dikenal. Tanpa hasil pengamatan fisiologis yang memadai mengenai organisme yang diperiksa maka penentuan spesiesnya tidaklah mungkin dilakukan. Manusia tidak dapat melihat dan mengidentifikasi bakteri tanpa diadakan percobaan (Hadioetomo, 1993).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini tergolong penelitian eksperimental, dilakukan dengan cara pengukuran produksi biogas, mengisolasi dan mengamati ciri morfologi bakteri anaerob dari campuran sampah sayuran yang diberi tambahan kotoran sapi.

Faktor konsentrasi kotoran sapi terdiri dari 4 perlakuan yaitu:

P1 = penambahan kotoran sapi sebanyak 0% volume + 50% limbah sayuran dari total campuran

P2 = penambahan kotoran sapi sebanyak 15% + 35% limbah sayuran dari volume total campuran

P3 = penambahan kotoran sapi sebanyak 20% + 30% limbah sayuran dari volume total campuran

P4 = penambahan kotoran sapi sebanyak 25% + 25% limbah sayuran dari volume total campuran

Tabel 3.1 Rancangan Penelitian

Variabel Perlakuan	P1	P2	P3	P4
Waktu Fermentasi				
7 hari (W1)	P1W1	P2W1	P3W1	P4W1
14 hari (W2)	P1W2	P2W2	P3W2	P4W2

Keterangan:

P : Konsentrasi kotoran sapi+sampah sayuran W : Hari fermentasi ke-

P1 : 0% + 50%

W1 : 7 hari

P2 : 15% + 35%

W2 : 14 hari

P3 : 20% + 30%

P4 : 25% + 25%

Digester 7 hari dan 14 hari adalah 2 digester yang berbeda dimana waktu fermentasi dimulai bersama (digester 7 hari setelah dibuka maka tidak digunakan lagi begitu juga pada digester 14 hari).

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel dalam penelitian ini terdiri dari 2 jenis yaitu:

1. Variabel bebas meliputi konsentrasi kotoran sapi dan konsentrasi sampah sayuran.
2. Variabel terikat yakni volume biogas dan kadar metana yang dihasilkan.

3.3 Waktu dan Tempat

Penelitian tentang “Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Sebagai Penghasil Biogas” ini dilaksanakan mulai bulan September sampai Oktober 2015, isolasi dan pengamatan karakter bakteri anaerob dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *gasometer electric*, volumemeter, bioreaktor anaerobik dengan kapasitas volume 1.500 mL, selang plastik, kantong plastik ukuran 1 kg, karet gelang, autoklaf (Ogawa Seiki 6500), neraca analitik (Shimadzu AY220), *shaker*, *anaerobik jar*, jarum ose, korek api, kapas, kertas label, *aluminium foil*, tisu, cawan petri, *cling wrap*, pembakar

bunsen, kamera digital (Samsung), labu erlenmeyer (Pyrex), gelas ukur (Pyrex), pipet volume (Pyrex), mikroskop binokuler (Olympus Optical), *objec glass* dan *deck glass*.

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah sayuran yang diambil dari Pasar Besar Kota Batu, kotoran sapi perah segar yang berasal dari , akuades steril, air, alkohol 70%, spiritus, dan media *Tryptic Soy Agar* (TSA) (Merk).

3.5 Tahap Penelitian

1. Preparasi Alat dan Bahan

Semua alat dicuci bersih kemudian dikeringkan didalam oven. Cawan petri dibungkus dengan kertas HVS kemudian dimasukkan kedalam kantong plastik tahan panas. Selanjutnya semua alat yang telah dibungkus dimasukkan kedalam autoklaf untuk disterilkan dengan suhu 121°C, tekanan 1 atm dan dibiarkan selama 15 menit. Metode sterilisasi ini disebut dengan sterilisasi panas basah yaitu dengan cara perebusan dengan menggunakan air mendidih dalam autoklaf sesuai dengan temperatur dan waktu yang telah ditentukan. Metode ini memanfaatkan uap air untuk mensterilkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk penelitian. Prinsip autoklaf adalah terjadinya koagulasi yang lebih cepat dalam keadaan basah sehingga dapat membunuh mikroorganisme dengan cara mendenaturasi atau mengkoagulasi protein pada enzim dan membran sel mikroorganisme. Proses ini dapat membunuh endospore bakteri (Pratiwi, 2008).



Gambar 3.1 Bentuk bioreaktor
Keterangan: 1. Penampung gas;
2. Selang; 3. Kran; 4. Bioreaktor
(Dokumentasi Pribadi)

2. Pembuatan Media

Pembuatan media diawali dengan menimbang media *Tryptic Soy Agar* (TSA) sebanyak 40 gram, kemudian dicampur dengan aquades 1 liter dalam Erlenmeyer kemudian ditutup rapat dengan kapas dan dibungkus dengan *aluminium foil* dan plastik wrap. Selanjutnya dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* dan diaduk dengan *magnet stirrer*. Media yang telah homogen disterilisasi dengan autoklaf dengan suhu 121°C, tekanan 1 atm dan dibiarkan selama 15 menit (Hadioetomo, 1985).

3. Persiapan Sampel

a. Pembuatan Starter

Starter dibuat dari kotoran sapi perah (yang diambil dari Balai Besar Pelatihan Peternakan (BBPP) Kota Batu) dan air dengan perbandingan 1 : 1,5 yakni untuk setiap 1 kg kotoran sapi ditambahkan air

sebanyak 1,5 kg. Kemudian starter dimasukkan ke dalam toples tanggung dan dibiarkan selama 1 minggu.

Umumnya, pencampuran kotoran dari air dibuat dengan perbandingan antara 1: 3 dan 2: 1 (Uli, 1989 dalam Suyitno dkk, 2010). Di Indonesia, untuk kotoran sapi umumnya dicampur dengan air pada perbandingan 1: 1 sampai 1: 2 (Suyitno dkk, 2010).

b. Pengambilan Sampah Sayuran

Sampel campuran sampah sayuran diambil secukupnya dari Pasar Besar Kota Batu, kemudian sampah sayuran tersebut dicuci dengan air aquades hingga bersih dan dikeringkan dengan diangin-anginkan diatas nampan. Lalu sampel sampah sayuran ditimbang masing-masing 175 gram, 150 gram, 125 gram dan 250 gram. Kemudian sampah cincang untuk mengecilkan permukaan guna memudahkan mempercepat tahap hirolisisnya.

c. Pembuatan Variasi Campuran

Dalam penelitian ini dilakukan 3 variasi campuran sampah sayuran (sampel) dan kotoran sapi (starter), yaitu dengan perbandingan 80 : 20, 70 : 30, 50 : 50. Digester yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol kaca 1 liter. Untuk pembuatan biogas ini botol hanya diisi sebanyak 500 ml, dengan isi 250 ml air dan 250 ml lagi diisi dengan campuran sampel dan kotoran sapi.

1. Perbandingan 80 : 20 berisi 175 gram sampel sampah sayuran, 75 ml kotoran sapi dan 250 ml air.

2. Perbandingan 70 : 30 berisi 150 gram sampel sampah sayuran, 100 ml kotoran sapi dan 250 ml air.
3. Perbandingan 50 : 50 berisi 125 gram sampel sampah sayuran, 125 ml kotoran sapi dan 250 ml air.

Hal ini didasarkan pada penelitian Rahmayanti dkk (2013) bahwa dalam penelitian ini dilakukan 3 variasi campuran sampah pasar (sampel) dan kotoran sapi (starter), yaitu dengan perbandingan 80 : 20, 70 : 30 dan 50 : 50. Digester yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerigen 20 L. Untuk pembuatan biogas ini jerigen hanya diisi sebanyak 10 kg, dengan isi 5 kg air dan 5 kg lagi diisi dengan campuran sampel dan kotoran sapi.

Campuran (*Slurry*) yang terbentuk selanjutnya difermentasi dalam reaktor yang sudah dipersiapkan hingga terbentuk biogas. Pada botol 250 mL diberi larutan NaOH agar dapat mengikat H₂S, CO₂, dan gas-gas asam lainnya. Sehingga diharapkan yang tersisa hanya gas metan (Kapahang, 2007).

Ukuran dari biodigester tergantung dari kuantitas, kualitas bahan organik, jenis bahan organik yang ada dan temperatur proses fermentasi. Untuk di Indonesia karena temperatur sepanjang musim yang hampir stabil, maka banyak biodigester dibuat dan beroperasi pada temperatur kamar (*unheated biodigester*). Pada kondisi biodigester semacam ini, dalam perancangan biodigester, temperatur operasi dapat dipilih 1-2⁰C diatas temperatur tanah. Sedangkan RT (retention time yakni waktu bahan baku berada dalam digester [hari]) untuk biodigester

sederhana tanpa pemanasan dapat dipilih 40 hari. Selanjutnya ukuran penampungan biogas (V_g) yakni untuk keselamatan, maka ukuran penampung biogas (V_g) dibuat 10-20% lebih besar dari hasil perhitungan di atas (berdasarkan rumus dengan perhitungan). Secara umum, perancangan volume biodigester dengan volume penampung biogas dapat dibuat dengan perbandingan 3: 1 sampai 10: 1 dengan 5: 1 sampai 6: 1 adalah paling umum digunakan (Uli, 1989 dalam Suyitno dkk, 2010).

4. Analisis Biogas

Biogas yang tertampung pada kantong plastik diambil, kemudian analisis biogas dilakukan dengan melihat volume biogas dan kadar metana (CH_4) yang terkandung didalam biogas. Alat yang digunakan untuk pengukuran volume biogas yaitu volumemeter. Volumemeter. Volumemeter ini berbentuk seperti gelas ukur dengan bagian atas tertutup dan terdapat katup untuk menyalurkan biogas. Volumemeter memiliki membran yang sangat sensitif terhadap gas. Prinsip kerja dari volumemeter yaitu biogas yang dialirkan ke dalam alat tersebut menyebabkan kenaikan membran diluar volumemeter. Kenaikan membran ini akan menunjukkan jumlah volume biogas yang terlihat pada skala volumemeter (a). Kemudian, sampel biogas dalam volumemeter diambil kembali untuk dilanjutkan dengan analisis kadar metana.

Kadar metana diukur menggunakan *gasometer electric*. Prinsip kerja *gasometer electric* dalam analisis biogas yaitu pengukuran selisih massa sampel biogas dalam kantong plastik dengan masa kantong plastik tanpa biogas (b). Lalu masa bahan penyerap gas metana (trietanolamin) diukur (c). Sampel gas metana

dimasukkan ke dalam *gasometer electric*, lalu gas metana akan terabsorpsi ke dalam absorben (trietanolamin) kemudian membentuk metil-dietanolamin dan air. Hal tersebut menyebabkan cairan absorben mengalami kenaikan massa. Cairan absorben ini kemudian ditimbang menjadi massa absorben akhir (d).

Perhitungan volume biogas dan kadar gas metana dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$\text{Volume biogas (mL)} = a$$

$$\text{Kadar gas metana (\% w/v)} = d-c/b \times 100\%$$

(Sumber : Balai Penelitian dan Konsultasi Industri, 2014).

5.Isolasi Bakteri Anaerob

Pada isolasi bakteri anaerob ini digunakan media isolasi yakni media Tryptic Soya Agar (TSA). Media ini dapat digunakan untuk kultur anaerob dengan inkubasi kultur di dalam kondisi anaerobik (Oxoid, 1998).

Guna melakukan isolasi anaerob yang perlu diperhatikan adalah minimalisir kontak sampel dengan lingkungan aerob. Yakni pertama digester dibuka dan sesegera mungkin diambil 10 mL sampel dan diencerkan ke dalam aquades steril 90 mL. Kemudian dihomogenkan sampel, lalu diambil 1 mL untuk dimasukkan kedalam cawan petri steril, masing- masing sampel 2 kali ulangan atau duplo. Jadi total isolat tiap minggu ada 8 cawan petri yang kemudian diinkubasi dalam *anaerobik jar* dalam suhu ruangan (37°C) selama 5 hari (5 x 24 jam). Kemudian diamati morfologi koloni yang tumbuh.

Media Ros Bengal steril dalam labu Erlenmeyer dituangkan dalam cawan petri sebanyak 10 mL. Sampel dalam botol yang telah diuji produksi gas metan

diambil sebanyak 10 mL menggunakan pipet ukur, kemudian diencerkan dengan konsentrasi 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} dan 10^{-5} . Kemudian ditanam dalam media Ros Bengal pada masing-masing cawan petri yang telah diberi label. Selanjutnya masing-masing cawan petri dibungkus plastic tahan panas kemudian dimasukkan kedalam inkubator (*Anaerobic Jar*) dengan suhu 37°C selama 24 jam atau sampai terbentuk koloni bakteri (Kapahang, 2007).

6. Pengamatan Morfologi Bakteri Anaerob

Isolat yang telah tumbuh dari media TSA kemudian diamati koloninya dan di uji dengan pewarnaan Gram.

Isolat yang diperoleh dari kultur dalam media Ros Bengal, kemudian dilakukan identifikasi dengan beberapa pengujian , diantaranya pengecatan gram, pewarnaan endospore, pengujian katalase, Identifikasi bakteri dilakukan terhadap isolat yang diperoleh dengan berpedoman pada buku Bergey's Determinative Bacteriology (Holt *et al.*, 1994) dengan melakukan serangkaian uji morfologi dan biokimia yaitu uji pewarnaan Gram, uji motilitas, pengamatan bentuk sel, tipe penggandengan sel, sifat aerobic dan anaerobik, kemampuan tumbuh pada suhu tertentu.

a. Pewarnaan Gram

Preparat ulas dibuat pada gelas benda, difiksasi di atas api bunsen. Preparat ditetesi dengan larutan Kristal ungu, didiamkan selama 60 detik dan dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan. Preparat ditetesi dengan larutan iodine dan didiamkan selama 2 menit, dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan. Preparat ditetesi dengan alkohol 96% sampai warna ungu hilang.

Preparat ditetesi safranin dan didiamkan selama 30 detik, dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan. Preparat ditetesi dengan minyak imersi. Preparat diamati dengan mikroskop, uji gram positif jika sel berwarna ungu dan negatif jika sel berwarna merah (Hadioetomo, 1985).



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Volume Biogas (mL) yang Lebih Tinggi yang terdapat Dalam Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi

Berdasarkan uji potensi produksi biogas pada P1, P2, P3, dan P4 yang dilakukan dengan waktu fermentasi 7 hari (W1), 14 hari (W2), kemudian dianalisis volume biogas dengan *volume meter* dengan akurasi 10%, maka didapatkan data hasil volume biogas seperti tabel 4.1 (data dapat dilihat dilampiran 3) sehingga diperoleh grafik 4.1.1 (data dapat dilihat dilampiran 4) dibawah ini.

Tabel 4.1 Volume Biogas (mL)

Variabel Perlakuan	P1	P2	P3	P4
Waktu Fermentasi				
7 hari (W1)	160	198	201	158
14 hari (W2)	138	148	130	136

Keterangan:

P : Konsentrasi kotoran sapi+sampah sayuran W : Hari fermentasi ke-

P1 : 0% + 50%

W1 : 7 hari

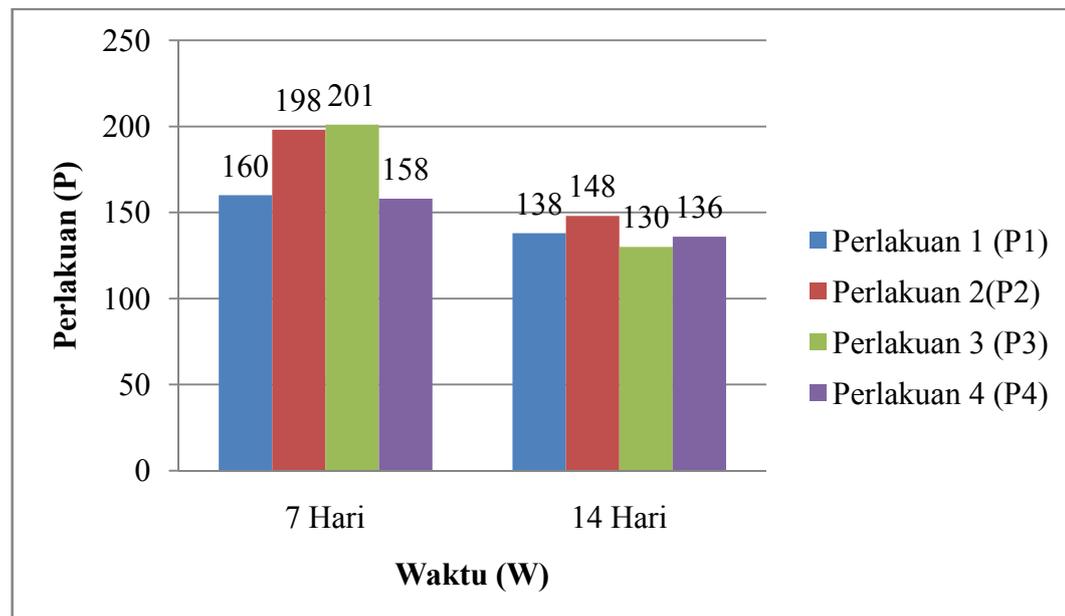
P2 : 15% + 35%

W2 : 14 hari

P3 : 20% + 30%

P4 : 25% + 25%

Digester 7 hari dan 14 hari adalah 2 digester yang berbeda dimana waktu fermentasi dimulai bersama (digester 7 hari setelah dibuka maka tidak digunakan lagi begitu juga pada digester 14 hari).



Grafik 4.1 Volume Biogas (mL) yang dihasilkan pada tiap konsentrasi.

Keterangan : P1 (0% konsentrasi kotoran sapi + 50% sampah sayuran);
 P2 (15% konsentrasi kotoran sapi + 35% sampah sayuran);
 P3 (20% konsentrasi kotoran sapi + 30% sampah sayuran);
 P4 (25% konsentrasi kotoran sapi + 25% sampah sayuran)
 dan 50% sisanya adalah air.

Data grafik di atas menunjukkan bahwa volume biogas pada 7 hari yang tertinggi adalah perlakuan ketiga yakni dengan volume 201 mL dan tertinggi kedua adalah perlakuan kedua yakni dengan volume 198 mL serta yang terendah adalah perlakuan keempat yaitu dengan volume 158 mL. Perlakuan ketiga ini memiliki komposisi 20% kotoran sapi ditambah 30% sampah sayuran yaitu 100 mL kotoran sapi ditambahkan 150 gram sampah sayuran dengan penambahan air 250 mL. Pada perlakuan ketiga ini dapat menghasilkan biogas tertinggi karena memiliki jumlah isian (sampah sayuran) dan kotoran sapi yang relatif tidak berbeda jauh dan cukup untuk memberi nutrisi bakteri untuk menghasilkan biogas yang paling tinggi pada 7 hari.

Selain nutrisi yang cukup di dalam digester juga terdapat kotoran sapi yang cukup untuk dapat menguraikan dan merombak bahan menjadi biogas. Menurut Budiyanto (2010) dalam Bahrin dkk (2011) bahwa ketika jumlah populasi bakteri meningkat, aktivitas bakteri menghasilkan gas metana dengan komposisi yang lebih besar. Termasuk juga disini bakteri non metanogen juga meningkat sehingga meningkatkan produksi biogas. Kotoran hewan merupakan sumber mikroorganisme, karena mengandung substrat yang digunakan mikroorganisme untuk produksi metan. Bakteri dalam kotoran sapi berasal dari bakteri yang hidup dalam usus disebut juga golongan *Enterobacter* (Harlia dan Suryanto, 2015 dalam Zalizar dkk, 2015).

Hal ini sesuai dengan S. Felix dkk (2012) yang menyatakan bahwa berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa variabel konsentrasi sangat berpengaruh terhadap produksi biogas dari sampah sayuran dan kotoran sapi. Semakin tinggi konsentrasi campuran, maka volume biogas yang dihasilkan juga semakin besar. Sedangkan untuk konsentrasi yang terlalu rendah, proses tidak berjalan optimum karena semakin sedikit substrat maka hasil hidrolisis akan berkurang sehingga produksi gas juga semakin rendah.

Hal ini berbeda dari penelitian Rahmayanti dkk (2013) dimana pada komposisi 70:30 ini menghasilkan biogas yang tertinggi kedua setelah komposisi 50:50. Tapi dalam penelitian ini justru pada 7 hari komposisi 70:30 menghasilkan biogas tertinggi dibandingkan komposisi lain.

Jadi pada pada perlakuan ketiga ini dapat diketahui bahwa campuran antara sampah sayuran dan kotoran sapi memiliki konsentrasi yang cukup tinggi

sehingga dapat menghasilkan biogas dengan baik. Selain nutrisi waktu rentang waktu juga berperan penting dalam pembuatan biogas. Dalam penelitian ini pada waktu 7 hari saja sudah didapatkan volume yang tinggi. Menurut Ratnaningsih (2009) bahwa produksi biogas yang dihasilkan dari masing-masing bahan dasar berbeda. Pada perlakuan C dan D (campuran kotoran sapi dengan sampah organik segar dengan perbandingan 1:3) memiliki grafik naik pada awal pembentukan biogas yang saling menyerupai, pola ini terjadi hingga hari ke-3 pengamatan. Namun, pada perlakuan D terjadi penurunan produksi pada hari ke-7. Total produksi biogas perlakuan D 1088 mL dengan masa produksi enam hari dan produksi tertinggi sebesar 346 mL.

Titik optimum produksi biogas perlakuan c terjadi pada hari ke-6. Titik optimum terjadi pada hari ke-13, tetapi dalam penelitian ini lebih cepat terjadi, karena adanya perbedaan sistem yang digunakan dan banyaknya volume bahan yang dipakai (Priyono, 2002 dalam Ratnaningsih 2009).

Sedangkan untuk 14 hari volume biogas tertinggi diperoleh pada perlakuan kedua yakni dengan volume 148 mL dan yang terendah adalah perlakuan ketiga yakni dengan volume 130 mL. Hasil pada perlakuan kedua yang tertinggi ini memiliki komposisi 15% kotoran sapi dan 35% sampah sayuran yaitu 75 mL kotoran sapi dan 175 gram sampah sayuran dan penambahan air 250 mL. Hal ini dapat terjadi karena pada komposisi ini memiliki jumlah sampah sayuran yang tinggi jika dibandingkan perlakuan pada perlakuan ketiga dan keempat, sehingga hal ini sangat memungkinkan adanya banyak nutrisi yang

terkandung di dalam digester yang dapat dicerna oleh bakteri untuk memproduksi biogas.

Dalam fase pertumbuhannya, setiap makhluk hidup membutuhkan nutrisi yang mencukupi serta kondisi lingkungan yang mendukung demi proses pertumbuhan tersebut, termasuk juga bakteri (Budiyanto dalam Bahrin dkk, 2011).

Bahan masukkan dalam pembuatan digester ini banyak sampah sayur yang berjenis kubis dimana kubis mengandung tiap 100 gramnya 1,4 gram zat protein, 0,02 gram lemak, 5,3 gram karbohidrat, dan mineral dan vitamin, yang semuanya itu dapat dirombak menjadi nutrisi bakteri (Sutrisno, 2010).

Sedangkan komposisi pada perlakuan ketiga menghasilkan biogas yang rendah mungkin dikarenakan kurangnya air sebagai pencampur dalam proses pembentukan biogas. Sebenarnya dalam konsentrasi ini terdapat sampah sayuran dan kotoran sapi yang relatif seimbang namun sedikit produsinya karena dimungkinkan kekurangan air. Menurut Harahap (2007) dalam bahannya sudah terkandung air, sehingga penambahan air tidak akan sebanyak pada bahan yang kering. Air berperan sangat penting di dalam proses biologis pembuatan biogas. Artinya jangan terlalu banyak (berlebihan) juga jangan terlalu sedikit (kekurangan).

Kecepatan produksi biogas berbeda-beda tiap perlakuan dan juga tiap digesternya. Karena dalam penelitian ini antara digester 7 hari dan 14 hari berbeda digester walaupun *start* dilakukan bersamaan. Namun hal ini tetap saja memberikan perbedaan. Perbedaan disebabkan selain faktor lingkungan eksternal

yang memang sama yaitu dibiarkan di tempat teduh dan yang tak dapat selalu manusia ikut campur tangan adalah kondisi internal di dalam digester yang sangat mungkin berbeda-beda tiap digester. Menurut Yenni dan Serly (2012) bahwa hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan kecepatan produksi biogas dan volume biogas kumulatif antara digester kontrol dan uji. Pada digester uji biogas sudah terbentuk pada hari ke-3, lebih cepat sehari dari pada digester kontrol yaitu pada hari ke-4. Produksi biogas digester uji sudah terjadi maksimal 15 hari pertama dan tidak terbentuk lagi di 15 hari terakhir, sedangkan pembentukan biogas digester kontrol baru maksimal di 15 hari terakhir.

4.2 Kadar Metana (%) yang Lebih Tinggi yang terdapat Dalam Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi

Data hasil dari persentase (%) gas metanogen ini diperoleh dengan pengujian *gasometer electric* yang memiliki akurasi kurang lebih 5%, maka didapatkan data hasil kadar metana (%) seperti tabel 4.2 (data dapat dilihat dilampiran 3) sehingga diperoleh grafik 4.2.1 (data dapat dilihat dilampiran 4) di bawah ini.

Tabel 4.2 Kadar Metana (%)

Variabel Perlakuan	P1	P2	P3	P4
Waktu Fermentasi				
7 hari (W1)	68,50	67,22	65,90	66,82
14 hari (W2)	67,75	65,80	64,95	65,10

Keterangan:

P : Konsentrasi kotoran sapi+sampah sayuran W : Hari fermentasi ke-

P1 : 0% + 50%

W1 : 7 hari

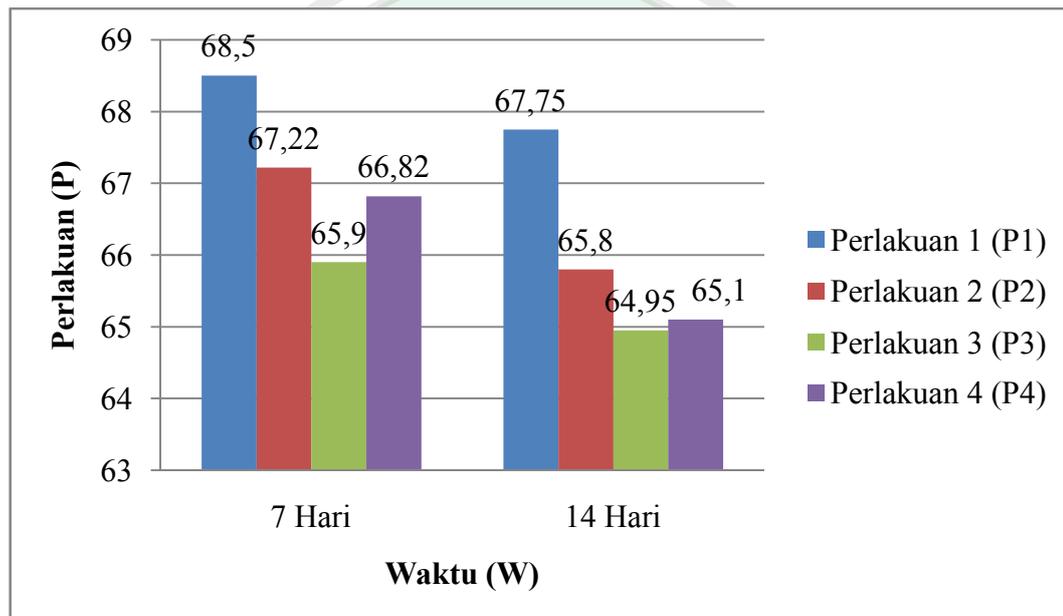
P2 : 15% + 35%

W2 : 14 hari

P3 : 20% + 30%

P4 : 25% + 25%

Digester 7 hari dan 14 hari adalah 2 digester yang berbeda dimana waktu fermentasi dimulai bersama (digester 7 hari setelah dibuka maka tidak digunakan lagi begitu juga pada digester 14 hari).



Grafik 4.2 Kadar Metana (%) yang dihasilkan pada tiap konsentrasi.

Keterangan : P1 (0% konsentrasi kotoran sapi + 50% sampah sayuran);
 P2 (15% konsentrasi kotoran sapi + 35% sampah sayuran);
 P3 (20% konsentrasi kotoran sapi + 30% sampah sayuran);
 P4 (25% konsentrasi kotoran sapi + 25% sampah sayuran)
 dan 50% sisanya adalah air.

Data kadar metana (%) pada grafik diatas menunjukkan bahwa pada 7 hari kadar metana tertinggi adalah pada perlakuan pertama yaitu 68,5% dan kadar tertinggi kedua adalah perlakuan kedua yaitu 67,22%. Sedangkan kadar metana terendah adalah perlakuan ketiga yaitu 65,9%. Pada perlakuan pertama dengan kadar metana tertinggi memiliki komposisi 0% kotoran sapi dan 50% (0 mL kotoran sapi dan 250 gram sampah sayuran) sampah sayuran. Sedangkan tertinggi kedua memiliki komposisi 15% kotoran sapi dan 35% sampah sayuran (75 mL

kotoran sapi dan 175 gram sampah sayuran). Sedangkan kadar metana terendah memiliki komposisi 20% kotoran sapi dan 30% sampah sayuran (100 mL kotoran sapi dan 150 gram sampah sayuran).

Perlakuan pertama memiliki kadar metana tertinggi padahal pada perlakuan ini tanpa kotoran sapi dan dapat mengalahkan perlakuan lain yang diberi kotoran sapi. Hal ini mungkin dikarenakan masih terdapatnya bakteri yang berasal dari tanah yang memungkinkan membentuk gas metana. Hal ini dikarenakan sampah sayuran tidak dilakukan sterilisasi sehingga mikroba tanah masih dapat bertahan hidup walaupun sudah dicuci dengan air bersih. Sangat perlu untuk diingat bahwa habitat alami bakteri metanogen adalah di tanah jadi sangat mungkin jika dalam sayur tersebut terdapat bakteri metanogen yang berasal dari tanah karena memang diambil dari tempat sampah pasar yang bersentuhan langsung dengan tanah. Dalam penelitian ini tidak dilakukan sterilisasi karena penelitian ini bertujuan untuk diaplikasikan, dan dalam aplikasinya di masyarakat tidak dilakukan sterilisasi dahulu karena tidak diperlukan. Sehingga bakteri yang berasal dari tanah tadi berperan sebagai *starter* alami. Menurut Harahap (2007) bahwa starter alami bersumber dari alam yang diketahui mengandung kelompok bakteri metan seperti lumpur aktif, timbunan sampah lama, timbunan kotoran ruminansia, dan lain-lain.

Starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik hingga menjadi biogas. Starter merupakan mikroorganisme perombak yang dijual komersial. Bisa juga menggunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen untuk mempercepat terjadinya proses fermentasi, maka perlu pada permulaan

pengumpanan perlu ditambahkan cairan yang telah mengandung banyak bakteri metan yang disebut dengan starter (Harahap, 2007). Tanah yang menempel pada sampah sayuran dapat berupa tanah biasa ataupun lumpur.

Sedangkan kadar metana terendah adalah perlakuan ketiga, dima hal ini mungkin dikarenakan gas yang banyak terbentuk adalah CO₂. Hal ini terlihat dari volume biogas yang dimiliki oleh perlakuan ketiga ini tertinggi di 7 hari dibandingkan yang lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa produksi biogas yang tinggi tidak dapat dibaut sebagai patokan bahwa kadar metana yang dihasilkan juga tinggi. Mengkin nutrisi yang cukup dalam perlakuan ketiga ini tidak dirombak menjadi gas metana seluruhnya namun menjadi CO₂. hal ini mungkin juga karena imbangan kadar C/N dalam proses perombakan yang tidak seimbang.

Rasio C/N ini sangat penting dalam pembentukan biogas, karena bila sampel terlalu banyak mengandung C maka N akan habis terlebih dahulu. Hal ini akan menyebabkan proses pembentukan gas berjalan lambat. Tetapi bila N terlalu banyak, maka C akan habis terlebih dahulu dan menyebabkan proses fermentasi berhenti. Imbangan C/N dari subsrat yang digunakan juga harus diperhatikan. Jika rasio C/N rendah, nitrogen akan cepat habis karena dikonsumsi oleh mikroorganisme, sedangkan jika rasio C/N tinggi dapat meracuni bagi mikroorganisme perombak, karena nitrogrn akan terakumulasi menjadi amoniak (Rahmayanti dkk, 2013).

Data 14 hari menunjukkan bahwa kadar metana tertinggi adalah perlakuan pertama yaitu 67,75% dan yang tertinggi kedua adalah perlakuan kedua yaitu 65,8% dan yang terendah adalah perlakuan ketiga yaitu 64,95%. Pada perlakuan

pertama memiliki kadar metana yang tinggi dikarenakan mungkin sama dengan yang 7 hari yaitu pada sampah sayuran mengandung starter alami yang berasal dari tanah tempat sayuran diambil. Sedangkan perlakuan ketiga juga dimungkinkan sama dengan 7 hari yaitu perombak berupa bakteri dari kotoran sapi tidak mengubah bahan keseluruhan menjadi gas metana melainkan gas lainnya yaitu CO₂.

Perlakuan tanpa kotoran sapi ini berbedadengan penelitian sebelumnya, dimana dalam Rahmayanti dkk (2013) menjelaskan bahwa komposisi 1:0 yang tanpa kotoran sapi memang menghasilkan biogas yang tinggi namun gas yang dihasilkan adalah CO₂. Hal ini dikarenakan proses yang berlangsung hanya sampai tahap asetogenesis sehingga hasil yang dirombak akan banyak menghasilkan gas CO₂.

Sedangkan perlakuan yang ditambahkan kotoran sapi dalam penelitian ini diharapkan dapat menaikkan jumlah biogas dan kadar gas metan. Hal ini dikarenakan kotoran sapi adalah bahan yang didalamnya kaya akan bakteri-bakteri perombak termasuk bakteri pembentuk gas metana yakni bakteri metanogen. Sebenarnya penambahan kotoran sapi disini juga dapat difungsikan sebagai pemrcepat reaksi perombakan yang terjadi mengingat bakteri yang terdapat dalam kotoran sapi adalah sangat beragam dan lengkap mulai dari bakteri hidrolitik, bakteri pembentuk asam yang berperan dalam asidogenesis dan asetogenesis.

Pada tahap ini (pembentukan gas metan) bakteri metanogenik mendekomposisikan senyawa dengan berat molekul rendah menjadi senyawa dengan berat molekul tinggi. Sebagai contoh bakteri ini menggunakan hidrogen,

CO₂ dan asam asetat untuk membentuk metana dan CO₂. Bakteri penghasil asam dan gas metana bekerja sama secara simbiosis. Bakteri penghasil asam membentuk keadaan atmosfer yang ideal untuk bakteri penghasil metana. Sedangkan bakteri pembentuk gas metana menggunakan asam yang dihasilkan bakteri penghasil asam (Sufyandi, 2001).

Lama waktu fermentasi yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencapai semua bahan organik selesai terdegradasi. Lama waktu fermentasi tergantung dari temperatur dan jenis substrat yang dipakai serta berkaitan erat dengan proses-proses pembentukan biogas (Darisa, 2014). Waktu fermentasi yang lebih lama seperti lama waktu 2 minggu, 3 minggu, dan 4 minggu ini memungkinkan bakteri hidrolitik merombak bahan organik kompleks lebih banyak (Ivonny, 2014).

Noresta *et al.* (2013) berpendapat bahwa waktu fermentasi berpengaruh terhadap komposisi biogas, waktu optimum terbentuknya gas metana yaitu pada hari ke-15 dengan besar gas metana adalah 33,92 mg. Sedangkan menurut Monnet (2003) waktu yang dibutuhkan untuk fermentasi pada kondisi mesofilik berkisar antara 15-30 hari, sedangkan pada kondisi termofilik berkisar 12-14 hari. Selain itu, Hadi (1990) juga menyatakan bahwa biogas sudah terbentuk sekitar 10 hari setelah fermentasi yaitu sekitar 0,1-0,2 m³/kg dari berat bahan kering. Penambahan waktu fermentasi dari 10 hari hingga 30 hari akan meningkatkan produksi biogas sebesar 50%.

Jadi dapat disimpulkan bahwa dalam penelitian ini penambahan kotoran sapi tidak membuat proksi kadar gas metan menjadi tinggi. Walaupun begitu

ukuran dalam dikatakan pembuatan biogas berhasil dan bagus dapat dilihat dari tingginya produksi biogas yang diimbangi dengan produksi gas metana.

Selain melakukan pengukuran volume biogas dan kadar metana dilakukan juga isolasi dan pengamatan karakter bakteri anaerob yang berasal dari campuran sampah sayuran dan kotoran sapi. Isolasi yang dilakukan pada masing-masing kontrol dan perlakuan dengan pengenceran 10^{-1} pada tiap minggunya dengan waktu inkubasi 5 hari (5 x 24 jam) dalam kondisi anaerobik dengan media TSA dalam anaerobik jar dengan penambahan anaerogen. Setelah inkubasi pada suhu ruangan kurang lebih 27°C maka diperoleh isolat yang anaerob adalah sebagai berikut (Untuk gambar isolat beserta cawan dapat dilihat dilampiran 2).

1. Isolat 4 yang terdapat pada cawan P1.U2 (Perlakuan 1 ulangan 2).

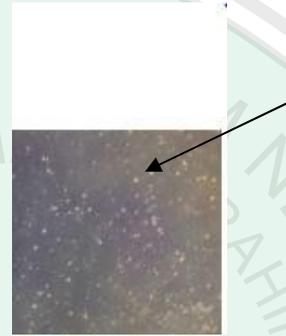
Isolat ini memiliki ciri-ciri ukuran sedang, karakteristik optik transparan atau dapat ditembus cahaya, bentuknya circular, elevasi flat, permukaan halus mengkilap, dan margins entire, berada dalam media. Selanjutnya isolat dengan ciri-ciri tersebut diatas disebut dengan B4 dan terdapat pada perlakuan.



Gambar 4.1 Isolat bakteri B4 yang diisolasi dalam media TSA
(Dokumentasi Pribadi)

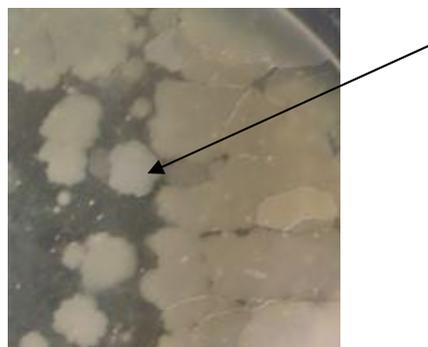
2. Isolat 2 yang terdapat pada cawan K2 (Kontrol 2), P1.U2, P2.U2, P1.U1. Isolat ini memiliki ciri-ciri ukuran kecil, karakteristik optik

translucent atau dapat ditembus cahaya sebagian, bentuknya circular, elevasi flat, permukaan halus mengkilap, dan margins entire, berada di permukaan media. Selanjutnya isolat dengan ciri-ciri tersebut diatas disebut dengan B2 dan terdapat pada perlakuan.



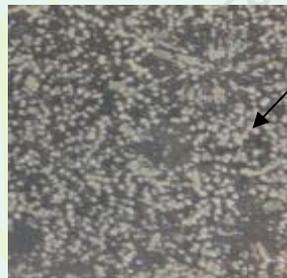
Gambar 4.2 Isolat bakteri B2 yang diisolasi dalam media TSA
(Dokumentasi Pribadi)

3. Isolat 3 yang terdapat pada cawan K2, P2.U2, P3.U2. Isolat ini memiliki ciri-ciri ukuran besar, karakteristik optik opaque atau tidak tembus cahaya, bentuknya irregular, elevasi raised, permukaan halus mengkilap, dan margins undulate, berada diatas permukaan media. Selanjutnya isolat dengan ciri-ciri tersebut diatas disebut dengan B3 dan terdapat pada perlakuan.



Gambar 4.3 Isolat bakteri B3 yang diisolasi dalam media TSA
(Dokumentasi Pribadi)

4. Isolat 1 yang terdapat pada cawan P3.U1. Isolat ini memiliki ciri-ciri ukuran kecil, karakteristik optik opaque atau tidak tembus cahaya, bentuknya circular, elevasi raised, permukaan halus mengkilap, dan margins entire, berada diatas permukaan media, penyebaran koloni sangat rapat. Selanjutnya isolat dengan ciri-ciri tersebut diatas disebut dengan B1 dan terdapat pada perlakuan.



Gambar 4.4 Isolat bakteri B1 yang diisolasi dengan media TSA
(Dokumentasi Pribadi)

Kemudian setelah dilakukan pengamatan karakter koloni secara makroskopis kemudian dilakukan pengamatan secara mikroskopis, yaitu dilakukan pewarnaan gram dan pengamatan ciri morfologi bakteri anaerob dengan menggunakan mikroskop binokuler perbesaran 1000 kali. Dengan demikian hasil identifikasi secara makroskopis dan mikroskopis menunjukkan ciri bakteri yang ditemukan juga ditemukan pada bakteri metanogen.

Identifikasi dengan pewarnaan Gram dilakukan untuk mengetahui isolat yang ditemukan adalah gram positif atau negatif. Hasil pewarnaan Gram menunjukkan bahwa B1 merupakan Gram negatif (-), B2 merupakan Gram positif

(+), B3 merupakan Gram positif (+), B4 merupakan Gram positif (+), dan B5 merupakan Gram positif (+).

Berikut tabel ciri-ciri makroskopis dan mikroskopis bakteri anaerob yang ditemukan:

Tabel 4.2.1 Ciri Morfologi Bakteri Anaerob pada Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi

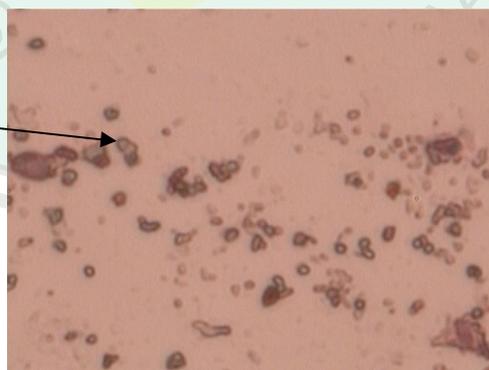
Karakter	Isolat 1 (B1)	Isolat 2 (B2)	Isolat 3 (B3)	Isolat 4 (B4)
1. Ciri Makroskopis				
Ukuran	Kecil	Pin point	Besar	Sedang
Warna	Putih susu	Putih susu	Putih	Bening
Karakteristik optik	Tidak tembus cahaya (opaque)	Tembus cahaya (translucent)	Opaque	Transparant (tembus cahaya)
Elevasi	Raised (sedikit cembung)	Flat	Raised	Flat
Permukaan		Halus mengkilap	Halus mengkilap	Halus mengkilap
Margins	Entire	Entire	Undulate (tidak rata/berombak-ombak)	Entire
Letak bakteri	Diatas permukaan media	Permukaan media	Permukaan media	Dalam media
Bentuk	Circular	Circular	Irregular (tidak berbentuk)	Circular
2. Ciri Mikroskopis				
Bentuk	coccus tidak beraturan	Batang oval pendek	Batang lurus memanjang	Seperti anggur
Gram	-	+	+	+

Pengamatan selanjutnya yaitu pengamatan morfologi sel dari isolat yang telah ditemukan. Lima isolat (B1, B2, B3, B4, dan B5) yang ditemukan yang

kemudian diwarnai dengan pewarnaan Gram, kemudian diamati dengan mikroskop dengan perbesaran 10 x 100 untuk mengetahui beberapa ciri sel isolat seperti bentuk sel, ukuran sel, struktur luar sel, dan sebagainya. Hasil pengamatan morfologi sel secara mikroskopis adalah sebagai berikut:

1. Isolat bakteri B1 memiliki ciri-ciri bentuk coccus tidak beraturan, termasuk Gram positif, ukuran lebih besar dari isolat B2 dan B3. Menurut Holt (1994) bahwa genus bakteri *Metahococcus* ini memiliki ciri – ciri bentuk coccus tiak beraturan, endospora tidak terbentuk, Gram negatif, rentan lisis oleh detergen, tidak bergerak dan sangat anaerobik.

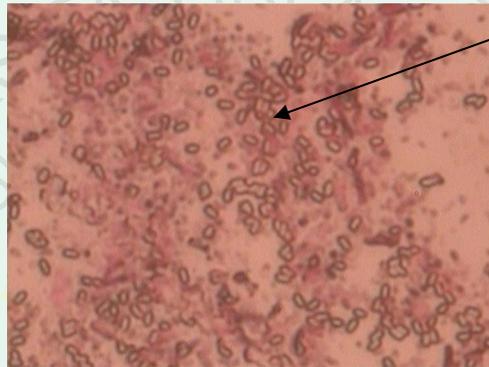
Menurut Holt *et al.* (2004), bakteri *Methanococcus* bersifat non motil, Gram Negatif, tumbuh pada kisaran suhu 30-35°C, ph 7-7,5, mereduksi metilamin menjadi CH₄, CO₂, dan NH₃.



Gambar 4.5 Isolat B1 yang di bawah mikroskop
(Dokumentasi Pribadi)

2. Isolat bakteri B2 memiliki ciri-ciri bentuk batang oval, batang pendek atau coccus, berantai maupun berpasangan, termasuk Gram positif, ukurannya lebih

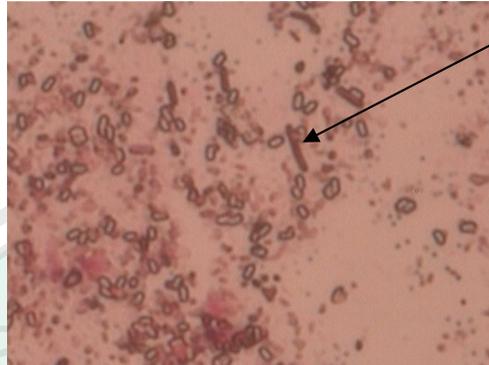
besar dari isolat B3. Menurut Holt (1994) ciri-ciri genus *Methanobrevibacter* bahwa bentuknya batang lonjong atau coccus sampai batang pendek, pada umumnya berpasangan atau berantai, endospora tidak terbentuk, Gram positif, dinding sel mengandung pseudomurein dan tidak bergerak serta sangat anaerobik.



Gambar 4.6 Isolat B2 di bawah mikroskop
(Dokumentasi Pribadi)

3. Isolat bakteri B3 memiliki ciri-ciri batang lurus memanjang, termasuk Gram positif, ukurannya paling kecil dibandingkan isolat B1, B2, B4. Menurut Holt (1994) ciri-ciri genus *Methanobacterium* adalah bentuk batang lurus sampai bengkok, filamen panjang, endospora tidak terbentuk, Gram beragam dapat positif maupun negatif, dinding sel mengandung pseudomurein, tidak bergerak, sangat anaerobik.

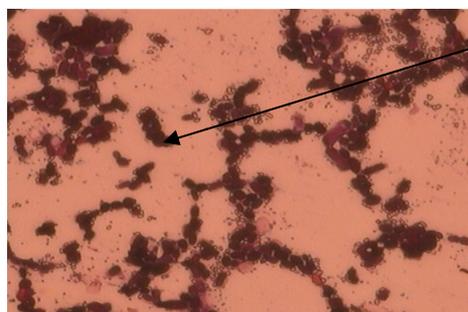
Menurut Holt *et al.* (2004), bakteri *Methanobacterium* bersifat non motil, anaerob, temperatur optimum 37-45°C untuk bakteri mesofilik dan 55°C untuk yang termofilik, energi diperoleh melalui metabolisme CO₂ menjadi CH₄, menggunakan amonia sebagai sumber nitrogen, dan sulfida sebagai sumber sulfur.



Gambar 4.7 Isolat B3 di bawah mikroskop
(Dokumentasi Pribadi)

4. Isolat bakteri B4 memiliki ciri-ciri bentuk seperti anggur (seperti kista), bergerombol, termasuk Gram positif, ukuran paling besar dibandingkan isolat B1, B2, B3. Menurut Holt (1994) bahwa ciri-ciri genus *Methanosarcina* adalah bentuk seperti kista, sel sendirian atau bergerombol, endospora tidak terbentuk, Gram dapat positif atau negatif, sangat anaerobik.

Menurut Holt *et al.* (2004), bakteri *Methanosarcina* bersifat non motil, Gram variabel, anaerob, temperatur optimum 30-40°C untuk bakteri mesofilik dan 50-55°C untuk yang termofilik, energi diperoleh melalui reduksi metilamin atau methanol menjadi CH₄, CO₂, dan H₂ dan asetat.



Gambar 4.8 Isolat B4 di bawah mikroskop
(Dokumentasi Pribadi)

Berdasarkan hasil pengamatan secara makroskopis maupun mikroskopis diatas bakteri yang ditemukan merupakan bakteri anaerob yang memiliki ciri yang juga dimiliki oleh bakteri metan. Bakteri tersebut bakteri anaerob karena poses inkubasi dilakukan dengan anaerob jadi bakteri selain bakteri anaerob tidak akan tumbuh.

Diferensiasi golongan bakteri menurut Holt *et al.*, (1994) termasuk group anaerob obligat, garam positif juga ada yang Gram negatif tetapi selnya tidak mempunyai murein dan membran luar. Membran selnya terdiri dari ikatan ester isoprenoid, dibagi dalam tiga sub group sebagai berikut:

1. Bentuknya batang, bentuk pipih atau bulat; pembentukan gas metan dari $H_2 + CO_2$, format, atau $H_2 +$ metanol; dinding selnya berisi pseudomurein; kelompok bakteri ini terdiri dari genus: *Methanobacterium*, *Mathanobrevibacter*, *Methanosphaera* dan *Methanothermus*.
2. Bentuk bulat, batang, spiral atau bentuk pipih; pembentukan gas metan berasal dari $H_2 + CO_2$, format atau alkohol + CO_2 ; tidak ada pseudomurein dan sel mengalami lisis dengan deterjen, tetapi pada sel berbentuk spiral mempunyai pelindung yang resisten; kelompok bakteri ini terdiri atas genus: *Methanogenium*, *Methanolacinia*, *Methanoplanum* dan *Methanospirillum*.
3. Pseudosarcinae, bulat, atau bentuk batang berpelindung yang mampu tumbuh pada trimethylamine atau asetat; kelompok bakteri ini terdiri

atas genus: *Methanococoides*, *Methanohalobium*, *Methanohalophilus*, *Methanolubus*, *Methanosarcina* dan *Methanotherix*.

Jadi bakteri yang ditemukan pada campuran sampah sayuran dan kotoran sapi adalah bakteri anaerob dan memiliki ciri yang juga dimiliki oleh bakteri metanogen. Bakteri metanogen ini berperan sebagai pengubah asam lemak menjadi gas metana yang bersifat mudah terbakar sehingga dapat dijadikan pengganti minyak bumi dan batu bara. Yang fungsi sehari-harinya dimasyarakat sebagai bahan bakar kompor gas untuk keperluan memasak.

Jadi dari uraian di atas maka dapat dibahas biogas dalam perspektif Islam sehingga diketahui hukum dari biogas itu sendiri. Hal ini dilakukan untuk menjawab pertanyaan tentang hukum penggunaan biogas di kalangan masyarakat Indonesia khususnya umat Islam.

Sebagaimana disebutkan bahwa kajian fiqh ketika menjawab biogas sering dikaitkan dengan istilah-istilah yang terdapat dalam literatur fiqh. Istilah-istilah tersebut adalah *dukhan* (asap), *bukhar* (uap), *ramad* (abu pembakaran), *ghubar* (debu), dan *rih* (angin). Untuk itulah, terlebih dahulu akan dibahas hakikat istilah-istilah tersebut perspektif kimia. Hal ini menjadi penting untuk memetakan hakikat istilah-istilah yang digunakan dalam literatur fiqh terhadap hakikat biogas yang akan diputuskan hukum fiqihnya pada kajian ini (Juandi dkk, 2012).

Bukhar (uap) adalah hasil penguapan. Sedang penguapan (evaporasi) adalah proses perubahan molekul dari cair menjadi gas. Penguapan terjadi karena adanya perubahan suhu pada kondisi suatu zat. Hakikat uap air tetaplah air (H₂O).

Air yang berwujud cair dengan air yang berwujud uap air memiliki hakikat yang sama. Yang berbeda hanya wujudnya. Perubahan wujud air hanya merupakan perubahan fisika karena tidak menghasilkan hakikat zat yang baru. Uap yang air terkondensasi membentuk kabut (Juandi dkk, 2012).

Dukhan (asap) adalah sisa-sisa dari pembakaran yang tidak terbakar secara sempurna. Pembakaran tidak sempurna terjadi karena oksigen yang tersedia untuk reaksi tidak mencukupi sehingga sebagian karbon tidak terbakar. Dalam pembakaran terdapat sisa material berwarna hitam yang disebut dengan arang. Komposisi arang 85%-98% terdiri dari karbon, sedang lebihnya adalah abu dan zat lain. Inilah yang dalam perspektif fiqih disebut dengan *ramad* (abu pembakaran). Sedangkan *ghubar* (debu) adalah debu ialah nama umum untuk sejumlah partikel padat kecil dengan diameter kurang dari 500 mikrometer (Juandi dkk, 2012).

Dalam perspektif kimia, kabut (uap yang terkondensasi), asap, abu serta debu disebut dengan senyawa yang berbentuk koloid berupa aerosol, yaitu fase padat terdispersi pada fase gas. Sementara metana (CH_4) sebagai unsur utama dalam biogas yang berfungsi sebagai bahan bakar disebut dengan senyawa, pada rangkaian gugus alkana (Alkana adalah rantai karbon panjang dengan ikatan-ikatan tunggal) (Juandi dkk, 2012).

Setelah dilakukan kajian yang lebih lanjut tentang biogas dalam perspektif kimia, pertanyaan dasar yang harus diajukan untuk membuktikan kesimpulan hukum biogas adalah benarkah biogas (sebagai bahan bakar) dari tinja najis dapat dianalogikan dengan *dukhan* (asap), *bukhar* (uap), *ramad* (abu pembakaran) dan

ghubar (debu) najis sebagaimana termaktub dalam literatur-literatur fiqih? Selanjutnya, dirumuskan hukum biogas dari tinja najis sebagai bahan bakar menurut perspektif fiqih sesuai dengan metode *istinbat ahkam* yang telah terumuskan dalam ilmu Fiqih-Ushul fiqih (Juandi dkk, 2012).

Ushul fiqih secara sederhana menjelaskan bahwa hukum adalah terkait dengan perbuatan, dan hukum tidak berhubungan dengan benda.

الحكم خطاب الله المتعلق بأفعال المكلفين من حيث أنه مكلف اقتضاء أو تخييراً أو بأعم وضماً

Namun, dalam kaitan dengan kesucian dan kenajisan, ada dua hukum yang terkait sekaligus, yaitu hukum suci/najis terhadap sebuah benda dan hukum memanfaatkan atau memperlakukan benda tersebut. Dalam hal ini, terdapat benda suci dan terdapat pula benda najis. Perbuatan yang terkait dengan benda suci berhubungan dengan dua pemanfaatan, yaitu memanfaatkan dalam salat dan memanfaatkan di luar salat (Juandi dkk, 2012).

Pemanfaatan dalam salat dibolehkan dalam bentuk memanfaatkan dalam bentuk tempat, pakaian, dan segala sesuatu yang terjadi dengan salat. Setiap benda yang disebut suci boleh dibawa dalam salat. Sedangkan pemanfaatan di luar salat terjadi dalam dua bentuk, yaitu memanfaatkan sebagai bahan konsumsi dan memanfaatkan bukan untuk konsumsi. Ada benda suci yang boleh dimakan dan ada pula benda suci yang tidak boleh dimakan. Kebolehan mengonsumsi benda suci bergantung pada sifat benda tersebut, apakah termasuk benda suci yang layak dimakan (makanan) ataukah benda suci yang tidak layak makan (bukan makanan). al-Qur'an menyebutkan kriteria makanan yang baik adalah makanan yang *halal* sekaligus *tayyib* (Ayat yang menjelaskan penjelasan tentang kriteria makanan

disebutkan dalam surah al-Baqarah ayat 168, surah al-Maidah ayat 88, surat al-Anfal ayat 69, dan surah an-Nahl ayat 114). *Halal* berarti makanan tersebut diperoleh dari cara-cara halal dan cara memakannya pun dilakukan dengan cara halal pula (tidak berlebihan), sedang *tayyib* berarti makanan tersebut harus mempunyai unsur gizi, nutrisi, serta vitamin yang yang dibutuhkan (Shihab, 2004:212). Sedangkan benda najis selain harus dijauhi juga tidak boleh dibawa dalam salat. Bahkan, jika terkena najis, maka harus segera dibersihkan dan disucikan. Cara membersihkan dan menyucikan najis, dilakukan dengan air atau benda yang dapat menghilangkan jejak najis, baik bau, rasa, ataupun warna (Juandi dkk, 2012).

Berpijak pada kenyataan itulah, keputusan biogas harus mempertimbangkan unsur *halal* sekaligus *tayyib*. Menjawab masalah biogas tidak hanya mempertimbangkan unsur kehalalan, namun juga unsur *ketayyiban*. Namun, pertanyaan paling mendasar, apakah biogas memenuhi unsur kehalalan dan *ketayyiban* yang diharapkan dalam konsumsi sebuah makanan. Telah disebutkan bahwa biogas adalah gas campuran metana (CH_4), gas dan materi lainnya yang didapat dari hasil penguraian material organik oleh bakteri pengurai metanogen pada sebuah biodigester. Komposisi biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar hanyalah metana, sedang gas dan materi lain tidak berfungsi sebagai bahan bakar.

Mempertimbangkan jawaban biogas dengan analogi qiyas terhadap *dukhan*, *bukhar*, *ramad* ataupun *kentut* harus dilakukan sangat cermat dan teliti. Ada beberapa jawaban untuk menjelaskan bahwa biogas adalah suci. Beberapa

jawaban ini diberikan, mengingat tinja manusia adalah benda yang sudah disepakati kenajisannya. Dalam rangka kepentingan tersebut, perlu dijelaskan (disediakan) beberapa jawaban beruntun, untuk meyakinkan bahwa biogas yang dihasilkan adalah suci. Namun demikian, jawaban ini tidak dapat menjamin kesucian secara psikologis. Dalam arti mereka yang masih jijik akan tetap sulit menerima “kesucian” biogas. Sebagaimana kejjikan “mengkonsumsi ingus” yang akhirnya menyimpulkan bahwa “mengkonsumsi ingus” adalah haram (Juandi dkk, 2012).

Beberapa jawaban tersebut adalah *pertama*, dalam referensi-referensi yang dipaparkan pada pembakaran, benda najis, pembakaran yang menghasilkan asap dan abu benda najis dilakukan atas benda najis itu sendiri (*‘ain al-Najaasah*), seperti tinja manusia dibakar menghasilkan asap dan abu, tinja unta dibakar menghasilkan asap dan abu. Sementara pembakaran biogas (yang dijadikan sebagai bahan bakar memasak, sebagai api) dilakukan pada gas. Yang dibakar bukanlah bendanya (*‘ayn al-najasah* yaitu tinja manusia), namun gas yang keluar dari benda najis itulah yang dibakar. Pada perbedaan ini, menyamakan pembakaran benda najis menghasilkan asap dan abu tidak dapat menjadi pijakan analogi pembakaran pada biogas. Pada poin ini, analogi biogas dengan asap dan abu benda najis yang menghasilkan simpulan najis batal demi hukum. Karena prasyarat utama dalam melakukan *qiyas* adalah adanya unsur kesamaan *‘illat* (Juandi dkk, 2012).

Kedua, bahwa hakekat wujud benda najis setelah diteliti dalam perspektif kimia terletak pada tingkat campuran. Sebagai ilustrasi contoh, katakanlah tinja

manusia. Dalam tinja manusia terkandung berbagai macam unsur, senyawa, hingga membentuk campuran. Ada unsur hidrogen, ada unsur natrium, ada unsur karbon, ada unsur oksigen, ada unsur kalsium, dan unsur-unsur lain. Sedang dalam perspektif biologi, tinja manusia merupakan hasil sekresi pembuangan tinja-tinja manusia yang berbahaya dan beracun (*toxic*) (Juandi dkk, 2012).

Sementara itu, biogas menurut kajian kimia berada tingkat senyawa, yaitu terdiri dari ikatan dua unsur dan membentuk sebuah sifat baru. Antara satu dengan gabungan unsur “saudara”-nya saling memengaruhi sifat pribadinya satu sama lain. Sehingga, biogas tidak dapat di*qiyaskan* dengan benda najis secara utuh. Demikian juga meng*qiyaskan* metana (CH_4) dengan *dukhan*, *bukhar*, *ghubar*, atau *ramad* perlu dipertimbangkan kembali. Metana (CH_4) adalah senyawa, sedang *dukhan*, *bukhar*, *ghubar*, atau *ramad* adalah campuran dalam struktur koloid. Dalam sistem koloid yang lebih detail, *dukhan*, *bukhar*, *ghubar*, atau *ramad* disebut dengan koloid aerosol. Sehingga meng*qiyaskan* metana (CH_4) dengan *dukhan*, *bukhar*, *ghubar*, atau *ramad* tidak bisa dilakukan, karena fase metana (CH_4) berbeda dengan *dukhan*, *bukhar*, *ghubar*, atau *ramad*. Metana (CH_4) berada pada fasa gas yang berupa senyawa, sedangkan *dukhan*, *bukhar*, *ghubar*, atau *ramad* berada pada fase campuran koloid aerosol (Juandi dkk, 2012).

Sebagai simpulan, jawaban biogas dengan metodologi *qiyas* tidak bisa dilakukan, karena rukun (unsur) paling mendasar dalam *qiyas* adalah adanya aspek keserupaan (*mushabahah* atau *wajh shibh*) antara *maqis* dan *maqis 'alayh*. Dan rukun (unsur) paling mendasar tidak cukup terpenuhi pada proses *qiyas* biogas (metana) dengan *dukhan*, *bukhar*, *ghubar*, atau *ramad*. Namun, jika

jawaban-jawaban dengan metodologi interdisipliner sains ini masih belum dapat diterima, maka akan dipaparkan dijabarkan runtutan jawaban berikutnya (Juandi dkk, 2012).

Ketiga, telah dipaparkan perdebatan tentang kesucian dan kenajisan *dukhan, bukhar, ghubar*, dan *ramad* dari benda najis. Syafi'iyah dan Hanabilah menghukumi *dukhan, bukhar, gubhar*, dan *ramad* dari benda najis adalah najis. Sementara dari kalangan Malikiyah disebutsebut terjadi perbedaan pendapat, namun pendapat yang lebih valid dari kalangan Malikiyah bahwa *dukhan, bukhar, gubhar*, dan *ramad* dari benda najis adalah suci. Sementara Hanafiyah berpendapat bahwa *dukhan, bukhar, gubhar*, dan *ramad* dari benda najis adalah suci (Juandi dkk, 2012).

Hal yang menjadi dasar bagi kalangan Hanafiyah adalah bahwa api menurut Hanafiyah dapat dijadikan sebagai sarana alat menyucikan (*mutahhir*). Selain itu, api mempunyai potensi untuk melakukan proses *istihalah* yaitu merubah satu benda dari menjadi benda lain, yang hasil perubahan ini adalah suci. Dengan bahasa yang lebih sederhana, Hanafiyah menetapkan bahwa benda baru yang dihasilkan dari proses *istihalah* menurut Hanafiyah adalah suci (Juandi dkk, 2012).

Dalam kacamata kimia, dalam reaksi proses biogas terjadi *istihalah*. Benda yang awal mulanya berupa tinja, setelah terjadi reaksi berubah menjadi benda baru yaitu biogas (metana). Proses perubahan semuanya berlangsung secara alamiah yang terjadi dalam setiap tahapan pembentukan biogas, yaitu tahap hidrolisis, tahap pengasaman (asidifikasi), dan tahap metanogenesis. Tinja yang

berbentuk selulosa, hemiselulosa, lignin, kanji, protein setelah terjadi proses *istihalah* yang panjang, berubah menjadi senyawa metana.

Tahap *istihalah* yang terjadi pada biogas sama seperti *istihalah* yang terjadi dalam proses perubahan *khamr* menjadi cuka. Dalam hal ini, semua Ulama' sepakat bahwa *khamr* yang berubah menjadi cuka adalah suci. Namun, Ulama' berbeda sepakat pada proses perubahan *khmar* menjadi cuka. Syafi'iyah menetapkan bahwa kesucian perubahan *khamr* menjadi cuka apabila perubahan tersebut terjadi dengan sendiri (*takhallul bi nafsih*). Artinya, dalam proses perubahan tersebut tidak ada benda asing sedikitpun (walaupun benda suci) yang menyentuh proses tersebut. Adanya persentuhan benda asing dalam proses perubahan *khamr* menyebabkan cuka tidak lagi menjadi suci, karena pada saat belum menjadi cuka, ada benda asing yang menyentuh *khamr* tersebut. Benda asing tersebut dengan sendirinya menjadi mutanajis. Proses reaksi perubahan benda organik menjadi biogas terjadi secara *anaerob*, yaitu proses reaksi tanpa oksigen. Artinya, tidak ada kontak langsung, proses pembentukan biogas di dalam ruang biodigester dengan udara luar (Juandi dkk, 2012).

Keempat, memurnikan dan menyucikan metana perspektif kimia. Metana (CH_4) adalah rantai karbon dalam gugus alkana yang paling sederhana. Satu atom karbon bereaksi dengan empat atom hidrogen. Sifat dasar metana (CH_4) sebagai gugus rantai karbon yang paling sederhana, metana berbentuk gas, tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berwana. Namun, kondisi yang sering dikhawatirkan pada hasil akhir terbentuknya biogas (metana) adalah metana yang dihasilkan masih terkontaminasi dengan gas-gas lain. Gas-gas lain yang paling

sering menyertai ketika metana keluar adalah H_2O dan gas H_2S . H_2O adalah air. Sedang H_2S adalah hidrogen sulfida yang mempunyai sifat berbau, beracun, dan sedikit berwarna kekuning-kuningan, karena di dalamnya terdapat unsur sulfur (belerang). Gas H_2S (hidrogen sulfida) sering dicontohkan dalam angin tinja perut (kentut) (Juandi dkk, 2012).

Dalam pembentukan biogas, terdapat langkah yang disebut purifikasi, yaitu memisah gas metana dengan gas-gas lain, sehingga gas yang dihasilkan murni metana. Langkah pemurnian biogas dari H_2O dilakukan dengan cara melewatkan biogas pada satu kolom yang terdiri dari silika gel atau karbon aktif, sehingga H_2O dapat diserap oleh silika gel atau karbon aktif (Suyitno dkk, 2010). Sedang langkah pemurnian biogas dari H_2S dilakukan dengan cara penyerapan dengan air, pemisahan dengan menggunakan membran atau absorpsi dengan absorben yaitu dengan menggunakan absorben karbon aktif (Al-Nawawi dalam Juandi dkk, 2012).

Kelima, menyucikan metana perspektif fiqih. Ini merupakan alternatif jawaban terakhir, jika semua jawaban mulai pertama hingga keempat belum juga memuaskan. Sebagaimana disebutkan pada jawaban keempat, biogas dapat disucikan dan dimurnikan dari kontaminasi gas dan zat lain. Salah satu langkah pada proses penyucian ini dilakukan dengan cara absorpsi (penyerapan) dengan air. Langkah penyerapan dengan air, menemukan justifikasi dari perspektif fiqih. Syafi'iyah berpendapat bahwa najis hanya dapat disucikan dengan air. Air yang dapat menyucikan benda najis adalah air mutlak, yaitu air yang mencapai ukuran dua *qullah* atau lebih. Air dalam wahana penyerapan biogas dengan air ini

disesuaikan dengan tata cara menyucikan najis perspektif fiqih, yaitu air dua *qullah*, yaitu sekitar 60 cm^3 (216 liter) (Juandi dkk, 2012).

Setelah memaparkan data dan menganalisisnya, dapat dibuat simpulan bahwa *pertama*, yang dimaksud dengan biogas sebagai bahan bakar adalah metana (CH_4). Gas metana yang dihasilkan di dalam biodigester tinja manusia merupakan hasil *istihalah* yang berlangsung secara kimiawi dengan keterlibatan bakteri fermentasi, bakteri asetonik, dan bakteri metanogenik. Bakteri fermentasi dan asetonik mengubah materi tinja menjadi asam asetat (cuka), carbon dioksida (CO_2) dan hidrogen (H_2). Proses perubahan materi tinja menjadi cuka merupakan proses *takhallul bi nafsih* yang mengubah materi najis menjadi materi suci. Carbon dioksida (CO_2) dan hidrogen (H_2) merupakan materi yang suci. Metana dihasilkan melalui *istihalah* asam asetat (cuka), carbon dioksida (CO_2) dan hidrogen (H_2) yang semuanya suci. Metana (CH_4) yang dihasilkan dari tinja manusia adalah suci, dan *kedua*, *digester* biogas tinja manusia perlu memiliki instalasi pemurnian untuk memisahkan metana dari gas-gas lainnya dengan cara menambahkan satu wahana *tathir* berupa instalasi penyerapan gas dengan air bervolume lebih dari dua *qullah* atau air *warid* (mengalir, memancar). Instalasi ini selain menghasilkan metana murni dari kontaminasi gas lain, juga menjamin kesucian metana yang dihasilkan (Juandi dkk, 2012).

Hukum tentang kehalalan biogas juga disampaikan oleh Mochtar (2013) dalam Buletin Pondok Pesantren Sidogiri dari Pasuruan bahwa dalam bahasa fikih, uap tersebut disebut *Bukhar*. *Bukhar* berbeda dengan dukhan yang timbul akibat pembakaran. Dalam segi hukum fikih, keduanya berbeda: *Bukhar*

hukumnya suci, sedang *Dukhan* hukumnya najis. Dari itu, pemanfaatan Bukhar (biogas) sama dengan benda suci yang lain sehingga jika dibuat memasak makanannya dihukum suci dan boleh memakannya.

Hal yang sama juga dikatakan oleh pengasuh asrama perguruan tinggi (API) Pondok Pesantren Tegalrejo Magelang Kyai Haji Muhammad Yusuf Chudlory (2015) bahwa kesimpulannya, melihat dari proses dalam pembuatan biogas, semata-mata bukan merupakan asap dari hasil kotoran yang dibakar, tapi merupakan uap kotoran yang ditampung dalam sebuah tempat yang rapat dan didiamkan untuk beberapa waktu, dari itu tidak ada keraguan sama sekali dalam menggunakannya sebagai energi alternatif pengganti elpiji. Sehingga makanan yang dimasak dengan biogas yang berasal dari kotoran binatang tidak menyebabkan hasil masakannya menjadi najis.

Makanan tersebut tetap layak dikonsumsi sebagaimana umumnya, kecuali bila masakan tersebut mengandung unsur najis dari bahan baku yang dimasukkannya, seperti masakan daging babi dan anjing (Chudlory, 2015).

Jadi berdasarkan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa penggunaan biogas adalah halal dan baik. Jadi umat islam tidak perlu ragu lagi dalam mengambil manfaat dari biogas.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Volume biogas (mL) yang lebih tinggi yang terdapat dalam campuran sampah sayuran dan kotoran sapi adalah pada perlakuan ketiga 7 hari yakni 201 mL.
2. Kadar metana (%) yang lebih tinggi yang terdapat dalam campuran sampah sayuran dan kotoran sapi adalah pada perlakuan pertama 7 hari yakni 68,5%.

5.2 Saran

Mengevaluasi dari penelitian ini maka peneliti dapat menyarankan untuk:

1. Mensterilkan substrat sampah sayuran sebelum dimasukkan kedalam digester agar dapat diketahui pengaruhnya terhadap produksi biogas.
2. Perlu dilakukan pengurutan pemberian konsentrasi kotoran sapi mulai dari yang tanpa kotoran sapi hingga dengan penambahan kotoran sapi dari konsentrasi terendah menuju tertinggi.
3. Untuk pengukuran kadar gas metana maka sebaiknya menggunakan kromatografi gas karena itu alat pengukuran yang spesifik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasi, T., Tauseef, S.M., dan Abbasi, S.A. 2012. *Biogas Energy*. London: Springer New York Dordrecht.
- Abdulkareem, A.S. 2005. *Refining Biogas Produced from Biomass: An Alternative to Cooking Gas*. Chemical Engineering Department, Federal University of Technology, Minna, Niger State, Nigeria. Leonardo Jpurnal of Sciences, Issue 7, p. 1-8, July-December 2005.
- Afrianto, L. 2004. *Menghitung Mikroba Pada Bahan Makanan, Cakrawala (Suplemen Pikiran Rakyat untuk Iptek)*. Bandung: Farmasi FMIPA ITB.
- Al-Jazairi, S.A.B.J. 2008. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar Jilid 5*. Jakarta: Darus Sunnah Press.
- Al-Jazairi, S.A.B.J. 2009. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar Jilid 6*. Jakarta: Darus Sunnah Press.
- Al-Jazairi, S.A.B.J. 2009. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar Jilid 7*. Jakarta: Darus Sunnah Press.
- Al-Manawi. 2005. *Faidul Qodir*. Kairo:Darul Hadits.
- Al-Maraghi, A.M. 1989. *Tafsir Al-Maraghi, Juz XXIII*. Semarang: Penerbit CV Tohaputra.
- Al-Maraghi, A.M. 1992. *Tafsir Al-Maraghi, Juz XIV*. Semarang: Penerbit CV Tohaputra.
- Al Saedi. 2008. *Biogas Handbook*. University of Southern Denmark Esbjerg, Neils Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark.
- Al-Qaradhawi, Y. 2001. *Islam Agama Ramah Lingkungan*. Penj. Abdullah, H.S., Lukman, H.S., dan Muhammad, S.Y. Jakarta: Pustaka Al-Kautsar.
- Asy-Syuyuthi, J. Dan Al-Mahalliy, J.M.I.A. 2010. *Tafsir Al-Jalalain*. Surabaya: Pustaka Elba.
- Bahrin, D., Anggraini, D., dan Pertiwi, M.B. 2011. Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik Pasar di Kota Palembang. *Prosiding Seminar Nasional Avoer ke 3, Palembang*. ISBN: 979-587-395-4. Pp: 283-293.

- Balai Penelitian dan Konsultasi Industri. 2014. *Petunjuk Analisis Biogas*. Surabaya: Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (BLKI).
- Bridson, E.Y. 1998. *The Oxoid Manual 8th Edition*. England: Oxoid Limited Hampsire.
- Chudlory, Muhammad Yusuf. 2015. *Hukum Memasak dengan Biogas yang Dibuat dari Kotoran Binatang*. Pengasuh Asrama Perguruan Tinggi Islam (API) Pondok Pesantren Tegalrejo Magelang.
<https://abduh38.wordpress.com/2009/02/05/hukum-memasak-dengan-biogas/>
 (diunduh pada tanggal 30 September 2015).
- Da Silva, E.J. 1979. *Biogas Generation: Development, Problems and Task-an Overview*. <http://www.unu.edu> (diunduh pada tanggal 30 September 2015).
- Darisa, D.R. 2014. *Pengaruh Perubahan Temperatur terhadap Produksi Gas Meta dari Sampah dengan Kadar Materi Terbiodegradasi (Biodegradable) Tinggi*. Skripsi. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Deublein dan Steinhauser. 2008. *Biogas from Waste and Renwable Resources an Introduction*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH Co.KgaA.
- Dewi, M. Herlina., Muchlis, R., Iir, Nur'aini, Lely, R.A., Muhammad. 2010. *Pembuatan Biodegester dengan Uji Coba Kotoran Sapi sebagai Bahan Baku*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kimia FT USM.
- Dinas kebersihan Kota Malang. 2015. *Komposisi Sampah Organik*. Dinas Kebersihan Kota Malang.
- Dinas kebersihan Kota Medan. 2005. *Komposisi Sampah Organik*. Dinas Kebersihan Kota Medan.
- Fardiaz, S. 1992. *Fisiologi Fermentasi*. Bogor: Pusat Antar Universitas-IPB.
- Fontenot, J.P., L.W. Smith dan A.L. Sutton. 1983. *Alternative Utilization of Animal Wastes*. Journal Animal Science. Vol. 57. Suppl. 2:222-223.
- Fusvita, Laifa. 2015. *Pengaruh Variasi Konsorsium Bakteri Hidrolitik dan Waktu Fermentasi terhadap Produksi Biogas dari Campuran Bahan Baku Kompos dengan Kotoran Sapi*. Skripsi. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Gunawan, D. 2013. *Produksi Biogas sebagai Sumber Energi Alternatif dari Kotoran Sapi*. Scientific Article. Vol. 1, No.2.

- Hadi, N. 1980. *Gas Bio sebagai Bahan Bakar*. Proyek Laboratorium PST PPTMGB “LEMIGAS” Cepu.
- Hadioetomo, R.S. 1985. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktik*. Jakarta: Gramedia.
- Hadioetomo, R.S. 1993. *Mikrobiologi Dasar dalam Praktik*. Jakarta: Gramedia.
- Hanbal, Bin Ahmad. 1995. *Al-Musnad*. Kairo: Darul Hadits.
- Harahap, I.V. 2007. *Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian terhadap Biogas yang Dihasilkan*. Skripsi Tidak Diterbitkan. Sumatera: Program Sarjana Universitas Sumatera Utara.
- Here, R.R.M. 2012. *Fisiologi Veteriner II: Mikroorganisme Rumen*. Denpasar: Universitas Udayana.
- Hermawan, B., Qoddriyah, LL. Dan Puspita, C. 2005. Pemanfaatan Sampah Organik Sebagai Sumber Biogas untuk Mengatasi Krisis Energi Dalam Negeri. *Karya Tulis Ilmiah Mahasiswa, Jurusan Kimia, FMIPA*. Universitas Lampung.
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, J.T., Williams, S.T. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Edisi ke 9*. Philadelphia: lippincott Williams & Wilkins. A. Wolters Company.
- Holt, J.G., Krieg, N.R., Sneath, J.T., Williams, S.T. 2004. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Edisi ke 9*. Philadelphia: lippincott Williams & Wilkins. A. Wolters Company.
- Ibnu Katsir. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 5*. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Ibnu Katsir. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 6*. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Ibnu Katsir. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 8*. Jakarta: Pustaka Imam Asy-Syafi'i.
- Ivonny, A.D. 2014. *Pengaruh Perbandingan Kotoran Sapi dengan Air dan Lama Waktu Fermentasi terhadap Produksi Biogas*. Skripsi. Surabaya: Universitas Airlangga.
- Jiwantoro. 2005. *Infrastruktur Pembangkit Biogas*. <http://www.jiwantoro.com/index.php/Artikel?start=10> (diunduh pada tanggal 7 Oktober 2015).

- Juandi, W., Khatib, M. dan Khoiriyah, U. 2012. Biogas Tinja Manusia dalam Perspektif Fiqih-Kimia. *Islamica*. Vol. 6, No. 2, Hal: 389-401.
- Kamaruddin, A., Abdul, K.I., Siregar, N., Agustina, E., Alamsyah, Yamin, M., Edy, H., Purwanto, Y.A. 1995. *Energi dan Listrik Pertanian*. Academic Development of The Graduate Program. Bogar: IPB.
- Kapahang, Ardi. 2007. *Transfer Plasmid Bakteri Metanigenik Asal Tanah Tempat Pembuangan Air Kelapa ke dalam E. coli C600 untuk Produksi Biogas Metan*. Disertasi. Bogor: Pascasarjana Institut Pertanian Bogor (IPB).
- Khalid, Aisha dan Naz, Shagufta. 2013. Isolation and Characterization of Microbial Community in Biogas Production from Different Commercially Active Fermentors in Different Regions of Gujranwala. *International Journal of Water Resources and Environmental Sciences*. Pakistan. Vol. 2, No. 2, Hal: 28-34
- LIPI. 2005. *Biogas, Sumber Energi Alternatif*. <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?cetakartikel&1124147846> (diunduh pada tanggal 30september 2015).
- Mahida, U.N. 1993. *Pencernaan Air dan Pemnfaatan Limbah Industri*. Terjemahan G. A Ticoalu. Jakarta: Raja Grafinda Persada.
- Madigan, M.T., John, M.Martiko dan Jack, P. 2003. *Brock Biology of Microorganism*. USA: Pearson Education Inc.
- Matsui et al, 2006 dalam Susanto, A. B & Yudhistira, R. A, 2009.
- Meynell. 1976. *Energy For World Agricultural*. Rome: FAO-UN.
- Mochtar, M. Masyhuri. 2013. (Ngaji of the Day) Pemanfaatan Kotoran Hewan. Buletin Pondok Pesantren Sidogiri Pasuruan, Jawa Timur. <http://harian-oftheday.blogspot.co.id/2013/06/ngaji-of-day-pemanfaatan-kotoran-hewan.html> (diunduh pada tanggal 30 September 2015).
- Moo-Young, M. 1997. *Biomass Converting Technology*. New York: Pergamon Press.
- Muktiani, A., Tampoebolon, B.I.M., dan Achmadi, J. 2007. *The In Vitro Rumen Fermentability on The Processed Vegetable Waste*. <http://www.J.Indon.Tromp.Agric> (diunduh tanggal 30 September 2015).

- Noresta, F., Jecika, Y.N., dan Faisal, M. 2013. Pengaruh Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal terhadap Produksi Biogas dari Kotoran Ayan. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 19, No. 1.
- Nur, I. dan Asnani. 2007. *Penuntun Praktikum Mikrobiologi Akuatik*. Kendari: Unhalu.
- Paimin. 2001. *Alat Pembuat Biogas dari Drum*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Pariza, M.W. dan Johnson, E.A. 2001. Evaluating the Safety of Microbial Enzyme Preparations Used in Food Processing: Update for a New Century. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. Vol. 33, Hal: 173-186.
- Pratiwi, S.T. 2008. *Mikrobiologi Farmasi*. Yogyakarta: Erlangga.
- Price, E.C. dan Cheremisinoff, P.N. 1981. Biogas Production and Utilization. *Ann Arbor Science Publiser*.
- Rahmayanti, D., Dharma, A. dan Salim, M. 2013. Fermentasi Anaerob dari Sampah Pasar untuk Pembentukan Biogas. *Jurnal Kimia Unand*. Vol. 2, No. 2, Hal : 61-66, ISSN No. 2303-3401.
- Ramadhani, M. 2010. *Pengaruh Komposisi Pakan dan Penambahan Probiotik Lactobacillus Plantarum Tsd-10 secara In Vitro terhadap Jumlah Bakteri Metanogen dan Protozoa dalam Rumen Sapi*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Raskin, L., Mackie, R.I., McMahon, K.D., Griffin, M.E. 1997. *Methanogenic Population Dynamics during Start-Up of Anaerobic Digesters Treating Municipal Solid Waste and BiosolidMatt*. *Biotechnology and Bioengineering Journal, Environmental Engineering, University of Illinois at UrbanaChampaign*. 5: 342-355.
- Raskin, L., Tumbleson, M.E., Rausch, K.D. 2007. *Microbial Diversity and Dynamics in Multi- and Single-Compartment Anaerobic Bioreactors Processing Sulfate-rich Waste Streams*. *Environmental Microbiology Journal Salle, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, USA*. 9: 93-106.
- Ratnaningsih,H., Widyatmoko, H., dan Yananto, T. 2009. Potensi Pembentukan Biogas pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar dan Kotoran Sapi dalam *Batch* Reaktor Anaerob. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Vol. 5, No. 1.

- Romli, M. 2010. *Teknologi Penanganan Limbah Anaerobik*. Bogor: TML Publikasi.
- S. Felix, A., Paramitha, S.B.U., Ikhsan, D. 2012. *Pembuatan Biogas Sampah Sayuran*. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri. Vol. 1, No. 1, pp. 103-108.
- Sahidu, S. 1983. *Kotoran Ternak Sebagai Sumber Energi*. Jakarta: Dewaruci Press.
- Said, Z. A. 2006. *Kebijakan Publik*. Yogyakarta: Suara Bebas.
- Saputra, A. 2010. *Pembuatan Biogas dari Rumput Laut Jenis Sargassum duplicatum dan Caulerpa racemosa Sebagai Bahan Energi Alternatif (Skripsi)*. Indralaya. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
- Selangor, Malaysia. 1998. Hukum Bio Gas dari Najis Tahi Lembu. <http://www.e-fatwa.gov.my/selangor?page=7> (diunduh tanggal 17 Oktober 2015).
- Sembiring. 2004. *Pengaruh Berat Tinja Ternak dan Waktu terhadap Hasil Biogas*. Laporan Penelitian. Jakarta.
- Shihab, M.Q. 2002. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, M. Quraish. 2004. *Tafsir al-Misbah: Pesan, Kesan dan Keserasian al-Qur'an*. Vol. 15. Jakarta: Lentera Hati.
- Sianturi, H.S.D. 1990. *Seminar UMI Bidang Pertanian Ke 6*. Medan.
- Simamora, S., Salundik, S., Wahyuni, S. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Minyak dan Gas dari Kotoran Ternak*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Sufyandi, A. 2001. *Informasi Teknologi Tepat Guna untuk Pedesaan Biogas*. Bandung.
- Sutrisno, Joko. 2010. *Pembuatan Biogas dari Bahan Sampah Sayuran (Kubis, Kangkung dan Bayam)*. Jurnal Teknik Waktu. Vol. 8, No. 1, Hal: 98-108.
- Suyitno, Nizam, M., Dharmanto. 2010. *Teknologi Biogas: Pembuatan, Operasional dan Pemanfaatan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Tirmidzi. 2000. *Sunan Tirmidzi*. Beirut: Dar el-Fikr.
- Volk, W., dan Wheeler, M.F. 1988. *Mikrobiologi Dasar Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

- Wellinger, A. dan Leindenberg 2000. *Process Design of Agricultural Digesters*. Nova Energie GmbH. Elggerstrsse 36. 8356 Ettenhausen, Germany.
- Widodo, T.W., dan Asari. 2009. *Teori dan Konstroksi Instalasi Biogas*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian, Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian Serpong.
- Wulandari, D. 2006. *Biomass Energi Center for Research on Engineering Application in Tropical*. Bogor: LPPM-IPB.
- Yazid, M. dan Bastianudin, A. 2011. *Seleksi Mikroba Metanogenik Menggunakan Irradiasi Gamma Untuk Peningkata Efisisensi Proses Digesti Annaerob Pembentukan Biogas*. Jurnal Iptek Nuklir Ganendra. Vol. 1, No. 14, pp. 47-55.
- Yenni, Yommi, D. dan Sherly, M.S. 2012. Uji Pembentukan Biogas dari Substrat Sampah Sayur dan Buah dengan Ko-Substrat Limbah Isi Rumen Sapi. *Jurnal Teknik Lingkungan UNAND*. Vol. 9, No. 1, Hal: 26-36.
- Yunus, Mokhammad. 1995. *Teknik Membuat dan Memanfaatkan Unit Gas Bio*. Yogyakarta: UGM Press.
- Yuwono, D. 2005. *Kompos*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Zalizar, L., Relawati, R. Dan Ariadi, B.Y. 2015. Potensi Produksi dan Ekonomi Biogas serta Implikasinya pada Kesehatan Manusia, Ternak dan Lingkungan. *Jurnal Ilmu-ilmu Peternakan*. Vol. 23, No. 3, Hal: 32-40.

LAMPIRAN 1

DIFERENSIASI GENUS, SPESIES BAKTERI METANOGENIK T METODE BERGEY'S

Lampiran 1 Diferensiasi Genus, Spesies bakteri metanogenik t metode "Bergey's

Tabel Perbedaan Karakteristik dari Genera Grup 31 Subgrup 1^a

Karakteristik	Methanobacterium	Methanobrevibacter	Methanosphaera	Methanothermus
Bentuk:				
Filamen	d	-	-	-
Tongkat	+	-	-	+
Tongkat pendek atau lancip	-	+	-	-
Bulat	-	+	+	-
Temp.Pertumbuhan	< 70°C	< 45°C	< 45°C	> 60°C
Substrat katabolik:				
H ₂ + CO ₂	+	+	-	+
Format	d	d	-	d
Asetat	-	-	-	-
Senyawa metil	-	-	-	-
Metanol + H ₂	-	-	+	-
Faktor-faktor pertumbuhan organik :				
Diwajibkan:				
Asetat	-	+	+	-
Sistein	-	-	+	-
Vitamin-vitamin	-	+	-	-
Koenztm M	-	d	-	-
2-metil butirrat atau isoleusin	-	d	+	-
Perangsang:				
Asetat	+	+	+	-
Sistein	+	d	+	-
Vitamin-vitamin	-	+	+	-
Pepton, ekstrak yeast atau cairan rumen	-	d	-	-

^a Simbol-simbol: lihat definisi-definisi stan

Lanjutan lampiran 1

Tabel Perbedaan Karakteristik dari Genera Grup 31 dan Subgrup 2^a

Karakteristik	Methano-coccus	Methano-corporusculum	Methano-culleus	Methano-genium	Methano-lacinia	Metano-microbi-um	Methano-planus	Methano-spirillum
Bentuk dan ukuran								
Coccooid kecil (<2 µm)	+	+	+	-	-	-	-	-
Coccooid besar (>1.5 µm)	-	-	-	+	d	-	-	-
Ukuran penampang (0.1-0.5 x 1.5-3 µm)	-	+	+	-	-	-	+	-
Tongkat tidak beraturan (0.6 x 1.5-2.5µm)	-	-	-	-	d	-	-	-
Kurva tongkat (0.7 x 1.5-2 µm)	-	-	-	-	-	+	-	-
α-Helical spiral (0.4 x 7-10 µm)	-	-	-	-	-	-	-	+
Gram stain reaction ^b	-	-	-	-	-	-	-	-
Motility	+	+	- ^c	- ^c	-	+	d ²	+
Substrak katabolik:								
H ₂ + CO ₂	+	+	+	+	+	+	+	+
Format	+	+	+	+	-	+	+	+
Faktor-faktor pertumbuhan organik:								
Diwajibkan:								
Asetat	-	+	+	+	+	-	+	D
Ekstrat yeast atau vitamin	-	+ ^d	d	+	-	-	-	-
Asam amino atau pepton Cairan rumen	-	+ ^d	d	d	-	-	-	-
Perangsang:								

Lanjutan lampiran 1

Tabel Perbedaan dari Genus, spesies Methanobrevibacter^a

Karakteristik	<i>M. arboriphilicus</i>	<i>M. ruminantium</i>	<i>M. smithii</i>
Morfologi:			
Lebar ca. 0.6 µm	+	+	+
Panjang <1.5 µm	-	+	+
Panjang 1-3 µm	+	-	-
Motilitas	d ^{ba}	- ^d	+ ^d
Substrak-substrak katabolik			
H ₂ + CO ₂	+	+	+
Format	d ^b	+	+
Faktor-faktor pertumbuhan organik:			
Asetat	-	+	+
Vitamin-vitamin B	+	+	+
Coenzim M	-	+	-
2-Methylbutyrate	-	+	-
Asam-asam amino	+ ^e	+	-
PH optimum:			
6-7	-	+ ^d	-
7-7.5	-	-	+ ^d
7.5-8	+ ^b	-	-

Lanjutan lampiran 1

Tabel Perbedaan dari Genus, spesies Methanothermus^a

Karakteristik	<i>M. fervidus</i>	<i>M. sociabilis</i>
Temperatur pertumbuhan optimum:		
83 °C	+	-
88 °C	-	+
Pertumbuhan pada kelompok besar (1-3 mm)	-	+
Campuran nitrogen		- ^b

Tabel Perbedaan dari Genus, spesies Methanococcus^a

Karakteristik	<i>M. deltae</i> ^b	<i>M. igneus</i> ^c	<i>M. jannaschii</i>	<i>M. maripaludis</i>	<i>M. thermolithotrophicus</i>	<i>M. vannielii</i>	<i>M. voltae</i> ^d
Motilitas	- ^a	-	+	+	+	+	+
Substrak-substrak katabolik:							
H ₂ + CO ₂	+	+	+	+	+	+	+
Format	+	-	-	+	+	+	+
Alkohol-alkohol sekunder			- ^f	- ^f	- ^g	- ^g	- ^f
Faktor-faktor pertumbuhan organik:							
Tidak ada							
Acetat, leusin, isoleusin	-	+	+	+	+	+	-
Sumber nitrogen:							
NH ₃	+	+	+	+	+	+	+
N ₂	+			+	+	-	-
Alanin	+			+		-	-
Inorganik yang diwajibkan:							
W			+ ^h			+ ⁱ	
Se		-	+ ^h	j	- ^k	+ ⁱ	j
Temperatur pertumbuhan:							
20 °C	+	-	-	+	-	+	+

30 °C	+	-	-	+	+	+	+
40 °C	+	-	-	+	+	+	+
45 °C	+	+	-	+	+	-	+
50 °C	-	+	+	-	+	-	-
70 °C	-	+	+	-	+	-	-
85 °C	-	+	+	-	-	-	-
90 °C	-	+	+	-	-	-	-
95 °C	-	-	-	-	-	-	-
Jarak pH:							
5-7		+	+	-	-	-	-
6.5-8	+ ^J	-	-	+	+	-	+
7-9	+ ^M	-	-	-	-	+	-

Tabel Perbedaan dari Genus, spesies *Methanocorpusculum*^a

Karakteristik	<i>M. aggregans</i> ^b	<i>M. bavaricum</i> ^c	<i>M. labreanum</i> ^d	<i>M. parvum</i>	<i>M. sinense</i> ^e
Substrak-substrak katabolik:					
H ₂ + CO ₂	+	+	+	+	+
Format	+	+	+	+	+
Alkohol-alkohol sekunder + CO ₂		+		+	-
Jarak optimum temperatur:					
30-35 °C	-	-	-	-	+
35-45 °C	+	+	+	+	-

Lanjutan lampiran 1

Tabel Perbedaan dari Genus, spesies *Methanolobus*^a

Karakteristik	<i>M. siciliae</i> ^b	<i>M. tindarius</i>	<i>M. vulcani</i> ^c
Substrak-substrak katabolik:			
Metilamin-metilamin atau metanol	+	+	+
Metilsulfida-metilsulfida	+		+ ^d
Temperatur pertumbuhan:			
Optimum pada 37 °C	+	+	+
Bertumbuh pada 40 °C	+	+	+
Bertumbuh pada 45 °C	+	-	+
Bertumbuh pada 48 °C	+	-	-

Tabel Perbedaan dari Genus, spesies *Methanosarcina*^a

Karakteristik	<i>M. activevonas</i>	<i>M. barkeri</i>	<i>M. frisia</i> ^b	<i>M. mazei</i>	<i>M. thermophila</i>	<i>M. vacuolata</i> ^c
Substrak-substrak katabolik:						
Metilamin-metilamin atau metanol	+	+	+	+	+	+
H ₂ + CO ₂	-	+	+	+v	+v	+
Asetat	+	+	-	d	+	+
Faktor-faktor pertumbuhan organik:						
Tidak ada <i>p</i> -Aminobenzoat	+	+	+	d ^d	-	+
Campuran nitrogen		+ ^e			f	
Temperatur pertumbuhan optimal:						
35-40 °C	+	+	+	+	-	+
50-55 °C	-	-	-	-	+	-
pH optimal	6.5 ^g	6 ^h	6.5-7.2	7 ^h	7	6 ^h
Konsentrasi umum NaCl:						
<0.15 M	-	+ ^g	-	+ ^g	+ ^h	+ ^g
0.15-0.6 M	+	- ^g	+	- ^g	+ ^h	- ^g

LAMPIRAN 2

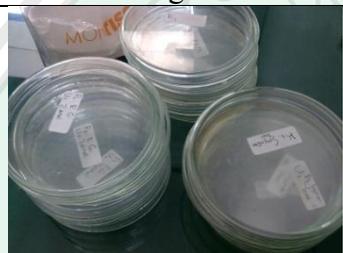
GAMBAR PENELITIAN



Biodigester



Anaerogen



Cawan Berisi Isolat



Biodigester pasca dibuka untuk Isolasi



LAF



Penuangan media



Anaerobic jar yang telah terisi cawan



Cat pewarna Gram



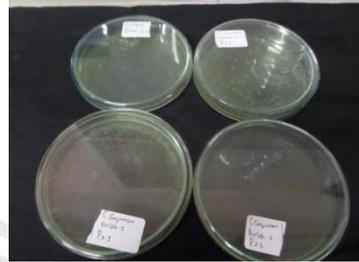
Pewarnaan Gram



Preparat isolat



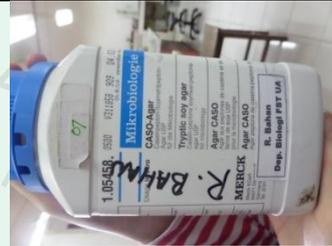
Pengamatan preparat di mikroskop



Pengamatan koloni



Pengamatan Koloni



Media TSA



LAMPIRAN 3

DATA VOLUME BIOGAS DAN KADAR METANA

BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUMPENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMURREPORT

Certificate of Analysis

No. : 05680/KI/X-2015
 Code : Penelitian
 Sampel Sender : Mhs.UIN Malang
 Sampel Name : Gas Bio Sayur
 Test : CH_4 -Vol.
 Sampel Brand :
 Sampel Identity : Gas tak berwarna
 Sampel Accepted : 20 Okt.2015

Chemical laboratory test result is :

Kode	$\text{CH}_4, \%$			Vol.ml		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
Mg I :	67,22	65,90	66,82	198	201	158
Mg II:	65,80	64,95	65,10	148	130	136

Surabaya, 5 Nop.2015



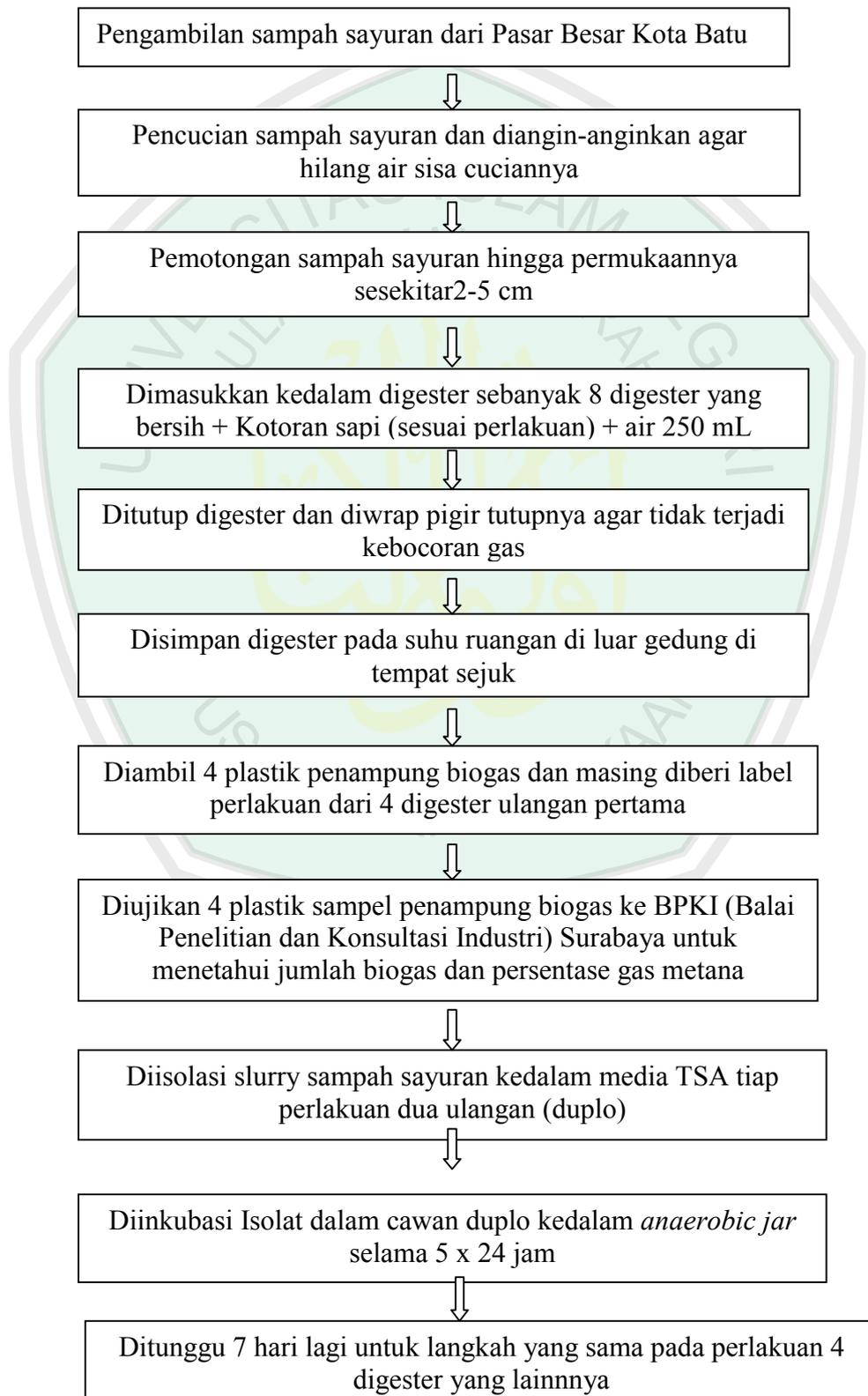
Laboratory Reseracher

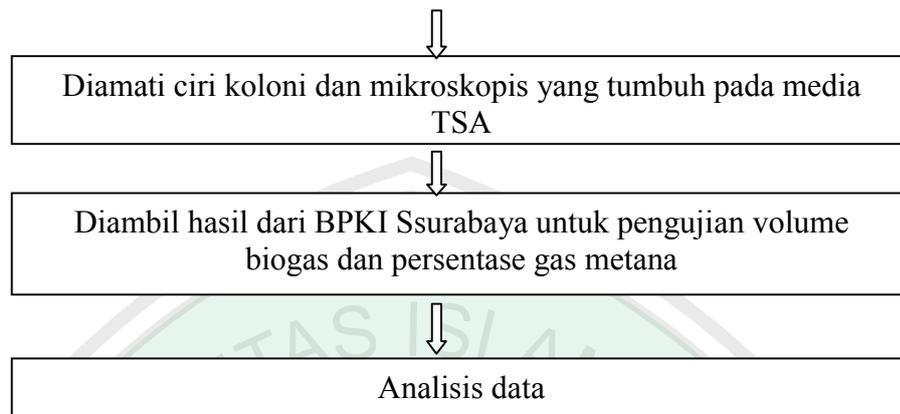
Drs. M. Fatoni, MS

Laboratory Office Jl. Ketintang Baru XVII No. 14
 Fax / Telp. 031-8281941, Bank BCA – Bank Jatim
 Surabaya

LAMPIRAN 4

FLOW CHART CARA KERJA







KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang Telp./Fax. (0341) 558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Sri Maryani
NIM : 11620056
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Biologi
Judul Skripsi : Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Sebagai Penghasil Biogas
Pembimbing I : Dr. Hj. Ulfah Utami, M.Si

No.	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	3 Februari 2015	Pengajuan Judul Skripsi	1.
2.	18 Agustus 2015	Konsultasi BAB I, II dan III	2.
3.	23 Maret 2015	Revisi BAB I, II dan III	3.
4.	25 Maret 2015	Revisi BAB III	4.
5.	11 September 2015	Seminar Proposal	5.
6.	21 Desember 2015	Konsultasi BAB I, II, III IV dan V	6.
7.	15 Januari 2016	Revisi BAB IV dan V	7.
8.	25 Januari 2016	Acc BAB I, II, III, IV dan V	8.

Malang, 25 Januari 2016
 Mengetahui,
 Ketua Jurusan Biologi

Dr. Evita Sandi Savitri, M.P.
 NIP. 19741018 200312 2 002



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang Telp./Fax. (0341) 558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Sri Maryani
NIM : 11620056
Fakultas/Jurusan : Sains dan Teknologi/Biologi
Judul Skripsi : Potensi Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi Sebagai Penghasil Biogas
Pembimbing II : M. Mukhlis Fahrudin, M.SI

No.	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	19 Maret 2015	Konsultasi AGAMA BAB I, II dan III	1.
2.	20 Desember 2015	Revisi AGAMA BAB I, II dan III	2.
3.	28 Desember 2015	Konsultasi AGAMA BAB IV dan V	3.
4.	16 Januari 2016	Revisi AGAMA BAB I, II, III, IV dan V	4.
5.	21 Januari 2016	ACC AGAMA BAB I, II, III, IV dan V	5.

Malang, 25 Januari 2016
 Mengetahui,
 Ketua Jurusan Biologi



Dr. Ewka Sandi Savitri, M.P
 NIP. 19741018 200312 2 002