

PRODUKSI GAS BIO DAN PUPUK ORGANIK HASIL DIGESTASI ANAEROBIK LIMBAH LUMPUR IPAL INDUSTRI KERTAS

Sri Purwati *. Rina S. Soetopo

* Peneliti Kelompok Lingkungan, Balai Besar Pulp dan Kertas

BIO GAS AND ORGANIC COMPOST PRODUCTION BY ANAEROBIC DIGESTION OF PAPER INDUSTRY SLUDGE FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT.

Abstract

One of the constraints of biological waste water treatment process is the formation of sludge which can be a problem when it is disposed to the environment. A voluminous and considerable amount of sludge, along with the limitation of landfill site are the main issues that have to be faced. Anaerobic digestion of the sludge is one way of many alternatives to manage such sludge waste.

The investigation of anaerobic digestion of sludge from waste water treatment of paper industry have been done. The experiments was designed to get the best conditions from sludge concentration variation and the amount of microbe seeding. The results of experiments evaluated in terms of biodegradation effectivity, amount of biogas production, and organic composting potential.

The results showed that the best condition is obtained from the usage of 6 g VSS/L of microbe seed, and 2.5 % concentration of sludge at more than 14 days retention time. The highest methane content at biogas is 51,5 % at the rate of 0.14 L/g VSS biogas production in 28 days retention time. The residual sludge as organic compost characterized by 15 C/N ratio, and 32.2 meq/100 g CEC (Capacities Exchange Cation). The COD of spent-liquor from sludge anaerobic digestion was reduced up to 70 %.

Key words : anaerobic digestion, sludge, bio gas, organic compost, methane

Intisari

Salah satu kendala yang dihadapi pada pengolahan air limbah proses biologi adalah terbentuknya lumpur yang dapat menimbulkan masalah dalam pembuangan ke lingkungan. Jumlah lumpur yang cukup besar dan sifatnya yang voluminus, serta keterbatasan lahan untuk penimbunan, merupakan permasalahan yang perlu ditanggulangi. Proses digestasi anaerobik merupakan alternatif pengolahan lumpur yang berorientasi pada pemanfaatan yang bernilai tambah dan diharapkan dapat menanggulangi permasalahan yang ada.

Penelitian digestasi anaerobik untuk mengolah lumpur IPAL pabrik kertas yang memproduksi kertas budaya dari bahan baku pulp virgin telah dilakukan secara batch. Ruang lingkup percobaan diarahkan untuk penentuan kondisi optimum dari variasi konsentrasi lumpur dan jumlah bibit mikroba yang digunakan. Evaluasi dilakukan terhadap efektivitas biodegradasi, produksi gas bio, serta potensi pupuk organik yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi optimum diperoleh pada pemakaian bibit mikroba 6 gram VSS/L dengan kepekatan lumpur pada konsentrasi padatan 2,5% dan waktu retensi lebih dari 14 hari. Produksi gas bio dengan kadar metan tertinggi, yaitu sebesar 51,5% dicapai pada waktu retensi 28 hari dengan laju produksi gas mencapai 0,14 L/g VSS. Kualitas pupuk organik sebagai lumpur sisa yang dihasilkan mempunyai C/N ratio 15 dan nilai kapasitas tukar kation (KTK) 32,2 meq/100 g. Hasil yang diperoleh dari proses biodegradasi anaerobik ini telah dapat menurunkan kadar COD cairan sisa atau filtrat lumpur lebih dari 70%.

Kata kunci : digestasi anaerobik, lumpur, gas bio, pupuk organik, metan

PENDAHULUAN

Situasi persaingan global, telah mendorong industri pulp dan kertas bergerak ke arah peningkatan efisiensi dengan cara menerapkan program Produksi Bersih. Hal ini menuntut pemanfaatan bahan baku seoptimal mungkin dengan meminimalkan produk samping atau limbah yang terbentuk selama proses.

Sebelum diterapkan program Produksi Bersih, karakteristik air limbah industri pulp dan kertas mengandung polutan tersuspensi yang cukup tinggi sekitar 500-800 mg/L (data monitoring BBS, 1997), sehingga pengolahan air limbahnya memerlukan 3 tahap proses, yaitu secara fisika-kimia-biologi. Demikian pula dengan penanganan lumpur hasil pengolahan air limbah tersebut dapat dilakukan dengan cara pemekatan dan pengepresan.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan ditingkatkannya sistem daur-ulangan air, serat, dan bahan kimia dalam proses pembuatan pulp dan kertas akan menyebabkan perubahan karakteristik air limbah dan sistem pengolahannya. Dampaknya adalah kandungan polutan terlarut dalam air limbah tinggi, sedangkan polutan tersuspensi rendah sehingga sistem pengolahan yang sesuai untuk pengolahan air limbah tersebut hanya sistem biologi. Kendala yang dihadapi adalah terbentuknya lumpur hasil pengolahan air limbah yang bersifat voluminus dengan kadar padatan rendah sehingga sistem penanganan lumpur dengan cara dipres sudah tidak efektif lagi.

Industri pulp dan kertas menghasilkan lumpur Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dalam jumlah besar, yaitu 0,75-1,50 m³/ton produk atas dasar kadar padatan 25%. Mengingat terbatasnya lahan, maka penanganan lumpur melalui *landfill* tidak dapat dilakukan lagi di pulau Jawa. Oleh karenanya, dalam upaya perlindungan lingkungan dan untuk mengantisipasi perkembangan industri di pulau Jawa, serta makin ketatnya peraturan lingkungan, diperlukan suatu metoda pengolahan lumpur limbah yang dapat memberikan suatu alternatif penanganan lumpur yang dapat memberikan nilai tambah.

Ditinjau dari komposisinya, sebagian besar lumpur IPAL terdiri dari senyawa organik yang sangat sesuai bila diolah dengan proses digestasi anaerobik (Bill, 1991). Jumlah lumpur sisa digestasi anaerobik berkurang hingga 50% dan dapat digunakan sebagai pupuk organik. Keuntungan lainnya adalah terbentuknya gas bio

yang cukup tinggi dengan komposisi utamanya terdiri dari CH₄ (70-75%) dan CO₂ (25-30%) (Chynoweth, 1987). Gas bio ini dapat digunakan sebagai sumber energi. Tulisan ini melaporkan hasil penelitian pengolahan limbah lumpur IPAL secara anaerobik, yang diharapkan dapat dikembangkan dan digunakan sebagai masukan dalam penerapan penanganan limbah di industri.

METODOLOGI

Bahan

Lumpur hasil pengolahan air limbah yang digunakan dalam penelitian ini adalah lumpur biologi proses lumpur aktif yang berasal dari pabrik kertas yang memproduksi kertas budaya dari bahan baku *virgin* pulp. Contoh diambil setelah melalui pemekatan di *thickener*. Sebagai bibit bakteri, digunakan biomassa yang diperoleh dari digester anaerobik pengolahan kotoran sapi di Lembang. Biomassa bakteri ini sebelum digunakan, diadaptasikan terlebih dahulu dengan limbah lumpur pabrik kertas selama 2 bulan.

Peralatan

1. Alat digestasi (reaktor anaerobik) — alat digestasi berbentuk silinder yang terbuat dari fiber glass dengan kapasitas 10 L. Alat ini dilengkapi lubang pemasukan limbah lumpur, kran sampling gas bio, dan 3 buah lubang pengambilan sampel, serta dilengkapi dengan *heater* dan pengaduk
2. Penampung gas (*gas holder*) — terbuat dari pipa PVC berbentuk silinder dengan kapasitas 20 L. Penampung gas ini dihubungkan dengan selang plastik ke digester sebagai saluran aliran gas.
3. Unit uji kemampuan biodegradasi (*biodegradability test unit*) — terdiri dari botol serum volume 500 mL.

Metode

Di dalam penelitian ini dilakukan tahapan sebagai berikut:

1. *Percobaan biodegradabilitas digestasi anaerobik*

Percobaan dilakukan dengan variasi jumlah pemakaian bibit mikroba, yaitu 2; 4; dan 6 g VSS/L pada kondisi pH netral dan suhu 30°C (botol serum dimasukkan ke dalam *water batch*). Limbah lumpur dalam botol serum tersebut dialir gas N₂ selama 3-5 menit untuk

mengusir gas O₂. pada percobaan ini digunakan bibit biomassa bakteri yang telah melalui proses adaptasi terhadap limbah lumpur pabrik kertas selama 2 bulan.

Pada botol penangkap gas diisi larutan NaOH 1,5% yang berfungsi untuk mengkonversi gas CO₂ menjadi karbonat dan melarutkannya dalam larutan alkali, sedangkan gas metana dari percobaan ini adalah volume gas metana yang dihasilkan.

2. Percobaan penentuan toksisitas metanogenik

Penentuan toksisitas metanogenik dilakukan menurut Vipat and Branion, 1990 dengan cara membandingkan produksi gas metan yang dihasilkan oleh proses digestasi dari perlakuan variasi konsentrasi lumpur 2,5-10,0% dengan perlakuan kontrol.

3. Percobaan digestasi anaerobik

Percobaan dilakukan pada jumlah bibit mikroba dan konsentrasi limbah lumpur yang optimum, yang diperoleh pada percobaan penentuan biodegradabilitas dan toksisitas metanogenik. Selama percobaan, pengadukan dijalankan untuk mendapatkan lumpur tercampur merata. Demikian pula kondisi di dalam digester diupayakan >25°C. Pengamatan dilakukan terhadap produksi gas bio, kadar metan dalam gas bio, dan kadar VFA serta kualitas pupuk organik dan filtrat pada akhir periode waktu percobaan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Limbah Lumpur IPAL Industri Kertas

Lumpur ini bersifat voluminus karena sebagian besar (>80%) kandungan airnya merupakan air sel yang sulit dipisahkan dari padatnya. Limbah lumpur yang digunakan pada penelitian ini adalah lumpur yang sudah dipisahkan melalui thickener yang karakteristiknya dapat dilihat pada Tabel 1

Hasil analisis komposisi lumpur menunjukkan bahwa lumpur dari industri kertas ini mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik. Namun mengingat senyawa organik yang terkandung dalam lumpur masih bersifat senyawa kompleks yang sulit diiodegrasikan oleh mikroba tanah, perlu proses pengomposan agar sesuai dengan per-syaratan pupuk organik yang diperlukan tanaman.

Tabel 1. Karakteristik Lumpur IPAL Industri kertas

Parameter	Nilai (%)
Total padatan	2,5-2,9
Karbon (C) total	20,3
Nitrogen (N) total	0,95
Rasio (C/N)	21,36
Fosfat (P ₂ O ₅)	0,114
Kalsium (Ca)	0,611
Magnesium (Mg)	0,005
Kalium (K ₂ O)	0,008
Natrium (Na)	0,38
pH	7,6
COD (cairan dekantasi)	2.196 (mg/L)

Di dalam proses digestasi anaerobik diperlukan tersedianya unsur-unsur nutrisi N dan P dalam jumlah yang sesuai dengan banyaknya senyawa organik dalam lumpur yang harus diiodegradasi oleh mikroba. Kebutuhan nutrisi N dan P untuk digestasi limbah lumpur direkomendasikan pada kisaran rasio C/N 8-76 dan rasio C/P 50-204 (Chynoweth, 1987).

Dari hasil analisis lumpur (Tabel 1) di atas menunjukkan bahwa nutrisi N dan P yang tersedia dalam limbah lumpur berada pada rasio C/N (21,26) dan rasio C/P (178,1), berarti kebutuhan nutrisi tersebut sudah cukup tersedia di dalam lumpur sehingga tidak diperlukan lagi penambahan nutrisi pada proses pengolahannya

Percobaan Penentuan Biodegradabilitas Anaerobik

Biodegradabilitas anaerobik dapat diketahui dengan mengevaluasi pembentukan gas metan dari perombakan bahan organik yang terkandung dalam limbah lumpur dengan menambahkan biomassa mikroba dalam jumlah tertentu. Percobaan yang dilakukan menggunakan 3 (tiga) tahapan perlakuan penambahan biomassa bakteri dan telah diamati jumlah kumulatif gas metan yang diproduksi seperti terlihat pada Gambar 1.

Hasil pengamatan produksi gas menunjukkan adanya kenaikan volume kumulatif secara bertahap untuk semua perlakuan penambahan lumpur mikroba 2; 4; dan 6 g VSS/L. Dari Gambar 1 terlihat bahwa penambahan biomassa mikroba makin banyak akan menghasilkan gas metan yang semakin besar pula. Laju produksi gas terlihat meningkat cukup tajam pada perlakuan penambahan biomassa mikroba 6 g SS/L setelah melalui periode waktu 15 hari.

Berdasarkan hasil percobaan biodegradabilitas anaerobik tersebut, dapat dinyatakan bahwa limbah lumpur IPAL industri kertas dapat diolah dengan digestasi anaerobik dan lumpur biomassa yang digunakan sebagai bibit mikroba mempunyai kemampuan mendegradasikan cukup baik. Hal ini dapat terlihat dari kecepatan aktivitas mikroba dengan indikasi produksi gas yang sudah terbentuk setelah 1 hari inkubasi. Perlakuan penambahan lumpur mikroba sebesar 6 g VSS/L menunjukkan laju produksi gas metan tertinggi yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar percobaan.

Percobaan Penentuan Toksisitas Metanogenik

Percobaan ini dimaksudkan untuk mengetahui sejauhmana limbah lumpur IPAL industri kertas dapat diolah dengan tingkat pembebanan yang dapat dicapai. Dengan toksisitas metanogenik dapat diketahui pula kemungkinan adanya unsur-unsur penghambat yang terkandung dalam limbah lumpur IPAL. Percobaan dilakukan dengan membandingkan produksi gas bio yang dihasilkan dari perlakuan limbah dengan produksi gas yang dihasilkan dari perlakuan kontrol. Produksi gas dengan volume kumulatif dari masing-masing perlakuan percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.

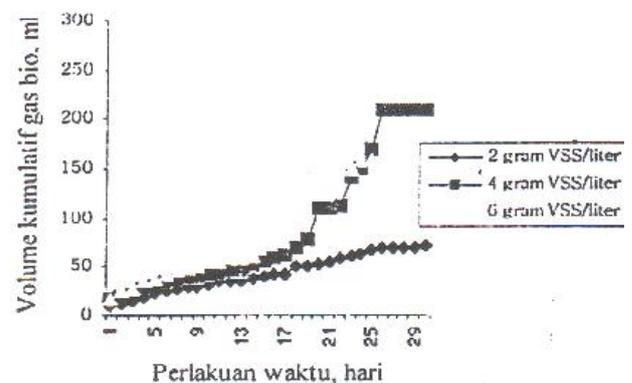
Perlakuan konsentrasi padatan limbah lumpur dari 2,5; 5; 7,5; 10% dan kontrol diujicobakan dalam percobaan dengan menambahkan biomassa mikroba dalam jumlah yang sama, yaitu sebanyak 6 g VSS/L. Pengamatan produksi gas metan dilakukan hingga periode waktu 30 hari. Dari Gambar 2 ditunjukkan bahwa laju produksi gas untuk semua perlakuan meningkat setelah hari ke 5, kemudian terlihat cenderung tampak tidak efektif lagi dalam memproduksi gas setelah hari ke 20.

Ditinjau dari perlakuan konsentrasi padatan lumpur menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat pembebanan padatan lumpur, maka jumlah produksi gas makin rendah. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kandungan unsur-unsur yang dapat menghambat aktivitas bakteri anaerobik, khususnya bakteri metan dalam merombak bahan-bahan organik yang terkandung dalam limbah lumpur IPAL industri kertas. Dibandingkan dengan perlakuan kontrol yang mengandung substrat sintetis yang bersifat mudah dibiodegradasi, terlihat bahwa perlakuan digestasi anaerobik limbah lumpur menunjukkan aktivitas yang lebih rendah. Hal ini disebabkan

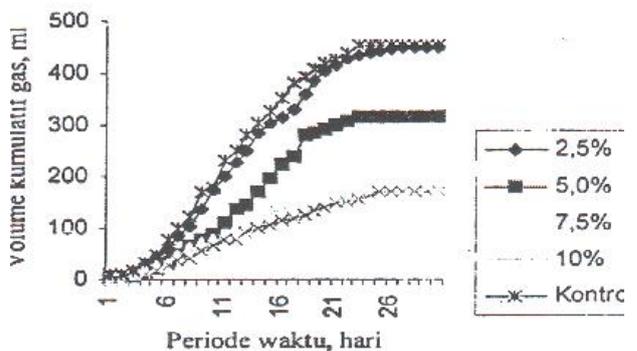
karena sifat bahan organik yang terkandung dalam limbah lumpur lebih kompleks sehingga proses biodegradasi lebih lambat dibandingkan dengan bahan organik dalam perlakuan kontrol.

Percobaan Digestasi Anaerobik

Percobaan digestasi yang dilakukan dalam reaktor berkapasitas 10 L dioperasikan secara *batch* dengan kondisi limbah lumpur pada konsentrasi 2,5%. Biomassa mikroba yang sudah teraklimatisasi ditambahkan ke dalam reaktor sebanyak 6 g VSS/L. Selama masa percobaan, pengadukan dilakukan secara berkala (*intermitent*) untuk mendapatkan kondisi yang relatif homogen serta kontak antara mikroba dengan limbah lumpur cukup baik.



Gambar.1. Laju Produksi Gas Metan pada Perlakuan Penambahan Biomassa



Gambar 2. Laju Produksi Gas Metan pada Perlakuan Konsentrasi Lumpur

Proses digestasi anaerobik terhadap lumpur IPAL yang berupa padatan dan cairan organik umumnya melalui tahapan proses yang lebih panjang sehingga dibutuhkan waktu yang lebih lama. Dibandingkan dengan pengolahan terhadap air limbah yang berupa organik terlarut, pada pengolahan lumpur diperlukan tahapan pengubahan bahan organik padatan menjadi organik cair oleh

kelompok mikroba hidrolisa atau proses likuifikasi (*Chynoweth, 1987*).

Tahapan proses anaerobik diawali oleh penguraian bahan organik bermolekul besar seperti selulosa menjadi bahan bermolekul rendah. Bahan tersebut selanjutnya akan diuraikan menjadi asam organik kompleks dan kemudian menjadi asam organik sederhana yaitu asam asetat untuk akhirnya diuraikan menjadi gas metan dan gas CO₂. selama berlangsungnya proses penguraian bahan organik tersebut di atas, akan diikuti dengan produksi gas bio yang komponen utamanya adalah gas metan (CH₄) dan komponen gas lainnya adalah CO₂; H₂; H₂S; dan NH₃ (*Springer, 1993*). Produksi gas bio hasil pengamatan selama periode waktu 2 bulan (8 minggu) dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan volume kumulatif per minggu.

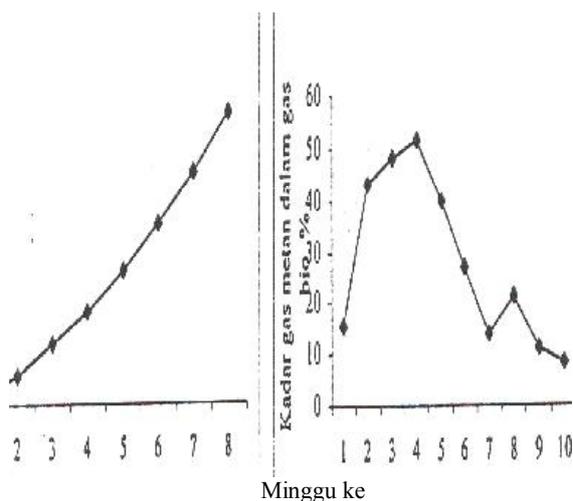
Sejalan dengan bertambahnya waktu, produksi gas bio secara kumulatif bertambah volumenya. Pada periode waktu pengamatan 1 bulan, tampak gas bio mencapai volume kumulatif sebesar 18,9 L (kapasitas reaktor 10 L). Pada kondisi tersebut, proses digestasi anaerobik berlangsung pada beban padatan organik sekitar 0,71 g VSS/L,hr dengan produksi gas sebesar 0,14 L/g VSS.

Dibandingkan dengan produksi gas bio yang diperoleh dari limbah lumpur domestik yang mencapai 0,37 L/g VSS (*Reynolds, 1982*) menunjukkan perolehan gas bio dari digestasi limbah lumpur IPAL yang relatif rendah. Hal ini disebabkan oleh perbedaan bahan organik yang mana limbah lumpur industri mengandung lebih dominan organik kompleks dan bahan anorganik yang bersifat penghambat bagi aktivitas mikroba. Selain itu, karena bibit mikroba yang digunakan berasal dari kotoran binatang sehingga memerlukan adaptasi yang lebih lama dengan komponen-komponen yang terkandung dalam limbah lumpur industri kertas.

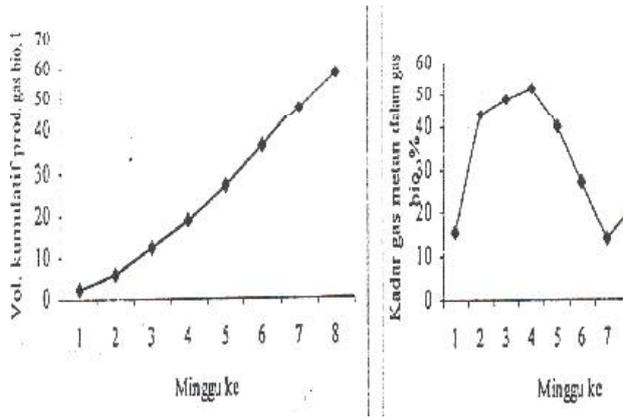
Dari hasil pengamatan sampai periode waktu 2 bulan terlihat produksi gas masih berlanjut hingga mencapai volume 58,3 L, berarti aktivitas mikroba masih terjadi karena bahan organik masih cukup tersedia. Pada kondisi ini pembebanan menurun menjadi 0,36 g VSS/L,hr dengan produksi gas sebesar 0,42 L/g VSS. Hal ini berarti waktu tinggal yang diperlukan untuk proses digestasi limbah lumpur industri lebih lama atau dengan laju pembebanan yang lebih rendah dari 0,5 g VSS/L,hr. Tinjauan terhadap kadar metan dalam gas bio proses digestasi dapat dilihat pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 terlihat adanya pembentukan kadar metan dalam gas bio relatif masih rendah, yaitu 15,6% yang terbentuk setelah masa inkubasi 12 minggu. Di awal proses, gas bio yang diproduksi mengandung dominan gas hidrogen (H₂) dan karbon (CO₂), yaitu sebagai produk gas dari hasil perombakan bahan organik kompleks partikulat dan terlarut menjadi asam-asam organik melalui tahapan proses hidrolisa dan asidogenik. Pembentukan gas metan meningkat setelah bakteri metanogenik menunjukkan aktivitasnya, yaitu mencapai kadar metan 51,5% setelah periode minggu ke 4, namun dengan bertambahnya waktu inkubasi, terlihat kadar gas metan menjadi menurun secara bertahap hingga <10% setelah 10 minggu inkubasi yang menunjukkan kondisi tidak efektif lagi untuk produksi gas bio.

Penurunan kadar metan dalam gas bio yang dihasilkan setelah melewati waktu inkubasi 1 bulan disebabkan terjadinya penurunan keseimbangan pembebanan antara suplemen substrat organik yang tersisa dengan jumlah biomassa mikroba yang ada. Hal ini karena proses digestasi dilakukan secara *batch* sehingga untuk mempertahankan keseimbangan harus dilakukan penambahan bahan organik kembali. Kadar metan dalam gas bio yang diproduksi mencapai 51,5%, berarti relatif lebih rendah dari yang umum diperoleh pada digestasi limbah lumpur domestik antara 55-75% (*Reynolds, 1982*), namun apabila kondisi pembebanan dipertahankan dan dilakukan pula pengaturan untuk mencapai kondisi optimum, diharapkan gas bio dengan kadar metan maksimal akan dapat tercapai.



Gambar 3. Produksi Gas Bio Selama Periode Proses Digestasi Anaerobik



Gambar 4. Kadar Metan (CH₄) dalam Preproduksi Gas Bio Selama Proses Digestasi Anaerobik

Produksi Pupuk Organik

Evaluasi terhadap produksi pupuk organik dilakukan dari hasil digestasi setelah mencapai waktu inkubasi 3 bulan (12 minggu). Lumpur biomassa setelah dipisahkan dari filtrat dan dikeluarkan kandungan airnya diperoleh sebagai produk pupuk organik. Karakteristik pupuk hasil digestasi dari persyaratan pupuk dapat dilihat pada Tabel 2.

Kandungan unsur hara dalam limbah lumpur mempunyai potensi untuk memperbaiki sifat fisik tanah. Setelah melalui proses digestasi selama 3 bulan atau berlangsung pada pembebanan 0,24 g VSS/L, hari lumpur sisa yang dihasilkan memenuhi persyaratan sebagai pupuk organik.

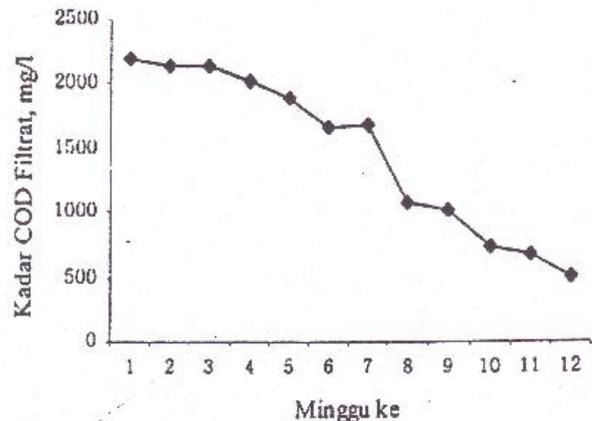
Ditinjau dari karakteristik pupuk dengan rasio C/N 15 yang dibandingkan dengan karakteristik lumpur awal dengan C/N 21,36 berarti telah terjadi penurunan C/N sebesar 29,8%. Demikian pula bila dilihat dari kandungan unsur hara makro N, P, dan K menunjukkan kualitas pupuk yang cukup baik. Nilai KTK pupuk yang dihasilkan cukup tinggi, yaitu 32,02 meq/100 g apabila dibandingkan

persyaratannya. Nilai KTK yang tinggi dapat meningkatkan daya simpan bagi ketersediaan unsur hara yang diperlukan tanaman.

Pengamatan Terhadap Filtrat

Proses pengolahan limbah lumpur pada prinsipnya adalah memisahkan partikulat atau padatan dari cairannya sehingga lumpur layak untuk dimanfaatkan atau dibuang ke lingkungan sebagai tanah urug (*landfill*). Filtrat atau cairan yang berhasil dipisahkan diolah kembali ke IPAL hingga memenuhi persyaratan untuk dibuang ke lingkungan.

Hasil proses digestasi telah menurunkan kadar COD filtrat yang semula 2.196 mg/L menjadi 509 mg/L setelah berlangsung inkubasi selama 3 bulan, berarti efisiensi reduksi COD cukup tinggi, yaitu 76,8%. Hal ini menunjukkan bahwa pada proses digestasi sebagian organik carbon dalam lumpur dikonversi menjadi gas metan (CH₄). Pengamatan penurunan kadar COD dari limbah lumpur selama berlangsung proses digestasi anaerobik dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Kadar COD Filtrat Hasil Proses Digestasi Anaerobik Limbah Lumpur.

Tabel 2. Karakteristik pupuk organik hasil digestasi anaerobik dan persyaratan pupuk kompos

Parameter	Satuan	Pupuk hasil digestasi	Kompos
Karbon (C) total	%	20,30	8-50
Nitrogen (N) total	%	1,57	0,4-35
Rasio (C/N)	-	15	10-20
Fosfat (P ₂ O ₅)	%	0,35	0,3-3,5
Kalium (K ₂ O)	%	0,73	0,5-1,8
Kalsium (Ca)	meq/100 g	44,05	-
Magnesium (Mg)	meq/100 g	8,75	-
PH	-	7,80	6,5-7,5
KTK	meq/100 g	32,02	>20

KESIMPULAN DAN SARAN

1. Digestasi anaerobik limbah lumpur IPAL industri kertas yang dioperasikan secara *batch* dapat menghasilkan gas bio dan pupuk organik dengan potensi layak untuk dikembangkan. Kondisi proses yang terbaik berlangsung pada operasi konsentrasi padatan lumpur 2,5% dan penambahan biomassa mikroba sebesar 6 g VSS/L.
2. Produksi gas bio dengan laju produksi 0,14 L/g VSS dan kadar metan (CH₄) tertinggi 51,5% diperoleh dalam waktu inkubasi 4 minggu atau dengan laju pembebanan lumpur 0,71 g VSS/L, hr. Lumpur sisa yang dihasilkan setelah waktu inkubasi 12 minggu atau dengan pembebanan 0,24 g VSS/L, hr dapat dipakai sebagai pupuk organik yang kualitasnya memenuhi persyaratan, yaitu rasio C/N (15); KTK (32,02 meq/100 g); dan kandungan unsur hara yang memadai.
3. Proses digestasi anaerobik dapat dikembangkan sebagai salah satu alternatif penanganan limbah lumpur IPAL biologi yang sulit dipisahkan airnya dengan solusi yang memberikan nilai tambah, yaitu produk samping gas bio dan pupuk, selain dapat pula mereduksi kandungan pencemar organik dalam filtratnya. Hasil penelitian perlu dilanjutkan dengan sistem kontinu yang lebih stabil dan terkontrol dalam konfigurasi reaktor yang dirancang untuk mempercepat reaksi biodegradasi

DAFTAR PUSTAKA

1. Cappucino, J.G.; and Sherman, N. 1983 "*Microbiology a Laboratory Manual*", 2nd Ed., The Benjamin/Cummings Publ., Co., Inc.
2. Chynoweth; David, P.; and Ronisaacson.1987, "*Anaerobic Digestion of Biomass*", Elsevier Applied Science, London, New York.
3. Ferguson, K. 1991, *Enviromental Solutions for pulp and paper Industry*. Miller Freeman. San Francisco.
4. Field and Siera, 1990 "*Anaerobic Bioassay System*".
5. Holt, J.G.; Kreig, N.R.; Sneath, P.H.A.; Stanley, J.T; Williams, S.T. 1994, "*Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*", 9th Ed., The Williams and Wilkins Co., Inc.
6. Price, E.C.; and Cheremisinoff, P.N. 1981, "*Biogass Production and Utilization*", Ann Arbor Science.
7. Reynolds, Tom, D. 1982 "*Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*", Brooks Cole Engineering Div., California.
8. Springer, A.M. 1993 "*Industrial Environmental Control*", Pulp and Paper Industry, 2nd Ed., Tappi Press, Atlanta, Georgia.
9. Vipat, V; and Branion, R. 1990, "*Evaluating the Anaerobic Treatability of Thermomechanical Pulping Wastewater*", **Pulp and Paper Canada**, Vol. 91, Canada.