

PENGEMBANGAN PROSES DIGESTASI ANAEROBIK LUMPUR BIOLOGI IPAL INDUSTRI KERTAS UNTUK MENINGKATKAN NILAI EKONOMI PEMANFAATAN LIMBAH

(ANAEROBIC DIGESTION PROCESS DEVELOPMENT OF PAPER MILL BIOLOGICAL SLUDGE OF THE WASTEWATER TREATMENT PLANT (WWTP) TO INCREASE THE ECONOMIC VALUE OF WASTE UTILIZATION)

Rina. S. Soetopo¹, Sri Purwati², Yusup Setiawan³, Krisna Adhitya Wardhana⁴

Balai Besar pulp dan Kertas;

bbpk@bbpk.go.id

ABSTRAK

Penelitian digestasi anaerobik telah dilakukan selama 3 tahun dalam 3 sistem percobaan yaitu digestasi anaerobik satu tahap sistem *batch*; digestasi anaerobik dua tahap sistem *batch* dan sistem kontinyu. Hasil percobaan menunjukkan bahwa teknologi digestasi anaerobik dua tahap lebih efektif untuk mengolah lumpur biologi IPAL industri kertas. Hasil yang diperoleh dari proses digestasi lumpur biologi adalah dapat mereduksi jumlah lumpur sampai 88% dengan kadar padatan meningkat dari 2% ke 6% serta sisa efluen yang lebih mudah diolah. Berdasarkan kajian teknoekonomi pengolahan lumpur dengan digestasi anaerobik dua tahap, dapat menghemat biaya operasional sebesar 18% dan diperoleh keuntungan lain dari produk samping biogas sebanyak 1,75 L/g VS.hari dan pupuk organik sebanyak 25 kg/g VS.hari.

Kata kunci : *Lumpur biologi, asidifikasi, metanasi, biogas, pupuk organik*

ABSTRACT

Anaerobic digestion studies have been carried out for 3 years in 3 system of the experiment that are a single stage anaerobic digestion on batch system; two-stage anaerobic digestion on batch and continuous system. The experimental results show that the two-stage anaerobic digestion technology is effective to treat paper mill biological sludge from the WWTP. The results obtained from the biological sludge anaerobic digestion process is able to reduce the amount of sludge up to 88% with solids content increasing from 2% to 6% and the effluent is easier treated. Based on the technoeconomic assessment for paper mill applying the biological sludge treatment with two phases anaerobic digestion, this technology can save operating costs as much as 18%, and it is obtained from the other benefits of the biogas by-products as much as 1.75 L / g VS.day and organic fertilizer of 25 kg / g VS.day.

Key words: *biological sludge, acidification, metanogenic, biogas, organic fertilizer*

BAB I. PENDAHULUAN

Pengelolaan limbah lumpur dari Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) di industri kertas masih menjadi permasalahan yang mengakibatkan penilaian kinerja industri (PROPER) masuk kelompok kriteria kurang baik (merah). Hal ini, umumnya disebabkan penanganan lumpur yang jumlahnya cukup besar membutuhkan biaya pengelolaan yang cukup besar dan ketatnya peraturan lingkungan. Beberapa upaya telah banyak dilakukan oleh industri kertas yang antara lain meningkatkan efisiensi proses produksinya melalui upaya minimisasi limbah. Konsekuensi dari peningkatan efisiensi tersebut menyebabkan perubahan karakteristik air limbah, sehingga sistem pengolahan yang tepat adalah dengan cara biologi. Namun

kendala yang dihadapi adalah terbentuknya lumpur atau yang lebih umum disebut *sludge* yang berupa limbah biomassa mikroba yang bersifat voluminus dengan kadar padatan 1 – 2 %. Sifat lumpur tersebut, sulit dihilangkan airnya sehingga tidak efektif diolah dengan cara dipekatkan (*thickener*) dan dipress (*belt press*), bila tanpa mencampurkan lumpur fisika kimia seperti yang saat ini banyak dilakukan di industri kertas di Indonesia.

Dalam upaya mengantisipasi makin ketatnya peraturan lingkungan diperlukan suatu metoda pengolahan sebagai alternatif pemecahan penanganan lumpur yang dapat memberikan nilai ekonomi dari pemanfaatan limbah menjadi suatu produk. Berdasarkan sifat fisik dan komposisi lumpur biologi tersebut yang didominasi bahan organik dari biomassa mikroba, maka

pengolahan dengan teknologi proses digestasi anaerobik merupakan salah satu solusi yang perlu dikembangkan dan diaplikasikan di industri.

Proses digestasi anaerobik merupakan proses penguraian bahan organik kompleks oleh aktifitas bakteri anaerobik tanpa oksigen bebas menjadi gas metan (60 – 70%), CO_2 (30 - 40%) dan sejumlah kecil H_2S , ammonia, dan senyawa lainnya (Kharistya, 2004). Biogas yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternative pengganti bahan bakar minyak yang dapat diperbaharui. Selain dihasilkan biogas, juga dihasilkan endapan lumpur (*slurry*) yang mengandung unsur-unsur hara sehingga dapat dimanfaatkan langsung sebagai pupuk organik yang memiliki nilai ekonomi. Thomas (2003), menjelaskan bahwa pengolahan lumpur dari IPAL proses biologi yang mengandung organik dengan asumsi 75% ter volatil, lima puluh persen dari jumlah tersebut dapat dikonversi menjadi gas metan.

Penelitian proses pengolahan lumpur biologi dari IPAL industri kertas secara digestasi anaerobik telah dilakukan, baik dengan satu tahap maupun dengan dua tahap. Dari penelitian tersebut menunjukkan hasil olahan dari satu tahap kurang efektif, karena memerlukan waktu retensi yang sangat lama hingga 30 hari. Pengembangan proses dua tahap dilakukan dengan cara mengoptimalkan kondisi masing-masing proses asidifikasi dan proses metanasi pada reaktor yang terpisah. Penelitian proses dua tahap tersebut telah dilakukan selama 2 tahun, dan menunjukkan hasil yang lebih efektif (Rina dkk, 2009 dan Rina dkk, 2010).

Teknologi pengolahan lumpur biologi proses digestasi anaerobik yang perlu dikembangkan adalah proses *continously stirred tank with solid recycle (contact process)* yang umum disingkat CSTR/SR untuk proses asidifikasi. Konfigurasi reaktor ini didasari atas keunggulannya yaitu percampuran antara lumpur (substrat) dengan mikroba dalam tanki lebih homogen, karena adanya sistem recycling dan pengadukan. Sedangkan pengolahan

supernatan hasil proses asidifikasi menggunakan teknologi proses anaerobik yang berkategori high-rate dengan reaktor *up flow anaerobic sludge blanket* (UASB) untuk proses metanasi. Keunggulan dari reaktor UASB adalah terbentuknya lumpur granule dari mikroba yang berkemampuan tinggi sehingga dapat dioperasikan pada beban tinggi, selain memiliki sistem pemisahan fase cair – padatan – gas cukup efektif.

Tulisan ini melaporkan hasil penelitian tentang efektifitas pengolahan limbah lumpur dari IPAL biologi industri kertas dengan cara digestasi anaerobik dua tahap. Hasil penelitian ini dapat memberikan gambaran bagi pihak industri dalam melakukan pengelolaan limbah lumpurnya melalui pemanfaatan sehingga dapat meningkatkan nilai ekonomi limbah. Diharapkan teknologi ini dapat dikembangkan dan diaplikasikan di Industri Pulp dan Kertas di Indonesia.

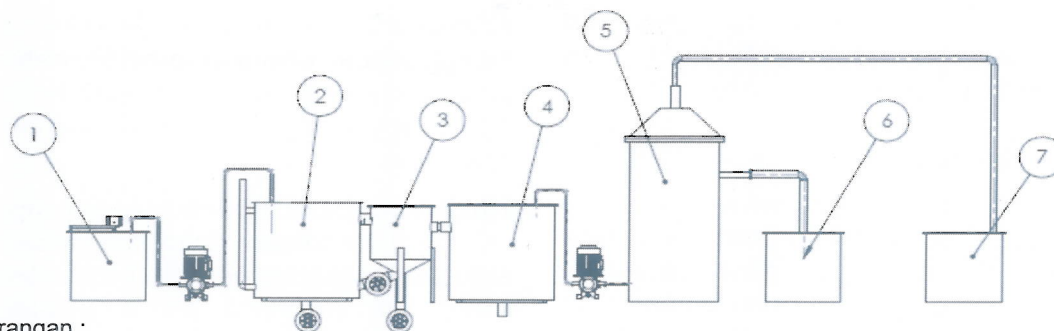
BAB II. METODE PENELITIAN

Bahan

Lumpur biologi yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari pabrik kertas berbahan baku campuran kertas bekas dengan *virgin pulp* di daerah Serang. Inokulum bakteri anaerobik diperoleh dari reaktor anaerobik kotoran ternak di Lembang-Bandung. Enzim proteinase diperoleh dari Pusat Penelitian Kimia LIPI.

Peralatan

Beberapa peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah : Satu rangkaian digester anaerobik volume 10L untuk percobaan digestasi satu tahap skala laboratorium sistem batch; Tiga puluh set rangkaian digester asidifikasi termofilik dan metanasi yang masing-masing memiliki volume 2500 ml dan dilengkapi botol penampung gas volume 500 ml. Peralatan ini untuk percobaan digestasi anaerobik dua tahap skala laboratorium sistem batch; Satu rangkaian instalasi digestasi anaerobik dua tahap sistem kontinyu skala semi pilot yang



Keterangan :

- 1: tanki umpan
- 2: digester asidifikasi (reactor CSTR)
- 3: tanki pengendap lumpur asidifikasi
- 4: tanki penampung effluen asidifikasi
- 5: digester metanasi (reaktor UASB)
- 6: tanki penampung effluen UASB
- 7: tanki penampung biogas

Gambar 1. Diagram Alir Digestasi Anaerobik Dua tahap Proses kontinyu

terdiri dari digester asidifikasi termofilik dengan konfigurasi *continuously stirred tank with solid recycle* (CSTR/SR) volume 75 L dan digester metanasi volume 200 L menggunakan konfigurasi reaktor *Upflow Anaerobic Sludge blanket* (UASB). Diagram alir digester anaerobik proses kontinyu dapat dilihat pada Gambar 1.

Metode

Percobaan yang dilakukan selama 3 tahun di Balai Besar Pulp dan Kertas (BBPK) terbagi dalam 3 tahapan percobaan yang berkesinambungan yaitu :

- a) Percobaan digestasi anaerobik satu tahap skala laboratorium sistem batch

Percobaan dilakukan pada kondisi pH netral dan suhu ruang (pH 7 dan suhu 30°C) dengan perlakuan konsentrasi lumpur biologi (2,5% – 10%) dan suspensi mikroba (2 – 6 g VS/L) . Hasil percobaan digunakan sebagai dasar percobaan digestasi anaerobik dua tahap sistem batch.

- b) Percobaan digestasi anaerobik dua tahap skala laboratorium sistem batch

Percobaan terbagi atas proses asidifikasi yang hasilnya dilanjutkan ke proses metanasi. Masing masing proses

dilakukan pada kondisi suhu dan pH berbeda, yaitu suhu 55°C – 60°C dan pH 5 untuk proses asidifikasi serta suhu ruang (sekitar 28 – 30°C) dan pH 7 untuk proses metanasi. Perlakuan pada proses asidifikasi terdiri dari waktu retensi 3 taraf (2 – 6 hari) dan suspensi mikroba 3 taraf (15 – 45%) dengan masing-masing perlakuan 3 ulangan. Perlakuan pada proses metanasi terdiri dari waktu retensi 3 taraf (10 – 30 hari) dan suspensi mikroba 3 taraf (15 – 45%) dengan masing-masing perlakuan 3 ulangan. Pada setiap perlakuan asidifikasi ditambahkan proteinase 5 mg/ g VS lumpur dengan aktivitas 1200 U/g, sesuai dosis optimumnya.

- c) Percobaan Digestasi Anaerobik Dua Tahap Skala Semi Pilot Sistem Kontinyu.

Percobaan yang merupakan lanjutan dari percobaan skala laboratorium sistem batch dioperasikan pada kondisi optimumnya. Kondisi proses asidifikasi adalah pH sekitar 5, suhu termofilik (55°C - 60°C), ditambah protease sebanyak 5 mg/ g VS lumpur atau 10 unit/g VS lumpur dan suspensi mikroba 30% dengan perlakuan waktu retensi dipersingkat dari 4, 3; 2; 1 (hari). Sedangkan kondisi proses metanasi adalah pH sekitar 7 pada suhu ruang

(mesofilik) dan suspensi mikroba 15% dengan waktu retensi dipersingkat dari 20; 15; 10; 5 (hari).

Parameter Pengamatan

Parameter pengamatan untuk mengetahui keberhasilan proses asidifikasi adalah VFA, sedangkan proses metanasi adalah jumlah biogas dan konsentrasi gas metana (CH_4). Selain itu, dilakukan juga analisa terhadap endapan sisa proses asidifikasi (kandungan unsur-unsur hara) dan efluen proses metanasi (COD, TSS, dan pH). Metoda analisa masing-masing parameter dilakukan mengacu standar SNI atau APHA, 2005.

Pelaksanaan analisa dilakukan di Balai Besar pulp dan Kertas, kecuali analisa endapan sisa proses asidifikasi dilakukan di BALITSA Departemen Pertanian Lembang-Bandung; analisa komposisi biogas dengan metoda GC dilakukan di ITB jurusan Teknik Kimia.

Kajian Teknoekonomi

Data - data hasil percobaan digestasi dua tahap sistem kontinyu digunakan sebagai dasar untuk perhitungan neraca masa dan rancangan operasional proses digestasi anaerobik skala pabrik serta kajian tekno ekonomi.

BAB III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik lumpur Biologi IPAL

Lumpur biologi dari IPAL industri umumnya berupa biomasa mikroba yang komponennya didominasi dengan bahan organik (50,6 – 52,1%) yang lebih banyak mengandung protein (19,7%) dibandingkan komponen selulosa (0,2%) dan lemak yang hanya 0,6% (Rina dkk, 2010; Rina dkk, 2011)

Berdasarkan karakteristiknya, lumpur biologi ini sangat sesuai untuk diolah dengan cara digestasi anaerobik. Hal tersebut didukung pula dari kandungan kontaminan berupa logam berat seperti besi, nikel dan kobalt yang jumlahnya sangat kecil dan jauh lebih rendah dari

konsentrasi batas toksik dan penghambatan (Rina dkk, 2009), sehingga tidak menyebabkan efek negatif terhadap berlangsungnya proses digestasi anaerobik.

Hasil Percobaan Digestasi Anaerobik

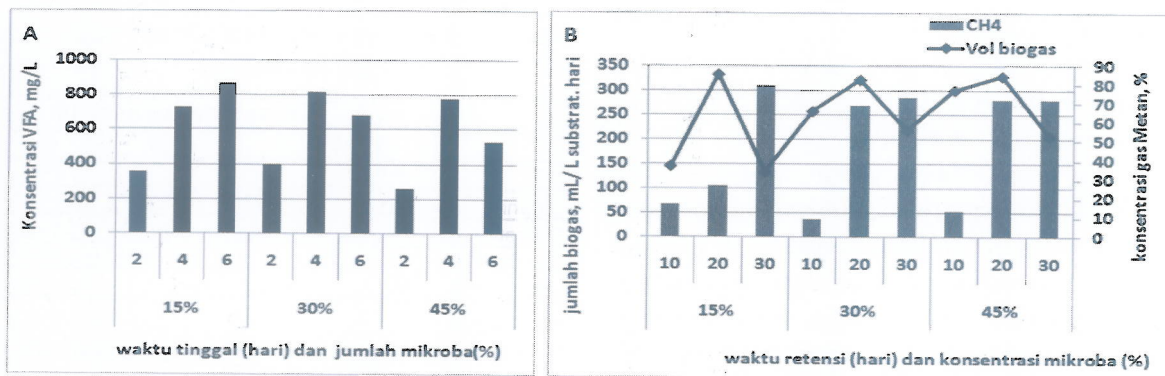
Dari percobaan digestasi anaerobik satu tahap diperoleh kondisi proses terbaik yang berlangsung pada operasi : konsentrasi lumpur 2,5% dan biomassa mikroba 6 g VSS/L dalam waktu retensi 4 minggu (Purwati dkk, 2006). Pada kondisi tersebut diperoleh biogas 0,14 L/g VS dengan kadar metan (CH_4) 51,5%. Sedangkan endapan sisa proses digestasi anaerobik yang memenuhi persyaratan sebagai pupuk organik diperoleh setelah waktu retensi 12 minggu. Keterbatasan dan kelemahan dari digestasi anaerobik satu tahap adalah waktu retensi yang terlalu lama sekitar 1 – 3 bulan, yang disebabkan karena mikroba asidifikasi dan mikroba metanasi berada dalam satu reaktor yang sama, sehingga tidak dapat berperan secara optimal. Kondisi optimum yang berbeda dari mikroba asidifikasi (pH 5) dan mikroba metanasi (pH 7) dapat menghambat aktivitas masing-masing mikroba, dan dengan keberadaan VFA dalam reaktor yang tidak seimbang dapat menyebabkan sistem digestasi anaerobik tidak berjalan (Veeken A. 2005). Untuk mengatasi kelemahan dari proses digestasi anaerobik satu tahap, telah dilakukan penelitian lanjutan yang merupakan pengembangan proses digestasi sistem dua tahap dengan memisahkan antara proses asidifikasi dan metanasi dalam dua reaktor yang berbeda. Pada percobaan ini proses dikembangkan dengan penambahan protease untuk membantu terhidrolisisnya organik kompleks sehingga mudah dikonversi oleh bakteri asidogenesis. Dengan penambahan dosis protease 5 mg/g.VS lumpur (aktivitas 1200U/g) menyebabkan konsentrasi bahan organik terlarut yang terkonversi menjadi VFA menjadi lebih tinggi. Selain itu juga menyebabkan terbentuknya flok yang saling mengikat kuat dan bersifat hidrofobik, sehingga lumpur menjadi mudah mengendap.

Banyaknya VFA yang terbentuk pada proses asidifikasi merupakan salah satu indikator keberhasilan dari proses asidifikasi (Gallert & Winter, 2005). Sedangkan indikator keberhasilan proses metanasi adalah terbentuknya gas CH_4 (Solera. *et al.*, 2002). Hasil percobaan proses digestasi anaerobik dua tahap sistem batch dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa kondisi terbaik dari proses asidifikasi adalah pada konsentrasi mikroba 30% dengan waktu retensi 4 hari, yang diperoleh endapan lumpur 40%v/v dan supernatan 60%v/v. Sedangkan hasil percobaan proses metanasi menunjukkan bahwa produksi biogas dan jumlah gas metana tertinggi diperoleh pada waktu retensi 20 hari dengan

jumlah mikroba 15%. Pada kondisi operasi tersebut, dihasilkan biogas rata-rata 0,13 L/g VS lumpur atau 0,16 L/g CODred dengan konsentrasi gas metana sekitar 69%. Kondisi tersebut menjadi dasar untuk mengoperasikan digestasi anaerobik dua tahap skala semi pilot sistem kontinyu.

Penelitian digestasi anaerobik skala semi pilot sistem kontinyu merupakan pengembangan proses dari sistem batch dengan tujuan untuk menstabilkan dan meningkatkan kinerja proses serta untuk menganalisis kelayakan teknik dan ekonomi untuk aplikasi pada skala pabrik. Hasil percobaan digestasi anaerobik dua tahap sistem kontinyu dapat dilihat pada Gambar 3.

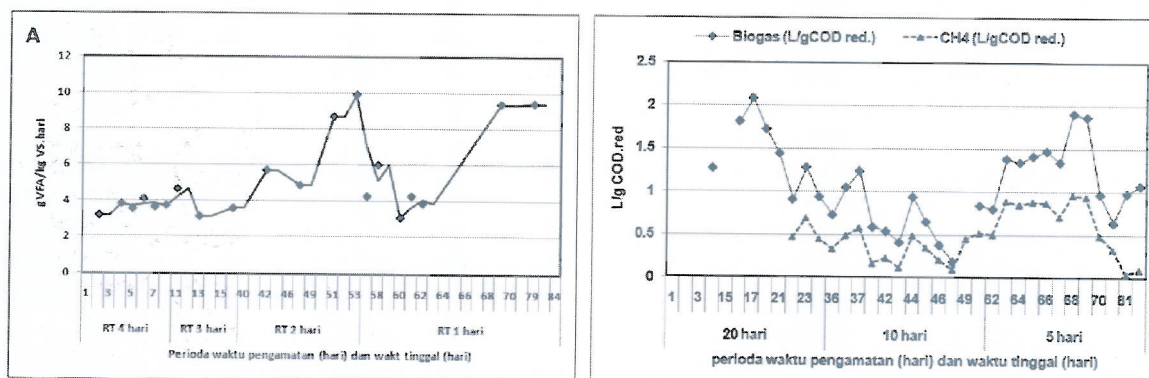


Keterangan

A: produksi VFA pada reaktor asidifikasi

B: Volume biogas dan konsentrasi gas metana yang diproduksi pada reaktor metanasi

Gambar 2. Hasil Percobaan Digestasi Anaerobik Dua Tahap Sistem Batch



Keterangan

A: produksi VFA pada reaktor asidifikasi

B: Volume biogas dan konsentrasi gas metana yang diproduksi pada reaktor metanasi

Gambar 3. Hasil percobaan digestasi anaerobik dua tahap sistem kontinyu

Percobaan digestasi anaerobik dua tahap dengan sistem kontinyu ini berlangsung selama 3 bulan yang dioperasikan pada kondisi proses terbaik dari hasil percobaan sistem batch. Percobaan pada awalnya dioperasikan dengan beban rendah yaitu melalui pengaturan debit aliran dengan waktu retensi 4 hari pada proses asidifikasi dan 20 hari pada reaktor metanasi. Secara bertahap laju beban ditingkatkan dengan cara mempersingkat waktu retensi atau memperbesar debit aliran. Pengoperasian yang dilakukan dengan sistem tersebut menunjukkan adanya keunggulan dari reaktor kontinyu dibandingkan reaktor batch. Dengan makin lama perioda pengoperasian reaktor, 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 lebih tinggi dan proses menjadi lebih stabil. Hal tersebut dapat dilihat dari data peningkatan beban terhadap laju pembentukan VFA yang berlangsung selama perioda operasi 84 hari (Gambar 3A) yang hasilnya sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wijekoon, 2011.

Proses metanasi yang berlangsung pada reaktor UASB sistem kontinyu, mula-mula mengalami penurunan jumlah biogas sejalan dengan peningkatan beban. Namun setelah hari ke 56 sampai ke 86 dengan waktu retensi dipersingkat hingga 5 hari atau pada beban organik 0,14 gCODf/L.hari secara-berangsur-angsur terjadi peningkatan kinerja menjadi lebih baik yang ditunjukkan dengan jumlah biogas mencapai 15,82 L/hari atau 2,38 L/gr CODf removed dengan kandungan $CH_4 = 50,4 - 64,1\%$ (Gambar 3B). Berdasarkan data-data hasil percobaan tersebut menunjukkan bahwa waktu retensi operasional reaktor

UASB dapat dipersingkat dari 20 hari menjadi 5 hari dengan kinerja yang stabil.

Kualitas endapan hasil proses asidifikasi

Proses asidifikasi menghasilkan endapan yang merupakan sisa-sisa fraksi tersuspensi yang berupa lumpur yang terendapkan dalam tanki pengendap. Endapan lumpur yang sebagian disirkulasi kembali ke reaktor (70% V/V) dan sisanya sebanyak 30% V/V telah terkonversi dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Berdasarkan hasil analisa, endapan lumpur tersebut dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik dengan kualitas yang relatif memenuhi syarat standar kompos menurut SNI 19-7030-2004 (Tabel 1.).

Tabel 1. Kualitas endapan lumpur hasil proses asidifikasi

Parameter	Hasil uji	PERSYARATAN KOMPOS		
		I	II	III
pH	8,1	..	6,6 – 8,2	6 – 8
Organik C, %	9,18	9,8 - 32	14,5 – 27,1	..
C/N ratio	11	10 - 20	10 - 20	10 - 25
Zn, mg/kg	77	500	513 - 2015	≤ 500
Cu, mg/kg	28	100	-	≤ 100

Keterangan :

I : Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik menurut SNI 19-7030-2004

II : menurut perhutani

III : RSNI Kompos sari sludge IPAL industry kertas, 2011

Kadar padatan lumpur tersebut menunjukkan peningkatan dibandingkan kondisi lumpur sebelum mengalami proses digestasi. Jumlah lumpur dapat tereduksi hingga 88% dengan kadar TS endapan lumpur meningkat sampai sekitar 200% yaitu dari $TS \pm 2\%$ menjadi $\pm 6\%$.

Kualitas efluen hasil proses digestasi

Proses digestasi anaerobik selain menghasilkan endapan berupa lumpur, juga menghasilkan efluen. Kualitas efluen hasil proses digestasi anaerobik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kualitas efluen proses metanasi

Waktu retensi (hari)	Parameter				
	COD		TSS		pH
	mg/L	% red	mg/L	% red	
20	385 - 695	69 - 85	95 - 190	47 - 80	6,8 – 7,3
10	408 - 1051	32 - 79	140 - 330	8,3 - 61	6,7 – 7,3
5	160 - 352	80 - 90	18 - 140	32 - 93	6,4 – 7,1

Dari hasil proses metanasi dengan waktu retensi operasi dalam reaktor 20 - 5 hari, kualitas efluen masih belum memenuhi syarat, sehingga perlu dialirkan kembali ke Instalasi Pengolahan Air Limbah untuk diolah bersama-sama air limbah dari proses produksi. Walaupun demikian efluen yang dikembalikan ke IPAL tersebut sudah lebih mudah diolah karena komponen organiknya lebih sederhana.

Kajian Teknoekonomi

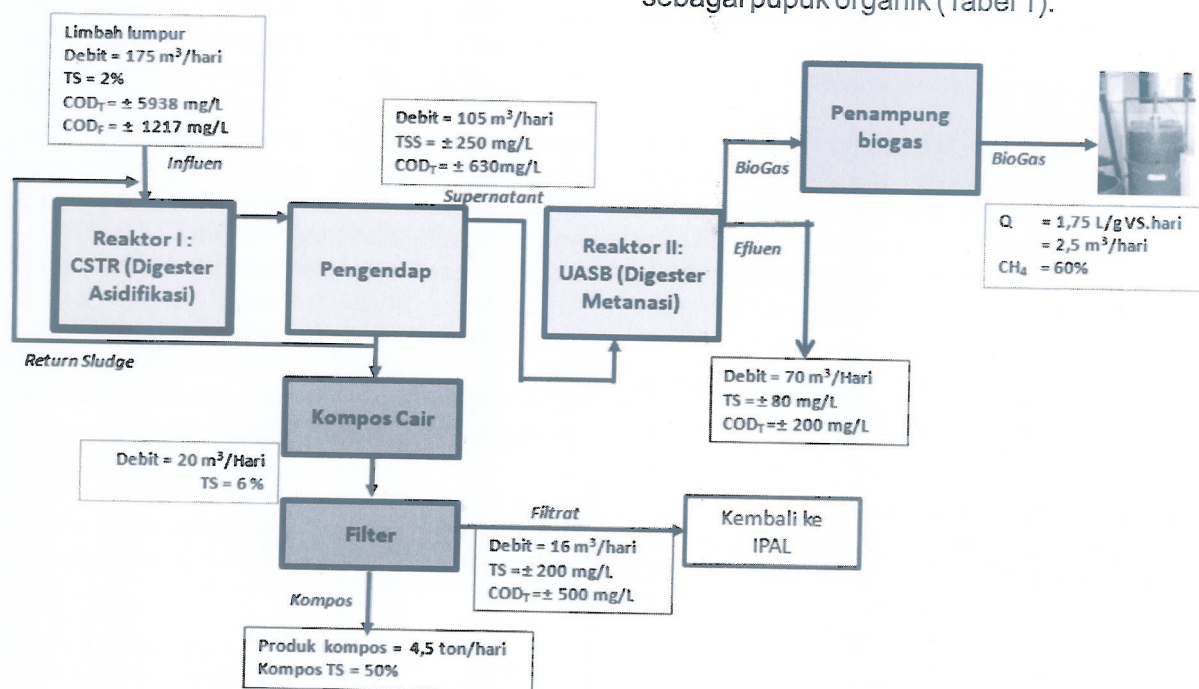
Berdasarkan hasil penelitian digestasi anaerobik limbah lumpur biologi dari IPAL industri kertas skala semi pilot, diperoleh kondisi yang layak dijadikan dasar untuk penerapannya di industri (Tabel 3).

Tabel 3. Kondisi dan Efektivitas Digestasi Anaerobik Dua Tahap

Item	Satuan	Asidifikasi	Metanasi
Waktu retensi	hari	1	5
Laju beban	gVS/g.VSMo.hari	8,2	-
	g CODf/L.hari	-	0,14
Supernatan	%v/v	60	-
Kompos	%v/v	12	-
Prod. biogas	%v/v	-	20
Laju prod. biogas	L/gCODred	-	2,4
Efluen	%v/v	-	40

Berdasarkan data-data kondisi operasi terbaik, dapat dihitung rancangan reaktor digestasi anaerobik dua tahap untuk diterapkan di industri kertas yang memiliki kapasitas produksi 100.000 ton/tahun atau 350 ton/hari. Industri tersebut menghasilkan lumpur biologi 0,5 m³/ton kertas (Purwati, 2006), sehingga jumlah lumpur yang harus diolah adalah 175m³/hari dengan kadar padatan 2%. Berdasarkan data tersebut, dapat dihitung neraca masa lumpur pada pengolahan dengan digestasi anaerobik seperti pada Gambar 4

Dari hasil perhitungan neraca masa, berbasis kapasitas lumpur biologi yang akan diolah 175 m³/hari dengan kadar total solid (TS) 2% diperoleh keluaran berupa endapan hasil digestasi yang berpotensi sebagai pupuk organik, dan biogas sebagai energi alternative serta efluen yang sudah lebih mudah diolah. Dari hasil pengolahan digestasi lumpur pada proses asidifikasi, diperoleh sisa endapan lumpur sebanyak 20 m³/hari dengan total solid 6% yang menunjukkan bahwa jumlah lumpur dapat direduksi sampai 88% yang bersifat mudah dihilangkan airnya (*dewatering*) dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik (Tabel 1).



Gambar 4. Neraca Massa Proses Digestasi Anaerobik Lumpur Biologi IPAL

Dari pemanfaatan lumpur tersebut, setelah melalui proses dewatering akan diproduksi pupuk organik sebanyak 4,5 ton/hari dengan total solid 50% yang sudah memenuhi syarat untuk diaplikasikan.

Dari proses metanasi diperoleh biogas dengan laju produksi 1,75 L/g Vs.hari atau 2,5 m³/hari dengan kadar metan 60%. Menurut Polprasert, 2007, 1 m³ biogas dengan kadar gas metana 50 – 70% setara dengan 0,8 kg batu bara / 0,4 kg minyak diesel / 0,6 kg bensin. Berdasarkan kesetaraan tersebut, biogas yang dihasilkan dari digestasi anaerobik lumpur biologi 175 m³/hari dapat menghasilkan energi yang besarnya setara dengan energi yang diperoleh dari energi 2 kg batu bara / 1 kg minyak diesel / 1,5 kg bensin/hari. Selain dihasilkan endapan lumpur sebagai produk pupuk organik dan biogas sebagai energi alternative, juga dihasilkan sisa efluen dari proses metanasi yang sudah memenuhi baku mutu lingkungan, sedangkan efluen dari hasil *dewatering* sisa endapan lumpur memiliki sifat organik lebih sederhana dan lebih mudah diolah.

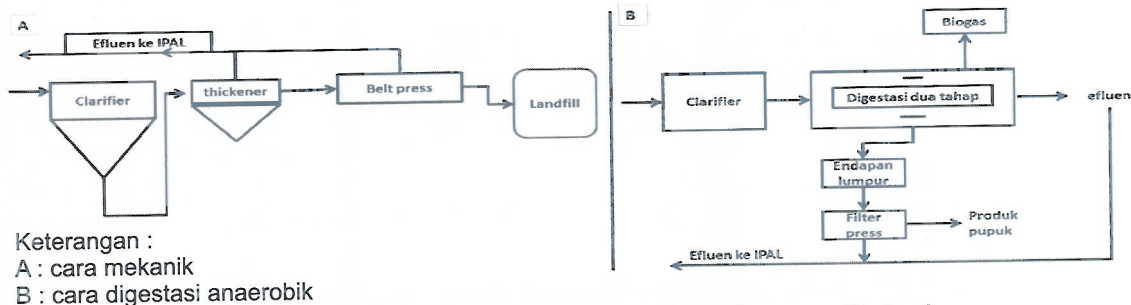
Berdasarkan uraian potensi dan prospek produk samping yang dihasilkan, maka digestasi anaerobik secara teknis layak diaplikasikan di industri. Namun dari aspek operasional perlu dipertimbangkan beberapa faktor penting untuk keberlangsungan operasional, diantaranya adalah kontinuitas pengadaan enzim protease; diperlukannya waktu adaptasi biomasa mikroba asidogenesis dan mikroba metanogenesis; dan suplai energi untuk mempertahankan suhu termofilik pada reaktor asidifikasi.

Ditinjau dari aspek ekonomi, aplikasi digestasi anaerobik dapat memberikan

manfaat dengan dihasilkannya produk biogas dan pupuk organik serta penghematan biaya pengelolaan. Diagram alir proses pengelolaan lumpur dengan digestasi anaerobik (Gb. 5 B) dibandingkan dengan pengelolaan lumpur yang dilakukan oleh industri saat ini (Gb. 5 A) dapat dilihat pada Gambar 5 di atas.

Umumnya industri kertas saat ini masih melakukan pengelolaan lumpur melalui tahap pemekatan (*thickener*) dan penghilangan air (*belt press*) serta pembuangannya ke *landfill*. Biaya pengelolaan yang diperlukan per hari untuk mengolah lumpur 175 m³ dengan cara mekanik dan dibandingkan cara digestasi anaerobik, yang dihitung berdasarkan asumsi-asumsi menurut Collin, 2009 dapat dilihat pada Tabel 4.

Berdasarkan perhitungan dengan pendekatan biaya operasional pengelolaan, maka aplikasi digestasi anaerobik untuk mengolah lumpur biologi dengan basis 175 m³ dapat menghemat biaya operasional perhari sekitar Rp 3.727.100,- atau 18%. Selain penghematan biaya tersebut masih diperoleh keuntungan secara ekonomi lainnya yaitu adanya produk biogas 2,5 m³ dan pupuk organik 4,5 ton; tidak diperlukannya lahan untuk *landfill* serta transportasi pengangkutan lumpur ke *landfill*. Sebagai gambaran umum dapat dilaporkan pula bahwa dengan mempertimbangkan modal investasi satu rangkaian digestasi anaerobik yang cukup besar, yaitu berdasarkan pendekatan dan asumsi Collin mencapai Rp 5.670.000.000,-, maka untuk pengembalian modal yang diperlukan bila menggunakan dana penghematan biaya operasional sebesar Rp 3.727.100,-/hari atau Rp 1.341.756.000,-/tahun adalah hanya memerlukan waktu sekitar 4 tahun.



Gambar 5. Diagram Alir Pengelolaan Lumpur Biologi

Tabel 4. Biaya operasional pengolahan lumpur

Item	Sistem mekanik (Gambar 5A) Rp	Sistem digestasi anaerobik (Gambar 5B) Rp
Biaya operasional	2.400.000,-	14.962.500,-
Biaya pengolahan effluen yang kembali	13.230.000,-	1.907.000,-
Biaya pembuangan ke landfill	4.966.600,-	-
Biaya pemekatan endapan lumpur (kompos)	-	2.740.000,-
Jumlah	20.596.600,-	16.869.500,-

BAB IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Teknologi digestasi anaerobik dua tahap efektif untuk mengolah lumpur biologi dari IPAL industri kertas. Proses digestasi berlangsung efektif pada kondisi optimum dengan digestasi asidifikasi yang dioperasikan pada dosis enzim 5 mg/g VS lumpur (aktivitas 1200 U/g) ; suhu termofilik 55 – 60°C; jumlah mikroba 30%, pH 5, waktu retensi 1 hari, sedangkan digestasi metanasi dioperasikan pada suhu mesofilik, jumlah mikroba 15%, waktu retensi 5 hari.

Hasil dan manfaat yang diperoleh dari proses digestasi lumpur adalah dapat mereduksi jumlah lumpur 88% dengan kadar padatan meningkat dari 2% ke 6%; dan menghasilkan produk biogas 1,75 L/g VS.hari serta pupuk 25 kg/g VS. hari

Pengolahan lumpur dengan aplikasi digestasi anaerobik tidak diperlukan lagi pengoperasian unit thickener dan unit belt press serta pembuangan ke landfill, sehingga dapat menghemat biaya pengelolaan sebesar 18%, selain dapat memperoleh produk samping biogas dan pupuk organik yang mempunyai nilai ekonomi.

Saran

Hasil rancangan digestasi anaerobik dua tahap ini perlu diujicobakan ke skala industri untuk verifikasi data yang diperoleh dari hasil penelitian skala semipilot.

DAFTAR PUSTAKA

- Collin, 2009. The full cost of landfill disposal in Australia. BDAgroup. Melbourne
- Deminer et al. 2008. Two phase thermophilic and mesophilic methanogenesis anaerobik digestion of waste activated sludge. *Env Engineering Science*. Vol. 25. No.9. 1291–1300.
- Elliott Allan, Talat Mahmood, 2007. Pretreatment technologies for advancing anaerobic digestion of pulp and paper biotreatment residues, *Water Research* 41. 4273–4286
- Ferguson. K.. 1991. *Environmental Solutions for The Pulp and Paper Industry*. Miller Freeman. San Francisco. USA
- HJ Gijzen et al. 2005. Anaerobik degradation of papermill sludge in a two-phase digester. *Journal Biotech*.
- Kraristya. 2004. Teknologi digester. kharistya.wordpress.com
- 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.
- Purwati S.. Rina S. Soetopo. Setiaji. Yusup Setiawan. 2006. Potensi dan Alternatif Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas. *Berita Selulosa*. Vol. 41. No. 2. Desember 2006. Hal 67-79.
- 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.
- Rina. S. Soetopo dkk, 2009. Produksi Biogas Sebagai Hasil Pengolahan Limbah Lumpur Industri Kertas Dengan Proses Digestasi Anaerobik Dua Tahap. *Laporan Penelitian Program Riset Insentif DIKNAS*. BBPK- Departemen Perindustrian

Rina. S. Soetopo, Purwati, Yusup setiawan, Krisna Adhytia Whardana. 2011. Efektivitas Proses Kontinyu Digestasi Anaerobik Dua Tahap Pada Pengolahan Lumpur Biologi Industri Kertas. *Jurnal Riset Industri*. Vol. V No 2. Hal. 131 – 142.

Thomas. 2003.. *Anaerobic Digester Methane to Energy*. Focus On energy. Mc mahon Associates.Inc. Wisconsin. Hal4-6.

United Nations Environment Programme Industry and Environment (UNEP). 1996. Cleaner Production at Pulp and paper mills.