

PELET PUPUK ORGANIK DARI RESIDU DIGESTASI ANAEROBIK LIMBAH LUMPUR PABRIK KERTAS

Rina. S.Soetopo ¹, Sri Purwati, Yusup Setiawan, Mukharomah Nur Aini, Aep Surahman,
Prima Besty Asthary

Balai Besar Pulp dan Kertas
Jl. Raya Dayeuhkolot No. 132, Bandung, Jawa Barat, Indonesia
¹rnsusilowati@yahoo.com

Diterima: 4 April 2016, Revisi akhir: 23 Juni 2016, Disetujui terbit: 24 Juni 2016

ORGANIC FERTILIZER PELLET FROM ANAEROBIC DIGESTION RESIDUE OF PAPER MILL SLUDGE WASTE

ABSTRACT

The study of the organic fertilizer pellet from anaerobic digestion residue of paper mill sludge has been conducted. Study was divided into: characterization of biological sludge, anaerobic digestion process to obtain a precipitate residual sludge, organic fertilizer pellets production, and economic analysis. Pilot scale anaerobic digestion process is done in a paper industry at pH of 5.5 to 6.0, alkalinity of 2000-2500 mg/L and a residence time of 4 days with feed solids content of 0.6%. Stages of organic fertilizer pellets production were dewatering, drying and pellets formation. Pellets were made with a mixture of rice husk ash additive powder of 5-10%. The results showed that the residual sludge from anaerobic digestion process had a solid content (TS) from 2.0 to 4.5%. The process of dewatering of residue sludge and the drying process can increase the levels of solids each up to 26-29% and 80%. Pellets that was produced meets the requirements as organic fertilizer or soil conditioner according to Indonesia National Standard (SNI) 7847: 2012 that is intended for industrial timber estates (HTI). Based on material balance calculations for industrial scale, biological sludge digestion capacity of 200 tonnes a day with a TS content of 1%, resulting in digestion sludge residue as much as 24 tonnes/day with a TS content of 3%. From the sludge residue can be made fertilizer pellets with TS of 80.5% as much as 710 kg/day. Economic analysis results indicate that the Pay Back Period was 3.9 years with the Break Even Point (BEP) of 48%.

Keywords: anaerobic digestion, biological sludge, sludge residue, organic fertilizer pellet

ABSTRAK

Penelitian pembuatan pelet pupuk organik dari residu digestasi anaerobik lumpur biologi industri kertas telah dilakukan. Tahapan penelitian terdiri dari karakterisasi lumpur biologi, digestasi anaerobik untuk memperoleh endapan residu lumpur, pembuatan pelet pupuk organik, dan analisis tekno ekonomi. Proses digestasi anaerobik skala pilot dilakukan di industri kertas pada pH 5,5 – 6,0, alkalinitas 2000 - 2500 mg/L, dan waktu tinggal 4 hari dengan kadar padatan total (TS) umpan 0,6%. Tahapan pembuatan pelet pupuk organik meliputi penghilangan air, pengeringan dan pembentukan pelet. Pembuatan pelet dilakukan dengan menambahkan aditif abu sekam 5-10 %. Hasil penelitian menunjukkan bahwa residu lumpur dari proses digestasi anaerobik mengandung kadar padatan total 2,0 - 4,5%. Proses penghilangan air pada residu lumpur dan pengeringannya dapat meningkatkan kadar padatan berturut-turut 26 – 29% dan 80%. Pelet yang dihasilkan memenuhi persyaratan sebagai pupuk organik atau pembenah tanah menurut SNI 7847:2012 yang diperuntukkan untuk Hutan Tanaman Industri (HTI). Berdasarkan perhitungan neraca massa skala industri, digestasi anaerobik dengan umpan lumpur biologi 200 ton/hari dan kadar padatan total (TS) 1% menghasilkan residu lumpur 24 ton/hari dengan TS 3%. Residu lumpur tersebut dapat dibuat menjadi 710 kg pelet pupuk organik/hari dengan TS 80,5%. Hasil analisis ekonomi menunjukkan bahwa lamanya investasi kembali adalah 3,9 tahun dengan titik pulang pokok 48%.

Kata kunci: digestasi anaerobik, lumpur biologi, residu lumpur, pelet pupuk organik

PENDAHULUAN

Sektor industri memberikan dampak positif yang cukup besar terhadap aspek ekonomi, namun dapat menimbulkan dampak negatif yang cukup signifikan pada aspek lain, yaitu berupa pencemaran lingkungan. Industri kertas memberikan kontribusi cukup besar terhadap pencemaran lingkungan akibat lumpur hasil pengolahan air limbahnya tidak dikelola dengan baik dan kontinyu (Suriyanarayanan dkk., 2010, Soetopo dkk., 2014).

Lumpur biologi Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang selanjutnya dinyatakan sebagai lumpur biologi adalah lumpur yang didominasi oleh biomassa mikroba yang berasal dari sistem pengolahan air limbah proses lumpur aktif. Karakteristik lumpur biologi industri kertas sangat dipengaruhi oleh jenis industri, yaitu bahan baku, jenis kertas, dan bahan kimia yang digunakan. Lumpur biologi memiliki sifat fisik berlendir, mengandung banyak air yang sulit dihilangkan dengan cara dipekatkan dan dipres. Jumlah lumpur biologi industri kertas cukup besar, yaitu sekitar 0,3 - 1,0 m³/ton produk dengan dasar kadar padatan total (TS) 0,53 - 1,1% (Soetopo dkk., 2014) dan 34 - 105 kg/ton produk (Karn, 2015). Komposisi utama lumpur biologi adalah 60-95% senyawa organik, 20,3% karbon total, 0,95% nitrogen total, dan rasio C/N 21,36 (Purwati dkk., 2006). Menurut Ferguson (1991), lumpur biologi industri kertas mengandung nitrogen total sekitar 13 - 59,4 mg/kg. Lumpur biologi industri kertas merupakan permasalahan yang hingga saat ini belum teratasi dengan baik. Hal ini disebabkan oleh karakteristiknya yang ruah dan sulit dikeluarkan airnya, sehingga kurang efektif jika dipres seperti yang umumnya dilakukan di industri saat ini (Soetopo, 2012; Wood, 2008). Oleh karena itu, perlu dilakukan penanganan atau pengolahan limbah tersebut secara tepat sekaligus diharapkan dapat menghasilkan suatu produk yang bernilai ekonomi.

Proses digestasi anaerobik merupakan salah satu teknologi penanganan lumpur biologi melalui penguraian bahan organik oleh bakteri yang berlangsung secara anaerobik (Appels dkk., 2008; Wood dkk., 2009; Kangle dkk., 2012). Sistem digestasi anaerobik dilakukan dua tahap: tahap pertama adalah pembentukan asam (hidrolisis dan fermentasi asam volatil) pada reaktor asidifikasi dan tahap kedua adalah pembentukan biogas pada reaktor metanasi. Proses tersebut sangat efektif

untuk mengolah lumpur biologi (Hagelqvist, 2013; Cater dkk., 2014). Tahap pertama berbeda dengan tahap kedua dalam hal jenis varietas bakteri, laju digestasi, proses degradasi, dan hasil akhir (Cater dkk., 2014). Reaktor metanasi digunakan untuk mengolah supernatan yang diperoleh dari efluen reaktor asidifikasi (Appels dkk., 2008). Selain biogas sebagai sumber energi, proses ini juga menghasilkan residu lumpur (*slurry*) dan filtrat (Appels dkk., 2008; Wood, 2008; Kangle dkk., 2012). Keuntungan dari pengolahan lumpur biologi dengan digestasi anaerobik dua tahap adalah dihasilkannya produk biogas secara optimal. Namun demikian, masih terbentuk produk samping residu lumpur dari reaktor asidifikasi yang jumlahnya sekitar 7 - 11% dari umpan. Residu lumpur tersebut mengandung unsur-unsur hara esensial yang berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai pupuk organik (Soetopo dkk., 2014). Demikian juga, menurut Voća dkk. (2005), residu proses digestasi anaerobik mengandung unsur-unsur hara esensial yang memenuhi syarat spesifikasi pupuk organik dan/atau pembenah tanah. Menurut Cater dkk. (2014), filtrat keluaran dari proses digestasi anaerobik akan lebih mudah diolah.

Permasalahan lumpur di industri kertas dapat diatasi dengan mengolahnya melalui proses digestasi anaerobik dan memanfaatkan residu lumpurnya sebagai pupuk organik (Soetopo dkk., 2011; Purwati dan Soetopo, 2006; Suriyanarayanan dkk., 2010). Pupuk organik sangat diperlukan untuk perbaikan sifat-sifat fisik tanah, seperti tanah kritis, tanah marginal/tanah sub optimal. Produksi pupuk organik dapat dibuat dalam 2 bentuk, yaitu curah dan pelet. Pupuk organik curah tidak homogen karena selain masih mengandung kadar air yang cukup tinggi dan ruah (*bulky*), pupuk organik curah juga sulit dalam mengaplikasikannya. Untuk mengatasi kendala tersebut, pupuk organik dapat dibuat dalam bentuk pelet sehingga lebih praktis..

Pelet pupuk organik memiliki kepadatan tinggi sehingga volumenya lebih kecil dan mudah dalam penyimpanan dan transportasi ke lahan pertanian (Wardhana dkk., 2015). Selain itu, unsur-unsur hara yang terkandung pada pelet pupuk organik tidak mudah tercuci oleh air hujan dan unsur-unsur hara akan dilepaskan secara perlahan dalam jangka waktu yang lebih lama dibandingkan dengan pupuk organik curah (Siriwattananon dan Mihara, 2008). Kualitas pelet pupuk organik sangat tergantung pada

karakteristik, kondisi, dan hasil proses digestasi. Kadar air pada saat pembuatan pelet akan mempengaruhi kekuatan pelet yang dihasilkan. Jenis bahan aditif yang digunakan dipilih berdasarkan tujuan kegunaannya, diantaranya sebagai perekat, mengurangi kadar air (*drying agent*) atau untuk meningkatkan kadar haranya. Jenis bahan perekat yang dapat digunakan dalam pembuatan pelet pupuk adalah amilum. Amilum merupakan polimer alam yang sering digunakan sebagai perekat dan banyak tersedia di pasaran, meliputi gandum, jagung, beras, kentang, dan lain-lainnya. Bahan lain yang mudah didapatkan dan berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai aditif adalah arang atau abu dari sekam padi. Selain dapat meningkatkan kualitas pelet pupuk organik, abu sekam padi juga dapat berfungsi sebagai *drying agent*. Atas dasar uraian tersebut, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk membuat pelet pupuk organik dari residu proses digestasi anaerobik, serta menghitung kelayakan ekonomi produksi pelet pupuk organik.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan peralatan

Bahan-bahan penelitian terdiri dari bahan utama dan bahan pendukung. Bahan utama adalah lumpur biologi, dan residu proses digestasi anaerobik, diperoleh dari percobaan skala pilot di industri kertas di daerah Jawa Barat. Residu lumpur diambil dari lumpur yang dibuang (*wasting sludge*) dari digestasi anaerobik. Bahan pendukung adalah nutrisi proses digestasi anaerobik yang terdiri dari urea, asam fosfat (H_3PO_4), ferri klorida ($FeCl_3$), penyangga pH $NaHCO_3$, dan bahan aditif abu sekam untuk pencetakan pelet pupuk organik. Peralatan yang digunakan antara lain reaktor digestasi anaerobik skala pilot (volume 3 m³) di industri kertas, peralatan pembuatan pelet pupuk organik yang terdiri dari *filter press*, alat pengering dengan suhu 70°C, alat pencampur dan mesin pembuat pelet kapasitas 250 – 300 kg/hari dengan diameter lubang cetakan 2 mm.

Metode

a. Karakterisasi Lumpur Biologi

Karakterisasi dilakukan terhadap lumpur biologi sebagai umpan proses digestasi anaerobik, dengan parameter uji meliputi zat padatan

tersuspensi (TS), zat padatan ter volatil (VS), kemasaman (pH), kadar C-organik, unsur-unsur hara makro (N, P, K) dan hara mikro (Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Na, Cl), serta kandungan logam berat (Cu, Cr, Ni, Pb, Zn dan Cd). Sedangkan terhadap residu lumpur yang telah mengalami penghilangan air dilakukan analisis zat padatan total (TS), zat padat ter volatil (VS), dan kemasaman (pH) lumpur. Analisis kadar C-organik, unsur unsur hara makro dan mikro mengacu pada AOAC (2002). Analisis TS mengacu pada Standard Methods (2012), sedangkan analisis VS mengacu pada SNI 06.6989.27: 2005. Analisis Cu, Cr, Ni, Pb, Zn dan Cd masing masing mengacu pada SNI 06-6989.6 : 2009, SNI 06-6989.17 : 2009, SNI 06-6989.18 : 2009, SNI 06-6989.8 : 2009, SNI 06-6989.7 : 2009 dan SNI 06-6989.16 : 2009. Pengujian dilakukan di Balai Besar Pulp dan Kertas Bandung, kecuali unsur-unsur hara makro dan mikro di Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian Bogor.

b. Digestasi Anaerobik Lumpur Biologi

Proses digestasi anaerobik dilakukan secara kontinyu menggunakan umpan lumpur biologi industri kertas dengan peningkatan kadar padatan secara bertahap, yaitu mulai dari 0,5 atau 50% umpan lumpur biologi sampai 100%. Kondisi proses digestasi anaerobik adalah waktu tinggal 4 hari, pH 5,5–6,0, alkalinitas dipertahankan pada 2500 mg/L dengan menambahkan H_3PO_4 dan $NaHCO_3$. Analisis karakteristik residu lumpur yang terbentuk dilakukan terhadap parameter TS, VS dan pH.

c. Percobaan Pembuatan Pelet Pupuk Organik

Percobaan pembuatan pelet pupuk organik dilakukan di BBPK Bandung dengan tahapan penghilangan air (*dewatering*) residu lumpur menggunakan alat *filter press*; pengeringan residu lumpur dengan alat pengering suhu 70°C, penambahan bahan aditif dan pembentukan pelet dengan mesin pelet. Penghilangan air residu lumpur dilakukan menggunakan alat *filter press* hidraulik dengan variasi tekanan 3 sampai 15 atm. Penghilangan air dilakukan dengan cara memasukkan residu lumpur ke dalam ruang pengepresan yang di dalamnya dilengkapi saringan dari kain polyester yang memiliki permeabilitas udara > 15 m³/m².menit. Hasil

pengepresan berupa lumpur padat (*sludge cake*) dan filtrat. Kadar air lumpur padat dianalisis dan terhadap filtratnya dianalisis zat padatan tersuspensi (TSS), COD, dan pH. Analisis TSS mengacu pada SNI 06-6989.3:2004, sedangkan analisis COD mengacu pada SNI 06-6989.2 : 2009. Lumpur padat hasil pengepresan pada tekanan optimum (6 atm) selanjutnya dikeringkan pada suhu 70°C sampai mencapai kadar air sekitar 20%.

Residu lumpur yang telah dihilangkan airnya dan dikeringkan, kemudian dicetak menjadi bentuk pelet melalui beberapa variasi perlakuan penambahan aditif. Variasi percobaan pembentukan pelet pupuk organik adalah dengan menambahkan bahan aditif abu sekam dengan variasi dosis 5-10%, dan tanpa penambahan bahan aditif. Abu sekam ditambahkan dalam bentuk serbuk kering untuk menyerap air dan meningkatkan kualitas pupuk melalui penambahan kadar karbon (C) dan kalium (K). Pencampuran residu lumpur dengan abu sekam dilakukan dalam tanki pencampur, yang kemudian dicetak menjadi pelet dalam mesin pelet. Pelet yang dihasilkan dianalisis sesuai parameter yang dipersyaratkan dalam standar baku mutu pupuk organik atau kompos menurut SNI 7847:2012 “Limbah-Spesifikasi hasil pengolahan –B agian 1: Lumpur (*sludge*) IPAL Industri Pulp dan Kertas untuk Pembenh Tanah Organik” dan Permentan No. 70/2011 tentang “Pupuk Organik, Pupuk Hayati, dan Pembenh Tanah: Tabel Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik dari IPAL Industri, dan Tabel Persyaratan Teknis Minimal Pupuk Organik Padat Granul/ Pelet Murni”.

d. Analisis Tekno-Ekonomi

Analisis tekno-ekonomi diperhitungkan berdasarkan skala industri, dari kapasitas lumpur biologi 200 ton/hari (kadar TS 1%) dengan menghasilkan residu lumpur hasil digestasi sebanyak 24 ton/hari (kadar TS 3%). Tahapan analisis tekno ekonomi dilakukan sebagai berikut :

- menghitung neraca massa dari diagram alir proses produksi pelet pupuk organik berdasarkan hasil penelitian.
- menginventarisasi dan menghitung biaya investasi yang meliputi kebutuhan, lahan, bangunan, dan peralatan/permesinan.

- menghitung modal kerja, dan produksi, dengan pertimbangan asumsi terhadap bunga bank, pajak, depresi alat dan asuransi.
- Melakukan evaluasi kelayakan produksi secara ekonomi antara lain melalui perhitungan *Return of Investment* (ROI), *Break Even Point* (BEP), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Benefit Cost Ratio* (BCR).

Perhitungan tekno-ekonomi produksi pelet pupuk organik dari residu proses digestasi anaerobik lumpur biologi industri kertas dilakukan atas dasar neraca massa yang dihitung berbasis skala industri dengan kapasitas lumpur biologi yang ada di industri kertas di daerah Jawa Barat. Analisis tekno-ekonomi lebih diutamakan pada unit peralatan yang digunakan untuk memproduksi pelet pupuk organik dari residu lumpur proses digestasi anaerobik. Neraca massa lumpur dihitung berdasarkan data primer hasil percobaan, sedangkan data sekunder serta asumsi/pendekatan yang cukup relevan dipakai sebagai dasar analisis ekonomi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Lumpur Biologi Industri Kertas

Karakteristik lumpur biologi yang digunakan sebagai umpan proses digestasi anaerobik dapat dilihat pada Tabel 1. Lumpur biologi memiliki pH netral ($7,4 \pm 0,5$) dengan kadar TS sangat rendah yaitu rata-rata 6886 ± 549 mg/L atau sekitar 0,69%. Lumpur ini mengandung zat padat ter volatil rata-rata 3.237 ± 181 mg/L atau sebagai senyawa organik sekitar 48% dari zat padat total. Kadar TS dan VS tersebut lebih rendah dibandingkan dengan kadar TS dan VS lumpur biologi yang diteliti oleh Elliott dan Mahmood (2007), yaitu TS 1 – 2% dengan VS 65 – 97% TS. Lebih rendahnya kadar TS dan VS dalam lumpur biologi pada penelitian ini, dapat disebabkan oleh sistem daur ulang serat dan air serta adanya senyawa-senyawa aditif anorganik yang berasal dari proses produksi (Soetopo dkk., 2012). Senyawa organik dalam lumpur biologi sebagian besar berasal dari biomassa mikroba pada proses pengolahan air limbah secara lumpur aktif yang sulit didegradasi karena terperangkap dalam dinding sel mikroba (Appels dkk., 2008).

Tabel 1. Karakteristik Lumpur Biologi Industri Kertas

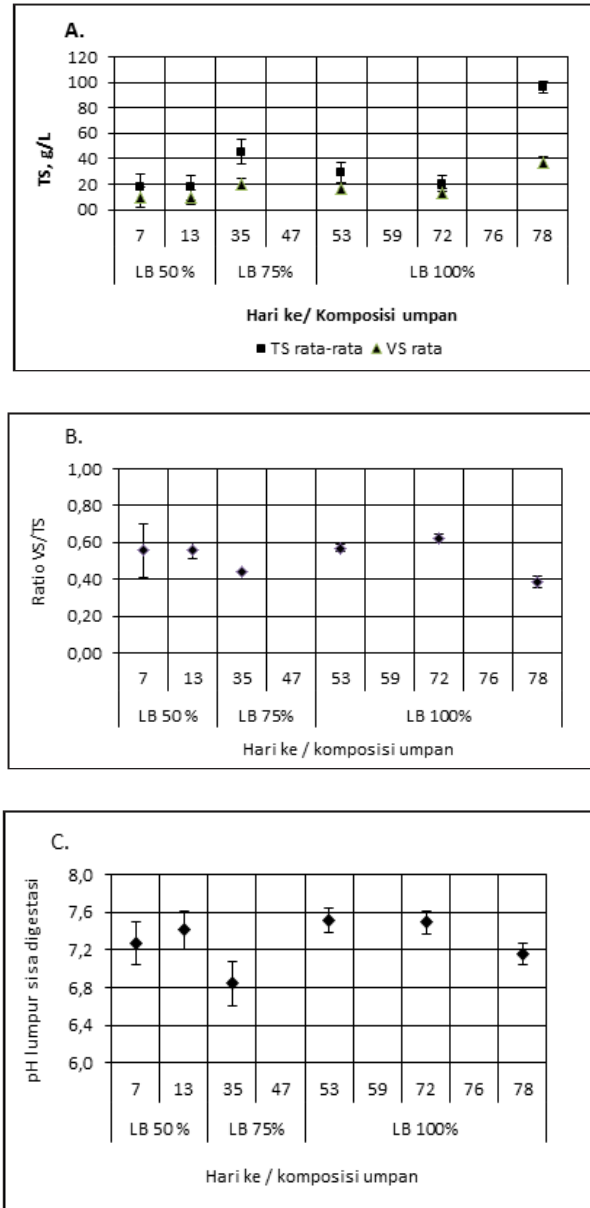
Parameter	Satuan	Nilai Rata-rata	
pH	-	7,4	± 0,5
Zat padat total (TS)	mg/L	6.886	± 549
zat padat volatil	mg/L	3.237	± 181
COD _{total}	mg/L	3.920	± 497
COD _{filtrat}	mg/L	359	± 65
VFA	mg/L	34,2	± 4,6
Cr	mg/L	< 0,05	
Cu	mg/L	0,08	± 0,01
Ni	mg/L	<0,02	
Zn	mg/L	0,233	± 0,04
Cd	mg/L	<0,02	
Pb	mg/L	<0,50	
Ca	mg/L	544,0	± 59,5
Mg	mg/L	77,4	± 9,0

Kandungan Cr, Cu, Ni, Zn dalam lumpur biologi cukup rendah, dan dapat berfungsi sebagai mikro nutrien. Selain itu, lumpur biologi mengandung Ca dan Mg yang dapat berfungsi sebagai makro nutrisi mikroba dalam proses digestasi anaerobik. Sedangkan kandungan Pb dan Cd sangat rendah, jauh di bawah baku mutu Keputusan Kepala BAPEDAL No. 03/1995 tentang Persyaratan Teknis Pengelolaan Limbah B3. Karakteristik lumpur biologi mengandung bahan organik dan unsur-unsur hara yang berpotensi dimanfaatkan sebagai pupuk, namun belum dapat digunakan secara langsung. Proses digestasi anaerobik dapat mengkonversi sifat-sifat lumpur tersebut menjadi tersedia sebagai sumber hara tanaman melalui proses biodegradasi bahan organik (Elliott dan Mahmood, 2007; Appels dkk., 2008).

Residu Proses Digestasi Anaerobik

Residu lumpur yang memenuhi syarat sebagai pupuk, umumnya diperoleh dari proses digestasi anaerobik yang sudah stabil, yaitu adanya keseimbangan antara ketersediaan substrat media lumpur biologi (F) dan jumlah populasi mikroba (M) didalam reaktor digestasi (Kangle dkk.,2012). Untuk mempertahankan keseimbangan tersebut, dilakukan sirkulasi atau pengembalian lumpur (*return sludge*) dari tanki pengendap ke reaktor melalui pengendalian laju *wasting* residu lumpur yang besarnya bervariasi antara 10 dan 30%v/v dari endapan lumpur yang terbentuk. Data analisis karakteristik residu proses digestasi

anaerobik yang meliputi kadar TS, rasio VS/TS dan pH ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kadar TS (A), Rasio VS/TS(B), dan pH (C) dari Residu Lumpur Proses Digestasi Anaerobik

Residu lumpur hasil proses digestasi anaerobik umumnya bersifat lebih mudah mengendap dibandingkan dengan lumpur biologi yang bersifat ruah (*bulky*), yang artinya akan makin tinggi kadar padatannya. Semakin baik kinerja proses digestasi, semakin tinggi kemampuan mengendapkan residu lumpur (Arthurson, 2009). Gambar 1A menunjukkan bahwa kadar TS residu lumpur pada awal proses digestasi masih rendah atau relatif sama dengan media lumpur biologi sebelumnya. Hal ini dikarenakan kemampuan

mengendapkan lumpur belum terbentuk secara baik sehingga residu lumpur masih encer dengan kadar TS antara 5 - 10 g/L (0,5 - 1,0%) .

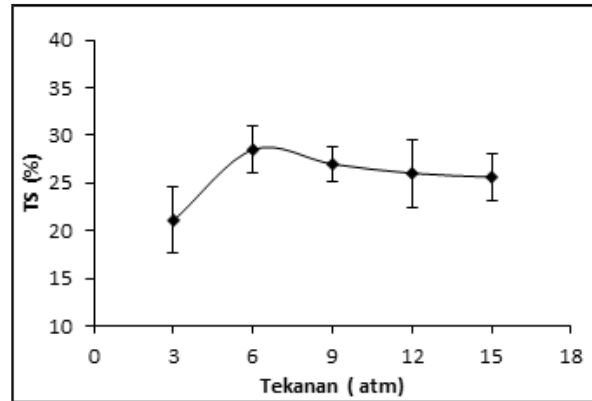
Sejalan dengan meningkatnya kadar padatan umpan lumpur biologi, yang diikuti oleh makin teradaptasinya mikroba anaerobik sebagai pengurai bahan organik dan stabilitas kinerja digestasi, ditunjukkan dari kadar TS residu lumpur yang makin tinggi, menjadi berkisar antara 20 dan 45 g/L atau (2,0 - 4,5%). Hal tersebut memberikan arti bahwa kemampuan mengendap residu lumpur semakin baik, dan kadar TS yang tinggi akan diperoleh. Namun hal ini juga tergantung pada fluktuasi kadar TS lumpur biologi sebelumnya, yang berkisar antara 0,4% dan 0,65%. Data hasil penelitian menunjukkan bahwa digestasi anaerobik lumpur biologi dengan melakukan laju pembuangan (*wasting*) residu lumpur antara 10% dan 30% dapat menghasilkan kadar TS dalam residu lumpur meningkat menjadi 2 - 4,5% .

Hasil analisis residu lumpur menunjukkan bahwa rasio VS/TS tidak memperlihatkan perubahan yang signifikan, baik pada saat awal digestasi dan umpan lumpur biologi 50% hingga 100% berkisar antara 0,4 - 0,6 (Gambar 1B). Rendahnya nilai rasio VS/TS ini dapat disebabkan oleh karakteristik umpan proses digestasi anaerobik (lumpur biologi) yang kandungan organiknya rendah hanya 48%, sehingga berakibat menurunnya kualitas pupuk yang dihasilkan, karena bahan organik yang terkandung didalamnya menjadi rendah pula. Gambar 1C menunjukkan pH residu lumpur secara umum berada disekitar netral (pH 6,8 - 7,6). Berarti pengaturan kondisi pH masam melalui penambahan asam fosfat yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses digestasi anaerobik, (asidifikasi) dan penambahan larutan penyangga pH (*pH buffer*) berupa Na karbonat, cukup efektif digunakan. Keadaan ini cukup menguntungkan, karena tidak memerlukan proses netralisasi lagi untuk cairan hasil digestasi tahap pertama, yang akan diolah lanjut menjadi biogas.

Penghilangan Air dan Pengeringan Residu Lumpur

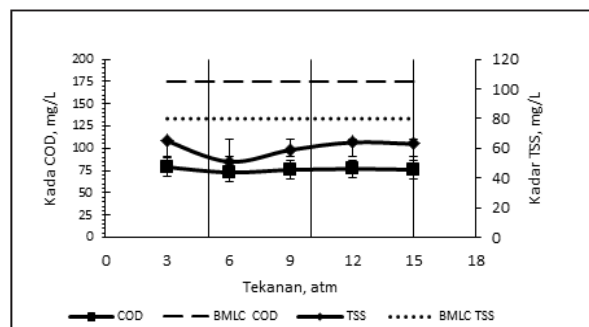
Hasil percobaan penghilangan air (*dewatering*) terhadap residu lumpur hasil proses digestasi anaerobik dengan sistem pengepresan ditunjukkan pada Gambar 2. Kadar TS dari lumpur padat (*sludge cake*) pada tekanan 6 atm menghasilkan

TS tertinggi, yaitu 28,51% atau kadar air rata-rata 71,49%. Sedangkan kadar TS dengan tekanan yang diperbesar hingga mencapai lebih dari 15 atm, cenderung menurun menjadi sekitar 25%



Gambar 2. Kadar TS Residu Lumpur setelah Pengeluaran Air

Secara teoritis tekanan *filter press* maksimal 10 atm, pencapaian kadar TS residu lumpur berkisar antara 26,99 dan 28,51% atau kadar air rata-rata 71,49 - 73,01%. Kadar TS residu lumpur hasil pengepresan pada tekanan tersebut cukup tinggi mengingat air yang terkandung dalam residu lumpur sebelum *filter press* hampir 80%, adalah berupa air sel yang sulit dikeluarkan dengan cara pengepresan mekanik saja (Bougrrier dkk., 2007, Elliot dan Mahmood, 2007). Selain kadar TS residu lumpur hasil pengepresan, hasil analisis filtrat residu lumpur dapat dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar tersebut, kadar TSS dan COD dalam filtrat residu lumpur hasil pengepresan dari semua perlakuan tekanan, memenuhi baku mutu air limbah untuk industri kertas kasar menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 tahun 2014, sehingga filtrat hasil pengepresan tersebut aman apabila dibuang ke lingkungan.



Gambar 3. Kadar TSS dan COD Filtrat Hasil Pengepresan dengan Variasi Tekanan

Pengeringan residu lumpur atau *sludge cake* basah hasil pengepresan dengan kadar TS 26,99 – 28,51%, dapat meningkat sampai sekitar 80%. Proses pengeringan dilakukan dengan alat pengering pada suhu 70°C selama 20 – 24 jam.

Produksi Pelet PupukOrganik

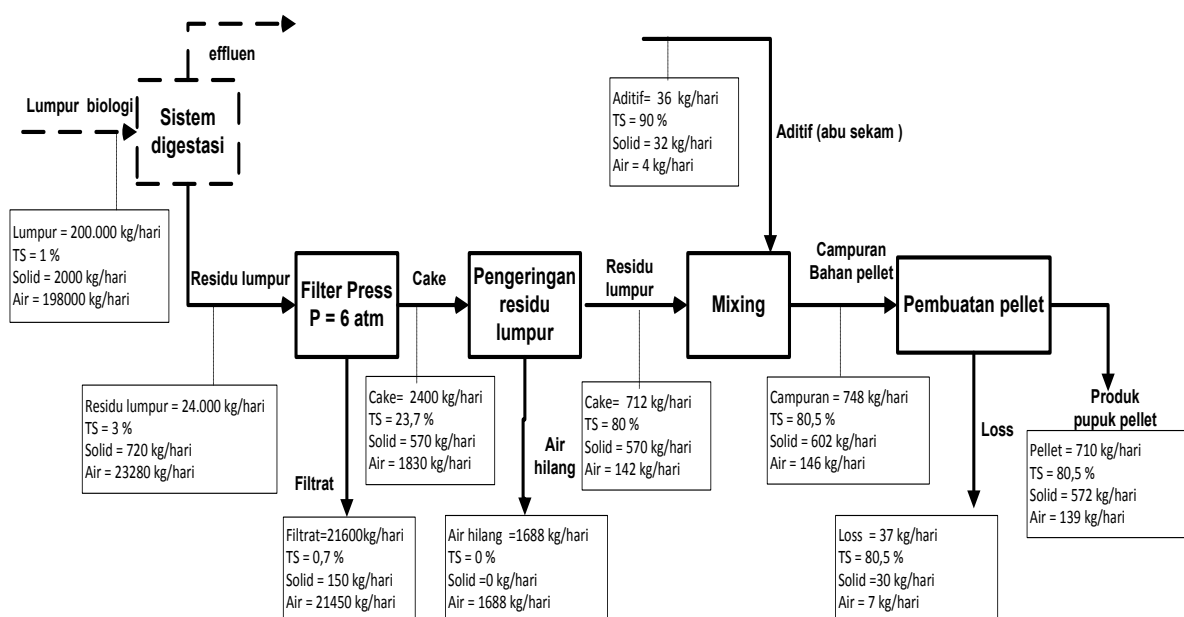
Residu lumpur yang telah dikeringkan hingga mencapai TS 80% atau kadar air sekitar 20% baik tanpa perlakuan maupun dengan penambahan abu sekam padi, selanjutnya dicetak pada mesin pelet yang mampu menghasilkan pupuk dengan rendemen > 90%. Pelet pupuk organik yang dihasilkan mempunyai diameter 2 mm, dan panjang 1-2 mm. Selanjutnya, pelet pupuk organik diuji kualitasnya berdasarkan Permentan No 70 /2011. Hasil analisis pelet pupuk organik dari residu lumpur digestasi anaerobik dicantumkan pada Tabel 2.

Pelet pupuk organik yang dihasilkan, baik tanpa maupun dengan penambahan aditif, mengandung kadar C-organik berkisar antara 11,64 - 14,5%, nitrogen (N) 0,94 – 1,35% dan rasio C/N antara 9,2 – 11. Ditinjau dari parameter kadar C-organik dalam pelet pupuk organik tanpa maupun dengan penambahan aditif yang dihasilkan masih tergolong rendah. Demikian juga rasio C/N nya, sehingga tidak masuk ke dalam standar pupuk organik Permentan No. 70/2011. Kadar organik pupuk sangat dipengaruhi oleh

karakteristik lumpur biologi, merupakan limbah yang terbentuknya tergantung pada bahan baku dan proses produksi di pabrik. Namun demikian pada penelitian ini kondisi limbah lumpur sebagai bahan dasar pelet pupuk organik yang dihasilkan telah memenuhi ke dalam spesifikasi pembenah tanah menurut SNI 7847:2012 yang diperuntukkan hanya untuk Hutan Tanaman Industri (HTI). Ditinjau dari kandungan logam berat dan unsur-unsur hara mikro, pelet pupuk organik yang ditambah aditif maupun tidak menunjukkan nilai-nilai yang masuk ke dalam kriteria pupuk organik Permentan No. 70/2011, maupun SNI 7847:2012. Hasil analisis pelet pupuk dengan penambahan aditif abu sekam dapat menyebabkan peningkatan kadar kering pelet pupuk yang cukup tinggi, sehingga menguntungkan dalam pengemasan dan penyimpanan.

Kajian Teknoekonomi

Hasil perhitungan neraca massa pembuatan pelet pupuk organik dari residu lumpur proses digestasi anaerobik dengan umpan lumpur biologi industri kertas dapat dilihat pada Gambar 4. Proses digestasi anaerobik dengan basis umpan lumpur biologi industri kertas sebanyak 200 ton/hari (kadar TS 1%) menghasilkan 24.000 kg residu lumpur /hari dengan kadar TS 3%, kemudian diproses menjadi 710 kg pelet pupuk organik/hari dengan kadar TS 80,5 %.



Gambar 4. Neraca Massa Lumpur Biologi Industri Kertas untuk Pelet Pupuk Organik

Tabel 2. Hasil Analisis Pelet Pupuk Organik

No.	Parameter	satuan	Pelet pupuk organik		Permentan No. 70/2011		SNI 7847:2012
			Tanpa aditif	Tambah aditif	Pupuk dari IPAL (1.3).	Pelet pupuk (1.1)	
1	C-organik	%	1,64	14,50	min 15	≥ 15	≥ 10
2	C/N	-	9,2	11	15-25	15 -25	10-25
3	bahan ikutan	%	0,00	0	≤ 2	≤ 2	-
4	kadar air	ppm	26,0	6,05	15 - 25	8 – 20	≤50
Logam Berat							
5	Arsen (As)	ppm	9,00	1,2	≤ 10	≤ 10	≤ 10
6	Air raksa (Hg)	ppm	<0,8	0,2	≤ 1	≤ 1	≤ 0,8
7	Timbal (Pb)	ppm	<0,8	td	≤ 50	≤ 50	≤ 50
8	Kadmium (Cd)	ppm	<0,003	td	≤ 2	≤ 2	≤ 3
9	Krom (Cr)	ppm	49,7	0,54	≤ 210	-	≤ 210
10	Kobalt (Co)	ppm	0,12	3,3	≤ 700	-	≤ 20
11	Nikel (Ni)	ppm	7,97	17	≤ 62	-	≤ 50
12	Selenium (Se)	ppm	<0,3	td	≤ 2	-	≤ 1,0
13	Timah (Sn)	ppm	td	td	-	-	≤ 20
14	pH	-	7,50	7,5	6-9.	4-9.	6-8.
Hara Makro							
15	(N + P ₂ O ₅ + K ₂ O)	%	7,10	13,09	≥ 4	-	-
Mikroba							
16	<i>Eschericia coli</i>	MPN/g	<30	<30	-	≤10 ²	-
17	<i>Salmonella sp.</i>	MPN/g	<30	<30	-	≤10 ²	-
18	Ukuran Butiran (2 - 5 mm)	%	-	-	-	-	≥ 80
Hara Mikro							
19	Fe-total	ppm	49,83	39,4	≤ 9000	≤ 9000	-
20	Mn	ppm	5,76	4,58	≤ 5000	≤ 5000	-
21	Zn	ppm	1,33	0,71	≤ 5000	≤ 5000	≤ 500
22	Cu	ppm	1,16	-	≤ 5000	≤ 5000	-
23	Mo	ppm	<0,7	td	≤ 20		-
24	Na-total	ppm	0,11	0,11	≤ 2000		-
25	Cl-total	ppm	0,05	-	≤ 5000		-
26	La	ppm	0	0	0	0	-
27	Ce	ppm	0	0	0	0	-

Catatan :

1)SNI 7847:2012: Spesifikasi hasil pengolahan: Lumpur IPAL industri pulp dan kertas sebagai pembenah tanah;

2)Permentan No. 70/Permentan/SR.140/10/2011 tentang Pupuk Organik, Pupuk Hayati dan PembenahTanah :

1.1. Persyaratan teknis minimal pupuk organik padat;

1.3. Persyaratan teknis minimal pupuk organik dariInstalasi pengolahan air limbah industri

Tabel 3. Perhitungan Tekno Ekonomi Pembuatan Pelet Pupuk Organik

Modal tetap (Biaya investasi)					
No	Uraian	Ukuran	Banyaknya	Harga satuan (Rp)	Biaya (Rp)
1	Lahan	5 m x 20 m	100 m ²	500.000	50.000.000
2	Bangunan	5 m x 14 m	70 m ²	1.000.000	70.000.000
3	Tangki penampung lumpur	24 m ³	1 unit	15.000.000	15.000.000
4	Pompa lumpur	3,5 m ³ /jam	2 unit	2.500.000	5.000.000
5	Mesin Screw Press	4 ton/hari	1 unit	225.000.000	225.000.000
6	Belt conveyor	2 m	3 unit	24.000.000	72.000.000
7	Alat pengering	1,5 ton/jam	1 unit	275.000.000	275.000.000
8	Mesin pencacah	250 kg/jam	1 unit	25.000.000	25.000.000
9	Mesin pembuat pellet	300 kg/jam	1 unit	35.000.000	35.000.000
10	Timbangan	100 kg	1 unit	4.000.000	4.000.000
Biaya Investasi					776.000.000

Perhitungan

No	Uraian	Banyaknya	Harga satuan (Rp)	Besarnya (Rp/ th)
1	Pendapatan			
	- Produksi pelet TS = 80% (710 kg/hari, 300 hari)	213.000	kg/ th	1.100
	- Penghematan biaya angkutan oleh pihak ketiga	12	Bln	20.000.000
	Jumlah pendapatan			474.300.000
2	Biaya Kerja			
2.1	Biaya tidak tetap			
	- bahan aditif	10.800	kg/ th	500
	- biaya tenaga langsung (4 org, 300 hari)	1.200	OH	50.000
	- listrik (8 Jam/hari, 300 hari)	34.500	kWh	1.116*
	Jumlah biaya tidak tetap			103.902.000
2.2	Biaya Tetap			
	- depresiasi alat (6% dari biaya alat)	6	%	776.000.000
	- asuransi (2% dari biaya alat)	2	%	776.000.000
	Jumlah Biaya Tetap			62.080.000
	Jumlah Biaya Kerja (tidak tetap + tetap)			165.982.000
3	Laba/rugi			
	- laba kotor			308.318.000
	- pajak (35 %)	35	%	308.318.000
	- laba bersih			200.406.700
4	Hasil perhitungan tekno ekonomi			
	- <i>Pay back period</i>	3,9 tahun (46,5 bulan)		
	- <i>Break Even Point (BEP)</i>	101.405 kg/ th (48 % kapasitas produksi)		
	- <i>Internal Rate of Return</i>	22,4 %		
	- <i>Net Present value</i>	Rp. 599.607.813		
	- BCR	1,7		

Keterangan : * Biaya listrik berdasarkan tarif dasar listrik untuk industri pada bulan juni 2015

Berdasarkan neraca massa pada Gambar 4 tersebut dilakukan perhitungan tekno-ekonomi. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 3. Perhitungan didasarkan pada beberapa asumsi, yaitu tingkat suku bunga 7,5% per tahun (<http://www.bi.go.id>), umur ekonomis unit digestasi anaerobik 10 tahun (Anderson, 2009), pajak pendapatan 35%, depresiasi alat 6%, biaya asuransi 2% (Anderson, 2009), dan nilai perolehan laba bersih tetap setiap tahunnya.

Modal investasi yang diperlukan untuk pengolahan residu lumpur menjadi pelet pupuk organik sebesar Rp 776.000.000,-. Lamanya modal investasi kembali (*pay back periode*) adalah 3,9 tahun. Adapun titik pulang pokoknya (*break even point*, BEP) adalah bila memproduksi pelet pupuk organik sebanyak 101.405 kg/tahun atau 338 kg/hari (48% dari kapasitas produksi). Nilai *internal rate of return* (IRR) sebesar 22,4 %, lebih tinggi dibandingkan dengan suku bunga yang digunakan yaitu 7,5%. Sedangkan nilai *net present value* (NPV) bernilai Rp. 599.607.800,-. Nilai *benefit cost ratio* (BCR) sebesar 1,7 menunjukkan bahwa biaya yang dikeluarkan setiap tahunnya dapat dipenuhi oleh pendapatannya (BCR >1). Hasil perhitungan tekno ekonomi tersebut menunjukkan bahwa pengolahan residu lumpur menjadi pelet pupuk organik, secara ekonomi cukup layak dilakukan pada nilai asumsi tersebut di atas.

KESIMPULAN

Berdasarkan kadar organik pada pelet pupuk organik dari residu lumpur proses digestasi anaerobik lumpur biologi industri kertas telah memenuhi persyaratan menurut SNI 7847:2012, untuk peruntukan Hutan Tanaman Industri (HTI), namun belum memenuhi persyaratan Permentan No. 70/2011. Berdasarkan kandungan logam berat maupun ketersediaan unsur hara secara keseluruhan telah memenuhi persyaratan SNI 7847:2012 maupun Permentan No. 70/2011. Hasil perhitungan neraca massa dan teknoekonomi berbasis kapasitas lumpur biologi skala industri 200 ton/hari dengan TS 1% diperoleh endapan residu lumpur 24.000 kg/hari dengan TS 3%. Residu lumpur sebagai pupuk organik dapat diperoleh melalui *filter press* dan pengeringan hingga kadar air mencapai 20%, kemudian dicetak pada mesin pelet, dan menghasilkan pelet pupuk organik 710 kg/hari dengan TS 80,5%. Lamanya modal investasi kembali (*pay back*

periode) adalah 3,9 tahun, dengan titik pulang pokoknya (*break even point*, BEP) adalah pada produksi pelet sebanyak 338 kg/hari atau pada kapasitas 48%.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, J., 2009. Determining Manufacturing Cost. *CEP*. January.
- American Public Health Association. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22th ed. APHA, AWWA, WPCF, Washington DC
- Appels, L., Baeyens, J., Degre, J., Dewil, R., 2008. Principles and Potential of the Anaerobic Digestion of Waste-activated Sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*. Vol 34, 755–781.
- Arthurson, V., 2009. Closing the Global Energy and Nutrient Cycles through Application of Biogas Residue to Agricultural Land – Potential Benefits and Drawbacks. *Energies*. 2 (2), 226-242.
- Association of Official Agriculture Chemist. 2002. Official Methods of Analysis of AOAC International. Volume 1.p. 2,5 – 2,37. In Horwitz, W. Agricultural chemicals, Contaminants, Drugs. AOAC International, Maryland, USA. 17th ed.
- Bougrier, C., Delgenès, J.P. dan Carrère, H. 2007. Impacts of Thermal Pre-treatments on The Semi Continuous Anaerobic Digestion of Waste Activated Sludge. *Biochemical Engineering Journal*. 34, 20–27
- Cater, M., Zorec, M., Logar R.M. 2014. Methods for Improving Anaerobic Lignocellulosic Substrates Degradation for Enhanced Biogas Production. *Springer Science Reviews*. 2:51–61.
- Elliott, A., Mahmood., T., 2007. Pretreatment Technologies for Advancing Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Biotreatment Residues. *Water Research*. Vol. 41, Issue 19, 4273–4286 41.
- Ferguson, K., 1991. Environmental Solution for The Pulp and Paper Industry. Miller Freeman. San Fransisco, USA.
- Hagelqvist, A., 2013, Sludge from Pulp and Paper Mills for Biogas Production - Strategies to Improve Energy Performance in Wastewater Treatment and Sludge Management, *disertasi*, Karlstad University, Karlstad, Swedia.
- Kangle, K.M., Kore S.V., Kulkarni G.S. 2012. Recent Trends in Anaerobic Codigestion ; A Review. *Universal Journal of Environmental Research and Technology*. Vol. 2, Issue 4, 210 – 219.

- Karn Santosh Kumar, Swapan Kumar Chakrabarti. 2015., Simultaneous Biodegradation of Organic (Chlorophenols) and Inorganic Compounds from Secondary Sludge of Pulp and Paper Mill by *Eisenia Fetida.*, *Int J Recycl Org Waste Agricult* 4:53–62
- Purwati S., Soetopo, R.S., Setiaji, Setiawan, Y., 2006. Potensi dan Alternatif Pemanfaatan Limbah Padat Industri Pulp dan Kertas. *Berita Selulosa*. Vol. 41, No. 2, 67- 79.
- Purwati S., Soetopo, R.S., 2006. Produksi Biogas dan Pupuk Organik Hasil Digestasi Anaerobik Limbah Lumpur IPAL Industri Kertas. *Berita Selulosa*. Vol. 41, Hal. 1. 30 – 36.
- Siriwattananon, L. Mihara, M. 2008. Efficiency of Granular Compost in Reducing Soil and Nutrient Losses Under Various Rainfall Intensities. *Journal of Environment Information Science*. 36-5, 39-44.
- Soetopo, R.S., Purwati, S., Setiawan, Y., Wardhana, K.A., 2011. Efektivitas Proses Kontinyu Digestasi Anaerobik Dua Tahap pada Pengolahan Lumpur Biologi Industri Kertas. *Jurnal Riset Industri*. Vol. V, No.2, 131-142
- Soetopo, R.S., Purwati, S., Setiawan, Y., Wardhana, K.A., 2012. Pengembangan Proses Digestasi Anaerobik Lumpur Biologi IPAL Industri Kertas untuk Meningkatkan Nilai Ekonomi Pemanfaatan Limbah. *Jurnal Riset Industri*. Vol. VI No. 2, 193-202
- Soetopo, R.S., Purwati, S., Hardiani, H., Aini, M.N., Wardhana, K.A., 2014. Aplikasi Proses Digestasi Anaerobik Lumpur Biologi Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri Kertas. *Jurnal Selulosa*. Vol. 4. No. 2, 75 - 88
- Suriyanarayanan, S., Mailappa, A.S., Jayakumar, D., Nanthakumar, K., Karthikeyan, K., Balasubramanian, S. 2010. Studies on the Characterization and Possibilities of Reutilization of Solid Wastes from a Waste Paper Based Paper Industry. *Global Journal of Environmental Research*. 4 (1), 18-22.
- Voća, N.T. Krička, T. Čosić, V. Rupiće, Ž. Jukić, S. Kalambura. 2005. Digested Residue as a fertilizer after the Mesophilic Process of Anaerobic Digestion. *Plant Soil Environ.*, 51 (6), 262–266
- Wardhana. K.A., Soetopo, R.S., Saepulloh, Asthary, P.B., Aini, M.N., 2015. Perakut untuk Pembuatan Pelet Pupuk Organik dari Residu Proses Digestasi Anaerobik Lumpur Biologi Industri Kertas. *Jurnal Selulosa*. Vol. 5 No. 2, 69 – 78.
- Wood, N. 2008. Pretreatment of Pulp Mill Wastewater Treatment Residues to Improve Their Anaerobic Digestion, *thesis*, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, Kanada.
- Wood N., Honghi T. and Emma M. 2009. Improving Anaerobic Conversion of Pulp Mill Secondary Sludge to Biogas by Pretreatment. TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference, October 11-14, 2009. Memphis. Tennessee. Hal 1-11
- <http://www.bi.go.id/id/moneter/bi-rate/data/Default.aspx>. BI Rate (diakses tanggal 30 Juni 2015)

