

**POTENSI CAMPURAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DAN
KOTORAN SAPI SEBAGAI SUBSTRAT PENGHASIL BIOGAS**

SKRIPSI

Oleh:
PURWA SAPUTRA
NIM. 11620038



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

**POTENSI CAMPURAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DAN
KOTORAN SAPI SEBAGAI SUBSTRAT 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:
PURWA SAPUTRA
NIM. 11620038**

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

**POTENSI CAMPURAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DAN
KOTORAN SAPI SEBAGAI SUBSTRAT PENGHASIL BIOGAS**

SKRIPSI

**Oleh:
PURWA SAPUTRA
NIM. 11620038**

Telah disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ulfah Utami, M.Si
NIP. 19650509 199903 2 002

Dosen Pembimbing II



M. Makhliis Fahrudin, M.S.I
NIPT. 201402011 409

**Tanggal 11 Januari 2016
Mengetahui,
Ketua Jurusan Biologi**



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

**POTENSI CAMPURAN LIMBAH CAIR INDUSTRI TAHU DAN
KOTORAN SAPI SEBAGAI SUBSTRAT PENGHASIL BIOGAS**

SKRIPSI

Oleh:
PURWA SAPUTRA
NIM. 11620038

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

Susunan Dewan Penguji

Penguji Utama : Drs. Agus Supriyanto, M.Kes
NIP. 19620824 198903 1 002
Ketua Penguji : Ir. Lilik Harianie, M.P
NIP. 19620901 199803 2 001
Sekretaris Penguji : Dr. Ulfah Utami, M.Si
NIP. 19650509 199903 2 002
Anggota Penguji : M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I
NIPT. 201402011 409

Tanda Tangan

()

()

()

()

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Jurusan Biologi



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

**SURAT PERNYATAAN
ORISINALITAS PENELITIAN**

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Purwa Saputra
NIM : 11620038
Jurusan : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran
Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak mengandung unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali secara tertulis dikutip dalam naskah ini, disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata dalam hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 11 Januari 2016
Yang Membuat Pernyataan,



Purwa Saputra
NIM. 11620038

MOTTO

**Tiada kado yang lebih indah dari ridho Allah
Tiada nikmat yang lebih baik dari ridho kepada Allah
Tiada akhlaq yang lebih mulia dari syukur kepada Allah**



PERSEMBAHAN

Alhamdulillahillobbi ‘alamiin, segala puji dan syukur hanya milik Allah Swt., Tuhan seru sekalian alam, Dzat yang senantiasa melimpahkan rahmat, hidayah serta taufiq-Nya kepada insan-insan yang dikehendaki-Nya.

Sholawat serta salam mudah-mudahan senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad Saw. beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tulisan ini kami persembahkan kepada Ibu tercinta, Siti Nurul, dan Bapak tercinta, Bambang Supriadi, yang senantiasa memberikan dukungan, baik secara lahir maupun batin, serta menghibur dan mendoakan penulis dengan penuh keikhlasan.

Tidak lupa pula kepada sahabat-sahabat seiman seperjuangan, yang bersama-sama jatuh bangun mempertahankan diri.

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
1	ا	Tidak dilambangkan
2	ب	b
3	ت	t
4	ث	ṯ
5	ج	j
6	ح	ḥ
7	خ	kh
8	د	d
9	ذ	ḏ
10	ر	r
11	ز	z
12	س	s
13	ش	sy
14	ص	ṣ
15	ض	ḍ

No	Arab	Latin
16	ط	ṭ
17	ظ	ẓ
18	ع	‘
19	غ	g
20	ف	f
21	ق	q
22	ك	k
23	ل	l
24	م	m
25	ن	n
26	و	w
27	ه	h
28	هـ	’
29	ي	y

2. Vokal Pendek

اَ = a	كَتَبَ kataba	أَ... = ā	قَالَ qāla
إِ = i	سُئِلَ su’ila	إِي = i	قِيلَ qīla
أُ = u	يَذْهَبُ yaẓhabu	أُو = ū	يَقُولُ yaqūlu

3. Vokal Panjang

4. Diftong

أَيُّ = ai	كَيْفَ kaifa
أُو = au	حَوْلَ ḥaula

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamualaikum wr. wb

Alhamdulillah robbil ‘alamiin, segala puji dan syukur hanya milik Allah Swt., Tuhan seru sekalian alam, atas segala limpahan rahmat, hidayah serta taufiq-Nya sehingga Skripsi dengan judul “Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas” ini dapat terselesaikan dengan baik. Sholawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad Saw. beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam proses pelaksanaan penelitian hingga terselesaikannya penulisan Skripsi ini. Untuk itu ucapan banyak terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. H. Mudjia Rahardjo, M.Sc 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. Ibu Dr. Ulfah Utami, M.Si dan Bapak M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan motivasi kepada penulis dengan sabar dan ikhlas.
5. Bapak Drs. Agus Supriyanto, M.Kes selaku Pembimbing Lapangan dan Bapak Suwarni, S.Sos yang telah banyak membantu penulis dalam melaksanakan penelitian di Universitas Airlangga, Surabaya.
6. Ibu Kiptiyah, M.Si dan Ibu Ruri Siti Resmisari, M.Si selaku Dosen Wali yang banyak memberi petunjuk dan motivasi kepada penulis.
7. Ibu Ir. Lilik Harianie, M.P dan Ibu Anik Maunatin, M.P yang juga banyak memberikan masukan dan motivasi kepada penulis.

8. Segenap jajaran Bapak Ibu Dosen dan Laboran Jurusan Biologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
9. Ibu dan Bapak tercinta yang senantiasa memberikan dukungan, baik secara lahir maupun batin, serta menghibur dan mendoakan penulis dengan ikhlas sehingga penulis mampu menyelesaikan penulisan laporan Skripsi ini.
10. Masyayikh PP. Miftahul Huda Malang, Romo KH. Abdurrahman Yahya, Romo KH. Ahmad Arif Yahya, Romo KH. M. Baidlowi Muslich, dan Romo KH. M. Shohibul Kahfi, M.Pd.
11. Teman-teman Tim Metanogen (Zaenal, Faiza, dan Yani) yang banyak membantu dalam penyelesaian penelitian dan penulisan Skripsi ini.
12. Adik Ima, Yudrik, serta semua teman-teman Jurusan Biologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang angkatan 2011.
13. Adik Amel, Naili dan Nayla, Umda dan Syaraf, serta semua adik-adik Jurusan Biologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang angkatan 2012.
14. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang ikut memberikan bantuan, dukungan, saran dan pemikiran serta mendoakan penulis sehingga laporan Skripsi ini dapat terselesaikan.

Sebagai akhir kata, penulis berharap laporan Skripsi ini dapat bermanfaat khususnya bagi penulis dan umumnya bagi pembaca, serta menambah khasanah ilmu pengetahuan terlebih bagi umat Muslim.

Wassalamu'alaikum wr. wb

Malang, 11 Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	v
HALAMAN MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
PEDOMAN TRANSLITERASI	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث	xviii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan	8
1.4 Manfaat	8
1.5 Hipotesis	9
1.6 Batasan Masalah	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Deskripsi Limbah Cair Industri Tahu	11
2.2 Kandungan dan Manfaat Kotoran Sapi dalam Pembentukan Biogas	13
2.3 Biogas	16
2.3.1 Deskripsi dan Kandungan Biogas	16
2.3.2 Manfaat Biogas	19
2.3.3 Sistem Produksi Biogas	22
2.3.4 Proses Pembentukan Biogas	23
2.3.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Pembentukan Biogas..	29
2.3.6 Biogas dari Limbah Cair Industri Tahu	34
2.4 Bakteri Metanogen Sebagai Penghasil Gas Metana	36
2.4.1 Deskripsi Bakteri Metanogen	36
2.4.2 Habitat Bakteri Metanogen	38
2.4.3 Golongan Utama Bakteri Metanogen	38
2.4.4 Kondisi Optimum Bagi Kehidupan Bakteri Metanogen	41
2.5 Konsep Dasar Isolasi Mikroorganisme	42
2.5.1 Deskripsi Umum Isolasi Mikroorganisme.....	42
2.5.2 Macam-macam Teknik Isolasi Mikroorganisme	43
2.6 Pengamatan Morfologi Mikroskopis Bakteri dengan Pewarnaan Gram.	45

2.7 Biogas dari Limbah dan Kotoran Hewan dalam Pandangan Islam	46
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Rancangan Penelitian	49
3.2 Variabel Penelitian	50
3.3 Waktu dan Tempat	51
3.4 Alat dan Bahan	51
3.4.1 Alat	51
3.4.2 Bahan	52
3.5 Tahapan Penelitian	53
3.5.1 Persiapan Bioreaktor	53
3.5.2 Pembuatan Substrat dan Fermentasi Anaerob	53
3.5.3 Pembuatan Media Kultur	54
3.5.4 Analisis Volume Biogas dan Kadar Gas Metana	54
3.5.5 Analisis Efisiensi Biogas	56
3.5.6 Isolasi Bakteri Anaerob Penghasil Gas Metana dari Substrat	57
3.5.7 Pengamatan Morfologi Bakteri Anaerob Penghasil Gas Metana ..	57
3.6 Skema Prosedur Penelitian	58
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Volume Biogas dan Kadar Gas Metana pada Tiap Perlakuan	59
4.1.1 Volume Biogas pada Tiap Perlakuan	59
4.1.2 Kadar Gas Metana dalam Biogas	62
4.2 Bakteri Anaerob Penghasil Gas Metana dari Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi	68
4.3 Hukum Biogas dari Limbah dan Kotoran Hewan dalam Islam	71
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kotoran Sapi	14
Tabel 2.2	Komposisi Senyawa Penyusun Biogas	17
Tabel 3.1	Gambaran Rancangan Penelitian	50
Tabel 4.1	Volume Biogas pada Tiap Perlakuan	59
Tabel 4.2	Kadar Gas Metana dalam Biogas	63
Tabel 4.3	Karakter Morfologi Makroskopis Hasil Isolat Bakteri	69
Tabel 4.4	Karakter Morfologi Mikroskopis Hasil Isolat Bakteri	70



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pembentukan Biogas	25
Gambar 3.1	Pengambilan Bahan Penelitian	52
Gambar 3.2	Bioreaktor Anaerobik	53
Gambar 3.3	Gasometer Elektrik	56
Gambar 3.4	Skema Prosedur Penelitian	58
Gambar 4.1	Volume Biogas pada Tiap Perlakuan	60
Gambar 4.2	Kadar Gas Metana dalam Biogas	63



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Dokumentasi Penelitian	83
Lampiran 2	Ayat Al-Qur'an dan Hadits	89
Lampiran 3	Scan Hasil Analisis Volume Biogas dan Kadar Gas Metana..	91



ABSTRAK

Saputra, Purwa. 2016. **Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas**. Skripsi. Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Dosen Pembimbing: (I) Dr. Ulfah Utami, M.Si. (II) M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I.

Kata Kunci: Limbah cair tahu, kotoran sapi, biogas, metana, bakteri metanogen

Limbah cair industri tahu merupakan hasil sampingan (buangan) dari proses pembuatan tahu yang berbentuk cair. Sedangkan kotoran sapi merupakan limbah buangan (feses) dari sapi yang berbentuk solid atau semi solid. Limbah-limbah organik ini dapat menimbulkan masalah lingkungan jika tidak diolah dengan tepat, seperti pencemaran dan bau busuk. Biogas sebagai salah satu sumber energi alternatif yang aman dan ekonomis diproduksi dari fermentasi materi-materi organik, termasuk limbah organik. Dilaporkan bahwa limbah cair industri tahu dan kotoran sapi memiliki potensi untuk diolah menjadi biogas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui komposisi yang optimal dalam pembuatan biogas dari limbah cair industri tahu dengan kotoran sapi, serta mengetahui bakteri anaerob penghasil gas metana dari campuran tersebut.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya dan Laboratorium Optik Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Jenis penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif-kualitatif. Tahapan penelitian ini meliputi persiapan bioreaktor fermentasi anaerob, pembuatan substrat fermentasi, proses fermentasi anaerob dalam bioreaktor, analisis volume biogas dan kadar gas metana, analisis efisiensi biogas, serta isolasi dan pengamatan morfologi bakteri anaerob penghasil gas metana.

Penelitian ini menggunakan 4 variasi campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi yaitu X1 (100% : 0%), X2 (75% : 25%), X3 (50% : 50%), dan X4 (25% : 75%), dengan 3 variasi waktu fermentasi waktu yaitu 01 (7 hari), 02 (14 hari), dan 03 (21 hari) tanpa dilakukan pengulangan. Dilakukan pula isolasi dan pengamatan morfologi bakteri anaerob yang menghasilkan gas metana dari masing-masing campuran substrat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa X3-03 menghasilkan volume biogas tertinggi yaitu sebesar 251 mL, sedangkan X4-01 menghasilkan kadar gas metana tertinggi yaitu sebesar 78,9%. Selanjutnya diperoleh 3 macam isolat bakteri anaerob penghasil gas metana yaitu Iso-1, Iso-2, dan Iso-3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan ulangan dari tiap-tiap variasi perlakuan dan analisis statistika; serta isolasi, identifikasi dan karakterisasi bakteri-bakteri anaerob dari substrat campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi.

ABSTRACT

Saputra, Purwa. 2016. **Potential of Mixed Tofu Liquid Waste and Cow Dung as Substrate Producers of Biogas**. Thesis. Department of Biology, Faculty of Science and Technology of the State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang.

Advisors: (I) Dr. Ulfah Utami, M.Si. (II) M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I.

Keywords: tofu liquid waste, cow dung, biogas, methane, methanogenic bacteria

Tofu liquid waste is by-product (waste) from the process of making tofu in the shape of liquid. Cow dung is waste (feces) of cow in the form of solid or semi solid. These organic wastes can cause environmental problems if not treated appropriately, such as pollution and stench. Biogas as one of the alternative energy sources that are safe and economically is produced from the fermentation of organic materials, including organic waste. It was reported that tofu liquid waste and cow dung has the potential to be processed into biogas. The purpose of this research is to know the optimal composition of tofu liquid waste and cow dung in biogas producing; as well as to know anaerobic bacteria that produce methane from the mixture.

This research was conducted in the Microbiology Laboratory, Biology Department of Science and Technology Faculty, Airlangga University, Surabaya, and Optical Laboratory, Biology Department of Science and Technology Faculty, State Islamic University Maulana Malik Ibrahim. This type of research is descriptive quantitative-qualitative. The stages of this research included anaerobic bioreactor fermentation preparation, making of fermentation substrates, anaerobic fermentation process in bioreactor, analysis of biogas volume and methane gas levels, analysis of biogas efficiency, as well as isolation and morphological observation of anaerobic bacteria that produce methane.

This research used 4 variations of mixed tofu liquid waste and cow dung, X1 (100% : 0%), X2 (75% : 25%), X3 (50% : 50%), and X4 (25% : 75%), with 3 variations of fermentation time, 01 (7 days), 02 (14 days), and 03 (21 days) without performed repetition. Also did isolation and morphological observation of anaerobic bacteria that produce methane of each mixed substrate. The results showed that X3-03 generate the highest volume of biogas amount 251 mL, and X4-01 produce the highest level of methane amount 78,9%. Subsequently retrieved 3 kinds of anaerobic bacteria isolates that produce methane, Iso-1, Iso-2, and Iso-3. Further research needs to be done by adding repetition of every variations and treatments, and also statistical analysis of the result; as well as the isolation, identification and characterization of anaerobic bacteria obtained from the substrate.

مستخلص البحث

سافوترا, فوروا, 2016. احتمال مزيج النفايات الصناعية التوفو والروث البقر كركيزة المحصلة لغاز حيوي. بحث جامعي. قسم الأحياء بكلية العلوم و التكنولوجيا بجامعة الاسلامية الحكومية مولانا مالك ابراهيم مالانج.

المشرف : دكتورة ألفة أوتامى الماجستيرة ومحمد مخلص فخر الدين.الماجستير

الكلمات الأساسية : مزيجالنفايات الصناعية, روثالبقر, غاز حيوي, ميثان, متانورن البكتيريا.

النفايات الصناعية التوفو من احاصل العرض (المرمى) من التوفو المائع. في حين من الروث النفات العرض (الغائط) من البقر جامدا او نصف جامد. تطلع من النفايات العضوية مشكلة في البيعة إذ لم يربح صحيحا, مثل التلوث و الرياح. غاز حيوي كأحد اصول حيوي رديف الأمني و المقتصد يحصل من اختمار بكتيريا العضوي, و ايضا النفايات العضوية. يعلن كذلك أنّ النفايات الصناعية التوفو و الروث احتمال رعبتهما ليكونا غاز حيوي. فالمراد بهذا البحث لمعرفة عفن أمثل في تحصيل غاز حيوي من النفايات الصناعية التوفو و الروث, ثم لمعرفة أناكروبيا من تخليطه المساوى بصفة الصغيرة متانورن البكتيريا.

يعمل البحث بعمل الميكروبيولوجيا لقسم الأحياء بكلية العلوم و التكنولوجيا بجامعة أثير لانجا سورابايا و معمل بصري بقسم الأحياء بكلية العلوم و التكنولوجيا بجامعة الاسلامية الحكومية مولانا مالك ابراهيم مالانج. فالجنس البحث المستعمل العددي-الكفائي الوصفي. والطبقة لهذا البحث تتكون من استعداد مفاعل حيوي لاختمار أناكروبيا و صناعة الركيزة الاختمارية و عمليات الاختمار الاهواثيان في المفاعلات الحيوية و تحليل المجلدات الغاز الحيوي و قدر الغاز الميثان و تحليل الكفائي الحيوي, مع انخلاع و ملاحظة الأشكال النضارية أناكروبيا البكتيريا تملك تلك التشابهات بصفة الاشكال النضارية المتانورين البكتيريا.

تستخدم هذه الدراسة إلى أربعة ألوان من تخليط النفايات الصناعية التوفو و روث على وهي, X1(0% : 100%), X2 (25% : 75%), X3 (50% : 50%), X4(25% : 75%) بثلاثة ألوان الوقت الاختمار و هي (7 أيام), (14 يوما), (21 يوما) بعدم اعادة. ثم يفعل كذلك انخلاع و اتباع الأشكال المورفولوجية أناكروبيا التي تشبه بصفة المورفولوجية متانورن البكتيريا من سائر الركيزة المختلطة. استعمالية X3-03 بمقدار غاز حيوي 251 mL و قدر X4-01 غاز ميثان 78,9%. ثم يحصل منها ثلاثة انواع من خللاع أناكروبيا البكتيريا المشبه بصفة الأشكال التضارسية ميثانو إيرو واحد و إيرو اثنين و إيرو الثلاثة. ثم يحتاج بعد البحث استمرار المستوالي بزيادة الاعادة من سائر المعاملة المختلفة و التحليل الإحصائي و الانخلاع و المطالعة و التقسيم لأناكروبيا البكتيريا ما يحصل من ركيزةالنفايات الصناعية التوفو وروث البقر.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai bermacam-macam sumber daya alam. Ditambahkan oleh Rahayu dkk. (2009), sebagai negara agraris yang beriklim tropis Indonesia memiliki sumber daya pertanian dan peternakan yang cukup besar. Sumber daya tersebut diolah sedemikian rupa hingga menghasilkan produk-produk yang lebih berdaya guna. Namun demikian dari proses pengolahan tersebut juga dihasilkan limbah sebagai hasil samping.

Limbah dapat terbentuk langsung dari proses alam maupun dari kegiatan manusia. Limbah dari kegiatan manusia, antara lain limbah pertanian, peternakan, industri dan konsumsi, terdiri dari tiga, yaitu limbah padat, limbah cair dan limbah gas (Saputra, 2010). Limbah akan menimbulkan dampak negatif baik langsung maupun tidak langsung pada kehidupan manusia dan lingkungan. Dampak langsung berupa pencemaran lingkungan menimbulkan bau busuk karena limbah organik terdegradasi oleh mikroorganisme dan menimbulkan berbagai penyakit karena adanya bakteri patogen. Sehingga perlu dilakukan pengolahan limbah agar tidak mencemari lingkungan dan memanfaatkannya untuk meningkatkan nilai ekonomis (Septiana dkk., 2009).

Berkaitan dengan masalah limbah ini, agar tidak mencemari lingkungan dan dapat dimanfaatkan maka dibutuhkan insan yang berakal sehat, yang memiliki kapabilitas dalam memikirkan ciptaan-ciptaan di langit serta di bumi.

Allah Swt. telah berfirman dalam surah Ali Imron ayat 191 tentang ciri khas insan yang berakal, yang memahami bahwa tidak ada ciptaan-Nya yang sia-sia:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): ‘Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka’.” (QS. Ali Imron: 191)

Makna dari surah Ali Imron ayat 191 tersebut dijelaskan dalam Tafsir Ibnu Kasir adalah sebagai berikut:

“(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), ‘Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia.’” Tidak sekali-kali Engkau ciptakan semuanya sia-sia melainkan dengan sebenarnya, agar orang-orang yang berbuat buruk dalam perbuatannya Engkau berikan balasan yang setimpal kepada mereka, dan Engkau berikan pahala yang baik kepada orang-orang yang berbuat baik. Lalu “Mahasuci Engkau”, yaitu Mahasuci Engkau dari perbuatan menciptakan sesuatu dengan sia-sia. Dan “maka peliharalah kami dari siksa neraka”, yaitu Peliharalah kami, wahai Tuhan yang menciptakan semua makhluk dengan sebenarnya dan adil. Wahai Tuhan Yang Mahasuci dari segala kekurangan, cela dan perbuatan sia-sia, peliharalah kami dari azab neraka dengan upaya dan kekuatan-Mu. Berilah kami taufik (bimbingan) untuk mengerjakan amal-amal yang menyebabkan Engkau ridlo kepada kami. Berilah kami taufik kepada amal saleh yang dapat menuntun kami ke dalam surga yang penuh dengan kenikmatan. Lindungilah kami dari azab-Mu yang amat pedih (ad-Dimasyqi, 2000^a).

Surah Ali Imron ayat 191 tersebut menyebutkan ciri khas insan yang berakal yaitu orang-orang yang mengingat Allah Swt. sambil berdiri atau duduk atau dalam keadaan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi, yang memahami bahwa tidak ada satu pun dari ciptaan-Nya yang sia-

sia. Sebagian orang awam masih cenderung berpikir sempit tentang kemanfaatan terhadap sesuatu ciptaan Allah. Sesuatu yang bermanfaat cenderung ditujukan terhadap hal-hal yang berasa nikmat dan baik, sedangkan pada hal-hal yang tidak nikmat dan bahkan merugikan cenderung dianggap buruk dan tidak bermanfaat. Seperti halnya limbah organik, yang oleh sebagian orang masih cenderung dianggap tidak berguna bahkan merugikan. Tetapi dewasa ini, seiring dengan meningkatnya krisis pangan dan energi, banyak penelitian digalakkan khususnya tentang pengolahan pangan dan energi dari bahan-bahan organik (termasuk limbah) yang kurang dimanfaatkan bahkan terbuang percuma. Bagi seorang muslim, surah Ali Imron ayat 191 tersebut, ditunjang dengan fakta-fakta terkini di lapangan tentang pengolahan lingkungan menjadi inspirasi dan motivasi untuk melakukan pengembangan dan peningkatan nilai guna dari materi-materi atau substansi yang kurang termanfaatkan bahkan merugikan. Salah satu dari materi atau substansi tersebut adalah limbah organik.

Menurut Saputra (2010), dalam melakukan pengolahan limbah, telah banyak diterapkan berbagai cara perlakuan, seperti perlakuan fisik, kimia dan biologi. Limbah organik berpotensi untuk diolah dan dimanfaatkan dalam berbagai bidang kehidupan, seperti pertanian, peternakan, dan energi, terutama sebagai komponen alternatif pengganti bahan-bahan yang kurang ramah lingkungan. Khaerunnisa dan Ika (2013) menyatakan, seiring dengan krisis energi di dunia, banyak penelitian dilakukan untuk mencari energi alternatif yang dapat terbarukan (*renewable resources*). Menurut Haryati (2006), pemanfaatan energi

alternatif ini dapat menurunkan emisi CO. Salah satu sumber energi alternatif itu adalah biogas, yang dapat diproduksi dengan memanfaatkan limbah organik.

Biogas adalah setiap bahan bakar baik padatan, cairan ataupun gas yang dihasilkan dari bahan-bahan organik (Coniwanti dkk., 2009). Biogas merupakan gas yang mudah terbakar (*flammable*) dan didominasi senyawa metana (CH_4) dan senyawa CO_2 . Gas ini dihasilkan dari proses fermentasi bahan-bahan organik oleh bakteri anaerob yang tahan pada wilayah atau area yang kedap udara. Semua jenis bahan organik yang mengandung senyawa karbohidrat, protein, lemak bisa diproses untuk menghasilkan biogas (Bahrin dkk., 2011).

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang ramah lingkungan. Hal ini disebabkan biogas yang kandungannya terbesar adalah metana (CH_4) jika terlepas ke atmosfer akan menjadi penyumbang terjadinya efek rumah kaca. Dengan pemanfaatan ini CH_4 akan mengalami pembakaran sempurna membentuk CO_2 yang akan dilepaskan ke lingkungan. Gas CO_2 yang dilepaskan ke lingkungan akan diserap oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis, artinya pelepasan CO_2 ke alam lebih ramah lingkungan dari pada pelepasan CH_4 langsung ke alam, karena CH_4 tidak dapat diserap oleh tumbuhan (Rahayu dkk., 2012).

Gunawan (2013) menambahkan, biogas berpotensi menjadi energi ramah lingkungan karena memiliki rantai karbon yang pendek. Bahkan biogas yang berupa gas metana hanya memiliki 1 atom karbon. Maka setiap pembakaran 1 molekul biogas hanya menghasilkan 1 molekul karbondioksida. Berbeda dengan bensin yang memiliki jumlah atom karbon sekitar 7-8. Akibatnya, setiap

pembakaran 1 molekul bensin menghasilkan karbondioksida sebanyak 7-8 molekul.

Biogas banyak diproduksi dari limbah-limbah organik, salah satunya adalah limbah industri tahu. Sadzali (2010) menyebutkan, pada tahun 2010 sampai bulan Mei, tercatat jumlah industri tahu di Indonesia mencapai 84.000 unit usaha, dengan produksi lebih dari 2,56 juta ton per hari. Penyebaran industri tahu sekitar 80% terdapat di pulau Jawa, sehingga limbah yang dihasilkan diperkirakan 80% lebih tinggi dibandingkan industri tahu di luar pulau Jawa.

Limbah industri tahu terdiri dari dua jenis, yaitu limbah cair dan padat. Dari kedua jenis limbah tersebut, limbah cair merupakan bagian terbesar dan berpotensi mencemari lingkungan. Limbah cair yang dikeluarkan oleh industri tahu masih menjadi masalah bagi lingkungan sekitarnya, karena pada umumnya industri rumah tangga ini mengalirkan air limbahnya langsung ke selokan atau sungai tanpa diolah terlebih dahulu (Pohan, 2008). Pembuangan limbah ini mempunyai akibat yang cukup membahayakan bagi masyarakat dan lingkungan sekitar. Selain aromanya yang kurang enak, pembuangan limbah ini juga bisa menjadi tempat munculnya berbagai bibit penyakit, pengaruh efek rumah kaca, merusak keindahan lingkungan dan akibat-akibat lainnya (Coniwanti dkk., 2009).

Kaswinarni (2007) menambahkan, jika air limbah ini merembes ke dalam tanah yang dekat dengan sumur maka air sumur itu tidak dapat dimanfaatkan lagi. Jika limbah ini dialirkan ke sungai maka akan mencemari sungai dan bila masih digunakan akan menimbulkan gangguan kesehatan yang berupa penyakit gatal, diare, kolera, radang usus dan penyakit lainnya, khususnya yang berkaitan dengan

air yang kotor dan sanitasi lingkungan yang tidak baik. Oleh karena itu maka perlu adanya pengolahan terhadap limbah tersebut, salah satunya adalah dengan cara fermentasi yang dapat menghasilkan biogas (Sadzali, 2010).

Limbah cair tahu masih mengandung bahan organik, seperti protein, karbohidrat, dan lemak (Astuti, 2007). Kandungan protein dalam limbah cair tahu mencapai 40-60%, dengan 25-50% karbohidrat dan 10% lemak (Sugiharto, 1994; Madaniyah, 2013). Komposisi tersebut memungkinkan limbah cair tahu untuk dikembangkan menjadi alternatif sebagai penghasil biogas (Wagiman, 2007). Tingginya kandungan protein dalam limbah cair tahu memungkinkan terdapatnya bakteri yang memanfaatkannya sebagai sumber nutrisi (Madaniyah, 2013).

Selain limbah industri tahu, limbah ternak juga sangat potensial untuk diolah, salah satunya adalah kotoran sapi. Menurut Sunaryo (2014), kotoran sapi dapat dimanfaatkan menjadi produk yang berdaya guna dan mempunyai nilai ekonomi di antaranya sebagai biogas dan pupuk organik. Pemanfaatan biogas dari kotoran sapi dapat digunakan untuk memasak, pengganti bahan bakar bensin untuk penggerak motor dan lampu petromax. Wati dan Sugito (2013) menegaskan, kotoran sapi merupakan substrat yang paling cocok untuk pemanfaatan biogas. Di dalam kotoran sapi terdapat bakteri fermentatif seperti bakteri hidrolitik, bakteri asetonik, dan bakteri metanogen (Christy *et al.*, 2014). Di mana bakteri fermentatif tersebut berperan sebagai dekomposer dalam degradasi materi-materi organik hingga menghasilkan biogas.

Penelitian tentang biogas dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi telah dilakukan oleh Angraini dkk. (2014) dengan 2 variasi

perbandingan limbah cair tahu dan kotoran sapi yaitu variasi 1 (15 L limbah cair tahu : 2,5 L kotoran sapi); dan variasi 2 (15 L limbah cair tahu : 1,5 L kotoran sapi). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa selama fermentasi 30 hari, variasi 1 menghasilkan gas metana lebih banyak daripada variasi 2, yaitu sebesar 0,399% (untuk variasi 1) dan 0,024% (untuk variasi 2). Akan tetapi kadar gas metana yang dihasilkan dalam penelitian tersebut masih terbilang kecil. Sementara penelitian yang dilakukan Wati dan Sugito (2013) dengan 3 variasi perbandingan limbah cair tahu dan kotoran sapi yaitu variasi 1 (10% kotoran sapi : 90% limbah cair tahu); variasi 2 (25% kotoran sapi : 75% limbah cair tahu); dan variasi 3 (50% kotoran sapi : 50% limbah cair tahu) selama fermentasi 7 hari, menunjukkan bahwa variasi 3 mampu menghasilkan tekanan gas yang maksimal, sehingga biogas yang dihasilkan lebih banyak dibanding variasi lain.

Akan tetapi pada penelitian tersebut belum dicoba penambahan konsentrasi kotoran sapi lebih dari 50%. Sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang komposisi optimal dalam pembuatan biogas dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi untuk memperoleh hasil biogas yang terbaik. Berdasarkan uraian di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian tentang “Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas” untuk mengetahui komposisi yang optimal dalam pembuatan biogas dari limbah cair industri tahu dengan kotoran sapi serta mengetahui bakteri anaerob penghasil gas metana dari campuran tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah komposisi yang optimal dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi dalam menghasilkan biogas dengan volume yang tinggi?
2. Berapakah komposisi yang optimal dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi dalam menghasilkan biogas dengan kadar gas metana yang tinggi?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui komposisi yang optimal dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi dalam menghasilkan biogas dengan volume yang tinggi.
2. Untuk mengetahui komposisi yang optimal dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi dalam menghasilkan biogas dengan kadar gas metana yang tinggi.

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memberikan informasi tentang potensi limbah cair tahu dan kotoran sapi sebagai penghasil biogas sekaligus sebagai solusi dalam mengatasi limbah cair industri tahu dan kotoran sapi.

2. Dapat memberikan informasi tentang komposisi yang optimal dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi dalam menghasilkan biogas dengan volume dan kadar gas metana yang tinggi.
3. Dapat memberikan informasi tentang hukum menggunakan biogas dengan campuran kotoran sapi dalam Islam.
4. Bagi peneliti, laporan ini dapat dijadikan sebagai tambahan pengetahuan baru khususnya mengenai peran mikroorganisme dalam kehidupan sehari-hari, serta dapat dijadikan pedoman untuk melakukan pengembangan penelitian selanjutnya.

1.5 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah:

1. Penambahan kotoran sapi dalam jumlah yang semakin banyak ke dalam limbah cair industri tahu akan meningkatkan volume biogas dan kadar gas metana yang dihasilkan.
2. Terdapat beberapa bakteri anaerob dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi yang menghasilkan gas metana.

1.6 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Limbah cair industri tahu dalam penelitian ini diperoleh dari Industri “Tahu Asin Abadi” Kel. Ledok Kulon Kab. Bojonegoro, yaitu limbah yang masih

baru keluar dari proses pengangkatan adonan tahu, belum tercampur dengan materi limbah lain.

2. Kotoran sapi dalam penelitian ini diperoleh dari Rumah Ternak Sapi Bapak Ngadiyo, Desa Sumberjokidul Kab. Bojonegoro.
3. Penambahan kotoran sapi sebagai *starter* dalam limbah cair industri tahu adalah 0%, 25%, 50% dan 75% (v/v).
4. Kotoran sapi terlebih dahulu diencerkan dengan air dengan perbandingan 1 : 1 (b/v) sebelum dicampur dengan limbah cair industri tahu.
5. Pembuatan dan fermentasi substrat dilakukan dengan kondisi yang disesuaikan dengan lapangan tanpa memperhitungkan faktor kesterilan, serta tanpa pengukuran rasio C/N, suhu, pH, dan kelembababan.
6. Sarana dan prasarana penelitian yang digunakan sesuai standar Departemen Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya.
7. Analisis volume biogas dan kadar gas metana dilakukan di Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (BPKI) Surabaya.
8. Dilakukan isolasi dan pengamatan morfologi terhadap bakteri anaerob penghasil gas metana dari substrat campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi.
9. Pengamatan morfologi terhadap bakteri anaerob penghasil gas metana dilakukan secara makroskopis melalui pengamatan morfologi koloni dan secara mikroskopis melalui uji pewarnaan Gram.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Deskripsi Limbah Cair Industri Tahu

Limbah industri tahu terdiri dari dua jenis, yaitu limbah cair dan padat (Pohan, 2008). Limbah padat dihasilkan dari proses penyaringan dan penggumpalan, limbah ini kebanyakan oleh pengrajin dijual dan diolah menjadi tempe gembus, kerupuk ampas tahu, pakan ternak, dan diolah menjadi tepung ampas tahu yang akan dijadikan bahan dasar pembuatan roti kering dan *cake*. Sedangkan limbah cairnya dihasilkan dari proses pencucian, perebusan, pengepresan dan pencetakan tahu, oleh karena itu limbah cair yang dihasilkan sangat tinggi. Limbah cair tahu mengandung bahan organik tinggi serta kadar BOD dan COD yang cukup tinggi pula, sehingga jika langsung dibuang ke badan air akan menurunkan daya dukung lingkungan (Subekti, 2011).

Limbah padat pabrik pengolahan tahu berupa kotoran hasil pembersihan kedelai (batu, tanah, kulit kedelai, dan benda padat lain yang menempel pada kedelai) dan sisa saringan bubur kedelai yang disebut dengan ampas tahu. Limbah padat yang berupa kotoran berasal dari proses awal (pencucian) bahan baku kedelai dan umumnya limbah padat yang terjadi tidak begitu banyak (0,3% dari bahan baku kedelai). Sedangkan limbah padat yang berupa ampas tahu terjadi pada proses penyaringan bubur kedelai. Ampas tahu yang terbentuk besarnya berkisar antara 25-35% dari produk tahu yang dihasilkan (Kaswinarni, 2007).

Limbah cair tahu merupakan bagian terbesar dari limbah industri tahu dan berpotensi mencemari lingkungan. Sebagian besar limbah cair yang dihasilkan bersumber dari cairan kental yang terpisah dari gumpalan tahu pada tahap proses penggumpalan dan penyaringan yang disebut air dadih atau *whey*. Sumber limbah cair lainnya berasal dari proses sortasi dan pembersihan, pengupasan kulit, pencucian, penyaringan, pencucian peralatan proses dan lantai. Jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri pembuatan tahu sebanding dengan penggunaan air untuk pemrosesannya (Pohan, 2008). *Whey* mengandung kadar protein yang tinggi dan dapat segera terurai. Limbah ini sering dibuang secara langsung tanpa pengolahan terlebih dahulu sehingga menghasilkan bau busuk dan mencemari lingkungan (Kaswinarni, 2007).

Bau busuk pada air buangan industri tahu disebabkan adanya proses pemecahan protein yang mengandung sulfur atau sulfat tinggi oleh mikroba alam. Padatan yang terlarut dan tersuspensi dalam air limbah pabrik tahu menyebabkan air keruh. Zat yang menyebabkan air keruh adalah zat organik atau zat-zat tersuspensi dari tahu atau kedelai yang tercecceh sehingga air limbah berubah menjadi seperti emulsi keruh (Ratnani, 2011).

Limbah cair tahu cukup mengganggu lingkungan karena mengandung sisa air dari susu tahu yang tidak menggumpal dan limbah ini masih mengandung bahan organik, seperti protein, karbohidrat, dan lemak (Astuti, 2007). Kandungan protein dalam limbah cair tahu mencapai 40-60%, dengan 25-50% karbohidrat dan 10% lemak (Sugiharto, 1994; Madaniyah, 2013). Tingginya kandungan protein dalam limbah cair tahu tersebut memungkinkan terdapatnya bakteri yang

memanfaatkannya sebagai sumber nutrisi. Selain itu, kompleksnya kandungan limbah cair tahu berperan dalam variasi jenis bakteri yang ada di limbah tahu sehingga keanekaragaman bakteri di limbah tahu tinggi (Madaniyah, 2013). Selain itu di dalam limbah cair tahu juga terdapat 0,63% *volatile solid*, di mana *volatile solid* yang tinggi meningkatkan produksi biogas (Widarti dkk., 2012).

2.2 Kandungan dan Manfaat Kotoran Sapi dalam Pembentukan Biogas

Salah satu limbah yang banyak diproduksi dari ternak adalah kotoran ternak. Limbah tersebut dapat menimbulkan masalah apabila tidak diolah dengan tepat. Dalam surah al-Mu'minuun ayat 21 Allah Swt. berfirman:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۗ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ 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 darinya kamu makan.” (QS. al-Mu'minuun: 21)

al-Jazairi (2008) dalam Tafsir al-Aisar menjelaskan makna ayat tersebut sebagai berikut:

“Dan sesungguhnya pada binatang-binatang ternak benar-benar terdapat pelajaran yang penting bagi kamu...” maka perhatikanlah proses penciptaan, kehidupan, dan manfaat-manfaatnya yang bisa mengantarkanmu 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 faedah yang banyak bagi kamu...” seperti kulit dan bulu unta, air susunya, serta dagingnya yang dapat kalian konsumsi.

Seperti yang dijelaskan al-Jazairi (2008), bahwa pada hewan ternak terdapat banyak manfaat, seperti kulit dan bulu, air susu, serta dagingnya yang dapat dikonsumsi. Apabila ditelusuri lebih dalam manfaat hewan ternak dalam kajian ilmu biologi yang ditunjang dengan fakta-fakta ilmiah, maka akan ditemukan bahwa limbah (kotoran) yang dihasilkan oleh hewan ternak ternyata juga memiliki manfaat, salah satunya yaitu dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar alternatif, yaitu biogas. Sementara kotoran ternak yang jumlahnya melimpah dan banyak diolah (dimanfaatkan) menjadi biogas salah satunya adalah kotoran sapi.

Sucipto (2009) menyatakan bahwa kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya berpotensi untuk dijadikan bahan baku penghasil biogas. Wati dan Sugito (2013) menambahkan, kotoran sapi pada umumnya banyak mengandung air dan nitrogen (N). Substrat dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana. Haryati (2006) menyebutkan bahwa kandungan dari kotoran sapi meliputi 1,8-2,4% nitrogen; 1,0-1,2% fosfor (P_2O_5); 0,6-0,8% potasium (K_2O); dan 50-75% bahan organik. Pada umumnya kotoran sapi memiliki karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2.1 Komposisi Kotoran Sapi

Komponen	Massa (%)
Total padatan	3-6
Total padatan <i>volatile</i> (mudah menguap)	80-90
Total <i>kjehdal</i> nitrogen	2-4
Selulosa	15-20
Lignin	5-10
Hemiselulosa	20-25

Sumber: Kumbahan dan Industri (1979); Harahap (2007)

Secara alami kotoran sapi menghasilkan gas metana (CH₄) yang merupakan salah satu gas penyumbang pada efek rumah kaca. Dengan pemanfaatan kotoran sapi sebagai bahan baku pembuatan biogas maka pembakaran gas metana pada biogas akan mengubahnya menjadi CO₂ sehingga mengurangi jumlah gas metana di udara. Hal ini juga merupakan salah satu upaya untuk mengurangi dampak dari efek rumah kaca serta sebagai suatu upaya penyediaan energi (Rahmadian, 2012).

Selain mengandung komponen-komponen kimia, kotoran sapi juga mengandung berbagai macam bakteri (Girija *et al.*, 2013). Hal ini dikuatkan oleh Dhadse *et al.* (2012) dalam penelitiannya, yang berhasil memperoleh 8 isolat bakteri dari kotoran sapi. Empat dari 8 isolat tersebut adalah bakteri metanogen dan 4 isolat lain adalah bakteri non-metanogen. Bakteri metanogen tersebut meliputi *Methanobrevibacter ruminantium*, *Methanobacterium formicicum*, *Methanosarcina frisia*, dan *Methanotherix soehngeni*. Sedangkan bakteri non-metanogennya meliputi Clostridium, Propionibacterium, Bacteroides, dan Peptostreptococcus.

Sementara dalam penelitian Christy *et al.* (2014) disebutkan bahwa ada 9 spesies bakteri yang berhasil diisolasi dari kotoran sapi dalam kondisi pembusukan anaerobik. Enam dari 9 isolat tersebut adalah bakteri hidrolitik (*Bacteroides nordii*, *Clostridium perfringens*, *Prevotella bivia*, *Porphyromonas asaccharolytica*, *Ruminococcus gnavus*, *Lactobacillus acidophilus*), 1 isolat adalah bakteri asetogenik (*Acetobacter syzygii*), dan 2 isolat adalah bakteri metanogen (*Methanobacterium formicicum* and *Methanosarcina siciliae*). Sifat

alami substrat menentukan jenis dan tingkat dari bakteri fermentatif yang ada di substrat dalam digester.

Bakteri hidrolitik berperan mendegradasi senyawa-senyawa organik polimer kompleks seperti polisakarida, protein, dan lemak menjadi monomer gula, asam amino, dan peptida. Bakteri asidogenesis mengkonversi monomer-monomer hasil proses hidrolisis menjadi senyawa organik sederhana seperti asam lemak yang mudah menguap (asam asetat, asam butirat, asam propionat), asam laktat, alkohol, CO_2 , H_2 , NH_4^+ , HS^- . Hasil dari proses asidogenesis kemudian diuraikan oleh bakteri asetonogenesis menjadi asam asetat, H_2 , dan CO_2 . Bakteri metanogen asetonotropik lalu menguraikan asam asetat menjadi CH_4 dan CO_2 , dan bakteri metanogen hidrogenotropik mereduksi CO_2 menjadi CH_4 (Hardoyo dkk., 2014).

2.3 Biogas

2.3.1 Deskripsi dan Kandungan Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari proses penguraian bahan-bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme dalam kondisi tanpa adanya oksigen (anaerobik). Biogas merupakan campuran beberapa gas dengan komponen utama adalah gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2); dengan sejumlah kecil uap air, hidrogen sulfida (H_2S), karbonmonoksida (CO), dan nitrogen (N_2) (Hardoyo, 2014). Secara alami, biogas terbentuk pada limbah pembuangan air, tumpukan sampah, dasar danau atau rawa. Mamalia termasuk manusia menghasilkan biogas dalam sistem pencernaannya, bakteri dalam sistem pencernaan menghasilkan biogas untuk proses mencerna selulosa (Haryati, 2006).

Kandungan terbesar dalam biogas adalah gas metana (CH_4) (Rahayu dkk., 2012). Gas metana yang merupakan komponen utama biogas merupakan bahan bakar yang berguna karena mempunyai nilai kalor yang cukup tinggi, yaitu sekitar 4800 sampai 6700 Kkal/ m^3 , sedangkan gas metana murni mengandung energi 8900 Kkal/ m^3 . Karena nilai kalor yang cukup tinggi itulah biogas dapat dipergunakan untuk keperluan penerangan, memasak, menggerakkan mesin dan sebagainya. Kesetaraan biogas dengan sumber energi lain, yaitu 1 m^3 biogas setara dengan elpiji 0,46 Kg; 0,62 L minyak tanah; 0,52 L minyak solar; 0,80 L minyak bensin; 1,50 m^3 gas kota; dan 3,50 Kg kayu bakar (Sunaryo, 2014).

Biogas kira-kira memiliki berat 20% lebih ringan dibandingkan dengan udara. Biogas memiliki suhu pembakaran antara 650-750°C. Biogas tidak berbau dan tidak berwarna, dan apabila dibakar akan menghasilkan nyala api biru cerah seperti gas LPG. Efisiensi pembakaran biogas adalah 60% pada kompor biogas konvensional (Wahyuni, 2013).

Komponen biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi dapat dilihat pada Tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Komposisi Senyawa Penyusun Biogas

Kandungan gas	Nilai (%)
Metana (CH_4)	54-70
Karbondioksida (CO_2)	27-45
Nitrogen (N_2)	3-5
Hidrogen (H_2)	1
Karbonmonoksida (CO)	0,1
Oksigen (O_2)	0,1
Hidrogen Sulfida (H_2S)	Sedikit

Sumber: Sunaryo (2014)

Biogas diproduksi melalui proses fermentasi dari degradasi materi-materi organik yang kemudian dapat dibakar hingga menghasilkan api. Mengenai keterkaitan antara materi organik dan api ini, dalam surah Yaasiin ayat 80 Allah Swt. berfirman sebagai berikut:

الَّذِي جَعَلَ لَكُم مِّنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِّنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

Artinya: “Yaitu Rabb yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari kayu itu.” (QS. Yaasiin: 80)

Makna ayat tersebut di dalam Tafsir Ibnu Katsir dijelaskan oleh Abdullah bin Muhammad (2007) sebagai berikut:

“yaitu Rabb yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari kayu itu”, maknanya yaitu Rabb yang memulai penciptaan pohon dari air, hingga menjadi hijau indah, berbuah dan berbunga, kemudian Dia mengulanginya hingga menjadi kayu-kayu yang kering untuk menyalakan api. Seperti itu pula Dia melakukan apa saja yang dikehendaki-Nya dan Mahakuasa atas apa saja yang dikehendaki-Nya, tidak ada satu pun yang mampu mencegah-Nya. Qatadah berkata, “Rabb yang menjadikan api ini dari pohon tersebut tentu Mahakuasa untuk membangkitkannya”.

Seperti yang dijelaskan Abdullah bin Muhammad (2007), bahwa Allah Swt. Mahakuasa atas apapun yang dikehendaki-Nya, termasuk menciptakan api dari pohon. Apabila ditelusuri lebih luas makna “menciptakan api dari pohon” tersebut dalam kajian biologi yang ditunjang dengan fakta-fakta ilmiah, maka akan didapati bahwa api dapat tercipta (menyala) dari unsur-unsur pohon (tumbuhan) serta dapat pula dari hasil/ limbah darinya, baik yang kering maupun yang basah. Unsur-unsur itu disebut dengan biomassa. Yonathan dkk. (2013) menyebutkan, biomassa adalah unsur alternatif yang paling siap untuk diolah menjadi sumber energi yang jumlahnya banyak dan berada di lingkungan sekitar dan ramah lingkungan, seperti tumbuh-tumbuhan, sampah organik dan kotoran

hewan. Biomassa tersebut dapat menghasilkan biogas yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi pengganti minyak, gas, kayu bakar dan batu bara.

2.3.2 Manfaat Biogas

Manusia dalam melangsungkan kehidupan sehari-hari dituntut untuk memenuhi berbagai macam aspek kebutuhan, salah satunya adalah kebutuhan jasmani seperti makan dan minum. Dalam sebuah hadits Rasulullah Saw. 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 وَالْكَأِ وَالنَّارِ.

Artinya: “Waki telah menyampaikan hadits pada kami. Tsaury-Syamiy menyampaikan hadits pada kami dari Hariz bin Utsman dari Abi Khirasy dari seorang shahabat yang menyatakan bahwa Rasulullah Saw. bersabda, ‘Kaum muslimin berserikat dalam tiga perkara yaitu air, rumput liar dan api’.” (HR. Ahmad)

Hadits tersebut menunjukkan bahwa kaum muslimin (dan juga umat manusia seluruhnya) dalam kehidupan sehari-harinya tidak bisa terlepas dari tiga perkara (elemen), yaitu air, tumbuhan, dan api (serta unsur pendukungnya, seperti minyak dan gas yang sifatnya dapat terbakar) sebagai unsur penting penunjang kehidupan fisik sehari-hari manusia. Namun demikian aktivitas sehari-hari manusia juga menghasilkan limbah sehingga berpotensi mencemari lingkungan, sehingga perlu dilakukan upaya untuk mengurangi dan mengolah limbah-limbah tersebut agar kelestarian alam tetap terjaga.

Pentingnya pengolahan dan pemanfaatan limbah dalam rangka menjaga kelestarian alam juga ditegaskan dalam al-Qur'an surah al-A'raaf ayat 56 sebagai berikut:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya: *“Dan janganlah kalian membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya, dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik.”* (QS. al-A'raaf: 56)

Ayat tersebut dijelaskan dalam Tafsir Ibnu Kasir sebagai berikut (ad-Dimasyqi, 2000^b):

“Dan janganlah kalian membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya”, Allah Swt. melarang perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi dan hal-hal yang membahayakan kelestariannya sesudah diperbaiki. Karena sesungguhnya apabila segala sesuatunya berjalan sesuai dengan kelestariannya, kemudian terjadilah pengerusakan padanya, hal tersebut akan membahayakan semua hamba Allah. Maka Allah Swt. melarang hal tersebut, dan memerintahkan kepada mereka untuk menyembah-Nya dan berdoa kepada-Nya serta berendah diri dan memohon belas kasihan-Nya. Untuk itulah Allah Swt. berfirman *“dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan)”*, yakni dengan perasaan takut terhadap siksaan yang ada di sisi-Nya dan penuh harap kepada pahala berlimpah yang ada di sisi-Nya. Kemudian dalam firman selanjutnya disebutkan *“Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik”*, maksudnya, sesungguhnya rahmat Allah selalu mengincar orang-orang yang berbuat kebaikan, yaitu mereka yang mengikuti perintah-perintah-Nya dan menjauhi larangan-larangan-Nya.

Ayat 56 surah al-A'raaf tersebut secara tegas melarang perbuatan yang menimbulkan kerusakan di muka bumi dan hal-hal yang membahayakan kelestariannya. Sehingga setiap manusia sejatinya dituntut untuk menggunakan, mengolah dan mengembangkan potensi alam dengan bijak tanpa menimbulkan

kerusakan lingkungan, di mana salah satu upayanya adalah dengan melakukan pengolahan dan pemanfaatan limbah. Biogas sebagai salah satu sumber energi panas dan cahaya (bahan bakar) yang terbentuk dari proses fermentasi materi-materi organik yang sebagian besar sudah berupa limbah, dapat menjadi salah satu upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan sekaligus memanfaatkannya untuk keperluan hidup sehari-hari.

Hardoyo dkk. (2014) menyebutkan, manfaat dan kelebihan biogas antara lain:

1. Dapat dimanfaatkan untuk keperluan memasak, penggerak generator untuk pembangkit listrik, dan selanjutnya dapat digunakan pada otomotif.
2. Sebagai solusi penyediaan energi khususnya di pedesaan, serta mengurangi penggunaan kayu dari penebangan pohon-pohon sebagai bahan bakar. Penebangan yang dilakukan terus-menerus akan menyebabkan terjadinya perubahan ekosistem pada hutan.
3. Biogas tidak menghasilkan asap, sehingga mengurangi resiko gangguan pernapasan.
4. Biogas menjadi sumber energi yang terbarukan karena dihasilkan dari limbah biomassa serta kotoran manusia dan hewan yang ketersediaannya sangat melimpah dan kontinyu.

Coniwanti dkk. (2009) menambahkan beberapa keunggulan lain dari biogas sebagai berikut:

1. Sebagai energi pengganti bahan bakar fosil sehingga akan menurunkan gas rumah kaca di atmosfer dan emisi lainnya.

2. Penggunaan biogas sebagai bahan bakar dapat mengurangi konsentrasi gas metana di udara, karena gas metana yang menjadi komposisi utama biogas adalah merupakan salah satu gas rumah kaca yang keberadaannya di atmosfer akan meningkatkan temperatur global.
3. Melalui aplikasi digesti anaerobik biogas dapat meminimalkan efek negatif sekaligus meningkatkan nilai manfaat dari limbah, yang merupakan material tidak bermanfaat, yang bahkan dapat mengandung racun.
4. Fermentasi anaerobik biogas menghasilkan produk samping seperti *sludge*. Material ini berupa padat dan cair, masing-masing dapat digunakan sebagai pupuk berupa pupuk padat dan pupuk cair.

2.3.3 Sistem Produksi Biogas

Biogas diproduksi dalam suatu instalasi yang disebut reaktor atau digester. Reaktor adalah sebuah ruang tertutup yang digunakan sebagai media penyimpanan kotoran selama beberapa hari untuk menghasilkan gas yang tersimpan bersama kotoran yang kemudian disebut biogas. Sistem produksi biogas dibedakan menurut cara pengisian bahan bakunya, yaitu pengisian curah dan bahan bakunya, yaitu pengisian curah dan pengisian kontinyu. Yang dimaksud dengan sistem pengisian curah (SPC) adalah cara penggantian bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru. Sedangkan yang dimaksud dengan sistem pengisian kontinyu (SPK) adalah pengisian bahan baku ke dalam tangki pencerna dilakukan secara kontinyu (setiap hari) tiga hingga empat minggu sejak

pengisian awal, tanpa harus mengeluarkan bahan yang sudah dicerna (Saputri, 2014).

Haryati (2006) menambahkan, produksi biogas dengan sistem pemasukan bahan baku yang kontinyu (disebut juga *continuous feeding*) sifatnya lebih cepat dan konsisten serta menghasilkan sejumlah kecil buangan setiap hari. Aplikasi sistem ini juga akan menyisakan nitrogen pada buangan yang kemudian dapat digunakan untuk pupuk. Hal yang perlu diperhatikan dalam sistem kontinyu adalah tangki harus cukup besar untuk menampung semua bahan yang terus-menerus dimasukkan selama proses pencernaan berlangsung. Kondisi yang ideal untuk sistem ini yaitu menggunakan dua buah tangki digester, konsumsi limbah berlangsung dalam dua tahap, metana diproduksi pada tahap pertama dan tahap kedua dengan laju yang lebih lambat. Sementara sistem pengisian curah (SPC) disebut juga *batch feeding*. Sistem ini umumnya didesain untuk limbah padatan seperti sayuran/ hijauan. Desain ini tidak perlu pipa alir, dan tangki tunggal merupakan desain yang paling baik untuk digunakan. Tangki dapat dibuka dan buangan proses dapat dikeluarkan dan digunakan sebagai pupuk kemudian bahan baku yang baru dimasukkan lagi. Tangki ditutup dan proses fermentasi diawali kembali.

2.3.4 Proses Pembentukan Biogas

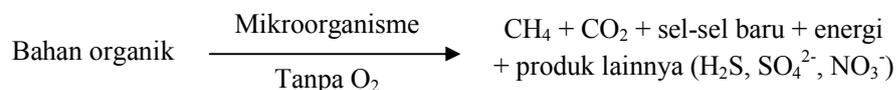
Teknologi biogas pada prinsipnya adalah teknologi yang memanfaatkan proses fermentasi (pembusukan) dari sampah organik secara anaerobik (bakteri yang hidup dalam kondisi kedap udara) (Bahrin dkk., 2011). Proses anaerobik adalah proses mikrobiologi, di mana mikroorganisme anaerobik menggunakan

unsur karbon (C) sebagai sumber utama energi dan pembentukan karbon sel, untuk menghasilkan asam lemak volatil, gas metana (CH₄) dan CO₂. Mikroorganisme anaerobik juga membutuhkan unsur nitrogen (N) yang diperlukan untuk hidup dan pembelahan sel (Saputra, 2010).

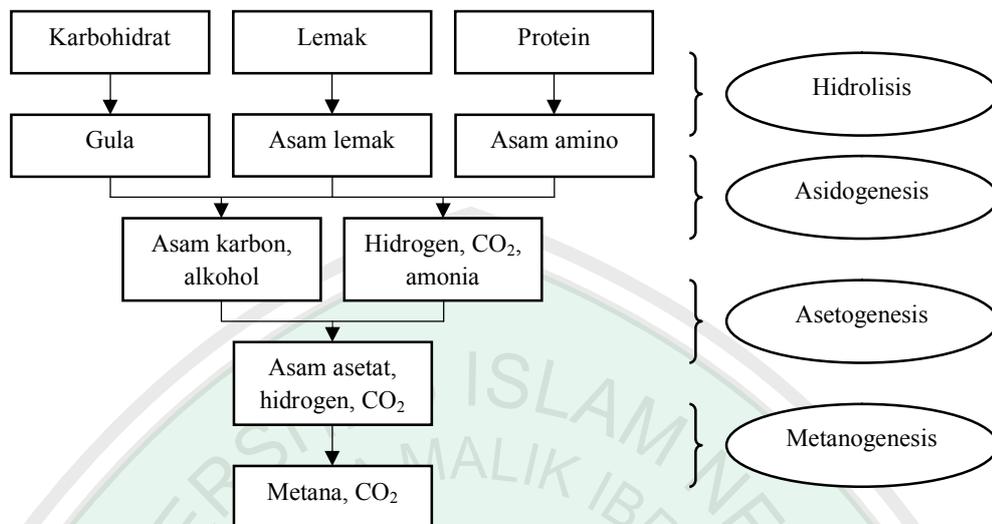
Astuti (2007) menyebutkan beberapa keunggulan proses anaerobik dibandingkan proses aerobik adalah sebagai berikut:

1. Proses anaerobik tidak membutuhkan oksigen, sementara penggunaan oksigen dalam proses penguraian limbah akan menambah biaya operasi.
2. Penguraian anaerobik menghasilkan lebih sedikit lumpur (3-20 kali lebih sedikit dari pada proses aerobik), energi yang dihasilkan bakteri anaerobik relatif rendah.
3. Proses anaerobik menghasilkan gas yang bermanfaat, yaitu metana.
4. Energi untuk penguraian limbah terbilang kecil.
5. Penguraian anaerobik cocok untuk limbah industri dengan konsentrasi polutan organik yang tinggi.

Pradhan dan Gireesh (2012) menyatakan bahwa dalam proses digesti anaerob terdapat sejumlah bakteri yang terlibat. Secara umum prinsip digesti anaerob adalah sebagai berikut (Hardoyo dkk., 2014):



Proses pembentukan biogas terdiri dari 4 tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis, dan metanogenesis. Proses tersebut secara singkat disajikan dalam Gambar 2.1 sebagai berikut (Seadi, 2001):



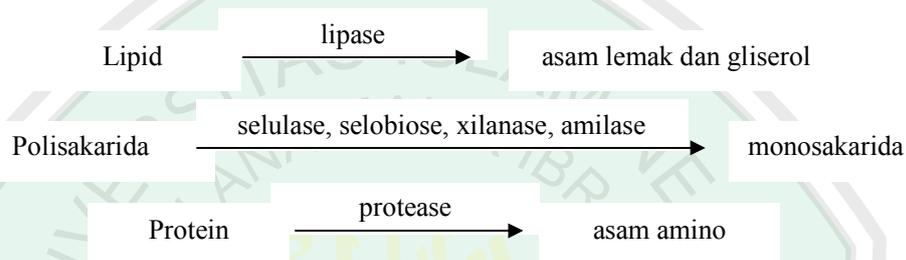
Gambar 2.1 Proses Pembentukan Biogas

Padmono (2007) menambahkan, secara rinci pembentukan biogas pada pengolahan anaerobik diuraikan sebagai berikut:

1. Tahap hidrolisis

Degradasi bahan organik diawali dengan tahapan penguraian secara enzimatik bahan organik dengan berat molekul besar (berantai panjang) sebagai sumber energi bagi sel dan sumber karbon. Sejumlah *α-glycosidic carbohydrates*, seperti zat tepung, sukrosa, glikogen dan amilase terhidrolisis oleh enzim amilase yang dihasilkan oleh mikroorganisme. Menurut Price & Cheremisinoff (1981); Padmono (2007), enzim ini merusak polisakarida dengan memutus ikatan rantai glikosidik menjadi disakarida yang kemudian oleh enzim glikosidase diuraikan menjadi monosakarida. Sedangkan protein akan dihidrolisis oleh enzim protease dan peptidase, kedua enzim ini sebagian bersumber dari dinding sel mikroorganisme dan sebagian lagi terdapat bebas dalam reaktor (Breure *et al.*, 1987; Padmono 2007). Sebagai contoh mikroba

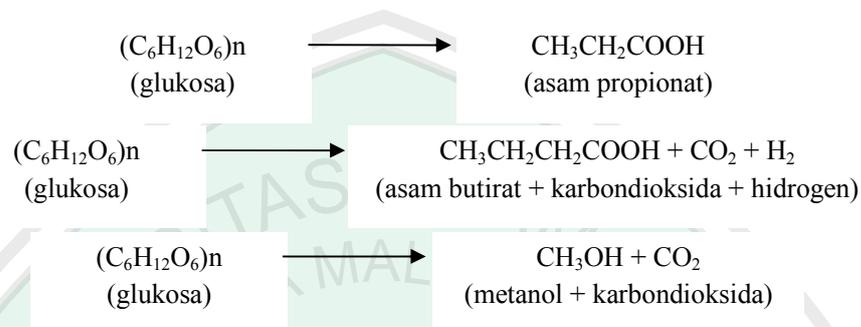
hidrolitik seperti *Cellulomonas* sp., *Cytophaga* sp., *Cellvibro* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, dan *Lactobacillus plantarum* mampu mengeluarkan enzim hidrolase sehingga mengubah biopolimer menjadi senyawa yang lebih sederhana. Proses pemecahan polimer tersebut adalah sebagai berikut (Fusvita, 2015):



2. Tahap asidogenesis

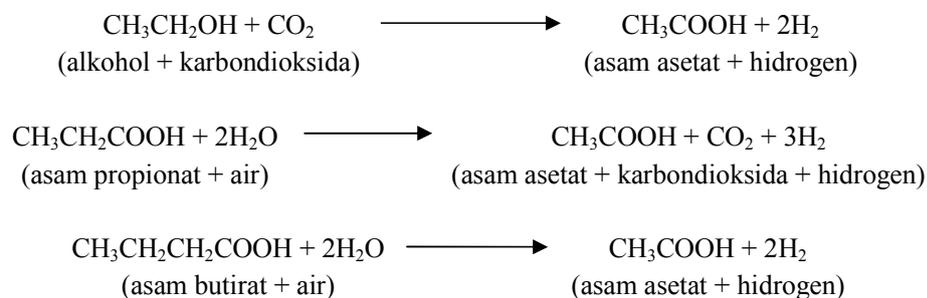
Dari materi yang telah terhidrolisis secara enzimatik pada tahap hidrolisis, bahan organik akan dikonversi menghasilkan asam volatil seperti asam butirat dari karbohidrat dan asam propionat dari asam amino (White, 1981; Padmono 2007). Pada tahap ini selain pembentukan asam volatil yang dapat dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai sumber energi juga dihasilkan karbondioksida (CO₂). Salah satu jalur yang juga penting dalam pembentukan asam volatil ini adalah pembentukan H₂, seperti dikemukakan Breure *et al.* (1987); Padmono (2007), bahwa reaksi enzimatik *pyruvate lyase* terhadap piruvat menghasilkan H₂, CO₂ dan *acetyl coenzyme-A (acetyl-coA)*. Reaksi ini terjadi dalam kondisi anaerob oleh bakteri dari genus *Clostridium* dan beberapa bakteri yang terdapat dalam isi rumen. Akumulasi bahan organik yang terurai menjadi asam volatil dapat mengakibatkan penurunan pH secara progresif dari 7 menjadi 5 yang dapat mengganggu proses dekomposisi

terutama bagi bakteri pembentuk metana yang rentan terhadap pH (Spinosa *et al.*, 1987; Padmono 2007). Adapun reaksi asidogenesis adalah sebagai berikut (Verma, 2002; Sjafruddin, 2011):



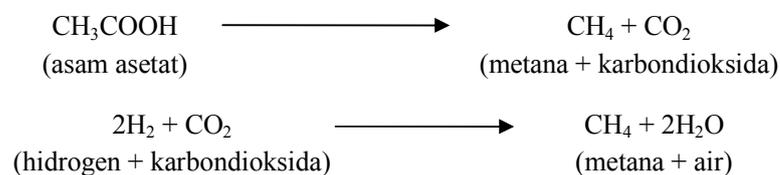
3. Tahap asetogenesis

Hasil asidogenesis dikonversi menjadi hasil akhir bagi produksi metana berupa asetat, hidrogen, dan karbondioksida. Sekitar 70% dari COD semula diubah menjadi asam asetat. Pembentukan asam asetat kadang-kadang disertai dengan pembentukan karbondioksida atau hidrogen, tergantung kondisi oksidasi dari bahan organik aslinya. Etanol, asam propionat, dan asam butirir dirubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H₂) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomas wolfei* (Said, 2006; Sunarto, 2013). Reaksi pada tahap ini adalah sebagai berikut (Hardoyo dkk., 2014):



4. Tahap metanogenesis

Tahap ini merupakan tahap yang paling kritis dan sensitif dalam proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik. Hal ini dikarenakan waktu reproduksi bakteri ini sangat lambat hingga 3 hari dibandingkan dengan bakteri sebelumnya yang hanya membutuhkan 3 jam. Konversi oleh bakteri pembentuk metana menghasilkan komponen akhir yang sangat sederhana berupa gas metana (CH_4) dan gas karbondioksida (CO_2) dari hasil reduksi asam asetat yang telah terbentuk. Khaerunnisa dan Ika (2013) menambahkan, pada tahap pembentukan gas metana, bakteri yang berperan adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis akan memanfaatkan hasil dari tahap sebelumnya yaitu asetat, format, karbondioksida, dan hidrogen sebagai substrat untuk menghasilkan metana, karbondioksida, sisa-sisa gas seperti H_2S dan air. Produksi biogas akan lebih optimum jika fermentasi anaerobik yang dilakukan benar-benar pada kondisi tanpa oksigen (O_2). Tahap metanogenesis (pembentukan metana) melibatkan 2 kelompok bakteri metanogen yang berbeda. Bakteri metanogen asetatotropik menguraikan asam asetat menjadi metana dan CO_2 , sedangkan bakteri metanogen hidrogenotropik mereduksi CO_2 menjadi metana (Hardoyo dkk., 2014):



2.3.5 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Pembentukan Biogas

Produksi biogas tergantung pada beberapa hal meliputi sifat substrat, suhu, pH, memuat tingkat, toksisitas, pengadukan, nutrisi, konsentrasi campuran, konstruksi dan ukuran digester, rasio karbon dengan nitrogen, waktu retensi, alkalinitas, substrat awal, jumlah asam volatil, kebutuhan oksigen kimia (COD), total padatan (Ts), cairan yang mudah menguap, dan lain-lain. Mikroorganisme sensitif terhadap perubahan pH. Penambahan penyangga diperlukan untuk mengoptimalkan pH campuran (Sagagi *et al.*, 2009).

Secara rinci, Wahyuni (2013) menjelaskan faktor-faktor tersebut yaitu:

1. Nilai pH

Produksi biogas secara optimum dapat dicapai bila nilai pH dari campuran masukan di dalam digester berada pada kisaran 6 dan 7. Pada tahap awal proses fermentasi, asam organik dalam jumlah besar diproduksi oleh bakteri pembentuk asam, pH dalam digester dapat mencapai di bawah 5. Keadaan ini cenderung menghentikan proses pencernaan atau fermentasi. Bakteri metanogen sangat peka terhadap pH dan tidak bertahan hidup di bawah pH 6. Kemudian proses pencernaan berlangsung, konsentrasi NH_4 bertambah, pencernaan nitrogen dapat meningkatkan nilai pH di atas 8. Ketika produksi metana dalam kondisi stabil, kisaran nilai pH adalah 7,2-8,2.

2. Suhu

Bakteri metanogen dalam keadaan tidak aktif pada kondisi suhu ekstrim tinggi maupun rendah. Suhu optimumnya yaitu 35°C . Ketika suhu udara turun sampai 10°C produksi gas menjadi berhenti. Produksi gas sangat bagus pada

kisaran mesofilik, antara suhu 25°C dan 30°C. Penggunaan isolasi yang memadai pada digester membantu produksi gas khususnya di daerah dingin. Murtagan (1992) menambahkan, secara keseluruhan suhu lingkungan dan suhu substrat tidak terlalu jauh berbeda. Suhu lingkungan yang berubah-ubah selalu diikuti oleh suhu substrat meskipun tidak sama persis. Keberbedaan ini dapat terjadi kemungkinan karena adanya efek isolatif dari bahan reaktor yang digunakan sebagai biodigester. Dan juga ini dimungkinkan karena adanya aktivitas bakteri yang ada dalam substrat, yang salah satu hasilnya adalah panas, selain juga produksi biogas.

3. Laju pengumpanan

Laju pengumpanan adalah jumlah bahan yang dimasukkan ke dalam digester per unit kapasitas per hari. Pada umumnya, 6 Kg kotoran sapi per m³ volume digester adalah direkomendasikan pada suatu jaringan pengolah kotoran sapi. Apabila terjadi pemasukan bahan yang berlebihan, akan terjadi akumulasi asam dan produksi metana akan terganggu. Sebaliknya, bila pengumpanan kurang dari kapasitas digester, produksi gas juga menjadi rendah.

4. Waktu tinggal dalam digester

Waktu tinggal dalam digester adalah rata-rata periode waktu saat masukan masih berada dalam digester dan proses fermentasi oleh bakteri metanogen. Dalam jaringan dari digester dengan kotoran sapi, waktu tinggal dihitung dengan pembagian volume total dari digester oleh volume masukan yang ditambah setiap hari. Waktu tinggal juga tergantung pada suhu. Di atas suhu 35 °C atau suhu lebih tinggi, waktu tinggal semakin singkat.

5. Toksisitas atau inhibitor

Ion mineral, logam berat, dan detergen adalah beberapa material racun yang mempengaruhi pertumbuhan normal bakteri di dalam digester. Ion mineral dalam jumlah kecil (sodium, potassium, kalsium, ammonium, dan belerang) juga merangsang pertumbuhan bakteri. Tetapi jika ion-ion ini dalam konsentrasi yang tinggi akan berakibat meracuni. Sebagai contoh, NH_4 pada konsentrasi 50 hingga 200 mg/L dapat merangsang pertumbuhan mikroba. Tetapi jika konsentrasinya di atas 1.500 mg/L akan mengakibatkan keracunan.

6. *Sludge*

Sludge adalah limbah keluaran berupa lumpur dari lubang pengeluaran digester setelah mengalami proses fermentasi oleh bakteri metanogen dalam kondisi anaerobik. Setelah ekstraksi biogas (energi), *sludge* dihasilkan dari digester sebagai produk samping dari sistem pencernaan secara anaerobik. Kondisi ini dapat dikatakan manur dalam keadaan stabil dan bebas patogen serta dapat dipergunakan untuk memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan produksi tanaman.

7. Kandungan bahan kering

Aktivitas normal dari mikroba metanogen 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 (Harahap, 2007).

8. Kadar air bahan

Air berperan sangat penting di dalam proses biologis pembuatan biogas. Apabila suatu ketika hendak membuat biogas dari bahan-bahan kering seperti kotoran kering dicampur dengan sisa-sisa rumput bekas makanan atau dengan bahan lainnya yang juga kering, maka diperlukan penambahan air. Tetapi berbeda jika bahan yang akan digunakan berbentuk lumpur selokan yang sudah mengandung bahan organik tinggi, misalnya dari bekas dan sisa pemotongan hewan yang dicampur dengan sampah. Di dalam bahannya yang sudah terkandung air, sehingga penambahan air tidak akan sebanyak pada bahan yang kering. Jumlah air yang ditambahkan tidak terlalu banyak (berlebihan) dan tidak terlalu sedikit (kekurangan) (Harahap, 2007).

9. *Starter*

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

- a. *Starter* alami: yaitu apabila sumbernya dari alam yang diketahui mengandung kelompok bakteri metanogen seperti lumpur aktif, timbunan sampah lama, timbunan kotoran ruminansia, dan lain-lain.
- b. *Starter* semi buatan: yaitu apabila sumber berasal dari tabung pembuat biogas yang diharapkan kandungan bakteri metanogennya dalam stadium aktif.
- c. *Starter* buatan: yaitu apabila sumbernya sengaja dibuat, baik dengan media alami maupun media buatan, sedangkan bakteri metanogennya dibiakkan secara laboratorium.

10. Pengadukan

Pengadukan dalam reaktor memiliki beberapa fungsi di antaranya untuk menjaga tidak terjadinya endapan di dasar reaktor, dikarenakan hal ini bisa menyebabkan terhambatnya aliran gas yang terbentuk di daerah dasar sehingga berpengaruh terhadap jumlah biogas yang akan dihasilkan. Selain itu dapat meningkatkan kontak antara mikroba dengan substrat sehingga bakteri mendapatkan nutrisi dengan baik (Yuwono dan Totok, 2013).

11. Kandungan oksigen

Sebagian besar bakteri pembentuk asam bersifat anaerobik fakultatif sehingga adanya oksigen tidak berpengaruh secara mutlak dalam pembentukan asam (Deublein dan Angelika, 2008). Sedangkan bakteri metanogen merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan (Khaerunnisa dan Ika, 2013). Keberadaan oksigen akan menyebabkan bakteri metanogen menjadi inaktif (Adnany dan Mohammad, 2000). Oleh karena sifat

tersebut, bakteri pembentuk asam akan bekerja pada tahap awal fermentasi saat oksigen masih tersedia. Ketika oksigen pada bioreaktor telah habis, maka bakteri metanogen akan mulai bekerja menghasilkan metana (Fusvita, 2015).

2.3.6 Biogas dari Limbah Cair Industri Tahu

Menurut Sadzali (2010), salah satu limbah yang berpotensi dijadikan sumber biogas adalah limbah tahu. Hal ini dilihat dari jumlah industri tahu di Indonesia. Pada tahun 2010 sampai bulan Mei, tercatat jumlah industri tahu di Indonesia mencapai 84.000 unit usaha, dengan produksi lebih dari 2,56 juta ton per hari. Penyebaran industri tahu sekitar 80% terdapat di pulau Jawa, sehingga limbah yang dihasilkan diperkirakan 80% lebih tinggi dibandingkan industri tahu di luar pulau Jawa. Subekti (2011) menambahkan, limbah tahu memiliki kandungan gas metana (CH_4) yang dapat dimanfaatkan sebagai energi biogas untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Energi biogas ini dapat digunakan sebagai alternatif sumber bahan bakar, misalnya untuk memasak, atau penerangan.

Menurut Djarwanti dkk. (2000), biogas yang dihasilkan dari proses pengolahan limbah cair industri tahu secara anaerobik dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan nilai kalori sebesar 0,2497 Kkal/Kg kedelai. Dalam penelitian Ghevanda dan Triwikantoro (2013) disebutkan bahwa penambahan limbah cair tahu pada fermentasi limbah sayuran dapat meningkatkan produk biogas hingga 25%. Penelitian tentang biogas dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi telah dilakukan oleh Angraini dkk. (2014) dengan 2 variasi perbandingan limbah cair tahu dan kotoran sapi yaitu variasi 1 (15 L limbah cair

tahu : 2,5 L kotoran sapi); dan variasi 2 (15 L limbah cair tahu : 1,5 L kotoran sapi). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa selama fermentasi 30 hari, variasi 1 menghasilkan gas metana lebih banyak daripada variasi 2, yaitu sebesar 0,399% (untuk variasi 1) dan 0,024% (untuk variasi 2).

Penelitian tentang biogas dari campuran limbah cair tahu dan kotoran sapi juga dilakukan Wati dan Sugito (2013) dengan 3 variasi perbandingan yaitu variasi 1 (10% kotoran sapi : 90% limbah cair tahu); variasi 2 (25% kotoran sapi : 75% limbah cair tahu); dan variasi 3 (50% kotoran sapi : 50% limbah cair tahu). Selama fermentasi 7 hari, ditunjukkan bahwa variasi 3 mampu menghasilkan tekanan (gas) yang maksimal, hal ini sesuai dengan kondisi campuran yang seimbang dengan kekentalan yang seimbang sehingga kadar air yang dimiliki dapat berfungsi dengan baik dalam tahapan hidrolisis campuran kotoran sapi dengan limbah cair pabrik tahu. Di mana tekanan gas yang paling maksimal terjadi pada hari kelima dengan besar tekanan antara 29-32 mm kolom air. Karena kandungan padatan yang cukup serta kandungan bahan organik yang sesuai dengan kebutuhan mikroba, sehingga mikroba dapat tumbuh dan bekerja secara efektif dan optimal untuk mendegradasi limbah serta menghasilkan gas. Dan kadar air yang seimbang mampu mempermudah proses pemecahan dan pembentukan gas metana secara maksimal.

2.4 Bakteri Metanogen Sebagai Penghasil Gas Metana

2.4.1 Deskripsi Bakteri Metanogen

Bakteri merupakan salah satu makhluk hidup ciptaan Allah Swt. di antara berbagai jenis makhluk yang Dia ciptakan, yang belum diketahui oleh manusia sebelum ditemukannya mikroskop. Mengenai penciptaan makhluk ini Allah Swt. telah memberi isyarat kepada manusia dalam surah Yaasiin ayat 36 sebagai berikut:

سُبْحٰنَ الَّذِيْ خَلَقَ الْاَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْاَرْضُ وَمِنْ اَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا
يَعْلَمُوْنَ ﴿٣٦﴾

Artinya: “Maha suci (Allah) yang telah menciptakan semuanya berpasang-pasangan, baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka sendiri, maupun dari apa yang tidak mereka ketahui.” (QS. Yaasiin: 36)

al-Jazairi (2009) dalam Tafsir al-Aisar menjelaskan makna ayat tersebut sebagai berikut:

“Maha suci Allah yang telah menciptakan semuanya berpasang-pasangan...” Ini sebagai bentuk pengagungan terhadap Allah yang telah menciptakan semuanya berpasang-pasangan, “Baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka maupun dari apa yang tidak mereka ketahui”. Allah menyucikan diri-Nya dari sifat lemah dalam mengembalikan makhluk menjadi hidup setelah kematian mereka. Pada konteks ini disebutkan tanda-tanda kekuasaan dan ilmu Allah. Hal ini terlihat pada penciptaan makhluk yang berpasang-pasangan, baik tumbuh-tumbuhan, binatang, manusia, serta apa-apa yang tidak diketahui oleh mereka.

Seperti yang dijelaskan al-Jazairi (2009), bahwa Allah Swt. Mahakuasa dalam menciptakan sesuatu, baik tumbuh-tumbuhan, binatang, manusia, serta apa-apa yang tidak diketahui. Apabila ditelusuri lebih dalam korelasi makna ayat tersebut dengan kajian ilmu biologi yang ditunjang dengan fakta-fakta ilmiah,

maka akan ditemukan bahwa ternyata masih ada banyak makhluk ciptaan Allah selain tumbuh-tumbuhan, binatang, dan manusia, yang pada awalnya tidak (belum) diketahui oleh manusia, hingga akhirnya setelah berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi baru ditemukan (diketahui) adanya makhluk yang lain. Salah satu dari beraneka ragam makhluk tersebut adalah bakteri.

Bakteri adalah salah satu mikroba yang dapat hidup di semua tempat kehidupan di dunia ini. Bakteri ada yang menguntungkan, merugikan bahkan sebagian besar belum diidentifikasi sehingga tidak diketahui manfaatnya. Bakteri sering dikenal atau diberi nama berdasarkan produk dominan yang dihasilkannya. Demikian pula dengan bakteri metanogen, diberi nama demikian karena menghasilkan gas metana (CH_4) (Kapahang dkk., 2007).

Bakteri metanogen adalah bakteri yang terdapat pada bahan-bahan organik dan menghasilkan metana serta gas-gas lainnya dengan proses keseluruhan rantai hidupnya dalam keadaan anaerobik. Sebagai organisme-organisme hidup, ada kecenderungan untuk menyukai kondisi tertentu dan peka pada iklim mikro dalam digester. Bakteri metanogen terdiri dari banyak spesies dan sifat-sifatnya bervariasi (Wahyuni, 2013). Bakteri metanogen merupakan bakteri obligat anaerobik dan sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Berbeda dengan bakteri asidogenesis dan asetogenesis, bakteri metanogenesis termasuk dalam genus *Archaeobacter* yaitu kelompok bakteri yang mempunyai struktur morfologi yang sangat berbeda-beda (heterogen), sifat biokimia yang umum, dan sifat biologi molekuler yang berbeda dengan bakteri lain (Khaerunnisa dan Ika, 2013). Bakteri metanogen memegang peranan penting dalam produksi biogas (*natural*

gas) karena sebagian besar gas yang terkandung di dalamnya adalah metana (60-80%) (Kapahang dkk., 2007).

2.4.2 Habitat Bakteri Metanogen

Bakteri metanogen memiliki ciri khas yaitu menghasilkan gas metana. Bakteri ini berperan penting terhadap perputaran H_2 pada lingkungan yang anaerob. Bakteri metanogen dijumpai pada berbagai macam habitat anaerobik termasuk sedimen, *sludge* dan digester kotoran hewan, buangan hewan dan manusia dalam jumlah besar, usus serangga, kayu basah pada pohon, rumen. Secara umum bakteri metanogen dapat dijumpai inaktif dalam kondisi ada oksigen, meskipun tidak semua spesies mati secara cepat oleh adanya oksigen (Adnany dan Mohammad, 2000). Penelitian yang dilakukan oleh Sunarto (2013) menunjukkan bahwa pada limbah makanan yang diolah secara anaerob terdapat sedikitnya 3 filotipe Archaea metanogen yaitu *Methanobrevibacter filiformis*, *Methanosphaerula palustris*, dan *uncultured Archaea* dari Grup I *crenarchaeote*. Hal ini menunjukkan bahwa bakteri metanogen juga dapat hidup di limbah makanan.

2.4.3 Golongan Utama Bakteri Metanogen

Bakteri metanogen memiliki sifat-sifat fisiologi seperti bakteri pada umumnya, namun morfologi selnya heterogen. Bakteri metanogen terdiri dari banyak spesies dan sifat-sifatnya bervariasi. Famili metanogen (bakteri metana) digolongkan menjadi 4 genus berdasarkan perbedaan-perbedaan sitologi. Bakteri berbentuk batang: (a) Tidak berspora, *Methanobacterium* (b) berspora,

Methanobacillus. Bakteri berbentuk lonjong: (a) Sarcine, Methanosarcina (b) Tidak termasuk grup *sarcinal*, Methanococcus (Wahyuni, 2013).

Holt *et al.* (1994) menyebutkan bahwa diferensiasi golongan bakteri metanogen dalam *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Ninth Edition* adalah termasuk kelompok bakteri anaerob obligat, ada yang Gram positif juga ada yang Gram negatif, tetapi selnya tidak mempunyai murein maupun membran luar. Membran selnya terdiri dari ikatan ester isoprenoid. Bakteri metanogen dibagi dalam tiga sub kelompok sebagai berikut:

1. Bentuknya batang, bentuk pipih atau bulat; pembentukan gas metana 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 metana 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: Methanococcus, Methanocorpusculum, Methanoculleus, Methanogenium, Methanolacinia, Methanomicrobium, Methanoplanum dan Methanospirillum.
3. Pseudosarcinae, bulat, atau bentuk batang berpelindung yang mampu tumbuh pada *trimethylamine* atau asetat; kelompok bakteri ini terdiri atas genus: Methanococcoides, Methanohalobium, Methanohalophilus, Methanolobus, Methanosarcina dan Methanotherix.

Genus dari sub kelompok 1 dapat dikelompokkan pada genus yang didasarkan pada bentuk morfologi, kenaikan suhu, dan substrat katabolik. Sub kelompok 2 terdiri dari bermacam-macam kelompok genetik organisme yang seringkali sulit untuk dikelompokkan berdasarkan genusnya. Klasifikasi dari organisme ini akan membutuhkan tes filogenetik seperti hibridisasi inter-turunan DNA, tetapi seringkali turunan tersebut diklasifikasikan dengan perbandingan sederhana berdasarkan hubungan seluruh protein dari tiap jenis turunan sel itu sendiri. *Methanolacina*, *Methanomicrobium*, dan *Methanospirillum* dapat diturunkan dari spesies lain pada kelompok ini berdasarkan morfologinya (Adnany dan Mohammad, 2000).

Sub kelompok 3 terdiri dari batang yang terbungkus asetotropik, bulatan metilotropik dan pseudosarcina, serta bulatan asetotropik dan pseudosarcina. Batang yang terbungkus (*Methanothrix*) dapat dengan mudah diturunkan dari anggota lain dari kelompok ini berdasarkan morfologi khusus yang dimilikinya. *Methanosarcina* dapat dengan mudah diturunkan dari 5 genus yang lain dengan kebiasaannya masing-masing yaitu menggunakan asetat ataupun $H_2 + CO_2$ sebagai substrat, namun sebagian besar turunan dapat menggunakan keduanya. Keempat genus yang tersisa pada sub kelompok ini halofilik dan terbatas pada substrat metilotropik. *Methanohalobium* adalah genus dari halofilik khusus, dengan konsentrasi optimum Na^+ di atas 2 M. Turunan dari *Methanophilus* tumbuh lebih cepat pada Na^+ sekitar 0,5-2 M, meskipun beberapa spesies alkalifilik yang dikelompokkan pada genus ini dapat berkembang baik pada salinitas yang lebih rendah. Dua genus yang lain pada sub kelompok 3,

Methanolobus dan Methanococcoides, tumbuh cepat dengan kadar Na^+ 0,1-0,6 M. Kedua genus terakhir ini sulit untuk dibedakan (Adnany dan Mohammad, 2000).

Yazid dan Aris (2011) menyebutkan bahwa salah satu genus Methanobacterium tergolong Gram positif, non motil, berbentuk batang dengan elevasi konvek, bentuk koloni *circular* dan tepi koloni *entire*, pertumbuhan dalam agar slant *effuse*. Sedangkan genus lain dari Methanobacterium adalah tergolong Gram positif, non motil berbentuk batang, dengan elevasi konvek, bentuk koloni *circular* dan tepi koloni *entire*, pertumbuhan dalam agar slant *filiform*. Sedangkan salah satu genus Methanosarcina yaitu tergolong Gram positif, non motil, berbentuk sarcina dengan elevasi *raised*, bentuk koloni *irregular*, dan tepi koloni *undulate*, pertumbuhan dalam agar slant *filiform*. Salah satu genus Methanospirillum memiliki ciri tergolong Gram negatif, motil, berbentuk spirillum, dengan elevasi *raised*, bentuk koloni *irregular* dan tepi koloni *undulate*, pertumbuhan dalam agar slant *filiform*.

2.4.4 Kondisi Optimum Bagi Kehidupan Bakteri Metanogen

Bakteri yang terlibat dalam proses anaerobik membutuhkan beberapa elemen sesuai dengan kebutuhan organisme hidup seperti sumber makanan dan kondisi lingkungan yang optimum. Bakteri anaerob mengkonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibanding nitrogen. Hubungan antara jumlah karbon dan nitrogen dinyatakan dengan rasio karbon/ nitrogen (C/N), rasio optimum untuk digester anaerobik berkisar 20-30. Jika C/N terlalu tinggi, nitrogen akan dikonsumsi dengan cepat oleh bakteri metanogen untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhannya dan hanya sedikit yang bereaksi dengan karbon, akibatnya gas

yang dihasilkan menjadi rendah. Sebaliknya C/N rendah, nitrogen akan dibebaskan dan berakumulasi dalam bentuk ammonia (NH_4) yang dapat meningkatkan pH. Jika pH lebih tinggi dari 8,5 akan menunjukkan pengaruh negatif pada populasi bakteri metanogen (Haryati, 2006).

Suhu memiliki dampak yang signifikan terhadap produksi biogas. Dua rentang suhu telah dilaporkan mempengaruhi keseluruhan proses produksi biogas adalah rentang mesofilik (30-40°C) dan rentang termofilik (> 40°C). Produksi gas optimum dalam kisaran mesofilik. Kisaran ini lebih disukai ketika bahan tanaman segar yang terlibat. Bakteri metanogen sangat sensitif terhadap perubahan suhu mendadak dan oleh karena itu setiap perubahan drastis dalam suhu harus hati-hati dihindari. Proses pencernaan anaerobik dapat dioperasikan selama rentang pH 6,0-7,0 dari (Dixit *et al.* 2010). Bakteri metanogen berkembang lambat dan sensitif terhadap perubahan mendadak pada kondisi-kondisi fisik dan kimiawi. Sebagai contoh, penurunan 2°C secara mendadak pada *sludge* mungkin secara signifikan berpengaruh pada pertumbuhannya dan laju produksi gas (Wahyuni, 2013).

2.5 Konsep Dasar Isolasi Mikroorganisme

2.5.1 Deskripsi Umum Isolasi Mikroorganisme

Secara alami mikroorganisme di alam ditemukan dalam populasi campuran. Hanya dalam keadaan tertentu saja populasi ini dapat ditemukan dalam keadaan murni. Untuk dapat mempelajari sifat biakan, morfologi, dan sifat faalinya, maka mikroorganisme yang akan diteliti harus dapat dipisahkan, yaitu dengan isolasi. Isolasi mikroba adalah memisahkan mikroba satu dengan mikroba

lain yang berasal dari campuran berbagai mikroba dengan cara menumbuhkannya dalam suatu medium (Waluyo, 2010).

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 (Fardiaz, 1992).

2.5.2 Macam-macam Teknik Isolasi Mikroorganisme

Teknik biakan murni suatu spesies dikenal dengan beberapa cara yaitu (Waluyo, 2010):

1. Cara pengenceran

Caranya adalah dengan mengencerkan suatu suspensi yang berupa campuran bermacam-macam spesies kemudian diencerkan dalam suatu tabung tersendiri. Dari pengenceran ini kemudian diambil 1 mL untuk diencerkan lagi. Jika perlu, dari enceran yang kedua ini diambil 1 mL untuk diencerkan lebih lanjut. Langkah selanjutnya diambil 0,1 mL untuk disebar pada suatu medium padat, maka kemungkinan besar akan diperoleh beberapa koloni yang tumbuh atau mungkin juga hanya satu koloni saja.

2. Cara penuangan

Caranya adalah dengan mengambil sedikit sampel campuran bakteri yang sudah diencerkan, dan sampel itu kemudian disebar dalam suatu medium dari kaldu dan gelatin encer (sekarang digantikan oleh agar). Setelah medium mengental maka selang beberapa jam kemudian nampak koloni yang masing-masing dapat dianggap murni.

3. Cara penggesekan/ penggoresan

Cara ini adalah dengan menggunakan ose yang mengandung bakteri kemudian digoreskan ke medium secara halus untuk menghasilkan koloni yang terpisah. Bakteri anaerob tidak dapat tumbuh jika dibiakkan dengan teknik ini. Ada beberapa macam teknik penggoresan yaitu goresan T, goresan kuadran, goresan radian, dan goresan sinambung.

4. Cara penyebaran/ agar-sebar

Caranya adalah dengan mengambil 0,1 mL larutan enceran mikroba dan dialirkan ke atas permukaan medium agar. Penyebaran dilakukan dengan memutar medium agar lempengan tersebut.

5. Cara pengucilan satu sel

Cara ini dengan menggunakan suatu alat yang dapat memungut satu bakteri dari sekian banyak bakteri, dengan tanpa ikutnya bakteri yang lain. Alat ini berupa mikropipet yang ditempatkan pada suatu *micromanipulator*.

6. Cara inokulasi pada hewan

Cara ini didasarkan pada kenyataan bahwa tidak semua bakteri dapat tumbuh di dalam tubuh hewan. Misalnya diambil sampel dahak seorang penderita

TBC, lalu disuntikkan ke tubuh tikus putih, maka saproba akan ikut serta, tetapi tidak dapat bertahan hidup, sehingga kemudian hanya didapatkan kuman TBC saja.

2.6 Pengamatan Morfologi Mikroskopis Bakteri dengan Pewarnaan Gram

Mikroorganisme dapat dilihat dengan mikroskop biasa, tanpa diwarnai; yakni dengan cara-cara khusus. Cara tersebut misalnya dengan tetes bergantung, menggunakan kondensor medan gelap, dan lainnya. Tetapi pengamatan yang demikian (tanpa pewarnaan) lebih sulit dan tidak dapat dipakai untuk melihat bagian-bagian sel dengan seksama. Hal ini karena pada umumnya sel mikroorganisme bersifat transparan atau semi transparan. Mikroorganisme yang tidak diwarnai umumnya tampak transparan (tembus pandang) bila diamati dengan mikroskop cahaya biasa. Hal ini karena sitoplasma sel mikroba memiliki indeks bias yang hampir sama dengan indeks bias lingkungannya yang bersifat cair dan mikroba tidak mengadsorpsi atau membiaskan cahaya. Kontras antara sel dan latar belakangnya (medium) dapat diperjelas dengan cara mewarnai sel-sel mikroba tersebut dengan zat-zat warna (Waluyo, 2010).

Umumnya ada dua macam zat warna (bahan cat) yang sering digunakan untuk pewarnaan mikroorganisme yaitu (Irianto, 2013):

1. Zat warna yang bersifat asam; komponen warnanya adalah anion, biasanya dalam bentuk garam natrium.
2. Zat warna yang bersifat alkalis; dengan komponen kation, biasanya dalam bentuk klorida.

Setelah dilakukan pengecatan, dalam tubuh bakteri akan terjadi proses pertukaran ion-ion zat warna dengan ion-ion protoplasma (misalnya asam nukleat) bakteri.

Salah satu metode pewarnaan yang umum digunakan dalam mikrobiologi adalah pewarnaan Gram. Pewarnaan ini pertama kali dikemukakan oleh Christian Gram (1884) (Irianto, 2013). Pewarnaan Gram memisahkan bakteri menjadi 2 kelompok, yakni bakteri Gram positif dan Gram negatif. Bakteri Gram positif berwarna ungu yang disebabkan oleh kompleks warna Kristal violet-iodium tetap dipertahankan meskipun diberi larutan pemucat. Sedangkan bakteri Gram negatif berwarna merah karena kompleks warna tersebut larut sewaktu pemberian larutan pemucat dan kemudian mengambil zat warna kedua yang berwarna merah. Perbedaan hasil dalam pewarnaan tersebut disebabkan perbedaan struktur, terutama dinding sel kedua kelompok bakteri tersebut. Karena kemampuannya membedakan suatu kelompok bakteri tertentu dengan kelompok lainnya, pewarnaan Gram juga disebut pewarnaan diferensial (Waluyo, 2010).

2.7 Biogas dari Limbah dan Kotoran Hewan dalam Pandangan Islam

Biogas sebagai bahan bakar alternatif banyak dibuat dari bahan atau limbah organik melalui proses fermentasi. Bahan atau limbah organik tersebut misalnya limbah cair tahu (Wati dan Sugito, 2013), eceng gondok, (Yonathan dkk., 2013), kotoran sapi (Sucipto, 2009), dan lain-lain. Hal yang menjadi kontroversi dalam kajian Islam adalah penggunaan biogas dari kotoran atau feses, seperti kotoran hewan ternak dan kotoran manusia. Disebutkan oleh Tausikal

(2015), dihukumi *najis* dalam Islam, khususnya dalam banyak pendapat dari *madzhab* Syafi'i dan *madzhab* Hanafi, sehingga perlu dikaji pemanfaatannya.

Menurut Yasin (2014), memanfaatkan kotoran hewan atau manusia untuk hal-hal yang bermanfaat hukumnya boleh (*mubah*). Sama seperti memanfaatkan kotoran hewan atau manusia untuk kesuburan tanah (dibuat pupuk kandang, dan lain-lain). Dalam konsep *fiqh madzhab* Syafi'i, ketika kotoran tersebut dikonversi dalam bentuk gas (untuk memasak di kompor gas), maka gasnya juga dihukumi *najis*, karena gas tersebut hakikatnya tetap mengandung materi *najis* (*'ainun najasah*). Namun, ketika gas tersebut sudah dibakar, maka api dan asapnya dihukumi *najis* yang *ma'fuwwun 'anhu* (dimaafkan/ ditolerir). Sama seperti gas yang keluar dari perut manusia; terkadang ia keluar dan membasahi pakaian sehingga pakaiannya dihukumi *najis*; terkadang tidak membasahi pakaian sehingga di-*ma'fu*. Artinya, jika biogas "disentuh" secara sengaja, lalu tangan menjadi basah karenanya, maka tangan tersebut dihukumi *najis* atau *mutanajjis*. Tetapi jika gasnya dibakar dan digunakan untuk memasak, maka api dan asapnya di-*ma'fu*, meskipun mengandung materi *najis*. Sedangkan menurut *madzhab* Maliki dan Hanbali, hewan yang dagingnya halal dimakan (seperti ayam, kambing, sapi), kotorannya tidak dihukumi *najis*. Maka ketika kotoran tersebut dikonversi dalam bentuk biogas, hukumnya juga tidak *najis*.

Munir (2013) menjelaskan, biogas dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk di antaranya; kotoran manusia dan hewan, limbah rumah tangga, sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas

adalah metana dan karbondioksida. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun untuk menghasilkan listrik. Meskipun panas dari elpiji berbahan bakar biogas itu dihasilkan oleh biogas berupa uap yang berasal dari uap benda *najis* (kotoran sapi) maka hukumnya adalah suci, sebab uap yang dihasilkan dari benda *najis* (*bukhorun najasah*) itu dihukumi suci oleh *ulama'*, seperti halnya uap yang berasal dari tempat pembuangan kotoran dan kentut. Begitu juga dihukumi suci api yang dihasilkan dari uap tersebut. Sehingga, penggunaan biogas yang berasal dari limbah kotoran sapi, baik sebagai bahan bakar atau yang lainnya itu diperbolehkan, karena uap yang dihasilkannya adalah suci. Hal ini berdasarkan *ibarot* dari kitab *Fathul Wahhab* juz 1 halaman 24; kitab *Hasyiyah al-Bujairomi 'alal Khothib* juz 1 halaman 202-203; kitab *Hawasyi al-Madaniyah* juz 1 halaman 32-33; kitab *Kasyifah as-Saja* halaman 21; dan kitab *Bughiyatul Mustarsyidin* halaman 13.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif untuk analisis volume biogas dan kadar gas metana dalam biogas, serta deskriptif kualitatif untuk isolasi dan pengamatan morfologi bakteri anaerob penghasil gas metana pada campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi. Dalam pembuatan substrat untuk produksi biogas, perlakuan dalam penelitian terdiri dari 4 variasi konsentrasi limbah cair industri tahu dan kotoran sapi yaitu:

X1 = 100% limbah cair tahu dan 0% kotoran sapi

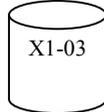
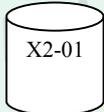
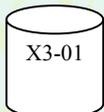
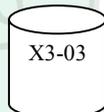
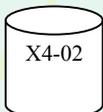
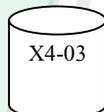
X2 = 75% limbah cair tahu dan 25% kotoran sapi

X3 = 50% limbah cair tahu dan 50% kotoran sapi

X4 = 25% limbah cair tahu dan 75% kotoran sapi

Sedangkan waktu fermentasi substrat terdiri dari 3 variasi, yaitu 01 (7 hari), 02 (14 hari), dan 03 (21 hari). Masing-masing variasi perlakuan ditempatkan tidak dalam satu reaktor. Gambaran rancangan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Gambaran Rancangan Penelitian

Perlakuan	Waktu Fermentasi		
	01 (7 hari)	02 (14 hari)	03 (21 hari)
X1 (100% lct + 0% ks)			
X2 (25% lct + 75% ks)			
X3 (50% lct + 50% ks)			
X4 (25% lct + 75% ks)			
	Dilakukan analisis biogas dan isolasi bakteri anaerob pada hari ke-7	Dilakukan analisis biogas dan isolasi bakteri anaerob pada hari ke-14	Dilakukan analisis biogas dan isolasi bakteri anaerob pada hari ke-21

Keterangan: lct = limbah cair tahu
ks = kotoran sapi

3.2 Variabel Penelitian

Variabel-variabel dalam penelitian ini terdiri dari 3 jenis yaitu:

1. Variabel bebas, meliputi konsentrasi penambahan kotoran sapi yakni 0%, 25%, 50%, dan 75% dari volume total substrat.

2. Variabel terikat, meliputi volume biogas yang dihasilkan.
3. Variabel kontrol, meliputi volume pemberian air sebagai pengencer kotoran sapi.

3.3 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret-Desember 2015. Proses pembuatan dan fermentasi biogas serta isolasi dan pengamatan morfologi makroskopis koloni bakteri anaerob dilaksanakan di Laboratorium Mikrobiologi Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya; sedangkan analisis volume biogas dan kadar gas metana dilakukan di Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (BPKI) Surabaya; dan pengamatan morfologi mikroskopis isolat bakteri anaerob penghasil gas metana dilakukan di Laboratorium Optik Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.4 Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat-alat yang digunakan adalah gasometer elektrik dan volumemeter dari Balai Penelitian dan Konsultasi Industri Surabaya, botol air mineral ukuran 1.500 mL dan 600 mL, bioreaktor anaerob ukuran 1.500 mL, *anaerobic jar*, stoples kedap udara, mikroskop binokuler Olympus Optical, kamera Nokia 5610 Xpressmusic dan Nokia 6220 Classic, kamera *digital*, set mikroskop komputer, botol selai ukuran \pm 250 mL, gelas *beaker* plastik ukuran 500 mL, cawan Petri,

jarum ose, gelas ukur, pipet ukur, *blue tip*, erlenmeyer, selang plastik, *hand glove*, *masker*, jirigen ukuran 10 L, baskom/ ember, baki, *laminar air flow*, autoklaf, neraca analitik, mikropipet, *hot plate*, *magnet stirrer*, pembakar bunsen, korek api, corong, silet/ *cutter*, gunting, *object glass*, *deck glass*.

3.4.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah cair industri tahu dari Industri “Tahu Asin Abadi” Kel. Ledok Kulon Kab. Bojonegoro; kotoran sapi dari Rumah Ternak Sapi Bapak Ngadiyo, Desa Sumberjokidul Kab. Bojonegoro. Selain itu terdapat bahan-bahan lain meliputi air, akuades, media TSA (*Tryptic Soy Agar*), anaerogen, larutan alkohol 70%, etanol 95% larutan spiritus, larutan kristal violet, larutan safranin, dan larutan iodium, plastik *wrap*, *aluminium foil*, karet gelang, kantong plastik tahan panas, kantong plastik ukuran 1 Kg, kapas, kertas bekas, kertas label, tisu, selotip, serta alat tulis.

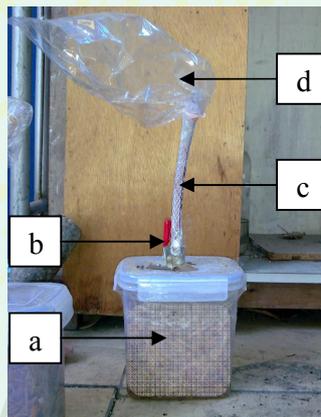


Gambar 3.1 Pengambilan Bahan Penelitian
Keterangan: a. Limbah Cair Industri Tahu dari Industri “Tahu Asin Abadi” Ledok Kulon, Bojonegoro; b. Kotoran Sapi dari Rumah Ternak Bapak Ngadiyo Desa Sumberjokidul, Bojonegoro (Dokumentasi Pribadi)

3.5 Tahapan Penelitian

3.5.1 Persiapan Bioreaktor

Bioreaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioreaktor anaerobik sistem *batch* (tertutup). Jumlah bioreaktor yang digunakan adalah sebanyak 12 buah. Bioreaktor ini terdiri dari wadah toples plastik dengan volume 1.500 mL dengan tutup kedap udara. Pada bagian atas tutup bioreaktor dipasang selang plastik yang dilengkapi kran untuk membuka dan menutup aliran gas dari dalam bioreaktor. Kemudian pada ujung selang dipasang kantong plastik yang diikat dengan karet gelang sebagai tempat penampung gas hasil fermentasi. Bentuk bioreaktor anaerobik disajikan pada Gambar 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Bioreaktor Anaerobik

Keterangan: a. Toples Bioreaktor; b. Kran; c. Selang; d. Plastik Penampung Gas
(Dokumentasi Pribadi)

3.5.2 Pembuatan Substrat dan Fermentasi Anaerob

Substrat dibuat dari campuran limbah cair industri tahu dan kotoran sapi. Kotoran sapi terlebih dahulu diencerkan dengan air dengan perbandingan 1 : 1 (b/v) sebelum dicampur dengan limbah cair industri tahu. Pembuatan substrat dilakukan dengan 4 variasi perbandingan limbah cair industri tahu dan kotoran

sapi (dalam v/v), yaitu X1 (100% limbah cair tahu : 0% kotoran sapi); X2 (75% limbah cair tahu : 25% kotoran sapi); X3 (50% limbah cair tahu : 50% kotoran sapi); dan X4 (25% limbah cair tahu : 75% kotoran sapi). Campuran tersebut difermentasikan dalam bioreaktor pada suhu ruang ($\pm 27^{\circ}\text{C}$) dengan 3 variasi waktu fermentasi, yaitu 01 (7 hari), 02 (14 hari), dan 03 (21 hari). Masing-masing perlakuan (antar variasi substrat dan waktu) ditempatkan tidak dalam satu reaktor. Sehingga jumlah keseluruhan bioreaktor yang digunakan adalah 12 buah, yaitu X1-01, X1-02, X1-03, X2-01, X2-02, X2-03, X3-01, X3-02, X3-03, X4-01, X4-02, dan X4-03.

Selama proses fermentasi berlangsung maka akan terbentuk biogas. Biogas yang terbentuk dalam reaktor akan mengalir dan tertampung ke kantong plastik melalui selang penghubung. Volume biogas kemudian dianalisis dengan volumemeter, dan kadar gas metananya diukur dengan gasometer.

3.5.3 Pembuatan Media Kultur

Pembuatan media diawali dengan menimbang media TSA (*Tryptic Soy Agar*) sebanyak 40 gram, kemudian dicampur dengan akuades steril sebanyak 1 L dalam Erlenmeyer, ditutup rapat dengan kapas dan dibungkus aluminium *foil* dan plastik *wrap*. Selanjutnya dipanaskan pada *hot plate* dan dihomogenkan dengan *magnet stirrer*. Media yang telah homogen selanjutnya disterilkan dengan autoklaf pada suhu 121°C , tekanan 1 atm, selama 15 menit (Bridson, 1998).

3.5.4 Analisis Volume Biogas dan Kadar Gas Metana

Analisis biogas dilakukan di Balai Penelitian dan Konsultasi Industri (BPKI) Surabaya. Biogas yang tertampung pada kantong plastik diambil,

kemudian dianalisis volume biogas dan kadar gas metana (CH_4) yang terkandung dalam biogas. Alat yang digunakan untuk mengukur volume biogas adalah volumemeter. Alat ini berupa penampung gas berbentuk seperti gelas ukur dengan bagian atas tertutup dan terdapat katup untuk menyalurkan gas. Volumemeter memiliki membran yang sensitif terhadap gas. Prinsip kerja volumemeter adalah, biogas yang dialirkan ke dalam penampung gas menyebabkan kenaikan membran di dalam volumemeter. Kenaikan membran ini akan menunjukkan jumlah volume biogas yang terlihat pada skala volumemeter (a). Kemudian, sampel biogas tersebut diambil untuk diteruskan ke gasometer elektrik untuk dilakukan pengukuran kadar metana dalam biogas (BPKI, 2014; Fusvita, 2015).

Prinsip kerja gasometer elektrik dalam analisis biogas yaitu pengukuran selisih massa sampel biogas dalam kantong plastik dengan massa kantong plastik tanpa biogas (b). Kemudian diukur massa bahan penyerap (*absorber*) untuk gas metana (yaitu trietanolamin murni) (c). Sampel gas metana dimasukkan ke dalam gasometer elektrik, lalu gas metana akan terabsorpsi ke dalam *absorber* (trietanolamin) kemudian membentuk metil-dietanolamin dan air. Hal tersebut menyebabkan cairan *absorber* mengalami kenaikan massa. Cairan *absorber* ini kemudian ditimbang menjadi massa *absorber* akhir (d). Perhitungan volume biogas dan kadar gas metana dihitung berdasarkan persamaan berikut (BPKI, 2014; Fusvita, 2015):

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

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

Bentuk gasometer elektrik dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Gasometer Elektrik (Dokumentasi Pribadi)

3.5.5 Analisis Efisiensi Biogas

Analisis efisiensi biogas dalam penelitian ini ditujukan untuk mengetahui produksi biogas yang paling baik dari semua perlakuan (campuran substrat). Hal ini didasarkan pada Fusvita (2015), yaitu bahwa biogas yang baik memiliki volume dan kualitas kadar gas metana yang tinggi. Analisis ini dilakukan dengan pendekatan deskriptif kuantitatif, berdasarkan volume biogas tertinggi (mL) dan kadar gas metana tertinggi (%) serta komposisi campuran substrat.

Efisiensi akan dicapai pada perlakuan dengan volume biogas yang tertinggi yang mengandung kadar gas metana yang tinggi. Kemudian waktu fermentasi juga menjadi salah satu aspek berikutnya yang perlu dipertimbangkan, di mana jika ada 2 perlakuan atau lebih dengan hasil (volume biogas dan kadar gas metana) yang nilainya sama atau hampir sama tingginya tetapi waktu fermentasinya berbeda, maka efisiensi akan dicapai pada perlakuan dengan waktu fermentasi yang lebih singkat.

3.5.6 Isolasi Bakteri Anaerob Penghasil Gas Metana dari Substrat

Isolasi bakteri anaerob penghasil gas metana dilakukan terhadap masing-masing perlakuan (campuran substrat) setelah waktu fermentasi selesai. Sebanyak 10 mL sampel dari substrat diambil dan dimasukkan ke dalam 90 mL akuades steril dalam botol kultur sebagai pengenceran 10^{-1} , kemudian dihomogenkan. Suspensi tersebut kemudian diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam cawan Petri steril. Masing-masing pada cawan Petri ditambahkan media TSA steril dengan metode *pour plate*, ditutup kemudian digoyang-goyangkan dengan perlahan hingga merata, lalu dimasukkan ke dalam *anaerobic jar* yang disertai dengan anaerogen, lalu diinkubasi selama 5 hari pada suhu ruang ($\pm 27^{\circ}\text{C}$).

3.5.7 Pengamatan Morfologi Bakteri Anaerob Penghasil Gas Metana

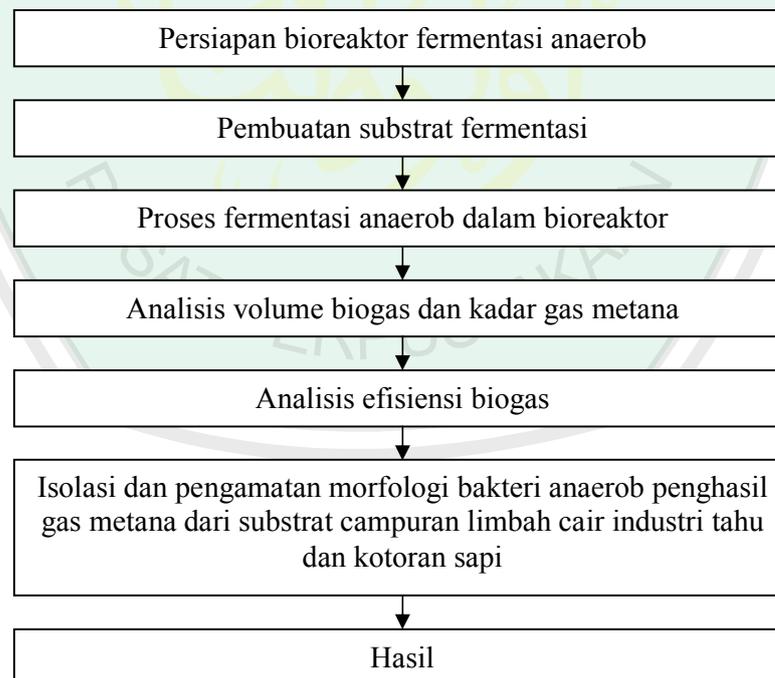
Pengamatan dilakukan terhadap bakteri anaerob penghasil gas metana yang telah diisolasi dari tiap-tiap campuran substrat. Isolat yang diperoleh dari kultur kemudian identifikasi dengan pengamatan makroskopis dan mikroskopis. Pengamatan makroskopis bakteri dilakukan dengan memperhatikan bentuk koloni, warna, elevasi dan ukuran. Sedangkan pengamatan morfologi mikroskopis dilakukan dengan pewarnaan Gram dan pengamatan dengan mikroskop binokuler, dengan berpedoman pada buku *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Ninth Edition* (Holt *et al.*, 1994).

Dibuat preparat ulas pada kaca objek, difiksasi di atas api bunsen. Preparat ditetesi dengan larutan kristal ungu, didiamkan selama 1 menit, lalu dibilas dengan air mengalir lalu ditiriskan dan dikeringkan. Preparat kemudian ditetesi dengan larutan iodium dan didiamkan selama 2 menit, lalu dicuci dengan air

mengalir dan dikeringkan. Preparat dibilas dengan etanol 95% tetes demi tetes selama 30 detik atau sampai zat warna ungu kristal tidak terlihat lagi mengalir dari kaca objek. Dicuci preparat dengan air, lalu ditiriskan. Selanjutnya preparat tersebut ditetesi safranin dan didiamkan selama 30 detik, lalu dicuci dengan air mengalir dan dikeringkan. Preparat diamati dengan mikroskop, jika sel berwarna merah maka preparat sampel termasuk bakteri Gram negatif, dan jika sel berwarna ungu maka termasuk bakteri Gram positif (Waluyo, 2010). Objek diamati pada perbesaran 400x dan 1000x kemudian difoto dengan set mikroskop komputer.

3.6 Skema Prosedur Penelitian

Skema prosedur dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Skema Prosedur Penelitian

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Volume Biogas dan Kadar Gas Metana pada Tiap Perlakuan

Penelitian ini memperoleh hasil meliputi data-data perolehan biogas secara kuantitatif meliputi volume biogas (mL) dan kadar gas metana (%) dalam biogas pada tiap perlakuan. Data-data tersebut diuraikan sebagai berikut:

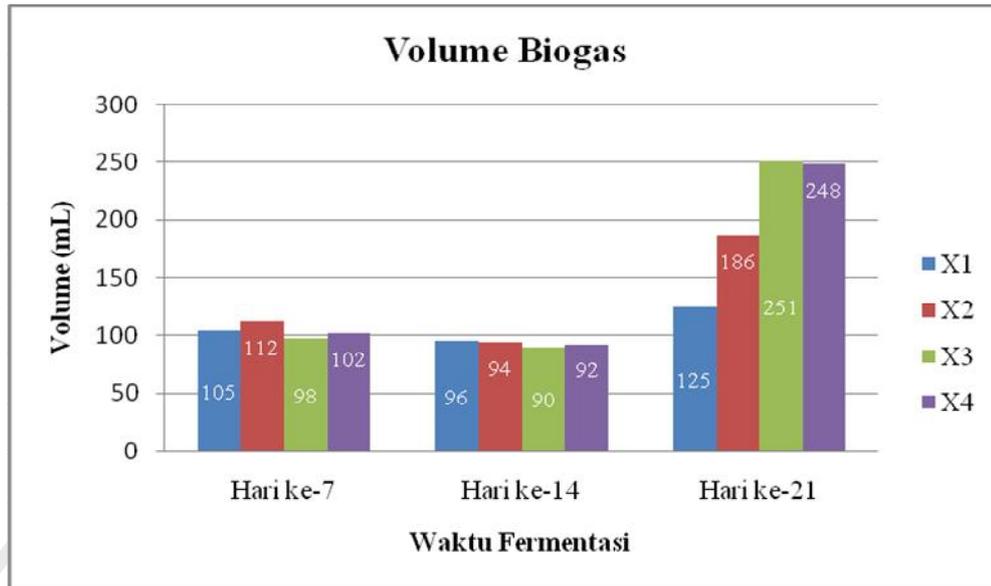
4.1.1 Volume Biogas pada Tiap Perlakuan

Data volume biogas pada tiap perlakuan variasi konsentrasi campuran limbah cair tahu dan kotoran sapi disajikan dalam Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Volume Biogas pada Tiap Perlakuan

Hari ke-	Perlakuan	Volume biogas (mL)
7	X1-01	105
	X2-01	112
	X3-01	98
	X4-01	102
14	X1-02	96
	X2-02	94
	X3-02	90
	X4-02	92
21	X1-03	125
	X2-03	186
	X3-03	251
	X4-03	248

Selanjutnya data-data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.1 sebagai berikut:



Gambar 4.1 Volume Biogas pada Tiap Perlakuan

Berdasarkan Gambar 4.1 tersebut dapat diketahui bahwa volume biogas pada hari ke-7 dari semua perlakuan relatif tidak berbeda jauh, dengan X1 sebesar 105 mL, X2 sebesar 112 mL, X3 sebesar 98 mL, dan X4 sebesar 102 mL. Sedangkan pada hari ke-14, volume biogas dari semua perlakuan tidak berbeda jauh, yaitu dengan X1 sebesar 96 mL, X2 sebesar 94 mL, X3 sebesar 90 mL, dan X4 sebesar 92 mL. Kemudian pada hari ke-21, volume biogas dari semua perlakuan mencapai nilai tertinggi dibanding hari-hari sebelumnya, dengan X1 sebesar 125 mL, X2 sebesar 186 mL, X3 sebesar 251 mL, dan X4 sebesar 248 mL.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume biogas yang dihasilkan dalam waktu fermentasi 7 hari dari semua perlakuan baik X1, X2, X3 maupun X4 relatif tidak berbeda jauh, yaitu berada pada kisaran 98-112 mL. Hal yang sejalan juga terjadi pada waktu fermentasi 14 hari, di mana volume biogas dari semua perlakuan tidak berbeda jauh, yaitu berada pada kisaran 92-96 mL. Sedangkan

pada hari ke-21, volume biogas secara umum mencapai nilai tertinggi dari variasi waktu fermentasi yang lain, yaitu berada pada kisaran 125-251 mL. Fusvita (2015) menyatakan bahwa proses perombakan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme memerlukan waktu untuk memperoleh hasil yang maksimal. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu fermentasi 7 hari dan 14 hari mikroorganisme fermentatif dalam substrat belum tumbuh secara optimal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada hari terakhir (hari ke-21) fermentasi, volume biogas dari semua perlakuan mencapai nilai tertinggi, baik X1, X2, X3 maupun X4. Hal ini menunjukkan bahwa waktu fermentasi yang makin lama dapat meningkatkan produksi biogas. Hasil ini dikuatkan oleh Angraini dkk. (2014) dalam penelitiannya yang menyebutkan bahwa produksi biogas dari limbah cair tahu dan kotoran sapi dari semua perlakuan secara umum mengalami peningkatan hingga hari ke-30 fermentasi. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu tersebut bakteri-bakteri fermentatif berada dalam fase pertumbuhan logaritma atau eksponensial, di mana dalam fase ini sel membelah dengan laju yang konstan, massa menjadi dua kali lipat dengan laju yang sama, aktivitas metabolik seimbang dan pertumbuhan seimbang, yang ditandai dengan bertambahnya populasi secara teratur (Sucipto, 2009).

Berdasarkan hasil penelitian, produksi biogas dengan volume tertinggi dalam waktu fermentasi 21 hari (dan juga dari semua variasi waktu fermentasi) dicapai pada perlakuan X3-03 yakni sebesar 251 mL dan X4-03 sebesar 248 mL. Di mana X3 adalah substrat campuran dari 50% limbah cair tahu dan 50% kotoran sapi, sedangkan X4 dari 25% limbah cair tahu dan 75% kotoran sapi. Hal ini

menunjukkan bahwa penambahan *starter* kotoran sapi dalam limbah cair industri tahu meningkatkan volume biogas yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Wati dan Sugito (2013), bahwa penambahan kotoran sapi dalam substrat dapat meningkatkan volume biogas. Sakinah dkk. (2011) menguatkan, penambahan *biostarter* kotoran sapi sangat mempengaruhi peningkatan laju produksi biogas, semakin tinggi konsentrasi *biostarter* kotoran sapi yang ditambahkan maka laju produksi biogas dari semua variasi perlakuan memperlihatkan kecenderungan meningkat sampai waktu fermentasi hari ke-30.

Kotoran sapi yang tinggi kandungan hara dan energinya (Sucipto, 2009), seperti selulosa 15-20%, lignin 5-10%, hemiselulosa 20-25% (Kumbahan dan Industri, 1979; Harahap, 2007), dan lain-lain dengan total bahan organik 50-75% (Haryati, 2006) menjadi sumber nutrisi yang tinggi bagi bakteri fermentatif. Selain itu dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana (Wati dan Sugito, 2013). Sehingga ketika jumlah populasi bakteri meningkat, aktivitas bakteri menghasilkan gas juga meningkat (Bahrin, 2011). Maka semakin banyak konsentrasi kotoran sapi yang digunakan sebagai *starter* dalam pembuatan biogas maka pertumbuhan bakteri fermentatif akan semakin optimal, dan jumlah biogas yang dihasilkan semakin banyak.

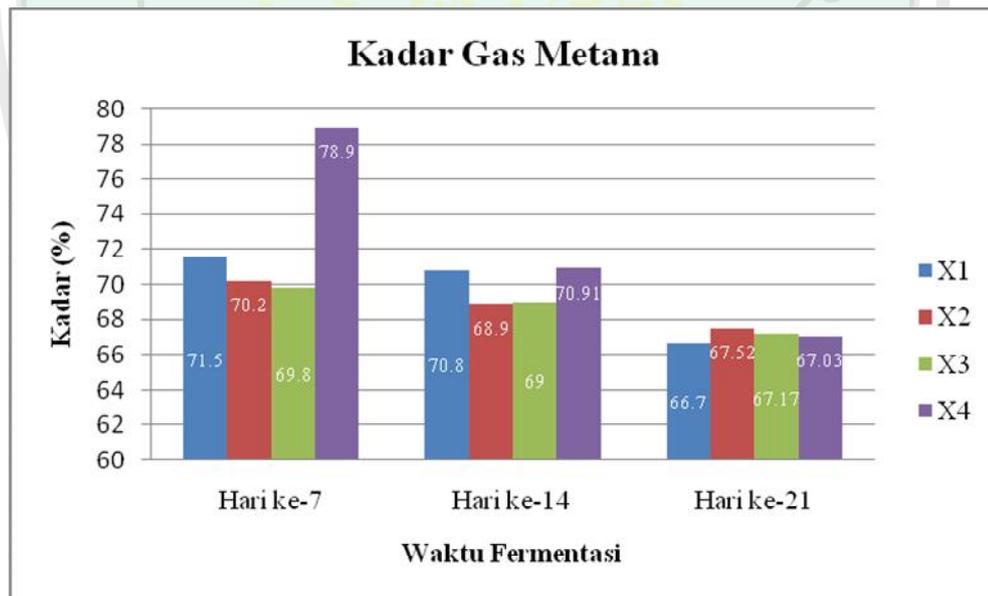
4.1.2 Kadar Gas Metana dalam Biogas

Data kadar gas metana dalam biogas pada tiap perlakuan variasi konsentrasi campuran limbah cair tahu dan kotoran sapi disajikan dalam Tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4.2 Kadar Gas Metana dalam Biogas

Hari ke-	Perlakuan	Kadar metana (%)
7	X1-01	71,5
	X2-01	70,2
	X3-01	69,8
	X4-01	78,9
14	X1-02	70,8
	X2-02	68,9
	X3-02	69
	X4-02	70,91
21	X1-03	66,7
	X2-03	67,52
	X3-03	67,17
	X4-03	67,03

Selanjutnya data-data tersebut ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.2 sebagai berikut:

**Gambar 4.2** Kadar Gas Metana dalam Biogas

Berdasarkan Gambar 4.2 tersebut dapat diketahui bahwa kadar gas metana pada hari ke-7 relatif tidak berbeda jauh antara X1, X2 dan X3 yaitu dengan X1 sebesar 71,5 %, X2 sebesar 70,2% dan X3 sebesar 69,8%. Tetapi perlakuan X4 menunjukkan hasil tertinggi di antara semua perlakuan, dengan

kadar gas metana sebesar 78,9%. Sedangkan pada hari ke-14, kadar gas metana dari semua perlakuan relatif tidak berbeda jauh, yaitu dengan X1 sebesar 70,8 %, X2 sebesar 68,9%, X3 sebesar 69% dan X4 sebesar 70,91%. Kemudian pada hari ke-21, kadar gas metana dari semua perlakuan mencapai nilai terendah dibanding hari-hari sebelumnya, tetapi masing-masing perlakuan nilainya tidak berbeda jauh, yaitu dengan X1 sebesar 66,7%, X2 sebesar 67,52%, X3 sebesar 67,17%, dan X4 sebesar 67,03%.

Khaerunnisa dan Ika (2013) menyebutkan, dalam pembentukan gas metana, bakteri yang berperan adalah bakteri metanogenesis. Bakteri metanogenesis akan memanfaatkan hasil dari tahap sebelumnya yaitu asetat, format, karbondioksida, dan hidrogen sebagai substrat untuk menghasilkan metana, karbondioksida, sisa-sisa gas seperti H₂S dan air. Produksi biogas akan lebih optimum jika fermentasi anaerobik yang dilakukan benar-benar pada kondisi tanpa oksigen (O₂). Padmono (2007) menambahkan, metanogenesis merupakan tahap yang paling kritis dan sensitif dalam proses dekomposisi bahan organik secara anaerobik. Hal ini dikarenakan waktu reproduksi bakteri ini sangat lambat hingga 3 hari dibandingkan dengan bakteri sebelumnya yang hanya membutuhkan 3 jam.

Menurut Rahmadian (2012), kandungan gas metana yang ideal dalam biogas adalah sekitar 60-70%. Kapahang dkk. (2007) menambahkan, kadar gas metana dalam biogas dapat dicapai hingga 80%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar gas metana dari seluruh perlakuan pada ketiga variasi waktu

fermentasi nilainya di atas 60%, yaitu berkisar antara 66,7-78,9%, sehingga hasil ini menunjukkan bahwa biogas dari seluruh perlakuan telah mencapai nilai ideal.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa dari semua variasi perlakuan campuran substrat, biogas dengan kadar gas metana tertinggi dicapai pada hari ke-7 fermentasi, kemudian semakin lama waktu fermentasi substrat, kadar gas metana dalam biogas semakin menurun. Hal ini dijelaskan oleh Deublein dan Angelika (2008) bahwa ketika fermentasi berlangsung maka akan terjadi perombakan unsur-unsur organik dalam substrat oleh bakteri-bakteri fermentatif hingga menghasilkan akumulasi produk-produk gas yang bermacam-macam seperti H_2 , CO_2 , asetat, asam volatil, etanol, dan lain-lain. Ketika konsentrasi H_2 rendah, maka bakteri asetogenik akan banyak memproduksi H_2 , CO_2 , dan asetat. Produk-produk tersebut digunakan oleh bakteri metanogen sebagai prekursor untuk membentuk gas metana (CH_4). Ketika konsentrasi H_2 tinggi, bakteri asetogenik akan banyak memproduksi asam butirat, asam propionat, asam valerat dan etanol dan sedikit memproduksi asetat, H_2 , dan CO_2 . Hal ini menyebabkan produksi CH_4 oleh bakteri metanogen semakin menurun.

Berdasarkan hasil penelitian, produksi biogas dengan kadar gas metana tertinggi dicapai pada perlakuan X4-01 dalam waktu fermentasi 7 hari dengan nilai 78,9%, di mana X4 merupakan substrat campuran dari 25% limbah cair tahu dan 75% kotoran sapi. Sehingga jika dikaitkan antara kadar gas metana yang dihasilkan dengan jenis dan konsentrasi substrat, maka produksi biogas akan optimal pada substrat campuran 25% limbah cair tahu dan 75% kotoran sapi. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi kotoran sapi yang tinggi dapat meningkatkan

kadar gas metana dalam biogas. Ini diperkuat oleh Ratnaningsih dkk. (2009) dalam penelitiannya yang menyebutkan bahwa kadar gas metana terbesar dalam biogas dicapai pada perlakuan 100% kotoran sapi tanpa campuran dari sampah organik. Hal ini dikuatkan oleh Wati dan Sugito (2013) bahwa dalam kotoran sapi telah mengandung bakteri penghasil gas metana, sehingga semakin banyak *starter* kotoran sapi yang digunakan maka jumlah bakteri metanogennya semakin banyak.

Sedangkan dari segi waktu fermentasi, dalam penelitian ini hasil produksi biogas dengan kadar gas metana tertinggi dari masing-masing perlakuan dicapai dalam waktu fermentasi 7 hari. Sehingga waktu fermentasi yang paling baik untuk menghasilkan biogas dengan kadar gas metana yang maksimal adalah 7 hari. Hal ini dikuatkan oleh penelitian yang dilakukan Coniwanti dkk. (2009), yang menyebutkan bahwa dari berbagai jenis perlakuan dan variasi waktu fermentasi dalam pembuatan biogas, hasil maksimal diperoleh pada variasi waktu fermentasi yang paling singkat yaitu 168 jam (7 hari), ditandai dengan perolehan kadar gas metana tertinggi di antara perlakuan-perlakuan yang lain, yaitu sebesar 58,89%. Hal ini menunjukkan bahwa pada waktu fermentasi 7 hari bakteri metanogen memperoleh banyak nutrisi, seperti H_2 , CO_2 , dan asetat (Holt *et al.*, 1994), kemudian berangsur-angsur jumlah nutrisi tersebut semakin menurun sejalan dengan waktu fermentasi, yang menyebabkan produksi gas metana oleh bakteri metanogen juga menurun.

Sedangkan volume biogas terjadi kenaikan sejalan dengan waktu fermentasi karena akumulasi yang tinggi gas-gas lain selain metana. Hal ini didukung oleh Coniwanti dkk. (2009) dalam penelitiannya yang menunjukkan

bahwa seiring lamanya waktu fermentasi produksi gas-gas nitrogen, karbondioksida, dan hidrogen dari beberapa perlakuan secara umum mengalami kenaikan. Biogas sendiri tersusun atas beberapa gas dengan komponen utama adalah gas metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2); dengan sejumlah kecil uap air, hidrogen sulfida (H_2S), karbonmonoksida (CO), dan nitrogen (N_2) (Hardoyo, 2014).

Selanjutnya, data-data hasil penelitian berupa volume biogas dan kadar gas metana dianalisis untuk mengetahui produksi biogas yang paling baik di antara semua perlakuan. Menurut Fusvita (2015), produksi biogas yang baik memiliki volume dan kualitas kadar gas metana yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume biogas tertinggi dicapai pada perlakuan X3-03 yaitu sebesar 251 mL dan pada perlakuan X4-03 yaitu sebesar 248 mL. Sedangkan biogas dengan kadar gas metana tertinggi dicapai pada perlakuan X4-01 yaitu sebesar 78,9%. Ketiga perlakuan tersebut selanjutnya dianalisis efisiensinya secara deskriptif, dilihat dari segi volume biogas, kadar gas metana, komposisi substrat, dan waktu fermentasi.

Apabila dilihat dari kadar gas metana dan waktu fermentasi, maka diperoleh bahwa perlakuan X4-01 merupakan hasil terbaik dengan kadar gas metana tertinggi dalam waktu fermentasi paling singkat. Akan tetapi di sisi lain volume total biogas X4-01 hanya sebesar 102 mL, sehingga diasumsikan apabila dibakar maka gas akan cepat habis meskipun kualitasnya paling baik di antara perlakuan lain. Sedangkan perlakuan X3-03 dan X4-03 memiliki kadar gas metana yang lebih rendah dari X4-01 tetapi masih dalam kategori baik (ideal),

yaitu 67,17% dan 67,03%. Volume biogas tertinggi dicapai pada perlakuan X3-03 yaitu sebesar 251 mL, hampir sama dengan X4-03 yaitu sebesar 248 mL, tetapi dalam waktu fermentasi yang lebih lama dari X4-01, yaitu 21 hari. Sehingga diasumsikan kedua perlakuan tersebut apabila gas dibakar maka akan lebih awet dari perlakuan yang lain. Maka boleh dikatakan bahwa X3-03 memiliki kualitas yang relatif sama dengan X4-03, dan keduanya lebih baik dari perlakuan lain. Kemudian, jika dilihat dari segi substrat, maka X3-03 akan lebih efisien karena memanfaatkan lebih banyak limbah cair tahu yaitu sebesar 50%, daripada X4-03 yang hanya memanfaatkan 25% limbah cair tahu.

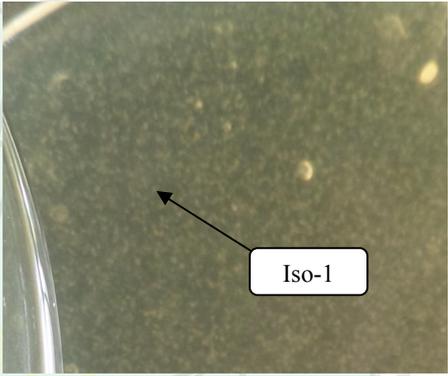
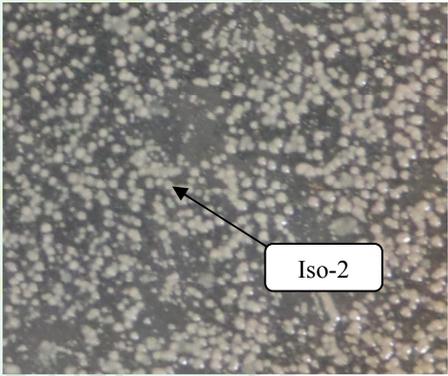
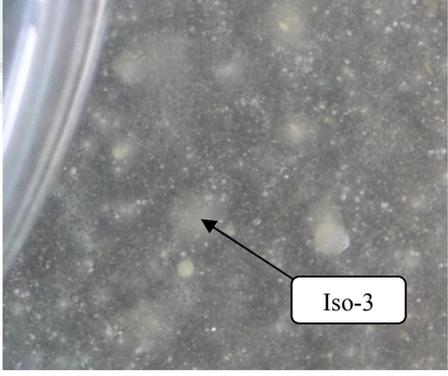
Berdasarkan hasil analisis tersebut maka efisiensi biogas dicapai pada perlakuan X3-03 dengan volume biogas sebesar 251 mL dan kadar gas metana 67,17%, dengan komposisi substrat terdiri dari 50% limbah cair tahu dan 50% kotoran sapi, yang difermentasi dalam waktu 21 hari. Hal ini didukung oleh Fusvita (2015) dalam penelitiannya yang menyatakan bahwa waktu fermentasi 20 hari dapat menghasilkan biogas lebih efisien. Disebutkan dalam penelitiannya bahwa dalam waktu fermentasi 20 hari dihasilkan biogas dengan volume 1025,46 mL dan kadar gas metana 68,74%.

4.2 Bakteri Anaerob Penghasil Gas Metana dari Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi

Penelitian ini memperoleh hasil berupa data-data isolat bakteri anaerob penghasil biogas dari campuran limbah cair industri tahu dengan kotoran sapi.

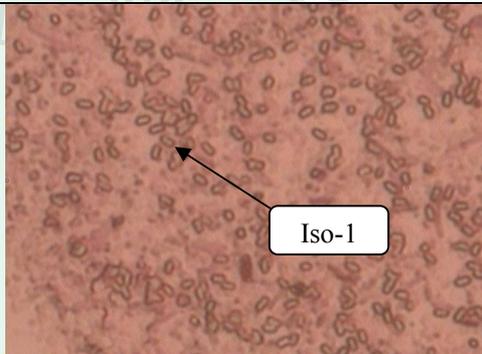
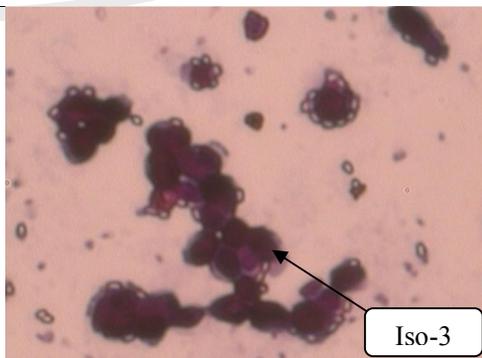
Isolat yang diperoleh diamati morfologinya secara makroskopis. Hasil dari pengamatan dapat dilihat di Tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Karakter Morfologi Makroskopis Hasil Isolat Bakteri

Isolat	Karakteristik	Gambar
Iso-1	Bentuk koloni: sirkuler	
	Ukuran koloni: titik (<i>pinpoint</i>)	
	Warna: putih kekuningan	
	Karakteristik optik: <i>translucent</i> (dapat ditembus cahaya sebagian)	
	Elevasi: <i>flat</i>	
	Permukaan: halus mengkilap	
	Margin: <i>entire</i>	
	Letak koloni: di permukaan media	
Iso-2	Bentuk koloni: sirkuler, penyebaran koloni sangat rapat	
	Ukuran koloni: kecil (<i>small</i>)	
	Warna: putih	
	Karakteristik optik: <i>opaque</i> (tidak tembus cahaya)	
	Elevasi: <i>raised</i> (cembung)	
	Permukaan: halus mengkilap	
	Margin: <i>entire</i>	
	Letak koloni: di permukaan media	
Iso-3	Bentuk koloni: sirkuler	
	Ukuran koloni: sedang (<i>moderate</i>)	
	Warna: keputihan	
	Karakteristik optik: <i>transparan</i> (dapat ditembus cahaya)	
	Elevasi: <i>raised</i>	
	Permukaan: halus mengkilap	
	Margin: <i>entire</i>	
	Letak koloni: di permukaan media	

Selanjutnya, isolat bakteri anaerob yang sudah diamati karakter morfologi koloninya dibuat preparat ulas kemudian diwarnai dengan pewarnaan Gram, lalu diamati secara mikroskopis dengan set mikroskop komputer pada perbesaran 1000x. Hasil pengamatan mikroskopis dari masing-masing isolat dapat dilihat di Tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Karakter Morfologi Mikroskopis Hasil Isolat Bakteri

Isolat	Karakteristik	Gambar
Iso-1	Bentuk sel: batang pendek	
	Pewarnaan Gram: ungu (Gram positif)	
Iso-2	Bentuk sel: bulat lonjong (kokus)	
	Pewarnaan Gram: merah (Gram negatif)	
Iso-3	Bentuk sel: bulat agak lonjong, bertumpuk-tumpuk	
	Pewarnaan Gram: ungu (Gram positif)	

4.3 Hukum Biogas dari Limbah dan Kotoran Hewan dalam Islam

Biogas sebagai bahan bakar alternatif diproduksi dari limbah organik melalui proses fermentasi. Limbah organik yang banyak digunakan adalah sampah organik, limbah cair tahu, dan kotoran ternak. Biogas menjadi potensi yang cukup besar di Indonesia mengingat banyaknya sumber daya hayati seperti pangan dan ternak sehingga limbah yang dihasilkan juga banyak. Kebermanfaatan limbah ternak ini menjadi bukti kebenaran firman Allah Swt. dalam surah al-Mu'minuun ayat 21 sebagai berikut:

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً ۚ نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ 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 darinya kamu makan.” (QS. al-Mu'minuun: 21)

Ayat tersebut menjelaskan bahwa pada binatang ternak terdapat banyak faedah. Dalam hal ini yang juga termasuk berfaedah adalah kotoran ternak yang dapat diolah sedemikian rupa hingga menghasilkan biogas sebagai bahan bakar. Hal yang menjadi kontroversi dalam kajian Islam adalah penggunaan biogas dari kotoran-kotoran, seperti kotoran hewan ternak dan kotoran manusia. Hal itu karena menurut Tausikal (2015), kotoran (feses) dihukumi *najis* dalam Islam, khususnya dalam banyak pendapat dari *madzhab* Syafi'i dan *madzhab* Hanafi.

Menurut Yasin (2014), memanfaatkan kotoran hewan atau manusia untuk hal-hal yang bermanfaat hukumnya boleh (*mubah*). Sama seperti memanfaatkan

kotoran hewan atau manusia untuk kesuburan tanah (dibuat pupuk kandang, dan lain-lain). Dalam konsep *fiqh madzhab* Syafi'i, ketika kotoran tersebut dikonversi dalam bentuk gas (untuk memasak di kompor gas), maka gasnya juga dihukumi *najis*, karena gas tersebut hakikatnya tetap mengandung materi *najis* ('*ainun najasah*). Namun, ketika gas tersebut sudah dibakar, maka api dan asapnya dihukumi najis yang *ma'fuwwun 'anhu* (dimaafkan/ ditolerir). Sama seperti gas yang keluar dari perut manusia; terkadang ia keluar dan membasahi pakaian sehingga pakaiannya dihukumi *najis*; terkadang tidak membasahi pakaian sehingga di-*ma'fu*. Artinya, jika biogas "disentuh" secara sengaja, lalu tangan menjadi basah karenanya, maka tangan tersebut dihukumi *najis* atau *mutanajjis*. Tetapi jika gasnya dibakar dan digunakan untuk memasak, maka api dan asapnya di-*ma'fu*, meskipun mengandung materi *najis*. Sedangkan menurut *madzhab* Maliki dan Hanbali, hewan yang dagingnya halal dimakan (seperti ayam, kambing, sapi), kotorannya tidak dihukumi *najis*. Maka ketika kotoran tersebut dikonversi dalam bentuk biogas, hukumnya juga tidak *najis*.

Munir (2013) menjelaskan, biogas dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk di antaranya; kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbondioksida. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun untuk menghasilkan listrik. Meskipun panas dari elpiji berbahan bakar biogas itu dihasilkan oleh biogas berupa uap yang berasal dari uap benda *najis* (kotoran sapi) maka hukumnya adalah suci, sebab uap yang

dihasilkan dari benda najis (*bukhorun najasah*) itu dihukumi suci oleh *ulama'*, seperti halnya uap yang berasal dari tempat pembuangan kotoran dan kentut. Begitu juga dihukumi suci api yang dihasilkan dari uap tersebut. Sehingga, penggunaan biogas yang berasal dari limbah kotoran sapi, baik sebagai bahan bakar atau yang lainnya itu diperbolehkan, karena uap yang dihasilkannya adalah suci. Hal ini berdasarkan *ibarat* dari kitab *Fathul Wahhab* juz 1 halaman 24; kitab *Hasyiyah al-Bujairomi* alal *Khothib* juz 1 halaman 202-203; kitab *Hawasyi al-Madaniyah* juz 1 halaman 32-33; kitab *Kasyifah as-Saja* halaman 21; dan kitab *Bughiyatul Mustarsyidin* halaman 13.

Berdasarkan pendapat-pendapat tersebut maka boleh diambil kesimpulan bahwa memanfaatkan kotoran hewan atau manusia untuk hal-hal yang bermanfaat seperti biogas hukumnya *mubah* (boleh) meskipun mengandung materi *najis*, karena biogas yang dibakar dan digunakan untuk memasak, api dan asapnya dihukumi *najis* yang *ma'fuwwun 'anhu* (dimaafkan/ ditolerir). Akan tetapi sebagai upaya untuk berhati-hati (*wara'*) maka uap biogas yang belum dibakar tidak boleh sampai mengenai kulit atau pakaian dari pengguna secara sengaja hingga terasa basah, yang menyebabkannya dihukumi *mutanajjis*. Mahasuci Allah Swt. yang telah menciptakan segala sesuatu dengan tanpa sia-sia, serta yang telah memberikan kemudahan-kemudahan dalam berbagai urusan manusia.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan dapat disimpulkan bahwa:

1. Biogas dengan volume tertinggi dicapai pada perlakuan X3-03 yaitu sebesar 251 mL, dengan komposisi substrat adalah 50% limbah cair tahu dan 50% kotoran sapi, dalam waktu fermentasi 21 hari.
2. Biogas dengan kadar gas metana tertinggi dicapai pada perlakuan X4-01 yaitu sebesar 78,9%, dengan komposisi substrat adalah 25% limbah cair tahu dan 75% kotoran sapi, dalam waktu fermentasi 21 hari.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, maka untuk penelitian berikutnya disusun saran sebagai berikut:

1. Pembuatan biogas dari limbah cair tahu dan kotoran sapi yang efisien dapat dilakukan dengan komposisi 50% limbah cair tahu : 50% kotoran sapi.
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan menambahkan ulangan pada tiap perlakuan untuk memperkuat validitas hasil yang diperoleh, dilanjutkan dengan analisis data dengan metode statistik untuk mendapatkan hasil yang akurat.
3. Dilakukan pengukuran rasio C/N, suhu, dan pH substrat untuk mengetahui keterlibatan faktor-faktor tersebut dalam pembentukan biogas.

4. Dilakukan isolasi, identifikasi dan karakterisasi terhadap bakteri-bakteri anaerob dalam substrat baik yang metanogen maupun non-metanogen.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah bin Muhammad. 2007. *Tafsir Ibnu Katsir Jilid 6*. Bogor: Pustaka Imam asy-Syafi'i. Diterjemahkan oleh: M. Abdul Ghoffar, dkk.
- ad-Dimasyqi, Al-Imam Abul Fida Isma'il Ibnu Kasir. 2000^a. *Tafsir Ibnu Kasir Juz 4 (Ali Imran 92 s.d. An-Nisa 23)*. Bandung: Penerbit Sinar Baru Algesindo Bandung. Diterjemahkan oleh Bahrun Abu Bakar, Lc.
- ad-Dimasyqi, Al-Imam Abul Fida Isma'il Ibnu Kasir. 2000^b. *Tafsir Ibnu Kasir Juz 8 (Al-An'am 111 sd Al-A'raf 87)*. Bandung: Penerbit Sinar Baru Algesindo Bandung. Diterjemahkan oleh Bahrun Abu Bakar, Lc.
- Adnany dan Mohammad Razif. 2000. Identifikasi Morfologi Bakteri Methanogen dari Efluen Clarifier IPLT Keputih Surabaya. *Jurnal Purifikasi* Vol. 1, No. 6.
- Ahmad bin Hanbal. 1995. *Al-Musnad*. Kairo: Darul Hadits.
- al-Jazairi, Syaikh Abu Bakar Jabir. 2008. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar (Jilid 5)*. Jakarta: Daarus Sunnah. Diterjemahkan oleh Fityan Amaliy, Lc. dan Edi Suwanto, Lc.
- al-Jazairi, Syaikh Abu Bakar Jabir. 2009. *Tafsir Al-Qur'an Al-Aisar (Jilid 6)*. Jakarta: Daarus Sunnah. Diterjemahkan oleh Fityan Amaliy, Lc. dan Edi Suwanto, Lc.
- Angraini, dkk. 2014. Pengolahan Limbah Cair Tahu secara Anaerob menggunakan Sistem *Batch*. *Jurnal Reka Lingkungan*, No. 1, Vol. 2.
- Astuti, Ariani Dwi. 2007. Pengolahan Air Limbah Tahu Menggunakan Bioreaktor Anaerob-Aerob Bermedia Karbon Aktif dengan Variasi Waktu Tunggal. *Penelitian Ilmiah*, Volume 4, No. 2.
- Bahrin, David, dkk. 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.
- Bridson, E.Y. 1998. *The Oxoid Manual 8th Edition*. Hampshire: OXOID Limited, England.
- Christy, P. Merlin, et al. 2014. Microbial Dynamics During Anaerobic Digestion of Cow Dung. *International Journal of Plant, Animal and Environmental Sciences*, Vol. 4, Issue 4.

- Coniwanti, Pamilia, dkk. 2009. Pembuatan Biogas dari Ampas Tahu. *Jurnal Teknik Kimia*, No. 1, Vol. 16.
- Deublein, Dieter dan Angelika Steinhauser. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Germany.
- Dhadse, Sharda, *et al.* 2012. Study of Diverse Methanogenic and Non Methanogenic Bacteria Used for the Enhancement of Biogas Production. *International Journal of Life Sciences Biotechnology and Pharma Research*, 1 (2), pp.176-191.
- Dixit, Savita, *et al.* 2010. Design and Development of Floating Prototype Biogas digester. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, Volume 1, Issue 1.
- Djarwanti, dkk. 2000. Pemanfaatan Energi Hasil Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 3 (2).
- Fardiaz, S. 1992. *Fisiologi Fermentasi*. Bogor: Pusat Antar Universitas-IPB.
- Fusvita, Laifa. 2015. Pengaruh Variasi Konsentrasi Konsorsium Bakteri Hidrolitik dan Waktu Fermentasi terhadap Produksi Biogas dari Campuran Bahan Baku Kompos dengan Kotoran Sapi. Skripsi Tidak Diterbitkan. Departemen Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Airlangga Surabaya.
- Ghevanda, I. dan Triwikantoro. 2013. Analisis Peran Limbah Sayuran dan Limbah Cair Tahu pada Produksi Biogas Berbasis Kotoran Sapi. *JURNAL SAINS DAN SENI POMITS*, Vol. 2, No.1.
- Girija, D., *et al.* 2013. Analysis of Cow Dung Microbiota – A Metagenomic Approach. *Indian Journal of Biotechnology*, Vol. 12.
- Gomathi, V., *et al.* 2009. Methan Emission by Gut Symbionts of Termites. *Academic Journal of Plant Sciences*, 2 (3): 189-194.
- Gunawan, Denny. 2013. Produksi Biogas Sebagai Sumber Energi Alternatif dari Kotoran Sapi. *Jurnal Scientific Article*, Vol. 1, No. 2.
- Harahap, Indri Velasina. 2007. Uji Beda Komposisi Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian terhadap Biogas yang Dihasilkan. Skripsi Tidak Diterbitkan. Departemen Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatra Utara.
- Hardoyo, dkk. 2014. *Panduan Praktis Membuat Biogas Portabel Skala Rumah Tangga dan Industri*. Yogyakarta: Lily Publisher.

- Haryati, Tuti. 2006. Biogas: Limbah Peternakan yang Menjadi Sumber Energi Alternatif. *WARTAZOA*, Vol. 16, No. 3.
- Holt, John G., et al. 1994. *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology Ninth Edition*. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins, USA.
- Irianto, Koes. 2013. *Mikrobiologi: Menguk Dunia Mikroorganisme Jilid 1*. Bandung: Yrama Widya.
- Kapahang, Ardi, dkk. 2007. Isolasi, karakterisasi, dan Identifikasi Bakteri Metanogenik Asal Limbah Air Kelapa. *Forum Pascasarjana*, Vol. 30, No. 1: 25-35. Bogor: IPB.
- Kaswinarni, Fibria. 2007. Kajian Teknis Pengolahan Limbah Padat dan Cair Industri Tahu (Studi Kasus di Industri Tahu Tandang Semarang, Sederhana Kendal dan Gagak Sipat Boyolali). Tesis Tidak Diterbitkan. Semarang: Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.
- Khaerunnisa, Gita dan Ika Rahmawati. 2013. Pengaruh pH dan Rasio COD:N Terhadap Produksi Biogas dengan Bahan Baku Limbah Industri Alkohol (Vinasse). *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol. 2, No. 3.
- Madaniyah. 2013. Skrining Bakteri Fibrinolitik Asal Tanah pada Pembuangan Limbah Tahu. Skripsi Tidak Diterbitkan. Jurusan Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Munir, Siroj. 2013. Hukum Menggunakan Biogas dari Limbah Kotoran Hewan (Benda Najis). <http://www.fikihkontemporer.com/2013/02/hukum-menggunakan-biogas-dari-limbah.html>. Diakses pada 03-07-2015.
- Murtadlo, As'adul. tt. Analisa Produksi Biogas dari Hasil Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Digester Anaerobik. Paper. Department of Engineering Physics, Faculty of Industrial Technology ITS Surabaya.
- Padmono, Djoko. 2007. Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Penyanggan (*Buffer Capacity*) dalam Sistem Anaerobik *Fixed Bed*. *Jurnal Tek. Ling.*, Vol. 8, No. 2: 119-127. Jakarta.
- Pohan, Nurhasmawaty. 2008. Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dengan Proses Biofilter Aerobik. Tesis Tidak Diterbitkan. Program Studi Teknik Kimia Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara.
- Pradhan, Pratiksha dan Gireesh Babu K. 2012. Isolation and Identification of Methanogenic Bacteria from Cowdung. *International Journal of Current Research*, Vol. 4, Issue 07.

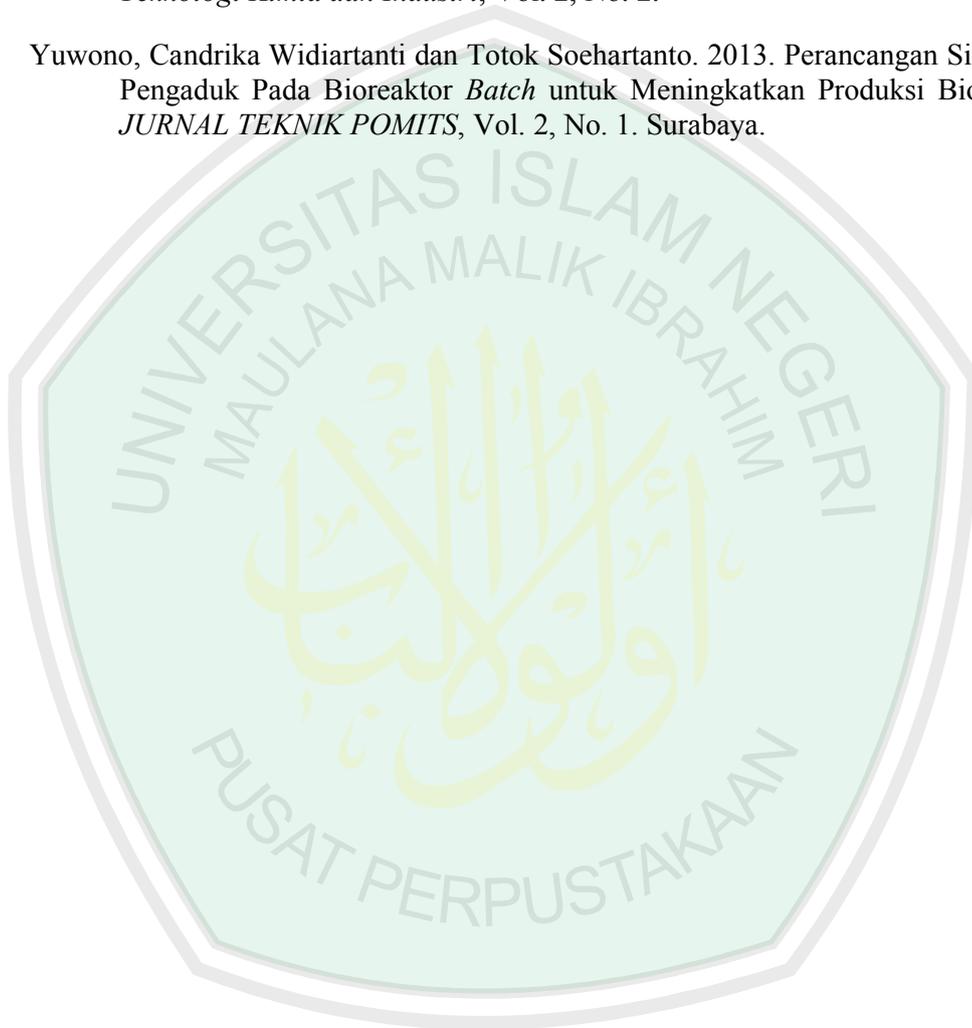
- Rahayu, Sugi, dkk. 2009. Pemanfaatan Kotoran Ternak Sapi Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan Beserta Aspek Sosio Kulturalnya. *Inotek*, Volume 13, Nomor 2.
- Rahayu, Suparni Setyowati, dkk. 2012. Rekayasa Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dan Tempe dalam Upaya Mendapatkan Sumber Energi Pedesaan. *TEKNIS*, Vol. 7, No. 3: 129-139.
- Rahmadian, Bindari. 2012. Studi Tekno Ekonomi Pembuatan Biogas di PT. SHGW (*Stichting Het Groene Woudt*) Bio Tea Indonesia. *Jurnal Energi Alternatif*, (2012).
- Ratnani, R.D. 2011. Kecepatan Penyerapan Zat Organik pada Limbah Cair Industri Tahu dengan Lumpur Aktif. *Momentum*, Vol. 7, No. 2, Oktober 2011: 18-24.
- Ratnaningsih, dkk. 2009. Potensi Pembentukan Biogas pada Proses Biodegradasi Campuran Sampah Organik Segar dan Kotoran Sapi dalam *Batch* Reaktor Anaerob. Artikel Ilmiah Vol. 5 No. 1 Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti, Jakarta.
- Sadzali, Imam. 2010. Potensi Limbah Tahu sebagai Biogas. *Jurnal UI Untuk Bangsa Seri Kesehatan, Sains, dan Teknologi*, Volume 1.
- Sagagi, B.S., *et al.* 2009. Studies on Biogas Production from Fruits and Vegetable Waste. *Bajopas*, Volume 2, Number 1.
- Sakinah, dkk. tt. Pengaruh Konsentrasi Biostarter Kotoran Sapi dan Kotoran Ayam pada Produksi Biogas dengan Menggunakan Limbah Jerami Padi. Artikel Ilmiah. Pengelolaan Lingkungan Hidup Universitas Hasanuddin Makassar.
- Saputra, Trisno. 2010. Produksi Biogas dari Campuran Feses Sapi dan Ampas Tebu (Bagasse) dengan Rasio C/N yang Berbeda. *Buletin Peternakan*, Vol. 34 (2): 114-122.
- Saputri, Yasinta Fajar. 2014. Pemanfaatan Kotoran Sapi untuk Bahan Bakar PLT Biogas 80 KW di Desa Babadan Kecamatan Ngajum Malang. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Vol. 1, No. 1: 1-6.
- Seadi, Teodorita Al. 2001. *Good practice in quality management of AD residues from biogas production*. Oxfordshire: IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, United Kingdom.
- Septiana, Yuyun, dkk. 2009. Ekstraksi Fosfor dari Berbagai Jenis Sampah Simulasi untuk Pembuatan Pupuk Cair. Artikel Ilmiah Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta.

- Sjafruddin, Rahmiah. 2011. Produksi Biogas dari Substrat Campuran Sampah Buah Menggunakan Starter Kotoran Sapi. *Jurnal Teknologi Media Perspektif*, Vol. 11, Nomor 2: 62-119.
- Subekti, Sri. 2011. Pengolahan Limbah Cair Tahu Menjadi Biogas sebagai Bahan Bakar Alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011*. Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- Sucipto, Imam. 2009. Biogas Hasil Fermentasi Hidrolisat Bagas Menggunakan Konsorsium Bakteri Termofilik Kotoran Sapi. Skripsi Tidak Diterbitkan. Program Studi Biokimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Pertanian Bogor.
- Sunarto. 2013. Karakteristik Metanogen Selama Proses Fermentasi Anaerob Biomassa Limbah Makanan. *Jurnal EKOSAINS*, Vol. V, No. 1.
- Sunaryo. 2014. Rancang Bangun Reaktor Biogas Untuk Pemanfaatan Limbah Kotoran Ternak Sapi di Desa Limbangan Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal PPKM UNSIQ I*, (2014): 21-30.
- Tausikal, Muhammad Abduh. 2015. Kotoran Hewan Apakah Najis?. <https://rumaysho.com/10556-kotoran-hewan-apaakah-najis.html>. Diakses pada 06-12-2015.
- Wagiman. 2007. Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). *Bioteknologi*, 4 (2): 41-45.
- Wahyuni, Sri. 2013. *Panduan Praktis Biogas*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Waluyo, Lud. 2010. *Teknik dan Metode Dasar dalam Mikrobiologi*. Malang: UMM Press.
- Wati, Dewi Ayu Trisno dan Sugito. 2013. Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair Pabrik Tahu Dengan Tinja Sapi. *Jurnal Teknik WAKTU*, Volume 11, Nomor 02.
- Widarti, Budi Nining, dkk. 2012. Degradasi Substrat *Volatile Solid* pada Produksi Biogas dari Limbah Pembuatan Tahu dan Kotoran Sapi. *Jurnal Rekayasa Proses*, Vol. 6, No. 1.
- Yasin, A. Mubarak. 2014. Hukum Biogas dari Kotoran Hewan/ Manusia. <http://tebuieng.org/hukum-biogas-dari-kotoran-hewanmanusia/>. Diakses pada 03-07-2015.
- Yazid, M. dan Aris Bastianudin. 2011. Seleksi Mikroba Metanogenik Menggunakan Irradiasi Gamma untuk Peningkatan Efisiensi Proses

Digesti Anaerob Pembentukan Biogas. *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*, Vol. 14, No. 1.

Yonathan, Arnold, dkk. 2013. Produksi Biogas dari Eceng Gondok (*Eicchornia crassipes*): Kajian Konsistensi dan pH terhadap Biogas Dihasilkan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, Vol. 2, No. 2.

Yuwono, Candrika Widiartanti dan Totok Soehartanto. 2013. Perancangan Sistem Pengaduk Pada Bioreaktor *Batch* untuk Meningkatkan Produksi Biogas. *JURNAL TEKNIK POMITS*, Vol. 2, No. 1. Surabaya.





Lampiran 1 Dokumentasi Penelitian





Hasil Biogas dalam Waktu Fermentasi
21 Hari



Media Kultur TSA (*Tryptic Soy
Agar*)



Anaerogen (Tampak Depan)



Anaerogen (Tampak Belakang)



Isolasi Bakteri Anaerob dari Substrat



LAF (*Laminar Air Flow*)



Inkubasi Anaerob dalam *Anaerobic Jar*



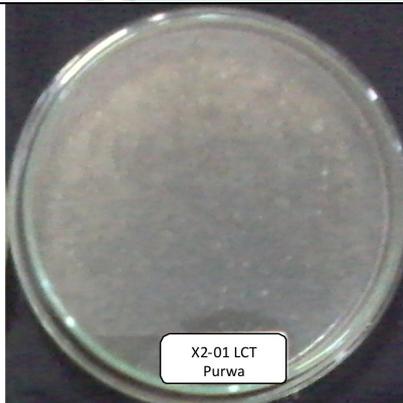
Gasometer Elektrik



Mikroskop Binokuler



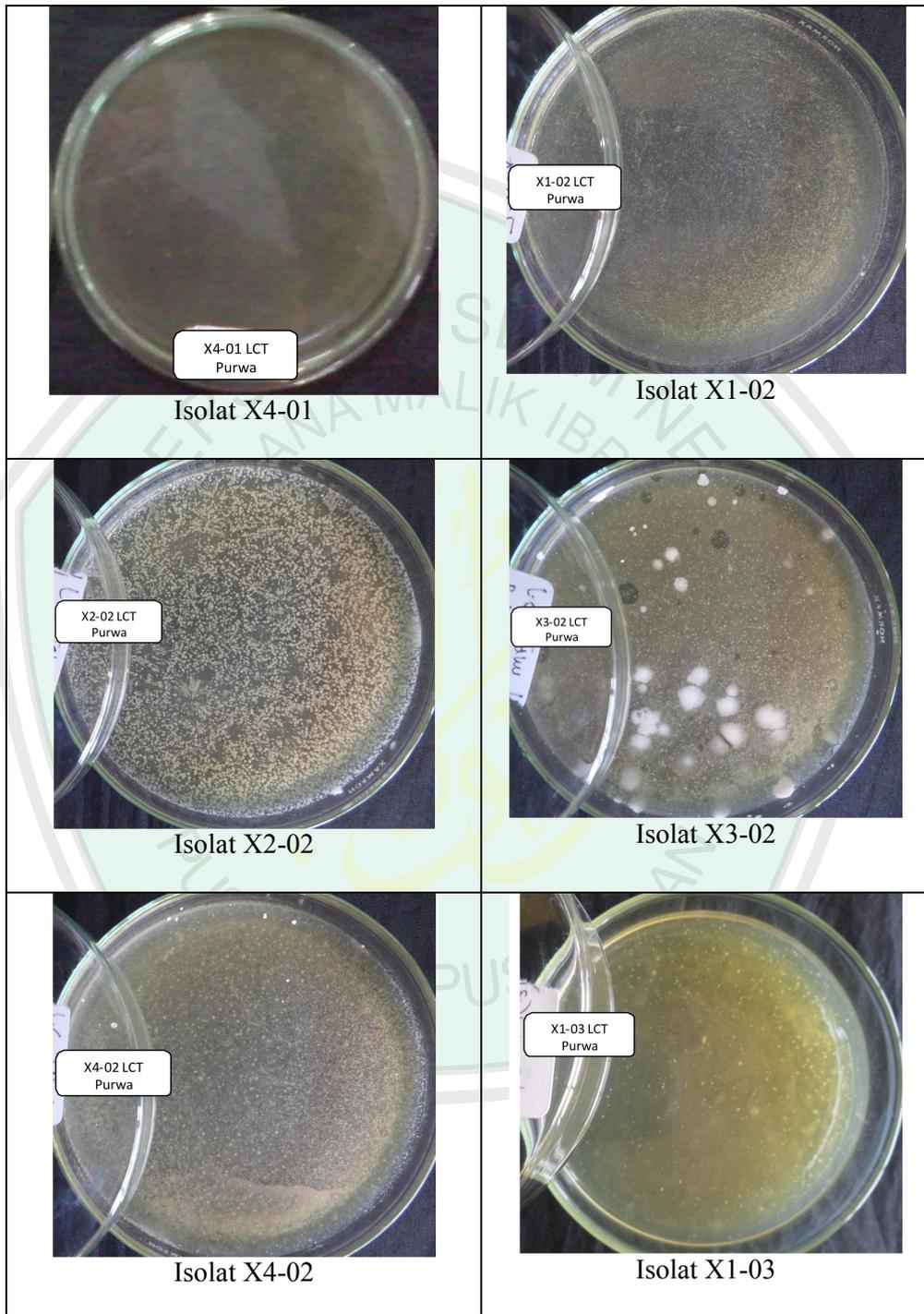
Isolat X1-01

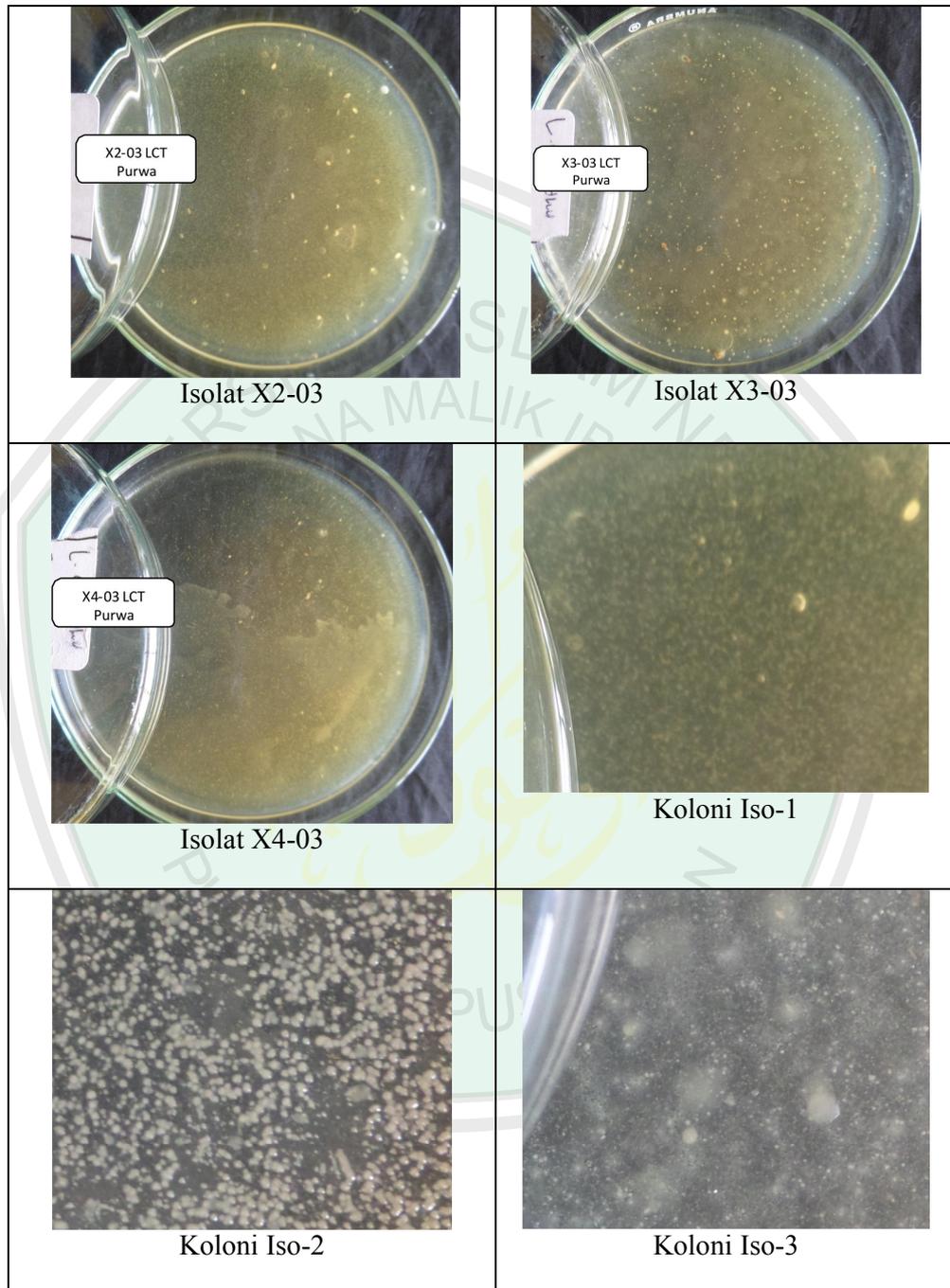


Isolat X2-02



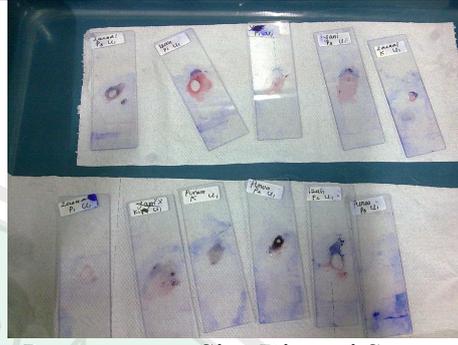
Isolat X3-01







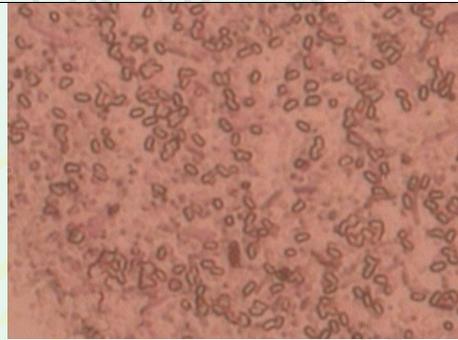
Pewarnaan Gram Terhadap Isolat Bakteri



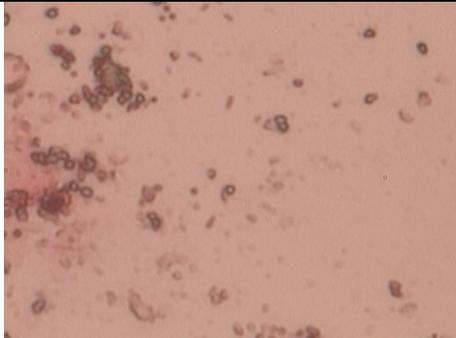
Preparat yang Siap Diamati Secara Mikroskopis



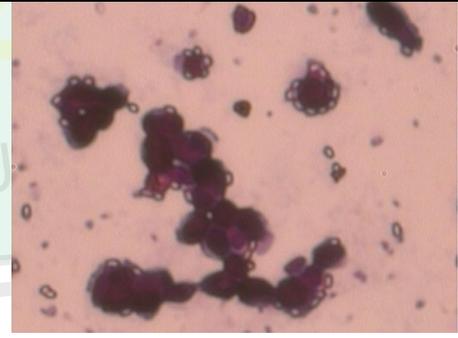
Pengamatan Mikroskopis yang Dibimbing Oleh Bapak Agus Supriyanto



Bakteri Iso-1 pada perbesaran 10 x 100



Bakteri Iso-2 pada perbesaran 10 x 100



Bakteri Iso-3 pada perbesaran 10 x 100

Lampiran 2 Ayat al-Qur'an dan Hadits

1. Surah Ali Imron ayat 191

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَمًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ
وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَطْلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): “Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan ini dengan sia-sia, Maha suci Engkau, maka peliharalah kami dari siksa neraka.” (QS. Ali Imron: 191)

2. Surah al-Mu'minuun ayat 21

وَإِنَّ لَكُمْ فِي الْأَنْعَامِ لَعِبْرَةً نُسْقِيكُمْ مِمَّا فِي بُطُونِهَا وَلَكُمْ فِيهَا مَنَافِعُ كَثِيرَةٌ 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 darinya kamu makan.” (QS. al-Mu'minuun: 21)

3. Surah Yaasiin ayat 80

الَّذِي جَعَلَ لَكُمْ مِنَ الشَّجَرِ الْأَخْضَرِ نَارًا فَإِذَا أَنْتُمْ مِنْهُ تُوقِدُونَ ﴿٨٠﴾

Artinya: “yaitu Rabb yang menjadikan untukmu api dari kayu yang hijau, maka tiba-tiba kamu nyalakan (api) dari kayu itu.” (QS. Yaasiin: 80)

4. Hadits Riwayat Ahmad

حَدَّثَنَا وَكِيعٌ حَدَّثَنَا ثَوْرُ الشَّامِيِّ عَنْ حَرِيزِ 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 وَالْكَالِ وَالنَّارِ

Artinya: “Waki telah menyampaikan hadits pada kami. Tsaur asy-Syamiy menyampaikan hadits pada kami dari Hariz bin Utsman dari Abi Khirasy dari seorang shahabat yang menyatakan bahwa Rasulullah Saw.

bersabda, 'Kaum muslimin berserikat dalam tiga perkara yaitu air, rumput liar dan api'.'' (HR. Ahmad)

5. Surah al-A'raaf ayat 56

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ ﴿٥٦﴾

Artinya: "Dan janganlah kalian membuat kerusakan di muka bumi, sesudah (Allah) memperbaikinya, dan berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut (tidak akan diterima) dan harapan (akan dikabulkan). Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik." (QS. al-A'raaf: 56)

6. Surah Yaasiin ayat 36

سُبْحَانَ الَّذِي خَلَقَ الْأَزْوَاجَ كُلَّهَا مِمَّا تُنْبِتُ الْأَرْضُ وَمِنْ أَنْفُسِهِمْ وَمِمَّا لَا يَعْلَمُونَ ﴿٣٦﴾

Artinya: "Maha suci (Allah) yang telah menciptakan semuanya berpasang-pasangan, baik dari apa yang ditumbuhkan oleh bumi dan dari diri mereka sendiri, maupun dari apa yang tidak mereka ketahui." (QS. Yaasiin: 36)

Lampiran 3 Scan Hasil Analisis Volume Biogas dan Kadar Gas Metana

**BALAI PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
LABORATORIUM
PENELITIAN DAN KONSULTASI INDUSTRI
SURABAYA – JAWA TIMUR**



REPORT

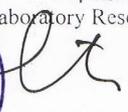
Certificate of Analisis

No. : 05683/KI/X-2015
Code : Penelitian
Sampel Sender : Mhs .UIN Malang
Sampel Name : Gas Bio LC.Tahu
Test : CH₄ - Vol.
Sampel Brand :
Sampel Identity : Gas takberwarna
Sampel Accepted : 20 Okt.2015

Chemical laboratory test result is :

Kode	CH ₄ %				Vol. ml			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
Mg I	71,50	70,20	69,80	78,90	105	112	98	102
Mg II	70,80	68,90	69,00	70,91	96	94	90	92
Mg III	66,70	67,52	67,17	67,03	125	186	251	248

Surabaya, 5 Nov. 2015
Laboratory Reseracher




Drs. M. Fatoni, MS

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



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

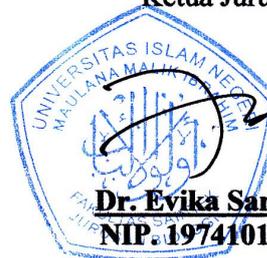
Jln. Gajayana No. 50 Malang Telp. (0341) 551354 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Purwa Saputra
NIM : 11620038
Program Studi : Biologi
Pembimbing I : Dr. Ulfah Utami, M.Si
Judul Skripsi : Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas

No.	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	11 Maret 2015	Pengajuan Judul Skripsi	
2.	10 Juni 2015	Konsultasi BAB I, II, dan III	
3.	1 Oktober 2015	Revisi BAB I, II, dan III	
4.	28 Desember 2015	Konsultasi BAB I-V	
5.	18 Januari 2016	Revisi BAB I-V	
6.	20 Januari 2016	Acc BAB I-V	

Malang, 20 Januari 2016
Mengetahui,
Ketua Jurusan Biologi,



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



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG

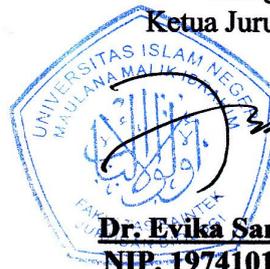
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jln. Gajayana No. 50 Malang Telp. (0341) 551354 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI AGAMA

Nama : Purwa Saputra
NIM : 11620038
Program Studi : Biologi
Pembimbing II : M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I
Judul Skripsi : Potensi Campuran Limbah Cair Industri Tahu dan Kotoran Sapi Sebagai Substrat Penghasil Biogas

No.	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	1 Juli 2015	Konsultasi BAB I, II, dan III	
2.	1 Oktober 2015	Revisi BAB I, II, dan III	
3.	30 Desember 2015	Konsultasi BAB I-V	
4.	15 Januari 2016	Revisi BAB I-V	
5.	19 Januari 2016	Acc BAB I-V	

Malang, 20 Januari 2016
Mengetahui,
Ketua Jurusan Biologi,



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