

Muhammad Ilham Kurniawan¹, M. Ramdhan Kirom², Asep Suhendi³
 Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹Muhammadilhamkurniawan17@gmail.com, ²ramdlankirom@telkomuniversity.ac.id,
³asepsuhendi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Biogas adalah gas mudah terbakar yang merupakan gas campuran metana (CH₄), karbondioksida (CO₂) dan gas lainnya yang didapat dari hasil penguraian material organik seperti kotoran hewan, kotoran manusia, sampah organik, limbah buah pada alat digester atau reaktor. Pada penelitian ini substrat yang digunakan adalah campuran substrat limbah kulit pisang nangka dan limbah kotoran hewan dengan perbandingan 3:1. Dalam proses biogas tersebut, ada beberapa parameter salah satunya yaitu pH. Pada penelitian kali ini peneliti menggunakan variasi pH yang dikondisikan yaitu pH 6,8, pH 7,0, dan pH 7,2, serta variasi pH yang tidak dikondisikan. Dalam pengaturan nilai pH tersebut maka dibutuhkan sebuah proses pengkondisian pH menggunakan larutan NaOH. Dari penelitian tersebut diperoleh jumlah volume gas yang dihasilkan setiap hari serta kandungan gas yang diukur pada hari ke 7.

Hasil yang didapatkan selama penelitian yaitu pada saat pH tidak dikondisikan diukur mempunyai volume harian paling banyak sebanyak 1610mL, sedangkan berturut-turut pH dikondisikan pada pH 7,0, pH 7,2 dan pH 6,8 adalah 1550mL, 1490mL dan 1400mL. Untuk Kandungan Biogas pada kondisi pH 6,8 sebesar H₂=3,11% CH₄=25,26%, selanjutnya pada kondisi pH 7.0 sebesar H₂=3,58% CH₄=68,92%, kemudian pada kondisi pH 7,2 sebesar H₂=28,69% CH₄=8,93% dan pH tidak dikondisikan sebesar H₂=1,1% CH₄=19,8% maka kandungan gas metana yang paling bagus adalah pada saat dikondisikan pH 7,0

Kata Kunci : Biogas, Campuran Substrat, Volume Gas, Nilai pH

Abstract

Biogas is a flammable gases which is a mixture of methane gases (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and other gases obtained from the decomposition of organic material such as animal waste, human waste, organic waste, fruit waste in the digester or reactor. In this study the substrate used is a mixture of jackfruit banana waste substrate and animal waste with a ratio of 3:1. In the biogas process, there are several parameters one of them is pH. In this research, the researcher use pH control were 6.8, 7.0, 7.2, and uncontrolled pH. In setting the pH value, a pH conditioning process is required using NaOH solution. From the research is obtained the amount of gas volume produced every day and the gas content measured on day 7.

The results obtained during the study were when the pH was not conditioned having the maximum daily volume of 1610mL, otherwise the pH was conditioned at pH 7.0, pH 7.2 and pH 6.8 were 1550mL, 1490mL and 1400mL. For Biogas content at pH condition 6.8 for H₂ = 3,11% CH₄ = 25,26%, then at condition pH 7.0 equal to H₂ = 3,58% CH₄ = 68,92%, then at pH condition 7,2 H₂ = 28.69% CH₄ = 8.93% and the pH is not conditioned by H₂= 1.1% CH₄ = 19.8% then the best methane gas content is at the time conditioned pH 7.0.

Keywords: Biogas, a substrate mixture, total volume, pH value

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Dengan meningkatnya populasi manusia dan meningkatnya taraf hidup masyarakat, kebutuhan energi semakin meningkat. Berbagai jenis bentuk energi telah digunakan oleh manusia seperti batubara, minyak bumi, dan gas alam. Seperti diketahui bahwa jenis energi diatas merupakan sumber daya alam yang tidak diperbaharui yang semakin habis jika dikonsumsi secara terus menerus dan masalah lingkungan global merupakan masalah penting yang dihadapi oleh manusia saat ini. Maka dari itu dicarikan sumber energi alternatif untuk menanggulangi krisis energi tersebut.

Sumber energi pengganti harus memenuhi tiga aspek diantaranya adalah energi, ekonomi dan ekologi. Sumber energi pengganti tersebut bisa diproduksi dalam jumlah besar, dengan biaya murah serta tidak mempunyai dampak terhadap lingkungan sekitar^[1]. Dari penjelasan tersebut maka sumber energi yang ideal untuk diajukan salah satunya adalah biogas. Pengertian biogas itu sendiri adalah gas mudah terbakar yang merupakan gas campuran metana (CH₄), hidrogen (H₂) karbondioksida (CO₂) dan gas lainnya yang didapat dari hasil penguraian material organik seperti kotoran hewan, kotoran manusia, sampah organik, limbah buah pada alat digester atau reaktor^[2].

Bahan limbah yang bisa dijadikan substrat untuk pembuatan biogas salah satunya adalah limbah kulit pisang dan limbah kotoran sapi. Indonesia adalah salah satu negara penghasil berbagai macam-jenis pisang. Ada lebih dari 200 jenis pisang seperti jenis pisang nangka, pisang raja, pisang tanduk dan lain-lain. Dari banyaknya keragaman jenis pisang, memberikan suatu peluang untuk memanfaatkan serta memilih jenis pisang untuk kebutuhan konsumen pisang. Dari rata-rata produksi nasional pisang tahun 2014, sekitar 63% berasal dari pulau Jawa, sekitar 18% dari Sumatera, sekitar 6% dari Sulawesi dan sekitar 8% dari Nusa Tenggara sekitar 6%, dari papua sekitar 1%^[3].

Beberapa jenis buah pisang banyak digemari sebagai buah atau diolah menjadi produk makanan seperti pisang goreng, keripik pisang dan lain-lain. Buah pisang yang diolah tersebut biasanya akan menghasilkan limbah berupa kulit pisang. Kebanyakan masyarakat limbah kulit pisang yang dihasilkan masih belum dimanfaatkan secara baik selain sebagai pakan ternak melainkan hanya sebagai limbah tak berguna. Kulit pisang sebagai salah satu bahan baku potensial pembuatan biogas karena mengandung karbohidrat sebesar 18,5%^[4].

Sapi merupakan hewan yang umum dipelihara di Indonesia. Didalam tubuh sapi memiliki kotoran yang merupakan hasil sampingan dari proses dekomposisi mikroba. Mikroba tersebut merupakan bakteri pembentuk metana yang banyak terdapat dalam tubuh hewan *ruminansia* (hewan yang memiliki perut ganda) seperti sapi tersebut. Dengan demikian dari potensi kotoran hewan serta campuran limbah kulit pisang untuk bisa dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan biogas yang cukup besar.

Ada banyak cara untuk menghasilkan biogas yaitu salah satunya menggunakan reaktor anaerob. Untuk menghasilkan biogas ada beberapa parameter yang mempengaruhi produksi biogas antara lain suhu, tekanan, pH dan lain-lain. Dalam penelitian ini, peneliti memfokuskan terhadap pH. Reaktor anaerob diperlukan proses *pretreatment* untuk melakukan pengkondisian pH sehingga pH yang ada disubtrat akan dalam kondisi optimal dalam pembentukan biogas^[5].

1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat dirumuskan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil volume produksi biogas dari campuran limbah kulit pisang dan limbah kotoran hewan?
2. Bagaimana pengaruh nilai pH terhadap hasil biogas pada reaktor anaerob?

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui hasil volume produksi biogas dari campuran limbah kulit pisang dan limbah kotoran hewan.
2. Mengetahui pengaruh nilai pH awal terhadap hasil produksi biogas pada reaktor anaerob.

2. Dasar Teori

2.1 Biogas

Biogas sebagai sumber energi alternatif yang dapat diperbaharui dan masih jarang dipakai di kalangan masyarakat. Biogas itu sendiri adalah gas mudah terbakar yang merupakan gas campuran metana (CH₄), hidrogen (H₂), karbondioksida (CO₂) dan gas lainnya yang didapat dari hasil penguraian material organik seperti kotoran hewan, kotoran manusia, sampah organik, limbah buah dan lain-lain^[2]. Jenis bahan organik yang diproses sangat mempengaruhi produktifitas sistem biogas disamping parameter-parameter lain seperti temperatur, pH, tekanan, dan lain-lain^[2].

2.2 Proses Pembentukan Biogas

Biogas dihasilkan dari pembusukan bahan-bahan oleh bakteri pada kondisi anaerob. Penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak, dan protein yang terdapat didalam limbah. Secara garis besar proses pembentukan biogas dibagi dalam tiga tahap yaitu:

1. Tahap Hidrolisis
Pada tahap hidrolisis ini terjadi pelarutan bahan-bahan organik mudah larut dan pencernaan bahan organik yang kompleks menjadi sederhana, perubahan struktur molekul bentuk primer menjadi bentuk monomer. Pada fase ini mengubah protein menjadi asam amino, karbohidrat menjadi gula sederhana atau glukosa, dan lemak menjadi asam lemak rantai panjang. Laju hidrolisis tergantung pada jumlah substrat yang tersedia dan konsentrasi bakteri serta faktor lingkungan seperti suhu dan pH.
2. Tahap Acidogenesis
Pada tahap pengasaman ini komponen monomer (gula sederhana atau glukosa) yang terbentuk pada tahap hidrolisis menjadi makanan bagi bakteri pembentuk asam. Perubahan organik cair menjadi asam-asam organik oleh mikroba asam. Produk akhir dari gula-gula sederhana pada tahap ini akan dihasilkan asam asetat, propionat, alkohol, dan sedikit butirat, gas karbondioksida, hidrogen, dan ammonia.
3. Tahap Methanogenesis

Pada tahap ini yang paling menentukan yaitu perubahan asam organik dari proses sebelumnya menjadi metana, karbondioksida, asam sulfida, nitrogen dan senyawa gas lainnya. Bakteri-bakteri anaerob yang berperan dalam ketiga fase di atas terdiri dari:

- Bakteri pembentuk asam (*Acidogenic Bacteria*) yang merombak senyawa organik menjadi senyawa yang lebih sederhana, yaitu berupa asam organik, CO₂, H₂, H₂S.
- Bakteri pembentuk asetat (*Acetogenic Bacteria*), yang merubah asam organik, dan senyawa netral yang lebih besar dari methanol menjadi asetat dan hydrogen.
- Bakteri penghasil metan (*Metanogen*), yang berperan dalam merubah asam lemak dan alkohol menjadi metan dan karbondioksida. Bakteri pembentuk metan antara lain *methanococcus*, *methanobacterium*, dan *methanosarcina*.

2.3 Faktor-Faktor Menentukan Produksi Biogas

Penghasil biogas dapat mencapai kondisi optimal jika bakteri-bakteri yang terlibat dalam proses lingkungan yang nyaman. Keberhasilan proses pembentukan biogas akan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ^[6]:

1. Lingkungan *Anaerob* :Bakteri penghasil biogas dapat berproduksi bila tidak ada oksigen dalam pertumbuhannya. Oleh sebab itu reaktor biogas harus dijaga supaya tidak masuk oksigen di dalam reaktor. (*Anaerob*).
2. Derajat Keasaman (pH): Mempunyai efek terhadap aktivasi mikroorganisme. Rentang pH yang sesuai bagi perkembangbiakan bakteri metanogenesis 6,6-7 sedangkan rentang pH bagi bakteri pada umumnya adalah 6,8-7,2^[5]. Derajat Keasaman harus selalu dijaga agar pH substrat dan perkembangbiakan bagi bakteri berjalan optimal dan mempengaruhi produksi biogas menjadi stabil.
3. Suhu Substrat: Secara umum terdapat tiga rentang temperatur yang dapat tumbuh dan oleh bakteri, yaitu^[5]:
 - a. Psikrofilik (0 – 25°C), optimal pada suhu 20°C
 - b. Mesofilik (20 – 40°C), optimal pada suhu 35°C
 - c. Termofilik (45 – 70°C), optimal pada suhu 55°C
4. Lama Proses Pencernaan: Lama proses (Hydraulic Retention Time atau HRT) adalah Lama waktu yang dibutuhkan untuk proses anaerob yang dimulai dari masuknya substrat kedalam reaktor sampai gas yang terdapat di dalam proses anaerob tersebut habis.

2.4 Potensi Limbah Kulit Pisang

Potensi produksi buah pisang di Indonesia memiliki daerah sebaran yang luas, hampir seluruh wilayah merupakan tempat produksi pisang, ditanam di pekarangan maupun diladang, dan sebagian telah membudidayakannya menjadi sebuah perkebunan. Jenis pisang yang ditanam oleh masyarakat beraneka ragam mulai dari pisang untuk olahan sampai jenis pisang komersial yang bernilai ekonomi yang tinggi. Dari rata-rata produksi nasional pisang, sekitar 63% berasal dari pulau Jawa, sekitar 18% dari Sumatera, sekitar 6% dari Sulawesi dan sekitar 8% dari Nusa Tenggara dari papua sekitar 1% ^[4].

Pisang (*Musa paradisiaca L*) merupakan tanaman yang berasal dari Asia Tenggara dan kini sudah tersebar luas ke seluruh dunia, termasuk Indonesia. Hampir setiap orang gemar mengkonsumsi pisang. Selain rasanya enak, kandungan gizinya cukup tinggi, dapat diperoleh dengan mudah dan harganya relatif murah. Pisang merupakan buah-buahan yang banyak tumbuh dan terbesar di seluruh Indonesia. Pemanfaatan buah pisang sebagai salah satu bahan pangan masyarakat ternyata menghasilkan limbah berupa kulit pisang.

Kulit pisang merupakan bahan buangan yang cukup banyak jumlahnya. Tingginya produksi pisang di Indonesia akan menghasilkan limbah kulit pisang yang banyak pula. Sampai saat ini masih belum banyak dimanfaatkan secara luas dan produktif. Secara sederhana limbah kulit pisang dapat dimanfaatkan sebagai pakan ternak dan bahan baku pembuatan etanol. Keberadaan limbah kulit pisang tersebut mendatangkan masalah tersendiri yaitu pencemaran lingkungan serta limbah kulit pisang banyak mengandung karbohidrat tersebut akan terfermentasikan menghasilkan asam organik yang dapat meningkatkan keasamaan tanah.

Kulit pisang mengandung karbohidrat sekitar 18,5%, lemak sekitar 2,11%, protein 0,32%^[4]. Untuk jenis limbah lain seperti ampas kelapa memiliki lemak 12,2%-15,9%^[7], limbah sayuran memiliki protein kasar 1-15% dan serat kasar 5-38%^[8], limbah tahu memiliki air 90,72%, protein 1,8%, lemak 1,2% serat kasar 7,36%^[9], serta limbah nasi yang memiliki 2% lemak, 89% karbohidrat dan protein 9%^[10]. Pada dasarnya kulit pisang memiliki kandungan lignoselulosa yang cukup tinggi yang dapat didegradasi menjadi bentuk yang lebih sederhana yaitu glukosa. Kulit pisang digunakan karena mengandung karbohidrat sebanyak 18,5%, lemak sekitar 2,11%, protein 0,32%^[4].

2.5 Potensi Limbah Kotoran Sapi

Kotoran hewan lebih sering dipilih sebagai bahan pembuat biogas karena ketersediaannya yang sangat banyak di Indonesia. Kotoran sapi merupakan substrat yang dianggap paling cocok sebagai sumber pembuat biogas, karena substrat tersebut telah mengandung bakteri penghasil gas metan yang terdapat dalam perut hewan *ruminansia* atau perut ganda^[11]. Keberadaan bakteri didalam usus besar hewan *ruminansia* tersebut

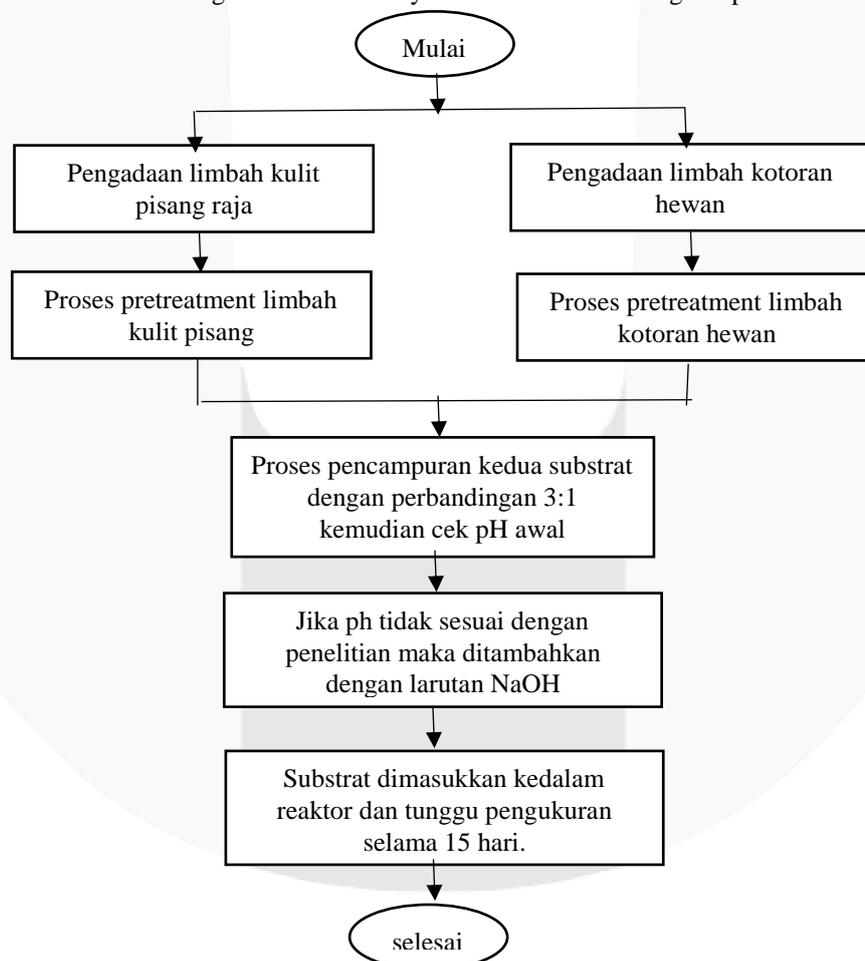
membantu proses fermentasi, sehingga proses pembentukan gas pada reaktor atau tangki pencerna dapat dilakukan lebih cepat. Pada kotoran hewan sapi mempunyai rasio C/N=18, ayam rasio C/N=15, kambing rasio C/N=30, dan babi rasio C/N=25. Kotoran manusia walaupun memiliki nitrogen yang tinggi (C/N = 6) dapat dicerna dengan mudah, tetapi sampah karbohidrat harus ditambahkan untuk menaikkan nilai C/N ratio dan untuk memberikan gas yang lebih banyak. Perbandingan Rasio dapat dilihat pada tabel dibawah ini: Sumber: Ahmad Tri, 2009

2.6 Rancangan Sistem Anaerobic Reaktor

Anaerobic Reaktor menggunakan pengadukan secara manual untuk pencampuran substrat. Untuk mendapatkan nilai pH yang akan diteliti maka ditambahkan dengan NaOH untuk pengkondisian pH. Pembuatan *Anaerobic Reaktor* menggunakan bentuk galon air mineral dengan volume 19 liter, tinggi 20,6 cm dan bahan plastik agar tidak mudah rusak sedangkan penampung gas menggunakan balon. Berikut gambar Desain reaktor anaerob yang akan digunakan.

2.7 Proses Pembuatan Substrat

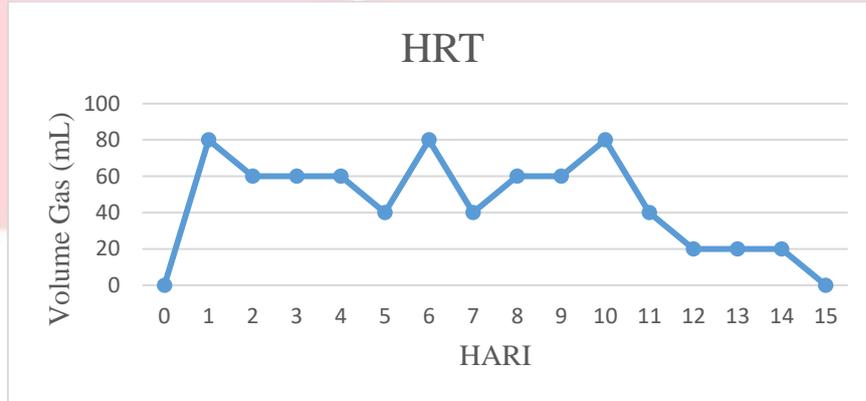
Pengambilan limbah kulit pisang berada disebuah toko pisang dekat pasar Dayeuh Kolot dan limbah kotoran hewan atau feses segar dari Dinas Peternakan Baleendah Bandung. Limbah kulit pisang yang diambil dari jenis pisang raja. Lalu limbah kulit pisang yang sudah diambil kemudian diampkan disebuah wadah tertutup selama 2 hari untuk pembusukan agar struktur molekul dikulit pisang bisa diolah dengan mudah. Setelah 2 hari, limbah kulit pisang kemudian dipotong kecil-kecil lalu ditambahkan dengan air dengan perbandingan 1:1 kemudian di blender sehingga berupa bubur atau *slurry*. Untuk limbah kotorannya, bahan yang sudah diambil kemudian campurkan dengan air gula karena didalam gula tersebut terdapat kandungan glukosa yang menjadi bahan makan bakteri dikotoran. Kemudian diampkan selama 2 hari untuk bakteri yang ada di kotoran tersebut berkembangbiak. Kemudian setelah proses pretreatment masing-masing substrat, limbah kulit pisang dan limbah kotoran tersebut dicampurkan dengan perbandingan 3:1 dan kemudian aduk hingga larut. Pada tahap ini dilakukan pengukuran kadar pH dan pengambilan contoh substrat kurang lebih sebanyak 15-20 mL. Substrat yang sudah diukur kadar pH ditambahkan larutan hingga mencapai kadar pH yang diinginkan. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan variasi pH dikondisikan yaitu 6,8, 7,0, 7,2, dan pH tidak dikondisikan. Pengambilan variasi pH tersebut berdasarkan terhadap aktivasi mikroorganisme. Rentang pH yang sesuai bagi perkembangbiakan bakteri metanogenesis 6,6-7 sedangkan rentang pH bagi bakteri pada umumnya adalah 6,8-7,2^[5] *Anaerobic Reaktor* diisi dengan substrat sebanyak 14 liter. Berikut diagram pembuatan substrat



3. Pembahasan

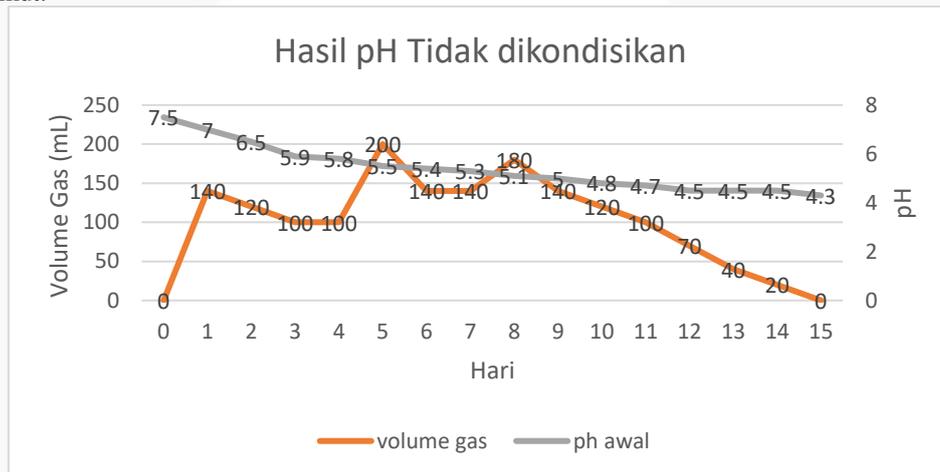
3.1 Nilai HRT

Pengujian nilai HRT dilakukan pada *Anaerob Reactor* dengan komposisi limbah kulit pisang dan limbah kotoran hewan yakni 3:1. Setiap harinya selama pengujian nilai HRT terdapat tanpa pengkondisian nilai pH. Berikut gambar grafik HRT:



3.2 Pengukuran Volume Gas Harian pH Tidak Dikondisikan

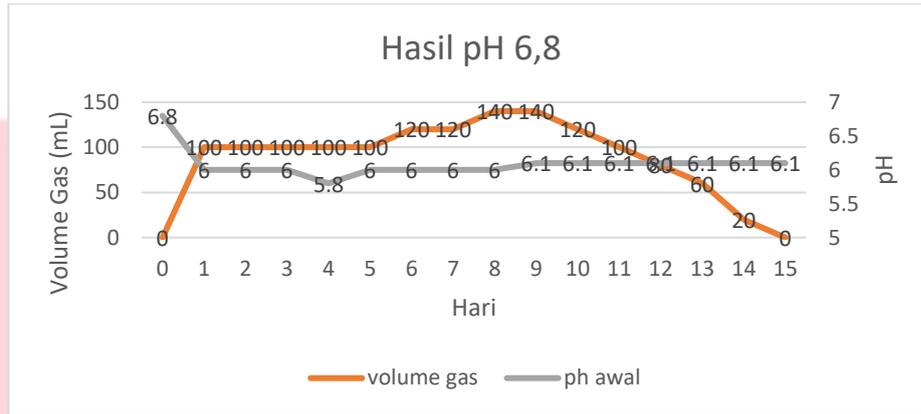
Pengaruh nilai pH tidak dikondisikan terhadap volume gas harian selama HRT 15 hari, volume gas diukur sekali sehari. Berikut hasil pengukuran volume gas pada pH tidak dikondisikan gambar garfik dibawah ini sebagai berikut:



Volume Total	1610 mL
Volume Rata-rata	107.333 mL
Volume Tertinggi	200 mL
Volume Terendah	0 mL

3.3 Pengukuran Volume Gas Harian pH 6,8

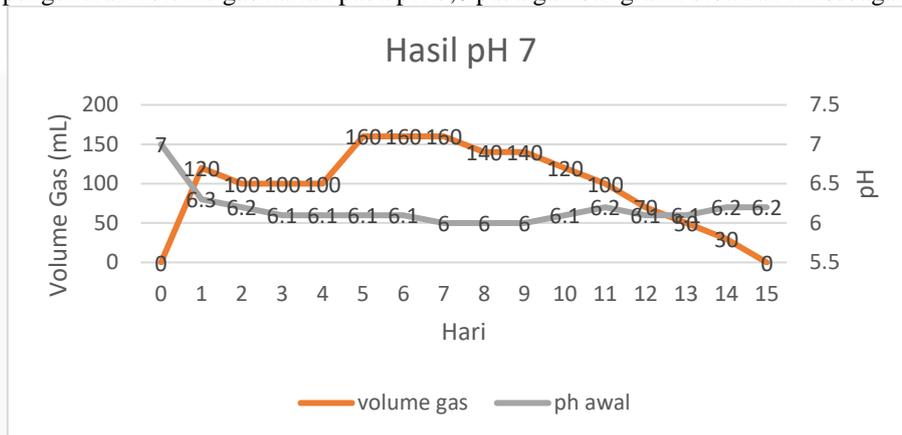
Pengaruh nilai pH 6,8 terhadap volume gas harian selama HRT 15 hari, volume gas diukur sehari sekali. Berikut hasil pengukuran volume gas harian pada pH 6,8 pada gambar grafik dibawah ini sebagai berikut:



Volume Total	1400 mL
Volume Rata-rata	93.333 mL
Volume Tertinggi	140 mL
Volume Terendah	0 mL

3.4 Pengukuran Volume Gas Harian pH 7,0

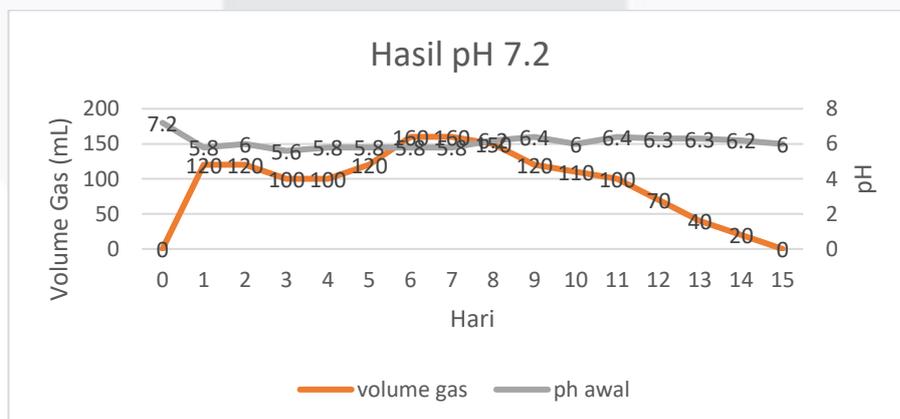
Pengaruh pH 7,0 terhadap volume gas harian selama HRT 15 hari, volume gas diukur sehari sekali. Berikut hasil pengukuran volume gas harian pada pH 7,0 pada gambar grafik dibawah ini sebagai berikut :



Volume Total	1550 mL
Volume Rata-rata	103.333 mL
Volume Tertinggi	160 mL
Volume Terendah	0 mL

3.5 Pengukuran Volume Gas Harian Nilai pH 7,2

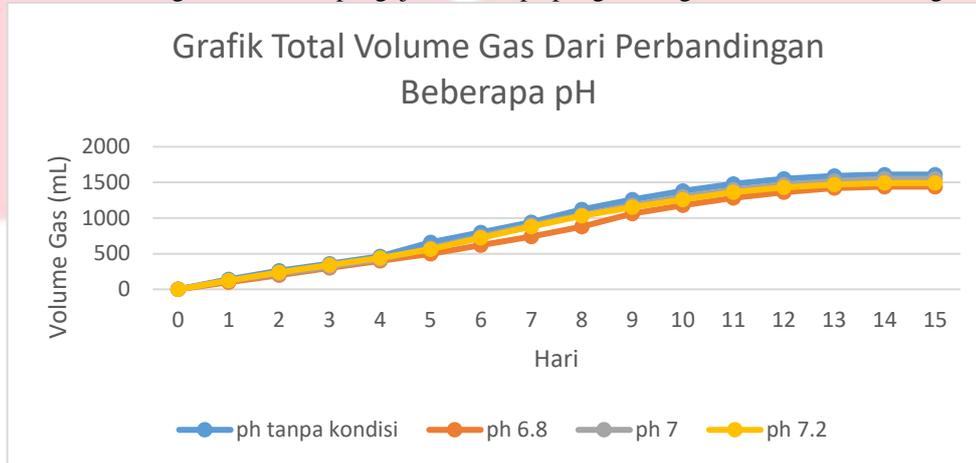
Pengaruh nilai pH 7,2 terhadap volume gas harian selama HRT 15 hari, volume gas diukur sehari sekali. Berikut hasil pengukuran volume gas harian pada pH 7,2 pada gambar grafik dibawah ini sebagai berikut :



Volume Total	1490 mL
Volume Rata-rata	99.333 mL
Volume Tertinggi	160 mL
Volume Terendah	0 mL

3.6 Total Produksi Volume Gas Dari Beberapa pH

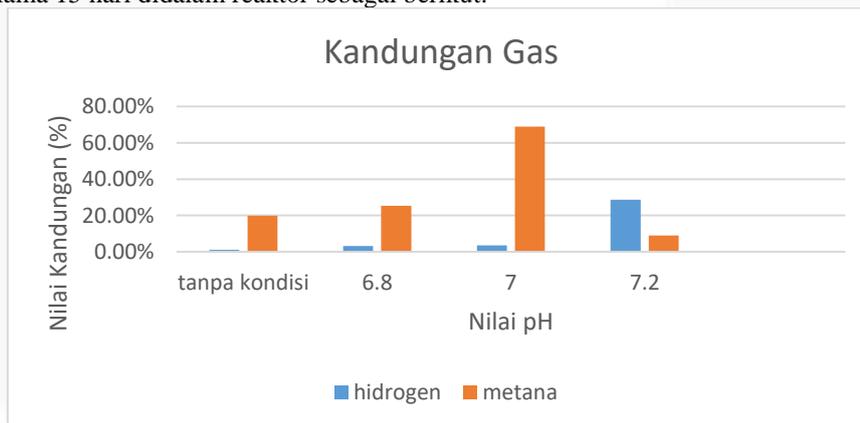
Berikut total volume gas harian dari pengujian beberapa pH gambar grafik dibawah ini sebagai berikut:



	volume gas pH tidak dikondisikan	volume gas pH 6,8	volume gas pH 7,0	volume gas pH 7,2
Volume Total	15220 mL	12920 mL	14310 mL	13980 mL
Volume Rata-rata	1014,667 mL	861,333 mL	954 mL	932 mL

3.7 Kandungan Gas Dari Beberapa Variasi pH

Untuk melihat kandungan gas dari beberapa variasi pH maka dilakukan pengecekan yang akan dites dengan menggunakan *Gas Chromatography*. Berikut hasil kandungan gas hasil pada hari ke-7 dari proses pengukuran selama 15 hari didalam reaktor sebagai berikut:



Gambar Grafik kandungan Gas

Dilihat grafik gambar kandungan gas pada hari ke-7 bahwa penghasil metana terbesar pada pH 7,0 karena bakteri di pH tersebut menghasilkan gas yang optimal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada penelitian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Volume produksi biogas pada campuran limbah kulit pisang dan limbah kotoran hewan mempunyai total volume untuk kondisi pH tidak dikondisikan sebanyak 13610 ml dengan volume rata-rata 907.333 ml. Untuk pH 6,8 total volume 11480 ml dengan volume rata-rata 765.333 ml. Untuk pH 7,0

2. mempunyai total volume 12760 ml dengan volume rata-rata 850.667 ml. Dan untuk pH 7,2 mempunyai total volume 12490 ml dengan volume rata-rata 832.667 ml. Maka volume terbesar pada pH tidak dikondisikan.
3. pH mempengaruhi kandungan gas yang didapat pada hari ke 7. Pada pH yang tidak dikondisikan mempunyai kandungan H₂=1.1%, CH₄=19.8 %. Pada pH 6,8 kandungannya berupa H₂=3.11%, CH₄=25.26 %, pH 7,0 kandungannya berupa H₂=3.58%, CH₄=68.92 %, pH 7,2 kandungannya berupa H₂=28.69%, CH₄=8.93 %, maka pH 7,0 paling optimal dalam menghasilkan gas metana.

Saran

Saran yang diperlukan demi kemajuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Perlu dilakukan penambahan proses semi kontinyu pada penelitian ini dengan menambahkan sumber makanan.
- b. Perlu dilakukan pembuatan reaktor yang disertai dengan sistem pengadukan sehingga mengoptimalkan produksi gas.
- c. Cek kandungan gas dilakukan setiap hari untuk melihat kandungan metana mana yang paling besar yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Pratiwi, "Rancang Bangun Sistem Pemanas Substrat pada Reaktor Hidrogen Termofilik Menggunakan Fuzzy Logic", 2015.
- [2] Ahmad Tri Sarifudin dkk, "Rancang Bangun Unit Penghasil Biogas Dengan Kotoran Kambing Untuk Bahan Bakar Alat Penerangan Lampu Petromak", 2008.
- [3] www.pertanian.go.id, [Online], Available: <http://www.pertanian.go.id/ATAP2014-HORTI-pdf/211-Prod-Pisang.pdf> [diakses tanggal 26 Agustus 2015 jam 09.45 WIB].
- [4] Balai Penelitian dan Pengembangan Industri, 1982, *Komposisi Zat Gizi Kulit Pisang per 100 gram bahan*. Jawa Timur. Surabaya.
- [5] M. Annaas Mahfudz, "Pengaruh pH Terhadap Produktifitas Gas Di Reaktor Anaerob Dengan Substrat Limbah Makanan", 2016.
- [6] Benefield, L. D., Randall, C. W. (1980). *Biological Process Design For Wastewater Treatment*: Prentice Hall Inc, Englewood Cliffs.
- [7] www.download.portalgaruda.org, [ONLINE], Available: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=372696&val=4016&title=EFFECT%20OF%20ADDITION%20COCONUT%20PULP%20AND%20BANANA%20PEEL%20ON%20PRODUCTION%20BIOGAS%20FROM%20COW%20MANURE> [diakses tanggal 11 maret 2017 jam 20.15]
- [8] www.download.portalgaruda.org, [ONLINE], Available: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=110960&val=4138> [diakses tanggal 11 maret 2017 jam 20.30]
- [9] www.e-library.uniska-kediri.ac.id, [ONLINE], Available <http://e-library.uniska-kediri.ac.id/downloads/biogas-3616ed.pdf> [diakses tanggal 11 maret 2017 jam 21.00]
- [10] www.fatsecret.co.id, [ONLINE], Available <https://www.fatsecret.co.id/kalori-gizi/umum/nasi-putih?portionid=53181&portionamount=100,000> [diakses tanggal 11 maret 2017 jam 21.30]
- [11] Muljono, Judoamidjojo, Darwis, Aziz, A., dan Gumbira, E. 2002. *Teknologi Fermentasi*. Rajawali pers: Jakarta.