

Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik (WTH) terhadap Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu Skala *Pilot Plant*

Irena Firdha, Adrianto Ahmad, Said Zul Amraini

Laboratorium Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau

Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Kampus Bina Widya Panam, Pekanbaru 28293

irenafirdha@yahoo.com

Abstrak

Limbah cair minyak sawit jumlahnya meningkat seiring dengan perkembangan industri minyak sawit di Indonesia. Limbah cair pabrik minyak sawit merupakan polutan organik yang sangat berbahaya. Pada pengolahan limbah cair secara konvensional dengan kolam anaerobik, mikroorganisme mampu mendegradasi senyawa organik dalam limbah cair dalam waktu yang lama. Untuk itu pengoperasian bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu diharapkan mampu meningkatkan kemampuan mikroorganisme untuk mendegradasi bahan organik tersebut. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji dan mempelajari waktu tinggal hidrolik substrat terhadap penyisihan COD limbah cair pabrik minyak sawit pada bioreaktor hibrid anaerob. Penelitian dilakukan dengan beberapa variasi WTH, yaitu 1, 2, 3, dan 4 hari. Masing-masing WTH dioperasikan sampai diperoleh keadaan tunak berdasarkan data COD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa WTH mempengaruhi efisiensi penyisihan COD dimana nilai COD pada WTH 1 hari adalah 80%, 82% pada WTH 2 hari, 88% pada WTH 3 hari, dan 90% pada WTH 4 hari. Dengan demikian, diharapkan perancangan sistem bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu yang memanfaatkan kemampuan mempertahankan biomasa ini dapat direalisasikan, sehingga upaya untuk mewujudkan suatu teknologi yang digunakan untuk mengolah limbah secara efektif dan efisien dapat diterapkan.

Kata kunci: Anaerob; Bioreaktor hibrid; Penyisihan COD; Waktu tinggal hidrolik

Abstract

Industrial palm oil waste water has increased along with growth the palm oil industry in the Indonesia. Industrial palm oil waste water is a very dangerous organic pollutants. In conventional wastewater treatment with anaerobic pond, microorganisms capable of degrading organic compounds from wastewater in a long time. For this case operation of an anaerobic hybrid bioreactor with the stone be the media expected to increase the ability of microorganisms to degrade organic material. The purpose of this study are to assess and study the hydraulic residence time of substrate to reduce COD Industrial palm oil waste water in anaerobic hybrid bioreactor. Research carried out by a few variations of WTH, i.e. 1, 2, 3, and 4 day. Each WTH operated until steady state was obtained based on COD data. Results showed that WTH affect COD removal efficiency, that are concentration of COD of 80% on WTH 1 day, 82% on WTH 2 day, 88% on WTH 3 day, and 90% in WTH 4 day. So, designed a hybrid bioreactor with the stone be the media system that utilizes the ability maintain the biomass can be realized, so the effort to build a technology that is used to treat wastewater effectively and efficiently can be applied.

Key words: Anaerob; Hidrolic retention time; Hybrid bioreactor; Reduce COD;

PENDAHULUAN

Produksi minyak sawit di Indonesia meningkat seiring dengan berkembangnya pabrik minyak sawit untuk memenuhi kebutuhan minyak sawit yang juga meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 2008 jumlah produksi minyak sawit mencapai 19.330.000 ton. Tahun 2009 produksi minyak sawit meningkat menjadi sekitar 20 juta ton (Lubis, 2010). Peningkatan produksi ini berdampak pada jumlah limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair yang dikeluarkan dari industri minyak sawit berkisar 2m^3 hingga 3m^3 setiap ton minyak sawit yang dihasilkan (Subdit Pengelolaan Lingkungan Departemen Pertanian, 2006). Diperkirakan tahun 2009 jumlah limbah cair minyak sawit sekitar 50 juta m^3 per ton minyak sawit. Limbah cair minyak sawit memiliki kandungan COD sekitar 50.000 mg/L, sedangkan menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup (KEP 51-/MENLH/10/1995) nilai COD yang dapat dibuang ke lingkungan adalah sebesar 350 mg/L.

Pengolahan limbah cair secara konvensional dengan kolam anaerobik yang dilakukan pabrik minyak sawit (PMS), dimana mikroorganisme mampu mendegradasi senyawa organik dari limbah dalam waktu yang lama. Beberapa peneliti terdahulu menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD dengan bervariasi waktu tinggal hidrolis yang cukup tinggi dengan sistem anaerob. Syafila (2003) mengolah limbah molase menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan WTH 1 hari 6 jam, dimana penyisihan COD yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah 55%, sedangkan Ahmad (2003), yang mengolah limbah minyak dan lemak dengan menggunakan bioreaktor berpenyekat anaerob dengan WTH 3 hari 8 jam, mampu menyisihkan COD sebesar 88%.

Bioreaktor hibrid anaerob adalah alternatif untuk mengolah limbah cair pabrik minyak sawit secara biologi dengan memanfaatkan aktivitas mikroorganisme berdasarkan tersedianya nutrisi bagi pertumbuhan mikroorganisme tersebut didalam limbah cair. Bioreaktor hibrid anaerob memiliki keunggulan dalam memperkecil kehilangan biomasa. Bioreaktor ini memanfaatkan dua pola pertumbuhan mikroorganisme, yaitu pola pertumbuhan tersuspensi dan pola pertumbuhan melekat. Pada pola pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme hidup tersuspensi didalam limbah cair, sedangkan pada pola pertumbuhan melekat, mikroorganisme hidup melekat pada media pendukung membentuk lapisan *biofilm*. Media pendukung yang digunakan adalah batu, karena batu mudah didapat, kekasaran permukaannya cukup baik, serta kuat tahan terhadap tekanan. Kondisi optimum bioreaktor sangat dipengaruhi oleh waktu tinggal hidrolis (WTH) substrat. Waktu tinggal hidrolis (WTH) adalah lamanya waktu kontak antara mikroorganisme dengan limbah cair. Semakin lama waktu kontak antara mikroorganisme dengan limbah cair, maka proses degradasi bahan organik dapat dilakukan secara baik dan optimal (Nugrahini, 2008). Makalah ini berupaya untuk menentukan waktu pengolahan limbah cair pabrik minyak sawit yang optimum.

METODE PENELITIAN

Karakteristik Limbah Cair

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair PTPN V Sei.Pagar yang mengandung minyak dan lemak dengan karakteristik seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit

Parameter	Nilai
pH	5,6
COD (mgL)	50.000

Pembibitan (*seeding*)

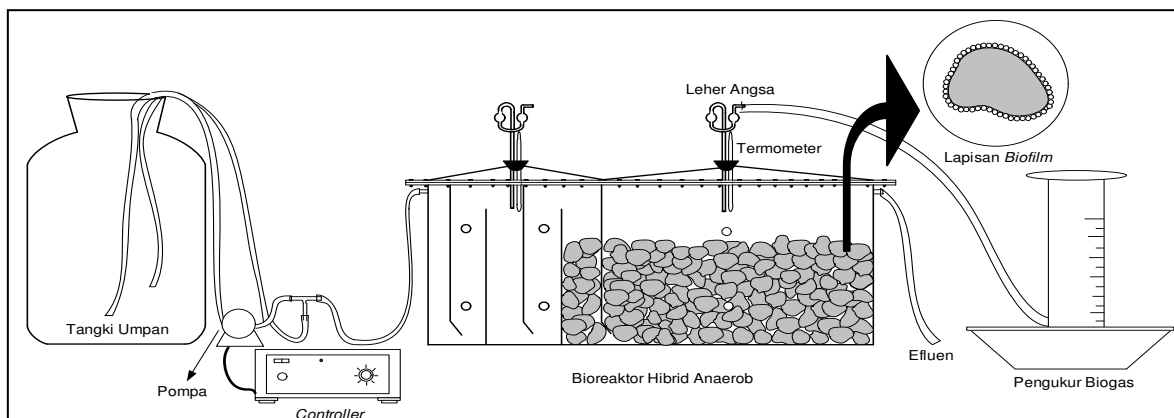
Pembibitan bertujuan untuk menumbuhkan dan mengembangkan mikroorganisme didalam substrat yang akan diolah. Mikroorganisme yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari kotoran sapi yang diperas dan disaring untuk mendapatkan ekstraknya. Lumpur yang didapat kemudian dimasukkan kedalam erlenmeyer sebagai pencernaan anaerobik sebanyak 1 liter. Untuk mendapatkan 2 liter lumpur yang mudah dicerna maka ditambahkan 100 mililiter limbah cair segar setiap hari. Penambahan dilakukan selama 10 hari. Setelah didapat volum lumpur sebesar 2 liter selanjutnya dilakukan aklimatisasi (Ahmad, 1992).

Tahap Aklimatisasi

Aklimatisasi bertujuan agar mikroorganisme dapat menyesuaikan diri dengan kondisi air buangan yang akan diolah. Aklimatisasi dilakukan dengan cara menambahkan 200 mililiter air buangan segar dengan kandungan COD tertentu kedalam erlenmeyer dan dibuang cairan dari dalam tersebut sebanyak 200 mililiter. Aklimatisasi dilakukan pada temperatur ruangan dan pH 6,8-7 selama 55 hari untuk memastikan bahwa lumpur bibit teraklimatisasi dengan baik terhadap limbah cair yang digunakan. Selama proses aklimatisasi dilakukan injeksi nitrogen. Hasil buangan cairan dilakukan pengukuran pH dan analisa COD (Ahmad, 1992).

Instalasi Pengolahan Limbah Cair

Instalasi pengolahan limbah cair pabrik minyak sawit terdiri dari rangkaian bioreaktor dengan tangki umpan serta sebuah pompa sebagai *controller* laju alir umpan. Gambar rangkaian bioreaktor hibrid anaerob dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Bioreaktor Hibrid Anaerob

Dari Gambar 1, dapat dilihat bahwa batu sebagai media melekat mikroorganisme dimasukkan $\frac{3}{4}$ tinggi cairan pada bagian yang tidak bersekat. Pada kolom tersuspensi diisi kultur campuran yang telah diaklimatisasi, dan pada kolom melekat ditambahkan kultur campuran dari ITB sehingga volume efektif cairan 10 L. Kemudian diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem, yang bertujuan untuk mengusir oksigen yang terlarut. Sistem didiamkan selama 3 hari dengan tujuan untuk mengendapkan biomasa dari kultur campuran. Setelah itu, dialirkan umpan dengan laju alir 5 L/hari dan diresirkulasi. Pola aliran mengikuti rezim didalam sistem bioreaktor hibrid anaerob.

Start-up Bioreaktor Hibrid Anaerob

Kondisi operasi bioreaktor selama *start-up* dilakukan pada temperatur ruang dan pH 6,8-7,4. Selama proses *start-up* limbah cair pabrik minyak sawit ditambahkan sebagai umpan sebanyak 5 L/hari dan diresirkulasi yang bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan *biofilm*. Sampel hasil keluaran bioreaktor diambil setiap hari, dan dianalisa temperatur, pH serta kandungan COD. Proses *start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*), yaitu nilai COD dengan fluktuasi 10%.

Operasional Bioreaktor Hibrid Anaerob

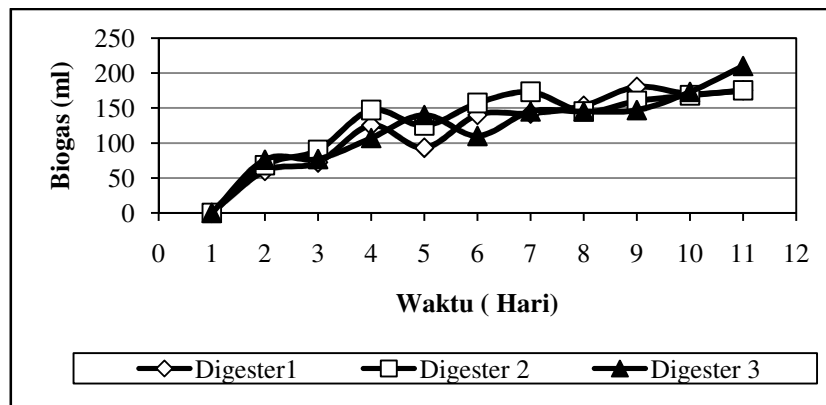
Variabel penelitian yang digunakan adalah waktu tinggal hidrolis limbah cair yang diuji kedalam bioreaktor hibrid anaerob. Waktu tinggal hidrolis tersebut adalah 1 hari, 2 hari, 3 hari, dan 4 hari. Bioreaktor dioperasikan pada temperatur ruang dan pH 6,8-7,4. Setiap waktu tinggal hidrolis yang diberikan, dilakukan *sampling* efluen bioreaktor sebanyak 400 mililiter yang diukur pH, temperatur dan COD (APHA, AWWA, & WCF, 1992).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan dan analisa selama pembibitan sampai perlakuan waktu tinggal hidrolis pada tahap operasional bioreaktor hibrid anaerob ditampilkan sebagai berikut:

Produksi Biogas pada Tahap Pembibitan

Pembibitan dilakukan pada tiga *digester* sebagai pencernaan anaerob (*anaerobic digester*). Produksi biogas selama tahap pembibitan dapat dilihat pada Gambar 2.

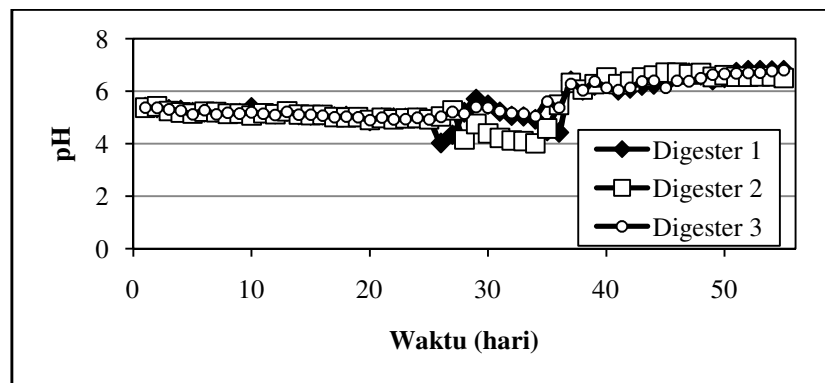


Gambar 2 Produksi Biogas pada *Digester* Selama Pembibitan

Gambar 2 menunjukkan bahwa produksi biogas meningkat selama proses pembibitan. Produksi biogas selama pembibitan pada *digester* 1 adalah 131 ml, *digester* 2 sebesar 140,8 ml, dan *digester* 3 sebesar 133 ml. Peningkatan produksi biogas ini menunjukkan bahwa mikroorganisme telah berkembang biak (Ahmad, 2003).

Perubahan pH Selama Aklimatisasi

Pada tahap aklimatisasi perlu dilakukan pengamatan pH terhadap keluaran *digester* untuk mengetahui kondisi lingkungan mikroorganisme didalam *digester*. Hasil pengukuran pH selama aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 3.

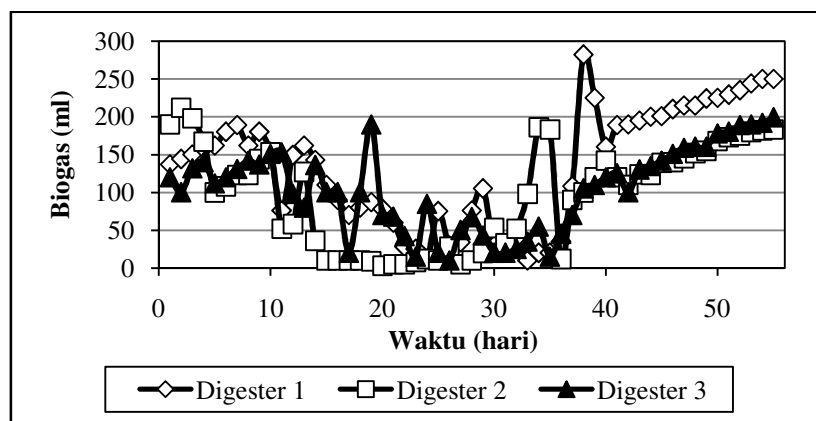


Gambar 3 Kondisi pH Selama Aklimatisasi pada *Digerster*

Gambar 3 menunjukkan bahwa proses aklimatisasi biomasa pada *digerster* 1 berlangsung pada rentang pH 4,02-6,8, *digerster* 2 berlangsung pada rentang pH 4,90-6,69, dan *digerster* 3 berlangsung pada rentang pH 4,90-6,8. Pada hari pertama hingga hari ke-36 terjadi penurunan pH. Proses asidifikasi selama biodegradasi anaerob akan menghasilkan asam-asam volatil sehingga menyebabkan pH sistem (*digerster* anerob) menurun (Widjaja *et.al*, 2008). Hal ini dapat mengganggu aktivitas mikroorganisme metanogen. Oleh karena itu, dilakukan pengaturan pH umpan dengan menggunakan larutan NaOH 5M.

Produksi Biogas Selama Aklimatisasi

Pada penelitian ini, produksi biogas yang dihasilkan setiap *digerster* dapat dilihat pada Gambar 4. Pengukuran biogas dilakukan untuk mengetahui perkembangan mikroorganisme selama masa adaptasi (Ahmad, 2004).

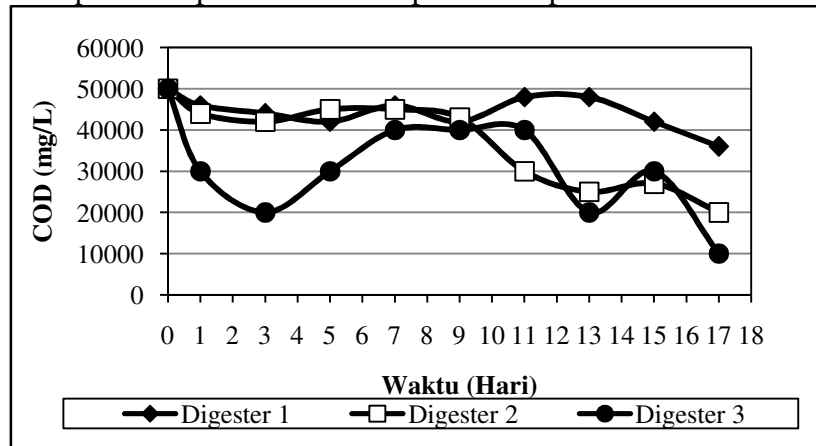


Gambar 4 Produksi Biogas Selama Aklimatisasi

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa biogas sepadanya tiap *digerster* menurun dari hari pertama aklimatisasi sampai hari ke-36. Penurunan ini disebabkan karena kondisi pH di dalam *digerster* menurun yang dapat mengganggu aktivitas mikroorganisme. Tindakan pencegahan perlu dilakukan untuk mengendalikan pH dengan menggunakan NaOH 5M, sehingga produksi biogas mulai meningkat. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses biodegradasi bahan organik berlangsung dengan baik sehingga menghasilkan biogas (Widjaja *et.al*, 2008). Rata-rata produksi biogas *digerster* 1 adalah sekitar 133,5 ml, *digerster* 2 sekitar 96 ml, dan *digerster* 3 sekitar 104,5 ml.

Penurunan COD Selama Aklimatisasi

Nilai COD pada tahap aklimatisasi dapat dilihat pada Gambar 5.

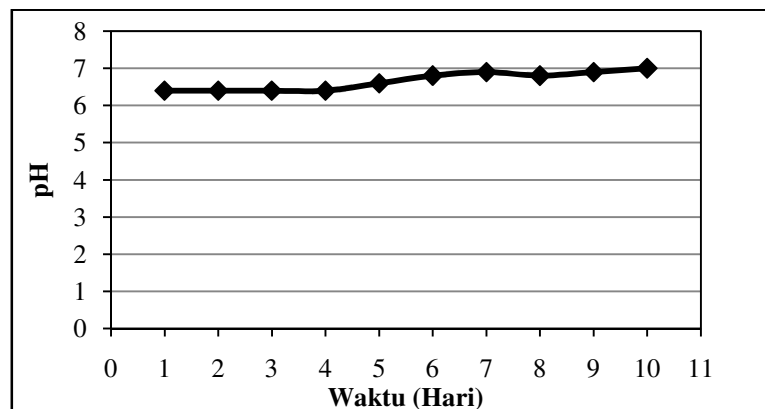


Gambar 5. Nilai COD Selama Aklimatisasi

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai COD menurun pada setiap *digester*. Penurunan COD rata-rata pada *digester 1* adalah 8,17%, *digester 2* sebesar 11,98%, dan *digester 3* sebesar 32,2%. Penurunan ini menunjukkan bahwa mikroorganisme telah beradaptasi dengan limbah yang akan diolah dan mampu mendegradasi bahan organik yang terdapat di dalam limbah. Dengan adanya penurunan nilai COD ini, proses aklimatisasi dikatakan telah berlangsung dan dapat dihentikan untuk dilanjutkan ke proses *start-up* (Ahmad, 1992).

Perubahan pH Selama *Start-up*

Nilai pH yang diukur pada waktu *start-up* dapat dilihat pada Gambar 6.

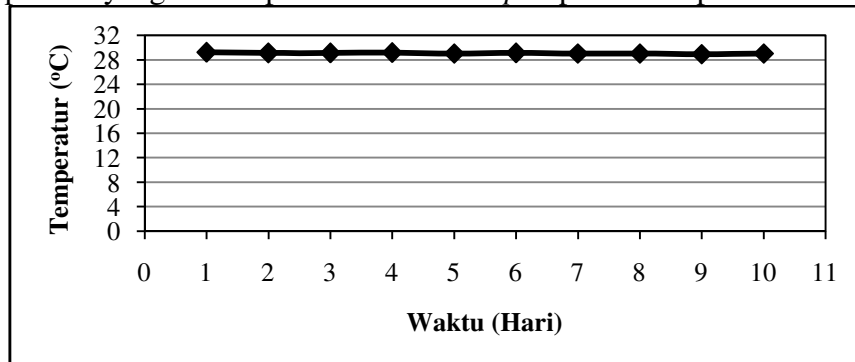


Gambar 6 Perubahan pH selama *Start-up*

Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai pH naik selama proses *start-up*. Bakteri metanogen adalah yang bakteri yang sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH hidup bakteri metanogen adalah 6,4-7,4, sedangkan kondisi pH bioreaktor adalah sekitar 6,4-7. Oleh karena itu perlu dilakukan pengendalian pH umpan dengan mencampurkan larutan NaOH 5M. Ion Na⁺ dapat bersifat sebagai penyangga terhadap asam asetat yang dihasilkan dari proses biodegradasi bahan organik sehingga pH sistem dapat dijaga sekitar 7 (Ahmad, 2004).

Perubahan Temperatur Selama *Start-up*

Temperatur yang diukur pada waktu *start-up* dapat dilihat pada Gambar 7.

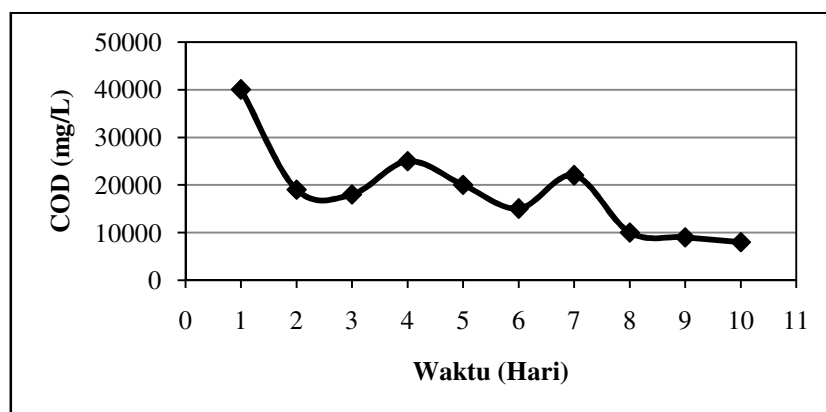


Gambar 7 Perubahan Temperatur Selama *Start-up*

Gambar 7 menunjukkan bahwa rentang temperatur aktivitas mikroorganisme di dalam bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu berkisar 28,9-29,5°C. Pada rentang temperatur tersebut menunjukkan bahwa mikroorganisme tergolong bakteri mesophilik, yaitu berkisar 20-40°C (Ahmad, 2009). Bakteri mesophilik relatif banyak digunakan karena tidak membutuhkan energi untuk mengatur temperatur proses (Ahmad, 2009).

Penurunan COD Selama *Start-up*

Nilai COD dianggap sebagai indikator pencemaran air oleh zat-zat organik yang terkandung dalam limbah cair. Perubahan nilai COD selama proses *start-up* bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu ditampilkan pada Gambar 8.



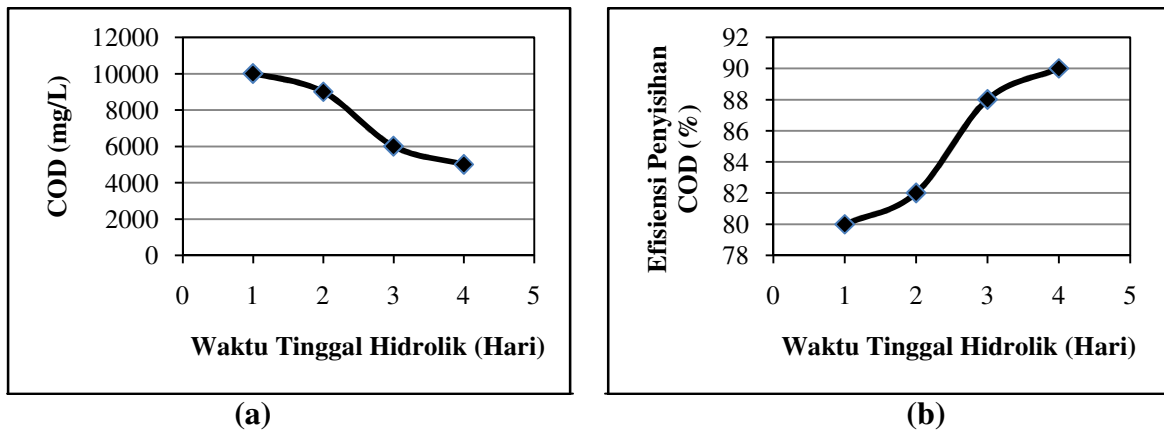
Gambar 8 Penurunan COD Selama *Start-up*

Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai COD menurun dan mulai *steady state* pada hari ke-8. Selama proses *start-up*, nilai COD menurun dari 40.000 mg/L menjadi 8000 mg/L. Penurunan yang tinggi ini membuktikan bahwa mikroorganisme anaerobik dapat beraktivitas dengan tinggi dalam mengolah limbah cair yang digunakan (Panca, 2008). Pada hari ke-8, ke-9, dan ke-10, nilai COD menunjukkan fluktuasi 10 %, yaitu sebesar 10.000 mg/L, 9000 mg/L dan 8000 mg/L.

Data Pengamatan Selama Proses Kontinu

Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Penurunan COD dan Efisiensi Penyisihan COD pada Kondisi *Steady state*

Nilai COD dan efisiensi penyisihan COD limbah pabrik minyak sawit dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu pada WTH 1 hari, 2 hari, 3 hari, dan 4 hari dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Pengaruh Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap: (a) Penurunan COD; (b) Efisiensi Penyisihan COD

Gambar 9(a) menunjukkan pengaruh waktu tinggal hidrolik terhadap penyisihan COD. Semakin lama WTH bioreaktor, maka nilai COD semakin menurun. Nilai COD limbah cair setelah pengolahan pada WTH 1 hari adalah sebesar 10.000 mg/L. Pada WTH 2 hari, nilai COD menurun menjadi sebesar 9.000 mg/L, pada WTH 3 hari nilai COD adalah 6.000 mg/L, dan pada WTH 4 hari, nilai COD mencapai 5000 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama WTH maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam limbah cair berlangsung dengan baik, karena kontak antara mikroorganisme dengan limbah cair sebagai substratnya cukup lama (Nugrahini, 2008).

Kemampuan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu menurunkan nilai COD dapat dilihat melalui efisiensi penyisihan COD pada setiap pengoperasian waktu tinggal hidrolik. Dari Gambar 9(b), dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan efisiensi penyisihan COD terhadap WTH. Efisiensi penyisihan COD terbesar diperoleh dengan pengoperasian WTH 4 hari yaitu sebesar 90%. Menurut Nugrahini (2008), penyisihan COD yang tinggi ini disebabkan karena waktu tinggal hidrolik (WTH) yang cukup lama untuk memberi kesempatan kontak yang lebih lama antara mikroorganisme dengan limbah cair, sehingga proses biodegradasi menjadi lebih baik dibandingkan proses dengan WTH 3 hari yang efisiensinya sebesar 88%, 82% pada WTH 2 hari, dan 80% pada WTH 1 hari.

Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob

Kinerja bioreaktor hibrid anaerob dapat ditinjau dengan membandingkan kinerjanya dengan berbagai kinerja bioreaktor anaerob lainnya dalam mengolah limbah cair pabrik. Perbandingan kinerja bioreaktor tersebut ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Bioreaktor Lain

Jenis Bioreaktor	Limbah Cair	WTH	Eff penyisihan COD (%)	Pustaka
BA	Pangan	14 hari	82,84	Widjaja et.al (2008)
UASB	Minyak sawit	36 hari	82,9	Nugrahini (2008)
BHA	Molase	1 hari 6 jam	55	Syafila et.al (2003)
BBA	Minyak dan lemak	3 hari 8 jam	88	Ahmad et.al (2003)
BHA	Minyak sawit	4 hari	90	Penelitian ini (2010)

Keterangan:

BA: Bioreaktor Anaerob; BBA: Bioreaktor Berpenyekat Anaerob; BHA: Bioreaktor Hibrid Anaerob; UASB: *Up-flow Anaerobic Sludge Bioreactor*

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Selama pembibitan terbentuk biogas yang jumlahnya semakin meningkat. Peningkatan produksi biogas ini menunjukkan bahwa mikroorganisme telah berkembang biak.
2. Pada tahap aklimatisasi yang dilakukan selama 55 hari, nilai pH menurun karena proses asidifikasi selama biodegradasi anaerob akan menghasilkan asam-asam volatil yang menyebabkan pH sistem menurun. pH sistem selama aklimatisasi berkisar dari 4,02 sampai 6,8.
3. Peningkatan biogas selama tahap aklimatisasi menunjukkan bahwa proses biodegradasi bahan organik berlangsung dengan baik.
4. Mikroorganisme yang hidup dalam bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu adalah kelas mesophilik dengan rentang temperatur sistem selama *start-up* adalah 28,9-29,5°C.
5. Selama *start-up* terjadi penurunan COD yang menunjukkan bahwa mikroorganisme anaerobik dapat beraktivitas dengan tinggi dalam limbah cair yang digunakan.
6. Waktu tinggal hidrolis berpengaruh pada efisiensi penyisihan COD, yaitu WTH 1 hari, efisiensi penyisihan sebesar 80%; WTH 2 hari, efisiensi penyisihan sebesar 82%; WTH 3 hari, efisiensi penyisihan sebesar 88%; WTH 4 hari, efisiensi penyisihan sebesar 90%.
7. Efisiensi paling besar adalah 90% dengan WTH 4 hari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui program Penelitian Strategis Nasional Tahun Anggaran 2009 dengan surat perjanjian pelaksanaan penelitian No. 159/H19: /PL/2009 tanggal 31 Desember 2008.

DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B.Liang. 2003. *Bioreaktor Berpenyekat Anaerob Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri yang mengandung Minyak dan Lemak*. Pengaruh Pembebanan Organik Terhadap Kinerja Bioreaktor, TISSN 0854-7769, Bioteknologi ITB, Bandung.

- Ahmad, A.** 1992. *Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap Dalam Mengolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit*. Laporan Magang Pusat Antar Universitas-Bioteknologi ITB, Bandung.
- Ahmad, A.** 2004. *Studi Komparatif Sumber dan Proses Aklimatisasi Bakteri Anaerob pada Limbah Cair yang Mengandung Karbohidrat, Protein, dan Minyak-Lemak*, Jurnal Sains dan Teknologi Vol.3, Universitas Riau.
- Ahmad, A.** 2009. *Dasar-Dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair*, Diktat Kuliah, UR, Pekanbaru.
- APHA, AWWA, & WPCF.** 1992. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, Washington DC.
- Ditjen PPHP.** 2006. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Minyak Sawit*. Subdit Pengelolaan Lingkungan Direktorat Pengelolaan Hasil Pertanian Ditjen PPHP, Departemen Pertanian.
- Hartono, R.** 2009. *Produksi Biogas dari Jerami Padi dengan Penambahan Kotoran Kerbau*. Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Keputusan Menteri KLH Nomor KEP 51/MEN KLH/10/1995** tentang *Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri*.
- Lubis, A.** 2010. *Produksi CPO Diprediksi Capai 22,5 Juta Ton*. <http://www.waspada.co.id/index>, 6 Juni 2010.
- Syafila, M, A. H. Djajadiningrat, dan M Handajani,** 2003. *Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Molase*. Prosiding ITB Sains dan Teknik Vol. 35 A No. 1 (2003) 19-31.
- Nugrahini, P.** 2008. *Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor UASB*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, <http://www.che.itb.ac.id/sntki2009/daftar/prosiding/TPL05.pdf>, 29 November 2009.
- Widjaja, Tri, A. Altway, P. Prameswarhi, dan F. S. Wattimena.** 2008. *Pengaruh HRT dan Beban COD Terhadap Pembentukan Gas Metan pada Proses Anaerobic Digestion Menggunakan Limbah Padat Tepung Tapioka*. Jurnal Institut Teknologi Surabaya