



Pengaruh pH Terhadap BOD, TSS, Dan VFA Pada Pengolahan Lindi Dalam Bioreaktor Anaerobik

Abdul Kahar^{1*}, Megahapsari Martaningtyas², Budi Nining Widarti³, Ika Meicahayanti⁴

^{1*}Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda

^{2, 3, 4} Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda

Kampus Gunung Kelua, Jl. Sambaliung No. 9, Samarinda 75119

Telp./Faks: (0541) 736834/(0541) 749315

*Email: kahar.abdul@gmail.com

Abstract

Leachate is a liquid waste resulted from physical, biological and chemical decomposition of landfill waste. Leachate contains complex dissolved organic and anorganic substrate which are biodegradable and non-biodegradable. Anaerobic treatment principally utilizes anaerobic bacteria in order to degrade the dissolved organic substance. Anaerobic treatment is very sensitive towards the substrate cocentration and pH. The objective of this research is to decide the pH effect on the BOD, TSS and VFA at leachate treatment in anaerobic bioreactor. This research used anaerobic bioreactor with the volume of 160 L. Anaerobic treatment carried out for 21 days, at pH ambient, 7.2 and 8.0. Microorganisms used comes from cow rumen and leachate with a ratio of 1:3 and filtered to take the extract. Collecting data and BOD, TSS and VFA analysis were done every two days. The results showed that the pH effect to the decrease BOD, TSS, and VFA at leachate treatment in anaerobic bioreactor. Anaerobic bioreactor performance optimum at pH 7.2, with the reduction of BOD and TSS was 80.29% and 74.08% respectively, and the range of VFA production was 91.15-185.25 mg/L.

Keywords: anaerobic bioreactor, leachate, pH, BOD, TSS, VFA

Pendahuluan

Lindi (*leachate*) adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah, melarutkan dan membilas materi-materi organik dan anorganik terlarut maupun tersuspensi dalam sampah, termasuk juga materi organik kompleks hasil proses dekomposisi fisis, biologis, dan kimia (Kahar *et al.*, 2016). Oleh karena itu lindi merupakan campuran yang kompleks yang terdiri dari bahan-bahan organik terlarut dan kontaminan-kontaminan anorganik. Lindi mengandung: VFA, LCFA, senyawa fulvat dan humat, amonia-nitrogen, fosfat, sulfat, logam berat, organik xenobiotik (XOCs); *aromatic hydrocarbons*, *phenols* dan *chlorinated aliphatics*, garam-garam anorganik dan mikroorganisme (Christensen *et al.*, 2001). Sehingga dalam lindi terkandung substrat organik dan anorganik terlarut kompleks yang *biodegradable* dan *non-biodegradable*.

Pengolahan anaerobik pada prinsipnya memanfaatkan bakteri anaerobik untuk mendegradasi bahan-bahan organik terlarut menjadi biogas. Proses penguraian anaerobik mendegradasi polimer alami, seperti polisakarida, protein, asam nukleat, dan lipid menjadi metan dan karbondioksida, berlangsung dalam reaksi bertahap dan paralel. Efisiensi pengolahan bioreaktor anaerobik sensitif terhadap komposisi air limbah, temperatur dan pH (Abdelgadir *et al.*, 2014).

Pengolahan anaerobik bahan organik merupakan reaksi biokimia kompleks dan spesifik. Biodegradasi bahan organik terlarut melalui tahapan reaksi; hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis yang terjadi secara simultan, baik seri maupun paralel (Abdelgadir *et al.*, 2014). Hidrolisis merupakan liqiuifikasi bahan-bahan organik menggunakan enzim ekstra-seluler yang diproduksi oleh bakteri hidrolitik (Appels *et al.*, 2008). Bakteri selulolitik memegang peranan dalam tahap hidrolisis, bekerja pada kisaran pH 6-7. Pada proses ini kemungkinan penurunan pH bisa terjadi dikarenakan terbentuknya asam-asam organik. Hidrolisis tergantung pada parameter seperti: ukuran partikel, pH, produksi enzim, difusi dan adsorpsi enzim pada partikel limbah yang mengalami proses penguraian, konsentrasi substrat dan temperatur (Ziemiński dan Frac, 2012). Dan kisaran pH terbaik untuk mencapai hasil biogas maksimal dalam bioreaktor anaerobik adalah 6.5-7.5 (Liu *et al.*, 2008).

Asidogenesis merupakan tahap perombakan bahan organik hasil hidrolisis menjadi asam amino, gula sederhana dan asam lemak volatil (VFA), meliputi asam format, asetat, propionat, butirat, laktat, suksinat, etanol, dan gas CO₂,





H₂, NH₃, H₂S oleh bakteri pembentuk asam (Ziemiński dan Frac, 2012). Untuk eksperimen sistem *batch*, kisaran pH pada tahap asidogens thermofilik adalah 6-7 (Park *et al.*, 2008). Beberapa studi juga telah melaporkan kegagalan bioreaktor atau kinerja yang kurang hanya karena penurunan pH yang disebabkan oleh akumulasi asam lemak volatil yang tinggi dalam sistem pengolahan anaerobik (Poh dan Chong, 2009). Tujuh asam lemak paling umum ditemukan dalam bioreaktor anaerobik adalah asam format, asam asetat, asam propionat, asam butirat, asam valeric, asam iso-valeric dan asam kaproat. Rentang dari asam-asam di atas pada digester biasanya bervariasi antara 50 dan 300 mg.l⁻¹ sebagai jumlah total konsentrasi VFAs. Asam asetat adalah asam yang dominan dan menyumbang sekitar 85% dari kandungan asam volatil dalam digester anaerobik (Gerardi . 2003).

TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh kikisan tanah atau erosi tanah yang terbawa ke badan air (Munawar, 2011). TSS adalah semua zat padat (pasir, lumpur, dan tanah liat) atau partikel-partikel yang tersuspensi dalam air dan dapat berupa komponen hidup (biotik) seperti fitoplankton, zooplankton, bakteri, fungi, ataupun komponen mati (abiotik) seperti detritus dan partikel-partikel anorganik. Zat padat tersuspensi merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia yang heterogen, dan berfungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang paling awal dan dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik di suatu perairan (Tarigan dan Edward, 2003). Proses biodegradasi bahan organik yang mudah didegradasi (*biodegradable organic*) menjadi biogas oleh bakteri anaerobik, biasanya dinyatakan dalam BOD, COD terlarut atau TVS. Besaran ini hanya mencapai 80–90 % dari TSS (Padmono dan Susanto, 2007).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pH Terhadap BOD, TSS, Dan VFA pada pengolahan lindi dalam bioreaktor anaerobik.

Metode Penelitian

Lindi yang digunakan berasal dari TPA Sambutan, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia. Peralatan bioreaktor anaerobik yang digunakan dilengkapi dengan pemanas, pompa resirkulasi lindi, flowmeter resirkulasi lindi, manometer, inlet umpan masuk lindi, termometer biogas, pressure gauge, termometer lindi, sampling port, kran masuk resirkulasi lindi, kran keluar resirkulasi lindi dan kran effluent lindi. Jenis penelitian ini experiment skala pilot dengan sistem semi-batch.

Penelitian ini menggunakan bioreaktor anaerobik dengan volume 160L. Setelah dilakukan karakterisasi dan analisis kualitas lindi, selanjutnya perancangan bioreaktor anaerobik dengan desain sesuai kebutuhan penelitian. Kemudian dilakukan uji kebocoran dan kalibrasi dari sistem bioreaktor anaerobik. Seeding dan aklimatisasi dilakukan. Kemudian dilanjutkan dengan pengolahan anaerobik selama 21 hari. Seeding dan aklimatisasi dilakukan dalam bioreaktor anaerobik pada temperatur ambient dengan variasi pH ambient, 7.2 dan 8.0. Mikroorganisme yang digunakan berasal dari rumen sapi dan lindi dengan perbandingan 1 : 3 dan disaring untuk diambil ekstraknya. Pengambilan data dan analisis parameter BOD, TSS dan VFA dilakukan setiap dua hari sekali. Proses pengolahan lindi dihentikan jika prosentase penurunan telah mencapai 60-80 %.

Hasil dan Pembahasan

pH

Pada penelitian ini dilakukan variasi nilai pH yang berbeda yaitu pH reaktor P₁ merupakan pH kontrol dalam proses degradasi lindi tanpa penambahan *buffer*, pH reaktor P₂ sebesar 7,2 dan pH reaktor P₃ sebesar 8. Dalam menjaga kestabilan variasi pH reaktor P₂ dan P₃ dilakukan penambahan larutan *buffer* sehingga pH tetap dalam kondisi konstan dan proses anaerob dapat berjalan dengan baik, sedangkan pada pH reaktor P₁ tidak dilakukan penambahan larutan *buffer* karena rentang pH selama 21 hari pengolahan tidak mengalami fluktuasi yang drastis. Hal tersebut juga dipengaruhi dari terbentuknya karbondioksida bikarbonat sebagai alkalinitas di dalam bioreaktor yang berfungsi sebagai *buffer* (penyangga) agar nilai pH tetap dalam kondisi netral meskipun konsentrasi total asam volatil meningkat.

Dalam bioreaktor anaerob penurunan nilai pH disebabkan limbah lindi menjadi asam karena adanya tahap asidogenesis oleh bakteri pembentuk asam yang mengkonversi bahan organik pada limbah lindi menjadi asam volatil. Sedangkan kenaikan nilai pH dapat disebabkan karena adanya proses metanogenesis yaitu asam volatil yang dikonversi menjadi gas metan oleh bakteri metanogenik.

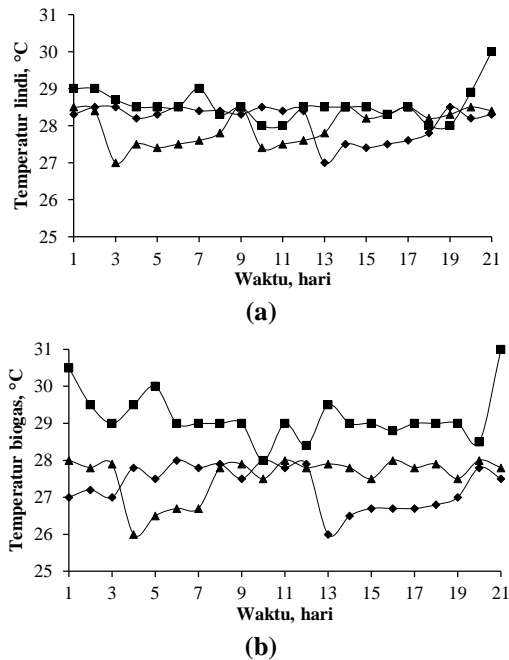
Dari hasil pengukuran pada bioreaktor P₁, pH berfluktuasi tidak terlalu signifikan. Pada hari pertama pengukuran didapatkan nilai pH sebesar 7,3 kemudian mengalami penurunan cukup jauh pada hari ke-5 sebesar 6,9, penurunan tersebut disebabkan terjadinya proses asidifikasi di dalam bioreaktor. pH tetap dalam kondisi stabil hingga hari terakhir pengukuran yang mencapai nilai pH 7,5.

Temperatur dan Tekanan biogas

Proses penyisihan senyawa organik dalam lindi dengan menggunakan bioreaktor anaerob dioperasikan dengan mengontrol parameter temperatur dan tekanan biogas yang dapat mempengaruhi kinerja dan pertumbuhan



mikroorganismenya. Dari hasil pengukuran temperatur selama 21 hari, Gambar 1, diketahui fluktuasi temperatur paling besar terjadi di dalam reaktor P₂ pada hari ke-21 pengamatan, selanjutnya pada reaktor P₁ dan P₃ fluktuasi tidak terlalu signifikan dan hampir merata. Pada setiap perlakuan yang menghasilkan temperatur yang berbeda karena adanya perbedaan tingkat fermentasi di dalam bioreaktor anaerob.

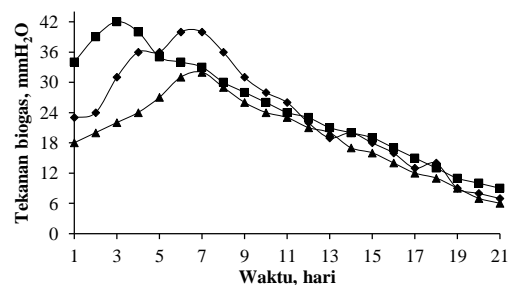


Gambar 1. (a) temperatur lindi; (b) temperatur biogas, *Note:* ◆ = P₁ pH Ambient, ■ = P₂ pH 7.2, ▲ = P₃ pH 8.0

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, mikroorganismenya masih dapat bekerja dalam bioreaktor anaerob pada pH 8,0 namun berjalan lambat dan bekerja dengan optimum pada rentang 6,5 sampai 7,2. Hal tersebut yang mengakibatkan perbedaan dari tingkat fermentasi dalam bioreaktor variasi pH yang digunakan.

Tekanan biogas merupakan salah satu parameter keberhasilan dalam pengolahan anaerob dan dapat mengindikasikan adanya pertumbuhan mikroorganismenya. Bioreaktor anaerobik dirancang menggunakan beberapa komponen pendukung salah satunya katup kontrol tekanan yang berfungsi sebagai pengaman reaktor dari lonjakan tekanan gas yang berlebih.

Semakin tinggi tekanan di dalam reaktor maka semakin rendah produksi biogas di dalam reaktor tersebut, terutama pada proses hidrolisis dan asidifikasi. Berdasarkan data yang diperoleh, seperti pada Gambar 2, diketahui bahwa tekanan biogas dalam reaktor variasi pH memiliki nilai yang berbeda dengan fluktuasi yang cenderung menurun pada akhir proses, hal tersebut menunjukkan adanya proses fermentasi dan pembentukan biogas di dalam reaktor. Adanya biogas yang diproduksi yang ditunjukkan dari perubahan tekanan yang dihasilkan dari bioreaktor anaerob selama 21 hari pada reaktor P₁, P₂, dan P₃.

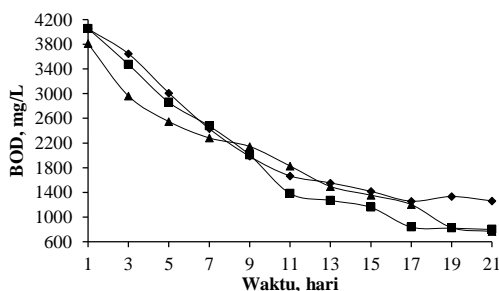


Gambar 2. Tekanan biogas, *Note:* ◆ = P₁ pH Ambient, ■ = P₂ pH 7.2, ▲ = P₃ pH 8.0

Dari ketiga perlakuan tersebut, pada Gambar 2, dapat disimpulkan bahwa tekanan biogas dalam reaktor dengan variasi pH yang berbeda memiliki nilai yang cenderung menurun pada akhir pengoperasian, hal ini menandakan terjadinya perubahan proses fermentasi dalam pembentukan biogas.

BOD

Nilai BOD setelah dilakukan pengolahan selama 21 hari menggunakan proses biologi anaerob dengan variasi pH, seperti terlihat pada Gambar 3.

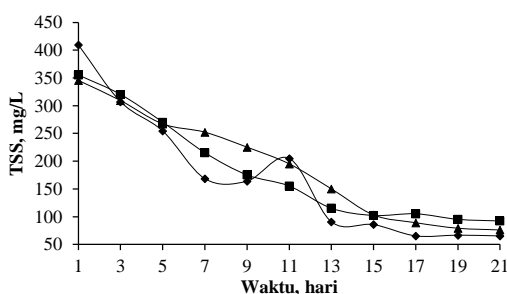


Gambar 3. BOD, Note: ◆ = P₁ pH Ambient, ■ = P₂ pH 7.2, ▲ = P₃ pH 8.0

Pada Gambar 3, BOD mengalami penurunan pada keseluruhan proses, hal ini menunjukkan bahwa proses penguraian sudah masuk dalam tahap metanogenesis. Jika diperhatikan dari kondisi awal dan akhir terlihat penurunan pada reaktor P₁ konsentrasi awal dihari pertama pengukuran sebesar 4050,14 mg/L, tingginya konsentrasi BOD diawal pengukuran dapat dipengaruhi dari penambahan substrat yang dilakukan sebelum bioreaktor anaerob dioperasikan. Konsentrasi BOD cenderung mengalami penurunan hingga hari ke-21 sebesar 1259 mg/L dengan efisiensi penurunan 68,91%. Pada hari pertama pengukuran reaktor P₂ konsentrasi awal BOD sebesar 4055 mg/L, sama halnya dengan reaktor P₁, konsentrasi BOD cenderung menurun hingga tahap pengoperasian selesai yaitu sebesar 799,33 mg/L dengan efisiensi penurunan mencapai 80,29%. Penurunan juga terjadi pada reaktor P₃, pada awal pengukuran konsentrasi BOD mencapai 3809,6 mg/L dan pada akhir pengukuran mencapai 766,18 mg/L dengan efisiensi penurunan sebesar 79,91%.

TSS

Nilai Efisiensi Removal TSS setelah dilakukan pengolahan selama 21 hari menggunakan bioreaktor anaerob dengan variasi nilai pH, seperti terlihat pada Gambar 4. Berdasarkan hasil analisis laboratorium pada tabel 4.7 dapat dibuat grafik antara variasi pH dengan penurunan konsentrasi BOD lindi TPA Sambutan Samarinda dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut.

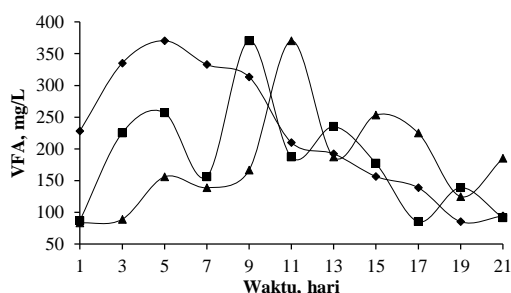


Gambar 4. TSS, Note: ◆ = P₁ pH Ambient, ■ = P₂ pH 7.2, ▲ = P₃ pH 8.0

Dari hasil analisis konsentrasi TSS, seperti pada Gambar 4. Jika dilihat dari kondisi awal dan akhir dari reaktor didapatkan hasil penurunan konsentrasi TSS selama proses berlangsung. Pada reaktor P₁ mengalami efisiensi penurunan terbesar mencapai 84,08% dibandingkan reaktor P₂ dan P₃ sebesar 74,08% dan 78,01%. Konsentrasi TSS dipengaruhi oleh pertumbuhan dan kematian bakteri dalam bentuk materi tersuspensi, namun hal ini belum bisa dibuktikan jika hanya melihat parameter TSS saja, karena TSS merupakan parameter untuk mengetahui jumlah padatan tersuspensi di dalam air buangan, bukan sebagai pendekatan untuk melihat pertumbuhan bakteri. TSS dapat dihubungkan dengan ketersediaan nutrisi sebagai bahan makanan bagi bakteri cukup terpenuhi, sehingga aktifitas metabolisme bakteri pun meningkat dan proses degradasi limbah dapat berlangsung lebih baik.

VFA

Pemeriksaan terhadap konsentrasi VFA bertujuan untuk mengetahui tahap-tahap proses fermentasi anaerob yang terjadi dalam tiap reaktor. Konsentrasi asam lemak volatil yang didapat dinyatakan sebagai konsentrasi asam asetat sebagai hasil konversi dari bahan organik dari fase asidogenesis ke fase asetogenesis.



Gambar 5. VFA, Note: ◆ = P₁ pH Ambient, ■ = P₂ pH 7.2, ▲ = P₃ pH 8.0

Dari ketiga perlakuan tersebut, pada Gambar 5, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi VFA dalam reaktor dengan variasi pH yang berbeda memiliki nilai yang fluktuatif. Pada reaktor P₁ dan P₂ konsentrasi VFA cenderung mengalami penurunan hingga hari terakhir pengoperasian, sebelumnya konsentrasi VFA pada kedua reaktor mengalami kenaikan yang mengindikasikan bahwa adanya VFA yang terbentuk dari bahan-bahan organik yang terhidrolisis ketika konsentrasi VFA mengalami kenaikan. Konsentrasi VFA perlahan menurun pada setiap reaktor dan efluen limbah karena produk metabolisme asidogenesis yang diubah menjadi gas metan pada tahap metanogenesis. Selain itu penurunan konsentrasi VFA ini terjadi disebabkan karena kondisi di dalam digester yang semakin anaerob yaitu pada saat bahan organik mulai habis dan bakteri asetogenik menggunakan H₂ untuk memproduksi asam asetat, maka akan bersaing dengan bakteri metanogenik yang semakin berkembang yang menggunakan H₂ untuk memproduksi metan. Sedangkan pada reaktor P₃, konsentrasi mengalami peningkatan diakhir tahap pengoperasian. Peningkatan VFA pada reaktor P₃ hingga akhir pengukuran menunjukkan bahwa bakteri pengguna asam tidak dalam keadaan seimbang dengan bakteri pembentuk asam.

Pengaruh pH Terhadap BOD, TSS, dan VFA

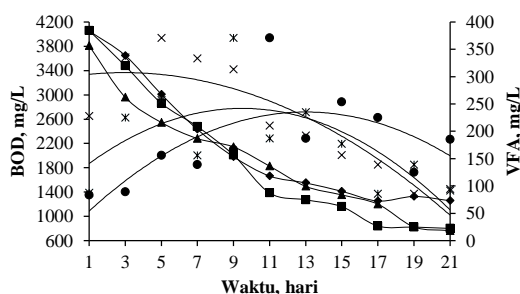
Derajat keasaman atau pH penting dalam karakterisasi limbah karena aktivitas enzim sangat dipengaruhi oleh pH. Setiap perubahan pH akan membawa perubahan pada sistem biologis. Oleh karena itu dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari variasi pH khususnya pada parameter BOD, TSS dan VFA.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pH 7,2 memberikan proses perombakan lebih efisien dibanding pH lain dan nilai efisiensi meningkat seiring dengan meningkatnya waktu fermentasi. Hal tersebut dapat dipahami karena pH 7,2 dapat mempercepat proses pembusukan, sehingga proses perombakan akan lebih cepat. Perombakan secara biologis dalam lingkungan anaerob akan lebih efisien pada pH 7-7,5, selanjutnya dikatakan bahwa pH optimal untuk proses perombakan limbah organik adalah 6,5-8. Dari pernyataan tersebut menunjukkan bahwa peran pH sangat berpengaruh terhadap proses perombakan bahan organik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pada pH kontrol memberikan proses perombakan bahan organik kompleks yang terjadi pada tahap hidrolisis lebih efisien dibanding pH lain. Kondisi temperatur dan pH dalam reaktor sangat mempengaruhi terjadinya proses hidrolisis, terutama parameter pH, dimana pH optimum untuk proses hidrolisis adalah 5,5 – 6,5.

Hasil analisis konsentrasi BOD pada penelitian ini didapatkan pengolahan yang paling efektif terdapat pada reaktor P₂ yang memiliki nilai pH 7,2 yang mampu menurunkan nilai BOD paling besar yaitu sebesar 80,29%. Sedangkan TSS pada penelitian ini terdapat pada reaktor P₁ yang memiliki nilai pH ambient yang mampu menurunkan nilai TSS sebesar 84,08%.

Pada Gambar 6, terlihat hubungan antara BOD dan VFA, dimana pada awal proses penurunan BOD diikuti dengan makin meningkatnya VFA. Hanya saja VFA mulai menurun diatas hari ke 13. Hal ini menunjukkan bahwa ada ketergantungan VFA terhadap BOD, dimana bahan organik yang dihidrolisis semakin berkurang, mengakibatkan penurunan VFA.

Dalam reaktor P₂ ditambahkan larutan *buffer* yang mampu menjaga rentang pH 7,2 tetap konstan hingga akhir pengoperasian. Pada nilai pH 7,2 VFA lebih besar dibandingkan variasi pH lain. Sedangkan pada reaktor P₁ dalam kondisi pH kontrol tidak dilakukan pengaturan pH lindi sehingga tingginya nilai VFA disebabkan terjadinya proses asidogenesis dalam sistem. Namun, nilai pH pada nilai VFA yang tinggi pada penelitian ini tidak menyebabkan penurunan pH yang drastis, nilai pH pada VFA tertinggi yakni sebesar 6,9. Pada saat tersebut pH menjadi turun namun tidak drastis. Hal ini dapat terjadi karena masih adanya karbondioksida bikarbonat atau alkalinitas di dalam bioreaktor yang berfungsi sebagai *buffer* (penyangga) agar nilai pH tetap dalam kondisi netral. Konsentrasi VFA yang diperoleh berada pada rentang antara 91,15-185,25 mg/L.



Gambar 6. Hubungan BOD terhadap VFA, Note: ◆= P₁ pH Ambient, ■= P₂ pH 7.2, ▲= P₃ pH 8.0

Kesimpulan

Berdasarkan pengaruh variasi pH terhadap penyisihan kadar BOD, TSS, dan VFA menggunakan bioreaktor anaerobik pada lindi didapatkan hasil, nilai pH sangat berpengaruh terhadap proses perombakan bahan organik. Pada reaktor yang memiliki nilai pH optimum yaitu 7,2 didapatkan efisiensi penumuran dari nilai BOD sebesar 80,29%, efisiensi untuk nilai TSS sebesar 74,08% dan konsentrasi VFA sebesar 91,15 mg/L. Kinerja bioreaktor anaerobik dalam penelitian menunjukkan hasil yang cukup baik, hal ini ditandai dengan efesiensi penyisihan BOD dengan rentangan tertinggi sebesar 80,29% dengan konsentrasi BOD terendah sebesar 799,33 mg/L. Selain itu efesiensi untuk nilai TSS juga cukup tinggi sebesar 84,08% dengan konsentrasi TSS terendah 65,15 mg/L dan konsentrasi VFA dari masing-masing reaktor sebesar 94,5 mg/L, 91,15 mg/L dan 185,25 mg/L.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang tak terhingga kami haturkan pada Direktorat Penelitian Dan Pengabdian Pada Masyarakat (DP2M), No. 0100/E5.1/PE/2015 tentang Penerima Hibah Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat di Perguruan Tinggi Tahun 2015 Batch 1, yang telah membiaya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abdelgadir, A., Xiaoguang Chen, Jianshe Liu, Xuehui Xie, Jian Zhang, Kai Zhang, Heng Wang, and Na Liu., 2014. Characteristics, Process Parameters, and Inner Components of Anaerobic Bioreactors. *BioMed Research International* Volume 2014, Article ID 841573, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/841573>, pp. 1-10.
- Appels, L., Jan Baeyens., Jan Degre`ve., Raf Dewil., 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science* 34 (2008) 755–781.
- Christensen, T.H., Peter Kjeldsen, Poul L. Bjerg, Dorthel L. Jensen, Jette B. Christensen, Anders Baun, Hans-Jorgen Albrechtsen, Gorm Heron., 2001. Review: Biogeochemistry of Landfill Leachate Plumes. *Applied Geochemistry* 16 (2001) 659-718.
- Gerardi, M.H., 2003, *The microbiology of anaerobic Digesters*, 1st ed, Somerset NJ: Wiley.
- Kahar, A., Nonie Novelya, Budi Nining Widarti, Muhammad Busyairi, Veryatti Octavia. 2016. Pengaruh Temperatur Terhadap BOD, TSS, Dan VFA Pada Pengolahan Lindi Dalam Bioreaktor Anaerobic. *Prosiding Seminar Nasional Industri Kimia Dan Sumber Daya Alam 2016*, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarbaru, 27 Agustus 2016, ISBN: 978-602-70195-1-5, p. 38-44.
- Liu, C., Yuan, X., Zeng, G., Li, W., Li, J., 2008. Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Bioresour. Technol.* 99, p.882–888.
- Munawar, A, 2011. *Rembesan Air Lindi (Leachate) Dampak Pada Tanaman Pangan dan Kesehatan*, Surabaya: UPN Press. Surabaya, ISBN 978-602-9372-44-1
- Padmono, Dj., dan Susanto, J.P., 2007. Biogas Sebagai Energi Alternatif Antara Mitos Dan Fakta Ilmiah. *J.Tek.Ling.*, Januari 2007, 8 (1), ISSN 1441-318, p.34-42.
- Park, Y., Tsuno, H., Hidaka, T., Cheon, J., 2008. Evaluation of operational parameters in thermophilic acid fermentation of kitchen waste. *J. Mater. Cycl. Waste Manage.* 10, p.46–52.
- Poh, P.E., Chong, M.F., 2009. Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Bioresour. Technol.* 100, p. 1–9.
- Tarigan, M.S., dan Edward., 2003. Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) Di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara. *Makara, Sains*, Vol. 7, NO. 3, Desember 2003, p.109-119.
- Ziemiński, K., and Magdalena, F., 2012. Review: Methane Fermentation Process As Anaerobic Digestion Of Biomass: Transformations, Stages And Microorganisms. *African Journal of Biotechnology*, ISSN 1684–5315, Vol. 11(18), pp. 4127-4139.