



Terakreditasi: SK No.: 66b/DIKTI/Kep/2011

Terakreditasi: SK No.: 60/E/KPT/2016

Website : <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/reaktor/>

Reaktor, Vol. 16 No. 3, September Tahun 2016, Hal. 141-146

## Potensi Biogas dan Pupuk dari Limbah Lumpur Kertas

Cindy Rianti Priadi\*), Iftita Rahmatika, Chihiya Fitria, Dwica Wulandari, dan Setyo Sarwanto Moersidik

Program Studi Teknik Lingkungan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Kampus Baru Universitas Indonesia, Depok, Indonesia 16424

\*)Penulis korespondensi: [cindy.priadi@eng.ui.ac.id](mailto:cindy.priadi@eng.ui.ac.id)

### Abstract

**BIOGAS ENERGY AND FERTILIZING POTENTIAL FROM PAPER SLUDGE.** *Paper sludge contains potential as energy and fertilizer due to the high amount of C, N and P. The aims of this study were to investigate resource recovery potential through biogas production from paper sludge only and with cow manure as co-substrate for 30-45 days in batch anaerobic digestion reactor. In addition, the fertilizer potential from digestate was also tested in *Vetiveria zizanioides*. Co-digestion with cow manure yielded higher methane gas up to 380 CH<sub>4</sub>/g VS due to a more optimum C/N ratio. Vetiver plants grown on digestate relatively showed the high growth performance after 4 weeks. The heavy metal accumulation from digestate was still in tolerable amount since the growth rate was not significantly different with the plant grown in fertilizer. Therefore, resource recovery technology can be an option to recover C, N, and P in paper sludge to achieve sustainable waste management.*

**Keywords:** *biogas; ananerobic digestion; paper sludge; fertilizer*

### Abstrak

*Lumpur dari air limbah industri kertas memiliki C, N, dan P yang tinggi sehingga berpotensi menghasilkan energi dan menjadi pupuk. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pemulihan sumber daya (resource recovery) melalui produksi biogas dari lumpur kertas tanpa dan dengan ko-substrat kotoran sapi selama 30-45 hari dalam reaktor batch anaerobic digestion. Selanjutnya potensi pupuk dari digestat juga diuji dengan tumbuhan akar wangi (*Vetiveria zizanioides*). Setelah 45 hari, lumpur kertas dengan kotoran sapi menghasilkan gas metana yang lebih besar, yaitu 380 CH<sub>4</sub>/g VS. Tanaman akar wangi yang ditanam dengan dengan digestat R2 tumbuh relatif tinggi setelah 4 minggu. Akumulasi logam berat juga masih dalam batas aman karena laju pertumbuhannya yang masih sebanding dengan tanaman yang diberi pupuk. Oleh karena itu, pemulihan sumber daya dapat diterapkan untuk memanfaatkan C, N, dan P yang terkandung dalam lumpur kertas sebagai usaha pengelolaan limbah berkelanjutan.*

**Kata kunci:** *biogas; digestasi anaerobik; lumpur kertas; pupuk*

**How to Cite This Article:** Priadi, C.R., Rahmatika, I., Fitria, C., Wulandari, D., dan Moersidik, S.S., (2016), Potensi Biogas dan Pupuk dari Limbah Lumpur Kertas, 16(3), 141-146, <http://dx.doi.org/10.14710/reaktor.16.3.141-146>

### PENDAHULUAN

Saat ini jumlah produksi kertas meningkat sekitar 1% setiap tahunnya. Perkembangan industri pulp dan kertas mempunyai prospek yang cukup cerah karena produk yang dihasilkan mempunyai peranan

yang strategis sebagai komoditi ekspor di sektor non-migas di Indonesia (Komarayati, 2008). Sebagai salah satu industri dengan polusi terbanyak (Thompson dkk., 2011), tingginya jumlah produksi kertas ini beresiko mencemari lingkungan. Air limbah

dihasilkan dari proses produksi kertas, terutama pada proses *pulping* dan *bleaching* yang mengandung klorida, sulfat, material organik dan logam berat seperti Hg, Pb dan Cr (Giri dkk., 2014).

Efluen dari pengolahan air limbah dapat disesuaikan dengan baku mutu, namun sesuai dengan kekekalan massa, sebagian besar dari polutan tersebut akan berpindah ke kompartimen lain, salah satunya ke lumpur pengolahan air limbah. Dengan demikian pembuangan lumpur menjadi masalah karena adanya kontaminasi bakteri patogen, abu dan logam berat (Monte dkk., 2009).

Pada saat ini, lumpur belum dimanfaatkan sesuai potensinya dan umumnya dibuang secara *open dumping* (Soetopo dkk., 2008). Pengolahan lumpur membutuhkan biaya yang dapat mencapai lebih dari 50% dari total biaya pengolahan air limbah (Appels dkk., 2008). Kandungan C, N dan P dalam lumpur yang relatif tinggi, serangkaian proses pemulihan sumber daya (*resource recovery*) dapat dilakukan untuk menghasilkan biogas untuk memanfaatkan C dan pupuk untuk memanfaatkan N dan P.

Proses penguraian anaerobik (*anaerobic digestion*) dapat menghasilkan biogas karena kadar organiknya tinggi (Soetopo dkk., 2008). Proses digestasi anaerobik lumpur industri kertas dengan waktu retensi 20-30 hari dapat menghasilkan biogas sekitar 130 ml/g VS lumpur dengan kadar gas metan (CH<sub>4</sub>) 69-79% (Soetopo dkk., 2008). Penelitian Prameswaran (2012) menunjukkan proses digestasi anaerobik lumpur kertas dan kotoran babi dapat menghasilkan gas metana yang signifikan sebesar 200 ml CH<sub>4</sub>/g VS. Penelitian sebelumnya oleh Priadi dkk. (2014) menunjukan bahwa campuran lumpur kertas dan kotoran sapi menghasilkan gas metana yang tinggi dibandingkan dengan lumpur kertas saja, yaitu sebesar 269 ml/g VS pada hari ke-28, namun kadar organik yang terkandung masih relatif tinggi sehingga percobaan dapat diteruskan lebih jauh lagi.

Setelah proses metabolisme pada produksi biogas, hasil samping berupa digestat akan mengandung N dan P yang tinggi, sehingga residu lumpur dari proses digestasi anaerobik dapat dimanfaatkan kembali sebagai pupuk. Purwati (2006) meneliti bahwa digestat memiliki kualitas pupuk yang baik karena masih tingginya kandungan nutrient dengan nilai rasio C/N sebesar 15. Penelitian Tambone dkk. (2010) juga menunjukkan digestat memiliki kadar N, P, dan K yang relatif tinggi dengan konsentrasi N organik sebesar 63% TKN, P 10 g/kg TS dan K 43 g/kg TS. Tanaman yang dapat dipakai pada dasarnya adalah tanaman yang relatif toleran terhadap pencemar yang terkandung dalam lumpur. Yang dkk. (2003) memakai tanaman *Vetiveria zizanioides*, *Sesbania rostrata* dan *Sesbania sesban* untuk diaplikasikan pupuk di tanah bekas tambang yang terkontaminasi logam berat. Di Indonesia sendiri, salah satu tanaman yang sering dibudidayakan menggunakan pupuk dari lumpur industri adalah

*Vetiveria zizanioides* yang resisten dan juga memiliki banyak manfaat.

Sebagian besar penelitian terdahulu terkait pemulihan sumber daya dari lumpur industri fokus kepada potensi biogas maupun potensi digestat secara terpisah. Penelitian yang menyatukan produksi biogas dengan pengolahan dan pemanfaatan residu digestat sebagai usaha pengelolaan limbah yang berkelanjutan masih belum banyak dilakukan. Untuk itu, penelitian ini bertujuan melihat potensi dari biogas dan residu secara berurutan dengan melanjutkan percobaan yang sebelumnya pernah dipublikasikan di Priadi dkk (2014). Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan rekomendasi pengelolaan limbah yang efisien dan berkelanjutan.

## METODE PENELITIAN

### Persiapan Sampel

Detil persiapan sampel dan persiapan reaktor dapat dilihat pada Priadi dkk. (2014). Secara singkat, sampel yang akan digunakan adalah limbah lumpur industri pulp dan kertas di Surabaya sebagai substrat utama dan kotoran sapi sebagai ko-substrat. Proses produksi pada industri kertas terdiri dari dua langkah utama, yaitu pembuatan bubur kertas (*pulping*) dan pemutihan (*bleaching*). Lumpur diambil dari *sludge holding tank* yang mengandung lumpur dari proses sedimentasi primer dan sekunder.

### Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan dua buah reaktor anaerob yang masing-masing berukuran 15 liter berbentuk tabung. Reaktor dilengkapi dengan pengaduk dengan kecepatan 80 rpm, termometer dan pH meter. Lubang pertama digunakan untuk mengambil sampel dan lubang kedua tersambungkan dengan kantung gas dengan jenis polypropylene berukuran 1 L (*Tedlar Bag CEL scientific corp*).

Sampel yang digunakan sebagai *feedstock* adalah lumpur kertas dan kotoran sapi yang selanjutnya dicampur dengan air. Untuk menguji pengaruh digestat sebagai pupuk terhadap tanaman, tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) digunakan sebagai tanaman uji. Pada pengujian ini, pupuk komersil digunakan sebagai pembanding.

### Persiapan Reaktor Digestasi Anaerob

Reaktor pertama (R1) terdiri dari yaitu lumpur kertas, sedangkan reaktor kedua (R2) merupakan campuran lumpur kertas dan kotoran sapi dimana volume campuran disesuaikan dengan kadar C/N sebesar 20-30 (Gambar 1). Kotoran sapi diencerkan dengan air hingga total padatnya mencapai 20%, selanjutnya dicampur dengan lumpur kertas dengan rasio volume sebesar 57% dan 36%. Reaktor kemudian dialirkan dengan gas N<sub>2</sub> dan dimasukkan dengan susbrat yang telah disiapkan.

### Karakterisasi Sampel

Selama percobaan dengan reaktor anaerob, parameter *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Volatile*

*Fatty Acid* (VFA), *Volatile Solid* (VS), dan *Total Solid* (TS) diperiksa setiap 2-3 hari. Pada pengukuran COD dan VFA, sampel terlebih dahulu dipisahkan padatnya dengan *centrifuge* dan diambil cairannya untuk di preparasi dan diukur. Pengujian COD dilakukan dengan metode refluks tertutup (SNI 06-6989.15-2004), sedangkan pengujian VFA dengan metode titrasi. Volume dan komposisi biogas diperiksa setiap hari dengan menggunakan *gas chromatography*. Konsentrasi Karbon Organik (C), nutrisi (N, P, dan K) dan logam berat (Pb dan Zn) diukur di awal dan akhir percobaan pada digestat campuran. Untuk pengukuran nutrisi dan logam berat, sampel padatan lumpur terlebih dahulu dikeringkan pada suhu 105°C. Pengujian nutrisi dilakukan dengan menggunakan metode spektrofotometri dengan spectrophotometer DR2000, sedangkan pengukuran logam berat menggunakan *atomic absorption spectroscopy* (GBC ExplorAA).

#### Pengujian Digestat pada Tanaman Akar Wangi

Untuk menguji pengaruh digestat serta transfer logam berat dari digestat sebagai pupuk ke tanaman, digestat kemudian di uji coba sebagai pupuk pada tanaman akar wangi dengan tinggi awal 15-20 cm yang ditanam di 5 variasi media yaitu, tanah dengan lumpur kertas yang telah dikeringkan (A), tanah dengan digestat R1 (B), tanah dengan digestat R2 (C), tanah dengan pupuk (D), tanah sebagai kontrol (E). Preparasi digestat dilakukan dengan mengeringkan lumpur pada suhu 60°C dan mencampur dengan sekam padi untuk memenuhi kadar air sebesar 50%. Empat (4) percobaan dilakukan untuk setiap perlakuan (N=4). Pertumbuhan akar wangi diukur setiap hari, sedangkan akumulasi logam berat (Pb dan Zn) di akar dan daun diukur sebelum dan setelah percobaan.

#### Pengujian Logam Berat pada Tanaman Akar Wangi

Untuk pengujian logam berat pada tanaman akar wangi, akar dan daun sepanjang 5 mm dari tanah

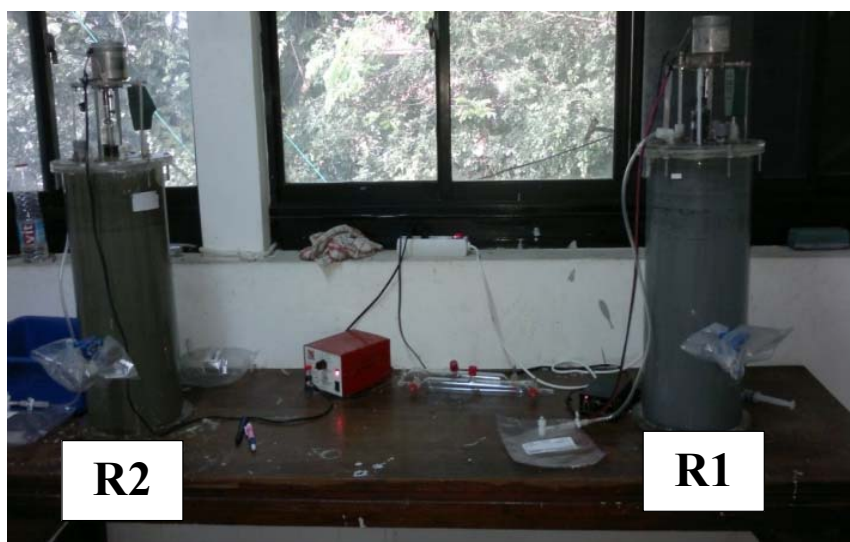
dipotong kemudian dicuci dengan air suling dan dikeringkan pada suhu 105°C. Sampel kemudian dipreparasi dengan menggunakan 10 mL HNO<sub>3</sub> dan 5 ml HClO<sub>4</sub> yang selanjutnya dipanaskan pada suhu 150-300°C hingga sampel jernih. Sampel kemudian diukur dengan *atomic absorption spectroscopy* (GBC ExplorAA) untuk parameter Pb dan Zn.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara keseluruhan, reaktor digestasi anaerob beroperasi pada suhu dan pH optimal yaitu 30-32°C yang merupakan rentang suhu kondisi mesofilik dan antara 6,2-7,3 untuk pH.

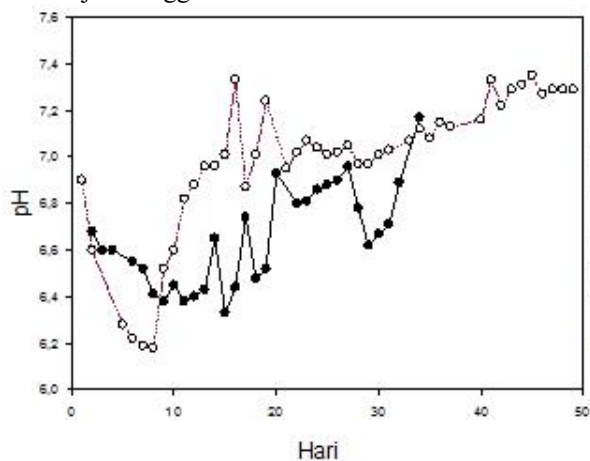
Seperti yang telah dijelaskan secara singkat pada Priadi dkk. (2014), kandungan COD terlarut di awal percobaan pada R2 lebih tinggi dibandingkan R1 yaitu 9,6 g/L dan 1,76 g/L (Gambar 2). COD pada R1 mengalami peningkatan hingga lima kali lipat menjadi 9,86 g/l pada hari 10 pertama. Peningkatan ini disebabkan organik makromolekul di lumpur dalam bentuk padatan mengalami proses hidrolisis dan asidogenesis sehingga terukur sebagai COD terlarut. Sedangkan, COD pada R2 mengalami fluktuasi pada 15 hari pertama. Tingginya konsentrasi COD terlarut pada awal R2 menyebabkan proses metanaogenesis berlangsung lebih lama karena aktivitas metanogen terus terjadi (Priadi dkk., 2014).

Nilai VFA pada R1 lebih tinggi dari R2 dikarenakan tingginya kadar *cellulose* di lumpur kertas. Setelah proses hidrolisis dan asidogenesis yang menyebabkan pH menurun dan VFA meningkat sampai dengan hari ke 10, R2 memasuki fase metanogenesis yang ditandai dengan meningkatnya volume dan konsentrasi metana harian (Priadi dkk., 2014). Produksi biogas di R2 terus mengalami peningkatan hingga hari ke-45. Produksi biogas di R1 tidak mengalami peningkatan setelah hari ke-30. Hal ini dapat disebabkan karena rendahnya C/N R1 dibandingkan dengan R2 yang dicampurkan dengan kotoran sapi seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

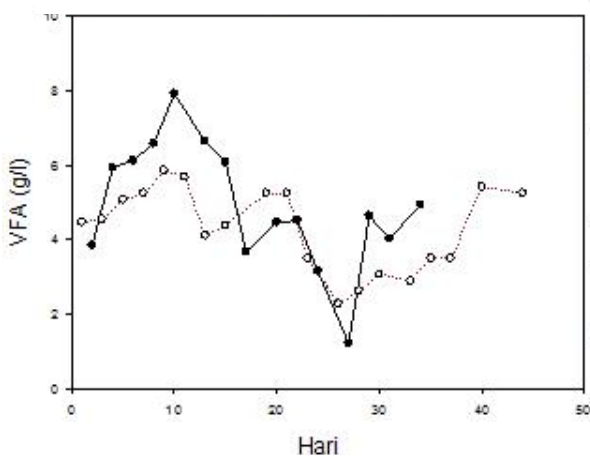


Gambar 1. Reaktor digestasi anaerobik lumpur kertas (R1) dan lumpur kertas dengan kotoran sapi (R2)

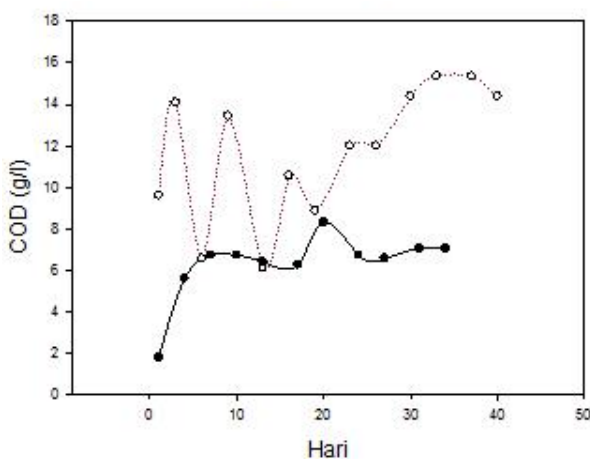
Selain itu, imbah lumpur industri kertas memiliki karakteristik bahan organik yang bersifat lignoselulosik, konsentrasi nitrogen dan kapasitas buffering dan COD terlarut yang rendah (Bank dan Humphreys, 1998). Pencampuran dengan kotoran sapi dapat meningkatkan kapasitas *buffering*, sehingga pH lebih stabil pada proses metanogenesis. Hasil yang serupa telah diamati oleh Parameswaran dan Rittmann (2012) dimana fase metanaogenesis proses digestasi anaerobik lumpur kertas dengan ko-substrat kotoran babi terjadi hingga hari ke-80.



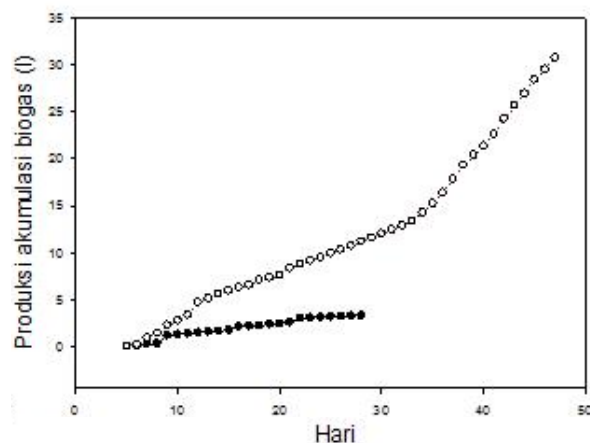
(a)



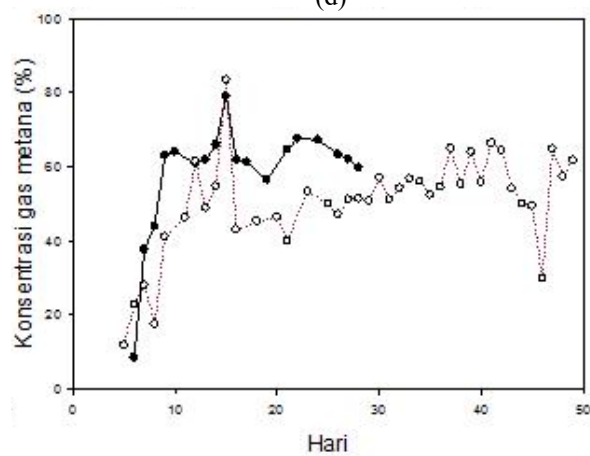
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 2. (a) konsentrasi pH (b) fluktuasi VFA (c) konsentrasi COD (d) produksi akumulatif biogas (e) konsentrasi harian gas metana pada R1 dan R2. Sebagian data dikutip dari Priadi dkk. (2014)

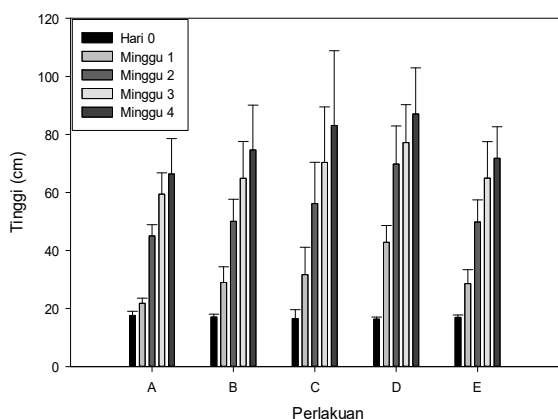
Potensi produksi biogas untuk lumpur kertas pada penelitian ini yaitu 31 ml biogas/g VS dan 470 ml biogas/g VS untuk R1 dan R2. Konsentrasi maksimum gas metana R2 juga lebih tinggi dibandingkan dengan R1 yaitu 84% dengan dimana pada R1 konsentrasi maksimum adalah 79%.

Setelah proses digestasi anaerobik, keberlanjutan sistem produksi biogas bergantung pada pengelolaan residu digestat yang tepat. Digestat pada R1 dan R2 telah memenuhi baku mutu pupuk organik dilihat dari parameter nutrisi dan logam beratnya (Tabel 1). Kadar air masih tinggi dalam digestat sehingga perlu dikeringkan dan dicampur dengan sekam padi untuk memenuhi kadari air sebesar 50%.

#### Potensi digestat sebagai pupuk organik

Digestat kering kemudian di uji coba di tanaman akar wangi (*vetiveria zizanioides*) selama 4 minggu. Pada akhir percobaan, tanaman yang ditanam di tanah dan pupuk (D) memiliki tinggi tanaman tertinggi, diikuti dengan tanaman yang tumbuh dengan digestat R2 (C) dengan tinggi 87,2 cm (Gambar 3). Jika dibandingkan dengan kontrol (E), tanaman yang

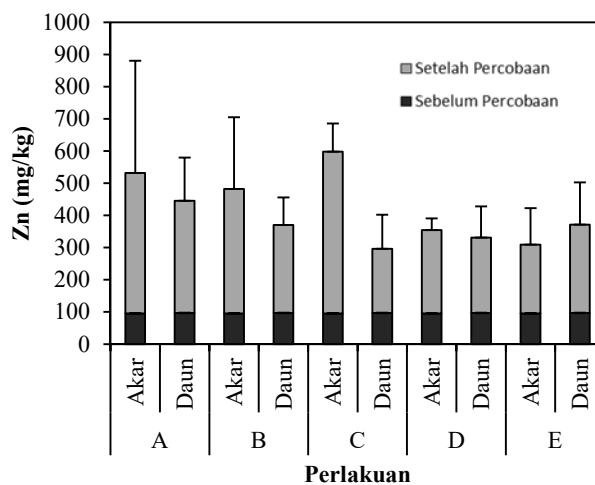
ditanam pada media digestat R2 tumbuh secara signifikan dengan perbedaan tinggi 12 cm pada minggu ke-4 ( $p < 0,001$  dengan tingkat kepercayaan 95%). Pertumbuhan yang signifikan pada media digestat R2 menunjukkan bahwa digestat yang berasal dari lumpur kertas dan kotoran sapi dapat berpotensi menjadi pupuk organik. Sedangkan, tanaman dengan digestat R1 (B) kering sebagai media tanam menghasilkan pertumbuhan yang lebih lambat meskipun relatif lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman dengan lumpur kertas kering saja. Hal ini kemungkinan disebabkan karena lumpur kertas yang belum stabil.



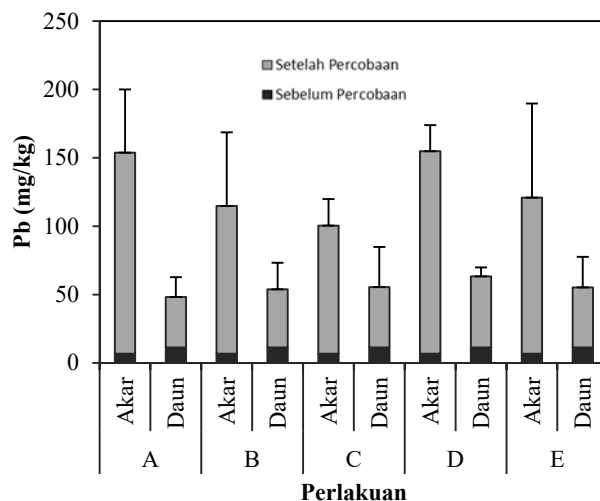
Gambar 3. Pertumbuhan akar wangi yang ditanam di media dengan berbagai perlakuanperlakuan. (A= tanah dan lumpur kertas kering, B= tanah dengan digestat R1, C= tanah dengan digestat R2, D= tanah dengan pupuk dan E= tanah sebagai kontrol). Error bars menunjukkan standard deviasi (n=4)

Potensi bahaya dari penggunaan digestat sebagai pupuk diuji dengan pengukuran logam berat (Pb dan Zn) di akar dan daun akar wangi pada awal dan percobaan. Hasil menunjukkan adanya akumulasi transfer logam berat dari media tanam ke akar dan daun akar wangi (Gambar 4). Namun demikian, akumulasi tersebut tidak mengganggu pertumbuhan akar wangi. Hal serupa juga ditemukan oleh Yang dkk. (2003) dimana tanaman akar wangi dapat tumbuh di tanah terkontaminasi logam berat hingga mencapai tinggi 174 cm selama 20 minggu. Berdasarkan pengujian *t-test* dengan tingkat kepercayaan 95%, akumulasi logam berat dari

tanaman yang memakai digestat kering R2 (C) tidak berbeda secara signifikan dengan tanaman yang hanya memakai tanah dan pupuk (D dan E).



(a)



(b)

Gambar 4 (a) Akumulasi Zn ke akar dan daun (b) Akumulasi Pb ke akar dan daun (A= tanah dan lumpur kertas kering, B= tanah dengan digestat R, C= tanah dengan digestat R2, D= tanah dengan pupuk dan E= tanah sebagai kontrol). Error bars menunjukkan standar deviasi

Tabel 1 Karakteristik digestat sebelum dan sesudah proses digestasi anaerobik

	Input		Output		Standar pupuk organik (SK Mentan No. 09 Tahun 2001).
	R1	R2	R1	R2	
pH	6,7	6,9	6,67	7,25	4-8
Karbon organik (%)	36,1	38,5	22,1	32	>12
Total kjehdal nitrogen (%)	0,95	1,19	1,19	1,17	
Total fosfor (%)	0,013	0,007	0,002	0,007	
Total kalium	3,23	4,29	2,56	2,74	
Pb (ppm)	1,53	1,26	1,61	0,97	<50
Zn (ppm)	13,1	11,3	5,99	12,51	5000
Moisture content	89	92	92	91	13-20

Akumulasi logam berat ke akar lebih besar dibandingkan daun, kecuali akumulasi Zn pada perlakuan E. Mekanisme akumulasi ke akar pada tanaman ini sangat menguntungkan karena dapat mencegah transfer logam berat ke ekosistem melalui rantai makanan. Penelitian terdahulu juga menunjukkan daun tanaman akar wangi mengakumulasi Pb, Zn, Cu, dan Cd dalam jumlah sedikit (Yang dkk., 2003)

## KESIMPULAN

Penambahan kotoran sapi sebagai ko-substrat memberikan pengaruh positif terhadap produksi biogas dan pembentukan gas metana. Dengan pencampuran kotoran sapi, produksi biogas pengolahan limbah lumpur kertas dengan proses digestasi anaerobik mencapai 470 ml biogas/g VS dan produksi gas metana sebesar 380 ml CH<sub>4</sub>/g VS, dibandingkan dengan lumpur kertas yang hanya menghasilkan 31 ml biogas/g VS dan 15 ml CH<sub>4</sub>/g VS. Dengan kadar VS lumpur kertas 41 g/l dan produksi lumpur sebesar 0,2 ton lumpur/ton kertas, maka biogas yang dapat diproduksi dalam skala besar diperkirakan mencapai 73 liter CH<sub>4</sub>/kg produksi kertas.

Selain biogas, digestat sebagai produk sampingan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk pada tanaman khususnya yang memiliki tingkat toleransi relatif tinggi terhadap logam berat. Tanaman yang ditanam di tanah dan pupuk mengalami pertumbuhan yang paling signifikan, diikuti dengan tanaman yang tumbuh dengan digestat R2, yaitu sebesar 87,2 cm pada minggu ke-4. Hal ini menunjukkan bahwa digestat berpotensi untuk dijadikan sebagai media tanam pengganti pupuk. Walaupun terjadi akumulasi logam berat dari media tanam terhadap tanaman akar wangi, hal tersebut tidak mengganggu pertumbuhan tanaman.

Penelitian ini dapat dijadikan rekomendasi untuk pengolahan limbah yang berkelanjutan. Biogas yang dihasilkan berpotensi menjadi energi serta digestat dapat dijadikan sebagai pupuk. Selain dapat mengurangi limbah dengan efisiensi yang tinggi, teknologi ini juga dapat memberikan manfaat bagi masyarakat yang dapat menggunakan sumber daya yang terkandung di lumpur tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

Appels, L., Baeyens, J., Degève, J., and Dewil, R., (2008), Principles and Potential of the Anaerobic Digestion of Waste-Activated Sludge, *Prog Energy Combust*, 34, pp. 755–81.

Banks, C.J. and Humphreys, P.N., (1998), The Anaerobic Treatment of a Lignocellulosic Substrate Offering Little Natural pH Buffering Capacity, *Water Science and Technology*, 38 (4–5), pp. 29–35

Cao, Y. and Pawlowski, A., (2012), Sewage Sludge-to-Energy Approaches Based on Anaerobic Digestion and Pyrolysis: Brief Overview and Energy Efficiency

Assessment, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(3), pp. 1657-1665

Giri, J., Srivastava, A., Pachauri, S.P., and Srivastava, P.C., (2014), Effluents from Paper and Pulp Industries and their Impact on Soil Properties and Chemical Composition of Plants in Uttarakhand, India, *Journal of Environment and Waste Management*, 1(1), pp. 26-32.

Komarayati, S., (2008). Karakteristik Pupuk Organik Limbah Padat Industri Pulp plus Arang Serbuk Gergaji, *Jurnal Pelatihan Hasil Hutan*, 26(4), hal. 313-322.

Monte, M., Fuente, E., and Blanco, A., (2009), Waste Management from Pulp and Paper Production in the European Union, *Waste Management*, 29 (1), pp. 293-308.

Parameswaran, P., Bruce, E, and Rittmann, (2012), Feasibility of Anaerobic Co-digestion of Pig Waste and Paper Sludge, *Original Research Article Bioresource Technology*, 124, pp. 163-168

Priadi, C., Wulandari, D., Rahmatika, I., and Moersidik, S.S., (2014). Biogas Production in the Anaerobic Digestion of Paper Sludge, *Procedia - Soc. Behav. Sci*, 9, pp. 65-69.

Soetopo, R.S. and Purwati, S., (2006), Pengaruh Kompos dari Limbah Lumpur Ipal Industri Kertas Terhadap Tanaman dan Air Perkolat Tanah, *Balai*, 41(1), pp. 21-29.

Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schevano, A., Orzi, V., Salati, S., and Adani, F., (2010), Assessing Amendment and Fertilizing Properties of Digestates from Anaerobic Digestion through a Comparative Study with Digested Sludge and Compost, *Chemosphere*, 81, pp. 577-583

Thompson, G., Swain, J., Kay, M., and Forster, C. F., (2011), The Treatment of Pulp and Paper Mill Effluent: A Review, *Bioresource Technology*, 77(3), pp. 275–286.

Xu, W., Li, W., He, J., Singh, B., and Xiong, Z., (2009), Effects of Insoluble Zn, Cd, and EDTA on the Growth, Activities of Antioxidant Enzymes and Uptake of Zn and Cd in *Vetiveria Zizanioides*, *J. Environ. Sci*, 21(2), pp. 186-192.

Yang, B., Shu, W.S., Ye, Z.H., Lan, C.Y., and Wong, M.H., (2003). Growth and Metal Accumulation in Vetiver and Two *Sesbania* Species on Lead/Zinc Mine Tailings, *Chemosphere*, 52, pp. 1593-1600.

Yunqin Lin, D. W, (2011), Mesophilic Batch Anaerobik Co-digestion of Pulp and Paper Sludge and Monosodium Glutamate Waste Liquor for Metanae Production in a Bench-Scale Digester, *Bioresource Technology*, pp. 3673-3678.