

PRODUKSI BIOGAS SEBAGAI HASIL PENGOLAHAN LIMBAH LUMPUR INDUSTRI KERTAS DENGAN PROSES DIGESTASI ANAEROBIK DUA TAHAP
BIOGAS PRODUCTION AS A RESULT OF PAPER MILL SLUDGE TREATMENT WITH A TWO STAGE ANAEROBIC DIGESTION PROCESS

Rina S. Soetopo, Sri Purwati, Tami Idiyanti, Krisna A. Wardhana dan Mukharomah Nuraini

Balai Besar Pulp dan Kertas, Jl. Raya Dayeuhkolot 132 Bandung

Pusat Penelitian Kimia LIPI, PUSPITEK Serpong, Tangerang

E-mail: rnsusilowati@yahoo.com

ABSTRAK

Lumpur biologi yang berasal dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) industri kertas bersifat voluminous dengan komponen utama biomassa sel mikroba yang terdiri dari protein 19,7% dan organik lainnya. Percobaan dilakukan dengan sistem batch, diawali dengan penentuan dosis optimum proses hidrolisis-asidogenesis pada suhu termofilik (50-60°C), kemudian dilanjutkan dengan penentuan kondisi optimum proses metanogenesis pada suhu mesofilik (24 – 26°C). Parameter pengamatan proses hidrolisis-asidogenesis adalah konsentrasi VFA, sedangkan pada metanogenesis meliputi volume biogas, konsentrasi gas metana dan COD effluent. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum proses hidrolisis-asidogenesis suhu termofilik adalah beban organik 3,76 g VS lumpur/L.hari dengan waktu retensi 4 hari. Sedangkan kondisi optimum proses metanogenesis suhu mesofilik adalah beban organik 0,81 g COD/L.hari, waktu retensi 20 - 30 hari menghasilkan biogas sekitar 130 ml/g VS lumpur atau 0,16 L/g CODred dengan kadar gas metana (CH_4) 69 – 79% dan mampu mereduksi COD sampai 78 - 82%. Berdasarkan data-data kondisi optimum tersebut telah dihitung rancangan digester anaerobik dua tahap proses kontinyu.

Kata kunci : lumpur biologi, anaerobik dua-tahap, termofilik, VFA, biogas, CH_4

ABSTRACT

Biological sludge of paper industry Waste Water Treatment Installation (WWT) are voluminous with the major components of microbial cell biomass consists of 19,7% protein and other organic. Research carried out in a batch system, beginning with determining the optimum dose of the hydrolysis-acidogenesis process of sludge at thermophilic temperature (50-60°C), and then proceed with determining the optimum conditions of methanogenesis process at mesophilic temperature (24 – 26°C). Observation parameters of the hydrolysis-acidogenesis process was VFA concentration, and the methanogenesis parameters were biogas volume, methane gas concentration and total effluent COD. The results showed that the optimum conditions of hydrolysis-acidogenesis at termophilic temperature of 55 – 60°C were organic load of 3.76 g VS sludge / L.d and retention time of 4 days. Optimum conditions of methanogenesis process at mesophilic temperature (24 – 29°C) were pH of 7, organic load of 0.81 g COD / L.d and retention time of 20 - 30 days. It produced biogas approximately 130 ml / L sludge or 0,16 L/g COD reduction with methane gas (CH_4) level of 69 – 79 % and reduced COD up to 78 to 82%. Based on the optimum conditions data has been calculated anaerobic digester design of two-stage continuous process.

Keywords: biology sludge, two stage anaerobic, thermophilic, VFA, biogas, CH_4

PENDAHULUAN

Dampaknya adalah kandungan polutan organik terlarut dalam air limbah tinggi, sedang polutan tersuspensi rendah sehingga sistem pengolahan yang paling sesuai untuk air limbah tersebut adalah sistem biologi. Kendala yang dihadapi adalah terbentuknya hasil samping pengolahan air limbah berupa limbah lumpur biologi yang bersifat voluminous dengan kadar padatan rendah 1-2 % (Elliott, 2007). Sifat lumpur biologi sulit cihilangkan airnya, sehingga menimbulkan masalah pada penanganannya, baik untuk dibakar maupun

cara penanganan lainnya (Purwati, 2006; Deminer et al., 2008).

Industri kertas di Indonesia rata-rata menghasilkan limbah lumpur sekitar 0.3 - 1.0 m³/ton produk atas dasar kadar padatan 1 - 3 % (Purwati, 2006), sedangkan industri kertas di Canada rata-rata 50 kg/ton produk yang terdiri dari 70% lumpur primer dan 30% lumpur sekunder (Elliott, 2007). Limbah lumpur biologi dari IPAL industri kertas memiliki sifat fisik berupa partikel-partikel halus dengan komposisi utama senyawa organik 60 – 85 % yang terdiri dari karbon total 20.3 %. nitrogen

total 0,95 %, dengan C/N ratio 21,36 (Purwati, 2006), sedangkan Elliott (2007) menjelaskan bahwa lumpur biologi dari IPAL industri kertas mengandung zat padat tervolatil sekitar 65-97%; nitrogen total 3,3 - 7,7 %; P total 0,5-2,8% berdasarkan kadar padatan total.

Dalam menghadapi diberlakukannya UU RI No. 32 Tahun 2009 tentang "Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan" yang makin ketat, pihak industri kertas di Indonesia berusaha memperoleh solusi alternatif yang efektif dalam pengolahan limbah lumpurnya. Berdasarkan sifat fisik dan komposisi bahan organiknya, maka pengolahan limbah lumpur biologi dengan proses digestasi anaerobik merupakan salah satu solusi yang terbaik (Solera et al., 2002; Shuizhou, 2005; Elliott, 2007; Deminer et al., 2008). Proses digestasi anaerobik merupakan proses fermentasi bahan organik oleh aktivitas bakteri anaerob menghasilkan energi biogas yang didominasi gas metan (65% - 75%), karbondioksida (25% - 30%) dan beberapa gas lainnya dalam jumlah lebih kecil dari 1% (Kharisty, 2004). Biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif (Solera, et al., 2002; Shuizhou, 2005; Elliott, 2007; Deminer et al., 2008) yang sejalan dengan peraturan Presiden RI No. 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional untuk mengembangkan sumber energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar minyak.

Penelitian produksi biogas dari lumpur biologi industri kertas secara digestasi anaerobik sistem satu tahap telah dilakukan oleh Purwati, dkk., 2000 dan Elliott, 2007. Dari penelitian tersebut, menjelaskan bahwa proses digestasi anaerobik satu tahap memerlukan waktu sangat lama yaitu 30 hari (Purwati, dkk., 2006) dan 20 hari (Elliott, 2007), selain itu biogas yang dihasilkan masih rendah yaitu 0,14 L/g VSS dengan kadar metan 51,5% (Purwati, dkk., 2006). Lebih halnya dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Gijzen et al. (2005) dan Diminer et al (2008) yang menjelaskan bahwa pengolahan lumpur biologi secara digestasi anaerobik dua tahap lebih efektif daripada satu tahap. Digestasi anaerobik dua tahap dilakukan dengan memisahkan proses asidogenesis dengan proses melanogenesis. Pemisahan tersebut dilakukan karena adanya perbedaan kondisi optimum dari aktivitas bakteri pada masing-masing tahap proses,

Bakteri asidogenesis lebih efektif bekerja pada kondisi pH 5,2 – 6,5, sedangkan bakteri melanogenesis efektif pada pH 7,5 – 8,5 (Solera, et al., 2002). Diminer et al. 2008, menjelaskan bahwa bakteri asidogenesis akan memberi daya degradasi lebih tinggi dan lebih cepat pada suhu termofilik (55-60°C) dibanding pada suhu mesofilik, sehingga suplai asam organik (VFA) untuk proses melanogenesis dapat maksimal dan menghasilkan gas metan dengan konsentrasi tinggi. Thomas, 2003, menjelaskan bahwa dari pengolahan limbah lumpur 2000 kg/hari dengan asumsi 75% tervolatil dan 50% dari limbah tervolatil tersebut dapat dikonversi menjadi gas metan. Dengan dasar 1 pound limbah tervolatil menghasilkan 15 cfm gas, maka limbah lumpur 2000 kg/hari tersebut diajas akan dihasilkan gas metan 487 liter/menit.

Keuntungan yang akan diperoleh bagi industri kertas yang mengolah limbah lumpurnya secara digestasi anaerobik, selain mengatasi masalah pengelolaan limbah lumpur, dihasilkan juga produk biogas yang dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif (Diminer et al., 2008). Atas dasar uraian tersebut di atas, maka penelitian pengolahan limbah lumpur biologi industri kertas dengan proses anaerobik dua tahap telah dilakukan. Lingkup kegiatan penelitian ini mengkaji kondisi operasi dan efisiensi proses digestasi anaerobik dua tahap yang dilakukan dalam 2 digester terpisah yaitu (1) proses hidrolisis-asido-genesis pada pH 5 dan suhu termofilik; (2) proses melanogenesis pada pH 7 dan suhu mesofilik. Seluruh kegiatan penelitian dilakukan di Balai Besar Pulp dan Kertas Bandung pada skala laboratorium dengan percobaan sistem batch.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan penelitian adalah limbah lumpur biologi dari sistem pengolahan air limbah proses lumpur aktif di industri kertas berbahan baku campuran kertas bekas dengan virgin pulp di daerah Serang. Limbah lumpur diambil dari bak penampung endapan lumpur aktif yang akan dibuang (Waste Activated Sludge/WAS). Proteinase untuk hidrolisis limbah diperoleh dari PUSLIT KIMIA LIPI-Serpong. Sumber biomassa bakteri untuk proses asidogenesis

dan melanogenesis diperoleh dari kotoran kambing dari daerah Cimahi.

Peralatan yang digunakan pada penelitian terdiri dari 30 set rangkaian digester asidogenesis yang masing-masing terdiri dari botol digester volume 2500 mL yang dilengkapi dengan inkubator suhu 55-60°C, botol penampung gas volume 500 mL dan botol penampung air volume 600 mL. Selain itu, digunakan juga 30 set digester metanogenesis yang rangkaianya sama dengan digester asidogenesis. Peralatan pendukung lain yang digunakan adalah kontainer penampung limbah lumpur, kontainer penampung hasil olahan proses hidrolisis dan asidogenesis, reaktor untuk aklimatisasi biomassa bakteri asidogenesis dan metanogenesis, serta alat ukur suhu, dan pH serta botol-botol sampel biogas.

Metode

Penelitian dilakukan di Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK) Kementerian Perindustrian Bandung Tahun 2009. Lingkup penelitian meliputi (1) karakterisasi limbah lumpur biologi; (2) aklimatisasi biomassa bakteri; (3) percobaan digestasi anaerobik dua tahap; (4) evaluasi data dan penetapan kondisi optimum; (5) perancangan digester anaerobik dua tahap untuk percobaan proses kontinyu. Penjelasan dari masing-masing lingkup penelitian adalah sebagai berikut :

Karakterisasi Limbah Lumpur Biologi

Karakterisasi limbah lumpur meliputi kadar abu; kadar organik total, kadar padatan total, protein, lemak, selulosa, COD total, COD larutan, selulosa, pH serta kandungan nutrisi (C-total, N-total, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, S, Na, Cl, Fe, Mn, B); kandungan logam berat (Cr, Zn, Cu, Cd, Ni, Co, Pb). Metoda analisa mengacu pada standard Methode AWWA-APHA, 2005 dan SNI 2004.

Aklimatisasi Biomasa Bakteri

Stok inokulum biomassa bakteri asidogenesis dan metanogenesis diperoleh dari suspensi kotoran kambing yang telah fermentasi selama ± 30 hari. Stok inokulum bakteri asidogenesis dikondisikan pada pH 5 dan diberi substrat limbah lumpur pada konsentrasi rendah yang meningkat secara bertahap.

Sedangkan stok inokulum bakteri metanogenesis dikondisikan pada pH 7 dan diberi substrat campuran molase, asam asetat dan filtrat keluaran dari proses asidogenesis. Proses aklimatisasi dilakukan selama 3 bulan.

Percobaan Digestasi Dua Tahap

Percobaan proses digestasi anaerobik dua tahap dilakukan dengan sistem batch. Masing-masing tahap percobaan adalah sebagai berikut :

a. Proses Hidrolisis – Asidogenesis

Percobaan proses hidrolisis-asidogenesis dilakukan terhadap limbah lumpur biologi dengan kadar padatan 2%. Percobaan dilakukan dalam botol digester volume 2500 mL dengan volume total larutan percobaan 2000 mL (Gambar 1).

Konsentrasi	Waktu penyaringan (menit) Hasil NaHS (ppm)					
	30	60	90	120	150	180
Na ₂ CO ₃ , 5 %	560	1073	1375	1840	2072	2130
Na ₂ CO ₃ , 7,5 %	1232	2100	2588	2995	3483	3645
Na ₂ CO ₃ , 10%	1982	2859	3280	3469	3875	4122
Na ₂ CO ₃ , 11%	2912	3659	4195	4609	5017	5125

Gambar 1. Rangkaian digester asidogenesis

Kondisi proses percobaan ditentukan sesuai kondisi optimum bakteri asidogenesis yaitu pH 5 dan suhu 55-60°C (Diminer, et al. 2008). Variasi perlakuan percobaan adalah sebagai berikut :

- waktu tinggal : 2; 4; 6 hari
 - suspensi mikroba : 150 ; 300; 450 (mL/L)
- Masing-masing perlakuan dilakukan 3 ulangan. Pada setiap perlakuan ditambahkan proteinase 47,6 mg/g VS lumpur, sesuai dosis optimumnya. Kondisi anaerobik dipertahankan dengan mengaliri gas N₂ selama ± 1-2 menit pada awal percobaan. Pengocokan limbah lumpur pada masing-masing botol dilakukan setiap hari. Parameter pengamatan terdiri dari Volatile Fatty Acid (VFA), pH dan protein larut.

b. Proses Metanogenesis

Percobaan proses metanogenesis dilakukan terhadap cairan (supernatan) dari hasil proses hidrolisis-asidogenesis pada kondisi optimumnya. Percobaan dilakukan dalam botol digester volume 2500 mL dengan volume total larutan percobaan 2000 mL. Kondisi proses

percobaan ditentukan sesuai kondisi optimum bakteri metanogenesis yaitu pH 7 dan suhu mesofilik ($\pm 26^{\circ}\text{C}$) dengan variasi perlakuan sebagai berikut :

• waktu tinggal	: 10, 20, 30 (hari)
• suspensi mikroba	150, 150,300,450 (mL/L)

Masing-masing perlakuan dilakukan 3 ulangan. Percobaan dilakukan pada kondisi anaerobik dengan mengalirkan gas N₂ selama \pm 1-3 menit pada awal percobaan setelah botol-botol perlakuan ditutup rapat tanpa ada kebocoran. Parameter pengamatan proses metanogenik meliputi jumlah biogas dan konsentrasi gas metana (CH₄) serta kualitas effluen (COD total).

Penentuan Kondisi Optimum

Pengolahan data percobaan tahap hidrolisis-asidogenesis dan tahap metano-gensis dilakukan dengan cara menganalisis korelasi antara parameter yang diamati terhadap masing-masing variasi perlakuan percobaan. Kondisi optimum proses hidrolisis-asidogenesis ditentukan berdasarkan nilai VFA tertinggi, sedangkan proses metanogenesis ditentukan berdasarkan kadar metan tertinggi.

Rancangan Digester Proses Kontinyu

Perancangan digester proses kontinyu dihitung berdasarkan data kondisi optimum. Perancangan dibagi atas 3 tahapan yaitu :

- Tahap pemilihan jenis digester yang ditentukan berdasarkan jenis limbah yang akan diolah terutama konsentrasi padatannya; teknik operasi dan kinerja digester.
- Tahap penentuan kapasitas desain yang ditentukan berdasarkan kelayakan dalam pengadaan limbah secara kontinyu dalam periode waktu penelitian tertentu.
- Tahap penentuan spesifikasi, ditentukan atas dasar kondisi operasi optimum yang diperoleh dari percobaan batch. Variabel penting yang digunakan adalah waktu tinggal dan laju beban organik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Lumpur Biologi

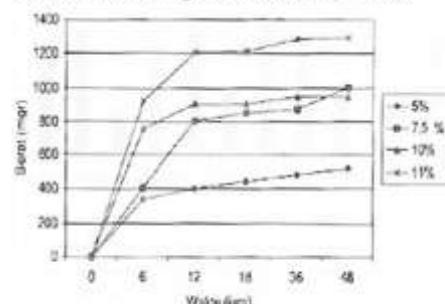
Data karakteristik Limbah lumpur biologi industri kertas dapat dilihat pada Tabel 1. Limbah lumpur

biologi yang diperoleh dari industri kertas belum melalui proses pemekatan (*thickening*), sehingga masih encer dengan kadar padatan total rata-rata 1,2 %. Kisaran nilai tersebut, masuk dalam kisaran kadar padatan dalam limbah lumpur biologi pada industri kertas di Canada yaitu 1-2% (Elliott, 2007). Tingginya kadar air (98,63%) pada limbah lumpur akan membuat rancangan digester menjadi sangat besar, sedangkan kadar padatan yang digunakan pada pembuatan biogas berkisar 5-6% (Elliott, 2007). Alas dasar hal tersebut perlu dilakukan pemekatan lebih dahulu.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Lumpur

Konsentrasi	Waktu Bio-desulfurasi (jam)					
	0	6	12	18	36	48
5 %	0	344,11	405,28	441,94	489,31	519,88
7,5 %	0	405,63	803,21	850,57	879,65	1003,37
10 %	0	788,63	938,63	909,63	951,23	946,11
11 %	0	925,28	1209,54	1211,03	1287,49	1288,91

Lumpur biologi didominasi oleh biomassa mikroba yang komponennya didominasi dengan bahan organik (50,56%). Bahan organik yang terkandung dalam limbah lumpur lebih banyak mengandung protein dibandingkan komponen polisakarida (selulosa) dan lemak. Kadar protein kering limbah lumpur biologi IPAL industri kertas sekitar 19,65% sedangkan lemak hanya 0,59% dan selulosa hanya 0,23% (Tabel 1). Karakteristik tersebut, menunjukkan kecenderungan komposisi yang sama dengan limbah lumpur biologi industri kertas yang diteliti oleh Wood (2008) yang menunjukkan nilai protein 22-52%, lemak 2-10% dan selulosa 2-8%. Tingginya kandungan protein dalam limbah lumpur biologi IPAL industri kertas, juga sama dengan yang dikemukakan oleh Ferguson (1991), yaitu sekitar 13 - 59,4 g/kg. COD terlarut berbanding COD total yaitu 0,21, yang artinya komponen organik dalam limbah lumpur lebih didominasi oleh organik kompleks yang bersifat tersuspensi. pH limbah lumpur menunjukkan netral (6,6), yang relatif sama dengan nilai pH limbah lumpur biologi industri kertas yang diteliti oleh Wood (2008) yaitu sekitar 5,5 - 7 dan yang diteliti oleh Elliott (2007) yaitu sekitar 6,0 - 7,6.

Tabel 2. Kandungan Unsur-Unsur Hara

Komposisi kandungan unsur hara dalam limbah lumpur biologi industri kertas dapat dilihat pada Tabel 2. Kandungan unsur-unsur hara tersebut merupakan unsur-unsur yang tersedia untuk kehidupan bakteri anaerobik. Bakteri anaerobik memerlukan unsur-unsur hara makro yang terdiri dari N, P, K, S, Ca, Mg dan unsur-unsur hara mikro yang terdiri dari Fe, Ni, Co, Mo, Zn, Mn, Cu (Medhat, 2004).

Unsur-unsur hara tersebut sebagian besar sudah tersedia dalam limbah lumpur biologi industri kertas (Tabel 2), sehingga pada percobaan proses digestasi tidak diperlukan penambahan unsur-unsur tersebut, terutama unsur unsur hara mikro. Pada Tabel 2, tampak bahwa kandungan unsur C-total (0.7%) dan N-total (0.05%) sangat rendah dan tidak sejalan dengan kandungan organik (protein, COD total) pada Tabel 1.

Hal tersebut dapat diartikan bahwa senyawa organik karbon dan nitrogen dalam lumpur terikat dalam bentuk organik kompleks sehingga belum tersedia sebagai unsur hara makro yang mudah diserap oleh kehidupan termasuk bakteri anaerobik (Elliott, 2007), sehingga perlu disederhanakan terlebih dahulu melalui proses hidrolisis (Solera, et al., 2002; Mshandete, 2007; Wood, 2008). Dalam produksi biogas, bakteri metanogenesis memerlukan nutrisi C : N : P = 100 : 2,5 : 0,5 (Medhat, 2004).

Selain mengandung unsur-unsur hara yang bermanfaat untuk mendukung kehidupan bakteri anaerobik, limbah lumpur biologi IPAL industri kertas juga mengandung kontaminan berupa logam berat. Logam berat seperti besi, nikel dan kobalt dalam jumlah kecil diperlukan

untuk pertumbuhan bakteri metanogenesis (Medhat, 2004), tetapi pada konsentrasi yang tinggi akan mempunyai efek toksik. (www.rat.africa-web.org).

Tabel 3. Logam Berat dalam Limbah Lumpur dan batasan toleransi mikroba

Konsentrasi	Waktu dalam reaktor (jam)					
	0	5	12	18	36	48
5% Na_2CO_3	0	216,8	287,7	313,8	347,4	369,1
7,5% Na_2CO_3	0	308,4	522,1	603,9	650,9	712,4
10% Na_2CO_3	0	523,5	673,4	682,5	684,9	682,6
11% Na_2CO_3	0	656,9	858,8	896,2	914,1	915,1

* The Biogas Technology in China, BRTC, China 1989

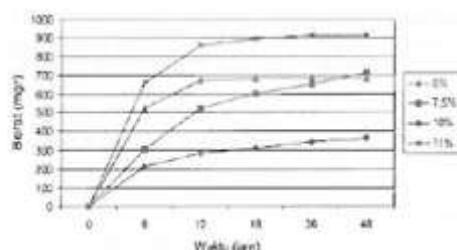
Berdasarkan data logam berat tersebut, menunjukkan bahwa limbah lumpur biologi IPAL industri kertas tidak menyebabkan efek negatif terhadap kehidupan mikroba anaerobik, karena semua hasil uji logam berat menunjukkan nilai yang jauh lebih rendah dari konsentrasi batas toksik dan penghambatan (Tabel 3). Namun demikian untuk mendapatkan hasil yang optimal, perlu dilakukan proses aklimatisasi terhadap mikroba anaerobik.

Digestasi Anaerobik Dua Tahap Proses

a. Hidrolisis-Asidogenesis

Beban organik pada percobaan proses hidrolisis-asidifikasi ditentukan berdasarkan perhitungan kadar *volatile solid* (VS) dari lumpur sebagai substrat dan penambahan VS suspensi mikroba sebagai pengurai selama satuan waktu tinggal.

Berdasarkan perhitungan beban organik limbah lumpur terhadap mikroba, menunjukkan bahwa dengan variasi waktu tinggal 2 - 6 hari berada pada kisaran 0,23 - 3,19 g VS lumpur/g VS mikroba, hari atau 1,97 - 9,12 g VS lumpur / L. Hari (Gambar 1).



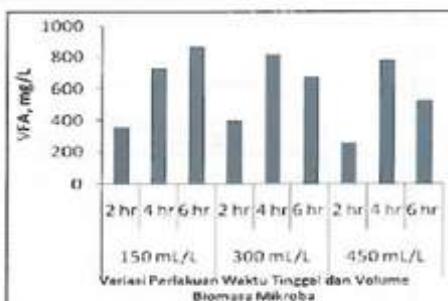
Gambar 1. Kondisi Operasi Asidogenesis

Limbah lumbur biologi yang mengandung banyak nitrogen-protein, dihidrolisis dengan protease yang memiliki aktivitas sekitar 2000 unit/g. Protease bekerja pada kisaran suhu optimum 50-70°C dan pH optimum 4,5-7. Protease berperan dalam menghidrolisis protein kompleks menjadi asam amino dan peptida yang mudah larut di air (Gallert & Winter, 2005).

Proses hidrolisis limbah lumbur biologi pada suhu tinggi menyebabkan pecahnya sel mikroba, sehingga terjadi pelepasan bahan organik dari sel (Solera *et al.*, 2002). Kondisi tersebut menyebabkan konsentrasi bahan organik terlarut dalam limbah menjadi lebih tinggi. Selain itu, juga menyebabkan terbentuknya flok yang saling mengikat kuat dan bersifat hidrofobik, sehingga lumbur menjadi mudah mengendap.

Hasil pengendapan lumbur setelah proses hidrolisis-asidogenesis diperoleh 40% v/v endapan lumbur dan 60% v/v supernatan. Supernatan yang dihasilkan mengandung protein yang bersifat mudah larut yang merupakan substrat bagi mikroba asidogenesis (Gallert & Winter, 2005). Proses asidogenesis merupakan proses penguraian bahan organik monomer menjadi asam organik sebagai asam asetat (CH_3COOH), hidrogen (H_2) dan karbon dioksida (CO_2) oleh bakteri anaerobik fakultatif (Gallert & Winter, 2005). Selain asam asetat, juga dihasilkan asam butirat, asam propionat yang keseluruhannya terdeteksi di parameter analisa VFA (Solera *et al.*, 2002).

Terbentuknya VFA pada proses asido-genesis, merupakan salah satu indikator aktifitas bakteri asidogenesis (Gallert & Winter, 2005). Hasil percobaan proses asidogenesis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Konsentrasi VFA rata-rata

Proses asidogenesis termofilik pada perlakuan mikroba 150 mL/L menunjukkan adanya peningkatan konsentrasi VFA sampai hari ke 6, namun pada perlakuan mikroba 300 mL/L dan 450 mL/L menunjukkan kecenderungan yang berbeda yaitu menurun pada hari ke 6. Atas dasar hal tersebut maka kondisi terbaik dari proses asidogenesis termofilik adalah pada konsentrasi mikroba 300 mL/L dengan waktu tinggal 4 hari. Pada kondisi tersebut, keseimbangan antara jumlah substrat lumbur dan jumlah mikroba memberikan kondisi optimum bagi berlangsungnya proses biodegradasi dan dekomposisi senyawa organik menjadi asam organik.

Dari hasil percobaan proses hidrolisis-asidogenesis, diperoleh laju pembebaan organik optimum adalah 0,66 g VS lumbur/g VS mikroba.hari atau 3,76 g VS lumbur/L.hari. Beban organik tersebut lebih rendah dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Diminer *et al* (2008) yang menunjukkan nilai 6,5 g VS/L.hari. Perbedaan tersebut kemungkinan disebabkan oleh aktivitas mikroba yang berbeda.

Proses Metanogenesis

Percobaan proses metanogenesis merupakan lanjutan dari proses hidrolisis-asidogenesis dengan substrat yang digunakan adalah supernatan hasil proses hidrolisis-asidogenesis. Beban organik dihitung berdasarkan konsentrasi COD terlarut supernatan (5,6 g/L), VS suspensi mikroba (4,1 g/L) dan waktu tinggal dalam digester (10, 20 dan 30 hari). Hasil perhitungan beban organik menunjukkan bahwa percobaan proses metanogenesis

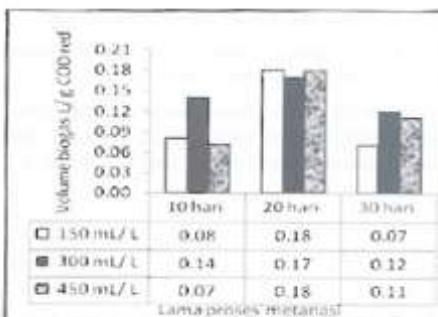
berlangsung pada kisaran 0,11-1,5 g COD/g VS mikroba, hari atau 0,27-1,25 g COD/L.hari (Gambar 3).



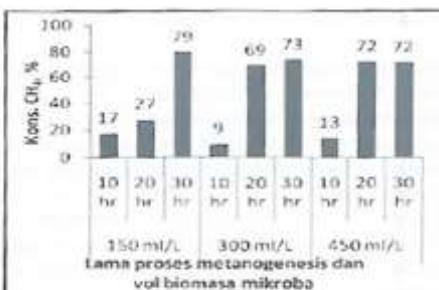
Gambar 3. Kondisi Operasi Metanogenesis

Keberhasilan proses metanogenesis tergantung pada aktivitas mikroba metanogenesis dalam merubah asam asetat menjadi gas CH₄ dan gas CO₂ (Solera. et al., 2002).

Berdasarkan data pengukuran volume biogas dari beberapa perlakuan beban organik dan waktu retensi, menunjukkan bahwa waktu retensi 20 hari memberi produksi biogas optimum dengan volume rata-rata 0,13 L/g VS lumpur atau 0,16 L/g CODred . Jumlah tersebut relatif sama antar perlakuan jumlah mikroba 150 mL/L, 300 mL/L maupun 450 mL/L (Gambar 4).



Gambar 4. Volume Biogas Hasil Proses Metanogenesis



Gambar 5. Konsentrasi gas metana Hasil proses Metanogenesis

Komposisi biogas hasil proses anaerobik, umumnya mengandung gas metan (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂), dan sejumlah kecil gas H₂S, NH₃, H₂, dan N₂ (Mshandete, 2007). Energi yang terkandung dalam biogas tergantung dari konsentrasi gas metan (Solera. et al., 2002). Semakin tinggi kandungan gas metan maka semakin besar kandungan energi (nilai kalor) pada biogas,

dan sebaliknya semakin kecil kandungan metan semakin kecil nilai kalor. Hasil percobaan proses metanogenesis menunjukkan bahwa produksi gas metan ter-tinggi berkisar antara 69 – 79% (Gambar 5).

Tabel 4. Kualitas Efluen Metanogenesis

Mikroba	RT (hari)	COD total rata-rata *	
		mg/L	% Red
150 mL/L	10	1263	76.7
	20	1020	82.6
	30	730	82.9
300 mL/L	10	1128	78.7
	20	891	82.6
	30	610	78.6
450 mL/L	10	1291	78.7
	20	1014	82.8
	30	509	78.6

* COD awal 5939 mg/L

COD total air limbah hasil olahan proses metanogenesis dari masing-masing perlakuan Dengan demikian pengolahan efluen metanogenesis masih diperlukan. Salah satu cara yang praktis untuk pengolahan efluen tersebut adalah dikembalikan ke bak equalizer IPAL untuk diolah lanjut sampai memenuhi syarat baku mutu lingkungan.

Perancangan reaktor Digestasi

Digestasi anaerobik dua tahap yang terdiri dari unit hidrolisis-asidogenesis dan unit melanogenesis dioperasikan pada kondisi optimum dari masing-masing proses yang terdiri dari temperatur, pH, waktu tinggal dan beban organik (Ke & Shi, 2005). Permodelan sistem kontinyu dirancang untuk mendapatkan data-data yang lebih representatif sehingga dapat diaplikasikan secara komersial di industri.

Tabel 5. Kondisi Optimum Proses Digestasi Anaerobik Dua Tahap

Parameter	Satuan	Nilai
1. Proses Hidrolisis- Asidogenesis		
Vol. bakteri	ml/L lumpur	300
Waktu tinggal	hari	4
Suhu termofilik	°C	50 - 55
Beban organik		
*lumpur	g VS/g VS mo hr	0,66
*volumetrik	g VS/L hari	3,76
1. Proses Metanogenesis		
Vol mikroba	ml/L	150
Waktu tinggal	hari	20
Suhu mesofilik	°C	25 - 30
Beban organik		
*lumpur	g VS/g VS mo hr	0,32
*volumetrik	g COD/L hari	0,81
Produksi biogas	L/g VS lumpur	0,13
	L/g CODred	0,16

Ket : Mo = mikroba

Berdasarkan hasil evaluasi data-data percobaan proses hidrolisis-asidogenesis dan proses metano-genesis sistem batch, diperoleh kondisi optimum yang secara rinci dapat dilihat pada Tabel 5 diatas.

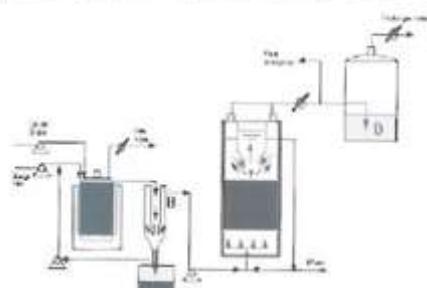
Perancangan digester proses kontinyu dihitung untuk kapasitas pengolahan 40 L lumpur/hari dengan kadar total solid (TS) 2%. Konfigurasi digester hidrolisis-asidogenesis yang digunakan adalah *continuously stirred tank with solid recycle (contact process)* atau CSTR/SR. Sedangkan konfigurasi digester metanogenesis yang digunakan adalah *Upflow Anaerobic Sludge blanket (UASB)* dengan kapasitas pengolahan supernatan hasil proses asidogenesis. Dasar pemilihan masing-masing tipe digester tersebut adalah sebagai berikut :

1. Pemilihan digester CSTR/SR adalah
 - kontak antara lumpur (substrat) dan mikroba meningkat, sehingga waktu tinggal mikroba dan padatan menjadi lebih lama.
 - distribusi lumpur dari pencampuran dalam tanki lebih homogen terutama distribusi suhu,
 - dilengkapi dengan sistem pengendapan untuk memisahkan padatan dari cairannya.
2. Pemilihan tipe digester UASB adalah :
 - waktu kontak antara substrat dan mikroba lebih lama,
 - dapat dioperasikan pada beban tinggi
 - tidak perlu digunakan pengadukan
 - dilengkapi sistem yang memisahkan gas dari partikel padatan.

Hasil perhitungan dimensi digester dan tanki pengendap dapat dilihat pada Tabel 6 dan rancangannya dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 6. Rancangan digestor Anaerobik Dua tahap

Kategori	Unit	Parameter dasar	Hasil referensi
I. Digestor Hidrolisis-asidogenesis			
I	Digestor CSTR/GI	Debit besar : Q = 40 liter/h	
		waktu tinggal : t = 4 hari	
		VOL reaktor : V = 160 liter	
		diameter : d = 55 cm	
		tinggi : h = 75 cm	
II	Peralatan	Agitator : 60 rpm	
		termometer : 50 - 55°C	
		pompa air : 25 - 50 mmHg	
		titik car : 60% v/v	24 liter
II	Tanki pengendap	Jenis pada : 40% v/v	18 liter
		Return sludge : 70% v/v	10 L/hari
		debit air : q = 50 L/hari	
		rekukasional : 1 kali	
		volume : 10 L	
III	Peralatan	debit air : 15-20 mmHg	
		pompa return sludge : 5-10 mmHg	
I. Reaktor Metanogenesis			
I	Reaktor UASB	Debit air : q = 24 liter	
		Waktu tinggal : t = 20 hari	
		VOL reaktor (V) : 160 liter	
		Diameter : d = 60 cm	
		Tinggi : h = 170 cm	
II	Pembuatan gas	Debit gas : q = 2.5 l	
		Waktu tinggal maks : t = 4 hari	
		VOL tanki : 30 L	
		Diameter : 20 cm	
		Tinggi : 45 cm	
III	Peralatan	Pompa air	
		Pompa sirkulasi	



Gambar 6. Rancangan Digestasi Anaerobik Dua Tahap Proses Kontin

Keterangan :

- A : Digestor asidogenesis
- B : Tanki pengendap
- C : reaktor metanogenesis
- D : Tanki penampung biogas

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengolahan lumpur biologi IPAL industri kertas secara digestasi anaerobik dua tahap yang terdiri dari tahap hidrolisis-asidogenik dan tahap metanogenesis cukup efektif dalam memproduksi biogas.

Tahap hidrolisis-asidogenik dilakukan dalam satu digestor pada pH 5, dosis protease 47,6 mg/g VS lumpur dengan kondisi optimum yang terdiri dari suhu termofilik 55 - 60°C, beban organik 3,76 g VS/lumpur/L.hari atau 0,66 g VS/lumpur/g VS mikroba.hari dan waktu tinggal 4 hari.

Tahap metanasi dilakukan pada suhu mesofilik (26-29°C), pH 7 dengan kondisi optimum yang terdiri dari beban organik 0,81 g COD/L.hari atau 0,32 g COD/g VS mikroba.hari dan waktu tinggal 20-30 hari menghasilkan biogas sekitar 0,13 L/g VS/lumpur atau 0,16 L/g CODred dengan kadar gas metan (CH_4) 68 - 79% dan mampu mereduksi COD sampai 78 - 82%.

Ucapan Terima kasih

Terima kasih disampaikan kepada Dirjen Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai pelaksanaan penelitian ini melalui Program Insentif Riset untuk Peneliti dan Perekayasa LPND dan LPD Tahun Anggaran 2009.

Daftar Pustaka

- Deminer et al., Two phase thermophilic and mesophilic methanogenesis anaerobic digestion of waste activated sludge., *Env Engineering Science.*, Vol. 25., No. 9., 1291 - 1300. 2008.
- Ferguson, K., 1991. *Environmental Solutions for The Pulp and Paper Industry*. Miller Freeman., San Francisco. USA.
- Elliott, A., Talat Mahmood, Pretreatment Technologies for Advancing Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Biotreatment Residues. *Water Research* No. 41 , 4273 – 4286. 2007
- Gallert, C & Winter, J. 2005. *Bacterial Metabolism in Wastewater Treatment System*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA. Weinheim. ISBN 3-527-30585-8.

- HJ Gijzen et al., Anaerobic degradation of papermill sludge in a two-phase digester. *Journal Biotech.* 2005.
- Kharistya. Teknologi digester. Tersedia dalam kharistya.wordpress.com., 2004.
- Ke Shizhou., Zhou Shi. Applications of Two-Phase Anaerobic Degradation in Industrial wastewater Treatment. *J. Environmental and Pollution.*, Vol. 23, No. 1. 2005
- Medhat.M.A; Saleh; Usama F.M; Anaerobic Digestion Technology for Industrial Wastewater Treatment; *Eighth International Water Technology Conference. IWTC 8.* Alexandria. Egypt. 2004.
- Mshandele, A.M. Lovisa. B., Amelia.K.K., Mugassa S., Thomas, R., Bo, M. Two Stage Anaerobic Digestasi of Aerobic Pre-Treated Sisal Leaf Decortications Residues : Hydrolases Activities and Biogas Production Profile. *African Journal of Biochemistry Research.* Vol. 2 (11), 211-218. 2008
- Nils Holgerssongymnasiet, Skurup, Sweden. Biogas chemistry, tersedia dalam www. rat.africa-web.org/biogas
- Purwati S., Rina S. Soetopo, Setiaji, Yusup Setiawan., Potensi dan Alternatif Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas. *Berita Selulosa.* Vol. 41, No. 2, 67-79. 2006.
- Purwati S., Rina. S. Soetopo, Produksi Biogas dan Pupuk Organik Hasil Digestasi Anaerobik Limbah Lumpur IPAL Industri Kertas. *Berita Selulosa.* Vol. 41, No. 1. 30 – 36. 2006.
- Solera, R.; I., Romero, D. Sales., The Evolution of Biomass in a Two-Phase Anaerobic Treatment Process During Start-Up. *Chem. Biochem. Eng.Q.* Vol. 16 No. 1. 25-29. 2002.
- Thomas. *Anaerobic Digester Methane to Energy. Focus On energy.* Mc mahon Associates.Inc. Wisconsin. Hal 4-6. 2003..
- Wood, Nicholas., Pretreatment of Pulp Mill Wastewater Treatment Residues to Improve Their Anaerobic Digestion. Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, Thesis. 2008