

## PENGARUH TEMPERATUR DAN pH TERHADAP COD, BOD DAN VFA PADA PENGOLAHAN LINDI TPA SAMPAH KOTA DALAM BIOREAKTOR ANAEROBIK

Abdul Kahar

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Samarinda, Indonesia  
kahar.abdul@gmail.com

### ABSTRAK

Lindi TPA sampah kota merupakan limbah cair heterogen yang mengandung substrat organik dan anorganik kompleks terlarut yang *biodegradable* dan *non-biodegradable*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh temperatur dan pH terhadap COD, BOD dan VFA pada pengolahan lindi dalam bioreaktor anaerobik. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen skala pilot dengan sistem *batch*. Konsentrasi substrat diekspresikan sebagai COD, BOD dan VFA. Penelitian ini menggunakan bioreaktor anaerobik dengan volume total 160L, dengan perbandingan volume lindi:biogas adalah 70:30. Mikroorganisme yang digunakan berasal dari rumen sapi dan lindi dengan perbandingan 1:3. Pengolahan lindi dilakukan dalam bioreaktor anaerobik pada variasi temperatur *ambient*, temperatur 35°C dan temperatur 45°C, variasi pH: *ambient*, 7,2 dan 8,0. Pengambilan data dan analisis parameter dilakukan setiap dua hari sekali. Proses pengolahan lindi dihentikan jika persentase penurunan COD ( $COD_{removal}$ ) telah mencapai 60-80 %. Pada penelitian ini diperoleh adanya ketergantungan terhadap konsentrasi substrat (COD) terlarut dalam lindi. pH dan temperatur berpengaruh terhadap konsentrasi substrat organik terlarut lindi yang selanjutnya berpengaruh terhadap konsentrasi VFA lindi. Konsentrasi substrat merupakan gaya dorong pada proses degradasi biokimia dalam lindi, sehingga perubahan konsentrasi substrat ini akan mempengaruhi VFA. Pengaruh temperatur lebih besar daripada pengaruh pH. Kinerja bioreaktor anaerobik pada pengaruh pH terhadap COD dan BOD removal rata-rata berturut-turut adalah 77,94% dan 76,37%, dengan konsentrasi VFA berkisar antara 83,33–370,63 mg/L. Sementara, kinerja bioreaktor anaerobik pada pengaruh temperatur terhadap COD dan BOD removal rata-rata berturut-turut adalah 80,1% dan 81,11%, dengan konsentrasi VFA berkisar antara 80,78–1698,97 mg/L.

**Kata kunci:** lindi, COD, BOD, VFA, bioreaktor, anaerobik

### PENDAHULUAN

Lindi (*leachate*) TPA sampah kota adalah limbah cair yang timbul akibat masuknya air eksternal ke dalam timbunan sampah. Kemudian melarutkan dan membilas materi-materi organik dan anorganik kompleks terlarut maupun tersuspensi dalam sampah. Proses dekomposisi sampah ini terjadi secara fisis, biologis, dan kimia (Christensen dkk., 2001; Kumar dkk., 2013).

Lindi TPA sampah kota mengandung: VFA, LCFA, senyawa fulvat dan humat, amonia-nitrogen,

fosfat, sulfat, logam berat, xenobiotik organik (XOCs), hidrokarbon aromatik, fenol, dan alifatik terklorinasi, garam-garam anorganik dan mikroorganisme (Renou dkk., 2008; Kawai dkk., 2012; Hassan and Xie, 2014), serta *biorefractory contaminants* (Tatsi dkk., 2003). Oleh karena itu, dalam lindi TPA sampah kota terkandung substrat organik dan anorganik heterogen terlarut kompleks yang *biodegradable* dan *non-biodegradable* (Christensen dkk., 2001).

Mekanisme bioproses dan kinerja bioreaktor anaerobik dalam pengolahan lindi ditentukan oleh

reaksi biokimiawi dan fenomena perpindahan massa yang terjadi. Pada sistem multikomponen, sangat sulit menjabarkan sebuah komponen zat terlarut secara parsial tanpa melihat keseluruhan proses biodegradasi dekomposisi fisis, kimia dan biologis komponen terlarut tersebut, sehingga dibutuhkan suatu konsentrasi substrat yang mewakili keseluruhan komponen zat terlarut dalam campuran tersebut, yang diekspresikan sebagai COD (*Chemical Oxygen Demand*) (Christensen dkk., 2001; Hassan and Xie, 2014).

Beberapa studi melaporkan kegagalan bioreaktor atau kinerja yang tidak baik karena penurunan pH yang disebabkan oleh akumulasi VFA dalam sistem pengolahan anaerobik (Poh and Chong, 2009; Tabatabaei dkk., 2011). VFA dapat menghambat pertumbuhan bakteri *methanogens* jika peningkatan konsentrasinya melebihi batas yang ditentukan (Amani dkk., 2010). Rentang total konsentrasi VFA pada bioreaktor biasanya bervariasi antara 50 dan 300 mg.l<sup>-1</sup>

Asam asetat adalah asam yang dominan dan menyumbang sekitar 85% dari kandungan asam volatil dalam bioreaktor anaerobik (Ganidi dkk., 2009).

Adapun tujuan penelitian ini adalah menentukan pengaruh temperatur dan pH terhadap *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan *Volatile Fatty Acids* (VFA) pada pengolahan lindi TPA sampah kota dalam bioreaktor anaerobik.

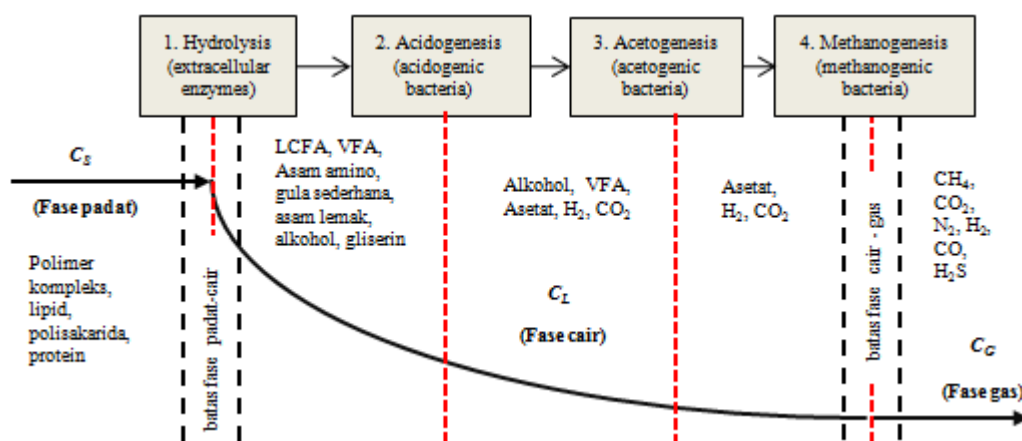
**Biodegradasi Substrat pada Pengolahan Anaerobik**

Proses biodegradasi bahan organik dan anorganik terlarut yang terjadi dalam bioreaktor anaerobik meliputi empat tahap yaitu: hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Bakteri yang berperan pada keempat tahap tersebut bekerja secara spesifik dan saling ketergantungan (Sötemann dkk., 2005; Hossain dkk., 2009), sebagaimana terlihat pada Gambar 1.

**Tabel 1**  
**Karakteristik lindi berdasarkan perbedaan umur timbunan**

Parameter	Konsentrasi rata-rata		
	Muda (< 5 tahun)	Sedang (5-10 tahun)	Tua (>10 tahun)
pH	6,5	6,5-7,5	>7,5
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	10.000-20.000	-	50-100
COD (mg/L)	>10.000	4.000-10.000	<4.000
BOD <sub>5</sub> /COD	>0,3	0,1-0,3	<0,1
VFA ( <i>acetic acid</i> ) mg/L	9.000-25.000	-	50-100

Sumber: Renou dkk., 2008; Hassan dan Xie, 2014



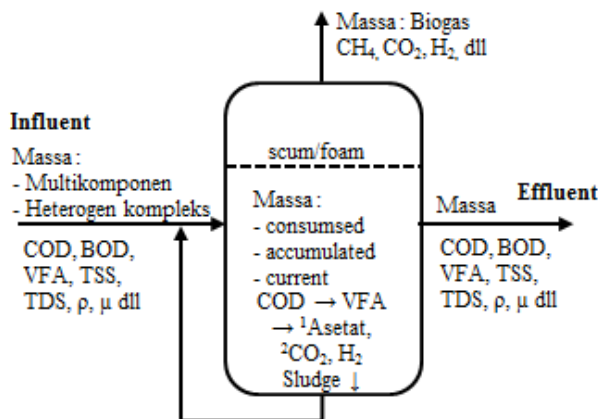
**Gambar 1. Perpindahan massa dari fase padat ke fase cair ke fase gas**

Dalam kasus substrat organik kompleks, yang umumnya diekspresikan sebagai COD. COD suatu bagian substrat yang susah terbiodegradasi (Faisal dan Unno, 2001). Semakin besar reduksi COD, berarti bahan organik yang terdegradasi menjadi asam-asam organik juga semakin besar. Asam-asam organik inilah

yang kemudian terkonversi menjadi gas metana, artinya jika reduksi COD semakin besar maka laju pembentukan gas metana juga semakin besar (Widjaja, dkk., 2008).

Penggunaan COD sebagai parameter kontrol dan operasi pada proses pengolahan anaerobik sangat

beralasan karena biodegradasi yang sangat berbeda. Dimana substrat organik kompleks dalam fase padat “ditata-ulang” dengan memutus dan menyambung ikatan organiknya menjadi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  dalam fase gas (van Lier dkk., 2008). Pada pengolahan lindi dalam bioreaktor anaerobik, seperti terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2. Kestimbangan Massa Substrat pada Sistem Multikomponen (modifikasi dari: Batstone, 2006; van Lier dkk., 2008)**

Pengolahan anaerobik bahan organik merupakan reaksi biokimia kompleks dan spesifik. Biodegradasi bahan organik pada bioreaktor anaerobik melalui tahapan reaksi; hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis yang terjadi secara seri maupun paralel (Deublein dan Steinhauser, 2008; Appels dkk., 2008; Abdelgadir dkk., 2014).

BOD, COD dan VFA merupakan parameter konsentrasi substrat organik terlarut yang *biodegradable*. Proses biodegradasi bahan organik yang mudah didegradasi (*biodegradable organic*) menjadi biogas oleh bakteri anaerobik, biasanya dinyatakan dalam BOD, COD terlarut atau TVS. Substrat untuk menunjukkan COD yang *biodegradable* (Tchobanoglous dkk., 2004; Deublein dan Steinhauser, 2008). Selama pengolahan anaerobik COD hanya “ditata-ulang”. Substrat organik kompleks terbiodegradasi menjadi produk antara (*intermediate product*) kemudian menjadi  $\text{CH}_4$  dan  $\text{CO}_2$  (van Lier dkk., 2008). Dan pada proses anaerobik 90% COD terkonversi menjadi metana (Franco dkk., 2007).

Asam-asam karboksilat dengan massa molekul rendah ( $\text{C}_2\text{-C}_7$  asam monokarboksilat aliphatik) adalah zat antara (*intermediates*) dan *metabolites* penting dalam proses biologis (Siedlecka dkk., 2008). Asam-asam karboksilat ini dikenal sebagai *Volatile Fatty Acids* (VFA) atau asam lemak rantai pendek (SCFA). VFA berperan penting dalam pengolahan anaerobik (Appels dkk., 2008). VFA adalah kelompok asam organik dengan berat molekul rendah yang larut dalam air dan lumpur (*sludge*). Tujuh VFA paling umum

ditemukan dalam bioreaktor anaerobik adalah asam format, asam asetat, asam propionat, asam butirat, asam valerat, asam iso-valerat dan asam kaproat (Gerardi, 2003; Tchobanoglous dkk., 2004; Ganidi dkk., 2009). Kehadiran VFA dalam limbah mengindikasikan adanya aktifitas bakteri (Siedlecka dkk., 2008).

Akumulasi yang tak seimbang antara  $\text{H}_2$  dan VFA, dapat disebabkan oleh variasi temperatur, OLR, senyawa toksik dan lain-lain. *Methanogens* yang tidak dapat menurunkan  $\text{H}_2$  dan VFA, menyebabkan akumulasi VFA dan penurunan pH. Peningkatan konsentrasi VFA dalam bioreaktor sistem *batch*, memberi pengaruh yang berbeda pada tahap hidrolisis, asidogenesis dan metanogenesis (Appels dkk., 2008).

## METODE PENELITIAN

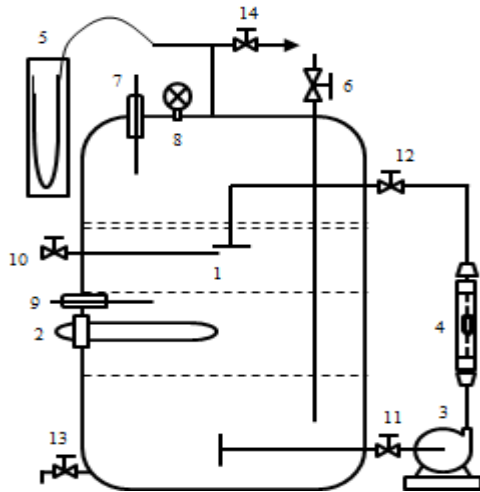
Jenis penelitian ini *experiment study* skala pilot dengan sistem *semi-batch*. Subyek penelitian adalah lindi yang berasal dari TPA Sampah Sambutan, Samarinda, yang diambil dari bak penampungan yang akan masuk ke kolam anaerobik. Rancangan penelitian yang digunakan adalah desain eksperimen faktorial  $3^3$ , interaksi tiga-faktor sehingga diperoleh 27 kelompok. Dimana temperatur sebagai Faktor A, pH sebagai Faktor B dan laju alir resirkulasi sebagai Faktor C. Penelitian ini menggunakan bioreaktor anaerobik dengan volume 160 L, seperti terlihat pada Gambar 3. Variabel bebas adalah temperatur, terdiri dari temperatur ambient, temperatur  $35^\circ\text{C}$  dan temperatur  $45^\circ\text{C}$ . pH terdiri dari pH ambient lindi, 7,2 dan 8,0. Sedangkan variabel terikat adalah pH, COD, BOD, dan VFA (mg/L).

## Perancangan bioreaktor anaerobik

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bioreaktor anaerobik dengan volume total  $\pm 160$  L. Setelah dilakukan karakterisasi dan analisis kualitas lindi, tahap selanjutnya adalah perancangan bioreaktor anaerobik dengan desain sesuai kebutuhan penelitian. Bioreaktor anaerobik dilengkapi dengan *port sampling* dan tekanannya diukur dengan manometer.

## Uji coba kebocoran dan kalibrasi

Setelah perancangan selesai, selanjutnya dilakukan uji kebocoran dan kalibrasi dari sistem bioreaktor anaerobik ini. Setelah dapat dipastikan bahwa sistem bioreaktor anaerobik yang dirancang tidak mengalami kebocoran, selanjutnya dilakukan kalibrasi dengan mengalirkan gas ke dalam biogas *sampling*.



Keterangan:

- |                                |                                   |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| 1. Bioreaktor anaerobik        | 8. Pressure gauge                 |
| 2. Pemanas                     | 9. Termometer lindi               |
| 3. Pompa resirkulasi lindi     | 10. Sampling port                 |
| 4. Flowmeter resirkulasi lindi | 11. Kran masuk resirkulasi lindi  |
| 5. Manometer                   | 12. Kran keluar resirkulasi lindi |
| 6. Inlet umpan masuk lindi     | 13. Effluent lindi                |
| 7. Termometer biogas           | 14. Ktan biogas keluar            |

**Gambar 3. Rangkaian bioreaktor anaerobik yang digunakan**

### Pengolahan lindi dalam bioreaktor anaerobik

Perbandingan lindi dan biogas: 70:30, sehingga perbandingan volume lindi dan biogas adalah 112L:48L. Umpan lindi yang sudah siap kemudian dimasukkan ke dalam bioreaktor melalui bagian atas. Lindi diresirkulasi dengan laju tertentu melalui bagian bawah masuk ke dalam bioreaktor melalui bagian atas.

Pengolahan lindi dilakukan dalam bioreaktor anaerobik pada temperatur 35°C dan 45°C dengan 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. pH lindi diatur dan dipertahankan sesuai dengan pH yang diinginkan dengan larutan *buffer*. *Thermocouple* digunakan untuk mempertahankan temperatur yang kehendaki pada pengolahan lindi dalam bioreaktor. Tekanan biogas yang dihasilkan volumenya diukur dengan mengamati perbedaan ketinggian pada manometer. Analisis dan uji parameter COD, BOD dan VFA dilakukan setiap dua hari sekali. Proses pengolahan lindi dihentikan jika prosentase penurunan COD ( $COD_{removal}$ ) telah mencapai 60-80%.

### Analisis hasil pengolahan lindi

Selama proses pengolahan lindi berlangsung, analisis sampel dilakukan pada effluent, meliputi parameter: pH, COD, BOD, VFA. Analisis *Chemical Oxygen Demand* (COD) menggunakan metode kalium dikromat dengan reflus tertutup secara titrimetri, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) menggunakan

metode *Winkler* berdasarkan prinsip titrasi iodometri, dan analisis VFA menggunakan metode *Steam Distillation*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh pH terhadap COD, BOD dan VFA

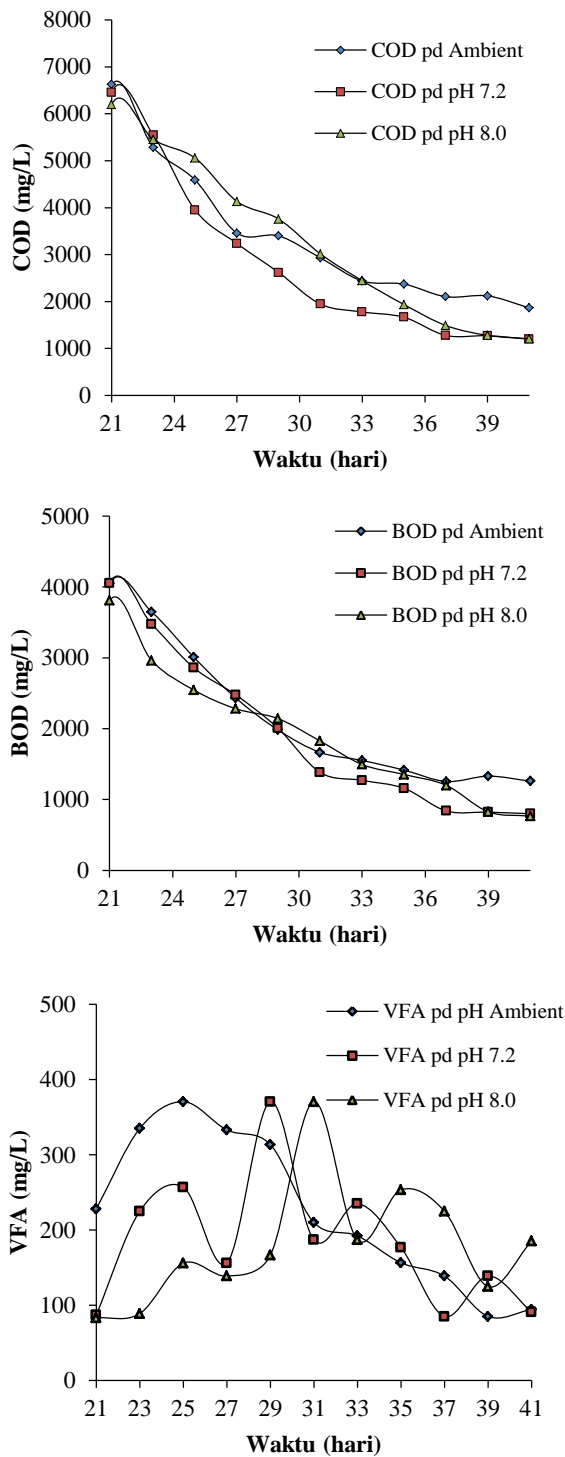
Indikator keberhasilan mikroorganisme dalam biodegradasi adalah menurunnya konsentrasi substrat (COD dan BOD) dalam lindi setelah proses pengolahan anaerobik, sebagaimana tampak pada Gambar 4 (a) dan (b).

Pada tahap pengolahan anaerobik, hari ke-21 sampai dengan hari ke-41. Secara keseluruhan, diperoleh COD removal berkisar antara 71,84% sampai dengan 85,31%. Sedangkan BOD removal diperoleh berkisar antara 68,91 sampai dengan 84,15%. Dengan COD dan BOD removal rata-rata berturut-turut sebesar 80,74% dan 80,44%. Penurunan COD dan BOD tertinggi terjadi pada hari ke-21–29.

pH juga berpengaruh terhadap penurunan COD dan BOD. Presentasi penurunan COD pada pH ambient, pH 7,2 dan pH 8,0 berturut-turut adalah 71,84%, 81,43% dan 80,55%. Jadi COD removal pada pH 7,2 > pH 8,0 > pH ambient. Seperti terlihat pada Gambar 4 (a). Penurunan BOD pada pH ambient, pH 7,2 dan pH 8,0 berturut-turut adalah 68,91%, 80,29% dan 79,91%. Jadi BOD removal pada pH 7,2 > pH 8,0 > pH ambient. Seperti terlihat pada Gambar 4 (b).

Konsentrasi VFA ditentukan sebagai parameter untuk mengetahui sejauh mana tahap asidogenesis dan asetogenesis berlangsung. Dimana konsentrasi VFA merupakan salah satu parameter yang baik untuk memonitor dalam menentukan stabilitas bioreaktor anaerobik. VFA dianalisis sebagai asam asetat, karena asam asetat merupakan zat antara utama yang dominan dengan kandungan sekitar 85% dari VFA total. Pada tahap asetogenesis, semua asam-asam organik yang terbentuk akan terkonversi menjadi asam asetat (Gerardi, 2003; Tchobanoglous dkk., 2004; Ganidi dkk., 2009).

Konsentrasi VFA yang diperoleh dari terendah 76,71 mg/L dan tertinggi 1699,7 mg/L. Pada pengaruh pH diperoleh konsentrasi VFA berkisar antara 83,33 – 370,63 mg/L. Konsentrasi VFA dipengaruhi oleh pH. Makin tinggi pH makin tinggi pula konsentrasi VFA yang diperoleh. Namun tetap mempertimbangkan kondisi pH optimum mikroorganisme yang terlibat dalam biodegradasi tersebut. Konsentrasi VFA tertinggi pada pH *ambient* = pH 7,2 = pH 8,0, adalah 370,63 mg/L. Seperti terlihat pada Gambar 4 (c).



Gambar 4. (a) COD pada variasi pengaruh pH, (b) BOD pada variasi pengaruh pH, dan (c) Konsentrasi VFA pada pengaruh pH

Secara umum, semua jenis biomassa dapat dikatakan sebagai substrat, sepanjang mengandung karbohidrat, protein, lemak, selulosa dan hemiselulosa sebagai komponen utama (Deublein dan Steinhauser, 2008). Dan konsentrasi substrat diekspresikan sebagai COD (Christensen dkk., 2001; Hassan dan Xie, 2014). Selama pengolahan anaerobik, substrat organik kompleks dibiodegradasi secara simultan dari satu fase

ke fase lain menjadi VFA kemudian dikonversi menjadi biogas (van Lier dkk., 2008).

pH merupakan salah satu parameter penting pada pengolahan anaerobik karena bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan pH. Bakteri pembentuk-metana hidup dengan baik pada kondisi netral ke sedikit basa. pH dalam bioreaktor secara langsung bergantung pada waktu tinggal (*retention time*) (Kigozi dkk., 2014).

**Pengaruh temperatur terhadap COD, BOD dan VFA**

Persentase penurunan COD pada temperatur *ambient*, temperatur 35°C, temperatur 45°C, temperatur 35°C dan pH 7,2 dan temperatur 45°C dan pH 8,0 berturut-turut adalah 71,84%, 79,64%, 79,00%, 81,73% dan 80,00%. Jadi COD removal pada T 35°C; pH 7,2 > T 35°C > T 35°C; pH 8,0 > T 45°C > T *ambient*. Seperti terlihat pada Gambar 5 (a). Kondisi ini sesuai dengan pernyataan bahwa kinerja bioreaktor anaerobik pengolahan air limbah stabil pada temperatur mesofilik (35-37°C) (Bolzonella dkk., 2005).

Penurunan BOD pada T *ambient*, T 35°C, T 45°C, T 35°C, pH 7.2; dan T 45°C, pH 8,0 berturut-turut adalah 68,91%, 81,99%, 78,00%, 82,44% dan 82,00%. Jadi BOD removal pada T 35°C; pH 7.2 > T 45°C, pH 8,0 > T 35°C > T 45°C > T *ambient*. Seperti terlihat pada Gambar 5 (b).

Pada penelitian ini juga terlihat bahwa kondisi temperatur pengolahan yang lebih tinggi, maka laju biodegradasi bahan organik semakin besar. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa pada kondisi *thermophilic* laju biodegradasi bahan organik, biomassa dan produksi biogas tinggi ( Zhu dkk., 2009; Khalid dkk., 2011).

Konsentrasi VFA dipengaruhi oleh temperatur. Makin tinggi temperatur makin tinggi pula konsentrasi VFA yang diperoleh. Namun tetap konsisten pada temperatur optimum mikroorganisme yang berperan didalamnya. Pada pengaruh temperatur diperoleh VFA sebesar 80,78 – 1698,97 mg/L. Konsentrasi VFA pada T 35°C > T 45°C > T *ambient*, berturut-turut adalah 1698,97 mg/L, 1232,1 mg/L dan 370,63 mg/L. Seperti terlihat pada Gambar 5 (c).

Pada tahap pengolahan anaerobik, dimana biodegradasi anaerobik yang berperan adalah kelompok bakteri metanogenesis; yaitu hidrogenofilik atau hidrogenotropik, yang membentuk metana dari CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> dan metanogens asetiklastik atau asetikotropik, yang menghasilkan metana dengan cara dekarboksilasi asetat (Sekiguchi dan Kamagata, 2004). Kelompok

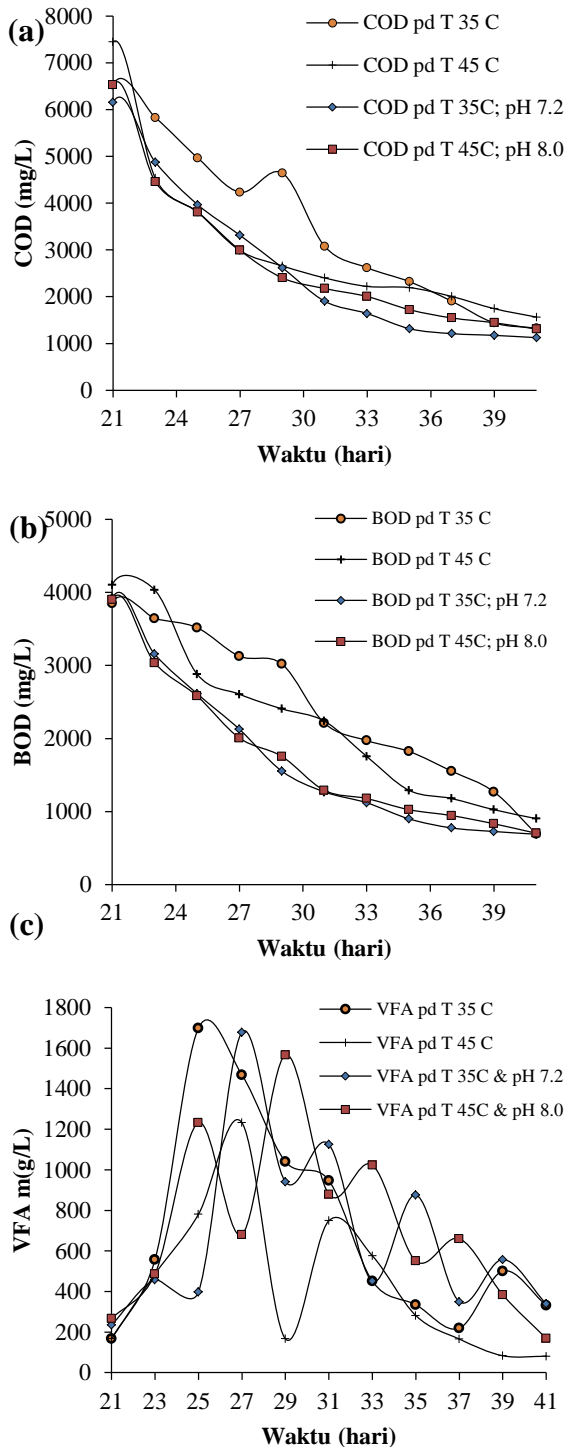
bakteri *methanogens* ini memanfaatkan hasil dari tiga tahap pertama (hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis) untuk menghasilkan campuran biogas (Ferry, 1999). Bakteri metanogen bersifat mesofilik optimum pada kisaran temperatur 28 – 42 °C (Ziemiński dan Magdalena, 2012) dan optimum pada rentang pH 7,2 – 8,0 (Suryawanshi dkk., 2013).

Pada tahap awal, sejumlah besar asam-asam organik diproduksi oleh bakteri pembentuk asam, pH dalam bioreaktor dapat turun sampai dibawah 5. Kondisi seperti ini dapat menghambat atau menghentikan proses dalam bioreaktor. Bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan pH dan tidak dapat berkembang dibawah pH 6.5. Meskipun proses masih dapat berjalan pada rentang pH 6.0 – 8.0 (Kigozi dkk., 2014). Jadi walaupun bakteri pembentuk metan sangat sensitif terhadap pH, tetapi pH dalam bioreaktor tidak harus dikendalikan secara ketat. Pengaturan pH dapat dilakukan dengan menjaga umpan agar tidak terlalu asam serta menjaga kesetimbangan reaksi pada tahap asidogenik dan metanogenik dengan baik (Padmono, 2007).

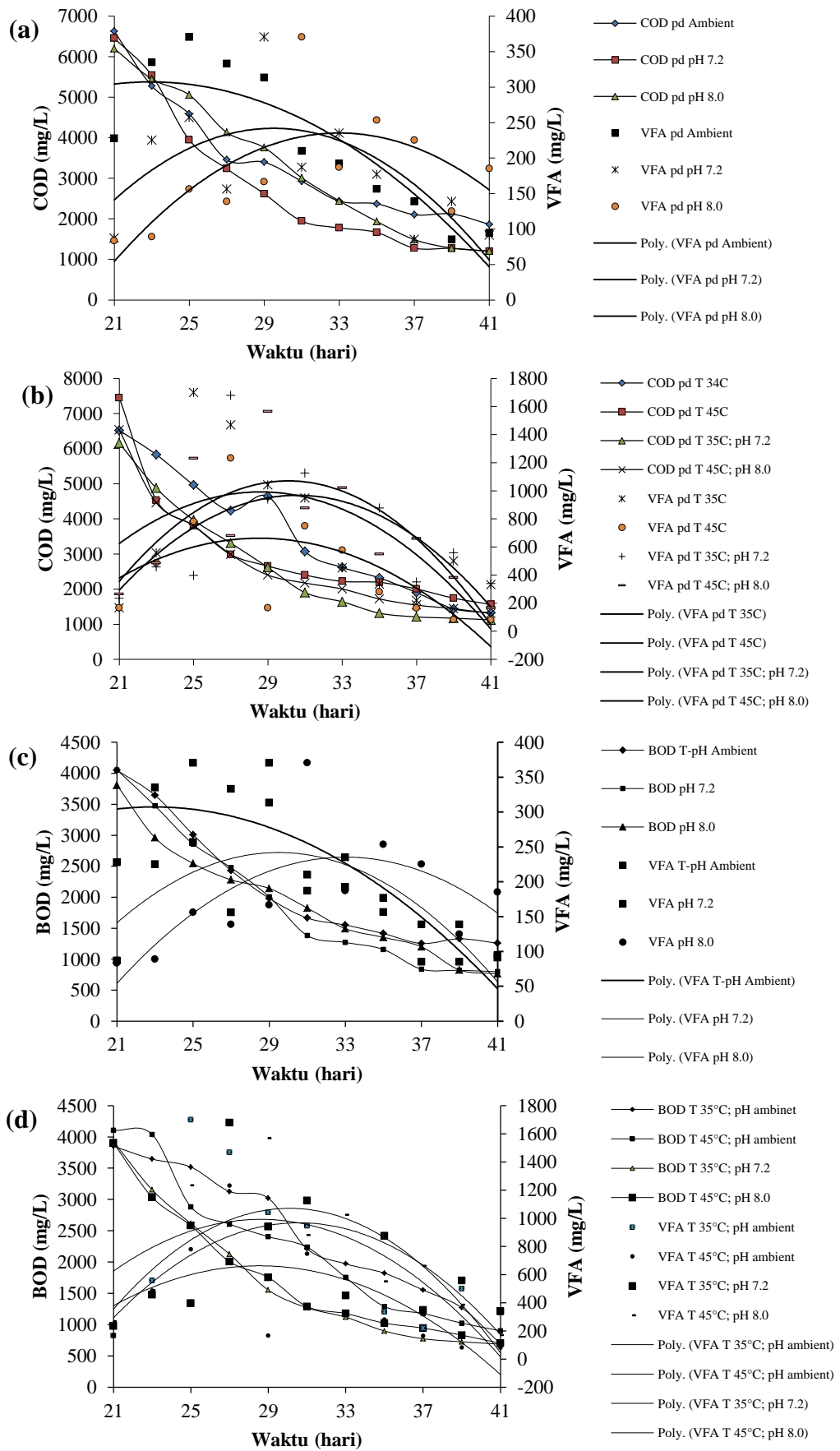
### Hubungan COD, BOD dan VFA

Pada awal pengolahan, kenaikan VFA diiringi dengan penurunan konsentrasi substrat COD dan BOD. Seiring dengan waktu, semakin besar penurunan COD removal makin menurun pula konsentrasi VFA yang diperoleh. Kenyataan yang tak dapat dipungkiri kenaikan eksponensial VFA kemudian menurun kembali, menunjukkan bahwa ketergantungan VFA terhadap terbatasnya konsentrasi substrat dalam lindi (Reid dkk., 1991). Terlihat juga, bahwa konsentrasi VFA tertinggi pada semua kondisi operasi berada pada hari ke-25 – 31, sebagaimana terlihat pada Gambar 6(a)–6(d).

Pertumbuhan bakteri hidrolitik lebih cepat dari pada bakteri metanogen, hal ini seringkali menyebabkan terjadi akumulasi VFA (Amani dkk., 2010). Akumulasi VFA dalam bioreaktor anaerobik mencerminkan suatu ketidakseimbangan antara asam yang diproduksi dan asam yang dikonsumsi oleh bakteri. Jika bioreaktor *overload* dan kandungan konsentrasi VFA tinggi, lebih besar daripada yang dapat dikonsumsi bakteri *methane-producing (slow-growers)*, maka produksi biogas akan meningkat. Peningkatan ini berpotensi meningkatkan foaming dalam bioreaktor anaerobik (Baber, 2005). Akumulasi VFA dapat mengakibatkan penurunan pH secara progresif dari 7 menjadi 5 yang dapat mengganggu proses dekomposisi terutama bagi bakteri pembentuk metana yang rentan terhadap pH (Padmono, 2007).



Gambar 5. (a) Penurunan COD pada pengaruh temperatur, (b) Penurunan BOD pada pengaruh variasi temperatur, (c) Konsentrasi VFA pada pengaruh variasi temperatur



Gambar 6. (a) COD vs VFA pada pengaruh pH, (b) COD vs VFA pada pengaruh temperatur, (c) BOD vs VFA pada pengaruh pH, dan (d) BOD vs VFA pada pengaruh laju alir resirkulasi Q

Pada penelitian ini diperoleh makin tinggi COD yang terbiodegradasi makin tinggi pula konsentrasi VFA. Makin berkurang konsentrasi substrat makin menurun pula konsentrasi VFA. Hal ini sesuai dengan pernyataan, bahwa semakin besar konsentrasi substrat yang tereduksi, berarti bahan organik terlarut yang terbiodegradasi menjadi asam-asam organik semakin besar. Asam organik inilah yang kemudian dikonversi menjadi gas metana. Oleh karena itu, jika penurunan COD semakin besar maka laju pembentukan gas metana juga semakin besar (Widjaja, dkk., 2008). Hanya saja yang perlu diperhatikan pada semua kondisi operasi pengolahan lindi dalam bioreaktor anaerobik adalah sebelum dan sesudah puncak konsentrasi VFA tertinggi. Dimana sebelum VFA tertinggi, konsentrasi substrat organik terlarut juga masih tinggi. Sedangkan pada sesudah VFA puncak tertinggi, konsentrasi substrat organik terlarut telah menurun.

## SIMPULAN

Simpulan yang dapat diambil adalah bahwa pH dan temperatur berpengaruh terhadap COD, BOD dan VFA pada pengolahan lindi dalam bioreaktor anaerobik. Temperatur-pH berpengaruh pada jumlah massa zat terlarut yang terbiodegradasi sehingga mempengaruhi konsentrasi substrat organik terlarut lindi. Perubahan konsentrasi substrat organik terlarut lindi (COD dan BOD), akan merubah konsentrasi VFA. Makin besar massa zat terlarut yang terbiodegradasi, maka makin tinggi penurunan COD dan BOD, semakin tinggi pula konsentrasi VFA.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih yang tak terhingga kami haturkan pada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (DP2M) Dikti dengan surat perjanjian No: 416/UN17.41/KL/2017, yang telah membiaya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amani, T., Nosrati, M., & Sreekrishnan, T. (2010). Anaerobic digestion from the viewpoint of microbiological, chemical, and operational aspects - a review. *Environ.*, 255-278. DOI: 10.1139/A10-011.Rev.18.
- Appels, L., Baeyens, J., Degre've, J., & Dewil, R. (2008). Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34, 755-781.
- Barber, W. (2005). Anaerobic digester foaming: causes and solutions. *Water 21 (FEB)*, 45-49.
- Bastone, D. (2006). Mathematical modelling of anaerobic reactors treating domestic wastewater: Rational criteria for model use. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5, 57-71. DOI: 10.1007/s11157-005-7191-z.
- Bolzonella, D., Pavan, P., Battistoni, P., & Cecchia, F. (2005). Mesophilic anaerobic digestion of waste activated sludge: influence of the solid retention time in the wastewater treatment process. *Process Biochemistry*, 1453-1460.
- Christensen, T., Kjeldsen, P., Bjerg, P., Jensen, D., Christensen, J., Baun, A., . . . Heron, G. (2001). Review: Biogeochemistry of Landfill Leachate Plumes. *Applied Geochemistry*, 16, 659-718.
- Doublein, D., & Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KGAA.
- Faisal, M., & Unno, H. (2001). Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 9, 25-31.
- Ferry, J. (1999). Enzymology of One-Carbon Metabolism In Methanogenic Pathways. *FEMS Microbiol. Rev.*, 23, 13-38.
- Franco, A., Mosquera-Corral, A., & Roca, C. (2007). Learning to Operate Anaerobic Bioreactors. Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology. *Formatex*, 618-627.
- Ganidi, N., Tyrrel, S., & Cartmell, E. (2009). Anaerobic Digestion Foaming Causes – A review. *Bioresources Rchnology*, 100(23), 5546-5554.
- Gerardi, M. (2003). *The microbiology of anaerobic Digesters* 1st Edition. Somerset NJ: Wiley.
- Hassan, M., & Xie, B. (2014). Use of aged refuse-based bioreactor/biofilter for landfill leachate treatment. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 98, 6543-6553.
- Kawai, M., Kishi, M., Hamersley, M., Nagao, N., & Toda, H. (2012). Biodegradability and Methane Productivity during anaerobic co-digestion of refractory leachate. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 46-51.
- Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). Review: The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31, 1737-1744.
- Kigozi, R., Aboyade, A., & Muzenda, E. (2014). Biogas Production Using the Organic Fraction of Municipal Solid Waste as Feedstock. *IJRCMCE*, 1(1), 107-114.
- Kumar, S., Katoria, D., & Singh, G. (2013). Leachate Treatment Technologies. *International Journal of Environmental Engineering and Management*, 4(5), 439-444.
- Padmono, D. (2007). Kemampuan Alkalinitas Kapasitas Penyanggan (Buffer Capacity) Dalam Sistem Anaerobik Fixed Bed. *J. Tek. Ling.*, 8(2), 119-127.



- Poh, P., & Chong, M. (2009). . Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Bioresour. Technol.*, 100, 1-9.
- Renou, S., Givaudan, J., Poulain, S., Dirassouyan, F., & Moulin, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 468-493.
- Sekiguchi, Y., & Kamagata, Y. (2004). Microbial Community Structure And Functions In Methane Fermentation Technology For Wastewater Treatment. Dalam M. Nakano, & P. Zuber, *Strict and Facultative Anaerobes: Medical and Environmental Aspects* (hal. 361-384). Norwich, U.K.: Horizon Bioscience.
- Siedlecka, E., Kumirska, J., Ossowski, T., Glamowski, P., Gołębowski, M., Gajdus, J., . . . Stepnowski, P. (2008). Determination of Volatile Fatty Acids in Environmental Aqueous Samples. *Polish J. of Environ. Stud.*, 17(3), 351-356.
- Söttemann, S., Van Rensburg, P., Ristow, N., Wentzel, M., Loewenthal, R., & Ekama, G. (2005). Integrated Chemical, Physical and Biological Processes Modelling Part.2 - Anaerobic Digestion of Sewage Sludges. *Water SA*, 31(4), 545-568.
- Suryawanshi, P., Chaudhari, A., Bhardwaj, S., & Yeole, T. (2013). Operating Procedures for Efficient Anaerobic Digester Operation. *Research Journal of Animal, Veterinary and Fishery Sciences*, 1(2), 12-15.
- Tabatabaei, M., Sulaiman, A., Nikbakht, A., Yusof, N., & Najafpour, G. (2011). Influential Parameters on Biomethane Generation in Anaerobic Wastewater Treatment Plants. *InTech*.
- Tatsi, A., Zouboulis, A., Matis, K., & Samaras, P. (2003). Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. *Chemosphere*, 53, 737-744.
- Tchobanoglous, G., Burton, F., & Stensel, H. (2004). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Fourth Edition*. McGraw-Hill Co.
- van Lier, J., Mahmoud, N., & Zeeman, G. (2008). Anaerobic Wastewater Treatment: Biological Wastewater Treatment: Principles Modelling and Design, edited by M.Henze, M.C.M. van Loosdrecht, G.A. Ekama, dan D. Brdjanovic. London, UK: IWA Publishing.
- Wadjaja, T., Altway, A., Prameswarhi, P., & Wattimena, F. (2008). Pengaruh HRT Dan Beban COD Terhadap Pembentukan Gas Methan Pada Proses Anaerobic Digestion Menggunakan Limbah Padat Tepung Tapioka. *Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono "Pengolahan Sumber Daya Alam dan Energi Terbarukan"*. Surabaya.
- Zhu, B., Gikas, P., Zhang, R., Lord, J., Jenkins, B., & Li, X. (2009). Characteristics and biogas production potential of municipal solid wastes pretreated with a rotary drum reactor. *Bioresour. Technol.*, 1122-1129.
- Zieminski, K., & Frac, M. (2012). Review: Methane Fermentation Process As Anaerobic Digestion Of Biomass: Transformations, Stages And Microorganisms. *African Journal of Biotechnology*, 11(18), 4127-4139.