

Produksi biogas limbah cair industri tapioka melalui peningkatan suhu dan penambahan urea pada perombakan anaerob

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
guna memperoleh gelar Sarjana Sains



Khori Ex Indarto

M.0404043

JURUSAN BIOLOGI

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

2010

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia pada dasarnya merupakan negara yang kaya akan sumber - sumber energi terbarukan yang potensial, namun pengembangannya belum cukup optimal. Sebenarnya kebijakan pemanfaatan sumber energi terbarukan pada tataran lebih luas dapat diperoleh beberapa keuntungan baik kompetitif maupun komparatif. Keuntungan Kompetitif yang akan didapatkan yaitu pemanfaatan limbah dengan mereduksi biomasa berpotensi pencemar, mengembangkan sumber energibio daerah setempat, juga berhubungan dengan pengurangan kemiskinan melalui kesempatan berpartisipasi (peluang kerja) dan kesempatan memperoleh energi terbarukan dengan harga terjangkau. Keuntungan komparatif yang akan didapatkan yaitu limbah yang akan dimanfaatkan untuk produksi biogas yang tersedia melimpah, tidak menimbulkan pencemaran dan teknologi tepat guna tersedia di berbagai daerah. Pengembangan sumber energi terbarukan seperti produksi energi dari biomasa akan sangat mendukung paradigma kebijakan CDM (Clean Development Mechanism) dalam pembangunan berkelanjutan yang dicanangkan pemerintah.

Menurut Triwahyuningsih dan Rahmat (2006) penipisan cadangan bahan bakar fosil dan peningkatan populasi manusia sangat kontradiktif dengan kebutuhan energi bagi kelangsungan hidup manusia beserta aktivitas ekonomi dan sosial. Disamping itu, isu lingkungan terutama pencemaran udara, pemanasan

global, paradigma teknologi bersih telah mendorong peningkatan perhatian pada sumber-sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Demikian pula kebutuhan energi bagi masyarakat yang semakin meningkat dan harga bahan bakar minyak (fosil/energi tak terbarukan) yang membumbung tinggi menjadi salah satu strategi dalam upaya pemenuhan kebutuhan energi yang lebih murah dan tersedia melimpah berupa energibio (biogas/gasbio) sebagai energi terbarukan (Mahajoeno, 2008).

Berbagai kasus pencemaran lingkungan dan memburuknya kesehatan masyarakat yang terjadi dewasa ini diakibatkan oleh limbah dari berbagai kegiatan industri, rumah sakit, pasar, restoran hingga rumah tangga. Hal ini disebabkan karena penanganan dan pengolahan limbah tersebut belum mendapatkan perhatian serius. Kebanyakan dari limbah tersebut biasanya langsung dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Dan kurang mendapatkan perhatian dari kalangan pelaku industri, terutama kalangan industri kecil dan menengah (Sugiharto, 1987).

Teknologi pengolahan limbah baik cair maupun padat merupakan kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan (Sugiharto, 1987). Berbagai teknik pengolahan limbah organik menjadi biogas dan produk alternatif lainnya yang telah dicoba dan dikembangkan selama ini belum memberikan hasil optimal. Dalam mengatasi masalah tersebut, maka diperlukan suatu metode penanganan limbah yang tepat, terarah dan berkelanjutan. Teknologi biokonversi (digester) anaerob merupakan teknologi sederhana, mudah dipraktekkan, dengan peralatan

relatif murah dan mudah didapat sehingga para industri kecil dan menengah tidak lagi beranggapan bahwa pengolahan limbah merupakan beban yang sangat mahal.

Dekomposisi anaerob mikrobiologis merupakan proses di mana mikroorganisme tumbuh dan menggunakan energi dengan memetabolisis bahan organik dalam lingkungan anaerob dan menghasilkan metana. Proses digesti anaerob dapat dibagi menjadi tiga tahap berikut, yaitu hidrolisis, pembentukan asam, dan pembentukan metana, masing-masing menurut karakteristik kelompok mikroorganisme sendiri. Biogas merupakan gas yang terutama terdiri dari metana dan karbondioksida. Selain dapat mengurangi pencemaran, limbah yang telah diolah juga dapat menghasilkan biogas. Produk tersebut dapat dijadikan sebagai energi alternatif sehingga dapat mengatasi masalah krisis energi yang terjadi saat ini. Pemanfaatan biogas sebagai sumber energi ini akan mendukung program pemerintah mengurangi emisi CO₂ hasil kegiatan pembangunan dibandingkan produksi CO₂ dari sumber energi fosil atau energi biomasa lain.

Bahan yang paling umum dimanfaatkan untuk produksi biogas adalah limbah peternakan, seperti sapi potong atau perah. Namun, ada beberapa bahan baku lain yang sangat potensial tetapi belum banyak dimanfaatkan yaitu salah satunya adalah limbah cair industri tapioka. Tapioka adalah salah satu jenis tepung, berasal dari bahan baku dasar singkong atau ubi kayu. Disamping berfungsi sebagai bahan dasar tepung tapioka, singkong ternyata sebagai bahan baku berbagai produk industri seperti industri makanan, farmasi, tekstil dan lain-lain. Dalam pembuatan tapiokapun akan dihasilkan limbah, terutama limbah cair. Limbah cair akan mengalami dekomposisi secara alami di badan-badan perairan

dan menimbulkan bau tidak sedap. Bau tersebut dihasilkan pada proses penguraian senyawa yang mengandung nitrogen, sulfur dan fosfor dari bahan berprotein (Zaitun *et al.*, 1999). Air limbah industri tapioka memiliki kandungan bahan-bahan organik yang cukup tinggi yang menyebabkan pencemaran lingkungan khususnya air sungai. Pengolahan air limbah industri tapioka umumnya dengan sistem kolam anaerobik sehingga nantinya akan dihasilkan Gas Metan (CH₄) dan Karbondioksida. (Chatartica *et al.*, 2007).

Suhu berpengaruh terhadap proses perombakan anaerob bahan organik dan produksi gas. Peningkatan suhu dari kondisi suhu ruang menjadi kondisi suhu tinggi dimaksudkan untuk mempercepat laju perombakan sehingga menghasilkan gas yang optimal dan proses perombakannya lebih efisien (Lusk, 1991).

Urea adalah suatu senyawa organik yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, oksigen dan nitrogen dengan rumus CON₂H₄ atau (NH₂)₂CO. Urea juga dikenal dengan nama carbamide. Nama lain yang juga sering dipakai adalah carbamide resin, isourea, carbonyl diamide dan carbonyldiamine. Penambahan urea dimaksudkan untuk menurunkan nisbah C/N pada substrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan urea dibutuhkan untuk meningkatkan presentase penurunan nisbah C/N, sehingga mampu menghasilkan gas yang lebih baik.

Untuk mengetahui efektivitas dari pengolahan limbah tapioka dalam membentuk energi alternatif (biogas) maka dilakukan penelitian tentang

pembentukan biogas limbah cair industri tapioka melalui peningkatan suhu dan penambahan urea dengan biokonversi (digester) anaerob.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan :

1. Bagaimana pengaruh variasi substrat dengan penambahan urea terhadap produksi biogas dalam perombakan anaerob limbah cair tapioka ?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan suhu terhadap produksi biogas dalam perombakan anaerob limbah cair tapioka?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi substrat dengan penambahan urea pada produksi biogas dari limbah cair industri tapioka dalam biodigester anaerob.
2. Mengetahui produksi biogas dari pengaruh perbedaan suhu pada perombakan anaerob limbah cair industri tapioka.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang pengolahan limbah cair industri tapioka menjadi biogas melalui teknologi tepat guna biokonversi (digester) anaerob, dan juga memberi saran kepada masyarakat pada umumnya serta para pelaku industri tapioka khususnya sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan limbah yang dihasilkannya sehingga dampak

pencemaran limbah organik dapat dikurangi. Pemanfaatan limbah cair industri tapioka dengan sistem perombakan anaerob sebagai bahan penghasil biogas, dapat menjadi salah satu upaya peningkatan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan serta dapat mengurangi efek pencemaran sehingga dapat menunjang pembangunan yang berkelanjutan.



BAB II

LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

1. Biogas

Biogas merupakan gas campuran terutama terdiri dari metana dan karbondioksida. Biogas diproduksi secara anaerob melalui tiga tahap yakni hidrolisis, asidogenesis, dan metanogenesis (Veziroglu, 1991). Dalam produksi biogas, semua jenis limbah organik dapat digunakan sebagai substrat seperti limbah dapur, kebun, kotoran sapi dan buangan domestik. Sumber biomassa atau limbah yang berbeda akan menghasilkan perbedaan kuantitas biogas (Werner *et al.*, 1989). Zhang *et al.*, (2007) dalam penelitiannya menghasilkan metana sebesar 50-80% dan CO₂ sebesar 20-50%. Sedangkan menurut Hansen (1999), biogas yang dihasilkan mengandung 60-70% metana dan 30-40% CO₂. Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 57% (Hammad, 1996). Sedangkan menurut Hessami *et al.*, (1996) biogas dapat terbakar jika kandungan metana minimal 60%.

Biogas dengan kandungan metana 65-70% memiliki nilai kalor sama dengan 5200-5900 kkal/m³ energi panas setara 1,25 kwj listrik (Veziroglu, 1991 dan de Baier, 1999). Sedangkan untuk gas metana murni (100%) mempunyai nilai kalor 8900 kkal/m³ (Nurtjahya, 2003). Werner *et al.*, (1989) menyatakan perkilogram padatan volatil dapat diperoleh 0,3-0,6 m³ biogas.

Penggunaan biogas sebagai energi alternatif relatif lebih sedikit menghasilkan polusi, disamping berguna menyehatkan lingkungan karena mencegah penumpukan limbah sebagai sumber penyakit, bakteri, dan polusi udara. Keunggulan biogas adalah karena dihasilkan lumpur kompos maupun pupuk cair (Abdullah, 1991).

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

Bahan biogas dapat diperoleh dari limbah pertanian yang basah, kotoran ternak (manure), kotoran manusia dan campurannya. Kotoran ternak seperti sapi, kerbau, babi dan ayam telah diteliti untuk diproses dalam alat penghasil biogas dan hasil yang diperoleh memuaskan (Harahap *et al.*, 1978).

a. Prinsip Pembuatan Biogas

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

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

Pemanfaatan biogas dalam teknologi pembakaran mesin internal (mesin berbahan bakar gas/BBG) telah berkembang. Ribuan mesin BBG telah dioperasikan di areal/satuan-satuan pengolahan limbah, tempat-tempat landfill, dan pembangkit biogas (ICRA,2005). Pemanfaatan biogas sebagai bahan bakar kendaraan, memiliki konstruksi mesin yang sama dengan kendaraan mesin BBG alam. Terdapat lebih dari 3 juta kendaraan berbahan bakar gas alam di dunia dan sekitar 10.000 kendaraan mobil dan bus berbahan bakar biogas. Ini menunjukkan bahwa konstruksi kendaraan menggunakan biogas sebagai bahan bakar kendaraan tidak bermasalah. Hanya saja kebutuhan kualitas biogas yang dihasilkan dari proses fermentasi atau landfill terlebih dulu harus dijernihkan (IEA, 2002).

b. Reaktor Biogas

EPA USA 2002 (Prometheus, 2005) menyarankan agar reaktor biogas menggunakan slurry (campuran substrat dan air yang telah dihomogenasikan) dengan kandungan padatan maksimal sekitar 12.5%. *Slurry* bisa dimasukkan hingga 3/4 volume tangki utama. Volume sisa di bagian atas tangki utama diperlukan sebagai ruang pengumpulan gas. Di dalam reaktor mikroorganisme metanogen mengolah limbah bio atau biomassa dan menghasilkan biogas metan. Pada umumnya, produksi gas metana yang optimum akan terjadi pada HTR 20-30

hari (Garcelon *et al.*, 2001). Hal ini berarti harus diperkirakan bahwa *slurry* akan berada selama 20-30 hari di dalam reaktor.

Berdasarkan cara pengisian bahan bakunya, biodigester dibedakan menjadi dua, yaitu system pengisian curah (*Batch*) dan kontinyu (Loebis dan Tobing 1992). Dalam penelitian ini digunakan sistem pengisian curah karena tipe digester ini cocok digunakan sebagai percobaan dilaboratorium. Sistem pengisian curah (SPC) adalah cara penggantian bahan yang dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang baru. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu tangki pencerna dan tangki pengumpul gas. Untuk memperoleh biogas yang banyak, sistem ini perlu dibuat dalam jumlah yang banyak agar kecukupan dan kontinyuitas hasil biogas tercapai (Abdullah, 1991; GTZ, 1997; Teguh, 2005; UN, 1980 dalam Nurhasanah dkk, 2006).

Masing-masing sistem memiliki kelebihan maupun kekurangan. Sistem pengisian curah memiliki konstruksi yang lebih sederhana namun biogas yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan pengisian kontinyu.

2. Limbah Tapioka

Limbah cair merupakan biomassa bisa berasal dari argo industri, perternakan atau pabrik pengolahan hasil pertanian maupun limbah kota/domestik, umumnya mengandung konsentrasi bahan organik sangat tinggi. Bahan organik tersebut terdiri dari karbohidrat, protein, lemak dan selulosa atau ligno selulosa yang dapat didegradasi secara biologi. Kadangkala limbah cair

tersebut mengandung nitrogen, fosfat dan natrium. Besar atau kecilnya pencemaran limbah organik diukur oleh Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD) untuk limbah cair, sedangkan untuk yang berbentuk sludge atau lumpur diukur dengan Total Volatile Solid (TVS) (Jenie dan Winiati, 1993).

Limbah pangan yang digunakan sebagai substrat dalam penelitian ini adalah limbah Cair industri tapioka . Sereal dan umbi-umbian banyak tumbuh di Indonesia. Produksi sereal terutama beras sebagai bahan pangan pokok dan umbi-umbian cukup tinggi. Begitu pula dengan bertambahnya penduduk, kebutuhan akan sereal dan umbi-umbian sebagai sumber energi pun terus meningkat. Ubi kayu atau singkong merupakan salah satu bahan makanan sumber karbohidrat (sumber energi).

Tabel 1. Komposisi Ubi Kayu (per 100 gram bahan)

KOMPONEN	KADAR
Kalori	146,00 kal
Air	62,50 gram
Phosphor	40,00 mg
Karbohidrat	34,00 gram
Kalsium	33,00 mg
Vitamin C	30,00 mg
Protein	1,20 gram
Besi	0,70 mg
Lemak	0,30 gram

Vitamin B1

0,06 mg

(Menegristek, 2000)

Industri tapioka merupakan salah satu industri pangan yang terdapat di Indonesia. Bahan baku industri ini adalah umbi ketela pohon (*Manihot utilisima*) yang diolah menjadi tepung tapioka. Menurut Pranoto (2000), tepung tapioka merupakan bahan baku atau bahan pembantu untuk keperluan industri makanan, tekstil, kertas dan lain-lain. Limbah industri tapioka banyak mengandung amilum yang bila terlarut dalam air akan menyebabkan turunnya oksigen terlarut dan menimbulkan bau busuk yang berasal dari proses degradasi bahan organik yang kurang sempurna (Syarifah, 1996).

Limbah cair tapioka dihasilkan dari proses pembuatan, baik dari pencucian bahan baku sampai pada proses pemisahan pati dari airnya atau pengendapan. Sedangkan limbah padat berasal dari proses pengupasan kulit singkong dan ampas (onggok) yang dihasilkan dari proses pembuatan tepung. Menurut Sugiharto (1987), karakteristik fisik yang sangat penting dari air limbah adalah kandungan total solid yang tersusun atas zat terapung, zat suspensi, zat koloidal dan zat dalam solution, karakteristik fisik yang lain termasuk bau, suhu dan warna. Karakteristik air limbah meliputi: 1). Zat organik, termasuk didalamnya adalah protein dan karbohidrat, dan 2). Zat anorganik, termasuk didalamnya adalah pH, klorida kalsium, fosfor, alkali, nitrogen, sulfur dan lain-lain. Sedangkan karakteristik biologi adalah adanya mikroorganisme dalam air limbah baik yang bersifat patogen maupun bukan patogen. Namun demikian, yang terpenting adalah limbah cair tapioka merupakan limbah organik yang terdiri dari senyawa-senyawa

kompleks yang dapat diuraikan dan didekomposisi menjadi senyawa sederhana dan unsur-unsur organik.

Limbah cair akan mengalami dekomposisi secara alami di badan-badan perairan dan menimbulkan bau yang tidak sedap. Bau tersebut dihasilkan pada proses penguraian senyawa yang mengandung nitrogen, sulfur dan fosfor dari bahan berprotein (Zaitun, 1999 dan Hanifah *et al.*, 1999). Air limbah industri tapioka memiliki kandungan bahan-bahan organik yang cukup tinggi yang menyebabkan pencemaran lingkungan khususnya air sungai.

Tabel. 2. Kandungan nutrisi limbah cair industri tapioka.

Nutrisi	Nilai Kisaran / 100 gr
Karbohidrat	25.37gr
Lemak	0.19gr
Serat	1.2gr
Protein	0.91gr

(Affandi,2008)

Menurut Ciptadi dan Nasution (1978) bahwa limbah cair industri tapioka mengandung sebagian besar air, pati terlarut, nitrogen, fosfor, lemak, dan protein dalam konsentrasi yang rendah. Sedangkan kadar mineral limbah cair tapioka terdiri dari Ca, Mg, Fe, Cu, Pb, dan Zn. Adapun karakteristik limbah cair tapioka adalah sebagai berikut.

Tabel. 3. Karakteristik limbah cair industri tapioka

Parameter	Nilai Kisaran (mg/l)
TSS	920

BOD	2423 - 3944
COD	4736 – 15.067
pH	3,8 - 4,5
NO ₃	70
PO ₄	80

(Kabinawa dan Sri Agustini, 1998)

Pengolahan air limbah industri tapioka umumnya dengan sistem kolam anaerobik sehingga nantinya akan dihasilkan Gas Metan (CH₄) dan Karbondioksida (CO₂). (Chatartica, A. Dkk, 2007).

3. Suhu

Suhu berpengaruh terhadap proses perombakan anaerob bahan organik dan produksi gas. Pencernaan berlangsung baik pada suhu 30 – 40 °C untuk kondisi mesofilik dan pada suhu 45 - 55°C, suhu 50 - 60°C untuk kondisi termofilik. Kecepatan fermentasi menurun pada suhu dibawah 20°C. Suhu optimal kebanyakan mikroorganisme mesofilik dicapai pada 35°C, tetapi untuk mikroorganisme termofilik pada suhu 55°C. Suhu optimal untuk berbagai desain tabung pencerna termasuk Indonesia adalah 35°C (Sahirman, 1994)

Suhu merupakan faktor penting yang mempengaruhi aktifitas mikroorganisme. Suhu optimal proses fermentasi anaerob dibedakan menjadi tiga yaitu suhu termofil untuk penghancuran cepat dan produksi tinggi (m³ gas/m³

bahan per hari) serta waktu retensi pendek dan bebas dari desinfektan, suhu mesofilik (suhu kamar/ruang), dan suhu psikrofilik (Metcalf dan Eddy, 2003).

Pada kondisi psikrofilik proses perombakan berjalan rendah, kondisi mesofilik perombakan berlangsung baik dan terjadi percepatan proses perombakan dengan kenaikan suhu, serta kondisi termofilik untuk mikroorganisme termofilik dengan perombakan optimal pada 55⁰C (NAS 1981 dan Bitton 1999).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilaporkan oleh Kharistya (2004) dan Haryati (2006) bahwa suhu yang optimal untuk biodigester adalah 30-35 ⁰C, kisaran suhu ini mengkombinasikan kondisi terbaik untuk pertumbuhan mikroorganisme dan produksi metana di dalam biodigester dengan lama proses yang pendek.

Menurut Haryati (2006), jika suhu turun menjadi 10⁰C, produksi gas akan terhenti. Produksi gas yang memuaskan berada pada daerah mesofilik. Biogas yang dihasilkan pada kondisi diluar suhu tersebut mempunyai kandungan karbondioksida yang lebih tinggi. Sedangkan menurut Fry (1974), pada suhu yang rendah 15 ⁰C laju aktivitas mikroorganisme sekitar setengahnya dari laju aktivitas pada suhu 35 ⁰C . Apabila mikroorganisme bekerja pada suhu 40⁰C produksi gas akan berjalan dengan cepat hanya beberapa jam dan untuk selanjutnya hanya akan diproduksi gas yang sedikit.

Pada kondisi operasi yang sama, perombak termofilik lebih efisien daripada perombak mesofilik (Lusk, 1991). Beberapa keuntungan yang diperoleh dari proses termofilik dibandingkan dengan proses mesofilik adalah :

Waktu tinggal organik dalam biodigester lebih singkat, penghilangan mikroorganisme patogen lebih baik, degradasi asam lemak rantai panjang lebih baik, meningkatkan kelarutan substrat. Kerugian proses termofilik antara lain adalah derajat ketidakstabilan tinggi, jumlah konsumsi energi lebih besar, resiko hambatan ammonia tinggi (Wellinger dan Lindeberg, 1999).

4. pH

Pada awal proses perombakan, derajat keasaman akan selalu turun karena sejumlah mikroorganisme tertentu akan mengubah sampah organik menjadi asam organik. Dalam proses selanjutnya, mikroorganisme jenis lainnya akan memakan asam organik yang akan menyebabkan pH menjadi naik kembali mendekati netral. pH yang ideal dalam proses perombakan adalah antara 6-8 dengan tingkat masih diterima adalah pH 5 (minimum) dan pH 12 (maksimum) (CPIS, 1992). pH pada proses perombakan anaerob biasa berlangsung antara 6,6 - 7,6; Arkhaea metanogen tidak dapat toleran pada pH di luar 6,7 - 7,4; sedangkan mikroorganisme non metanogen mampu hidup pada pH 5 - 8,5 (NAS, 1981). Praperlakuan kimia umumnya diperlukan pada limbah cair dengan derajat keasaman tinggi ($< \text{pH } 5$) dan umumnya penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ digunakan untuk meningkatkan pH limbah cair menjadi netral (Bitton, 1999).

Arkhaea penghasil metan sangat sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH optimum untuk jenis arkhaea penghasil metan antara 6,4 - 7,4. Mikroorganisme yang

tidak menghasilkan metana tidak begitu sensitif terhadap perubahan pH, dan dapat bekerja pada pH antara 5 hingga 8,5. Karena proses anaerobik terdiri dari dua tahap yaitu tahap pembentukan asam dan tahap pembentukan metana, maka pengaturan pH awal proses sangat penting. Tahap pembentukan asam akan menurunkan pH awal. Jika penurunan ini cukup besar akan dapat menghambat aktivitas arkhaea penghasil metana. Untuk meningkatkan pH dapat dilakukan dengan penambahan kapur (CaOH_2)/kapur tohor dan NaOH untuk meningkatkan pH limbah cair menjadi netral. (Manurung, 2004).

Sahirman (1994) mengungkapkan bahwa pengaturan pH awal dengan (CaCO_3) bersama pengadukan kontinu 100 rpm (tekanan 1 atm, suhu kamar) sangat berpengaruh terhadap total biogas yang dihasilkan selama 4 minggu fermentasi. Hal ini dikarenakan adanya intensitas kontak antara mikroorganisme dan substrat jauh lebih baik dan menghindari akumulasi padatan terbang ataupun padatan mengendap yang akan mengurangi volume keefektifan digester.

5. Perlakuan dengan Urea

Urea adalah suatu [senyawa organik](#) yang terdiri dari unsur [karbon](#), [hidrogen](#), [oksigen](#) dan [nitrogen](#) dengan rumus CON_2H_4 atau $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$. Urea juga dikenal dengan nama carbamide yang terutama digunakan di kawasan Eropa. Nama lain yang juga sering dipakai adalah carbamide resin, isourea, carbonyl diamide dan carbonyldiamine. Senyawa ini adalah senyawa organik sintesis pertama yang berhasil dibuat dari [senyawa anorganik](#). Urea ditemukan pertama kali oleh Hilaire Roulle pada tahun 1773.

Karakteristik yang terdapat pada urea adalah :

Tabel. 4 : Karakteristik Urea

Spesifikasi Teknis	Urea
Kandungan Nitrogen	46 % (Minimal)
Ukuran Butiran	1 - 3,35 mm
Kandungan Air	0,5 % (Maksimal)
Biuret	0,5 % (Maksimal)
Warna	Putih

Amoniasi mampu meningkatkan nilai nutrisi pakan kasar melalui peningkatan daya cerna, konsumsi, kandungan protein kasar pakan dan meningkatkan penyimpanan bahan pakan berkadar air tinggi dengan menghambat pertumbuhan jamur. Sumber ammonia dalam amoniasi yang digunakan dapat berupa gas ammonia, amonia cair, urea maupun urin. Daya kerja ammonia dalam perlakuan amoniasi diantaranya sebagai bahan pengawet terhadap mikroorganisme yang berkembang pada bahan selama proses. Urea adalah sumber ammonia yang murah karena setiap kg urea akan dihasilkan 0.57 kg ammonia. Urea akan dihidrolisis dengan bantuan enzim urease menjadi ammonia. Perombakan urea menjadi ammonia selain membutuhkan enzim urease, juga dipengaruhi oleh kelembaban dan suhu saat perlakuan. Untuk alasan teknis kisaran kelembaban media sekitar 30-60%. Kelembaban media dibawah 30%, perombakan urea akan berjalan lambat dan kelembaban diatas 60% akan

mengurangi kekompakan substrat, peluruhan larutan urea ke bagian bawah media dan tumbuhnya jamur.

Suhu optimum perombakan urea pada umumnya berkisar antara 30-60⁰C. Kecepatan reaksi dikalikan (atau dibagi) dengan 2 setiap kenaikan (atau penurunan) suhu sebesar 10⁰C. Perombakan urea secara sempurna dapat terjadi setelah satu minggu atau bahkan 24 jam pada kisaran suhu 20-45⁰C.

Dosis ammonia merupakan berat nitrogen yang dipergunakan dibandingkan berat bahan. Dosis ammonia optimum sekitar 3-5% dari bahan. Konsentrasi ammonia kurang dari 3% tidak berpengaruh terhadap daya cerna dan protein kasar dan ammonia hanya berperan sebagai pengawet. Konsentrasi ammonia lebih dari 5 % menyebabkan perlakuan tidak efisien karena banyak ammonia yang terbuang. Asumsi setiap kilogram urea secara sempurna dikonversi akan menghasilkan 0,57 kg ammonia.

Penambahan urea dimaksudkan untuk menurunkan nisbah C/N pada substrat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan urea dibutuhkan untuk meningkatkan presentase penurunan nisbah C/N. Konsentrasi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme juga terkait erat dengan konsentrasi substrat (rasio C:N).

6. Perombakan Anaerob

Dekomposisi anaerob mikrobiologis merupakan proses dimana mikroorganisme tumbuh dan menggunakan energi dengan memetabolisis bahan organik dalam lingkungan anaerob dan menghasilkan metana. Sedangkan

menurut Lettinga (1994), terdapat empat tahap proses transformasi bahan organik pada sistem anaerobik, yaitu :

a. *Hidrolisis*

Pada tahapan hidrolisis, mikrobia hidrolitik mendegradasi senyawa organik kompleks yang berupa polimer menjadi monomernya yang berupa senyawa tidak terlarut dengan berat molekul yang lebih ringan. Lipida berubah menjadi asam lemak rantai panjang dan gliserin, polisakarida menjadi gula (mono dan disakarida), protein menjadi asam amino dan asam nukleat menjadi purin dan pirimidin. Proses hidrolisis membutuhkan mediasi *exo-enzim* yang disekresi oleh bakteri fermentatif. Hidrolisis molekul kompleks dikatalisasi oleh enzim ekstra seluler seperti selulase, protease, dan lipase (Said, 2006). Sejumlah besar mikroorganisme anaerob dan fakultatif yang terlibat dalam proses hidrolisis dan fermentasi senyawa organik antara lain adalah *Clostridium*.

b. *Asidogenesis*.

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

c. *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 propionate, dan asam butirat dirubah menjadi asam asetat oleh bakteri asetogenik (bakteri yang memproduksi asetat dan H₂) seperti *Syntrobacter wolinii* dan *Syntrophomas wolfei* (Said,2006).

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



Etanol (Asam Asetat)



Asam Propionat (Asam Asetat)

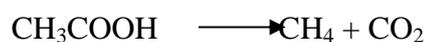


Asam Butirat (Asam Asetat)

d. *Metanogenesis*.

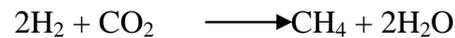
Pada tahap metanogenesis, terbentuk metana dan karbondioksida. Metana dihasilkan dari asetat atau dari reduksi karbondioksida oleh bakteri asetotropik dan hidrogenotropik dengan menggunakan hidrogen.

Acetoclastic metanogen mengubah asam asetat menjadi :



(Metana)

Hidrogenotropik metanogen mensintesa hidrogen dan karbondioksida menjadi :



(Metana)

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

Senyawa kompleks organik tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh mikroorganisme di dalam proses metabolismenya karena membran sel mikroorganisme hanya dapat dilewati oleh senyawa organik sederhana seperti glukosa, asam amino dan asam lemak volatil. Proses penguraian senyawa kompleks organik menjadi senyawa organik sederhana berlangsung pada proses hidrolisis yang dilakukan oleh kelompok mikroorganisme hidrolitik. Limbah cair yang mengandung senyawa kompleks organik, pengendali proses terletak pada tahap hidrolisis, karena proses hidrolisisnya lebih lambat dibandingkan dengan tahap proses lain. Hal ini secara langsung menyatakan bahwa proses hidrolisis merupakan salah satu tahap proses yang sangat penting agar tidak terjadi kegagalan proses pada biodegradasi anaerob (Adrianto *et al.*, 2001).

Perombakan bahan organik polimer (lemak, protein, dan karbohidrat) dalam kondisi anaerob melibatkan aktivitas enzim ekstraseluler yang dikeluarkan oleh mikroorganisme anaerob. Hidrolisis enzim ekstraseluler (lipase, protease dan karbohidrase) terhadap bahan organik polimer akan dihasilkan molekul-molekul

lebih kecil sehingga dapat dikonsumsi oleh mikroorganisme (Kusarpoko 1994, Sahirman 1994, Suzuki *et al.*, 2001). Pada fermentasi anaerob dihasilkan biogas dan lumpur pekat (sebagai pupuk organik). Proses hidrolisis enzimatis dan fermentasi anaerob dapat dilangsungkan secara simultan (Spangler and Emert 1986, Wright *et al.*, 1988).

Bahan organik yang terdiri dari polisakarida, protein, dan lemak tidak dapat didegradasi oleh arkhaea metanogen secara langsung, karena arkhaea tersebut hanya mengonsumsi asam format, asam asetat, methanol, hidrogen dan karbondioksida sebagai substrat. Degradasi senyawa organik polimer memerlukan beberapa macam bakteri fakultatif dan bakteri obligat anaerobik.

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

Semua mikroorganisme memerlukan kondisi lingkungan tertentu untuk pertumbuhan dan perkembangannya, sehingga terdapat variasi persyaratan pertumbuhan untuk spesies yang berbeda. Namun masih dapat dikelompokkan atas enam keperluan dasar bagi pertumbuhan dan untuk menunjukkan variasi individual yaitu : 1) Waktu, 2). Makanan, 3) Kelembaban, 4). Suhu, 5) Oksigen (untuk yang aerob).

Semua mikroorganisme memerlukan nutrient yang akan menyediakan : a) energi, biasanya diperoleh dari substansi yang mengandung karbon, b) nitrogen untuk sintesis protein, c) vitamin dan yang berkaitan dengan faktor pertumbuhan, dan d) mineral (Sherrington, 1981).

Bakteri campuran terlibat dalam proses perubahan bentuk (transformasi) senyawa-senyawa organik kompleks dengan berat molekul tinggi menjadi metana. Terdapat dua kelompok arkhaea metanogen penting pada proses anaerob, yaitu metanogen hidrogenotrofik (menggunakan H₂/kemolitotrof) mengubah hidrogen dan CO₂ menjadi metana, dan metanogen asetotrofik (asetoklasik) metanogen pemisah asetat yang mengubah asetat menjadi metana dan CO₂ (Bitton, 1999).

Salah satu cara menentukan bahan organik yang sesuai untuk menjadi bahan masukan sistem biogas adalah dengan mengetahui perbandingan Karbon (C) dan Nitrogen (N) atau disebut rasio C/N. Beberapa percobaan yang telah dilakukan oleh ISAT menunjukkan bahwa aktifitas metabolisme dari arkhaea methanogenik akan optimal pada nilai rasio C/N sekitar 8-20. Konsentrasi substrat (rasio C:N) terkait kebutuhan nutrisi mikroba; homogenitas sistem dan kandungan air (padatan tersuspensi (SS); padatan total (TS), asam lemak volatile (VFA)) (Bitton, 1999).

Senyawa dan ion tertentu dalam substrat dapat bersifat racun, misalnya senyawa dengan konsentrasi berlebihan ion Na⁺ dan Ca⁺ > 8000 mg/l; K⁺ > 12000; Mg⁺⁺ dan NH₄⁺ > 3000, sedangkan Cu, Cr, Ni dan Zn dalam konsentrasi rendah dapat menjadi racun bagi kehidupan bakteri anaerob (Bitton, 1999).

Starter diperlukan untuk mempercepat proses perombakan bahan organik menjadi biogas, bisa digunakan lumpur aktif organik atau cairan isi rumen (Ginting, 2007). Keuntungan pemilihan proses secara anaerobik adalah proses anaerobik tidak membutuhkan energi untuk aerasi, lumpur atau sludge yang dihasilkan sedikit, polutan yang berupa bahan organik hampir semuanya dikonversi ke bentuk biogas (gas metana) yang mempunyai nilai kalor cukup tinggi. Kelemahan proses degradasi ini adalah kemampuan pertumbuhan bakteri metan sangat rendah, membutuhkan waktu dua sampai lima hari untuk penggandaannya, sehingga membutuhkan reaktor yang bervolume cukup besar (Mahajoeno, 2008).

Teknologi perombakan anaerob merupakan salah satu bagian strategi pengelolaan limbah cair buangan industri yang cukup berdayaguna dan efektif. Penerapan teknologi ini selain murah dan praktis untuk buangan dengan beban organik dan berat molekul tinggi serta menimbulkan bau menyengat. Metode perombakan anaerob juga menghasilkan biogas (metana) yang berguna sebagai bahan bakar, mampu mereduksi energi terkandung dalam limbah untuk pengelolaan lingkungan dan mampu mendegradasi senyawa-senyawa xenobiotik maupun rekalsitran (Bitton, 1999).

Aplikasi Teknologi Digester Anaerob (TDA) yang lebih luas sekarang, menjadi kebutuhan dalam usaha menuju pembangunan berkelanjutan dan produksi energi terbarukan. Kecenderungan ini didukung oleh pertumbuhan kebutuhan pasar akan energi “hijau” dan oleh optimasi substansial TDA pada

dekade lalu, terutama perkembangan modern sistem ko-digesti dan “laju tinggi” (De Mez *et al.*, 2003).

c. Kerangka Pemikiran

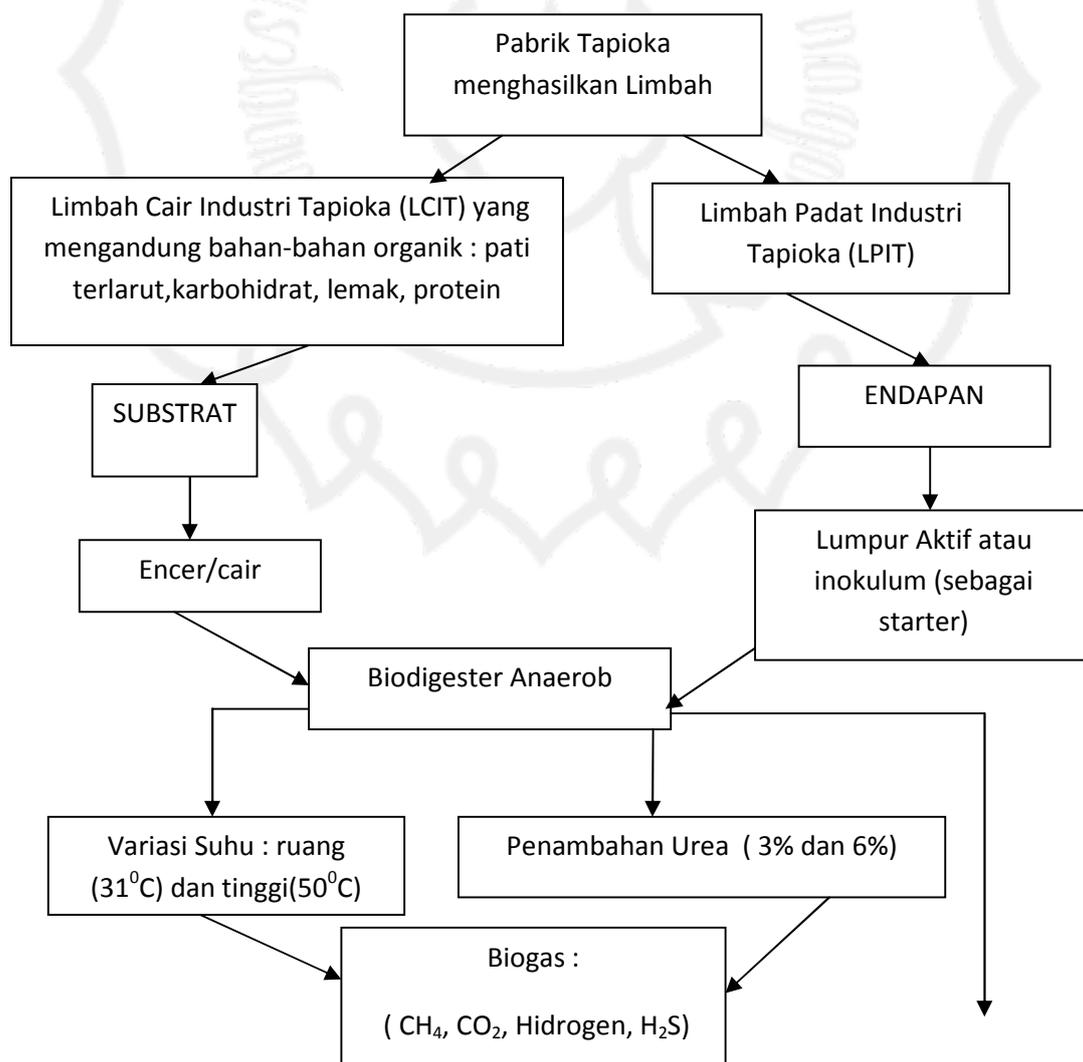
Limbah cair industri tapioka berpotensi menghasilkan gas metan yang merupakan salah satu sumber penyebab efek rumah kaca jika terbuang ke atmosfer. Potensi gas metan yang besar seharusnya bisa dimanfaatkan sebagai bahan bakar pengganti bahan bakar fosil (Singgih dan Mera, 2008).

Bahan organik dapat diolah untuk menghasilkan energi berupa gas metan (CH_4) atau biogas. Biogas dihasilkan dari proses penguraian bahan organik oleh bakteri metanogenesis dalam keadaan hampa udara (anaerob) yang dilakukan di dalam digester, yaitu tempat untuk menampung dan menguraikan bahan organik dalam keadaan hampa udara. Biogas atau gas metan bersifat mudah terbakar sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar (APO, 2003).

Penambahan urea pada substrat limbah cair industri tapioka dalam pencernaan anaerob diharapkan dapat mensubstisusi beberapa nutrisi terutama nitrogen yang tidak terdapat dalam limbah cair industri tapioka atau jumlah unsurnya yang hanya sedikit. Kunci dalam proses biokonversi mengolah limbah tapioka adalah mendapatkan pH seimbang dan suhu yang tepat sehingga enzim serta mikroorganisme yang digunakan dapat bekerja maksimal (Riyadi, 2007). Adanya variasi jenis maupun konsentrasi substrat dan perbedaan suhu substrat pada pencernaan anaerob juga diharapkan dapat memberikan hasil yang optimal dalam produksi biogas.

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

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



Pupuk Cair

Gambar 1. Diagram Alur Kerangka Pemikiran

C. Hipotesis

Hipotesis kerja pada penelitian ini adalah :

1. Variasi substrat dengan penambahan urea akan menambah produksi biogas pada perombakan anaerob limbah cair industri tapioka.
2. Perbedaan suhu perlakuan akan berpengaruh terhadap penambahan produksi biogas pada perombakan anaerob limbah cair industri tapioka.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Pusat (*green house*) F. MIPA Universitas Sebelas Maret, Surakarta. Penelitian dilaksanakan selama kurang lebih tiga bulan, dimulai pada bulan Juni sampai September 2009.

B. Alat dan Bahan

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

Alat konstruksi digester terdiri dari jerigen 5 liter, botol air mineral 600 ml, selang kecil dengan panjang 20 cm, mikrotip, rak penyangga, thermocouple, ember besar dan drum besar. Blender, heater dan roll kabel sebagai alat pendukungnya.

Peralatan gelas untuk analisis fisika kimia meliputi : batang pengaduk, gelas piala, gelas ukur, cawan porselin, perangkat soxhlet, condensor, botol jam, botol serum, botol flakon, tabung reaksi, labu ukur, pipet biuret, pipet ukur, pipet tetes, tips pipet plastik, dan gelas Erlenmeyer 50-1000 ml.

Peralatan pengukur analisis fisika kimia meliputi : neraca listrik, oven, thermometer, pH-meter, tabung gas N dan metana, *hot-plate*, spektrofotometer GC (*Sigma 2000*, *Perkin Elmer*), *Porapak Q* (80-100 mesh), injektor, detektor, suhu dan pengukur tekanan gas.

Bahan penelitian meliputi : substrat yang terdiri dari limbah tapioka, sumber inokulum, air, urea dan larutan NaOH₂ sebagai pemberi suasana basa.

C. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap Olah Faktorial dengan dua faktor perlakuan. Faktor pertama adalah temperatur substrat dalam 2 kondisi yang berbeda, yaitu dengan suhu ruang 31⁰C (T1) dan suhu tinggi 50⁰C (T2), faktor kedua adalah konsentrasi penambahan urea pada perlakuan yang sama. Yaitu dengan kadar 0% (K), 3%(A), dan 6%(B).

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

KT1 : Limbah tapioka 80 %, Urea 0 % pada suhu ruang

KT2 : Limbah tapioka 80 %, Urea 0 % pada suhu tinggi

AT1 : Limbah tapioka 80 %, Urea 3 % pada suhu ruang

AT2 : Limbah tapioka 80 %, Urea 3 % pada suhu tinggi

BT1 : Limbah tapioka 80 %, Urea 6 % pada suhu ruang

BT2 : Limbah tapioka 80 %, Urea 6 % pada suhu tinggi

Berikut rancangan percobaan ditampilkan dalam bentuk tabel :

Tabel 5. Rancangan Percobaan produksi biogas Anaerob Limbah Cair Tapioka

Suhu Urea	Ruang (T1)	Tinggi (T2)
Urea 0 %(K)	KT1	KT2
Urea 3%(A)	AT1	AT2
Urea 6%(B)	BT1	BT2

Ket :

1. Inokulum yang digunakan adalah inokulum limbah cair tapioka
2. Nilai pH semua perlakuan adalah netral (7)
3. Perlakuan Agitasi dilakukan dua kali setiap harinya

Parameter yang akan diukur antara lain pH, suhu, kadar BOD dan COD, kadar VS dan TS, dan pembentukan biogas (volume biogas dan uji nyala). Untuk parameter pH, suhu, BOD dan COD, TS dan VS diukur setiap lima belas hari sekali, sedangkan volume biogas diukur diakhir penelitian.

D. Cara Kerja

Penelitian ini menggunakan limbah cair industri tapioka sebagai substrat atau media utama untuk produksi biogas. Sumber inokulum berasal dari limbah tapioka itu sendiri, berupa sludge (lumpur aktif). Pada penelitian ini digunakan digester dengan volume 5 liter, yaitu 80% dari volume digester digunakan sebagai volume kerja, sedangkan sisanya (20%) sebagai ruang udara. Dari 80% (4 L) volume kerja digester diisi oleh sumber inokulum dengan konsentrasi 20% dan volume sisanya digunakan untuk substrat.

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

1. Tahap Persiapan

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

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

2. Tahap Penelitian

a. Persiapan inokulum

Inokulum berasal dari limbah tapioka itu sendiri, berupa sludge (lumpur aktif) yang dapat langsung dimanfaatkan sebagai sumber inokulum (starter) dalam pencernaan anaerob (digester).

b. Pembuatan biogas

Sistem yang digunakan untuk pembuatan biogas dalam penelitian ini adalah sistem curah, yaitu dengan cara penggantian bahan dilakukan dengan mengeluarkan sisa bahan yang sudah dicerna dari tangki pencerna setelah produksi biogas berhenti, dan selanjutnya dilakukan pengisian bahan baku yang

baru. Sistem ini terdiri dari dua komponen, yaitu tangki pencerna dan tangki pengumpul gas.

Setelah dilakukan proses biokonversi dalam digester anaerob, selanjutnya dilakukan pengukuran beberapa parameter diantaranya : suhu, pH, COD, BOD, TS, VS, produksi biogas (nyala). Untuk pengukuran parameter seperti suhu, pH, COD, BOD, TS dan VS dilakukan setiap lima belas hari sekali. Pengukuran biogas dilakukan di akhir penelitian. Apabila substrat bersifat asam dan ingin dinetralkan maka dapat dilakukan dengan penambahan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ atau NaOH sebagai pemberi suasana basa.

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

dalam tangki pengumpul gas sama dengan volume air yang ke luar dari botol pengumpul gas. Selama proses fermentasi berjalan, dilakukan agitasi sebanyak 2 kali setiap harinya.

c. Pengukuran parameter

1). Pengukuran pH dan suhu

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

2). Pengukuran COD

Bahan disiapkan antara lain: $K_2Cr_2O_7$; Ag_2SO_4 ; $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$; indikator Feroin; $HgSO_4$; laruta H_2SO_4 pekat dan peralatan Refluks, Kondensor Liebiq; Erlenmeyer Asahi dan peralatan Titrasi. Limbah contoh sebanyak 5 ml yang telah diencerkan dengan air suling dimasukkan ke dalam erlenmeyer dan ditambahkan 10 ml. $K_2Cr_2O_7$ 0.025 N dan 10 ml H_2SO_4 pekat. Setelah campuran tersebut dingin, dititrasi dengan larutan $Fe(NH_4)_2SO_4$ 0.025 N, dengan indikator feroin. Titrasi dihentikan setelah terjadi perubahan warna biru kehijauan menjadi merah anggur. Volume $Fe(NH_4)_2SO_4$ 0.025 N yang digunakan untuk titrasi

dicatat sebagai a ml. Dengan prosedur yang sama, dilakukan titrasi terhadap blanko air suling. Volume $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ yang digunakan dicatat b ml.

$$\text{COD (ppm)} = \frac{(\mathbf{b - a}) \times \mathbf{0.025} \times \mathbf{8000} \times \mathbf{f}}{\mathbf{ml\ contoh}} \quad \mathbf{f} : \text{Faktor pengenceran}$$

(Greenberg *et al.*, 1992).

3). Pengukuran BOD

Bahan pereaksi disiapkan: $\text{M}_n\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, (NaOH- NaI- NaN_3) sebagai alkali Iod-azida; H_2SO_4 pekat, larutan H_2SO_4 4N, KI 10%, Amilum, larutan Tio-sulfat 0,025 N, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dengan peralatan: botol Winkler 250 ml dan perangkat titrasi. Contoh yang bersifat asam atau basa dinetralkan dengan penambahan NaOH atau HCl. Penambahan Na_2SO_3 ke dalam contoh dilakukan jika diduga mengandung senyawa khlor aktif dengan perbandingan molar yang sama. Botol-botol disimpan dalam inkubator pada suhu 30° C, selama satu jam (tiap contoh sampel menggunakan dua botol BOD). Salah satu botol diambil, kemudian dianalisa kadar oksigen terlarutnya. Botol yang lainnya disimpan selama tiga hari dalam inkubator 30°C sebelum dianalisa kadar oksigen terlarutnya. Analisis oksigen terlarut dilakukan juga terhadap blanko

$$\text{BOD}_3 \text{ (ppm)} = \frac{(\mathbf{X}_0 - \mathbf{X}_3) - (\mathbf{B}_0 - \mathbf{B}_3)}{\mathbf{f}} \quad \mathbf{(1-f)}$$

X_0 : Kadar oksigen terlarut dalam contoh pada hari-0

X_3 : Kadar oksigen terlarut dalam contoh pada hari-5

B_0 : Kadar oksigen terlarut dalam blangko pada hari-0

B_3 : Kadar oksigen terlarut dalam blangko pada hari-5; f : Faktor pengenceran

(Greenberg *et al.*, 1992).

4). Padatan total (Total Solids) (Metode Evaporasi)

Sebanyak 25 ml contoh yang telah diaduk dimasukkan ke dalam cawan dan ditimbang bersama cawan dan dianggap sebagai W2. Sebelum digunakan cawan dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 105⁰C selama satu jam. Setelah itu cawan didinginkan di dalam desikator hingga suhu ruang ditimbang (W1). Dilanjutkan pada suhu 550⁰C selama satu jam. Setelah itu cawan didinginkan di dalam desikator hingga suhu ruang ditimbang (W3). Contoh diuapkan dalam cawan dan diteruskan dengan pengeringan di dalam oven pada suhu 105⁰C, selama satu jam. Setelah didinginkan di dalam desikator, cawan ditimbang (W4).

$$\text{Padatan Total} = \frac{(W1-W4) \times 10^6}{\text{ml contoh}}$$

(Greenberg *et al.*, 1992).

5). Padatan mudah uap (Volatile Solids).

Setelah penetapan padatan total kemudian dibakar pada suhu 550⁰C selama 1 jam menggunakan *furnace*, masukkan desikator dan timbang lagi (W5).

$$\text{Padatan Terikat (ppm)} = \frac{(W3-W5) \times 10^6}{Z}$$

Padatan mudah uap (VS): padatan total-padatan terikat

(Greenberg *et al.*, 1992).

d. Penambahan urea

Penambahan urea dengan dosis 0%, 3%, dan 6% diperoleh dari perbandingan volume kerja dari digester anaerob yaitu sebanyak 4 liter. Satuan urea adalah gram kemudian dikonversikan ke satuan liter dengan timbangan analitik

E. Analisis Data

Data yang diperoleh adalah data kualitatif dan data kuantitatif. Data kuantitatif yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan Analisis sidik ragam GLM univariate. Uji lanjut menggunakan Duncan's Multiple Range Test (DMRT) dengan taraf uji 5%.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Sebelum proses fermentasi anaerob dimulai, penting diketahui karakter awal dari masing-masing kelompok substrat. Substrat terdiri dari tiga kelompok, yaitu : substrat 80% murni limbah cair tapioka, tanpa penambahan urea (K); substrat 80% limbah cair tapioka ditambahkan 3% urea (A); dan substrat 80% limbah cair tapioka ditambahkan 6% urea (B). Masing-masing kelompok substrat dibagi lagi dalam dua kelompok suhu lingkungan yang berbeda, yaitu suhu ruang (T1) dan suhu tinggi (T2).

1. Produksi Biogas

Biogas merupakan energi yang dapat dijadikan bahan bakar alternatif untuk menggantikan bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan gas alam (Haryati, 2006). Proses terjadinya biogas adalah fermentasi anaerob bahan organik yang dilakukan oleh mikroorganisme sehingga menghasilkan gas mudah terbakar (*flammable*) (Simamora *et al.*, 2006). Biogas mudah terbakar karena mengandung gas metana (CH₄) dalam persentase cukup tinggi (Setiawan, 2008).

Banyak faktor mempengaruhi keberhasilan produksi biogas, yaitu seperti kondisi anaerob, bahan baku isian, nutrisi (C/N), pH, suhu, dan starter. Faktor tersebut dapat mempercepat proses fermentasi jika kondisi lingkungan optimal bagi pertumbuhan bakteri perombak (Simamora, *et al.*, 2006).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah biogas yang dihasilkan dari proses perombakan anaerob limbah cair industri tapioka sebagai substratnya, serta mengetahui pengaruh pemberian suhu tinggi (50°C) terhadap jumlah biogas yang dihasilkan dari proses perombakan tersebut dengan menggunakan biodigester tipe curah (*batch*) skala laboratorium selama 45 hari waktu pengamatan. Parameter yang digunakan antara lain pH dan suhu substrat, COD, BOD, TS, VS, volume biogas, dan uji nyala.

Berdasarkan data yang diperoleh (lampiran.1), dapat diketahui bahwa substrat tanpa penambahan urea atau murni limbah cair tapioka dapat menghasilkan biogas lebih banyak dibandingkan substrat campuran urea. Hasil ini didapat pada kondisi suhu tinggi (50°C) (lampiran.1). Sedangkan substrat dengan penambahan urea 6% menghasilkan biogas paling sedikit dibandingkan dengan substrat yang lainnya. Hasil ini didapat pada kondisi suhu ruang (31°C). Adapun pada kondisi suhu ruang biogas terbanyak dihasilkan oleh kelompok substrat dengan perlakuan penambahan urea 3%.

Adapun hasil statistik diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 6. Pengaruh produksi biogas pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan dengan lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob

No	Kelompok substrat	Rata-rata volume biogas (L)					
		M2		M4		M6	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	LCIT 80% + 0 % Urea (K)	0.78 ^a	1.03 ^a	0.19 ^a	1.6 ^a	1.81 ^a	2.08^a
2	LCIT 80% + 3 % Urea (A)	1.19 ^{ab}	0.61 ^{ab}	0.4 ^{ab}	0.82 ^{ab}	0.97 ^{ab}	0.81 ^{ab}

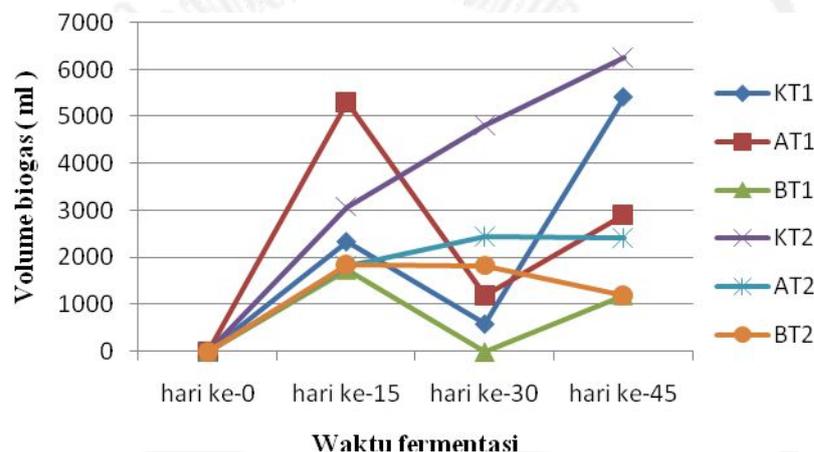
3	LCIT 80% + 6% Urea (B)	0.58 ^b	0.62 ^b	0 ^b	0.61 ^b	0.4 ^b	0.4 ^b
---	------------------------	-------------------	-------------------	----------------	-------------------	------------------	------------------

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

Berdasarkan analisis sidik ragam produksi biogas memperlihatkan hasil yang berbeda nyata atau signifikan antar perlakuan. Kelompok tanpa perlakuan (K) berbeda nyata dengan kelompok substrat dengan perlakuan urea 6% (B) namun tidak berbeda signifikan dengan kelompok perlakuan urea 3% (A). Dari analisis tersebut juga dapat diketahui bahwa perlakuan variasi substrat memberikan pengaruh signifikan terhadap produksi biogas, sedangkan penambahan suhu tidak berpengaruh signifikan terhadap produksi biogas (Lampiran 2) hal ini dimungkinkan karena pengaruh faktor lingkungan yang menyebabkan suhu tidak konstan. Produksi biogas ditampilkan pada Tabel 6. Hasil produksi biogas terbanyak pada substrat tanpa perlakuan penambahan urea pada suhu tinggi (KT2) sebesar 2,08 liter. Pada substrat dengan perlakuan penambahan urea 6% pada suhu ruang (BT1) diperoleh produksi biogas terkecil sebesar 0 liter. Hal ini menunjukkan bahwa substrat murni tapioka tanpa penambahan urea pada kondisi suhu tinggi mampu menghasilkan biogas optimum. Begitu pula jika melihat produksi biogas limbah cair industri tapioka sampai akhir perlakuan (lampiran.1) dapat diketahui bahwa produksi biogas terbanyak pada substrat tanpa perlakuan pada suhu tinggi (KT2) sebesar 14,158 liter. Hal ini dikarenakan pada suhu tinggi (50°C) substrat akan terdegradasi lebih cepat dan memudahkan difusi bahan terlarut, sehingga pembentukan gas akan lebih cepat pula. Sesuai dengan pernyataan Metcalf & Eddy (2003) bahwa suhu

tinggi digunakan untuk penghancuran cepat dan produksi tinggi ($\text{m}^3 \text{ gas}/\text{m}^3 \text{ bahan per hari}$) serta waktu retensi pendek dan bebas dari desinfektan.

Selain itu, pada grafik (Gambar 2) terlihat bahwa pemberian suhu 50°C pada biodigester juga dapat meningkatkan produksi biogas. Jumlah volume biogas yang diperoleh berdasarkan perbedaan jenis maupun konsentrasi substrat dan juga perbedaan suhu lingkungan dalam 45 hari waktu pengamatan terlihat pada gambar 2 :



Gambar 2. Total volume biogas yang diperoleh dari masing-masing kelompok substrat pada kondisi suhu ruang (31°C) dan suhu tinggi (50°C) dengan lama fermentasi 45 hari.

Keterangan :

K : Limbah cair tapioka 80% dan urea 0% (+ inokulum 20%)

A : Limbah cair tapioka 80% dan urea 3% (+ inokulum 20%)

B : Limbah cair tapioka 80% dan urea 6% (+ inokulum 20%)

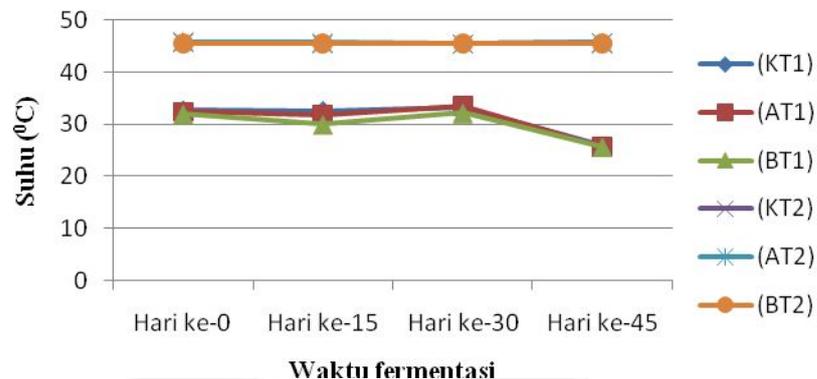
T1 : Suhu ruang (31°C)

T2 : Suhu tinggi (50°C)

Perbedaan volume biogas yang diperoleh juga dapat disebabkan karena pada kondisi suhu ruang terjadi perubahan suhu lingkungan $2-5^\circ\text{C}$ (suhu

lingkungan tidak konstan). Hal ini berpengaruh pula terhadap perubahan suhu substrat. Perubahan suhu yang terlihat cukup signifikan yaitu pada hari ke-45, suhu substrat turun menjadi $\pm 25^{\circ}\text{C}$. Penurunan yang cukup signifikan ini dipengaruhi oleh kondisi lingkungan yang berubah, yaitu suhu lingkungan yang rendah karena hujan. Sehingga kondisi suhu substrat di dalam biodigester pun menjadi rendah. Material bahan dalam hal ini jerigen yang digunakan sebagai biodigester bukan merupakan isolator/penahan panas yang baik sehingga temperatur lingkungan dapat mempengaruhi materi di dalam biodigester (Raliby *et al.*, 2009).

Proses fermentasi anaerob sangat peka terhadap perubahan suhu (Wellinger and Lindeberg, 1999). Produksi biogas akan menurun secara cepat akibat perubahan suhu yang mendadak di dalam reaktor (Ginting, 2007). Archaea metanogenik berkembang lambat dan sensitif terhadap perubahan mendadak pada kondisi-kondisi fisik dan kimiawi. Sebagai contoh, penurunan suhu 2°C secara mendadak pada *slurry* mungkin secara signifikan berpengaruh pada pertumbuhan metanogen dan laju produksi gas (Gunnerson and Stuckey, 1986). Gambar 3 merupakan hasil pengamatan suhu substrat pada dua kondisi yang berbeda yaitu kondisi suhu ruang (31°C) dan suhu tinggi (50°C) dalam 45 hari waktu pengamatan.



Gambar 3. Rata-rata suhu substrat pada kondisi suhu ruang (31°C) dan suhu tinggi (50°C) dengan lama fermentasi 45 hari.

Keterangan :

K : Limbah cair tapioka 80% dan urea 0% (+ inokulum 20%)

A : Limbah cair tapioka 80% dan urea 3% (+ inokulum 20%)

B : Limbah cair tapioka 80% dan urea 6% (+ inokulum 20%)

T1 : Suhu ruang (31°C)

T2 : Suhu tinggi (50°C)

Lain halnya dengan kelompok substrat pada kondisi suhu ruang, pada kelompok substrat suhu tinggi, bagian luar digester sudah diberi termokopel dengan tujuan mempertahankan suhu agar tetap konstan. Berdasarkan uji pendahuluan yang telah dilakukan sebelumnya, diketahui bahwa ketika suhu lingkungan diluar digester diatur 50°C maka suhu substrat (dalam digester) adalah $\pm 45^{\circ}\text{C}$. Perbedaan suhu antara di luar dan di dalam digester mungkin disebabkan karena perbedaan dari masing-masing bahan/media menyerap panas tersebut. Suhu lingkungan diluar digester tetap dipertahankan 50°C dengan menggunakan termokopel, agar tidak terjadi perubahan suhu substrat (konstan).

Menurut Ratnaningsih *et al.*, (2009) jumlah produksi biogas yang sangat kecil menunjukkan bahwa telah terjadi proses degradasi yang tidak maksimal. Kelompok B dengan penambahan urea 6% pada substrat limbah cair tapioka menunjukkan terjadi degradasi yang tidak maksimal. Hal ini terlihat dari total

produksi gas yang sangat kecil, yaitu 2-4 liter dalam waktu 45 hari (lampiran 1). Hal ini merupakan pengaruh dari variasi jenis dan konsentrasi substrat, perbedaan suhu lingkungan, perbedaan pH pada masing-masing kelompok perlakuan. Penambahan urea pada substrat limbah cair tapioka (kelompok B) menimbulkan beban organik lebih banyak. Hal ini terlihat pada rata-rata nilai konsentrasi COD dan BOD awal yang tinggi pada kelompok B (lampiran. 1). Menurut Wellinger dan Lindenberg (1999) beban organik berlebih dapat muncul ketika biomassa dengan kandungan organik tinggi dimasukkan kedalam biodigester secara berlebihan. Bahan organik tergolong tinggi jika memiliki konsentrasi COD lebih dari 4000 mg/L. Urea memiliki nilai konsentrasi COD hampir mendekati yaitu 3680 mg/L (Afandi, 2008).

Namun demikian, banyak sedikitnya jumlah biogas yang dihasilkan tidak dapat menentukan nyala tidaknya biogas yang dihasilkan. Pada kelompok tanpa perlakuan kondisi suhu ruang maupun suhu tinggi tiga hari awal di minggu pertama, biogas yang dihasilkan cukup banyak tetapi beberapa tidak dapat menghasilkan nyala api begitu pula pada kelompok perlakuan dengan penambahan urea 3% dan 6% baik pada suhu ruang maupun suhu tinggi. Hal ini mungkin dikarenakan kandungan gas metana pada biogas hanya sedikit. Pada umumnya, biogas hasil fermentasi anaerob limbah organik tersusun atas metana 55-70%, karbon dioksida 30-45% dan sedikit hidrogen sulfida dan amonia maupun gas-gas lainnya $\leq 1\%$ (Kottner, 2002). Biogas dapat terbakar apabila terdapat kadar metana minimal 57% s/d 60% (Hammad dan Hessami *et al.*, 1996).

Berdasarkan hasil uji nyala api, semua kelompok substrat dapat menghasilkan nyala api, namun banyak sedikitnya antar kelompok substrat

berbeda-beda. Yang paling banyak pada substrat tanpa perlakuan kondisi suhu tinggi. Sedangkan pada kelompok lain pH cenderung terus naik (gambar 4), artinya proses yang berlangsung baru sampai pada tahap asidogenesis dan asetogenesis diminggu pertama, langsung minggu kedua dan keempat telah menjadi kondisi basa, meskipun tidak diketahui sejauh mana tahapan asidogenesis dan asetogenesis terjadi karena pada penelitian ini tidak dilakukan pengukuran terhadap nilai VFA (*volatile fatty acid*). Nilai pH yang terus naik mengakibatkan biogas yang dihasilkan tidak optimal (kandungan metana rendah atau bahkan belum terbentuk).

Gas yang dihasilkan saat pertama kali belum menghasilkan nyala api, hingga hari ketiga. Hal ini dikarenakan proses perombakan anaerob memerlukan beberapa tahapan, diantaranya : hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan methanogenesis. Pada saat awal perombakan masih didominasi oleh proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis sehingga gas yang dihasilkannya pun kebanyakan masih berupa gas CO₂, H₂, dan senyawa yang bersifat asam seperti asam asetat. Gas itu diperoleh sampai hari ketiga, diperkirakan gas tersebut merupakan akumulasi gas yang menempati ruang kosong pada digester anaerob. Gas sudah dapat menghasilkan nyala api yaitu pada botol kedua dan seterusnya.

Pada hasil awal tidak semua botol gas dapat menghasilkan nyala api. Hal ini dikarenakan pH substrat mengalami penurunan pada hari ke-15, artinya proses yang berlangsung adalah tahap asidogenesis. Setelah setengah bulan berjalan (>3 minggu), baru diperoleh biogas dengan nyala api berwarna biru. Ketika nyala api biru berarti biogas yang dihasilkan sudah baik. Pembakaran akan mengeluarkan

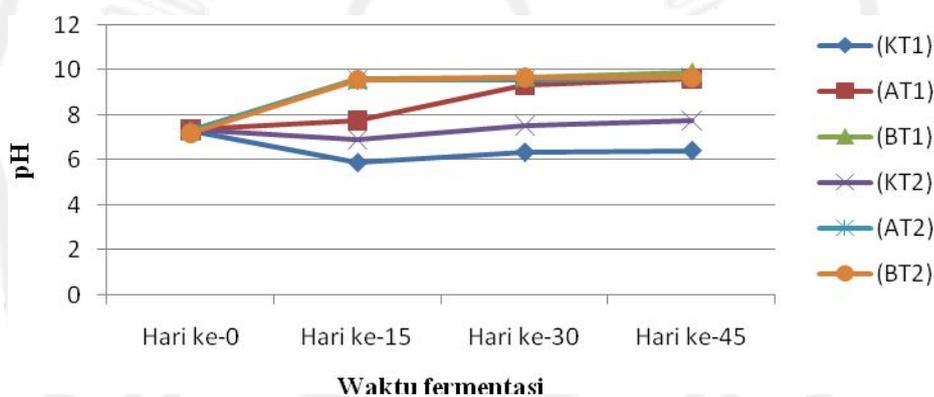
api yang berwarna biru, karena gas yang dibakar adalah gas metan (CH_4), yang ikatan molekulnya hanya mengandung 1 atom C dan 4 atom hydrogen (Orbis, 2008). Gas metan ini diperoleh setelah hari ke-20. Perlu diketahui bahwa setelah hari ke-15, pH substrat kembali netral (7.51) hingga hari ke-45 (7.76) (Gambar 4). Hingga hari ke-45 biogas masih dapat menghasilkan nyala api berwarna biru.

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

2. Derajat keasaman (pH)

Jumlah volume biogas yang dihasilkan tidak hanya dipengaruhi oleh variasi jenis maupun konsentrasi substrat dan pemberian suhu lingkungan yang berbeda saja, tetapi dipengaruhi juga oleh beberapa faktor lain. Faktor lain tersebut diantaranya pH substrat. Biogas terbentuk karena adanya kerja berbagai bakteri yang ikut terlibat dalam aktivitas perombakan substrat kompleks. Pertumbuhan bakteri yang terlibat tersebut sangat dipengaruhi oleh pH, karena pada rentang pH yang tidak sesuai, mikroba tidak dapat tumbuh dengan maksimum dan bahkan dapat menyebabkan kematian yang pada akhirnya dapat menghambat perolehan gas metana (Rohman, 2009). Nilai pH optimum dalam produksi biogas berkisar antara 7-8 (Fulford, 1988).

Pada awal penelitian, pH limbah cair tapioka cukup asam yaitu 4,2. pH sangat asam karena banyak terkandung bahan-bahan organik. Mahajoeno *et al.*, (2008) menyatakan bahwa pH awal substrat 7 memberikan peningkatan laju produksi biogas lebih baik dibandingkan dengan perlakuan pH yang lain. Oleh karena itu, di awal penelitian semua kelompok substrat dijadikan netral dengan penambahan NaOH sebelum perlakuan (Ginting, 2007). Setelah pH substrat netral maka penelitian dapat dimulai. Pengukuran pH dilakukan 4 kali selama penelitian, yaitu hari ke-0, hari ke-15, hari ke-30, dan hari ke-45. Hasil pengukuran rata-rata pH ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Rata-rata pH masing-masing kelompok substrat pada suhu ruang (31°C) dan suhu tinggi (50°C) dengan lama fermentasi 45 hari.

Keterangan :

K : Limbah cair tapioka 80% dan urea 0% (+ inokulum 20%)

A : Limbah cair tapioka 80% dan urea 3% (+ inokulum 20%)

B : Limbah cair tapioka 80% dan urea 6% (+ inokulum 20%)

T1 : Suhu ruang (31°C)

T2 : Suhu tinggi (50°C)

Jika dilihat dari data pH yang diperoleh, baik pada suhu ruang maupun suhu tinggi (Gambar 4) diketahui bahwa telah terjadi kenaikan nilai pH pada hari ke-15 dan semakin naik hingga hari ke-45. Tetapi tidak demikian pada kelompok kontrol dengan perlakuan suhu ruang maupun suhu tinggi. Pada kelompok ini pH mulai menurun pada hari ke-15, kemudian pH kembali naik (menjadi netral) pada hari ke-30 hingga hari ke-45. pH menurun disebabkan karena sedang terjadi proses asidifikasi (pembentukan asam). Setelah proses asidifikasi selesai, selanjutnya masuk pada tahap metanogenesis yaitu perubahan asam menjadi metana. Asam yang terbentuk pada tahap asidifikasi akan digunakan oleh bakteri metanogen sebagai substrat dalam pembentukan gas metan dan CO₂ sehingga pH kembali netral (Gambar 4 : kelompok kontrol pada hari ke-15 dan 30).

Fulford (1988) menyatakan bahwa diawal reaksi pembentukan biogas, bakteri penghasil asam akan aktif lebih dulu sehingga pH pada digester menjadi rendah, kemudian bakteri metanogen menggunakan asam tersebut sebagai substrat sehingga menaikkan nilai pH. Ini menandakan bahwa dalam proses produksi biogas terjadi pengaturan pH secara alami. Tingkat keasaman diatur oleh proses itu dengan sendirinya. Kresnawaty, dkk (2008) dalam penelitiannya juga mengatakan bahwa nilai pH pada awal proses menunjukkan penurunan karena terjadi hidrolisis yang umumnya terjadi dalam suasana asam, tetapi nilai ini cenderung stabil pada tahap selanjutnya, yaitu pada kisaran pH 6,7-7,7. Rentang pH ini mendekati kondisi ideal pertumbuhan metanogen, yaitu 6,8-7,2. Hal demikian terjadi karena asam-asam organik diuraikan menjadi metana dan karbondioksida dan kemungkinan terbentuknya NH₃ yang meningkatkan pH larutan.

Sedangkan pada kelompok substrat lain, nilai pH semakin naik (basa) hingga hari ke-45. pH paling tinggi adalah dari kelompok substrat A dan B (pada suhu ruang maupun tinggi) yaitu pada kisaran pH 7,2 – 9,9. Sedangkan pada kelompok kontrol (suhu ruang dan tinggi), substrat berada pada kisaran pH 7. pH basa pada kelompok A dan B, nilai pH semakin naik (basa) hingga hari ke-45, berada pada kisaran diatas 9,0-9,9. Hal ini terjadi karena senyawa asam yang dihasilkan oleh bakteri penghasil asam dapat dikonsumsi oleh bakteri penghasil metan dengan cepat, akibatnya menghasilkan banyak CO₂ yang larut dalam air untuk membentuk ion bikarbonat (HCO₃⁻) lebih banyak yang menyebabkan larutan menjadi lebih alkali, sistem akan menjadi basa. Selain itu dikuatkan oleh Desniar, 2004 peningkatan nilai pH disebabkan oleh penggunaan urea sebagai sumber nitrogen. Kenaikan pH ini disebabkan oleh terakumulasinya bahan-bahan alkali hasil metabolisme urea yang sesudahnya ditambahkan lagi NaOH sebagai buffer.

3. Konsentrasi COD dan BOD

Selain dihasilkan biogas sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, proses perombakan anaerob juga dapat menurunkan tingkat pencemaran dari limbah organik sehingga aman bagi lingkungan. Proses perombakan atau degradasi bahan organik dapat dilihat dari perubahan karakter atau sifat outlet limbah (effluent), baik sifat fisik maupun kimia seperti COD (*Chemical Oxygen Demand*), BOD (*Biological Oxygen Demand*). Selain perubahan sifat, proses degradasi juga dapat dilihat dari nilai reduksi/efisiensi perombakan

Tabel 8. Pengaruh konsentrasi COD pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan dengan lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob

No	Kelompok substrat	Rata-rata COD (g/l)							
		M0		M2		M4		M6	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	LCIT 80%+ 0% urea (K)	28.3 ^a	28.5 ^a	26.5 ^a	24.9 ^a	24.1 ^a	20.6 ^a	20.8 ^a	17.8^a
2	LCIT80% + 3% urea (A)	38.4 ^a	24.1 ^a	25.5 ^a	23.5 ^a	22.5 ^a	21.4 ^a	18.1 ^a	19.01 ^a
3	LCIT80% + 6% urea (B)	36.1 ^a	30.6 ^a	30.5 ^a	25.4 ^a	24.3 ^a	23.1 ^a	18.7 ^a	21.2 ^a

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

Tabel 9. Pengaruh konsentrasi BOD pada interaksi jenis substrat dan suhu lingkungan dengan lama waktu (0-6 minggu) dalam biodigester anaerob

No	Kelompok substrat	Rata-rata BOD (g/l)							
		M0		M2		M4		M6	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	LCIT 80%+ 0% urea (K)	10.6 ^a	11.9 ^a	6.9 ^a	6.8 ^a	5.7 ^a	6.8 ^a	5.4 ^a	5.3^a
2	LCIT80% + 3% urea (A)	14.1 ^c	9.5 ^c	6.3 ^c	7.3 ^c	5.6 ^c	6.8 ^c	5.4 ^c	6.6 ^c
3	LCIT80% + 6% urea (B)	13.6 ^b	12.5 ^b	8.1 ^b	6.8 ^b	5.9 ^b	6.7 ^b	5.4 ^b	6.1 ^b

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

Berdasarkan hasil uji sidik ragam diketahui bahwa perbedaan jenis substrat dan suhu lingkungan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai rata-rata BOD ($P < 0,05$) (Lampiran 4). Setelah dilakukan uji lanjut dengan menggunakan DMRT pada taraf 5% diketahui bahwa terdapat beda nyata nilai BOD antar masing-masing kelompok kombinasi perlakuan. Namun tidak

demikian untuk nilai rata-rata COD, dari uji sidik ragam diketahui bahwa tidak terdapat beda nyata antar perlakuan (Lampiran 3), hal ini dimungkinkan karena pengaruh faktor-faktor lain yang mengakibatkan tidak signifikannya pengaruh COD seperti adanya zat-zat penghambat mikroorganisme dalam perombakan materi organik akibat penambahan urea yang terlalu ekstrim sehingga terjadi kondisi basa. Menurut Brotohardjono, S,2008 artinya proses yang berlangsung baru pada tahap hidrolisis dan asidifikasi sehingga bahan organik yang didegradasi masih sedikit akibatnya penurunan COD tidak terlalu signifikan.

Berdasarkan data tabel 10 dan 11 dapat diketahui bahwa terjadi efisiensi perombakan nilai BOD dan COD yang menjelaskan bahwa terjadi proses degradasi didalam digester. Hal ini di dukung oleh pernyataan Haryati (2006) yang menjelaskan bahwa proses degradasi anerobik dapat menurunkan nilai BOD dan COD. O'Flaherty *et al.*, (2006) menyatakan bahwa perombakan limbah cair secara biologis, tahap anaerobik merupakan tahapan yang sangat menentukan keberhasilan proses perombakan. Pada tahap tersebut terjadi perombakan bahan-bahan organik menjadi asam, selanjutnya dirombak menjadi asam asetat, dan proses berlanjut membentuk gas metana dan CO₂, sehingga terjadi penurunan COD dan BOD limbah. Menurut Kresnawaty (2008) penurunan nilai COD dan BOD disebabkan karena telah terjadi proses hidrolisis. Pada tahap tersebut, bahan organik dimanfaatkan oleh mikroorganime sebagai nutrisi dan mengubahnya ke dalam bentuk senyawa yang lebih sederhana. Setiap kelompok perlakuan terjadi efisiensi perombakan dari waktu ke waktu dengan prosentase yang berbeda. Hal tersebut bisa dilihat tabel berikut :

Tabel 10. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) pada nilai COD substrat limbah cair industri tapioka pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi COD (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$
1. Suhu ruang (T1)					
LCIT 80% + 0% Urea (K)	11.8	14.4	17.6	2.56	3.23
LCIT 80% + 3% Urea (A)	12.9	15.98	20.39	3.08	3.7
LCIT 80% + 6% Urea (B)	5.55	11.8	18.55	6.25	6.75
2. Suhu tinggi (T2)					
LCIT 80% + 0% Urea (K)	13.7	18	20.7	4.29	2.75
LCIT 80% + 3% Urea (A)	0.6	2.25	5.06	1.65	2.81
LCIT 80% + 6% Urea (B)	5.22	7.41	9.41	2.19	2

Tabel 11. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) pada nilai BOD substrat limbah cair industri tapioka pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi BOD (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$

 1. Suhu ruang (T1)

LCIT 80% + 0% Urea (K)	7.71	8.91	9.21	1.2	0.3
LCIT 80% + 3% Urea (A)	7.38	8.56	8.76	0.6	0.2
LCIT 80% + 6% Urea (B)	5.61	7.78	8.48	2.17	0.5

2. Suhu tinggi (T2)

LCIT 80% + 0% Urea (K)	8.1	8.13	9.63	0.1	1.5
LCIT 80% + 3% Urea (A)	2.22	2.72	2.89	0.5	0.17
LCIT 80% + 6% Urea (B)	5.74	5.81	6.38	0.07	0.57

Efisiensi perombakan COD tertinggi adalah substrat tanpa perlakuan urea pada suhu tinggi (50°C) yaitu 20,7% sedangkan yang terendah yaitu substrat dengan perlakuan penambahan urea 3% pada suhu tinggi (50°C) yaitu 0,6%. Efisiensi perombakan BOD tertinggi adalah substrat tanpa perlakuan urea pada suhu tinggi (50°C) yaitu 9,63% sedangkan yang terendah yaitu substrat dengan perlakuan urea 6% pada suhu tinggi (50°C) yaitu 0,07%. Rendahnya nilai efisiensi reduksi COD dan BOD mungkin dikarenakan kandungan bahan organik yang terlalu tinggi. Hal ini dapat dilihat dari nilai COD dan BOD influent pada kelompok A dan B pada lampiran. 1. Kandungan senyawa organik COD dan BOD yang cukup tinggi menunjukkan bahwa limbah dominan mengandung senyawa organik yang bersifat kompleks dengan tingkat pencemaran yang cukup tinggi.

Pada masing-masing perlakuan mengalami penurunan nilai COD dan BOD, tetapi dengan nilai efisiensi yang berbeda-beda (Tabel 10 dan 11). Menurut Kresnawaty (2008) penurunan nilai COD / BOD disebabkan karena telah terjadi proses hidrolisis. Pada tahap tersebut, bahan organik dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai nutrisi dan mengubahnya ke dalam bentuk senyawa yang lebih sederhana. Reduksi COD tertinggi sebesar 20,7% yaitu pada kelompok KT2 (substrat murni limbah cair tapioka pada kondisi suhu tinggi) yang terjadi pada minggu ke 0 sampai minggu ke 6. Kemudian reduksi BOD tertinggi sebesar 9,63% yaitu pada kelompok KT2 (substrat murni limbah cair tapioka pada kondisi suhu tinggi) yang terjadi pada minggu ke 0 sampai minggu ke 6. Pada tahapan tersebut bakteri pendegradasi limbah dapat bekerja secara optimal, karena waktu tinggal (HRT) yang cukup lama memberi kesempatan kontak lebih lama antara lumpur anaerobik (inokulum) dengan limbah organik (substrat). Dengan demikian proses degradasi menjadi lebih baik dibandingkan waktu lainnya.

Sedangkan reduksi COD terendah sebesar 0,6 % yaitu pada kelompok AT2 (penambahan 3% urea pada kondisi suhu tinggi) pada dua minggu pertama. Sedangkan reduksi BOD terendah sebesar 0,07% yaitu pada kelompok BT2 (substrat dengan perlakuan urea 6% pada suhu tinggi). Rendahnya nilai efisiensi reduksi COD/BOD mungkin dikarenakan kandungan bahan organik yang terlalu tinggi. Hal ini dapat dilihat dari nilai COD/BOD influent pada kelompok A dan B pada lampiran 1. Kandungan senyawa organik COD/BOD yang cukup tinggi menunjukkan bahwa limbah dominan mengandung senyawa organik yang bersifat kompleks dengan tingkat pencemaran yang cukup tinggi.

Menurut Munazah dan Prayatni (2008), semakin tinggi beban influent maka efisiensi penyisihan akan menurun. Sama halnya dengan yang disampaikan oleh Mathiot *et al* (1992) dan Borja *et al* (1994) dalam Nachaiyasit (2003) bahwa semakin besar konsentrasi COD/BOD pada influen akan semakin kecil pula efisiensi penyisihan yang terjadi. Mahajoeno (2008) menjelaskan bahwa produksi biogas berkorelasi negatif terhadap COD/BOD artinya semakin rendah nilai COD/BOD semakin tinggi produksi biogas. Hal ini sesuai dengan pernyataan Brotohardjono (2008) bahwa kenaikan % reduksi COD dan BOD menunjukkan bahwa bahan-bahan organik yang terdegradasi menjadi asam-asam organik/TVA semakin besar. Asam-asam organik inilah yang kemudian akan terkonversi menjadi gas metana

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

Berdasarkan data yang diperoleh (Lampiran 1), diketahui bahwa telah terjadi penurunan nilai COD dan BOD dengan semakin lamanya waktu fermentasi. Menurut Munazah dan Prayatni (2008) semakin lama waktu tinggal akan meningkatkan efisiensi penyisihan yang terjadi. Semakin lama waktu kontak antara limbah organik dengan biomassa maka proses degradasi pencemar organik

dapat berlangsung lebih lama sehingga kinerja biodigester akan semakin baik dan konsentrasi effluent yang dihasilkan juga semakin rendah. Hal ini dapat terjadi karena proses secara biologi oleh mikroorganisme telah mencapai titik optimum sehingga pada beban pengolahan yang lebih tinggi, zat-zat pencemar tidak dapat lebih banyak tersisihkan, sehingga menghasilkan bahan organik terlarut resisten yang meningkatkan konsentrasi COD / BOD effluent (Munazah dan Prayatni, 2008).

Selain itu, dapat disebabkan juga oleh tidak sempurnanya proses fermentasi substrat akibat terlalu tingginya derajat keasaman substrat, sehingga proses dekomposisi anaerob pada biodigester tidak mencapai tahapan *methanogenic* sempurna. Hal ini terlihat dari tingkat keasaman substrat yang tinggi pada akhir produksi (kelompok A dan B) (gambar 4).

Gas terbentuk dari proses degradasi limbah oleh mikroba dalam lumpur anaerobik yang merupakan media utama pendegradasi dalam sistem biodigester. Selama penelitian dilaksanakan, jumlah volume gas yang didapatkan cukup fluktuatif (Lampiran 1). Berdasarkan hasil yang diperoleh, bahwa jumlah gas yang terakumulasi sebanding dengan nilai reduksi COD dan BOD. Tingkat reduksi yang tinggi akan menghasilkan jumlah akumulasi gas yang besar dan begitu juga sebaliknya (Nugrahini, 2008). Pernyataan ini sesuai dengan hasil yang diperoleh dalam penelitian bahwa kelompok substrat limbah cair tapioka murni tanpa perlakuan atau kontrol pada kondisi suhu tinggi (KT2) mempunyai nilai reduksi paling tinggi dan disertai dengan banyaknya volume biogas yang terbentuk. Terjadinya reduksi COD/BOD yang kecil dikarenakan senyawa organik sederhana

hasil hidrolisis mempunyai nilai COD/BOD lebih kecil dibandingkan senyawa organik kompleks yang memiliki berat molekul lebih besar (Syamsudin, 2008).

4. Konsentrasi TS dan VS

Selain nilai COD/BOD, perubahan sifat pada effluent limbah juga dapat dilihat dari perubahan nilai total solidnya (TS) dan Volatil solid (VS). TS merupakan materi residu effluent setelah pemanasan dan pengeringan pada temperatur 105°C. TS dihitung untuk mengetahui berapa banyak total padatan tersuspensi pada substrat atau air buangan. VS merupakan materi residu effluent setelah pemanasan dan pengeringan pada temperatur 550°C. VS dihitung untuk mengetahui berapa banyak padatan mudah uap tersuspensi pada substrat atau air buangan (Greenberg, 1992).

Berdasarkan perolehan data total solids selama 45 hari proses perombakan anaerob, diketahui bahwa terjadi penurunan kadar TS dan VS pada semua bahan (Lampiran 1), efisiensi perombakan organik TS sebesar 0,2-21,3% sedangkan VS sebesar 0,3-16,4% (Tabel 13 dan 14). Reduksi total solids ini disebabkan perombakan bahan organik oleh aktivitas mikroorganisme (Ratnaningsih, 2009). Nilai efisiensi perombakan organik TS tertinggi sebesar 21,3%, yaitu untuk kelompok substrat murni limbah cair tapioka pada suhu tinggi (KT2). Sedangkan terendah adalah 0,3% untuk kelompok substrat dengan penambahan urea 6% pada suhu ruang (BT1).

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

No	Kelompok substrat	Rata-rata TS (g/l)							
		M0		M2		M4		M6	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	LCIT 80%+ 0% urea (K)	32.8 ^a	34.6 ^a	23.1 ^a	16.8 ^a	22.8 ^a	14.3 ^a	21.3 ^a	13.3^a
2	LCIT80% + 3% urea (A)	55.1 ^a	66.1 ^a	20.9 ^a	52.7 ^a	18.1 ^a	24.9 ^a	17.7 ^a	23.4 ^a
3	LCIT80% + 6% urea (B)	48.9 ^a	34.4 ^a	22.8 ^a	22.2 ^a	20.0 ^a	21.1 ^a	19.8 ^a	20.6 ^a

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

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

No	Kelompok substrat	Rata-rata VS (g/l)							
		M0		M2		M4		M6	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	LCIT 80%+ 0% urea (K)	20.6 ^a	21.6 ^a	13.4 ^a	6.7 ^a	12.8 ^a	5.9 ^a	12.1 ^a	5.2^a
2	LCIT80% + 3% urea (A)	43.1 ^a	53.8 ^a	12.8 ^a	42.5 ^a	11.1 ^a	14.6 ^a	11.0 ^a	14.0 ^a
3	LCIT80% + 6% urea (B)	38.8 ^a	24.6 ^a	11.9 ^a	13.7 ^a	11.2 ^a	13.4 ^a	10.2 ^a	11.5 ^a

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

Tabel 14. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) total solids substrat limbah cair tapioka dan penambahan urea pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi TS (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$
1. Suhu ruang (T1)					
LCIT 80% + 0% Urea (K)	9.7	10	11.6	0.3	1.6
LCIT 80% + 3% Urea (A)	4.2	7	8.4	2	1.4
LCIT 80% + 6% Urea (B)	2.1	4.9	5.1	2.8	0.2
2. Suhu tinggi (T2)					
LCIT 80% + 0% Urea (K)	17.7	20.3	21.3	2.6	1
LCIT 80% + 3% Urea (A)	4.06	4.5	6	0.44	1.5
LCIT 80% + 6% Urea (B)	2.2	3.4	3.8	1.15	0.45

Tabel 15. Nilai efisiensi degradasi perombakan organik (%) volatile solid substrat limbah cair tapioka dan penambahan urea pada fermentasi anaerob

Kelompok substrat	Nilai efisiensi degradasi VS (%)				
	$M_{(0-2)}$	$M_{(0-4)}$	$M_{(0-6)}$	$M_{(2-4)}$	$M_{(4-6)}$

 1. Suhu ruang (T1)

LCIT 80% + 0% Urea (K)	7.2	7.8	8.5	0.6	0.7
LCIT 80% + 3% Urea (A)	4.5	6.2	6.16	1.73	0.3
LCIT 80% + 6% Urea (B)	4.9	5.6	6.6	0.7	1

2. Suhu tinggi (T2)

LCIT 80% + 0% Urea (K)	14.9	15.8	16.4	0.9	0.7
LCIT 80% + 3% Urea (A)	2.8	3.1	3.68	0.3	0.58
LCIT 80% + 6% Urea (B)	0.9	1.2	3.1	0.3	1.9

Berdasarkan hasil uji sidik ragam diketahui bahwa perbedaan jenis substrat dan suhu lingkungan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai rata-rata TS/VS ($P > 0,05$) (Lampiran 5 dan 6). Setelah dilakukan uji lanjut dengan menggunakan DMRT pada taraf 5% diketahui bahwa tidak terdapat beda nyata nilai rata-rata TS/VS antar masing-masing kelompok kombinasi perlakuan.

Adapun nilai efisiensi perombakan organik TS dan VS yang cukup tinggi dikarenakan kandungan bahan organik pada limbah cair tapioka cukup tinggi dan mengandung unsur pati terlarut, protein, lemak, dan karbohidrat. Karakteristik yang demikian membuat bahan tersebut mudah dicerna oleh mikroorganisme atau mudah diolah secara biologis. Sedangkan rendahnya nilai reduksi TS dan VS pada substrat dengan penambahan urea (kelompok A dan B) mungkin dikarenakan kandungan bahan organik yang terlalu tinggi pada limbah cair

tapioka ditambah dengan urea sehingga mikroorganisme sulit mendegradasi senyawa-senyawa kompleks yang ada dan membutuhkan waktu yang relatif lama.

Penambahan urea pada penelitian ini dimaksudkan untuk menurunkan prosentase nisbah rasio C/N pada substrat. Konsentrasi yang dibutuhkan oleh mikroorganisme juga terkait erat dengan prosentase rasio C/N. Menurut Haryati, 2004 bakteri anaerob mengkonsumsi karbon sekitar 30 kali lebih cepat dibanding nitrogen. Syarat untuk proses digesti adalah dengan rasio C/N sebesar 20-30 (Suryati, 2006) padahal limbah cair industri tapioka menurut (Afandi,2008) berasal dari industri yang bahan bakunya banyak mengandung karbohidrat, sehingga jumlah prosentase rasio C/N dapat diperkirakan jumlahnya lebih dari 30. Sehingga jika prosentase rasio 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 jika prosentase rasio C/N rendah maka nitrogen akan dibebaskan dan berakumulasi dalam bentuk amoniak (NH_4) yang akibatnya dapat meningkatkan pH. Namun keadaan tersebut tidak menghambat limbah cair Industri tapioka untuk menghasilkan biogas karena dalam limbah cair tersebut banyak mengandung bakteri pengurai. Hanya saja gas metana yang dihasilkan jumlahnya sedikit.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diperoleh, dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi substrat dengan penambahan urea berpengaruh terhadap produksi biogas.
2. Peningkatan suhu dapat menambah jumlah produksi biogas. Produksi terbanyak yaitu substrat tanpa perlakuan penambahan urea pada kondisi suhu tinggi yaitu 314,58 ml/hari.

B. Saran

Dari kesimpulan di atas, dapat diberikan saran guna penelitian lebih lanjut sebagai berikut:

1. Karena penelitian limbah cair tapioka dengan penambahan urea termasuk penelitian awal sehingga perlu dilakukan kajian lebih lanjut. tentang dosis optimum perlakuan/penambahan urea.
2. Perlu dikaji pada suhu berapa kondisi optimum perombakan anaerob dengan hasil biogas terbanyak.
3. Untuk mendapatkan biogas yang baik secara kualitatif maka perlu dilakukan pengkajian lebih dalam tentang kandungan gas yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

- Abdullah, K., Abdul Kohar Irwanto, Nirwan Siregar, Endah Agustina, Armansyah H. Tambunan, M. Yasin, Edy Hartulistiyoso, Y. Aris Purwanto, 1991. *Energi dan Listrik Pertanian*, JICA-DGHE/IPB Project/ADAET, JTA-9a (132).
- Adrianto A., T. Setiadi, M. Syafilla dan O.B., Liang. 2001. Studi kinetika reaksi hidrolisis senyawa kompleks organik dalam proses biodegradasi Anaerob. *Jurnal Biosains* 6(1) : 1-9.
- T. Afandi, Magdalena Putri, Grieny Nuradiatmida, Adzimatur Muslihasari, 2008. *Aplikasi limbah cair tapioka sebagai sumber energi alternatif berupa biogas*. PKMP. Universitas Negeri Malang. <http://www.google.com> (12 Januari 2009)
- Anonim. 2008. *Dasar-Dasar Teknologi Biogas*. [http://www.google.com/teknologi_biogas \[pdf\]](http://www.google.com/teknologi_biogas_pdf) (10 Maret 2009).
- [APO] Asian Productivity Organization. 2003. *A Measurement Guide to Green Productivity*. Tokyo, Asian Productivity Organization.
- Ariati, R. 2001. Indonesian Energy Policy: Towards Greater Local Manufacturing for Renewable Energy. *Asean Energy Bulletin*, 3rd Quarter. 5(3): 4-6.
- Bitton, G. 1999. *Wastewater Microbiology*. 2nd ed. Wiley Liss Inc. New York.
- De Mez, T. Z. D., Stams, A. J. M., Reith, J. H., and G., Zeeman. 2003. Methane production by anaerobic digestion of wastewater and solid wastes. In : *Biomethane and Biohydrogen Status and Perspectives of biological methane and hydrogen production*. Edited by J.H. Reith, R.H. Wijffels and H. Barten. Dutch Biological Hydrogen Foundation.
- Desniar. 2004. Pemanfaatan tetes tebu (molasses) dan urea sebagai sumber karbon dan nitrogen dalam produksi alginat yang dihasilkan oleh bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. *Buletin Teknologi hasil perikanan* 7: 28-29
- Garcelon, J. and Clark, J. 2001. *Waste Digester Design*. Civil Engineering Laboratory Agenda, University of Florida, <http://www.ce.ufl.edu/activities/waste/wddndx.html>. (10 Maret 2009).
- Ginting dan Nurzainah. 2007. Penuntun Praktikum : *Teknologi Pengolahan Limbah Peternakan*. Departemen Peternakan Fakultas Pertanian : Universitas Sumatera Utara.

- Greenberg, A.E., L.S. Clasceri and A.D. Easton. 1992. *Standard Methods for the Examination of Water Wastewater*. 18th ed. APHA, AWWA, WACF. Washington.
- GTZ. 1990. *Biogas Utilization*.
<http://gtz.de/gate/techinfo/biogas/appldev/operation/utilizat>.
- Hammad S.M.D. 1999. Integrated environmental and sanitary engineering project at Mirzapur. *Journal of Indian Water Work Association* 28:231-236
- Hanifah, T. A., Christine Jose dan Titania T. Nugroho. 2001. Pengolahan Limbah Cair Tapioka Dengan Teknologi EM (*Effective Mikroorganisms*). *Jurnal Natur Indonesia III (2)*: 95 – 103.
- Harahap, F.M., Apandi, dan S. Ginting. 1978. Teknologi Gasbio. Bandung : treatment. *Journal of Animal Science* 12 (4): 604 – 606.
- Haryati, Tuti. 2006. Biogas: Limbah Peternakan Yang Menjadi Sumber energi Alternatif. *Jurnal Wartazoa* . volume 16 no. 4.:
- Hessami M.A., Christensen S. and Gani R. 1996. Anaerobic digestion of household organic waste to produce biogas. *Renewable Energy* (9) : 1-4, 954-957.
- Jenie, B.S.L. dan Winiati P.R. 1993. *Penanganan Limbah Industri Pangan*. Kanisius. Yogyakarta.
- Judoamidjojo, R.M., E.G. Said dan L. Hartoto. 1989. *Biokonversi*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Dit. Jend. Pendidikan Tinggi. P A U Bioteknologi IPB : Bogor.
- Kadarwati, Sri. 2003. Studi Pembuatan Biogas dari Kotoran Kuda dan Sampah Organik Skala Laboratorium. *Jurnal P3TEK II*.
- Kadir, Abdul. 1995. *Energi : Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Edisi kedua. Jakarta : Universitas Indonesia (UI Press).
- Kapdi AA, Vijay VK, Rajest SK and R Prasat. 2004. Biogas Scrubbing Compression and Storage: Perspectives and Prospectus in India Context. *Renewable Energy*. 4:1-8
- Koopmans, A. 1998. *Trend in Energy Use. Expert Consultation on Wood Energy, Climate and Health*. 7-9 October, 1998, Phuket, Thailand.
- Kristanto, P. 2004. *Ekologi Industri*. Jakarta: Penerbit Andi.
- Kusarpoko, B. 1994. Isolasi dan Karakterisasi Bakteri Anaerob Perombak Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit. [Tesis]. Program Pascasarjana IPB, Bogor.

- Laksmi Jenie, B.S., dkk. 1994. Produksi Angkak oleh *Monascus purpureus* dalam medium limbah cair tapioka, ampas tapioka, dan ampas tahu. *Hasil penelitian: Buletin Teknik dan Industri pangan* .5: Hal 60-64
- Mahajoeno, E., Lay W.B, Sutjahjo, H.S., SiswantoHal 2008. Potensi Limbah Cair Pabrik Minyak Kelapa Sawit untuk Produksi Biogas. *Biodiversitas* 9: 48 – 52.
- Metcalf and Eddy . 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, 4th ed., McGraw-Hill, Singapore
- [NAS] National Academy of Sciences. 1981. *Methane generation from human, animal, and agricultural wastes*. 2nd Ed. National Academy of Sciences, Washington, D.C.
- NetSains. 2007. “*Mengapa Biomassa Mampu Menekan Efek Pencemaran?*”. <http://www.NetSains.com/biomassa>. (9 Desember 2009).
- Nugroho, A., R.P Djoko M. dan Danny S. 2007. *Cara Mengatasi Limbah Rumah Makan*. Teknik Kimia Universitas Diponegoro, Semarang.
- Nurhasanah, Ana., Teguh W.W., Ahmad A. dan Elita R. 2006. *Perkembangan Digester Biogas di Indonesia (Studi Kasus di Jawa Barat dan Jawa Tengah)*. Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian : Serpong.
- Nurmaini. 2001. *Peningkatan Zat-Zat Pencemar Mengakibatkan Pemanasan Global*. Fakultas Kesehatan Masyarakat UNSU, Sumatra.
- O’Faherty V, Collins G, and M. Therese, 2006. The Microbiology and Biodiversity of anaerobic bioreactor with relevance to domestics sewage treatment, [http://www.developmentofbiogasdenmark, pdf](http://www.developmentofbiogasdenmark.pdf). (9 Desember 2009).
- Pambudi, N.A. 2008. *Pemanfaatan biogas sebagai energi alternatif*. Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik:Universitas Gadjah Mada. <http://www.dikti.org/>
- Prometheus. 2005. Reaktor Biogas Skala Kecil/Menengah (Bagian Kedua). *Artikel IPTEK : Bidang Energi dan Sumber Daya Alam*. <http://www.prometheus-energy.com/digester.html>. (9 Desember 2009).
- Pandey DR, and C. Fabian, 1989. Feasibility studies on the use of naturally accruing molecular sieves for methane enrichment from biogas. *Gas Separation and Purification* 3:143–7.
- Pudja, I Putu. 2007. Perubahan Iklim Bukan Tanggung Jawab Parsial. *Artikel Bali Post*. Denpasar.

- Ratnaningsih, Widyatmoko, H dan Yananto, T. 2009. Potensi pembentukan biogas pada proses biodegradasi campuran sampah organik segar dan kotoran sapi dalam batch reaktor anaerob. *Jurnal Teknologi lingkungan*. 5: 20-26.
- Reith, J.H., H. den Uil, H. van Veen, W.T.A.M. de Laat, J.J. Niessen, E. de Jong, H.W. Elbersen, R. Weusthuis, J.P. van Dijken and L. Raamsdonk, 2002. Co-production of bio-ethanol, electricity and heat from biomass residues. *Proceedings of the 12th European Conference on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection*, 17 -21 June 2002, Amsterdam, The Netherlands. pp. 1118 - 1123.
- Riyadi, Awang. 2007. *Portable Refinery menghasilkan bahan bakar dari limbah makanan dan sampah*. <http://www.Aw/livescience.com>. (9 Januari 2010).
- Sahirman, S. 1994. Kajian Pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Memproduksi Gasbio. [Tesis]. Program Pascasarjana IPB : Bogor.
- Sa'id, E.G. 2006. *Bioindustri: Penerapan Teknologi Fermentasi*. Jakarta: PT Mediyatama Sarana Perkasa
- Setyawati, R. 2009. *Kualitas Nata de Cassava Limbah Cair Tapioka dengan penambahan gula aren dan lama fermentasi yang berbeda*. Universitas Muhammadiyah Surakarta : Surakarta.
- Sherrington, K.B. 1981. *Ilmu Pangan : Pengantar Ilmu Pangan Nutrisi dan Mikrobiologi*. Yogyakarta : UGM Press.
- Simamora, S. et al. 2006. *Membuat Biogas Pengganti Bahan Bakar Minyak Dan Gas Dari Kotoran Ternak*. Jakarta: AgroMedia Pustaka
- Siregar, Perpen. 2009. *Produksi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Cair minyak kelapa Kelapa Sawit dengan digester anaerob*. Bengkulu: Telaah Pustaka.
- Siswanto, S. Marsudi, Suharyanto, E. Mahajoeno, dan Isroi. 2005. Pemanfaatan Limbah Padat dan Cair Pabrik Kelapa Sawit untuk Produksi Kompos Bioaktif & Gas Bio. *Laporan akhir RUK 2005*: 62 hlm.
- Spangler, D.J.and G.H. Emert. 1986. Simultaneous saccharification/fermentation with *Zymomonas mobilis*. *Biotech. Bioeng.* 28:115 - 118.
- Sudaryati, N L G; I W Kasa dan I W B Suyasa. 2007. Pemanfaatan Sedimen Perairan Tercemar Sebagai Bahan Lumpur Aktif Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu *ECOTROPHIC* . 3 (1) : 21 - 29.

- Sugiharto. 1987. Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah. Jakarta : UI-Press. *Jurnal Studi Pembangunan, Kemasyarakatan & Lingkungan*. 2 (1). 1/Feb. 2000; 47-65.
- Teguh Wikan Widodo and Agung Hendriadi. 2005. Development of Biogas Processing for Small Scale Cattle Farm in Indonesia. *Conference Proceeding: International Seminar on Biogas Technology for poverty Reduction and Sustainable Development*. Beijing, October 17-20,2005. pp. 255-261 [in English].
- Tobing PL. dan Z. Poeloengan, 2003. Pengendalian Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit secara Biologis di Indonesia. *Warta PPKS* 5(1):99-105.
- Triwahyuningsih, N dan Rahmat A. 2006. *Pemanfaatan Energi Biomassa sebagai Biofuel : Konsep Sinergi dengan Ketahanan Pangan di Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*. Fakultas Pertanian UMY.
- United Nations. 1980. *Guidebook on Biogas Development*. Energy Resources Development Series No. 21. Economic and Social Commission for Asia and The Pacific. Bangkok. Thailand.
- Veziroglu, T.N. 1991. Hydrogen Technology for Every Needs of Human Settlement. *Int. Journal Hydrogen Energy*, 12:99.
- Weijma, J., A.J.M. Stams, L.W. Hulshoff-Pol and G. Lettinga. 2000. Thermophilic sulfate reduction and methanogenesis with methanol in a high rate anaerobic reactor. *Biotech. Bioeng.* 67(3):354 – 363.
- Wellinger A, and A. Lindeberg 1999. Biogas upgrading and utilization. IEA Bioenergy Task 24: energy from biological conversion of organic wastes. 18 p.
- Werner U., Stochr V. and N. Hees. 2004. *Biogas Plant in Animal Husbandry : Application of the Dutch Guesllechaft Fuer Technische Zusemmernarbeit (GTZ) GnbH*.
- Wright, J.D., C.E Wyman and K. Grohmann. 1988. Simultaneous saccharification and fermentation of lignocelluloses. *Appl. Biochem. Biotechnol* 18:75-81.

