

**EFEKTIVITAS PROSES KONTINYU DIGESTASI ANAEROBIK
DUA TAHAP PADA PENGOLAHAN LUMPUR BIOLOGI INDUSTRI KERTAS**
*THE EFFECTIVITY OF CONTINUOUS PROCESS OF TWO-STAGE ANAEROBIC DIGESTION ON
BIOLOGICAL SLUDGE TREATMENT OF PAPER INDUSTRY*

Rina. S. Soetopo, Sri Purwati, Yusup Setiawan, Krisna Adhytia.W.

Balai Besar Pulp dan Kertas
bbpk@bbpk.go.id, rnsusilowati@yahoo.com

ABSTRAK

Penelitian digestasi anaerobik dua tahap pada limbah lumpur biologi industri kertas telah dilakukan dengan menggunakan reaktor kontinyu. Tahap pertama yaitu proses asidifikasi dilakukan pada suhu termofilik (55°C), pH 5 dengan penambahan protease sebanyak 5 mg/g VS lumpur. sedangkan proses metanogenesis dilakukan sebagai tahap kedua pada suhu mesofilik (suhu kamar, 25 – 28°C) dan pH 7. Variasi percobaan adalah waktu retensi yaitu 4; 3; 2; 1 hari untuk proses asidogenesis, sedangkan variasi waktu retensi untuk proses metanogenesis adalah 20, 10, 5, 1 hari. Karakteristik limbah lumpur IPAL biologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah kadar padatan total 4,3 %, bahan organik 52,1 %; kadar abu 47,9%; kadar protein 19,7%, kadar lemak 0,4% dan kadar selulosa 0,23 % yang secara visual sulit mengendap. Hasil percobaan menunjukkan bahwa reaktor asidogenik dapat dioperasikan dengan waktu retensi 1 hari pada beban organik 7,2 – 8,2 g. VS lumpur/g. VS mikroba, hari yang dapat menghasilkan peningkatan kadar VFA rata-rata 152 % dengan laju pembentukan VFA rata-rata 12,27 g VFA/kg VS, hari. Sedangkan pengoperasian reaktor metanasi (UASB) terbaik pada waktu retensi 5 hari dapat menurunkan COD terlarut sampai 52,21% dan menghasilkan biogas sampai 15,82 L/hari atau 0,66 – 2,38 L/gr COD; *removed* dengan kandungan CH₄ = 50,4 – 64,1% dan CO₂ = 18 – 30%. Dari penelitian proses digestasi anaerobik ini dihasilkan produk samping berupa lumpur yang mengandung unsur-unsur hara yang memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai kompos.

Kata kunci : lumpur biologi, digestasi anaerobik, asidifikasi termofilik, metanogenik, biogas

ABSTRACT

Investigation on the two stage anaerobic digestion of paper mill biological sludge has been done. The first stage that is the acidification process was carried out at thermophilic condition of 55°C and pH of 5 with addition of 5 mg protease / g VS sludge. While the methanogenesis process was carried out at mesophilic condition, of 25 - 28°C and pH of 7. The retention time of asidogenesis process and methanogenesis process was varied at 1 - 4 days, and 1 – 20 days, respectively. Biological sludge used in this study contain total solids of 4.3%, organic matter of 52.1%; ash content of 47.9%; protein of 19.7%; fat content of 0.4% and cellulose of 0.23%. Result shows that on the retention time of 1 day and organic load of 7.2 to 8.2 g.VS sludge/g.VS microbes.day. The asidogenic reactor could increase VFA up to 152% with the rate of VFA formation is 12.27 g VFA/kg VS.day. While metanogenic reactor operated on the retention time of 5 days could reduce dissolved COD up to 52.21%. The rate of biogas production up to 15.82 L/day or 0.66 - 2.38/g dissolved COD removed with the content of CH₄ = 50.4 to 64.1% and CO₂ = 18 - 30% could be obtained. By products of this anaerobic digestion in the form of containing nutrients could be used as compost.

Keywords: biological sludge, anaerobic digestion, thermophilic acidification, metanogenic, biogas

PENDAHULUAN

Penerapan teknologi produksi bersih pada sistem daur ulang serat dan air proses di industri kertas akan mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik air limbah dan sistem pengolahannya. Karakteristik air limbah cenderung menjadi lebih banyak mengandung polutan organik terlarut dibandingkan polutan tersuspensi, sehingga sistem pengolahan air limbah yang paling

tepat adalah cara biologi. Permasalahan yang dihadapi adalah terbentuknya hasil samping pengolahan air limbah berupa lumpur (*sludge*) Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang kandungan utamanya terdiri dari biomasa mikroba yang bersifat voluminus dengan kadar padatan rendah ± 1 - 2 %. Sifat lumpur tersebut, sulit dihilangkan airnya dan tidak efektif diolah dengan cara dipekatkan dan dipress,

sehingga dapat menimbulkan masalah pada penanganannya.

Dalam upaya perlindungan lingkungan yang penerapannya mengacu UU RI No. 32 Tahun 2009 tentang “Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan” yang makin ketat, diperlukan suatu metoda pengolahan limbah yang dapat memberikan alternatif pemecahan penanganan *lumpur* yang juga dapat memberikan nilai tambah. Industri kertas menghasilkan *lumpur* IPAL dalam jumlah besar yaitu sekitar 0,3 - 1,0 m³/ton produk dengan dasar kadar padatan 1 - 3 %. *Lumpur* ini umumnya mengandung senyawa organik 60 – 85 % yang terdiri dari karbon total 20,3 %, nitrogen total 0,95 %, dengan C/N ratio 21,36 (Purwati, 2006). Berdasarkan sifat fisik dan komposisinya, maka pengolahan limbah *lumpur* IPAL proses biologi dengan teknologi proses digestasi anaerobik merupakan salah satu solusi.

Proses digestasi anaerobik merupakan proses fermentasi bahan organik oleh aktivitas bakteri anaerob pada kondisi tanpa oksigen bebas dan merubahnya dari bentuk tersuspensi menjadi terlarut dan biogas (Siddharth, 2006). Komposisi biogas yang dihasilkan didominasi gas metan ± 65% - 75% (Kharistya, 2004), sehingga dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Selain dihasilkan biogas, dihasilkan pula endapan lumpur berupa *slurry* yang dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk tanaman. Efluen dari proses digestasi anaerobik, umumnya sudah lebih mudah diolah.

Tulisan ini melaporkan hasil penelitian proses pengolahan *lumpur* IPAL industri kertas digestasi anaerobik dua tahap sistem kontinyu yang merupakan pengembangan dari penelitian sistem *batch* (Rina *et.al.*, 2010). Pada sistem kontinyu ini mengaplikasikan kondisi optimum yang diperoleh dari proses *batch* sebagai dasar rancangan peralatan dan kondisi operasi pada penelitian proses kontinyu. Dari hasil Evaluasi efektivitas proses kontinyu digestasi anaerobik dua tahap termofilik – mesofilik dan inventarisasi faktor-faktor teknis yang berperan dalam proses, maka dapat digunakan sebagai dasar pengoperasian

digestasi anaerobik *lumpur* IPAL skala pabrik. Banyak manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian digestasi anaerobik ini, baik ditinjau dari aspek teknis maupun lingkungan yaitu dapat membantu industri kertas dalam mengatasi permasalahan pengelolaan lumpur IPAL biologi serta dapat mengurangi efek pemanasan global (*global warming*). Ditinjau dari aspek ekonomi, teknologi proses ini dapat diterapkan pada industri kertas di Indonesia dengan memanfaatkan potensi lumpur IPAL sebagai sumber energi terbarukan dan produk kompos.

METODA PENELITIAN

Bahan dan Peralatan

Bahan penelitian adalah lumpur IPAL proses biologi lumpur aktif dari industri kertas berbahan baku campuran kertas bekas dan pulp. Lumpur diambil dari bak penampung endapan lumpur aktif yang akan dibuang (*Waste Activated Sludge/WAS*). Enzim yang digunakan adalah *proteinase* dari *papain* dengan aktivitas 1200 U/g diperoleh dari LKT LIPI Serpong. Inokulum bakteri diperoleh dari reaktor anaerobik kotoran ternak di Lembang-Bandung.

Peralatan yang digunakan terdiri dari dua reaktor yaitu reaktor asidogenik volume 75 L dengan konfigurasi reaktor *continously stirred tank with solid recycle* (CSTR/SR) dilengkapi tanki pengendap lumpur dan reaktor metanogenik volume 200 L dengan konfigurasi reaktor *Upflow Anaerobic Sludge blanket* (UASB). Peralatan tersebut dilengkapi pompa, stirer, tanki umpan, tanki penampung biogas dan tanki penampung efluen. Peralatan pendukung lain yang digunakan adalah peralatan uji biodegradasi dan alat ukur suhu dan pH serta botol-botol sampling biogas.

Metoda

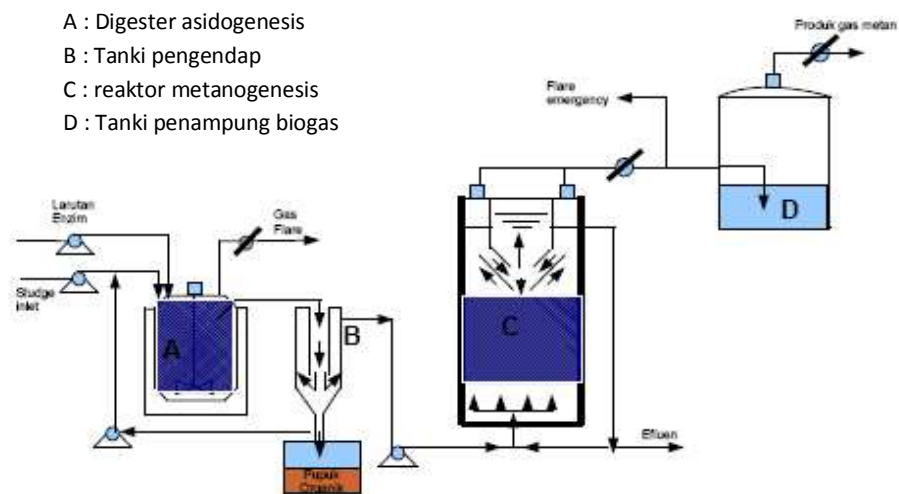
Penelitian dilakukan di Laboratorium pengolahan air limbah Balai Besar Pulp dan

Kertas (BBPK) Tahun 2010. Lingkup kegiatan penelitian meliputi (1) karakterisasi lumpur; (2) penyediaan biomassa bakteri; (3) percobaan digestasi anaerobik dua tahap proses kontinyu (4) evaluasi data dan penetapan kondisi optimum. Karakterisasi lumpur meliputi pH, kadar air, zat padat total, kadar abu; protein, lemak, selulosa, VFA, asiditas, kesadahan total, COD total dan COD terlarut. Metoda analisa mengacu pada *standard Methode AWWA-APHA, 2005* dan SNI 2004.

Stok mikroba anaerobik yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari reaktor anaerobik satu tahap yang mengolah kotoran temak di daerah Lembang Kabupaten Bandung. *Stock* mikroba tersebut dibagi dalam 2 (dua) bagian. Satu bagian dipersiapkan untuk stock mikroba asidogenesis, dikondisikan pada pH = 5 dan diberi substrat campuran tepung beras dan gula pasir. Satu bagian lainnya dipersiapkan untuk stock mikroba metanogenik, dikondisikan pada pH = 7 dan

diberi substrat molase. Aklimasi dari masing-masing *stock* mikroba terhadap lumpur dilakukan dengan cara menambah substrat lumpur sedikit demi sedikit sampai akhirnya dapat beradaptasi dengan substrat lumpur 100%. Proses aklimatisasi dilakukan selama 3 bulan. Biomassa mikroba asidogenesis yang telah teradaptasi memiliki kemampuan merubah partikel tersuspensi menjadi terlarut dengan meningkatkan COD terlarut sebesar 12,3 g/kg VS. hari dan meningkatkan kadar *Volatile Fatic Acid* (VFA) sebesar 2,66 g/kg VS.hari. Sedangkan biomassa mikroba metanogenik memiliki kemampuan memproduksi biogas sebesar 0,33 – 0,35 ml/g VS. hari atau 0,004 L/g CODred.

Percobaan digestasi anaerobik dilakukan dengan sistem kontinyu. Diagram alir reaktor digestasi anaerobik dua tahap yang digunakan pada percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir Reaktor Digestasi Anaerobik Dua tahap Proses kontinyu

Tahap pertama adalah percobaan proses asidogenesis dengan keluaran berupa cairan yang dapat dipisahkan dari endapannya. Cairannya digunakan sebagai umpan pada tahap kedua yaitu percobaan proses

metanogenesis, sedangkan sebagian endapannya disirkulasi kembali pada reaktor asidogenik dan sebagian lagi ditampung untuk dianalisa potensinya sebagai pupuk organik.

Tabel 1. Rancangan Penelitian Digestasi Anaerobik Dua Tahap

	Tahapan Percobaan	
	Asidogenesis	Metanogenesis
Umpan	lumpur	Supernatan efluen asidogenesis
enzim	protease	-
Waktu tinggal (hari)	4;3;2;1	20;10;5;1

Tabel 2. Kondisi Operasi pada Percobaan Digestasi Anaerobik

Tahapan	Parameter	Satuan	Nilai	
I. Asidogenesis	Kadar padatan lumpur	%	2	
	Jumlah inokulum (TS 0,5%)	ml/L lumpur	300	
	Waktu retensi volumetrik awal	Hari	4	
	Suhu termofilik	°C	50 - 55	
	Penambahan protease	mg/g.VS lumpur	5	
	Laju pembebanan :			
	• Beban organik lumpur	g VS lumpur/g VS mikroba.hari	2,25	
• Beban organik volumetrik	g VS lumpur/L.hari	3,76		
II. Metanogenesis	Jumlah inokulum (TS 0,5 %)	ml/L supernatan asidogenesis	150	
	Waktu retensi volumetrik awal	Hari	20	
	Suhu mesofilik	°C	25 - 30	
	Laju pembebanan :			
	• Beban organik lumpur	g COD/g VS mikroba.hari	0,32	
• Beban organik volumetrik	g COD/L.hari	0,81		

(Sumber : Rina *et al*, 2010)

Analisa pupuk organik dilakukan di Balai Penelitian Hortikultur Lembang, yang terdiri dari C-total, N-total, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, Zn, dan Cu. Keluaran dari proses metanogenesis adalah biogas dan efluen. Perlakuan percobaan digestasi anaerobik dua tahap proses kontinyu dapat dilihat pada Tabel 1 di atas. Kondisi operasi masing-masing tahap ditentukan sesuai kondisi optimum yang diperoleh dari percobaan proses sistem *batch* pada Tabel 2 di atas (Rina *et.al.*, 2010)

Parameter Pengamatan dan Pengolahan data

Parameter pengamatan proses asidogenesis meliputi VFA. COD terlarut, pH, TS, sedangkan parameter pengamatan proses metanogenesis meliputi laju produksi dan analisa komposisi biogas (CH₄,CO₂,H₂). Selain itu, juga dilakukan analisa potensi endapan (*slurry*) hasil digestasi asidogenesis sebagai kompos yang meliputi sifat fisika-kimia (kadar air, ratio C/N, dan kadar unsur hara makro dan mikro) dan juga dilakukan analisa efluen dari proses metanogenesis

yang meliputi parameter COD, BOD, TSS, dan pH.

Pelaksanaan analisa parameter pengamatan percobaan dilakukan di Balai Besar Pulp dan Kertas, kecuali analisa komposisi biogas dengan metoda GC di lakukan di ITB jurusan Teknik Kimia. Analisa potensi endapan hasil digestasi asidogenesis sebagai kompos dilakukan di BALITSA Departemen Pertanian Lembang-Bandung. Metoda uji masing-masing parameter pengamatan, mengacu pada *standard methode* AWWA-APHA, 2005 dan SNI 2004-2005.

Pengolahan data proses asidogenesis dan proses metanogenesis dilakukan dengan cara menganalisis korelasi antara parameter yang diamati terhadap variasi perlakuan dari masing-masing tahap percobaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Lumpur Biologi IPAL

Lumpur biologi IPAL yang diperoleh dari pabrik kertas masih encer dengan kadar

padatan total (Total Solids) sekitar 4,3 %. Lumpur ini merupakan biomasa mikroba yang komponennya terdiri dari bahan organik dan anorganik dan memiliki pH netral. (Tabel 3).

Tabel 3. Karakteristik Lumpur Biologi IPAL

No	Parameter	Satuan	Nilai Uji
1	pH	-	6,5
2	Kadar air	%	95,7
3	Zat padat total	%	4,3
4	Kadar Abu	%	47,9
5	Bahan organik	%	52,1
6	Protein	%	19,7
7	Lemak	%	0,4
8	Selulosa	%	0,23
9	VFA	mg/L	28,1
10	Asiditas	mg/L	832
11	Kesadahan total:	mg/L	584
	• Sebagai Ca	mg/L	376
	• Sebagai Mg	mg/L	208
12	COD :		
	• Total	g/L	31,7
	• Terlarut	g/L	0,84

Berdasarkan hasil analisa karakteristik lumpur pada Tabel 3 menunjukkan bahwa kadar padatan total lumpur biologi dari IPAL industri kertas rendah yaitu berkisar 4,3%, dan secara visual lumpur ini sulit mengendap. Hal tersebut disebabkan oleh karakteristiknya yang bersifat voluminous. Ditinjau dari kadar abu, menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu sekitar 47,9%. Tingginya kadar abu ini, kemungkinan berasal dari bahan baku kertas bekas yang banyak mengandung kalsium karbonat dan lain-lain.

Ditinjau dari komponen utama dari lumpur biologi IPAL adalah bahan organik sebesar 52,1% yang banyak mengandung protein yaitu sekitar 19,7%, sedangkan lemak 0,4% dan selulosa 0,23% sangat rendah. Karakteristik lumpur biologi pabrik kertas tersebut, berbeda dengan yang digunakan oleh Wood, 2008 yang menunjukkan komponen bahan organik protein lebih tinggi yaitu kadar protein 22 – 52%, kadar lemak 2-10% dan selulosa 2 – 8%. Perbedaan tersebut terjadi karena Wood, 2008

menggunakan lumpur biologi dari industri pulp dan kertas sedangkan penelitian ini dari industri kertas berbahan baku kertas bekas.

Ditinjau dari nilai COD total dan terlarut, menunjukkan bahwa lumpur ini lebih didominasi oleh bahan organik kompleks yang sifatnya tidak larut dalam air. Hal ini menunjukkan bahwa untuk proses asidogenesis anaerobik, perlu dilakukan penyederhanaan dari pelarutan bahan organik tersebut, yaitu melalui proses hidrolisis. Lumpur biologi IPAL ini mengandung VFA (28,1 mg/L), hal ini menunjukkan bahwa limbah tersebut selama berada dalam tanki penampungannya di pabrik mengalami penguraian secara biologis.

Proses Kontinu Digestasi Anaerobik Dua Tahap Termofilik-Mesofilik

A. Proses Kontinu Asidogenesis

Proses kontinu digestasi anaerobik lumpur biologi IPAL pabrik kertas dalam penelitian ini diawali dengan proses asidogenesis. Lumpur biologi sebagai umpan dengan kadar padatan sekitar 2% dipersiapkan dengan cara menambahkan protease 10 unit/g. VS lumpur atau 5 mg/g. VS dan pengaturan pH pada pH 5. Tanki umpan dilengkapi dengan agitator putaran 40 rpm yang dioperasikan secara kontinu untuk pencampuran protease dan menjaga homogenitas umpan lumpur. Lumpur dialirkan kontinu ke dalam reaktor digestasi termofilik suhu 55°C dengan pompa. Aliran pompa diatur sesuai dengan perlakuan waktu retensi yang ditetapkan mulai dari awal 4 hari kemudian diturunkan bertahap 3 hari, 2 hari sampai mencapai 1 hari. Jumlah biomassa mikroba yang ditambahkan dalam tanki asidogenesis adalah 300 ml/L dengan kadar VS sekitar 2%. Proses asidogenesis merupakan proses penguraian bahan kompleks organik tersuspensi menjadi monomer organik terlarut yang kemudian diurai menjadi asam-asam organik volatile sebagai asam asetat (CH_3COOH), hidrogen (H_2) dan karbon dioksida (CO_2) oleh bakteri anaerobik fakultatif. Selain asam asetat, dapat pula dihasilkan asam butirat, asam

propionat yang keseluruhannya dapat terdeteksi di parameter analisa *Volatle Fatic Acid* (VFA). Parameter VFA tersebut dapat dijadikan salah satu indikator terjadinya proses asidogenesis.

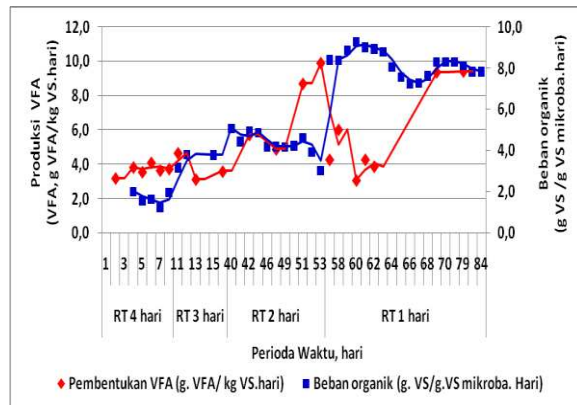
Proses asidogenesis merupakan penguraian bahan organik melalui pemecahan sel mikroba yang merupakan komponen terbesar dalam lumpur. Pecahnya sel mikroba tersebut menyebabkan lepasnya bahan organik dari sel dan terurai menjadi lebih sederhana yang merupakan substrat bagi mikroba asidogenesis (Thompson, 2008). Terurainya bahan organik tersebut dapat tampak dari meningkatnya parameter VFA, COD terlarut dan menurunnya kadar TS yang terkandung dalam supernatan, serta ditunjukkan pula dari parameter pH yang menurun. Hal tersebut, sejalan dengan Paramsothy *et al*, 2004 yang menjelaskan bahwa proses hidrolisis - asidogenesis sangat dipengaruhi oleh banyak faktor yang antara lain pH, temperatur, komposisi dan ukuran partikel dari substrat

1. Parameter VFA

VFA merupakan hasil biokonversi senyawa organik polimer menjadi monomer pada proses asidogenesis. Pada Gambar 1 terlihat adanya peningkatan kadar VFA yang cukup tinggi pada semua perlakuan waktu retensi Di awal pengoperasian reaktor dengan waktu retensi 4 hari yang berlangsung pada beban organik antara 1,3 - 2,0 g VS lumpur/g VS mikroba, hari menunjukkan peningkatan kadar VFA rata-rata dalam supernatant 693 (583 - 792) %. Berdasarkan kadar padatan organik lumpur yang diumpankan ke dalam reaktor, laju pembentukan VFA rata-rata adalah sebesar 4,04 (3,19 - 5,74) g. VFA / kg VS lumpur, hari. Nilai tersebut lebih tinggi dari hasil uji biodegradasi 3,28 g.VFA/kg VS lumpur.hari., yang artinya kinerja asidogenesis proses kontinyu berlangsung baik.

Sejalan dengan perlakuan mempersingkat waktu retensi atau memperbesar laju beban organik, menunjukkan adanya penurunan efisiensi. Hal tersebut tampak pada waktu retensi 3 hari dan makin menurun pada waktu

retensi 2 hari. Namun dengan berjalannya waktu sampai hari ke 53, secara perlahan menunjukkan adanya peningkatan kadar VFA sampai hari ke 84 dengan waktu retensi 1 hari. Keunggulan dari reaktor kontinyu dibandingkan reaktor batch adalah bahwa makin lama perioda pengoperasian reaktor, maka akan makin teraklimatisasi kehidupan mikroba yang akhirnya berpengaruh kepada aktivitas dan stabilitas proses. Kinerja reaktor asidifikasi yang dioperasikan dengan padatan organik lumpur yang makin tinggi, secara bertahap dari 1,3 sampai 8,2 g. VS lumpur/g.VS mikroba. hari dapat meningkatkan kemampuan metabolisme mikroba sehingga menghasilkan kinerja proses lebih stabil. Hal ini dapat dilihat dari data peningkatan beban terhadap laju pembentukan VFA yang berlangsung selama perioda operasi 84 hari (Gambar 2).



Gambar 2. Produksi VFA pada Proses Kontinyu Asidogenesis

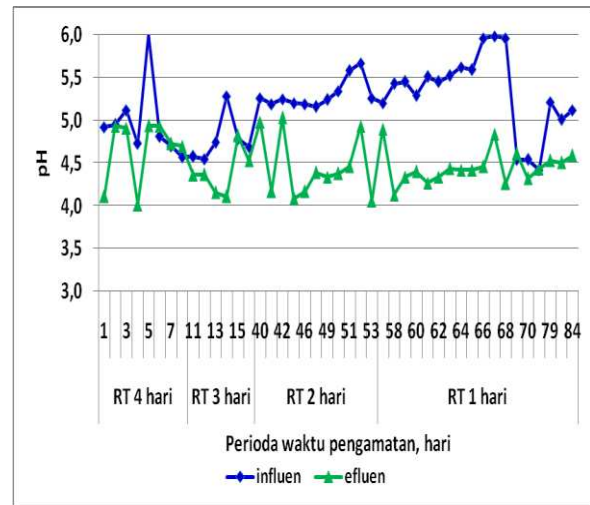
Pada gambar tersebut terlihat bahwa kenaikan beban per g. VS mikroba.hari dari 1,3 – 2,0 g. VS lumpur ke 3,2 – 3,8 g. VS lumpur telah menurunkan laju pembentukan VFA rata-rata dari 4,04 g VFA/kg. VS, hari menjadi 2,79 g VFA/kg VS, hari. Namun kemudian sejalan dengan makin lama proses asidogenesis dan teraklimatisasinya mikroba, menunjukkan laju pembentukan VFA menjadi stabil bahkan meningkat cukup nyata. Pada pengoperasian reaktor dengan waktu retensi 1 hari yang berlangsung pada beban 7,2 – 8,2 g. VS lumpur/g. VS mikroba, hari dapat meningkatkan kadar

VFA rata-rata 144 % selama 16 hari dengan laju pembentukan VFA rata-rata 7,7 g VFA/kg VS, hari. Peningkatan laju pembentukan VFA tersebut sejalan dengan peningkatan beban organik, didukung oleh penelitian Wijekoon, 2011. Dengan demikian pengoperasian reaktor asidifikasi pada waktu retensi 1 hari mampu memberikan kinerja dan stabilitas proses cukup tinggi.

2. Parameter pH

Salah satu indikator keberhasilan pembentukan VFA pada proses asidogenesis ditunjukkan dengan menurunnya nilai pH. Untuk mengoptimalkan laju proses telah dilakukan pengaturan terhadap pH lumpur sebelum diumpankan pada reaktor. Perubahan pH selama 84 hari proses asidogenesis dapat dilihat pada Gambar 3. Pada gambar tersebut tampak adanya perbedaan antara pH inlet dengan pH outlet yang terjadi pada seluruh perlakuan waktu retensi dari 4 hari hingga 1 hari. Data pH menunjukkan bahwa semakin tinggi peningkatan kadar VFA, maka penurunan nilai pH *relative* makin besar pula.

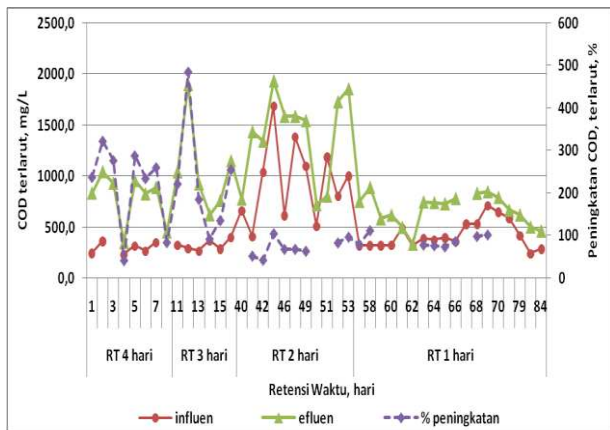
Hasil ini didukung oleh hasil monitoring loganholme dalam Munch, 1998 yang menunjukkan terjadinya peningkatan nilai VFA (sebagai asam asetat) seiring dengan penurunan nilai pH pada *different plant flow* yang digunakan. Selain itu hasil penelitian Bengtsson, 2008 .juga menunjukkan bahwa produksi VFA akan menurun seiring dengan makin rendahnya nilai pH dengan pH optimum berada pada kisaran 5,5 – 6.



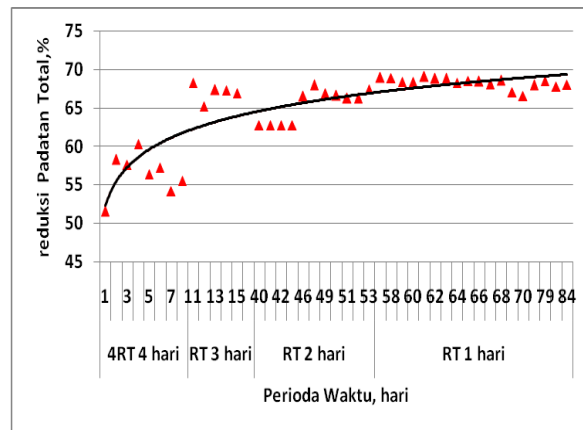
Gambar 3. pH Influen – Efluen pada Proses Kontinyu Asidogenesis 3. Parameter COD dan Padatan Total (TS)

Proses hidrolisis yang terjadi dalam digester asidifikasi dapat meningkatkan biokonversi organik kompleks polisakarida dalam fraksi tersuspensi menjadi organik monosakarida sebagai fraksi larut. Fraksi larut tersebut selanjutnya dimetabolisme oleh mikroba asidogenesis menjadi VFA. Salah satu indikator terjadinya proses asidifikasi adalah meningkatnya COD larut dalam supernatan yang selanjutnya sebagai umpan reaktor metanasi atau reaktor tahap 2.

Peningkatan COD larut dapat dilihat dari perbedaan nilai COD larut dalam lumpur sebagai umpan reaktor asidifikasi dan COD larut (influen) dalam supernatan sebagai olahan asidifikasi (efluen) dapat dilihat pada Gambar. 4.



Gambar 4. COD Terlarut pada Proses Kontinyu Asidogenesis



Gambar 5. Persen Reduksi Padatan pada Proses Kontinyu Asidogenesis

Percobaan proses asidifikasi dengan perlakuan waktu retensi makin singkat dari 4 hari hingga 1 hari, secara keseluruhan menunjukkan adanya peningkatan kadar COD larut. Hal ini mengindikasikan terjadinya biokonversi fraksi tersuspensi menjadi fraksi terlarut yang didominasi oleh terbentuknya senyawa asam-asam organik volatil (VFA). Nilai VFA dan COD terlarut maksimal yang didapat dari penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian Yuan, 2010 .yang dapat menghasilkan nilai VFA-COD maksimal 2154 mg/L dari *mixed reactor*, hanya saja dilakukan pada suhu 24,6 dengan waktu retensi 6 hari.

Meningkatnya kadar COD larut, sejalan dengan menurunnya kadar padatan total (TS) seperti terlihat pada Gambar 5. Dibandingkan kadar padatan lumpur 43200 mg/L (4,3%), kadar padatan dalam supernatan berkisar antara 5200 – 7600 mg/l, yang berarti efektifitas proses asidogenesis dalam mereduksi TS antara 45 – 68% (Gambar 5).

Menurunnya kadar TS tersebut merupakan indikator terjadinya biokonversi secara enzimatik dan aktivitas asidogenesis yang merubah fraksi tersuspensi menjadi fraksi larut sebagai supernatan yang terpisahkan dari sisa-sisa fraksi tersuspensi yang berupa lumpur yang terendapkan dalam tanki pengendap. Sebagian padatan tersuspensi yang tidak dapat mengendap sebagai lumpur, akan terbawa dalam aliran supernatan yang merupakan umpan reaktor metanasi. Endapan lumpur yang sebagian disirkulasi kembali ke reaktor (70% V/V) dan sisanya sebanyak 30% V/V memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai kompos atau pupuk organik. Kadar padatan lumpur tersebut menunjukkan peningkatan dibandingkan kondisi lumpur sebelum mengalami proses digestasi. Kadar TS endapan lumpur proses asidogenesis meningkat sampai sekitar 200% yaitu dari TS ± 2% menjadi ± 6%. Berdasarkan hasil analisa, endapan lumpur tersebut dapat dimanfaatkan sebagai kompos dengan kualitas yang telah memenuhi syarat standar kompos menurut SNI 19-7030-2004 (Tabel 4.).

Tabel 4. Kualitas Kompos sebagai Hasil Samping Proses Asidogenesis

Parameter	unit	Ha sil	Persyaratan Kompos	
			*SNI	Perhut ani
Kadar padatan	%	6	-	-
pH	-	8,1	6.8 - 7.49	6.6 - 8.2
Organik C	%	9,18	9.8 - 32	14.5 - 27.1
N- total	%	0,84	0.4	0.6 - 2.1
C/N ratio	-	11	10 - 20	10 - 20
P2O5	%	1,12	0.1	0.3 - 1.8
K2O	%	0,02	0.2	0.2 - 1.4
CaO	%	4,77	-	2.7 - 6.2
MgO	%	0,95	-	0.3 - 1.6
Zn	mg/kg	77	500	513 - 2015
Cu	mg/kg	28	100	-

* SNI 19-7030-2004 ; Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik

B. Proses Kontinyu Metanogenesis

Proses metanogenesis merupakan proses lanjutan dari proses asidogenesis. Percobaan proses metanogenesis dilakukan di dalam reaktor UASB kapasitas 200L. Pada start-up percobaan, ke dalam reaktor UASB dimasukkan biomassa mikroba metanogenik sebanyak 15% V/V atau 30 L. Umpam yang digunakan adalah supernatan dari hasil proses asidogenesis yang telah ditampung terlebih dahulu di dalam tangki umpam reaktor UASB dan dinetralkan pH nya. Karakteristik umpam proses metanogenesis dapat dilihat pada Tabel 5.

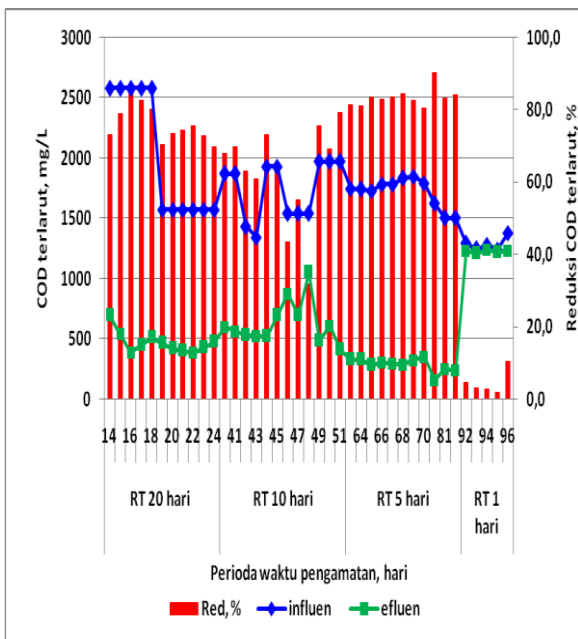
Tabel 5. Karakteristik umpam metanogenesis

No.	Parameter	unit	Nilai rata-rata
1	pH	-	6,53 (5,84 – 7,52)
2	COD terlarut	mg/L	1.757 (1.242 – 2.579)
3	TSS	mg/L	268 (77 – 480)

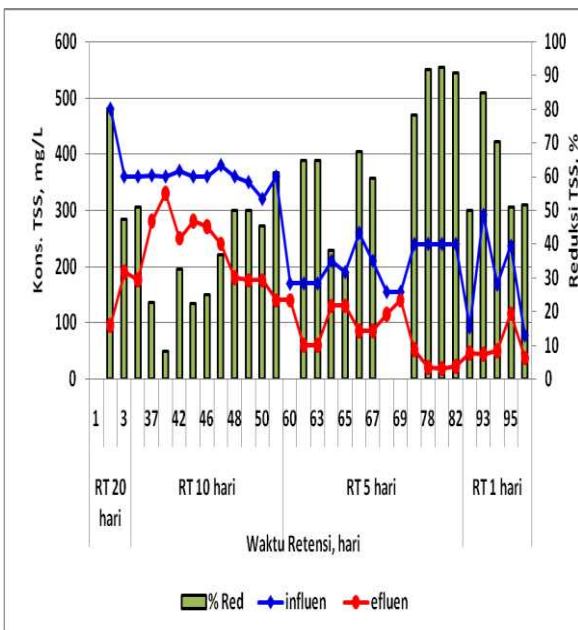
Ke dalam umpam tersebut ditambahkan NaHCO_3 sebanyak 2.500 mg/ L yang berfungsi sebagai buffer untuk mencegah terjadinya perubahan pH yang rendah. Makronutrisi dari urea sebagai sumber N dan H_3PO_4 sebagai sumber P ditambahkan juga ke dalam umpam dengan perbandingan COD : N : P = 350 : 7 : 1.

Pada proses metanogenesis ini, VFA yang terbentuk pada tahap asidogenesis akan diurai menjadi gas metan (CH_4) dan CO_2 oleh bakteri metanogenik pada kondisi anaerobik obligat. Keberhasilan proses metanogenesis dapat diketahui dari tereduksinya COD terlarut dan TSS serta tingginya gas metan yang dihasilkan. Pengoperasian reaktor UASB pada tahap awal dilakukan berdasarkan data kondisi optimum dari hasil percobaan proses *batch* yang telah dilakukan pada tahun 2009 yaitu dengan waktu retensi 20 hari. Pada waktu retensi tersebut debit umpam reaktor UASB dialirkan dengan pompa sebesar 7 ml/ menit. Pengoperasian reaktor UASB dilakukan dengan waktu retensi awal 20 hari yang kemudian dipersingkat secara bertahap menjadi 10 hari, 5 hari sampai 1 hari.

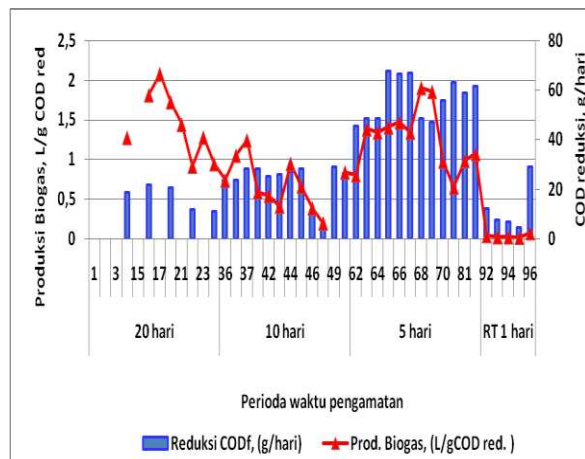
Percobaan metanogenesis berlangsung pada beban organik rendah ke beban tinggi 0,1 – 0,5 kg COD_f/m³.hari dengan waktu retensi 20 hari dipersingkat sampai 1 hari, dengan lama percobaan selama 3 bulan. Selama perioda waktu tersebut, proses metanogenesis pada reaktor UASB secara berangsur-angsur dapat meningkatkan kinerja menjadi lebih baik. Peningkatan tersebut dapat diketahui dari menurunnya COD terlarut. Penurunan COD terlarut dapat dilihat pada Gambar 6, yaitu sebesar 1,9 – 90 % dengan konsentrasi efluen COD_f 160 – 1.240 mg/L. Selain menurunkan COD larut, proses metanogenesis juga menurunkan TSS sebesar 8 - 92% dengan konsentrasi TSS efluen 18 - 330 mg/L (Gambar 7) dan juga menghasilkan biogas sebesar 3,1 – 15,8 L/hari atau 0,01 – 2,08 L/gr COD_f reduksi (Gambar 8) yang mengandung CH_4 = 12 - 64% dan CO_2 = 1,3 – 45% (Gambar 9).



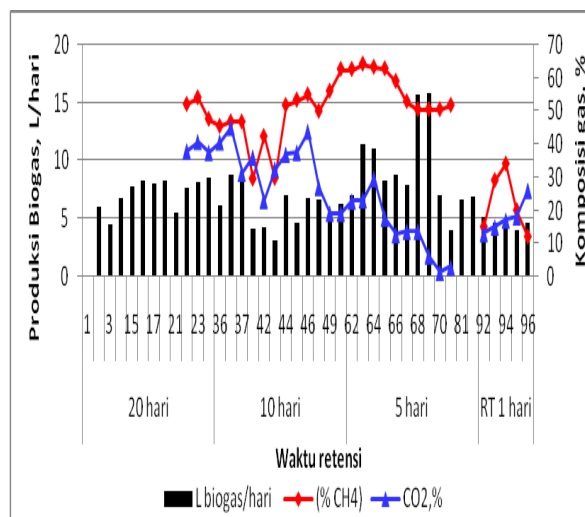
Gambar 6. Efisiensi Reduksi CODf Proses Metanogenesis pada berbagai Waktu Retensi



Gambar 7. Efisiensi Reduksi TSS Proses Metanogenesis pada berbagai Waktu Retensi



Gambar 8. Biogas yang Terbentuk pada Metanogenesis pada berbagai Waktu Retensi



Gambar 9. Biogas yang Terbentuk dan Komposisi Hasil Proses Metanogenesis

Pada hari ke 26 sampai ke 55, waktu retensi pengoperasian reaktor UASB dipersingkat menjadi 10 hari dengan debit 14 ml/menit dan beban organik 0,141 – 0,187 kg CODf/m³.hari. Karakteristik air limbah yang diolah pada beban tersebut yaitu COD terlarut = 1.639 – 1.868 mg/L dan TSS = 210 – 1.120 mg/L. Pada kisaran beban tersebut proses metanasi dapat menurunkan COD terlarut sebesar 25,25 – 83,90% dengan konsentrasi efluen CODf = 283 – 1.052 mg/L, menurunkan TSS = 14 -

75% dengan konsentrasi TSS effluen = 175 - 330 mg/L (Gambar 7) dan dapat menghasilkan biogas sebesar 0,76 – 6,81 L/hari atau 0,03 – 0,94/gr CODf *removed* (Gambar 8) yang mengandung CH₄ = 29,5 – 62,6% dan CO₂ = 19 – 45% (Gambar 9.).

Pada hari ke 56 sampai ke 86, waktu retensi pengoperasian reaktor UASB dipersingkat lagi menjadi 5 hari dengan debit 28 ml/menit dan beban organik 0,052 – 0,136 kg CODf/m³.hari (Gambar 6). Karakteristik air limbah yang diolah pada beban tersebut adalah COD terlarut = 261 – 678 mg/L dan TSS 80 – 410 mg/L. Pada kisaran beban tersebut di atas proses metanasi dapat menurunkan COD terlarut sebesar 15,12 – 52,21% dengan konsentrasi effluen CODf = 160 – 402 mg/L dan menurunkan TSS = 32 - 82% dengan konsentrasi TSS = 18 - 175 mg/L (Gambar 7) serta menghasilkan biogas sebesar 4,07 – 15,82 L/hari atau 0,66 – 2,38/gr CODf *removed* (Gambar 8) dengan kandungan CH₄ = 50,4 – 64,1% dan CO₂ = 18 – 30% (Gambar 9). Efisiensi reduksi COD terlarut pada waktu retensi 5 hari lebih rendah daripada yang dihasilkan dengan waktu retensi 10 hari, akan tetapi jumlah biogas yang dihasilkannya lebih tinggi dengan kadar CH₄ = 50 – 64%. Kandungan CH₄ dalam biogas yang dihasilkan nampaknya sudah optimal mengingat digestasi lumpur hasil penelitian yang dilaporkan oleh Polprasert (1989) dan Ros et. al.(2003) menghasilkan kadar CH₄ berkisar antara 55 – 70%. Demikian juga Siddharth, 2006 menjelaskan bahwa kadar CH₄ yang dihasilkan dari proses anaerobik umumnya berkisar antara 50 – 60%. Sedangkan Kharistya, 2004 menjelaskan bahwa komponen biogas yang dihasilkan dari proses digestasi anaerobik didominasi gas metan (65% - 75%). karbondioksida (25% - 30%) dan beberapa gas lain (nitrogen, hydrogen, hydrogen sulfide dan oksigen) dalam jumlah lebih kecil dari 1%. Berdasarkan data-data hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa waktu retensi 5 hari masih menunjukkan hasil terbaik.

KESIMPULAN

- Lumpur biologi IPAL industri kertas memiliki karakteristik sebagai berikut : kadar padatan total = 4,3%, bahan organik = 52,1%, kadar abu = 47,9%, kadar protein = 19,7%, lemak = 0,4% dan kadar selulosa = 0,23%. Karakteristik lumpur demikian berpotensi untuk diolah dengan proses digestasi anaerobik.
- Pengolahan lumpur dengan digestasi anaerobik dua tahap mampu mengubah senyawa organik tersuspensi menjadi senyawa terlarut yang berubah menjadi biogas yang mengandung gas metan cukup tinggi dan endapan lumpur yang mengandung unsur-unsur hara yang memenuhi syarat untuk dijadikan sebagai produk kompos.
- Kondisi optimum proses asidogenesis adalah pH sekitar 5, suhu termofilik (55°C), dengan dosis optimum protease adalah 5 mg/ g VS lumpur.
- Kondisi pengoperasian digester asidogenesis terbaik adalah : waktu retensi 1 hari dan beban organik 7,2 – 8,2 g. VS lumpur/g. VS mikroba, hari. Efisiensi peningkatan kadar VFA rata-rata dalam supernatan 144 % atau laju pembentukan VFA rata-rata 7,7 g VFA/kg VS, hari.
- Kondisi pengoperasian proses metanasi dengan reaktor UASB yang terbaik adalah pH sekitar 7, suhu mesofilik, dan waktu retensi 5 hari. Efisiensi penurunan COD terlarut 15,12 – 52,21% dan menghasilkan biogas sebesar 4,07 – 15,82 L/hari atau 0,66 – 2,38/gr CODf reduksi dengan konsentrasi CH₄ = 50,4 – 64,1% dan CO₂ = 18 – 30%.

SARAN

Ucapan Terima Kasih Disampaikan Kepada Komite Nasional Riset Terpadu (KNRT) 2010 yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa Tahun 2010.

DAFTAR PUSTAKA

- Bengtsson, Simon ; Hallquist, Jakob; Werker, Alan; Welander, Thomas. 2008. Acidogenic Fermentation of Industrial Wastewater : Effect of Chemostat Retention Time and pH on Volatile Fatty Acid Production. *Biochemical Engineering Journal* 40 (2008) 492-499
- Krariyaya. 2004. *Teknologi digester*. kharistya.wordpress.com
- Lise Appels, Jan Baeyens, Jan Degre`ve, Raf Dewil. 2008. Principles And Potential Of The Anaerobic Digestion Of Waste-Activated Sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* 34 755-781
- Munch, Elisabeth. V, Greenfield, Paul.F. 1998. Estimating VFA Concentrations in Prefermenters By Measuring pH. *Wat.Res.* Vol.32, No.8, pp.2431-2441, 1998.
- Purwati S. Rina. S. Soetopo. 2006. Produksi Biogas dan Pupuk Organik Hasil Digestasi Anaerobik Limbah sludge IPAL Industri Kertas. *Berita Selulosa*. Vol. 41. No. 1. 30 – 36.
- Paramsothy, 2004. *Optimizing Hydrolysis/Acidogenesis Anaerobic Reactor With The Application of Microbial Reaction Kinetic*. University of Peradeniya. *Tropical Agricultural Research* Vol 16: 327-338.
- Polprasert, Chongkrak.1989. *Organic Waste Recycling*, New York, John Willey & Son, Hal. 105 – 144.
- Ros, Milenko and Zupancic, Gregor Drago. 2003. Thermophilic Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge, *Acta Chim.Slov*:50, 35 – 374.
- Rina S. Soetopo; Sri Purwati; Tami Idiyanti; Krisna Adhitya Wardhana. Mukharomah Nur Aini; 2010. Produksi Biogas Sebagai Hasil Pengolahan Limbah Lumpur Industri Kertas Dengan Proses Digestasi Anaerobik Dua Tahap, *Jurnal Riset Industri*. Kemenperin. Jakarta
- Siddharth. S., 2006. Green Energy- Anaerobic Digestion. *Proceedings Of The 4th WSEAS Int. Conf. On Heat Transfer, Thermal Engineering And Environment, Elounda, Greece, August 21-23*, Third Year Chemical Engineering. Sri Venkateswara College Of Engineering Sriperumbudur Anna University. Pp 276-280.
- Thomas. 2003. Anaerobic Digester Methane to Energy. Focus On energy. Mc mahon Associates.Inc. Wisconsin. Hal 4-6.
- Wijekoon, Kaushalya. C; Visvanathan, Chettiyappan; Abeynayaka, Amila. 2011. Effect of Organic Loading Rate on VFA Production , Organic Matter Removal and Microbial Activity of a two stage Thermophilic Anaerobic Membrane Bioreactor. *Bioresource Technology* 102 (2011) 5353-5360.
- Wood. N., 2008. Pretreatment of Pulp Mill Wastewater Treatment Residues To Improve Their Anaerobic Digestion. Thesis. University of Toronto.
- Yuan, Q, Sparling R, Oleszkiewicz,J.A. VFA Generation From Waste Activated Sludge : Effect of temperature and mixing. 2010. *Chemosphere* 82 (2011) 603-607.