

PENGARUH WAKTU TINGGAL TERHADAP REAKSI HIDROLISIS PADA PRA-PEMBUATAN BIOGAS DARI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

THE EFFECT OF RESIDENCE TIME TO THE HYDROLYSIS REACTION ON THE PRE-PRODUCTION OF BIOGAS FROM PALM OIL MILL EFFLUENT

Siti Masriani Rambe, Iriany dan Irvan

Program Studi Magister Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

e-mail: siti_masriani@yahoo.com

Diterima: 13 Maret 2014; Direvisi: 24 Maret 2014 – 23 Mei 2014; Disetujui: 30 Mei 2014

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh waktu tinggal terhadap reaksi hidrolisis yang merupakan tahapan awal pada proses pembuatan biogas dari limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS). Penelitian ini dilakukan dalam reaktor bersekat anaerob yang terdiri dari 4 ruang dengan jarak sekat dari dasar reaktor (*clearance baffle reactor*, CBR) divariasikan 1,5 dan 3 cm. Percobaan diawali oleh proses aklimatisasi dan *start up* secara *semi batch*. Waktu tinggal divariasikan dari 18, 12 dan 6 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju dekomposisi Total Solid (TS), COD dan parameter lainnya dipengaruhi oleh waktu tinggal. Hasil terbaik diperoleh pada waktu tinggal 18 hari dan CBR 1,5 cm dengan laju dekomposisi COD sebesar 60,92% dan 60,92%. Reaktor dengan sistem *Anaerobic Baffle Reactor* dapat digunakan sebagai reaktor penampungan sekaligus reaktor hidrolisis pada pra-pembuatan biogas dari LCPKS.

Kata kunci: LCPKS, hidrolisis, reaktor bersekat, total solid, waktu tinggal

Abstract

This research aims to study the effect of residence time on hydrolysis reaction which is an initial stage in the process of making biogas from palm oil mill effluent (POME). This research was done in an anaerobic baffle reactor consisting of 4 compartments (baffle clearance reactor CBR) varied on 1.5 and 3 cm. Experiments preceded by acclimatization process and semi-batch start up. The residence time was varied from 18, 12 and 6 days. The results showed that the rate of decomposition of Total Solid (TS), COD and other parameters influenced by the residence time. The best results were obtained at a residence time of 18 days and a CBR of 1.5 cm with COD decomposition rate of 60.92% and 60.92%. Reactor with Anaerobic Baffle system could be used as a shelter at the same reactor on pre-hydrolysis reactor biogas production from POME.

Keywords: anaerobic baffle reactor, hydraulic retention time (HRT), hydrolysis, POME, total solid

PENDAHULUAN

Limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) merupakan salah satu jenis buangan pabrik pengolahan kelapa sawit yang berasal dari air kondensat pada proses sterilisasi, air dari proses klarifikasi, air hydrocyclone (*claybath*), dan air pencucian. LCPKS dapat dimanfaatkan sebagai energi berupa biogas melalui tahap/reaksi yaitu reaksi hidrolisis, acidogenesis, acetogenesis dan metanogenesis.

Reaksi hidrolisis merupakan langkah awal proses pengolahan anaerobik dari semua proses penguraian dimana bahan organik akan berubah menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga dapat diurai oleh mikroorganisme pada proses fermentasi. Proses hidrolisis lebih sering disebut depolimerisasi karena dapat memecah makromolekul (Broughton, 2009). Mikroorganisme hidrolase yang tumbuh berupa mikroorganisme anaerobik. Untuk senyawa kompleks dan konsentrasi yang tinggi, hidrolisis biasanya berjalan lambat.

Mikroorganisme akan mendekomposisi rantai panjang karbohidrat, protein dan lemak menjadi bagian yang lebih pendek. Proses penguraian ini melibatkan mikroorganisme hidrolase, senyawa-senyawa organik kompleks dihidrolisis menjadi monomer-monomer. Sebagai contoh, polisakarida diubah menjadi monosakarida, protein diubah menjadi peptida dan asam amino, lemak dihidrolisis menjadi asam-asam lemak atau gliserol. Sedangkan penelitian Movaheydyan *et al.*, (2007) mengemukakan dalam penelitiannya bahwa hasil dari proses hidrolisis adalah Asam volatile karboksilat, asam keton, asam hidroksi, keton, alkohol, gula, asam amino.

Beberapa Pabrik Kelapa Sawit (PKS) telah mengolah LCPKS nya menjadi biogas dengan berbagai metode. Irvan *et al.*, (2012) melakukan pembuatan biogas melalui keempat reaksi diatas sekaligus dalam satu reaktor anaerobik. Kelemahan penelitian tersebut adalah waktu pembentukan biogas yang cukup lama sekitar 3 minggu karena mikroorganisme yang berperan setiap tahap reaksi berbeda karakternya. Empat proses reaksi terjadi dalam satu reaktor yang sama memerlukan waktu yang lama sehingga dibutuhkan reaktor yang banyak dalam mengolah biogas dari LCPKS. PKS sering mengalami kelebihan produksi sehingga jumlah LCPKS yang dihasilkan cukup tinggi mencapai 52.000.000 ton LCPKS setiap tahunnya (Irvan *et al.*, 2012) dan sebaliknya pada kondisi pabrik dalam perbaikan mesin atau *shutdown* maka LCPKS tidak dihasilkan. Proses produksi biogas dengan jumlah tertentu dan kontinu memerlukan bahan baku tersedia dalam jumlah tertentu secara kontinu pula.

Sergio *et al.*, (2008) telah melakukan penelitian dengan mengkaji reaksi hidrolisis-asigonesis LCPKS dengan sistem *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) atau reaktor berpengaduk. Hasil penelitiannya diperoleh waktu tinggal/*hydraulic retention time* (HRT) optimum adalah pada kondisi HRT 3 dan 4 hari untuk terjadi proses reaksi hidrolisis.

Kelemahan dari Sergio *et al.*, (2008) memerlukan energi yang besar dan tangki yang banyak dalam proses reaksi hidrolisis pada pra-pembuatan biogas dari LCPKS. Yusoff *et al.*, (2010) menjelaskan bahwa waktu tinggal (HRT) sangat berpengaruh pada proses hidrolisis dalam pembentukan senyawa asam dan hanya sedikit berbentuk H_2 yang masih larut dalam air belum berbentuk fase gas.

Dengan demikian, dalam pra-pembuatan biogas dari LCPKS memerlukan reaktor dengan sistem *Anaerobic Baffle Reactor* (ABR) dan waktu tinggal limbah yang lebih lama. Kelebihan reaktor dengan sistem ABR adalah desain yang sederhana dan penggunaan energi lebih rendah karena tidak menggunakan motor pengaduk. Reaktor yang diinginkan adalah reaktor berfungsi sebagai penampung bahan baku sekaligus sebagai reaktor (media reaksi hidrolisis). Reaktor ini tidak diharapkan terjadi reaksi metanogenesis sebab pada tahap reaksi metanogenesis (pembentukan biogas) akan dilanjutkan pada reaktor lain dengan spesifikasi yang berbeda. Dalam pemenuhan spesifikasi reaktor sebagai media reaksi hidrolisis, harus mempertimbangkan banyak variabel seperti suhu, nutrisi, *hydraulic retention time* (HRT) dan lain sebagainya. Variabel-variabel ini perlu dipertimbangkan karena karakter limbah cepat berubah seiring dengan waktu tinggal limbah dalam reaktor karena mikroorganisme yang ada di dalam limbah sangat mudah bereaksi/berubah.

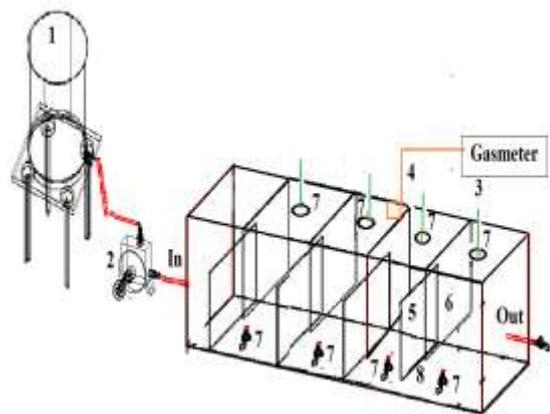
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu tinggal (HRT) dan jarak dasar dengan sekat reaktor (CBR) terhadap reaksi hidrolisis pada reaktor dengan sistem ABR sebagai tahap awal pembentukan biogas dari LCPKS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagi PKS untuk menyediakan tangki penyimpanan sekaligus reaktor (reaksi hidrolisis) sesuai dengan karakter LCPKS. Pada reaktor ini diharapkan terjadi reaksi hidrolisis pada pra-pembuatan biogas dari LCPKS.

BAHAN DAN METODE

A. Bahan dan Alat

Dalam penelitian ini bahan utama yang digunakan adalah limbah cair pabrik kelapa sawit (LCPKS) yang berasal dari pabrik kelapa sawit Adolina milik PTPN IV Lubuk Pakam, inokulum dari kolam asam limbah pabrik kelapa sawit Pabatu milik PTPN IV Tebing Tinggi dan bahan kimia untuk analisa COD.

Penelitian ini menggunakan reaktor dengan tipe *Anaerobic Baffle Reactor*. Reaktor tipe ini memiliki bentuk/geometri yang praktis dan sederhana seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Peralatan pH meter untuk mengetahui derajat keasaman limbah, oven dan *analytical balance* untuk analisa nilai Total Solid (TS).



- | | |
|---------------------------|--|
| 1 Tangki Penyimpanan POME | 5 <i>Standing baffle reactor</i> Sampling Port |
| 2 Pompa Automatis | 6 <i>Hanging baffle</i> reaktor |
| 3 Alat Pengukur Gas | 7 Kran Limbah Keluar/Sampling Port |
| 4 Pipa Gas keluar | 8 <i>Clearance Baffle Reactor</i> |

Gambar 1. Bioreaktor *anaerobic baffle reactor* (McCarty, 1981)

B. Metode Penelitian

Prosedur Penelitian

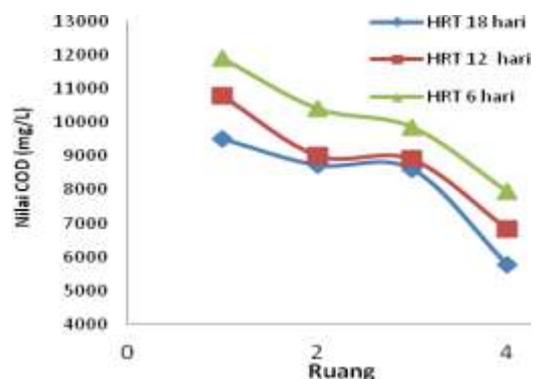
Penelitian dimulai dengan tahap aklimatisasi agar bibit mikroorganisme dapat beradaptasi dengan LCPKS yang baru, lalu dilanjutkan dengan tahap *start-up* yang dimulai dari waktu tinggal (HRT) 53 hari hingga mencapai HRT variasi penelitian yaitu pada HRT (18, 12 dan 6 hari) dan variasi jarak dasar reaktor

dengan sekat atau sering disebut dengan istilah *Clearance Baffle Reactor* (CBR) yaitu 1,5 cm dan 3 cm. Pengumpanan substrat dilakukan pada tangki penyimpanan POME (1), menggunakan pompa dialirkan pada tangki ABR secara *semibatch*. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari dan di setiap ruang untuk mengetahui nilai pH dan TS, karena mikroorganisme dalam LCPKS rentan berubah setiap hari dan pengambilan contoh analisa parameter COD dilakukan secara periodik hanya untuk mengetahui kinerja mikroorganisme dalam mendegradasi partikel organik dalam LCPKS. Penelitian ini dilakukan pada suhu kamar sebab mikroorganisme hidrolase dapat berkembang biak pada suhu kamar (Wanna Chorit *et al.*, 2007)

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Waktu Tinggal (HRT) terhadap Reaksi Hidrolisis

Parameter COD adalah salah satu parameter kimia yang dapat diukur dalam limbah, sedangkan parameter fisika adalah parameter TS (Doraja *et al.*, 2012). Gambar 2 menunjukkan perubahan konsentrasi COD limbah dalam reaktor pada berbagai variasi waktu tinggal. Broughton (2009) menyatakan bahwa pengaruh waktu tinggal dalam reaksi hidrolisis dapat ditandai dengan perubahan konsentrasi COD di dalam limbah.



Gambar 2. Konsentrasi COD dalam reaktor pada berbagai variasi HRT pada CBR 1,5 cm

Gambar 2 memperlihatkan bahwa secara umum, diperoleh penurunan COD

berbeda di setiap ruang dan HRT. Adanya penurunan nilai COD dari ruang I hingga IV, dimana semakin banyak ruang yang dilalui oleh substrat maka semakin besar penurunan nilai COD artinya semakin banyak partikel organik yang terdegradasi oleh mikroorganisme. Pada ruang IV dengan HRT 18 hari nilai COD turun dari 10.640 mg/l (COD *inlet*) menjadi 5.760 mg/l (COD *outlet*), sedangkan pada HRT 12 hari diperoleh penurunan dari 12.890 mg/L menjadi 6.830 mg/L dan pada HRT 6 hari dari 14.630 mg/L menjadi 7.960 mg/L. Proses pengambilan sampel dilakukan setiap hari namun hanya untuk analisa pH dan TS sedangkan untuk pengukuran COD dilakukan secara periodik yaitu pada awal variasi HRT dan akhir HRT dengan tujuan untuk mengetahui penurunan partikel organik (COD) setiap variasi HRT yang dilakukan.

Penurunan nilai COD pada ketiga HRT tepatnya di ruang 2-3 diperoleh lebih kecil daripada ruang 1-2 dan 3-4. Hal ini disebabkan oleh pada ruang 2-3 adalah fase *statis* dan *decline* (grafik pertumbuhan mikroorganisme) sedangkan pada ruang 1-2 dan 3-4 adalah tahap proses pertumbuhan. Laju pertumbuhan mikroorganisme berlaku seperti siklus lingkaran dimulai dengan adanya fase pertumbuhan statis – decline/kematian (Angelidaki *et al.*, 2004). Barber *et al.*, (1999) mengemukakan bahwa tidak ada perubahan secara substansi terhadap populasi mikroorganisme penghasil zat asam turun sepanjang reaktor dalam limbah, dimana indikasinya dapat dilihat dari penurunan konsentrasi COD nya. Waktu tinggal substrat dalam reaktor juga sangat berpengaruh pada penurunan nilai COD, dimana semakin lama waktu tinggal (HRT) substrat maka nilai COD akan semakin rendah, hal ini disebabkan waktu yang diperlukan mikroorganisme dalam mendegradasi partikel organik semakin lama sehingga nilai COD akan menurun.

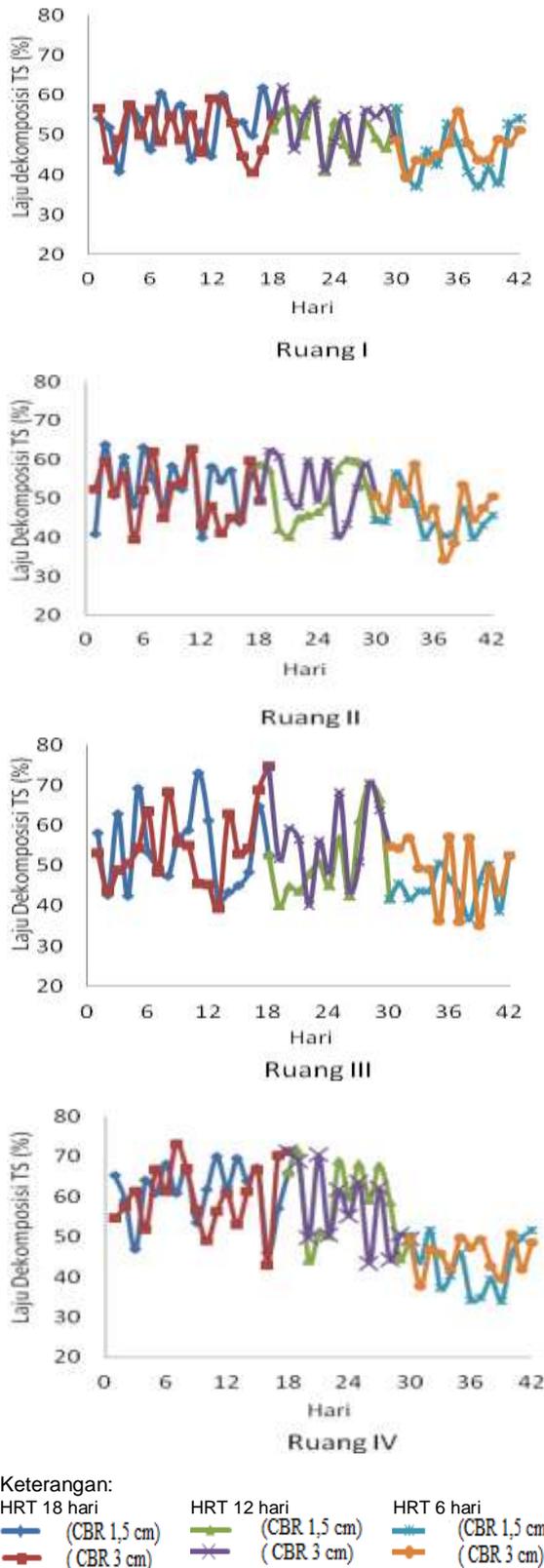
Pengamatan parameter COD dilakukan untuk melihat hasil *intermediate reaction* biogas yaitu reaksi hidrolisis. Indikator terjadinya

peningkatan reaksi hidrolisis apabila nilai COD telah menurun dalam limbah (Broughton, 2009). Substrat hasil reaksi hidrolisis tersebut meliputi asam lemak bebas, asam amino, glukosa yang sangat bermanfaat untuk pertumbuhan bakteri anaerob dan pembentukan produk lanjut (VFA) karena substrat ini dapat masuk melalui membran sel bakteri anaerob (Ahmad *et al.*, 2000). Bakteri jenis hidrolase yang sangat berperan dalam proses penguraian senyawa polimer yang ada dalam limbah/substrat menjadi monomer-monomer.

Dalam reaktor bersekat anaerobik, dengan adanya aliran substrat (LCPKS), sedimen yang terbentuk di ruang pertama akan terdorong menuju ruang berikutnya, demikian seterusnya hingga pada ruang terakhir dari reaktor (Foxon *et al.*, 2006), tetapi CBR yang kecil akan memperlama sebaran kontak limbah dengan substrat. Dengan demikian reaksi hidrolisis terus berlangsung, karena jutaan mikroorganisme anaerob ada dalam limbah yang sangat kompleks.

Untuk mengetahui pengaruh CBR pada reaksi hidrolisis yang terbentuk dalam reaktor, dilakukan pendekatan dengan pengukuran total solid (TS) yang terbentuk (Herawati *et al.*, 2010).

Gambar 3 menunjukkan nilai TS yang cenderung berbeda pada setiap ruang namun perbedaan tersebut tidak begitu signifikan untuk kedua variasi CBR. Secara umum untuk kedua variasi CBR, laju penurunan TS pada HRT 18, 12 dan 6 hari berbeda sangat signifikan. Laju dekomposisi nilai TS untuk kedua CBR, pada HRT 18 hari lebih tinggi daripada HRT 12 hari. Demikian juga dengan laju dekomposisi nilai TS yang diperoleh pada HRT 12 hari lebih tinggi daripada HRT 6 hari. Hal ini disebabkan oleh lamanya waktu mikroorganisme dalam menguraikan senyawa organik dalam limbah. Perubahan nilai TS pada HRT 18 hari di ruang I dan II cenderung hampir sama dengan nilai TS pada HRT 12 dan 6 hari, akan tetapi pada ruang III dan IV hal tersebut berbeda.

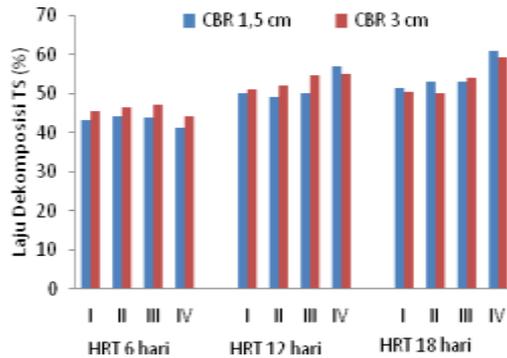


Gambar 3. Laju dekomposisi TS pada variasi CBR 1,5 dan 3 cm untuk HRT 18, 12 dan 6 hari.

Perubahan nilai TS pada ruang III dan IV sangat fluktuatif dimana pada

waktu tertentu diperoleh nilai TS sangat tinggi dan kemudian menurun kembali. Hal ini disebabkan oleh mikroorganisme yang berada pada ruang III dan IV lebih lama menerima substrat segar sehingga substrat lama yang ada pada ruang III dan IV yang secara terus menerus didegradasi oleh mikroorganisme dan mengakibatkan laju TS meningkat (Foxon *et al.*, 2006). Fluktuasi pada ruang IV lebih tinggi jika dibandingkan dengan ruang III. Seiring dengan penambahan HRT, maka waktu tinggal substrat sisa dan penambahan substrat segar semakin lama karena pengumpanan dilakukan pada ruang I dan memerlukan waktu yang lama sampai pada ruang IV. Foxon *et al.*, (2006) mengemukakan pada sistem ABR, mikroorganisme lebih banyak menguraikan substrat sisa yang tertahan pada ruang IV tanpa harus menunggu substrat segar yang mengalir dari ruang III. Dengan demikian, substrat sisa banyak terurai sehingga laju penurunan nilai TS diperoleh pada ruang IV relatif tinggi.

Gambar 4 memperlihatkan nilai rata-rata laju dekomposisi TS pada variasi CBR pada berbagai HRT. Waktu tinggal limbah dengan mikroorganisme yang lama dapat menurunkan nilai TS substrat misalnya pada HRT 18 hari dan ruang IV diperoleh laju penurunan TS pada CBR 1,5 cm adalah 60,92% sedangkan untuk CBR 3 cm diperoleh 59,34%. Demikian juga untuk HRT 12 hari pada ruang IV diperoleh laju penurunan TS pada CBR 1,5 cm adalah 57,02% dan CBR 3 cm diperoleh 54,97%. Perbedaan sedikit terhadap penurunan laju TS pada HRT 18 dan 12 hari untuk kedua variasi CBR, Berbeda dengan HRT 18 dan 12 hari, bahwa laju penurunan TS pada HRT 6 hari dan CBR 1,5 cm lebih kecil daripada CBR 3 cm, dengan penurunan TS pada CBR 1,5 cm 41,25% dan pada CBR 3 cm 44,13%. Perbedaan kecil untuk nilai dari kedua variasi CBR yaitu 2,88%. Adanya perbedaan laju penurunan TS untuk masing-masing HRT dan ruang disebabkan adanya sel mikroorganisme yang ikut tersampling dan dihitung sebagai total solid (Morgenroth *et al.*, 2002).



Gambar 4. Laju dekomposisi TS rata-rata pada variasi CBR (1,5 cm dan 3 cm) untuk setiap ruang dan HRT

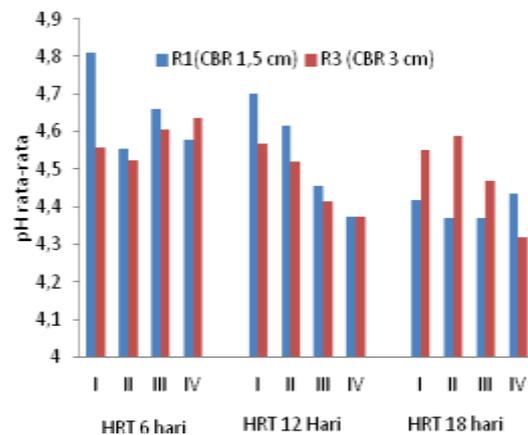
Gambar 4 juga memperlihatkan laju dekomposisi TS rata-rata pada setiap ruang dan HRT hampir sama, dimana laju dekomposisi TS pada ruang I, II dan III di setiap HRT sama. Pada ruang IV pada HRT 18 hari sedikit berbeda dimana ada peningkatan laju dekomposisi yaitu sekitar 7 % dari ruang III. Hal ini disebabkan oleh mikroorganisme yang ada dalam ruang IV mengalami kekurangan substrat baru karena aliran substrat baru harus melewati sekat-sekat reaktor.

B. Pembentukan Biogas pada Reaktor

Proses terjadinya reaksi metanogenesis dalam reaktor, diindikasikan dengan terbentuknya biogas. Reaktor anaerobik telah dihubungkan dengan gas meter untuk melihat biogas yang terbentuk. Pada penelitian ini, Pengukuran biogas dengan gas meter memperlihatkan bahwa tidak ada biogas terbentuk selama proses uji kinerja reaktor untuk semua variasi, hal ini disebabkan tidak terjadi reaksi metanogenesis (pembentukan gas metan). Reaksi pembentukan gas metan atau reaksi methanogenesis akan terjadi apabila pH substrat telah mencapai kondisi netral yaitu 6,5-7,2 (Appels *et al.*, 2008). Mekanisme proses dalam reaktor masih meliputi reaksi hidrolisis yang memecah senyawa polimer menjadi monomer. Gambar 5 menunjukkan nilai pH rata-rata limbah dalam reaktor untuk variasi CBR (1,5 dan 3 cm) maupun HRT (18,

12 dan 6 hari), terlihat adanya kecenderungan penurunan pH ketika dilakukan penambahan waktu tinggal limbah (HRT) dalam ruang reaktor.

Nilai pH rata-rata untuk keseluruhan variasi adalah antara 4,00 hingga 4,81. Nilai pH tersebut masih dalam kategori asam, sehingga mikroorganisme yang dapat berkembang biak adalah mikroorganisme yang tahan asam. Tembhurkar *et al.*, (2007) mengemukakan bahwa pH yang asam indikator terbentuk reaksi hidrolisis dan acidogenesis. Kondisi pH asam, kecil kemungkinan mikroorganisme metanogenik (penghasil gas metan) dapat berkembang biak sebab kondisi pH mikroorganisme metanogenik dapat hidup pada pH netral (Appels *et al.*, 2008).



Gambar 5. Nilai pH pada variasi CBR dan HRT

Deublein *et al.*, 2008 juga mengemukakan bahwa mikroorganisme non metanogenik yang dapat berperan dalam reaksi hidrolisis dan asidogenesis. Sehingga dapat dipastikan bahwa tidak terbentuk gas metan dalam reaktor.

KESIMPULAN

Waktu tinggal limbah sangat berpengaruh pada reaksi hidrolisis dari LCPKS yang ditandai dengan penurunan laju dekomposisi COD. Semakin lama waktu tinggal limbah maka semakin banyak partikel organik yang terurai dalam reaktor. Pengaruh jarak dasar reaktor dengan sekat reaktor (CBR) tidak

begitu berpengaruh secara signifikan pada penelitian ini.

SARAN

Tangki penyimpanan sekaligus media reaksi hidrolisis dapat disarankan sebagai reaktor penampungan pada pra pembuatan biogas dari LCPKS namun perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk meningkatkan waktu tinggal (HRT) dan pengurangan jarak dasar reaktor dengan sekat (CBR).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada Bapak Ir. Bambang Trisakti, MT yang berpartisipasi dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., Setiadi, T., Ayafila, M., dan Liang, O.B. (2000). Model Kinetika Proses Biodegradasi Anaerob Minyak Dan Lemak. *Journal Biosains*. 5(1): 28-37.
- Angelidaki, I., dan Sanders, W. (2004). Assesment of the anaerobic biodegradability of macropollutants. *Journal Science and Bio Technology*. 3:117-129.
- Appels, L., Baeyens, J., Degreve, J., dan 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.P., dan Stuckey, D.C. (1999). The Use of The Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A Review. *Water Research*. 33(7): 1559 -1578
- Broughton, A.D. (2009). *Hydrolysis and Acydogenesis of Farm Dairy effluent for Biogas Production at Ambient Temperatures*. (Thesis). New Zealand: Master of Engineering in Environmental Engineering. Palmerston North, Massey University.
- Deublein, D., dan Steinhauser, A. (2008). *Biogas from Waste and Renewable Resources*. An Introduction. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.
- Doraja, P.H., Shovitri, M., dan Kuswytasari, N.D. (2012). Biodegradasi Limbah Domestik Dengan Menggunakan Inokulum Alami Dari Tangki Septik. *Jurnal Sains dan Seni*. 1(1): E-44 – E-47
- Foxon, K.M., Buckley, C.A., Brouckaert, C.J., Dama, P., Mtembeu, Z., Rodda, N., Smith, M., Pllay, S., Arjun, N., Lalbahadur, T., Bux, F. (2006). The Evaluation of the anaerobic baffled reactor for sanitation in dense per-urban settlements. *Report to the Water Research Commission*. Durban: ISBN No: 1-77005-371-9.
- Herawati, D.A., dan Andang, A.W. (2010). Pengaruh Pretreatment Jerami Padi pada Produksi Biogas dari Jerami Padi dan Sampah Sayur Sawi Hijau Secara Batch. *Jurnal Rekayasa Proses*. 4(1): 25-29
- Irvan, Trisakti, B., Wongistani, V., Tomiuchi, Y. (2012). Methane from Digestion of Palm Oil Mill Effluent (POME) in a Thermofilic Anaerobic Reactor. *International Journal of Science and Engineering*. 3(1): 32-35.
- McCarty, P.L. (1981). One hundred years of anaerobic treatment digestion 1981. In: Hughes, *et al.* (Ed.),. In: *Anaerobic Digestion*. Elsevier Biomedical Press. 1: 3–21
- Movaheydyan, H.A., Assadi dan Parvaresh, A. (2007). Evaluation of Performance Anaerobic Baffled Reactor from Wheat Waste. *Iran. Journal Enviromental and health., Sci Eng*. 2: 77-84.
- Morgenroth, E., Kommedal, R., and Harremoes, P. (2002). Processes and Modelling of Hydrolysis of particulate organic matter in aerobic wastewater treatment- a Review. *Journal Wat. Sci. Technol*. 45(6): 25-40
- Sergio, P., Ferr, I., Vazquez, F., dan Font, X. (2008). Optimization of the Hydrolytic-acidogenic anaerobic digestion stage (55°C) of sewage sludge: Influence of pH and solid

- content. *Water Research*. 42(14): 3972-3980.
- Tembhurkar, A.R., dan Mhaisalkar, V.A. (2007). Studies on Hydrolysis and Asidogenesis of Kitchen Waste in Two Phase Anaerobic Digestion. *Journal of IPHE*. 2007-08(2): 10-18
- Wanna, C., dan Wisarnwan, P. (2007). Effect of Temperature on the anaerobic digestion of palm Oil Mill Effluent. *Electronic Journal of Biotechnology*. 10(3): 376-385
- Yusoff, M.Z.M., Rahman, N.A., Abd-Azis, S., Ling, C.M., Hassan, M.A., and Shirai, Y. (2010). The Effect of Hydraulic Retention Time and Volatile Fatty Acid on Biohydrogen Production from POME under Non-Strile Condition. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 4(4): 577-587.