

Permodelan Sanitary Landfill Dengan Resirkulasi Leachate Untuk Produksi Gas Metana dan Karbon Dioksida

Winnie Laura Christina Hutagalung¹, Gabriel Andari Kristanto², Irma Gusniani²

Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Jambi¹
Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Indonesia²
winnylaura@yahoo.co.id¹

Abstrak

Penelitian ini memodelkan *sanitary landfill* dalam dua buah bioreaktor yang memiliki tinggi 2 m dan diameter 0,83 m dan diisi dengan kerikil, tanah, dan geotekstil. Sampah yang digunakan adalah sampah organik pasar UPS Pasar Kemiri Muka Depok. Perlakuan yang diberikan adalah penambahan air pada kedua bioreaktor dan resirkulasi *leachate* pada bioreaktor 1. Resirkulasi *leachate* dapat meningkatkan kapasitas *landfill* dalam memproduksi gas. Parameter yang diteliti adalah kadar air, C/N, suhu dan pH sampah, pH *leachate*, gas metana dan karbon dioksida. Penelitian dilakukan selama 104 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar air dan C/N sampah bioreaktor 1 pada hari ke-104 lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor 2. Suhu sampah bioreaktor 1 memiliki rentang 28-34°C, sedangkan untuk bioreaktor 2, yaitu 28-33°C. pH sampah bioreaktor 1 menunjukkan nilai 5,72 – 7,26 dan bioreaktor 2, yaitu 5,23 – 7,24. Sedangkan untuk pH *leachate*, bioreaktor 1 menunjukkan nilai 5,73 – 8,25 dan bioreaktor 2, yaitu 5,92 – 8,94. Hasil analisa *Gas Chromatography* menunjukkan persentase tertinggi untuk gas metana dan karbon dioksida dari bioreaktor 1, yaitu 5,13% dan 41,94% serta merupakan lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor 2. Oleh karena itu, untuk memproduksi gas metana dan karbon dioksida yang lebih besar dari *landfill*, maka perlakuan resirkulasi *leachate* dapat dilakukan.

Kata Kunci: Gas karbon dioksida, Gas metana, Pengolahan sampah, Resirkulasi leachate, Sampah organik pasar, *Sanitary Landfill*

1. Pendahuluan

Sampah yang dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia, harus diolah sejak dari sumber sampai proses akhir agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Data dari *United Nation The Economic and Social Commission for Asia and The Pacific* (UN ESCAP) dalam Bolan et al (2012) menyatakan bahwa proses akhir terhadap sampah di Indonesia dilakukan dengan cara pengomposan (15%), *open dumping* (60%), dibuang ke lahan kosong (10%), insinerasi (2%), dan perlakuan lain (13%). Untuk saat ini, proses akhir terhadap sampah sudah lebih jelas karena dalam Undang-Undang No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, mewajibkan pemerintah daerah dan kota untuk membuat *sanitary landfill*. Menurut Budi Yuwono, Dirjen Cipta Karya Kementerian Pekerjaan Umum, dalam sebuah artikel yang ditulis oleh Suhendra (2012), pembangunan *sanitary landfill* ini juga bertujuan untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 26% pada tahun 2020 sesuai dengan kesepakatan yang telah dibuat oleh Pemerintah Republik Indonesia dalam Protokol Kyoto. Oleh karena itu, *sanitary landfill* sebagai tempat pemrosesan akhir sampah akan dibangun di kota-kota dan kabupaten di Indonesia. *Sanitary landfill* akan menghasilkan *leachate* dan gas. Resirkulasi *leachate* sangat efektif untuk mempercepat degradasi sampah, meningkatkan produksi gas, dan mengurangi beban pencemar

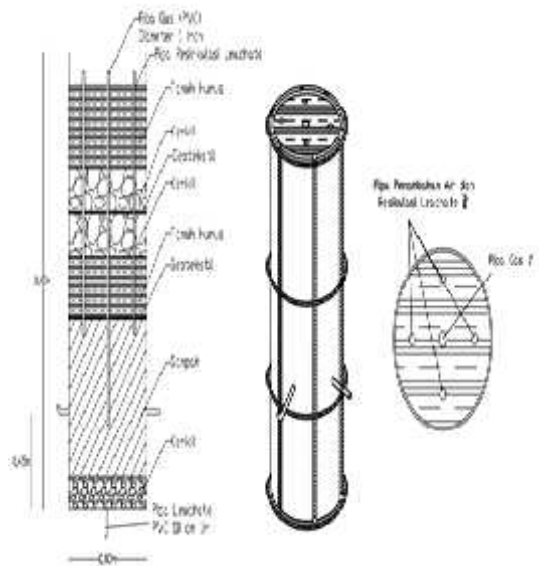
yang terkandung dalam *leachate* untuk diolah di instalasi (Chan, et al (2002), Francois, et al (2007) dan Manzur (2010)). Berkaitan dengan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian *sanitary landfill* dengan resirkulasi *leachate* untuk meningkatkan produksi gas metana yang dapat dijadikan sebagai sumber energi terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisa pengaruh resirkulasi *leachate* terhadap suhu sampah, pH sampah, dan pH *leachate*; menganalisa perbandingan banyaknya gas CH₄ dan CO₂ yang dihasilkan perlakuan resirkulasi dan tanpa resirkulasi *leachate*; dan membandingkan produksi gas metana yang dihasilkan dengan metode *First Order Decay* (FOD).

2. Metode

Struktur bioreaktor landfill disesuaikan dengan lapisan *sanitary landfill* dari Buku Referensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi (2012). Bioreaktor landfill dibuat dari sebuah toren (tangki air) dengan tinggi 2 m dan diameter 0,83 m dengan perkuatan secara vertikal dan horizontal. Susunan dalam bioreaktor landfill dari bawah ke atas, yaitu: kerikil (diameter: 5 – 20 mm), sampah, geotekstil, tanah humus, kerikil, geotekstil, kerikil (diameter: 5 – 20 mm), dan tanah humus.

Sampah yang digunakan dalam penelitian ini adalah berasal dari UPS Pasar Kemiri Muka,

Depok. Sampah tersebut akan dipilah terlebih dahulu untuk memisahkan material seperti logam ataupun kaca yang ada di UPS. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mengefisienkan proses degradasi secara anaerobik di dalam bioreaktor landfill (Zhu et al, 2009). Sampah akan dikompres di dalam bioreaktor hingga mencapai densitas 400-600 kg/m³. Mekanisme pengompresan dilakukan dengan menggunakan beban.



Gambar 1. Bioreaktor Landfill (Hasil Olahan, 2013)

Resirkulasi leachate hanya dilakukan pada salah satu bioreaktor. Mekanisme resirkulasi leachate adalah leachate ditampung dari pipa yang berada pada bagian bawah. lalu, dengan menggunakan corong, leachate tadi dimasukkan kembali ke dalam bioreaktor landfill lewat keempat pipa resirkulasi yang telah dibuat.

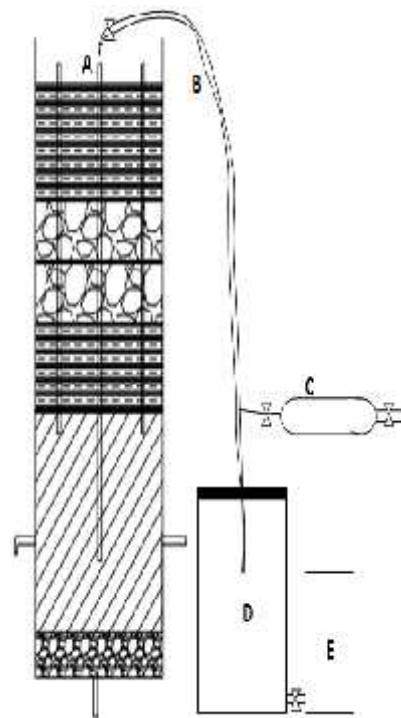
Tabel 1. Komponen Bioreaktor Landfill

Komponen	Bioreaktor 1 (dengan resirkulasi leachate)	Bioreaktor 2 (tanpa resirkulasi leachate)
Kain Kasa		
Kerikil	15 cm	15 cm
Sampah Organik	90 cm	58 cm
Geotekstil		
Tanah Humus	15 cm	15 cm
Kerikil	20 cm	20 cm
Geotekstil		
Kerikil	8 cm	11 cm
Tanah Humus	25 cm	28 cm
Karakteristik Sampah		
Berat Sampah	205 kg	180 kg
Densitas Sampah	421 kg/m ³	573 kg/m ³
Kadar Air	80 %	
C/N	14,56	

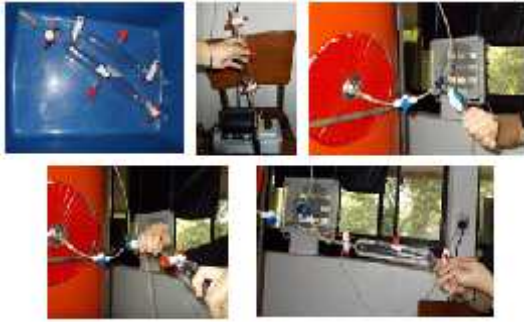
Sumber: Hasil Olahan, 2013

Jumlah volume leachate yang disirkulasi telah ditetapkan, yaitu 1,5 L setiap resirkulasi. Penambahan air ini bertujuan untuk menambah kadar air sampah dan memicu proses degradasi sampah, sehingga akan menghasilkan leachate. Penambahan air kran dilakukan melalui keempat pipa yang sama dengan pipa untuk resirkulasi leachate. Volume air kran yang akan ditambahkan adalah sebanyak 1,4 L.

Sistem penangkap gas ditunjukkan pada Gambar 2. Dari bioreaktor landfill yang ditunjukkan oleh huruf A, dengan menggunakan selang silikon (B), gas dialirkan ke dalam gas tube (C) dengan cara membuka valve. Sebelumnya gas tube diisi dengan air kran. Gas yang masuk ke dalam gas tube akan menekan air keluar dari gas tube. Setelah itu, untuk menghitung seluruh gas CH₄ yang dihasilkan, gas dialirkan melalui selang silikon ke dalam tempat yang kedap udara, yang telah diisi air. Ketika valve dari bioreaktor landfill dan valve yang berada di antara tabung D dan E dibuka, maka gas akan menekan air dari tabung D ke E. Volume air yang tertekan ke dalam E merupakan volume gas CH₄ yang diproduksi. Selain mengukur volume gas, dilakukan juga pengambilan sampel untuk pengujian ke Gas Chromatography. Pengambilan sampel gas ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Sistem Penangkap Gas (Hasil Olahan, 2013)



Gambar 3. Pengambilan Sampel Gas Chromatography (Hasil Olahan, 2013)

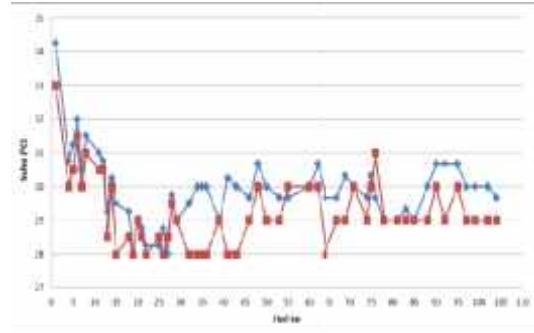
Menurut McNair and Miller (2009), *Gas Chromatography* merupakan bentuk kromatografi dimana menggunakan gas sebagai fase perpindahannya. Spesifikasi *Gas Chromatography* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Shimadzu dengan Kolom Porapak Q, suhu kolom injektor 60°C , suhu kolom detektor 100°C , *carrier gas* He dan jenis detektor TCD (*Thermal Conductivity Detector*).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada penelitian ini, kadar air dan C/N sampah hanya diukur pada akhir penelitian. Pada awal penelitian, kadar air dan C/N yang diukur adalah menggambarkan karakteristik sampah yang ada di UPS Pasar Kemiri Muka Depok, yaitu kadar air sebesar 80% dan C/N sebesar 14,56. Pada hari ke-104, kadar air menjadi 81,9% untuk bioreaktor 1 (dengan resirkulasi *leachate*) dan 77% untuk bioreaktor 2 (tanpa resirkulasi *leachate*). Nilai C/N sampah bioreaktor 1 adalah 24,25 dan bioreaktor 2 adalah 14,32. Dengan adanya perlakuan resirkulasi *leachate*, nilai karbon dari sampah di bioreaktor 1 lebih tinggi dibandingkan bioreaktor 2, yaitu 55,8% dan 30,8%. Hal ini menunjukkan bahwa selain dapat meningkatkan kadar air di dalam sampah, perlakuan resirkulasi *leachate* juga dapat mempertahankan bahkan meningkatkan kandungan bahan organik seperti karbon dan nitrogen. Jadi, produksi gas juga masih dapat ditingkatkan dengan adanya resirkulasi *leachate*. Suhu di dalam bioreaktor tidak diatur seperti pada penelitian San and Onay (2001), Chan et al (2002), dan Sponza et al (2004).

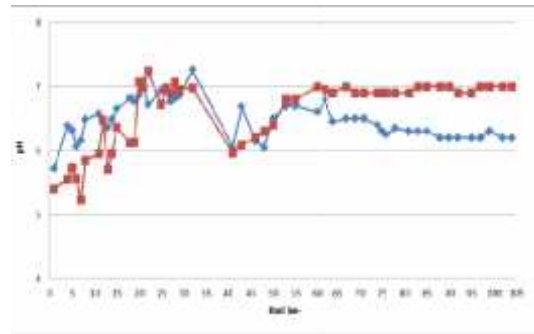
Gambar 4 menunjukkan perbandingan suhu bioreaktor 1 (biru) dan bioreaktor 2 (merah). Rentang suhu bioreaktor 1 adalah $28-34^{\circ}\text{C}$ dan bioreaktor 2 adalah $28-33^{\circ}\text{C}$. Penambahan air dan resirkulasi *leachate* terlihat tidak terlalu mempengaruhi suhu sampah. Hal ini dikarenakan suhu yang dicapai tidak terlalu tinggi, sehingga tujuan dari kedua perlakuan tersebut, yaitu menurunkan suhu tinggi yang dicapai dalam proses, tidak tercapai. Dari suhu yang dicapai kedua bioreaktor juga tidak

terlalu jauh perbedaannya. Namun, dapat disimpulkan bahwa tahap di dalam kedua bioreaktor telah melalui tahap fermentasi.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Suhu Sampah (Hasil Olahan, 2013)

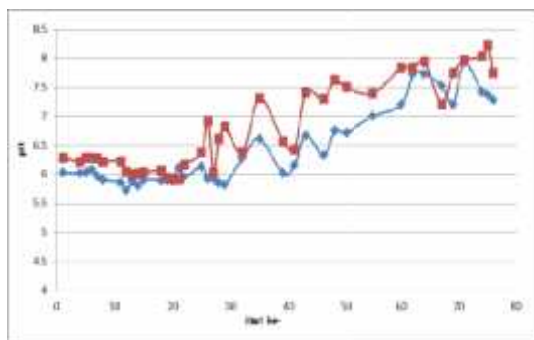
pH sampah merupakan parameter yang menunjukkan proses degradasi sampah dan tahap yang terjadi pada di dalam bioreaktor. Gambar 5 menunjukkan grafik pH sampah dalam bioreaktor 1 (biru) dan bioreaktor 2 (merah). Rentang pH sampah pada bioreaktor 1 adalah 5,72 – 7,26 dan bioreaktor 2 adalah 5,23 – 7,24. Jika dilihat dalam grafik di bawah, nilai pH yang fluktuatif dan cenderung di bawah 7, menunjukkan bahwa proses di dalam bioreaktor masih berada dalam fase asidogenesis. pH optimum untuk pertumbuhan bakteri metanogenetik adalah 7,4 (Zeikus, 1977). Oleh karena itu, dengan pH sampah yang dicapai dalam penelitian ini, menunjukkan belum optimal untuk pertumbuhan bakteri.



Gambar 5. Grafik Perbandingan pH Sampah (Hasil Olahan, 2013)

pH *leachate* juga diteliti, seperti digambarkan pada Gambar 6 yang menunjukkan pH *leachate* bioreaktor 1 (biru) dan bioreaktor 2 (merah). Rentang pH *leachate* pada bioreaktor 1 adalah 5,73 – 8,25 dan bioreaktor 2 adalah 5,92 – 8,94. Penelitian terdahulu oleh Sandip, et al (2012) mengenai bioreaktor *landfill*, menyatakan bahwa pH *leachate* mencapai 5,3 – 6,1 dengan usia sampah 38 hari dan 7,5 – 8,54 dengan usia sampah 38 – 101 hari. Ehrig (1990) dalam Stegmann, et al (2005) membagi nilai pH *leachate* pada *landfill* menjadi asam ($4,5 - 7$) dan

metanogenesis (7,5 – 9). Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, pH *leachate* pada bioreaktor 1 berada dalam kondisi asam sampai hari ke-55 dan setelahnya adalah tahap metanogenesis. Jika dibandingkan dengan penelitian Sandip, et al (2012), nilai pH *leachate* bioreaktor 1 telah mencapai >6,1 pada hari ke-32, sedangkan untuk bioreaktor 2, pH *leachate* telah berada di atas 6,1 dari awal penelitian. Salah satu tujuan resirkulasi *leachate* adalah untuk mempercepat pembentukan gas metana dengan membuat proses di dalam reaktor menjadi lebih basa (pH >7) sesuai dengan kondisi dimana gas metana banyak terbentuk. Namun, hasil yang diperoleh adalah tahap metanogenesis bioreaktor 2 (>41 hari) lebih cepat terjadi dibandingkan dengan bioreaktor 1 (>55 hari).



Gambar 6. Grafik Perbandingan pH Leachate (Hasil Olahan, 2013)

Terdapat perbedaan antara jumlah gas yang dihasilkan antara bioreaktor 1 dan 2. Perbedaan tersebut digambarkan dalam Gambar 7, dimana produksi karbon dioksida bioreaktor 1 (merah); metana bioreaktor 1 (biru); karbon dioksida bioreaktor 2 (hijau); dan metana bioreaktor 2 (ungu). Secara umum, gas yang dihasilkan bioreaktor 1 lebih banyak dibandingkan bioreaktor 2. Hal ini juga dapat dilihat dari saat melakukan sampling, dimana tekanan yang dikeluarkan dari selang bioreaktor 1 jauh lebih besar dibandingkan bioreaktor 2. Rata-rata gas yang dihasilkan sampai hari ke-104, dari bioreaktor 1 adalah 1917 ml/hari dan bioreaktor 2 adalah 1884 ml/hari.

Data persentase yang diperoleh dari GC diolah dengan menggunakan gas standar, dimana digunakan persamaan:

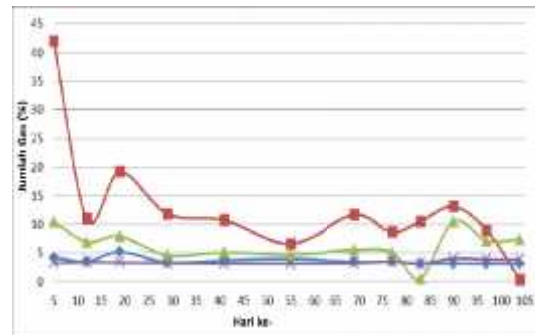
$$y = 468473x - 14230, \text{ untuk gas metana}$$

$$y = 123822x - 85,643, \text{ untuk gas karbon dioksida}$$

dimana, y adalah persentase gas yang dihasilkan dan x adalah luas area yang dihasilkan GC.

Hasil analisa GC untuk bioreaktor 1 pada hari ke-5 adalah 4,21% gas CH₄ dan 41,94% gas CO₂. Artinya, berdasarkan teori Pohland and Harper (1986) dalam ITRC (2006) telah sesuai bahwa pada awal degradasi bahan organik di *landfill*, gas yang dominan terbentuk adalah gas CO₂. Pada hari-hari selanjutnya, konsentrasi gas

CH₄ cenderung turun dan hanya mencapai konsentrasi tertinggi pada hari ke-19, yaitu 5,13%. Sedangkan gas CO₂ mengalami naik turun tetapi konsentrasinya tetap melebihi konsentrasi CH₄. Sampai hari ke-90, konsentrasi CH₄ adalah 3,13% dan CO₂ adalah 13,07%. Jika dibandingkan dengan penelitian Chiemchaisri, et al (2002), konsentrasi CH₄ masih sesuai bahwa nilainya masih <7,5%, sedangkan persentase konsentrasi gas CH₄ dari hasil penelitian Sandip et al (2012) sangat tinggi jika dibandingkan dengan penelitian ini.



Gambar 7. Grafik Analisis Gas Chromatography (Hasil Olahan, 2013)

Konsentrasi gas CH₄ dan CO₂ untuk bioreaktor 2 pada hari ke-5 adalah 3,21 dan 10,44. Konsentrasi gas CO₂ lebih banyak dibandingkan dengan gas CH₄. Konsentrasi Gas CH₄ untuk hari-hari selanjutnya tidak mengalami kenaikan maupun penurunan yang terlalu jauh. Pada hari ke-90, konsentrasi gas CH₄ adalah yang tertinggi yaitu sebesar 3,96%. Sedangkan, konsentrasi gas CO₂ mengalami penurunan hingga hari ke-83, konsentrasinya hanya 0,47%, namun pada hari ke-90, konsentrasinya naik menjadi 10,5%. Untuk bioreaktor 2, sampai hari ke-90, gas CO₂ masih mendominasi. Hal ini sesuai dengan teori Pohland and Harper (1986) dalam ITRC (2006).

Jadi, dapat disimpulkan bahwa selama 104 hari penelitian dengan penambahan air 1,5 L pada kedua bioreaktor dan resirkulasi *leachate* sebesar 1,4 L untuk bioreaktor 1, maka banyaknya gas yang dihasilkan:

- Gas metana bioreaktor 1 adalah 0,01 L/kg
- Gas karbon dioksida bioreaktor 1 adalah 0,037 L/kg sampah
- Gas metana bioreaktor 2 adalah 0,01 L/kg
- Gas karbon dioksida bioreaktor 2 adalah 0,019 L/kg sampah

Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi gas, selain suhu dan ph sampah, serta pH *leachate*, adalah konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan amonia. Menurut Sponza et al (2004), penurunan nilai COD menunjukkan peningkatan gas metana. Namun, dalam penelitian ini,

walaupun konsentrasi COD mengalami penurunan, produksi gas metana dari kedua bioreaktor tidak menunjukkan peningkatan yang besar. Amonia merupakan inhibitor produksi gas dari *landfill*. Menurut Christensen et al (1996) dalam Abushammala et al (2009), amonium (NH_4) merupakan inhibitor pembentukan CH_4 jika konsentrasinya >2000 mg/L. Dari hasil penelitian ini, walaupun konsentrasi amonia tidak lebih dari 2000 mg/L, namun persentase gas yang dihasilkan tidak menunjukkan peningkatan ataupun penurunan yang signifikan. Gas metana terbentuk pada kondisi anaerobik. Salah satu yang membuktikan keadaan anaerobik adalah ketika COD:N sama dengan 600:7 (Mata-Alvarez (2003) dalam Lien, 2004). Dalam penelitian ini COD:N pada hari ke-104 adalah 0,625:1 (bioreaktor 1) dan 0,854:1 (bioreaktor 2). Hal ini juga menunjukkan bahwa kedua bioreaktor tidak dalam kondisi anaerobik. Selain amonia, inhibitor produksi gas lainnya adalah *Volatile Fatty Acid* (VFA). Namun, VFA tidak dapat dibahas karena tidak diujikan dalam penelitian ini.

Dengan menggunakan IPCC 2006, maka dari perhitungan *First Order Decay Rate* (FOD), maka nilai laju reaksi orde satu (k) gas CH_4 bioreaktor 1 adalah 1 dan bioreaktor 2 adalah 0,9. Jadi, nilai k dari bioreaktor dengan resirkulasi *leachate* lebih tinggi 0,1 dibandingkan dengan bioreaktor tanpa resirkulasi *leachate*.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah perlakuan resirkulasi *leachate* tidak terlalu mempengaruhi suhu sampah. Hal ini dibuktikan dengan suhu yang dicapai bioreaktor 1 dan 2 hampir sama. Hanya pada hari pertama, suhu bioreaktor 1 dan 2 mencapai 34°C dan 33°C . Suhu yang dicapai kedua bioreaktor belum mencapai suhu maksimum yang dibutuhkan oleh bakteri untuk memproduksi gas, yaitu 35°C . Perlakuan resirkulasi *leachate* mempengaruhi pH sampah. Pada awal percobaan, pH sampah bioreaktor 1 lebih tinggi daripada bioreaktor 2, namun setelah hari ke-53, pH sampah bioreaktor 2 lebih tinggi daripada bioreaktor 1. Pada akhir penelitian, yaitu hari ke-104, pH sampah bioreaktor 1 dan 2 adalah 6,2 dan 7. pH ini pun tidak memenuhi pH optimum untuk pertumbuhan bakteri metanogenetik, yaitu 7,4. Perlakuan resirkulasi *leachate* mempengaruhi pH *leachate*. Berdasarkan nilai pH *leachate*, maka bioreaktor 2 lebih cepat memasuki tahap metanogenesis dibandingkan dengan bioreaktor 1. Walaupun telah memenuhi nilai atau rentang dalam tahap metanogenesis, tetapi tidak diimbangi dengan peningkatan persentase gas metana. Untuk mengetahui penyebab jumlah gas metana yang tidak bertambah, maka dilakukan

perbandingan terhadap nilai COD serta amonia sebagai salah satu inhibitor gas metana. Namun, kedua faktor tersebut tidak terindikasi menghambat pembentukan gas metana, kecuali perbandingan COD:N menunjukkan bioreaktor dalam kondisi aerobik, sehingga dapat disimpulkan bahwa penyebab utama dari pembentukan gas metana yang sedikit adalah dikarenakan suhu dan pH sampah yang masih rendah dan masih asam.

Banyaknya gas CH_4 dan CO_2 berdasarkan analisa Gas Chromatography berbeda dari tiap bioreaktor. Bioreaktor 1 menghasilkan persentase gas CH_4 tertinggi, yaitu 5,13% pada hari ke-19 dan gas CO_2 , yaitu 41,94% pada hari ke-5. Bioreaktor 2 menghasilkan persentase gas CH_4 tertinggi, yaitu 3,96% pada hari ke-90 dan gas CO_2 , yaitu 10,50% pada hari ke-90. Pada hari ke-104, analisa GC gas metana bioreaktor 1 lebih banyak daripada gas karbon dioksida, sedangkan pada bioreaktor 2, gas karbon dioksida masih lebih banyak dibandingkan gas metana. Rata-rata jumlah produksi gas yang dihasilkan bioreaktor 1 dan 2 selama 104 hari adalah 1917 ml/hari dan 1884 ml/hari. Jumlah produksi gas selama 104 hari untuk bioreaktor 1 adalah 10 ml/kg sampah (CH_4) dan 37 ml/kg sampah (CO_2) serta bioreaktor 2 adalah 10 ml/kg sampah (CH_4) dan 19 ml/kg sampah (CO_2). Dengan perhitungan *First Order Decay* (FOD) untuk gas CH_4 , nilai k (/minggu) dari bioreaktor 1 adalah 1 dan bioreaktor 2 adalah 0,9. Artinya, bahwa kecepatan pembentukan gas metana dengan adanya perlakuan resirkulasi lebih cepat dibandingkan dengan tanpa resirkulasi *leachate*. Hal ini dapat dibuktikan dengan menggunakan rumusan pembentukan gas CH_4 .

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Ibu Ir. Gabriel S. B. Andari, M.Eng, Ph.D dan Ibu Ir. Irma Gusniani, M.Sc selaku dosen pembimbing I dan II saya, juga kepada orang tua, kedua adik saya, kedua naboru saya yang senantiasa memberikan dukungan doa, semangat, materi, dan non materi lainnya.

Daftar Pustaka

- Abushammala M., et al. 2009. *Review on Landfill Gas Emission to the Atmosphere*. European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol. 30 No. 3 (2009), pp. 427-436
- Bolan N., Thangarajan R., Seshadri B., Jena U., Wang H., Naidu R. 2012. *Landfill as a Biorefinery To Produce Biomass and Capture Biogas*. Journal Technology xxx (2012) xxx-xxx

- Chan G., Chu L., Wong M. 2002. *Effect on Leachate Recirculation on Biogas Production from Landfill Co-Disposal of Municipal Solid Waste, Sewage Sludge and Marine Sediment*. Journal of Environmental Pollution 118 (2002) 393-399
- Environment Agency. 2009. *A Technical Assessment of Leachate Recirculation*. ISBN 978-1-84911-147-8. www.environment-agency.gov.uk
- Francois V. Feuillade G., Matejka G., Lagier T., Skhiri N. 2007. *Leachate Recirculation Effect on Waste Degradation: Study on Columns*. Journal Waste Management 27 (2007) 1259-1272
- IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 2006. Chapter 3: Solid Waste Disposal
- Lien N. 2004. *Dry Anaerobic Digestion of Municipal Solid Waste as Pre-Treatment Prior To Landfill*. Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Thailand
- Manzur S. 2010. *Effect of Leachate Recirculation on Methane Generation of a Bioreaktor Landfill*. University of Texas, Arlington
- McNair H., Miller J. 2009. *Basic Gas Chromatography*. Canada: John Wiley & Sons, Inc., Publication
- San I., Onay T. 2001. *Impact of Various Leachate Recirculation Regimes on Municipal Solid Waste Degradation*. Journal of Hazardous Materials B87 (2001) 259 - 271
- Sandip M., Khare K., Biradar A.. 2012. *Enhancement of Methane Production and Bio-Stabilisation of Municipal solid Waste in Anaerobic Bioreaktor Landfill*. Journal of Biosource Technology 110 (2012) 10-17
- Sponza D., Agdag O. 2004. *Impact of Leachate Recirculation and Recirculation on Stabilization of Municipal Solid Wastes in Simulated Anaerobic Bioreaktors*. Journal of Process Biochemistry 38 (2004) 2157-2165
- Stegmann R., Heyer K-U., Cossu R. 2005. *Leachate Treatment*. Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium
- Soedjono et al. 2010. *Buku Referensi Opsi Sistem dan Teknologi Sanitasi*. Tim Teknis Pembangunan Sanitasi, Bidang Sarana dan Prasarana, Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementrian Pekerjaan Umum
- Warith. 2002. *Bioreaktor landfills: Experimental and Field Result*. Journal of Waste Management 22 (2002) 7-17
- Williams P., 2002. *Emissions from Solid Waste Management Activities*. Environmental and Health Impact of Solid Waste Management Activities: Issues in Environmental Science and Technology. The Royal Society of Chemistry, Thomas Graham House, Science Park, Milton Road, Cambridge CB4 0WF, UK
- Zanoni. 1972. *Ground-Water Pollution and Sanitary landfills-A Critical Review*. Journal Vol. 10, No. 1-Ground Water- January-Februari 1972
- Zeikus. 1977. *The Biology of Methanogenic Bacteria*. Journal Bacteriological Review Vol. 41, No. 2, June 1977, p. 514-541, American Society for Microbiology
- Zhu B., Gikas P., Zhang R., Lord J., Jenkins B., Li X. 2009. *Characteristic and Biogas Production Potential of Municipal Solid Waste Pretreated With a Rotary Drum Reactor*. Journal of Bioresource Technology 100 (2009) 1122-1129