

KAJIAN PENGARUH MEDIA PENAMBAT PADA REAKTOR BIOGAS FLUIDIZED BED

Oleh :

Netty Kamal

Abstrak

Untuk mengurangi banyaknya sampah yang masuk ke TPA yaitu dengan melakukan pengolahan sampah organik menjadi biogas. Alternatif dari Pengolahan sampah organik adalah digester anaerobik. Selain dapat mengurangi jumlah sampah, pengolahan sampah organik dengan digester anaerobik dapat menghasilkan bahan bakar terbarukan. Pada penelitian ini sampah organik diambil dari beberapa tempat di sekitar kampus. Tujuan penelitian ini untuk mengolah sampah menggunakan reaktor *Fluidized Bed* menggunakan media batu apung. Perolehan gas dibandingkan dengan hasil bila menggunakan media lain. Parameter yang diukur adalah pH, temperatur, kandungan biogas menggunakan analisis orsat dan COD. Hasil dari penelitian ini adalah reaktor 1 yang menggunakan media batu apung, mempunyai kinerja yang paling baik dibandingkan dengan 2 media lainnya. Hal ini berdasarkan hasil dari volume perolehan biogas, analisa penurunan COD, *organic loading rate*, dan performa reaktor. Reaktor *Fluidized Bed* memiliki hasil perolehan biogas paling banyak dengan rata-rata perolehan biogas 0,093 L Biogas / L Reaktor.Hari pada reaktor 1 (Batu Apung), 0,079 L Biogas / L Reaktor.Hari, reaktor 2 (Ijuk), dan 0,089 L Biogas / L Reaktor.Hari , reaktor 3 (Sedotan) jika dibandingkan dengan reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan volume 0,072 L Biogas / L Reaktor.Hari dan Reaktor *Fixed Bed* dengan volume 0,057 L Biogas / L Reaktor.Hari.

Kata Kunci : reaktor, *Continuous ; Stirred; Tank Reactor (CSTR); Fluidized' Bed*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sampah merupakan bahan yang dibuang dari sumber aktivitas manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomi (aspek lingkungan). Sampah dibedakan atas dua jenis yakni sampah basah dan sampah kering. Sampah basah adalah sampah yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme, sedangkan sampah kering adalah sampah yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme (Mappiratu, 2011).

Sampah termasuk salah satu pencemar yang sangat potensial dan menimbulkan masalah di semua daerah. Hingga saat ini, sampah telah ditangani melalui penerapan teknologi sederhana hingga teknologi canggih yaitu, dari penimbunan tanah, pengomposan, pembakaran sampai ke insinerator. Akan tetapi, cara - cara tersebut belum membuahkan hasil yang memuaskan. Hal tersebut disebabkan oleh besarnya volume sampah per hari yang tidak sebanding dengan kapasitas penanganan sampah,

akibatnya terdapat pembusukan lanjut yang menghasilkan cemaran bau, cemaran air tanah, bahaya longsor, serta sumber penyakit. Cemaran bau menimbulkan dampak ketidaknyamanan penduduk, oleh karena itu perlu adanya upaya lain yang mempunyai peluang mencegah penumpukan sampah (Mappiratu , 2011).

Salah satu teknologi penanggulangan sampah dan sumber energi alternatif yang besar peluangnya untuk dikembangkan pemanfaatannya di Indonesia adalah energi biogas. Gas ini berasal dari berbagai macam sampah organik seperti sampah biomassa, kotoran manusia dan kotoran hewan yang dapat dimanfaatkan menjadi energi melalui proses fermentasi bahan –bahan organik oleh bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa udara). Pembuatan biogas dari lindi sampah kota ini berpotensi sebagai energi alternatif yang ramah lingkungan, karena selain dapat memanfaatkan sampah dipertanian, sisa dari pembuatan biogas yang berupa bubur dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik yang kaya akan unsur

- unsur yang dibutuhkan oleh tanaman (Sufyandi, 2001).

Biogas sebagian besar mengandung gas metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2), dan beberapa kandungan gas yang jumlahnya kecil diantaranya hidrogen (H_2), hidrogensulfida (H_2S), amonia (NH_3) serta nitrogen (N) yang kandungannya sangat kecil. Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi metana (CH_4). Semakin tinggi kandungan metana maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas, dan sebaliknya semakin kecil kandungan metana (CH_4) semakin kecil nilai kalor (Pambudi, 2008).

Pada penelitian ini dilakukan pembentukan biogas menggunakan berbagai media penambat seperti batu apung, ijuk dan sedotan dengan menggunakan reaktor *Fluidized Bed*. Umpan yang digunakan adalah lindi sampah yang direndam selama beberapa hari. Dengan adanya penelitian ini diharapkan mendapatkan hasil produksi biogas yang baik (gas CH_4 dengan konsentrasi yang tinggi) agar dapat menjadi sebuah energi alternatif.

1.2. Rumusan Masalah

Undang – undang RI No.18 Tahun 2008 tentang pengolahan sampah di Indonesia. Dalam undang – undang ini ditetapkan bahwa setiap orang dilarang mengelola sampah yang menyebabkan pencemaran dan merusak lingkungan.

Sistem pengolahan limbah organik memiliki kelemahan karena tempat pembuangan akhir yang cepat penuh dan sulit mencari lahan penggantinya disebabkan karena penduduk semakin bertambah. Limbah organik juga memberi kemungkinan pencemaran air dan sumber pencemaran udara oleh gas.

Selain kelemahan sistem di atas, masalah timbunan sampah terjadi pada kawasan perumahan sebagai contoh sampah rumah tangga yang menumpuk di area sekitar rumah dan selokan akan menimbulkan bau tidak sedap, dan tempat berkembangnya bakteri patogen. Sehingga diperlukan teknologi tepat guna dalam pengoperasian dan pemeliharaan proses dekomposisi bahan – bahan sampah secara anaerobik.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan umum dari penelitian ini adalah mengolah lindi sampah kota menggunakan reaktor *Fluidized Bed*. Sedangkan tujuan khusus membandingkan perolehan biogas dengan berbagai macam media dan membandingkan perolehan biogas reaktor *Fluidized Bed* dengan reaktor lain.

1.4. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penelitian ini adalah :

Pengolahan sampah organik secara degradasi anaerobik.

Reaktor yang dipergunakan dalam pengolahan anaerobik ini ialah *Fluidized Bed* dengan volume reaktor 10L.

Bahan baku yang digunakan adalah sampah organik dan *starter* yang digunakan adalah kotoran sapi dan lumpur buangan domestik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Biogas

Biogas merupakan gas yang timbul jika bahan – bahan organik seperti kotoran ternak dan manusia, dedaunan, atau sampah direndam didalam air dan disimpan didalam tempat tertutup atau anaerob (tanpa oksigen dari udara). Biogas ini sebenarnya dapat pula terjadi pada kondisi alami. Namun, untuk mempercepat dan menampung gas ini, diperlukan alat yang memenuhi syarat terjadinya gas tersebut. (Setiawan, 1996).

Jika sampah telah dicampur air atau isian (*slurry*) dimasukkan ke dalam reaktor biogas maka akan terjadi proses pembusukkan yang terdiri dari dua tahap, yaitu proses aerob dan proses anaerob. Pada proses yang pertama diperlukan oksigen dan hasil prosesnya berupa karbondioksida (CO_2). Proses ini berakhir setelah oksigen didalam reaktor ini habis. Selanjutnya proses pembusukkan berlanjut dengan tahap kedua (proses anaerob). Pada proses yang kedua inilah biogas dihasilkan. Dengan demikian, untuk menjamin terbentuknya biogas, reaktor ini harus tertutup rapat dan tidak berhubungan dengan udara luar sehingga terdapat kondisi hampa udara. (Setiawan, 1996).

Biogas yang dihasilkan dari sampah organik adalah gas yang mudah terbakar. Gas ini

dihasilkan dari proses fermentasi bahan – bahan organik oleh bakteri anaerob. Umumnya semua jenis bahan organik dapat diproses menghasilkan biogas.

Tabel 2.1 Komposisi Penyusun Biogas (Hermawan 2005)

Gas	Simbol	Konsentrasi %
Metana	CH ₄	55 – 65
Karbon dioksida	CO ₂	36 – 45
Nitrogen	N ₂	0 – 3
Hidrogen	H ₂	0 – 1
Hidrogen Sulfide	H ₂ S	0 - 1
Oksigen	O ₂	0 – 1

Pada dasarnya efisiensi produksi biogas sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, meliputi suhu, derajat keasaman (pH), nutrisi dan lain – lain. Kondisi optimum proses produksi biogas sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kondisi Optimum Produksi Biogas

Parameter	Kondisi Optimum
Suhu	35°C
Derajat Keasaman	7 - 7.2
Nutrisi Utama	Karbon dan Nitrogen
Sulfida	20/1 sampai 30/1
Logam - logam Berat Terlarut	< 200 mg/L
Sodium	< 1 mg/L
Kalsium	< 5000 mg/L
Magnesium	< 2000 mg/L
Ammonia	< 1700 mg/L

Sumber : Beni Hermawan (2005)

Tabel 2.3 Komposisi Biogas Dari Berbagai Sumber

Senyawa	Komponen Biogas dari Berbagai Sumber		
	Sampah Kota	Kotoran Hewan	Residu Pertanian
Methan (CH ₄)	54-74%	57.70%	50-70%
Karbon Dioksida (CO ₂)	27-45%	32.80%	48.2%

Oksigen (O ₂)	0.1%	1.5%	0.10%
Nitrogen (N ₂)	0.5-3%	7.80%	1.34%

Sumber : Sirin Fairus, Salafudin, Lathifa Rahman dan Emma Apriani (2011)

Teknologi biogas merupakan sebuah cara konversi limbah melalui proses anaerobik *digestion* yang memiliki beberapa keuntungan diantaranya adalah :

Energi biogas dapat berfungsi sebagai energi pengganti bahan bakar fosil sehingga dapat mengurangi ketergantungan bahan bakar minyak (BBM)

Biogas tidak hanya menghasilkan gas metan sebagai penyuplai energy, tetapi juga menghasilkan sludge yang sangat baik digunakan sebagai pupuk.

Energi yang dihasilkan dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti memasak, penerangan, dan lain – lain.

Limbah berupa sampah, kotoran hewan dan manusia merupakan material yang tidak bermanfaat bahkan dapat mengakibatkan racun yang sangat berbahaya. Aplikasi biogas akan meminimalkan efek tersebut dan meningkatkan nilai manfaat dari limbah.

(Pambudi, 2008)

2.2. Sampah

Menurut Suprihatin (1999) di dalam Nisandi (2007), berdasarkan asalnya sampah (padat) dapat digolongkan sebagai berikut:

1. Sampah anorganik adalah sampah yang umumnya tidak dapat membusuk, misalnya logam atau besi, pecahan gelas, plastik, dan sebagainya.
2. Sampah organik adalah sampah yang pada umumnya dapat membusuk, misalnya sisa-sisa makanan, daun-daunan, buah-buahan dan sebagainya

2.2.1. Komposisi Sampah

Komposisi sampah adalah komponen fisik sampah seperti sisa-sisa makanan, kertas, karbon, kayu, kain tekstil, karet kulit, plastik, logam besi, non besi, kaca dan lain-lain (misalnya tanah, pasir, batu dan keramik). Komposisi sampah ini pada umumnya dibagi menjadi dua bagian, yaitu sampah organik dan non organik.

Sampah organik adalah sampah yang dihasilkan dari bahan-bahan hayati yang

dapat didegradasi oleh mikroba atau bersifat biodegradable. Sampah ini dengan mudah dapat diuraikan melalui proses alami. Termasuk sampah organik, misalnya sampah dari dapur, sisa-sisa makanan, pembungkus (selain kertas dan plastik), tepung, sayuran, kulit buah, daun dan ranting (Damanhuri dan Padmi, 2004).

Sampah anorganik adalah sampah yang tidak membusuk atau *refuse* pada umumnya terdiri dari bahan-bahan kertas, logam, plastik, gelas, kaca, dan lain-lain. Sampah kering sebaiknya didaur ulang, apabila tidak maka diperlukan proses lain untuk bias memusnahkannya misalnya pembakaran. Namun berpotensi sebagai sumber pencemaran udara yang bermasalah (Damanhuri dan Padmi, 2004).

2.3. Pengolahan Biologi

Pengolahan biologi adalah proses yang menggunakan kemampuan mikroba untuk mendegradasi bahan-bahan polutan organik (Indriyanti, 2005). Prinsip pengolahan biologi adalah memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan / memecah senyawa kimia yang terkandung dalam air buangan menjadi bentuk yang lebih sederhana. Tujuan dari pengolahan air buangan secara biologi sendiri adalah menstabilisasi materi organik terlarut serta mengkoagulasi dan menyisihkan padatan koloid (Tchobanoglous, 2004). Pengolahan biologi menurut ketersediaan oksigen dibagi menjadi 3 yaitu anoxic, aerob dan anaerob. Pengolahan secara anoxic merupakan proses aktivitas pemecah bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi dimana oksigen terlarut ada dalam konsentrasi rendah. Sedangkan pengolahan secara aerob merupakan proses aktivitas pemecahan bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi dimana oksigen terlarut cukup banyak.

2.4. Proses Anaerob

Secara umum proses anaerob adalah suatu aktivitas pemecahan bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam keadaan tanpa oksigen. Penguraian senyawa organik seperti karbohidrat, lemak, dan protein yang terdapat dalam limbah cair dengan proses anaerobik akan menghasilkan biogas yang mengandung metana (50-70)%, CO₂ (25-

45)% dan sejumlah kecil nitrogen, hidrogen, dan hidrogen sulfida (Khairani, 2015).

Selama proses operasi, udara tidak boleh masuk. Masuknya udara akan mempercepat produksi asam organik, menambah karbondioksida tetapi mengurangi metan. Pengaturan keasaman sangat perlu sebab zat metan sangat sensitive terhadap perubahan pH. Nilai pH diusahakan berkisar antara 6 dan 8 agar perkembangan mikroorganisme sangat pesat. Namun, pada kecepatan produksi gas pengaruh variasi pH sangat nyata untuk lebih mengaktifkan kegiatan mikroba. Temperatur sangat berpengaruh, kecepatan fermentasi meningkat bila temperature mendekati 30⁰ C. Bila pencampuran atau kontak yang baik dilaksanakan secara tepat, alkalinitas dapat diatur dan temperature bias dikontrol dan tersedia bahan makanan bagi mikroba (Gintings, 1992).

Untuk tahapannya didalam digester, pengolahan anaerobic dibagi menjadi 2, yaitu *one stage digestion system* dan *two stage digestion system*. Pada *one stage digestion system* semua tahapan pengolahan berada pada satu digester, sedangkan untuk *two stage digestion system* tahapan pengolahan dibagi dua digester menjadi pembentukan asam dan pembentukan gas CH₄. *Two stage digestion system* sangat cocok untuk mengolah material organik padat. Tahap pertama materi organik dalam bentuk padat dilarutkan terlebih dahulu menggunakan air sehingga menghasilkan asam lemak volatil. Selanjutnya, bahan organik dalam bentuk cair dimasukan kedalam digesterlain untuk proses pembentukan CH₄ (Srivastava, 1996). Pada tahap pembentukan gas CH₄, mikroorganisme metanogen mengubah asam lemak volatile sehingga menghasilkan produk berupa gas, terutama gas CH₄ dan CO₂ (Hayes, dkk, 1988). Pengolahan secara *two stage digestion sytem* ini lebih efisien dalam mempercepat pencernaan pada tahap metanogenesis, karena pH pada tahap pembentukan asam akan dipertahankan pada 5 – 6,5 akibat terbentuknya asam lemak volatile. Pada tahap pencernaan ini biasanya dilakukan dalam waktu 10 – 30 hari. Pada tahap pembentukan gas CH₄ kemungkinan diperlukan adanya penyesuaian pH untuk efisiensi pembentukan metana. Penyesuaian pH tersebut dilakukan dengan cara penambahan bahan kimia. Dengan adanya

penyesuaian pH, maka mikroorganisme metanogen akan lebih cepat mencerna materi organik menjadi gas CH₄ (Hayes, dkk, 1988).

2.5. Tahap Pembentukan Biogas

Pembentukan Biogas Gas methan (CH₄) dapat terbentuk karena proses fermentasi secara anaerobik oleh bakteri anaerobik dan bakteri biogas yang mengurangi sampah-sampah yang banyak mengandung bahan organik sehingga terbentuk gas methan yang apabila dibakar dapat menghasilkan energi panas. Secara umum kandungan senyawa karbon yang termasuk dalam Volatile Solid (VS) dalam sampah organik dapat dikonversi menjadi biogas (gas metan dan karbon dioksida), sedangkan kandungan bahan organik lain dapat digunakan sebagai pupuk organik.

Aktifitas Anaerobik Proses anaerobik digester ini berlangsung dalam empat tahap sebagai berikut:

1. Proses *hydrolysis*, yaitu dekomposisi bahan organik polimer seperti protein, karbohidrat, dan lemak menjadi monomer yang mudah larut seperti glukosa, asam lemak, dan asam amino yang dilakukan oleh sekelompok bakteri fakultatif seperti *lipolytic bacteria*, *cellulolytic bacteria*, dan *proteolytic bacteria*.
2. Proses *acidogenesis*, yaitu dekomposisi monomer organik menjadi asam-asam organik dan alkohol. Pada proses ini, monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh acidogenic bacteria menjadi asam-asam organik seperti asam format, asetat, butirrat, propionat, laktat, ammonia, serta dihasilkan juga CO₂, H₂, dan etanol.
3. Proses *acetogenesis*, yaitu perubahan asam organik dan alkohol menjadi asam asetat. Pada proses ini senyawa asam organik dan etanol diuraikan acetogenic bacteria menjadi asam format, asetat, CO₂, dan H₂.
4. Proses *methanogenesis*, yaitu perubahan dari asam asetat menjadi methan. CH₄ adalah produk akhir dari degradasi anaerob. Pembentukan methan dapat terjadi melalui dua cara. Cara pertama adalah fermentasi dari produk utama dari tahap pembentukan asam, yaitu asam asetat menjadi CH₄

dan CO₂: CH₃COOH → CH₄+ CO₂
 Cara kedua adalah penggunaan H₂ oleh beberapa methanogen untuk mereduksi CO₂ menjadi CH₄. Reaksi yang terjadi adalah:



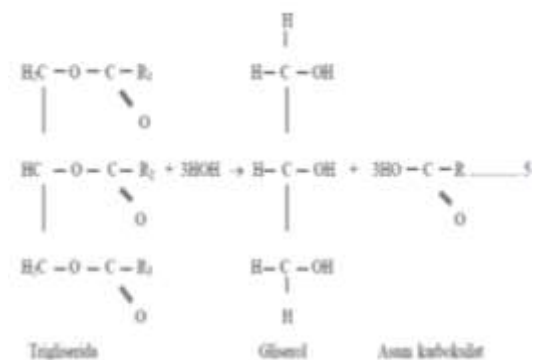
Gambar 2.1 Tahapan Pembentukan Biogas

Sumber : Sirin Fairus, Salafudin, Lathifa Rahman dan Emma Apriani (2011)

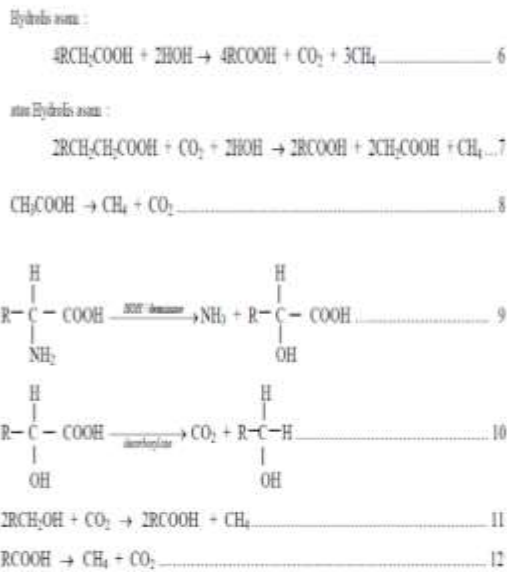
Berikut reaksi kimia yang terjadi selama proses pembentukan biogas dilihat dari beberapa bahan yang berbeda :

1. Karbohidrat
 - (C₆H₁₀O₅)_x+xH₂O→x(C₆H₁₂O₆)..... (1)
 - C₆H₁₂O₆→2C₂H₅OH+2CO₂ (2)
 - 2CH₃CH₂OH+CO₂→2CH₃COOH+CH₄(3)
 - CH₃COOH→CH₄+CO₂..... (4)

2. Lemak



3. Protein



Sumber : Institut Pertanian Bogor

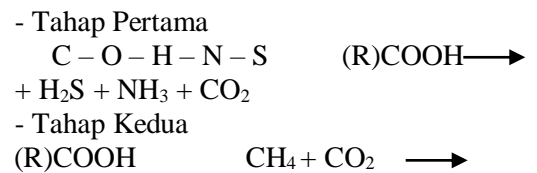
2.6. Faktor – Faktor Produksi Biogas

Biogas hanya terbentuk dari aktivitas bakteri, tidak seperti pembentukan kompos yang melibatkan jamur dan organisme tingkat rendah lainnya, pada proses dekomposisi sampah. Terdapat empat kelompok bakteri yang terlibat dalam proses pembentukan biogas, yaitu *hydrolytic bacteria*, *acetogenic bacteria*, *homoacetogenic bacteria* dan *methanogenic bacteria*. Keempat kelompok bakteri ini memiliki karakter pertumbuhan yang berbeda. Secara umum kelompok penghasil asam-asam volatil mempunyai laju pertumbuhan spesifik yang lebih besar daripada laju pertumbuhan spesifik penghasil metana. Selain itu bakteri penghasil asam-asam volatile mempunyai resistensi yang lebih tinggi daripada bakteri penghasil metana terhadap perubahan kondisi lingkungan. Perbedaan karakter pertumbuhan dan resistensi bakteri terhadap perubahan kondisi lingkungan ini akan mempengaruhi proses penentuan kondisi optimum proses dekomposisi anaerob untuk menghasilkan gas metana dengan komposisi yang tinggi.

Kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi proses pembentukan gas metana dan kompos secara anaerobik adalah kehadiran O₂, temperatur, derajat keasaman (pH), laju pengumpanan, dan kadar air substrat.

1. Oksigen (O₂)

Meskipun dekomposisi anaerobik melibatkan 4 kelompok mikroorganisme, namun secara umum proses ini dapat dikelompokkan menjadi 2 tahapan proses utama yang melibatkan dua kelompok besar mikroorganisme. Skema sederhana yang menunjukkan pembentukan metan dapat dilihat pada diagram dibawah ini :



Pada tahap pertama dari proses ini melibatkan mikroorganisme yang bersifat *facultative* anaerobik yang menghidrolisis substrat kompleks yang terdiri dari karbohidrat, protein, lemak, menjadi bahan organik lain yang lebih sederhana. Produk dari tahap ini terutama berupa asam organik berantai pendek (asam volatil) seperti asam asetat dan produk-produk lain yang non reaktif seperti karbondioksida, air dan produk intermediate lain.

Tahap kedua melibatkan organisme yang *strict* anaerobik yang mengubah asam organik rantai pendek menjadi gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂). Metan diproduksi dengan dua mekanisme yang berbeda, yaitu pemutusan ikatan langsung dari CH₃COOH dengan gugus metil dikonversikan menjadi metan dan gugus karbonil menjadi karbondioksida. Mekanisme yang lain adalah reduksi karbondioksida oleh atom-atom hydrogen yang pada awalnya dipisahkan dari asam-asam organik. (Miller, 1977 dalam Mariana, 2002).

Dari kedua tahapan tersebut yang terganggu dengan kehadiran O₂ adalah tahap kedua dimana bakteri metanogenetik yang berperan pada tahap ini sangat sensitive terhadap oksigen. Pada kenyataannya kadar oksigen yang cukup kecil masih dapat ditolerir dalam proses karena masih dapat dimetabolisme oleh bakteri kelompok hidrolitik yang bersifat

facultative anaerobik. Jika masih terdapat oksigen dalam kadar yang tinggi dalam digester tersebut dapat terinaktivasi tetapi setelah terjadi penurunan kadar oksigen, digester tersebut dapat aktif kembali. Hal tersebut terjadi karena pada saat oksigen tinggi dalam bioreaktor terjadi inaktivasi bakteri metanogenetik, tetapi bakteri tersebut tidak mengalami kematian sehingga pada saat oksigen berada dalam kadar yang rendah maka bakteri tersebut dapat beraktivasi lagi.

Karena kehadiran O₂ dapat menurunkan produksi CH₄, maka perlu dilakukan usaha untuk meminimumkan jumlah O₂ pada bioreaktor. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan pengkondisian awal umpan. Pengkondisian awal umpan adalah usaha yang dilakukan untuk menyiapkan umpan sebelum masuk ke reaktor utama, dengan tujuan meminimumkan O₂ yang dapat masuk ke reaktor utama.

Beberapa kemungkinan sumber O₂ yang dapat masuk ke reaktor utama antara lain :

- O₂ terbebas yang terlarut dalam umpan
- O₂ dari udara luar yang ikut masuk ke bioreactor pada saat pengumpanan.

Sebelum masuk ke bioreaktor utama, O₂ harus diminimumkan karena kelompok bakteri metanogenetik dalam bioreaktor utama sangat sensitif terhadap kehadiran O₂. Pengkondisian awal umpan dapat dilakukan dengan cara menempatkan umpan dalam suatu bioreaktor tambahan selama selang waktu tertentu sebelum dimasukkan ke bioreaktor utama, dengan tujuan agar O₂ bebas yang terkandung dalam umpan akan habis dikonsumsi oleh bakteri aerobik didalam umpan untuk menghasilkan gas CO₂. Selain CO₂, terdapat juga kelompok bakteri fakultatif anaerobik yang menghasilkan senyawa asam-asam volatil yang merupakan senyawa yang diperlukan oleh kelompok bakteri metanogenetik dalam bioreaktor utama.

2. Temperatur
Sebagian Besar Mikroorganismenya tumbuh pada rentang temperatur tertentu, dan dapat dikelompokkan menjadi 3 :

- *Thermophilic* : Tumbuh pada rentang antara 40-62 °C
- *Mesophilic* : Tumbuh pada rentang antara 26-39 °C
- *Psychrophilic* : Tumbuh pada temperatur 25 °C

Pada dekomposisi anaerobik terdapat dua kisaran temperatur optimum, yaitu *mesophilic* (26-32 °C) dan *Thermophilic* (33-42 °C). Apabila temperatur bertambah, maka laju reaksi akan bertambah pula. Populasi yang tumbuh optimum pada zone termofil akan memiliki laju reaksi yang lebih cepat daripada populasi yang tumbuh pada zone mesofil. Sesuai dengan teori, maka populasi mikroorganismenya anaerobik penghasil metana akan tumbuh lebih cepat dan beraktivitas lebih baik pada temperatur termofil.

Tabel 2.4 Hasil Penelitian tentang produksi gas pada berbagai temperatur sbb. :

Temperatur (°C)	Produksi gas (m ³ /hari)	Periode dekomposisi (bulan)
15	0.15	12
20	0.3	6
25	0.6	3
30	1	2
35	2	1

Secara umum, mikroorganismenya mikroorganismenya yang terlibat pada dekomposisi anaerobik untuk sampah perkotaan, limbah industri dan kotoran hewan ditemukan lebih berhasil dioperasikan pada rentang termofil, sedangkan dekomposisi anaerobik untuk sampah pengolahan makanan, sayuran dan buah-buahan ditemukan lebih berhasil pada rentang mesofil. Bagaimanapun, aplikasi dekomposisi anaerobik dalam skala besar dan komersial lebih banyak menggunakan rentang temperatur mesofilik daripada termofilik. Dalam penelitian pada temperatur mesofil (37°C) dihasilkan biogas 9 kali lebih tinggi dibandingkan pada temperatur 20°C, namun produksi metana pada perbandingan tersebut diatas menjadi 200 kali lebih besar.

Secara alami rentang temperatur mesofilik (26-32 °C) dapat dicapai oleh proses dekomposisi anaerobik secara normal. Hal tersebut dapat terjadi karena pada tahap awal proses dekomposisi anaerobik yakni pada fasa aerobik terjadi reaksi eksotermis yang menghasilkan energi panas. Energi panas tersebut dapat digunakan oleh proses tersebut untuk menaikkan temperaturnya hingga rentang temperatur mesofilik (26-32°C).

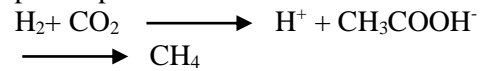
3. pH

Derajat keasaman (pH) yang rendah akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan bakteri metanogenik dan produksi biogas. Hal ini biasanya terjadi apabila laju pengumpanan terlalu besar. Selain itu temperatur operasi yang rendah juga akan menurunkan pH. Rendahnya nilai pH ini disebabkan oleh tidak seimbangannya laju produksi dan laju konsumsi asam-asam volatil. Pada umpan yang besar dan temperatur tinggi, bakteri asam-asam volatil akan tumbuh lebih cepat daripada bakteri penghasil metana.

Pada pH yang rendah, laju produksi dan akumulasi asam organik akan lebih berefek negatif terhadap bakteri metanogenik daripada kelompok bakteri yang lain. Akumulasi asam-asam volatil akan menghambat pertumbuhan mikroba yang terlibat dalam fermentasi dan akan membentuk buffer asam lemah yang akan menyebabkan pH semakin turun .apabila kondisi ini diteruskan dalam jangka waktu yang cukup lama maka bakteri penghasil metana yang cukup sensitive terhadap lingkungan akan mati sehingga proses fermentasi akan berhenti. Sedangkan pH yang tinggi akan menyebabkan produksi amonia yang cukup banyak. Amonia dalam konsentrasi tinggi akan bersifat racun yang dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme dalam fermentasi. Kesetabilan pH fermentasi dapat dijaga dengan menggunakan kapasitas penyangga.

Rentang pH yang telah terbukti memberikan hasil lebih baik adalah fermentasi yang efisien berlangsung

pada pH netral. Pentingnya pH untuk stabilitas bioreaktor didasarkan pada fakta bahwa secara termodinamika pH yang rendah tidak memberikan kondisi yang memungkinkan bakteri methanogen untuk mengoksidasi H₂ menjadi CH₄ karena adanya gradien proton pada reaksi :



Bakteri methanogen yang seharusnya mentransfer elektron dari H₂ ke terminal akseptor electron CO₂ tidak dapat berfungsi pada pH yang rendah karena adanya gradien proton yang terbalik.

4. Laju Pengumpanan

Laju pengumpanan (*loading rate*) menyatakan jumlah substrat diumpankan kedalam bioreaktor persatuan waktu. Beberapa parameter penting yang berkaitan dengan *loading rate* adalah :

1. *Organic loading rate*, merupakan persentase *volatile solids* dalam substrat yang diumpankan per unit volume dari kapasitas bioreaktor per hari.
2. *Hydraulic loading rate*, merupakan volume total umpan masuk kedalam bioreaktor per hari.
3. *Total solids*, merupakan persentase padatan yang diumpankan ke dalam bioreaktor.
4. *Volatile Solids*, merupakan persentase padatan dalam umpan. Volatil solids biasanya 80 – 90 % dari *total solids*, tergantung dari jenis substrat yang digunakan.

Besar kecilnya laju pengumpanan akan menentukan waktu tinggal (*retention time*) media fermentasi dalam bioreaktor. *Retention Time* (RT) adalah waktu yang menunjukkan lamanya substrat berada dalam bioreaktor. RT maksimum untuk suatu bioreaktor dihitung dengan cara membagi kapasitas total bioreaktor dengan laju pengumpanan . Menurut ESCAPE (1980), waktu retensi rata-rata untuk daerah tropis umumnya 50 hari. Bila daerah tersebut panas sepanjang tahun, waktu retensi dapat turun menjadi 40 hari.

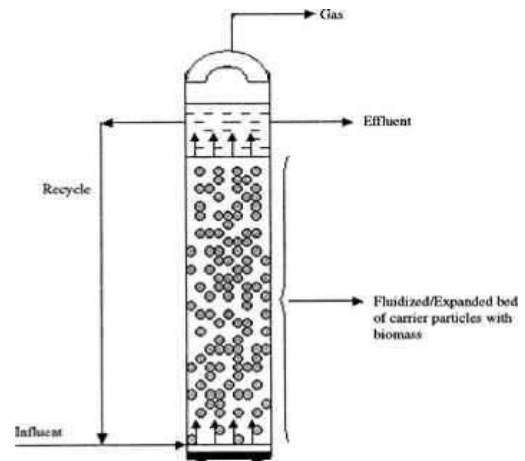
Laju pengumpanan yang terlalu besar dapat menyebabkan peningkatan laju produksi asam-asam volatil yang tidak dapat diimbangi oleh laju konsumsinya oleh bakteri metanogenetik (Donald, 1980). Akumulasi asam-asam volatil ini akan menurunkan pH dan menyebabkan terinhibisinya pertumbuhan bakteri metanogenetik yang berakibat penurunan produksi biogas. Laju pengumpanan yang terlalu besar juga dapat menyebabkan peningkatan gas H₂ yang dihasilkan oleh bakteri hidrolitik dan asetogenik. Gas H₂ ini bersifat inhibitor bagi pertumbuhan bakteri metanogenetik.

5. Kadar air substrat Mikroorganisme dalam metabolismenya membutuhkan air. Jumlah air yang dibutuhkan dalam pembentukan gas bio tidak sama tergantung dari bahan yang digunakan. Menurut Van Buren (1979), agar dapat beraktifitas secara normal, mikroba penghasil biogas memerlukan substrat dengan kadar air 90% dan kadar padatan 8-10%. Bahan baku sebaiknya diencerkan sebanyak 1:1. Bila bahan baku berupa 100kg kotoran, maka air yang diperlukan adalah 100kg.

2.7. Reaktor Pembuatan Biogas Fluidized Bed

Fluidized Bed adalah jenis reaktor kimia yang dapat digunakan untuk mereaksikan bahan dalam keadaan banyak fasa. Reaktor jenis ini menggunakan fluida (cairan atau gas) yang dialirkan melalui suatu media *biofilm* dengan kecepatan yang cukup sehingga media tersebut dianalogikan sebagai fluida juga. Proses ini dinamakan fluidisasi.

Fluidisasi adalah metode pengontakkan media padat dengan fluida cair maupun gas, sedangkan fluida adalah suatu zat yang bisa mengalami perubahan bentuk secara terus menerus bila terkena gaya geser ataupun tekanan walaupun relatif kecil atau bisa juga dikatakan suatu zat yang mengalir.



Gambar 2.2 Skema Proses Reaktor Fluidized Bed

Reaktor ini termasuk pada jenis *attached growth systems*, artinya pertumbuhan mikrobiologi (*slime*) yang melekat pada permukaan media pendukung. Air limbah mengalir di atas *slime* menyebarkan zat organik dan nutrisi lainnya untuk pertumbuhan mikroba.

Prinsip kerja dari reaktor fluidized bed yaitu air limbah mengalir melalui media menggunakan pompa dengan kecepatan yang dapat mengangkat media agar terfluidisasi. (industrial wastewater treatment). Air limbah masuk dari bagian bawah reaktor lalu dialirkan secara vertikal keatas ke atas. Air limbah akan mengalami kontak dengan mikroba aerob yang melekat pada permukaan media pendukung. Biogas yang terbentuk akan bergerak ke atas dan mengakibatkan terjadinya proses *vertical mixing* di dalam reaktor. Dengan demikian, tidak diperlukan alat mekanik untuk pengadukan.

Pemilihan media pendukung dari reaktor fluidized bed reactor ini adalah media pendukung mempunyai daya lekat untuk pertumbuhan mikroba, dan media pendukung tidak boleh terdegradasi oleh mikroba.

(Woodard & Curran, 2006)

Kelebihan Reaktor *Fluidized Bed* :

1. Dapat menghasilkan Biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi.
2. Pengendalian temperatur lebih baik
3. Reaktor mempunyai kemampuan memproses fluida dalam jumlah yang besar

(Kunii dkk, 1977)

2.8. Pemanfaatan Kotoran Sapi sebagai Starter dalam Pembuatan Biogas

Didalam kotoran sapi masih banyak mengandung material organik. Materi organik ini dapat dijadikan bahan untuk metabolisme tertentu oleh bakteri.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian Tahun 2007, disebutkan bahwa kotoran sapi mengandung 22.59% selulosa, 18.32% hemiselulosa, 10.20% lignin, 34.72% karbonat organik, 1.26% nitrogen, 0.37% fosfor dan 0.68% kalium. Sapi memiliki sistem pencernaan khusus yang menggunakan mikroorganisme dalam sistem pencernaan yang berfungsi untuk mencerna selulosa dan lignin dari rumput berserat tinggi. Selulosa yang terkandung pada kotoran sapi dapat dimanfaatkan untuk memproduksi biogas dengan jumlah yang besar

Rasio C/N pada kotoran sapi adalah 24. Semakin tinggi rasio C/N, nitrogen akan dikonsumsi secara cepat oleh bakteri metanogen. Hal tersebut mengakibatkan keseimbangan reaksi bergeser ke kiri dan laju produksi biogas menurun. Sebaliknya jika rasio C/N rendah reaksi keseimbangan bergeser ke kanan dan laju produksi biogas meningkat. Rasio C/N pada kotoran sapi memenuhi persyaratan bahan baku produksi biogas. (Sri, 2008)

Penggunaan campuran air terhadap kotoran sapi untuk kondisi optimal adalah 1 : 1 (Herlina Dewi. M, 2010)

2.9. Media Penambat untuk Pembuatan Biogas

Media penambat digunakan untuk memfasilitasi bakteri untuk membentuk suatu biofilm. Biofilm adalah kumpulan sel mikroorganisme, khususnya bakteri yang melekat disuatu permukaan dan diselubungi oleh pelekak karbohidrat yang dikeluarkan oleh bakteri. Biofilm ini berfungsi sebagai mekanisme pertahanan bagi bakteri dengan cara meningkatkan resistensi terhadap gaya fisik yang dapat menyapu bersih sel – sel yang tidak menempel dan penetrasi dari senyawa beracun seperti antibiotik. Alasan bakteri membentuk biofilm adalah karena

daya tahan hidup bakteri meningkat dan pertumbuhan menjadi lebih baik. Biofilm ini merupakan cara alami hidup bakteri tertentu dengan alasan terbatasnya nutrisi.

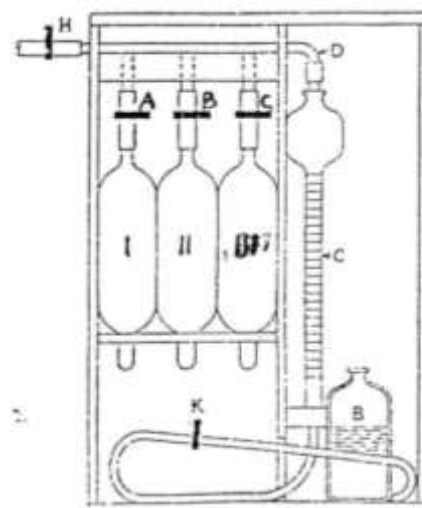
Media penambat yang digunakan yaitu batu apung, ijuk dan sedotan (plastik).

Pada Umumnya produksi biogas dapat optimal dengan menggunakan media batu. Karena Batu memiliki kelebihan yaitu tingkat kekasaran yang cukup baik, yang cocok menjadi media bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang melekat membentuk lapisan biomassa. Selain itu batu mempunyai luas permukaan per unit volume yang tinggi. Karena semakin luas permukaan batu, maka semakin banyak pula mikroorganisme yang hidup di atasnya. (Wardhana, 2004)

2.10. Analisis Orsat

Alat orsat merupakan suatu alat yang dipergunakan untuk mengukur dan menganalisa gas buang. Untuk itu digunakan larutan yang dapat mengikat gas tersebut dengan kata lain gas yang diukur akan larut dalam larutan pengikat, masing-masing larutan tersebut antara lain :

- Larutan Kalium Hidroksida (KOH) untuk mengikat gas CO_2
- Larutan Asam Kalium Pirogalik untuk mengikat gas O_2
- Larutan Cupro Clorid (CuCl_2) untuk mengikat CO



Gambar 2.3 Alat Orsat

Pada gambar diatas masing-masing tabung berisi :

- I. Tabung pengukur pertama berisi larutan CuCl_2

- II. Tabung pengukur kedua berisi larutan asam Kalium Pirogalik
- III. Tabung ketiga berisi larutan KOH (Wahyudi, 2009)

2.11. Analisa COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Analisa COD (*Chemical Oxygen Demand*) atau kebutuhan oksigen kimia adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar limbah organik yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia. Limbah organik akan teroksidasi oleh Kalium Bichromat ($K_2Cr_2O_4$) sebagai sumber oksigen menjadi gas CO_2 dan H_2O serta jumlah ion Chrom. Nilai COD merupakan ukuran bagi tingkat pencemaran oleh bahan organik. Kadar COD dalam limbah berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah, konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat direduksi dengan metode pengolahan konvensional. Dengan perhitungan COD sebagai berikut :

$$COD \text{ mg } O_2 / L = \frac{(\text{Blanko} - \text{Sampel}) \times N \times F \times 8 \times 1000}{mL \text{ contoh uji}}$$

Metode Analisa COD

- Metode Refluks Terbuka (Open Reflux) Metode standar yang digunakan, metode ini cocok untuk berbagai jenis air limbah, tetapi membutuhkan jumlah contoh air dan pereaksi yang lebih banyak sehingga kurang ekonomis.
- Metode Refluks Tertutup Metode standar yang digunakan ini lebih ekonomis karena volume contoh air dan pereaksi lebih sedikit, tetapi contoh air harus homogen terutama terhadap suspended solid.

Senyawa organik yang mudah menguap akan hilang selama pemanasan, untuk mencegah penguapan tersebut, pengukuran COD dilakukan dengan kondensor atau refluks secara tertutup.

Metode standar penentuan kebutuhan oksigen kimiawi atau *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang digunakan saat ini adalah metoda yang melibatkan oksidator kuat kalium bikromat, asam sulfat pekat, dan perak sulfat sebagai katalis. (Greenberg, 1992)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pendekatan Penelitian

Proses pembentukan biogas yang dilakukan dengan cara fermentasi anaerobik, merupakan proses dekomposisi bahan-bahan organik secara biologis dengan bantuan mikroorganisme yang menghasilkan biogas dan kompos pada lingkungan tanpa adanya oksigen. Secara umum kandungan karbon dalam sampah dapat dikonversi menjadi biogas (campuran metana dan CO_2) dengan menggunakan media sebagai tempat untuk pertumbuhan mikroba.

Kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi proses pembentukan gas metana secara anaerobik adalah kehadiran O_2 . Oleh karena itu diperlukan suatu penelitian untuk mengetahui laju volumetrik biogas dari berbagai media baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Sebab pada masing - masing media setelah melalui proses fermentasi anaerobik tentunya memiliki perolehan laju volumetrik biogas yang berbeda - beda.

Pada penelitian ini pengumpulan dilakukan secara semi kontinyu dimana reaktor yang digunakan adalah reaktor hidrolisis dan reaktor *Fluidized Bed* dan variasi yang digunakan adalah sebanyak 3 variasi media yaitu: batu apung (reaktor 1), Ijuk (reaktor 2), potongan sedotan (reaktor 3), sehingga dapat diketahui media mana yang memiliki laju volumetrik optimum untuk pembentukan biogas.

Pada percobaan ini akan dilakukan proses pembentukan biogas melalui metode dekomposisi anaerobik. Adapun variabel tetap dalam percobaan ini adalah :

1. Volume umpan
2. Laju alir pompa

3.2. Alat dan Bahan

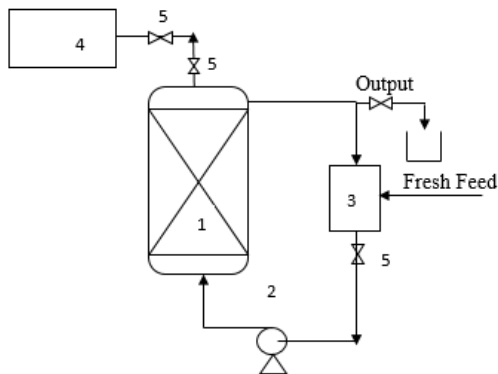
3.2.1. Alat

1. Drum berukuran 10 L
2. Kran
3. pH meter
4. Reaktor *Fluidized Bed*
5. Orsat
6. Heating Block
7. Kurvet COD

3.2.2. Bahan

1. Lindi
2. Air
3. Ijuk
4. Potongan Sedotan
5. Batu Apung

3.3. Skema Alat



Gambar 3.1 Skema Alat

Keterangan :

1. Reaktor *Fluidized Bed*
2. Pompa
3. Tangki akumulator
4. Penampung Biogas
5. Kerangan (*Valve*)

3.4. Gambar Alat



Gambar 3.2 Reaktor *Fluidized Bed*



Gambar 3.3 Penampung Biogas

3.5. Prosedur Percobaan

3.5.1. Pembuatan *Starter*

1. Kotoran Sapi dimasukkan kedalam tangki
2. Masukkan air kedalam tangki hingga kondisinya 3 : 1 dengan kotoran sapi
3. Didiamkan selama 24 jam

3.5.2. Tahap Hidrolisis

1. Sampah organik dimasukkan kedalam tangki hidrolisis
2. Ditambahkan air ke dalam tangki hingga kondisinya 1 : 1
3. Ditentukan waktu tinggal selama 24 jam agar terbentuk asam asetat

3.5.3. Tahap Pembentukan Gas

1. Media penambat batu apung, ijuk dan sedotan dimasukkan kedalam reaktor *Fluidized Bed* sebanyak satupertiga tinggi reaktor
2. *Starter* dimasukkan kedalam reaktor *Fluidized Bed* hingga terisi penuh
3. Lindi dari tangki umpan dialirkan kedalam reaktor *Fluidized Bed*
4. Reaktor *Fluidized Bed* dikondisikan agar terjadi dekomposisi decara anaerob
5. Dilakukan pengamatan dan pengukuran laju volumetrik pembentukan biogas pada masing - masing media setiap 24 jam, dengan temperatur dan tekanan lingkungan

3.5.4. Analisis Komposisi Biogas

1. Sampel biogas diambil dari masing-masing reaktor
2. Penentuan komposisi biogas menggunakan alat Orsat

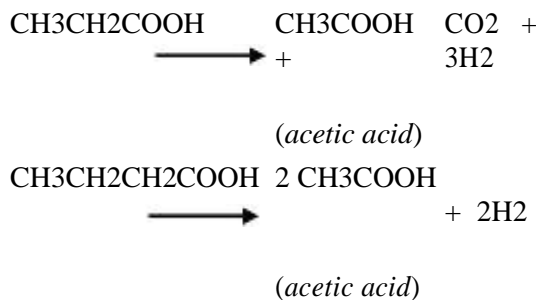
3.5.5. Analisis COD (*Chemical Oxygen Demand*)

1. Kuvet COD dibilas menggunakan larutan H_2SO_4 20 %
2. Sampel (effluen) dimasukkan sebanyak 2,5 mL kedalam kuvet COD
3. Ditambahkan 3,5 mL pereaksi asam sulfat ($AgSO_4$) dan 1,5 mL *digestion solution*

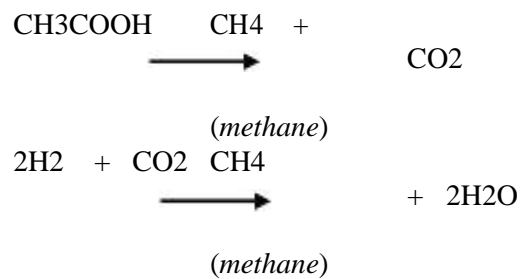
4. Kuvet COD ditutup dan dikocok sehingga tercampur dengan sempurna
5. Sampel dipasaskan dalam *heating block* lalu didinginkan hingga suhu 150°C Selama 2 jam. Setelah itu kuvet diangkat dari *heating block*, lalu didinginkan hingga suhu ruang
6. Sampel dimasukkan kedalam Labu Erlenmeyer 250 mL, kuvet COD dibilas dengan aquadest, lalu ditambahkan 2-3 tetes indikator ferroin
7. Sampel dititrasikan menggunakan FAS (Ferro Ammonium Sulfat) 0,1 M hingga terjadi perubahan warna dari kuning hijau menjadi merah bata
8. Mencatat volume FAS yang digunakan
9. Membuat percobaan blanko dengan aquadest sebagai sampel dan dilakukan cara kerja seperti diatas.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

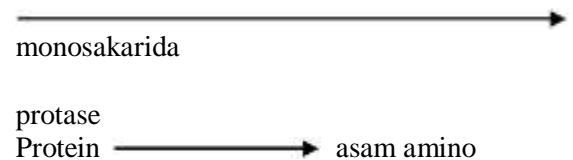
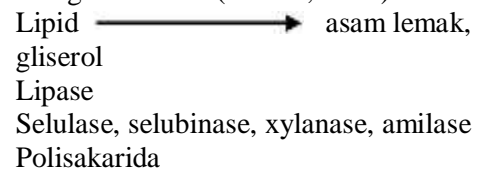
Pada penelitian ini menggunakan *two stage digestion system* yang karakteristik awalnya dilakukan pada substrat yang berasal dari reaktor hidrolisis. Pada reaktor hidrolisis ini



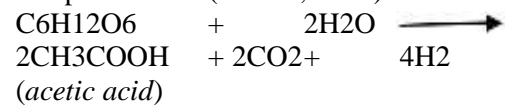
proses yang terjadi adalah proses hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis. Pada proses hidrolisis, polimer seperti karbohidrat, lipid, asam nukleat dan protein diubah menjadi glukosa, gliserol, purin dan piridin. Mikroorganisme hidrolitik mengekskresi enzim hidrolitik, mengkonversi biopolimer menjadi senyawa sederhana (Amaru, 2004). Bahan Organik dienzimatisasi secara eksternal



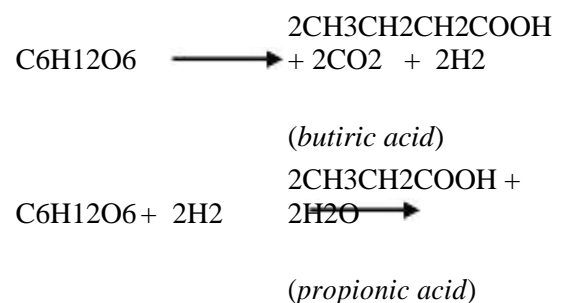
oleh enzim ekstraselular (selulosa, amilase, protease dan lipase) mikroorganisme. Mikroorganisme memutuskan rantai panjang karbohidrat kompleks, protein, dan lipid menjadi senyawa rantai pendek. Reaksi yang terjadi selama proses hidrolisis adalah sebagai berikut (Amaru, 2004):



Tahap selanjutnya adalah tahap asidogenesis. Pada tahap ini senyawa organik dengan bentuk yang lebih sederhana oleh mikroorganisme diubah menjadi asam asetat (CH₃COOH), hydrogen (H₂) dan karbondioksida (CO₂) serta asam-asam organik seperti asam butirat (CH₃CH₂CH₂COOH) dan asam propionate (CH₃CH₂COOH). Reaksi yang terjadi pada tahap ini adalah (Amaru, 2004) ::



Pengaruh Media Penambat Pada Reaktor Biogas Fluidized Bed



Pada tahap selanjutnya yaitu asidogenesis asam propionate dan butirat diuraikan oleh

acetogenic bacteria menjadi asam asetat (Seadi, 2008). Berikut reaksi yang terjadi :

Tahap selanjutnya adalah pembentukan gas metan. Produksi metan dan karbondioksida dilakukan oleh mikroorganisme metanogenik. Sebanyak 70% dari metan yang terbentuk berasal dari asetat, sedangkan sisanya 30% dihasilkan dari konversi hydrogen (H) menurut persamaan berikut (Seadi, 2008) :

Pada penelitian ini prosesnya air limbah sampah (lindi) di *Cafeteria* ITENAS yang diolah menggunakan *Fluidized Bed* dengan menggunakan variasi media penambat pada reaktor. Media penambat ini digunakan untuk memfasilitasi bakteri untuk membentuk suatu biofilm atau kumpulan sel mikroorganisme. Biofilm berfungsi sebagai mekanisme pertahanan bagi bakteri dengan cara meningkatkan resistensi terhadap gaya fisik yang dapat menyapu bersih sel – sel yang tidak menempel, dengan adanya media ini dapat mengoptimalkan pembentukan biogas. Media yang digunakan potongan batu apung (reaktor 1), ijuk (reaktor 2) dan sedotan (reaktor 3). Media ini dipilih atas dasar tingkat kekerasan media untuk melekatnya bakteri, media yang digunakan tidak terdekomposisi oleh bakterinya, murah dan mudah dicari. Media tersebut dimasukan kedalam masing-masing reaktor sebanyak sepertiga volume reaktor, dan pada masing – masing reaktor juga diberikan aliran umpan pada bukaan *valve* dengan laju alir yang sama besarnya.

4.1. Kotoran Sapi sebagai Starter untuk Produksi Biogas

Starter yang digunakan dalam produksi biogas dari limbah rumah tangga (sisa makanan) adalah kotoran sapi yang dicampur dengan lumpur dan air . Penggunaan kotoran sapi sebagai starter didasarkan atas proses produksi biogas dari kotoran sapi yang tidak menggunakan biakan mikroba. Keadaan tersebut memberikan keterangan bahwa dalam kotoran sapi telah terdapat mikroba yang

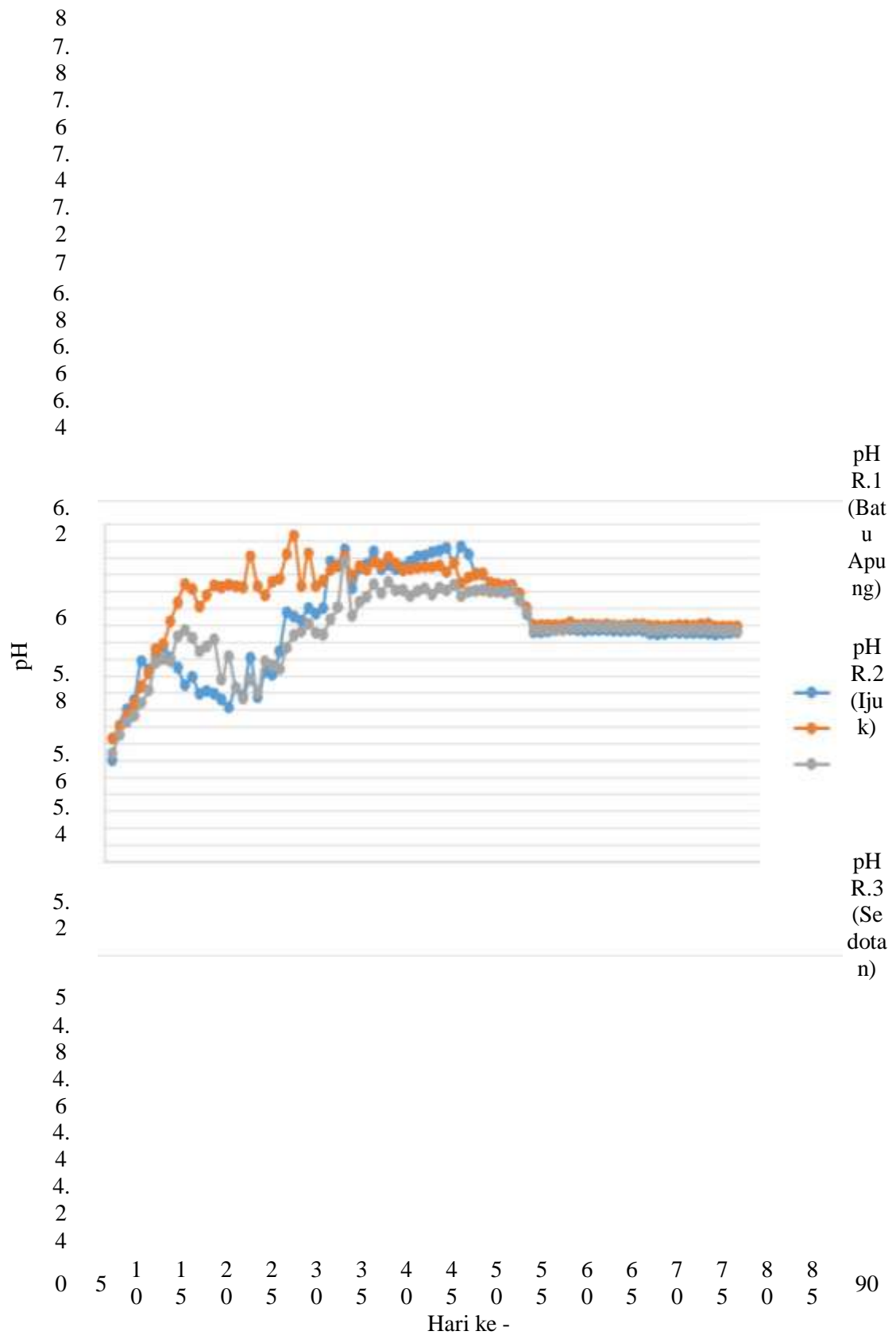
berperan dalam proses produksi biogas seperti *Methanobacterium hungatei* dan *Methanobacterium formicicum* (Rahayu, 2011). Penggunaan campuran air terhadap kotoran sapi 1 : 1 didasarkan atas kondisi fermentasi biogas dari kotoran sapi yang produksinya mencapai optimal pada penggunaan air / kotoran sapi 1 : 1 (Sholeh. 2012).

4.2. Pengaruh pH dan Temperatur dalam Pembentukan Biogas

4.2.1 pH (Derajat Keasaman)

pH yang rendah akan menyebabkan terganggunya pertumbuhan bakteri metanogenik dan produksi biogas. Hal ini biasanya terjadi apabila laju pengumpanan terlalu besar. Rentang pH optimum dalam pembentukan biogas adalah 6,4 – 7,9. Menurut Wagiman (2007), aktivitas mikroba dalam mendegradasi bahan organik dan mengubah menjadi gas metan menjadi kurang optimum, apabila pH air limbah kurang dari 5,5.

Pada penelitian ini pH dan temperatur air limbah diukur setiap harinya untuk mengetahui kondisi operasi reaktor. pH awal reaktor setelah diresirkulasi selama 24 jam adalah kurang dari 6,4 hal ini disebabkan karena reaktor mengalami kelebihan substrat lindi dari tangki umpan yang mempunyai pH sangat asam yaitu 4,748 , dari hasil pengukuran substrat tersebut tidak memenuhi persyaratan nilai pH untuk proses anaerob. Pada penelitian ini proses anaerob yang dilakukan adalah *two stage digestion system* sehingga karakteristik awal ini dilakukan pada substrat yang berasal dari reaktor hidrolisis. Salah satu cara untuk mengurangi keasaman pada reaktor adalah dengan cara menghentikan pengaliran substrat lindi dari tangki umpan, tetapi setelah biogas telah terbentuk lindi dari tangki umpan dialirkan terus menerus hal ini dilakukan agar volume biogas yang didapat konstan. Berikut adalah grafik pH pada saat awal dilakukan pengumpanan hingga terbentuk biogas.



Gambar 4.1 Pengaruh waktu terhadap pH

Dapat dilihat pada grafik bahwa dari hari pertama hingga hari ke 10 pH ketiga reaktor

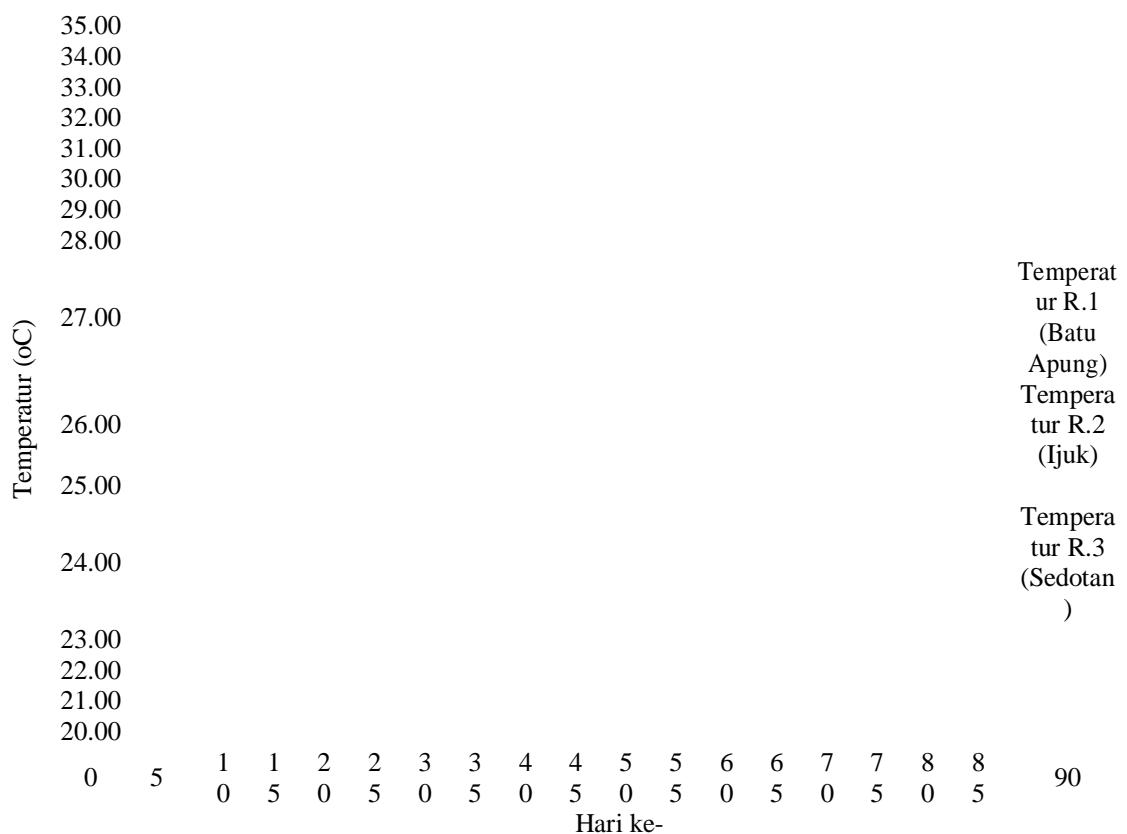
yang terus diresirkulasi mengalami kenaikan hal ini disebabkan karena adanya

perkembang biakan bakteri pembentuk metana karena pada kondisi ini bakteri pembentuk metan belum dominan (Khoirul, A. 2006), sedangkan pada hari – hari berikutnya pH ketiga reaktor tersebut fluktuatif hal ini disebabkan karena substrat lindi telah teresirkulasi secara merata, jika pH semakin menurun maka resirkulasi dihentikan karena dapat membunuh bakteri pembentuk metana. Biogas mulai terbentuk pada hari ke 40 dengan pH berkisar antara 7,2- pH 7,5. Dapat dilihat pada hari 55 hingga hari terakhir pH ketiga reaktor tersebut konstan pada pH berkisar antara 6,7 - 6,8. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi pH didalam reaktor ini sangat dipengaruhi oleh jumlah asam lemak volatil, jumlah pH konstan tersebut menunjukkan kandungan asam lemak volatil yang diproduksi konstan karena adanya penambahan *fresh* lindi secara terus-menerus. Jika effluen tersebut semakin

netral maka bakteri pembentuk gas metan semakin banyak, dan hasil biogas yang terbentuk semakin optimum.

4.2.2. Temperatur

Sebagian besar mikroorganismenya tumbuh pada rentang temperatur tertentu, pada dekomposisi anaerobik terdapat dua kisaran temperatur optimum yaitu *mesophilic* (25-39 °C) dan *thermophilic* (40-62 °C). Apabila temperatur bertambah maka laju reaksi akan bertambah pula. Pada temperature 25 - 35 °C umumnya mampu mendukung laju reaksi biologi secara optimal dan menghasilkan pengolahan yang lebih stabil. Peningkatan temperature umumnya akan meningkatkan produksi biogas (Tchobanoglous, 2004). Populasi yang tumbuh optimum pada zona *thermophilic* akan memiliki laju reaksi yang lebih cepat daripada populasi yang tumbuh pada zona *mesophilic*.



Gambar 4.2 Pengaruh waktu terhadap temperatur

Dapat dilihat dari grafik pada penelitian ini temperatur yang didapat yaitu berkisar diantara 26 °C – 28 °C (*mesophilic*), temperatur pada penelitian ini dapat dikatakan konstan untuk bakteri metanogenesis karena hanya selisish 2°C,

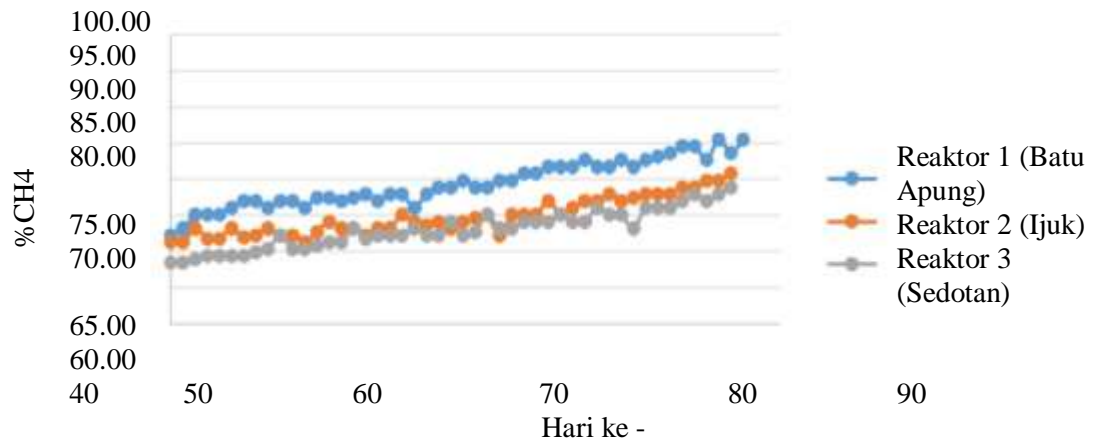
kondisi ini didapatkan tanpa adanya perlakuan khusus karena berada pada lingkungan tropis yang memiliki rentang temperatur *mesophilic*. Secara alami temperatur *mesophilic* dapat dicapai oleh

proses dekomposisi anaerobik secara normal.

4.3. Analisa Orsat

Alat orsat merupakan suatu alat yang dipergunakan untuk mengukur dan

menganalisa gas buang. Untuk itu digunakan larutan yang dapat mengikat gas tersebut dengan kata lain gas yang diukur akan larut dalam larutan pengikat, pada percobaan ini digunakan kalium hidroksida untuk mengikat CO₂. Hasil analisa orsat pada penelitian ini sebagai berikut :



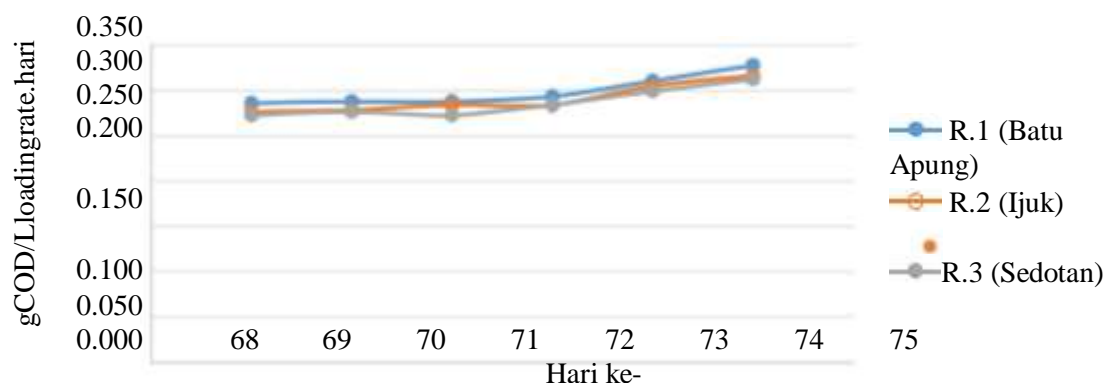
Gambar 4.3 Pengaruh waktu terhadap perolehan CH₄

Pada hasil diatas didapatkan komposisi metana pada biogas semakin meningkat seiring bertambahnya waktu. Sedikitnya komposisi metana pada saat awal dikarenakan aktivitas bakteri metanogen yang sedikit, karena pada tahap awal terjadi masih terjadi penguraian monomer organik menjadi asam-asam organik dan alkohol. kemudian, monomer organik diuraikan lebih lanjut oleh acidogenic bacteria menjadi asam-asam organik seperti asam butirat, asetat, , propionat, serta dihasilkan juga CO₂, H₂, dan etanol. Kondisi ini yang menyebabkan komposisi metana pada saat awal sedikit, namun pada hari selanjutnya

aktivitas bakteri metanogen meningkat dan menghasilkan komposisi metana yang meningkat pula.

4.4. Organic Loading Rate

Organic Loading Rate adalah salah satu parameter untuk mengetahui banyaknya materi organik yang terdegradasi pada umpan yang diberikan, dalam hal ini umpan dialirkan sebanyak 5,7 Liter per hari.



Gambar 4.4 Pengaruh waktu terhadap *Organic Loading Rate*

Pada hasil analisis didapat bahwa pada loading rate yang sama , hasil yang terbaik yaitu reaktor 1 (batu apung) sebesar 0,328 $\frac{gCOD}{L \cdot hari}$, kemudian reaktor 2 (ijuk) sebesar 0,316 $\frac{gCOD}{L \cdot hari}$

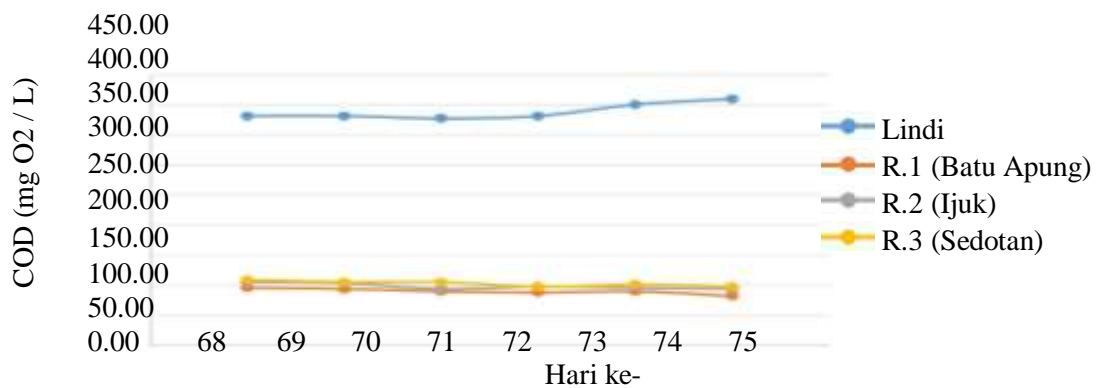
dan reaktor 3 0,312 (plastik)

Dari hasil diatas didapat penguraian

organic loading rate yang baik adalah reaktor yang menggunakan media batu apung, karena batu memiliki kelebihan yaitu tingkat kekasaran yang cukup baik dibandingkan dengan media ijuk dan media sedotan, dan menjadi tempat untuk mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang melekat membentuk lapisan biomassa.

4.5. Pengaruh Waktu Terhadap Penurunan COD

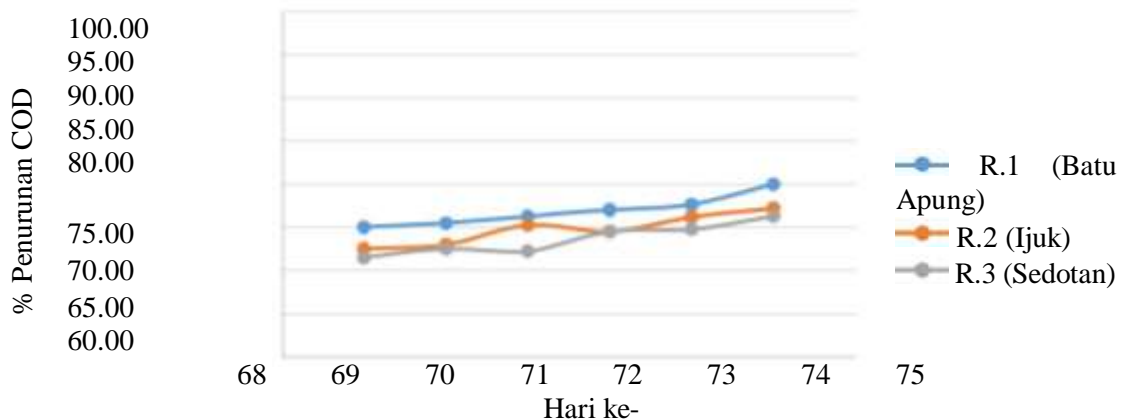
COD merupakan parameter yang mampu menggambarkan banyaknya kandungan bahan organik yang dapat dioksidasi secara kimiawi di air limbah yang diolah reaktor. COD ini mulai dianalisa pada hari ke 69 hingga hari ke 74. Berikut adalah nilai COD pada effluen



Gambar 4.5 Pengaruh waktu terhadap COD effluen

Dapat dilihat bahwa ketiga reaktor cenderung mampu menurunkan COD, walaupun persen penurunannya tidak besar. Nilai penurunan konsentrasi COD berpengaruh pada hasil produksi gas metan di reaktor dimana semakin besar penurunan konsentrasi COD, maka hasil produksi gas metannya juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena nilai penurunan konsentrasi COD menunjukkan jumlah bahan organik di air limbah yang mampu diuraikan oleh mikroba menjadi senyawa sederhana yang kemudian digunakan

sebagai bahan baku produksi gas metan. (Rahayu, 2011). Dapat dilihat dari grafik diatas bahwa nilai COD pada lindi (umpan) relatif stabil sekitar 400-380 mg O₂ / L. Reaktor 1 (Media Batu Apung), Reaktor 2 (Ijuk) dan Reaktor 3 (Sedotan) dapat mendegradasi sebanyak 108 - 87 mg O₂/L, kinerja pada reaktor 1,2 dan 3 tidak ada perbedaan cukup jelas walaupun reaktor 1 mempunyai kinerja lebih baik hingga 87,62 mg O₂/L walaupun perbedaannya tidak banyak



Gambar 4.6 Pengaruh waktu terhadap % Penurunan COD

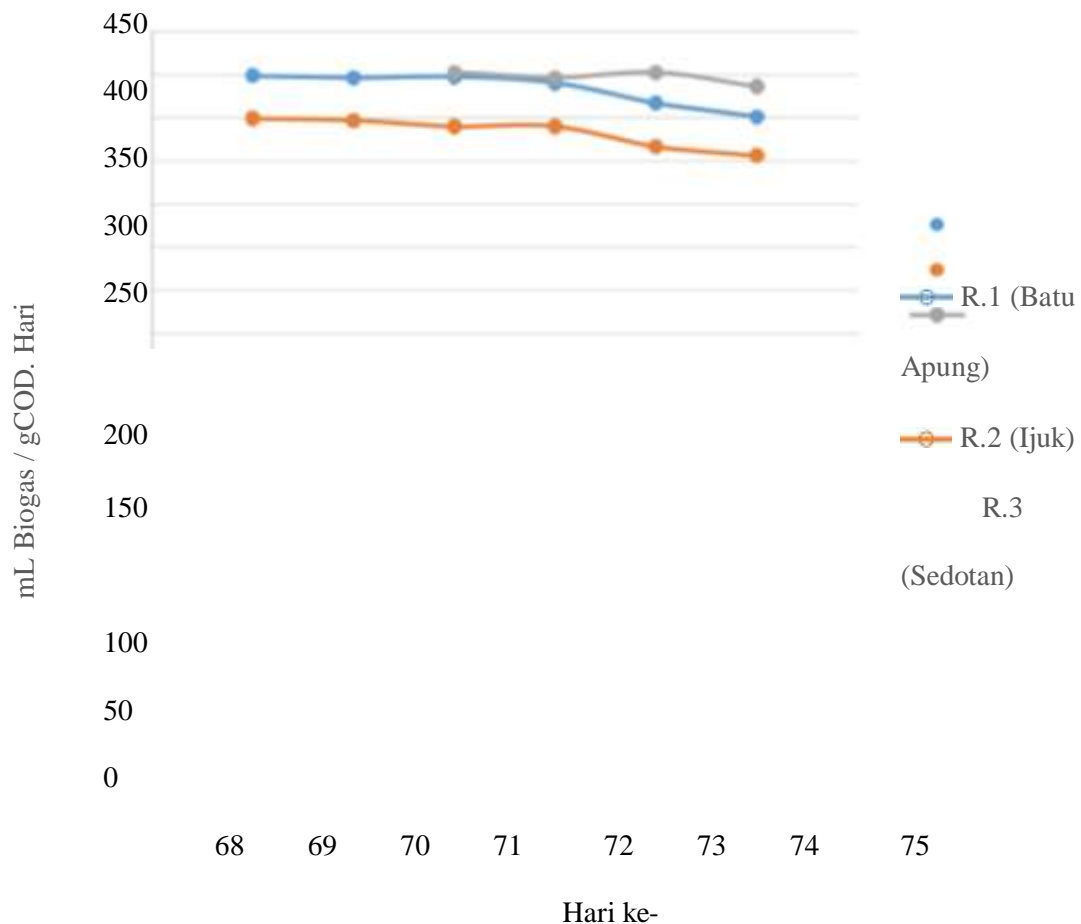
Dapat dilihat pada grafik diatas bahwa rata-rata penurunan COD hanya mencapai 76.90 % pada reaktor 1, 74.78% pada reaktor 2 dan 73.63% pada reaktor 3. Hasil ini masih dibawah dari efisiensi literatur yang dikemukakan oleh Gabriel Bitton, efisiensi reaktor *Fluidized Bed* sebesar 80%-90%. Hal ini disebabkan karena umpan yang dimasukan merupakan sampah organik yang mengandung serat (selulose), zat ini relatif sulit terdegradasi. Tetapi pada penelitian ini tidak ada perbedaan kinerja yang cukup jelas pula walaupun reaktor 1 mempunyai kinerja yang lebih baik dari

kedua reaktor lainnya. Perubahan efisiensi removal yang cukup fluktuatif dapat

disebabkan oleh perbedaan waktu pengambilan sampel (waktu detensi perkiraan) dengan waktu keluarnya efluen akibat perubahan (fluktuasi) debit aliran. Selain itu, perubahan efisiensi removal juga dapat disebabkan karena fluktuasi influen zat organik yang masuk ke dalam reaktor.

4.6. Performance Reaktor *Fluidized Bed*

Performance Reaktor adalah salah satu parameter untuk mengetahui berapa banyak biogas yang terbentuk pada setiap COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang terkonversi. Dari penelitian ini didapatkan hasil yang terdapat pada grafik berikut.



Gambar 4.7 Pengaruh Waktu terhadap *Performance* Reaktor Biogas

Dapat dilihat dari kurva dan tabel diatas bahwa semakin lama performa pada reaktor

Fluidized Bed semakin menurun, penurunan performa reaktor ini disebabkan karena sedikitnya bahan organik menjadi biogas, kemungkinan terkait dengan sifat bakteri

pembentuk metana yang memiliki kondisi optimal pada pH 7 – 7,2 (Gabriel Bitton, 1994). Sedangkan pH yang didapat pada ketiga reaktor semakin lama semakin bertambah berkisar antara 6,7 – 7,4.

4.7. Perbandingan Reaktor Fluidized Bed dengan Reaktor Lain

Perbandingan ini bertujuan untuk membandingkan jumlah biogas yang didapat terhadap volume reaktor dan jenis reaktor yang berbeda-beda, dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.1 Perolehan Biogas pada Reaktor *Fluidized Bed*

	L biogas / L reaktor/hari						Rata-rata
	69	70	71	72	73	74	
Reaktor 1	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,094	0,093
Reaktor 2	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079	0,079
Reaktor 3	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089	0,089

Reaktor *fluidized bed* ini akan dibandingkan dengan hasil penelitian dari reaktor CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactors*) dengan volume reaktor 180L (Penelitian Riza Martwan & Roben Hapusan) dan Reaktor

Fixed Bed dengan volume reaktor 12L (Penelitian Efliana Gabriela Wea Jawa & Putri Chitra Nurdini), dengan hasil sebagai berikut.

Tabel 4.2 Perbandingan Reaktor

CSTR (L biogas / L reaktor/hari)	Fixed Bed (L biogas / L reaktor/hari)
0,072	0,057

Dari hasil yang didapat, reaktor CSTR lebih memiliki perolehan biogas yang lebih banyak dibandingkan reaktor fixed bed, hal ini dikarenakan adanya pengadukan dalam reaktor yang berfungsi sebagai kontak antara mikroorganisme pembentuk gas metana dengan cairan limbah yang akan dikonversi, dengan adanya pengadukan maka mikroorganisme akan semakin mudah untuk mengurai air limbah dikarenakan kontak antara mikroorganisme dengan cairan limbah akan semakin cepat dibandingkan reaktor fixed bed. Dari hasil perolehan biogas menggunakan reaktor *fluidized bed* dengan CSTR, didapat perolehan hasil biogas yang tinggi adalah reaktor *fluidized bed*. Reaktor *fluidized bed* ini hampir sama prinsipnya dengan reaktor CSTR, namun perbedaannya reaktor *fluidized bed* tidak memakai pengaduk karena air limbah akan mengalami kontak dengan mikroba aerob yang melekat pada permukaan media pendukung. Biogas yang terbentuk akan bergerak ke atas dan mengakibatkan terjadinya proses vertical mixing di dalam reaktor. Dengan demikian, tidak diperlukan alat mekanik untuk pengadukan. Selain itu pada reaktor *fluidized bed* memiliki media sebagai pertumbuhan mikroba. Air limbah yang mengalami kontak mikroba akan menyebarkan zat organik dan nutrisi lainnya

untuk pertumbuhan mikroba, semakin banyak pertumbuhan mikroba akan memperbanyak perolehan produksi biogas

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Air limbah sampah kota dapat diolah menggunakan reaktor metanogenesis *Fluidized bed* dengan menggunakan media batu apung, ijuk dan sedotan. Dengan *two stage digestion system* dimana proses hidrolisis, asidogenesis, dan asetogenesis terjadi pada reaktor hidrolisis, sedangkan pembentukan gas terjadi pada reaktor *Fluidized Bed*.

Reaktor yang memiliki kinerja paling baik adalah reaktor 1 memakai media batu apung, hal ini berdasarkan hasil dari volume perolehan biogas, analisa penurunan COD dimana jika nilai penurunan COD semakin kecil maka gas metana yang terkandung akan semakin besar, *Organic Loading Rate*, dan performa reaktor. Media batu apung memiliki permukaan yang lebih keras dan baik untuk melekatnya bakteri.

Reaktor *Fluidized Bed* memiliki hasil perolehan biogas paling banyak dengan rata-rata perolehan biogas 0,093 L Biogas / L Reaktor.Hari pada reaktor 1 (Batu Apung), 0,079 L Biogas / L Reaktor.Hari reaktor 2 (Ijuk), dan 0,089 L Biogas / L Reaktor. Hari reaktor 3 (Sedotan) jika dibandingkan dengan reaktor *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dengan volume 0,072 L Biogas / L Reaktor.Hari dan Reaktor *Fixed Bed* dengan volume 0,057 L Biogas / L Reaktor.Hari.

5.2. Saran

1. Fenomena Fluidisasi harus lebih diperhatikan
2. Volume seluruh lindi yang akan digunakan sebagai umpan seharusnya disiapkan sekaligus agar memiliki konsentrasi lindi yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Amaruu, Kharitsya. 2004. Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethylene Skala Kecil (Studi Kasus Ds. Cidatar Kec. Cisurupan Kab. Garut). Jurusan Tekonologi Pertanian Fakultas Teknoligi Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung
- 2) Basset J, dkk. 1994. Buku Ajar Vogel Kimia Analisis Kuantitatif Anorgantik.Jakarta
- 3) Damanhuri, Enri dan Padmi, Tri. 2004. *Diktat Kuliah TL-3150 (Pengelolaan Sampah)*. Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITB, Bandung.
- 4) Dewi, M. H, I. Muchlis, L. Nur'aini dan M. Rizky. 2012. Pembuatan Biodegester Dengan Uji Coba Kotoran Sapi Seagai Bahan aku. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- 5) Fairus,Sirin.,Salafudin.,Rahman,Lathif a.,Apriani,Emma. (2011). "Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia". Yogyakarta.
- 6) Gabriel Bitton. 1994. *Wastewater Microbiology*. New York
- 7) Gintings, Perdana., 1992. Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri, Pustaka Sinar Harapan, Jakarta (Online) Available : http://eprints.undip.ac.id/3183/1/Presentation_MakalahQ_New.pdf (diakses 14/07/2014)
- 8) Greenberg. A.E, Clesceri, L.S., Eaton, A.D. 1992. *Stansdard Method : for the examination of water and waste water 18th edition*. Washington, DC : American Public Health Association.
- 9) Hayes.D. Thomas, Isaacson, H.Ronald, Frank, R.James.1988. *Production of High Methane Content Product by Two Phase Anaerobic Digesttion*. Gas Research Institute,US.
- 10) Indriyanti. 2005. Pengolahan Limbah Cair Organik Secara Biologi Menggunakan Reaktor Anaerobik Lekat Diam. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan. BPPT, JAI, vol. 1, No 3.
- 11) Khairani, Risma Mustami. 2015. PEMANFAATAN Sampah Organik Pasar Sebagai Bahan Baku *Biodigester*. Tugas Akhir Teknik Lingkungan Institut Teknologi Nasional. Bandung
- 12) Khoirul, A. dan Bunga, J. 2006. "Penentuan Produktivitas Biogas pada Berbagai Limbah Organik dengan Proses Fermentasi Anaerobik". Teknik Kimia, ITENAS.
- 13) Kunii, D. and Levenspiel, O., 1977, *Fluidization Engineering*, Original Edition, Robert E/ Krieger Publishing Co. New York.
- 14) Mappiratu, 2012. Teknologi Pangan, Untad Press. Palu.
- 15) Pambudi . 2008. Pemanfaatan Biogas Sebagai Energi Alternatif. Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- 16) Rahayu, Nawangsari Seril. 2011. Kemampuan *Upflow Anaerobic Fixed Bed* (UAFB) Reaktor dalam Mempertahankan Kondisi Optimum dalam Penyisihan Senyawa Organik pada *Biowaste* Fasa Cair Tanpa Menggunakan Pengaturan pH. Tesis Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung. Bandung
- 17) Seadi,, Korres Nicholas, O'Kiely, Padraig, A.H. Benzie, John, and S. West, Jonathan. 2008. *Bioenergy Production by Anaerobic Digestion* :

- 18) *Using Agricultural Biomass and Organic Wastes*. New York : Routledge.
- 19) Sholeh, Achmad, Sunyoto, dan Al-Janan, Hidayat Dony. 2012. Analisis Komposisi Campuran Air dengan Limbah Kotoran Sapi dan Peletakkan Posisi Digester Terhadap Tekanan Gas yang Dihasilkan. Jurusan Teknik Mesin, *Journal Of Mechanical Engineering Learning*, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- 20) SMWW 5220 . “ Chemical Oxygen Demand”. American Public Health Associate, American Water Work Association, Water Environment Federal. 2015
- 21) Srivastava, J, Vipul. 1996. *Two Phase Anaerobic Digestion of Carbonaceous Organic Material*. Institute of Gas Technology. US.
- 22) Sufyandi. 2001. Informasi Teknologi Tepat Guna Untuk Pedesaan Biogas. Bandung.
- 23) Sumady, D.R.2009. Dikutip dari repository.uinjkt.ac.id/.../DELI%20RAHMALIA%20SUMADY-FST.pdf. Diakses pada tanggal 5 April 2015
- 24) Tchobanoglous, G., H.Theisse, S.A Vigil. 2004. *Integrated Solid Waste Management*, McGraw Hill. USA
- 25) Wagiman, 2007. Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). *Bioteknologi* 4 (2). 41-44
- 26) Wahyudi, Zulfikar, 2009, Analisa Orsat. Jurusan Teknik Kimia. Fakultas Teknik Universitas Mataram.
- 27) Wahyuni, Sri . 2008. *Biogas*. Jakarta :Penebar Swadaya.
- 28) Wildan, Aziz .2011. Konversi sampah organik pasar dengan sistem fermentasi media padat menjadi biogas dan pupuk organik. Dikutip dari <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/47326>. Diakses pada tanggal 14 april 2015
- 29) Woodard & Curran. 2006. *Industrial Waste Treatment Second Edition*. United States of America

PENULIS :

Dra. Netty Kamal, M.Si. Staf Pengajar Teknik Kimia – ITENAS.