

# PENGARUH LAJU PEMBEBANAN ORGANIK TERHADAP EFISIENSI PENYISIHAN COD LIMBAH CAIR KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN BIOREAKTOR HIBRID ANAEROB DUA TAHAP

Nopi Andri Musfa<sup>1)</sup>, Adrianto Ahmad<sup>2)</sup>, Bahruddin<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, <sup>2)</sup>Dosen Teknik Kimia

Laboratorium Teknologi Bioproses

Program Studi Teknik Lingkungan S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

\*Email : adri@unri.ac.id

## ABSTRACT

*The development of palm oil factories in the last few years the rapid growth experienced and gived the impact of positive and negative impact for the community. One of the positive impact is increasing foreign exchange and community welfare state, while the negative impact that is causing waste could reduce the quality of the environment. Characteristic of COD in the liquid waste of plant crude palm is 60.000 mg/l. The value of COD for is a measure of water pollution of organic substances naturally cannot be degradation with microbiologists process and may also result in reduced oxygen dissolved in water. COD handling of liquid waste from factories crude palm oil can be done in anaerobic two stages bioreactor hybrid use anaerobic. This research purposed to determine the effect of organic loading rate for efficiency of COD removal and determine the optimal organic loading rate for efficiency of COD removal on liquid waste oil palm treatment with using anaerobic bioreactor hybrids two stages. Operating conditions on this research that using room temperature, each bioreactor volume by 10 liters and feet flow rate in bioreactor I is 5 liters per day with organic loading rate by 30 kg COD/m<sup>3</sup>day. The result showed that an COD removal with varying the organic loading rate of 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>day, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>day and 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>day, this result obtained the highest efficiency COD removal in the organic loading rate is 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>day with the equal is 93,06 %. This indicates that bioreactor anaerobic hybrid two stages are relatively better for COD removal from the liquid waste content of crude palm oil.*

*Keywords: Anaerobic, COD, Liquid Waste of Crude Palm Oil, Two-Stage Anaerobic Bioreactor Hybrid*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan pabrik minyak kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat sehingga menimbulkan dampak positif dan dampak negatif bagi masyarakat. Salah satu dampak positif yaitu meningkatkan devisa negara dan kesejahteraan masyarakat, sedangkan dampak negatif yaitu menimbulkan limbah yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Limbah merupakan kotoran atau buangan yang dihasilkan dari proses pengolahan. Limbah yang dihasilkan pabrik kelapa sawit dapat

digolongkan menjadi tiga macam, yaitu limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Limbah cair pabrik kelapa sawit umumnya bersuhu tinggi, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan COD yang tinggi [Ahmad, dkk. 2010].

Limbah cair pabrik minyak sawit akan mencemari lingkungan sekitarnya, terutama lingkungan perairan karena limbah cair tersebut mengandung senyawa organik yang sangat tinggi. Kandungan senyawa

organik tersebut ditunjukkan dengan tingginya nilai *Chemical Oxygen Demand* (COD) yang berkisar antara 40.000–120.000 mg/L [Irfan, 2008], sedangkan nilai baku mutu limbah cair pabrik minyak kelapa sawit yang ditetapkan oleh pemerintah melalui Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/10/1995 adalah 500 mg/L.

Penanganan limbah cair dapat dilakukan secara aerob dan anaerob. Proses aerob merupakan proses biodegradasi senyawa organik dalam kondisi adanya oksigen. Proses anaerob merupakan proses biodegradasi senyawa organik kompleks menjadi gas metan dan CO<sub>2</sub> dalam kondisi tanpa adanya oksigen [Ahmad, 2004].

Pengolahan limbah cair yang mengandung bahan organik tinggi dengan kandungan COD besar dari 4.000 mg/L lebih tepat diolah dengan menggunakan pengolahan secara anaerob [Syafila, dkk, 2003]. Salah satu alternatif teknologi penanganan limbah cair minyak kelapa sawit secara anaerob adalah bioreaktor hibrid anaerob [Ahmad, dkk. 2009a]. Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Pada sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam fasa cair, sedangkan di dalam sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang dengan melekat di permukaan media pendukung dengan membentuk lapisan *biofilm* [Ahmad, 2009].

Firdha [2010] melakukan penelitian mengenai penentuan waktu tinggal hidrolis terhadap penyisihan COD limbah cair pabrik minyak sawit dengan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu, dan didapatkan efisiensi penyisihan COD tertinggi 90% pada waktu tinggal hidrolis 4 hari. Atikalidia [2011] melakukan penelitian menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan substrat limbah cair kelapa sawit bermedia cangkang sawit. Proses

*start-up* berlangsung selama 1,5 bulan dengan efisiensi penyisihan COD 88,3%. Hasil efisiensi COD optimum didapatkan pada laju pembebanan organik 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari yaitu sebesar 90,2% dengan produksi biogas tertinggi sebesar 490 mL pada laju pembebanan organik 15 kgCOD/m<sup>3</sup>hari. Luturkey [2011] melakukan penelitian menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan substrat limbah cair kelapa sawit bermedia tandan kosong dan pelepah sawit. Efisiensi penyisihan COD tertinggi pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia tandan kosong sawit dicapai pada pembebanan organik 14,3 kgCOD/m<sup>3</sup>hari yaitu sebesar 82,6%. Efisiensi penyisihan COD tertinggi pada bioreaktor hibrid anaerob bermedia pelepah sawit dicapai pada pembebanan organik 16,6 kgCOD/m<sup>3</sup>hari yaitu sebesar 84%. Lestyana [2012] juga telah melakukan penelitian mengenai pengolahan limbah cair sagu menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dengan volume 10 L yang dioperasikan dengan laju pembebanan organik 12,5-50 Kg COD/m<sup>3</sup> hari. Efisiensi penyisihan COD terbesar yaitu 90,2 % pada laju pembebanan organik 12,5 kg COD/m<sup>3</sup>hari dengan waktu 28 hari.

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan pengaruh laju pembebanan organik terhadap efisiensi penyisihan COD pada pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dan menentukan laju pembebanan organik optimal terhadap efisiensi penyisihan COD pada pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap.

## 2. METODE PENELITIAN

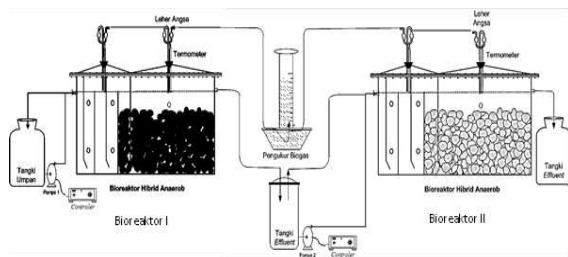
Limbah cair yang digunakan sebagai umpan dalam penelitian ini berasal dari limbah cair pengolahan kelapa sawit PTPN V Sei. Pagar, Kecamatan Perhentian Raja, Kabupaten Kampar, Propinsi Riau dengan karakteristik limbah cair pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PTPN V Sei. Pagar

| Parameter | Satuan | Nilai  | Baku Mutu (*) |
|-----------|--------|--------|---------------|
| pH        | -      | 5,6    | 6,0-9,0       |
| COD       | mg/L   | 60.000 | 300           |

\*) KepMen LH No. KEP 51-/MENLH/10/1995

Variabel proses yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi laju pembebanan organik yang diberikan pada bioreaktor II yaitu sebesar 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari, sedangkan laju pembebanan organik yang digunakan pada bioreaktor I adalah sebesar 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari. Parameter yang diamati adalah COD. Metode analisa COD menggunakan metode titrasi volumetri sesuai dengan *standard methods* [APHA, AWWA dan WPCF, 1992]. Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bermedia cangkang sawit dan batu, peralatan pendukung sistem secara keseluruhan terdiri dari tangki umpan, pompa sirkulasi, leher angsa, selang, katup, tangki efluen, gelas ukur dan tabung gas nitrogen. Rangkaian alat bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Rangkaian Instalasi Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap

Bioreaktor hibrid anaerob memiliki beberapa ruang sekat, ruang sekat pertama dan kedua diperuntukkan sebagai bioreaktor pertumbuhan bakteri anaerob tersuspensi sedangkan ruang sekat ketiga

diperuntukkan sebagai bioreaktor pertumbuhan bakteri anaerob melekat yang dilengkapi dengan media padat sebagai media imobilisasi sel [Ahmad, 2009].

Limbah cair akan dialirkan ke dalam bioreaktor I dengan menggunakan pompa. Laju alir limbah yang masuk ke dalam bioreaktor I dikontrol dan diatur dengan menggunakan katup yang ada pada selang penghubung. Aliran limbah cair dalam bioreaktor I akan turun dan naik mengikuti sekat yang ada di dalam bioreaktor I dan keluar menuju tangki *effluent*. *Effluent* pada bioreaktor I menjadi *influent* pada bioreaktor II. Dari tangki *effluent* bioreaktor I tersebut akan dipompakan kembali menuju bioreaktor II dengan laju pembebanan organik yang divariasikan. Pada bagian atas bioreaktor hibrid anaerob tersebut dilengkapi dengan leher angsa dan selang. Larutan garam diisi pada leher angsa agar dapat mencegah masuknya mikroorganisme pengganggu dari luar bioreaktor. Gas nitrogen diinjeksikan ke dalam sistem melalui lubang yang telah tersedia pada bioreaktor selama 10 menit pada masing masing fasa pertumbuhan tersuspensi dan melekat yang bertujuan untuk mengusir oksigen terlarut dalam cairan di dalam bioreaktor.

Aklimatisasi dilakukan didalam bioreaktor dengan cara mengeluarkan sampel sebanyak 200 ml dan kemudian menambahkan limbah cair kelapa sawit sebanyak 200 ml. Setelah menambahkan limbah cair kelapa sawit tersebut, dilakukan injeksi gas nitrogen. Sampel yang dikeluarkan sebanyak 200 ml tersebut dianalisa kandungan VSS. Aklimatisasi ini dilakukan hingga mencapai fluktuasi padatnya sebesar 10 %. Setelah proses aklimatisasi bioreaktor didiamkan selama 2 hari.

Proses *start-up* dilakukan setelah analisa kandungan VSS pada tahap aklimatisasi sudah konstan dengan fluktuasi padatan 10%. Selama proses *start-up* limbah cair kelapa sawit ditambahkan laju pembebanan organik 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari pada bioreaktor I dan 7,5 kgCOD/m<sup>3</sup>hari

pada bioreaktor II. Proses *start-up* ini bertujuan untuk membentuk lapisan *biofilm*. Sampel hasil keluaran bioreaktor diambil setiap hari sebanyak 500 mL/hari, dan dianalisa COD, pH, dan suhunya. Proses *start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*), yaitu ditandai dengan nilai rasio COD dengan fluktuasi sebesar 10%.

Proses kontinu bertujuan untuk melihat pengaruh laju pembebanan organik terhadap waktu serta kemampuan bioreaktor dalam mengolah limbah cair. Setiap laju pembebanan organik yang diberikan dilakukan *sampling* efluen bioreaktor sebanyak 500 mL setiap hari. Laju pembebanan organik yang diberikan pada bioreaktor I adalah 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan laju pembebanan organik yang diberikan pada bioreaktor II divariasikan yaitu: adalah 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari. Hal ini dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) yang ditandai dengan fluktuasi nilai COD sebesar 10% pada masing-masing laju pembebanan organik.

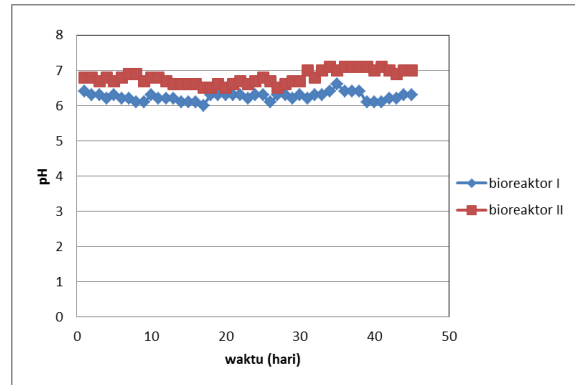
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Data Pengamatan pada Tahap *Start-up*

Proses *start-up* pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan *biofilm* di dalam bioreaktor. *Start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) yang ditandai dengan fluktuasi nilai COD limbah cair yang diolah sebesar 10% [Ahmad, 2009]. Proses *start-up* pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap berlangsung selama 45 hari. Berikut ini akan ditampilkan nilai pH dan COD pada kondisi tunak tahap *start-up*.

##### 3.1.1. Perubahan pH Selama Tahap *Start-up*

Nilai pH pada kondisi tunak tahap *start-up* bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 2.



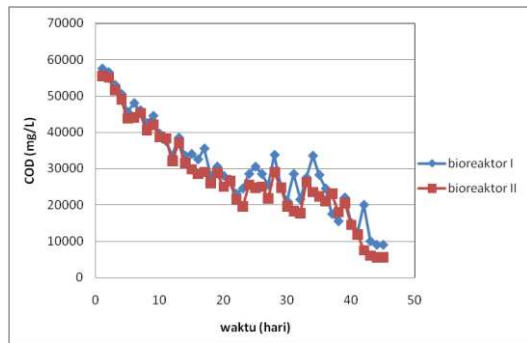
**Gambar 2.** Perubahan pH Selama Tahap *Start-up*

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai pH pada hari pertama hingga hari ke-45 pada bioreaktor I dan bioreaktor II relatif berfluktuasi. Nilai pH pada bioreaktor I hari pertama sebesar 6,4 dan tunak pada hari ke-45 dengan pH 6,3. Nilai pH pada bioreaktor II hari pertama sebesar 6,9 dan tunak pada hari ke-45 dengan pH 7. Hal ini disebabkan oleh aktivitas metabolisme mikroorganisme di dalam bioreaktor. Selain itu, berfluktuasinya harga pH pada bioreaktor tahap satu dan tahap dua disebabkan oleh pembentukan asam-asam volatil seperti asam asetat, asam propionat, asam valerat, asam format, asam butirat, CO<sub>2</sub>, dan gas H<sub>2</sub> sehingga akan mempengaruhi tingkat keasaman cairan secara keseluruhan [Ahmad, 1992]. Pada rentang pH tersebut diperkirakan mikroorganisme anaerob yang berada di dalam bioreaktor dapat hidup dan berkembang dengan baik mengingat kondisi lingkungan mikroorganisme anaerob berkisar antara 5,8-8,2 [Speece, 1996]. Rentang pH bioreaktor ini berada dalam rentang pH hidup bakteri metanogen. Bakteri metanogen adalah yang bakteri yang sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH hidup bakteri metanogen adalah 6,4-7,8. Fluktuasi nilai pH tidak dipengaruhi oleh peningkatan pembebanan organik [Ahmad, 1999].

##### 3.1.2. Nilai dan Efisiensi Penyisihan COD Pada Tahap *Start-up*

Hubungan antara perubahan nilai COD efluen pada bioreaktor hibrid anaerob dua

tahap terhadap waktu *start-up* ditampilkan dalam Gambar 3.

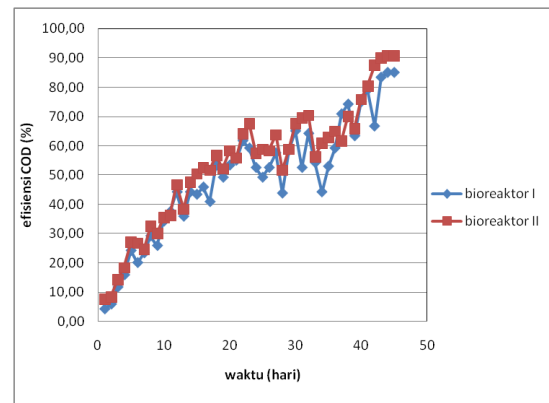


**Gambar 3.** Perubahan Nilai COD Selama Tahap *Start-up*

Gambar 3 menunjukkan perubahan nilai COD cenderung menurun. Menurut Ahmad [1992] selama masa *start-up*, bioreaktor hibrid anaerob tetap dalam keadaan non tunak sampai *biofilm* berkembang secara penuh. Dari hasil pengamatan menunjukkan konsentrasi COD efluen pada keadaan tunak (*steady state*) sebesar 9.333,3 mg/L pada bioreaktor tahap satu dan 5.666,7 mg/L pada bioreaktor tahap dua. Nilai COD yang rendah menunjukkan kandungan senyawa organik dalam limbah cair juga rendah. Jika dibandingkan dengan penelitian Atikalidia [2011] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dengan substrat limbah cair sawit didapatkan nilai COD terendah sebesar 7.000 mg/L dengan lama waktu *start-up* 1,5 bulan, Luturkey [2011] melakukan penelitian menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan substrat limbah cair kelapa sawit bermedia tandan kosong dan pelepah sawit dengan efisiensi COD pada pembebanan organik 16,6 kgCOD/m<sup>3</sup>hari yaitu sebesar 84% dan penelitian Firdha [2010] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dengan substrat limbah cair sawit didapatkan nilai COD terendah sebesar 8.000 mg/L dengan lama waktu *start-up* 10 hari. Pada penelitian ini nilai COD yang didapatkan lebih rendah dari penelitian sebelumnya yaitu sebesar 5.500 mg/L dengan lama waktu *start-up* 45 hari. Penelitian ini

membutuhkan waktu *start-up* yang lebih lama dari penelitian Firdha [2010] karena penelitian ini menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dengan dua *set* bioreaktor hibrid anaerob yang dipasang secara paralel. Lamanya waktu *start-up* pada proses anaerob juga disebabkan oleh laju pertumbuhan mikroorganisme anaerob yang lambat [Ahmad, 1992].

Efisiensi penyisihan COD pada tahap *start-up* pada bioreaktor hybrid dua tahap dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Efisiensi Penyisihan COD Selama Tahap *Start-up*

Dari Gambar 4 dapat dilihat efisiensi penyisihan COD tertinggi pada bioreaktor I yaitu sebesar 84,4%, sedangkan pada bioreaktor II efisiensi penyisihan COD tertinggi yaitu sebesar sebesar 90,5% dengan lama waktu 45 hari. Jika dibandingkan dengan penelitian Atikalidia [2011] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dengan substrat limbah cair sawit didapatkan efisiensi penyisihan COD pada *start-up* sebesar 88,3%, Luturkey [2011] melakukan penelitian menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan proses *start-up* berlangsung selama 32 hari dengan efisiensi penyisihan COD 73,33% pada bioreaktor hibrid bermedia tandan kosong dan 76,67% pada bioreaktor hibrid bermedia pelepah sawit dan penelitian Firdha [2010] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dengan substrat limbah cair sawit didapatkan efisiensi penyisihan COD pada

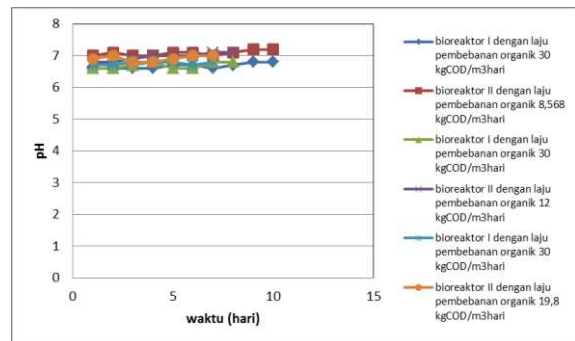
*start-up* sebesar 84%. Penelitian ini lebih baik karena didapatkan efisiensi penyisihan COD yang lebih tinggi dari penelitian sebelumnya yaitu sebesar 90,5%.

### 3.2. Data Pengamatan Pada Tahap Kontinu

Proses kontinu pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bertujuan untuk menentukan laju pembebanan organik maksimum yang dapat menyisihkan COD dengan nilai COD terendah dan efisiensi penyisihan COD tertinggi. Proses kontinu dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) yang ditandai dengan fluktuasi nilai COD limbah cair yang diolah sebesar 10% pada masing-masing laju pembebanan organik. Laju pembebanan organik yang digunakan pada bioreaktor I tetap dengan laju pembebanan organik sebesar 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan laju pembebanan organik yang diberikan pada bioreaktor II divariasikan yaitu: 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari. Selama proses kontinu dilakukan pengukuran terhadap COD untuk mengetahui kondisi mikroorganisme di dalam bioreaktor. Proses kontinu pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap berlangsung selama 25 hari. Pada laju pembebanan organik 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari berlangsung selama 10 hari sedangkan pada laju pembebanan organik 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari berlangsung selama 8 hari dan pada laju pembebanan organik 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari berlangsung selama 7 hari. Berikut ini akan ditampilkan nilai COD dan efisiensi penyisihan COD pada kondisi transien dan kondisi tunak pada tahap kontinu.

#### 3.2.1. Perubahan pH Pada Tahap Kontinu

Perubahan pH yang diukur ada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap terhadap waktu pada tahap kontinu dapat dilihat pada Gambar 5.

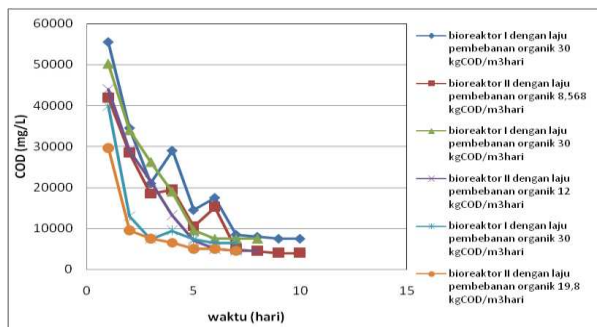


**Gambar 5.** Perubahan pH Selama Tahap Kontinu

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai pH pada setiap laju pembebanan organik. Hasil pengamatan menunjukkan semakin tinggi laju pembebanan organik maka nilai pH akan semakin turun. Hal ini disebabkan oleh besarnya konsentrasi asam-asam volatil yang terbentuk di dalam substrat. Penurunan nilai pH selama peningkatan laju pembebanan organik mulai dari 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari hingga 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari pada bioreaktor tahap dua adalah berkisar dari pH 6,8 hingga 7,2. Sedangkan pada bioreaktor tahap satu dengan laju pembebanan organik yang tetap yaitu 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari menunjukkan penurunan nilai pH berkisar dari pH 6,6 hingga 6,8. Jika dibandingkan dengan penelitian Firdha [2010] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dengan substrat limbah cair kelapa sawit didapatkan nilai pH 6,2-6,4 dengan WTH yang berbeda yaitu 1 hari sampai 4 hari. Pada penelitian ini didapatkan penurunan nilai pH yang lebih baik dari peneliti sebelumnya yaitu 6,6 hingga 6,8 pada bioreaktor I dan 6,8 hingga 7,2 pada bioreaktor II.

#### 3.2.2. Perubahan Nilai COD Selama Kontinu

Perubahan nilai COD efluen pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap terhadap waktu pada tahap kontinu ditampilkan dalam Gambar 6.



**Gambar 6.** Perubahan Nilai COD Pada Tahap Kontinu

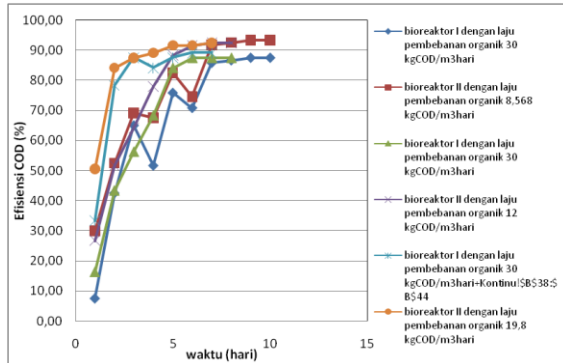
Gambar 6 menunjukkan perubahan nilai COD cenderung menurun. Nilai COD pada tahap kontinu dengan menggunakan laju pembebanan organik yang diberikan pada bioreaktor I adalah 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan laju pembebanan organik yang diberikan pada bioreaktor II divariasikan yaitu 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari turun dari 60.000 mg/L menjadi 4166,7 mg/L. Penurunan nilai COD ini terjadi dalam waktu yang berbeda-beda pada setiap laju pembebanannya. Nilai COD terendah terdapat pada laju pembebanan organik 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari (WTH 7 hari) selama 10 hari. Nilai ini menandakan bahwa zat – zat organik yang terdapat dalam limbah hampir seluruhnya dapat didegradasi oleh mikroorganisme yang bekerja di dalam bioreaktor hibrid anaerob dua tahap. Semakin lama waktu tinggal akan memberikan waktu kontak antara bahan organik yang terdapat dalam limbah cair dengan mikroorganisme juga semakin lama sehingga degradasi senyawa organik (penurunan COD) menjadi paling besar.

Lestyana [2012] melakukan penelitian mengenai pengolahan limbah cair sagu menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dengan volume 10 L yang dioperasikan dengan laju pembebanan organik 12,5 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 5.000 mg/L, 16,7 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 5.883 mg/L, 25 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar

6.666 mg/L dan 50 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sebesar 7.500 mg/L. Atikalidia [2011] melakukan penelitian menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan substrat limbah cair kelapa sawit bermedia cangkang sawit dengan laju pembebanan organik 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 5.883 mg/L, 15 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 6.500 mg/L, 20 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 6.833 mg/L, 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 9000 mg/L dan 60 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 9.000 mg/L. Luturkey [2011] juga melakukan penelitian menggunakan bioreaktor hibrid bermedia tandan kosong sawit dengan nilai COD yang paling rendah terjadi pada pembebanan organik 14,28 kgCOD/m<sup>3</sup>hari adalah sebesar 8.666,67 mg/L, sedangkan pada bioreaktor hibrid bermedia pelepah sawit dengan nilai COD yang paling rendah terjadi pada pembebanan organik 16,6 kgCOD/m<sup>3</sup>hari sebesar 8.000 mg/L dan penelitian Firdha [2010] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dengan substrat limbah cair sawit pada WTH 1 hari didapat penurunan nilai COD sebesar 10.000 mg/L, pada WTH 2 hari didapat penurunan nilai COD sebesar 9.000 mg/L, pada WTH 3 hari didapat penurunan nilai COD sebesar 6.000 mg/L, dan pada WTH 4 hari penurunan nilai COD mencapai 5000 mg/L. Penelitian ini mendapatkan penurunan nilai COD yang lebih baik yaitu pada bioreaktor I dengan menggunakan laju pembebanan organik 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari diperoleh penurunan nilai COD sebesar 6.833,3 mg/L dan pada bioreaktor II dengan laju pembebanan organik yang divariasikan yaitu 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sebesar 4.166,7 mg/L, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sebesar 4.666,7 mg/L, dan 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan

penurunan nilai COD sebesar 4.833,3 mg/L.

Efisiensi penyisihan COD terhadap waktu pada tahap kontinu dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Efisiensi Penyisihan COD Selama Tahap Kontinu

Gambar 4.6 menunjukkan bahwa penyisihan COD secara umum meningkat seiring dengan menurunnya laju pembebanan organik. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil beban organik 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. Berdasarkan hasil pengamatan, efisiensi penyisihan COD terbesar terjadi pada laju pembebanan organik 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari (WTH 7 hari) selama 10 hari yaitu 87,22% pada bioreaktor tahap satu dan laju pembebanan organik 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari (WTH 7 hari) selama 10 hari yaitu 93,06% pada bioreaktor tahap dua pada hari ke-10.

Lestyana [2012] melakukan penelitian mengenai pengolahan limbah cair sagu menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu yang dioperasikan dengan laju pembebanan organik 12,5 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 90%, 16,7 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 88%, 25 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 86,8% dan 50 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 85%. Atikalidia [2011] melakukan penelitian menggunakan

bioreaktor hibrid anaerob dengan substrat limbah cair kelapa sawit bermedia cangkang sawit dengan laju pembebanan organik 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sampai keadaan tunak sebesar 90,2%, 15 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sampai keadaan tunak sebesar 89,1%, 20 kg COD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sampai keadaan tunak sebesar 88,6%, 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 85% dan 60 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sampai keadaan tunak sebesar 85%. Luturkey [2011] juga melakukan penelitian menggunakan bioreaktor hibrid bermedia tandan kosong sawit dengan efisiensi penyisihan COD yang paling tinggi terjadi pada pembebanan organik 14,28 kgCOD/m<sup>3</sup>hari sebesar 82,6%, sedangkan pada bioreaktor hibrid bermedia pelepah sawit dengan efisiensi penyisihan COD yang paling tinggi terjadi pada pembebanan organik 16,6 kgCOD/m<sup>3</sup>hari sebesar 84%. Firdha [2010] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dengan substrat limbah cair sawit pada WTH 1 hari didapat efisiensi penyisihan COD sebesar 80%, pada WTH 2 hari didapat efisiensi penyisihan COD sebesar 82%, pada WTH 3 hari didapat efisiensi penyisihan COD sebesar 88%, dan efisiensi penyisihan COD paling tinggi didapat pada WTH 4 hari dengan efisiensi penyisihan COD mencapai 90%. Penelitian ini mendapatkan efisiensi penyisihan COD yang lebih tinggi yaitu pada bioreaktor I dengan menggunakan laju pembebanan organik 30 kgCOD/m<sup>3</sup>hari didapatkan efisiensi penyisihan COD tertinggi sebesar 88,6% dan pada bioreaktor II dengan laju pembebanan organik yang divariasikan yaitu 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 93,06%, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 92,2%, dan 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 91,94%.



### 3.3. Studi Komparatif Efisiensi Penyisihan COD dalam Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap

Studi komparatif ditinjau dengan membandingkan hasil efisiensi penyisihan COD terbaik dengan menggunakan

bioreaktor yang sama yakni hibrid anaerob namun berbeda media melekat dan substratnya. Perbandingan efisiensi penyisihan COD disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Perbandingan Efisiensi Penyisihan COD Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap dengan Media Imobilisasi Lainnya.

| Sumber            | Jenis Bioreaktor                    | Limbah            | Variabel                | Media Imobilisasi       | Efisiensi Penyisihan COD |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Lestyana [2012]   | Bioreaktor Hibrid Anaerob           | Limbah Cair Sagu  | Laju Pembebanan Organik | Batu                    | 90,2%                    |
| Luturkey [2011]   | Bioreaktor Hibrid Anaerob           | Limbah Cair Sawit | Laju Pembebanan Organik | Tandan Kosong Sawit     | 82,6%                    |
|                   |                                     |                   |                         | Pelepah Sawit           | 84%                      |
| Atikalidia [2011] | Bioreaktor Hibrid Anaerob           | Limbah Cair Sawit | Laju Pembebanan Organik | Cangkang Sawit          | 90,2%                    |
| Firdha [2010]     | Bioreaktor Hibrid Anaerob           | Limbah Cair Sawit | Waktu Tinggal Hidrolik  | Batu                    | 90%                      |
| Penelitian Ini    | Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap | Limbah Cair Sawit | Laju Pembebanan Organik | Cangkang Sawit dan Batu | 93,06%                   |

Tabel 2 menunjukkan bahwa kinerja bioreaktor hibrid anaerob dua tahap memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor hibrid anaerob lainnya. Bioreaktor hibrid anaerob hanya mampu menyisihkan COD paling rendah sebesar 90,2%, sedangkan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap pada penelitian ini mampu menyisihkan COD sebesar 93,06 % pada laju pembebanan organik 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari selama 10 hari. Meskipun laju pembebanan organik bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ini

lebih kecil dari bioreaktor hibrid sebelumnya, bioreaktor tahap dua ini tetap memiliki kelebihan yakni waktu penyisihan yang lebih cepat yaitu selama 10 hari. Hal ini membuat pengolahan limbah cair kelapa sawit menjadi lebih efektif.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pengaruh laju pembebanan organik terhadap efisiensi penyisihan COD

pada pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap adalah bahwa semakin kecil laju pembebanan organik maka efisiensi penyisihan COD semakin besar. yaitu 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sebesar 4.166,7 mg/L dan efisiensi penyisihan 93,06%, 12 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sebesar 4.666,7 mg/L dan efisiensi penyisihan 92,2%, dan 19,8 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dengan penurunan nilai COD sebesar 4.833,3 mg/L dan efisiensi penyisihan 91,94%.

2. Laju pembebanan organik optimal yang didapat terhadap efisiensi penyisihan COD pada pengolahan limbah cair kelapa sawit menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap adalah pada laju pembebanan organik 8,568 kgCOD/m<sup>3</sup>hari didapatkan sebesar 93,06% dengan penurunan nilai COD sebesar 4.666,7 mg/L.

Beberapa hal yang disarankan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penambahan jumlah variasi laju pembebanan organik untuk penelitian selanjutnya.
2. Perlu dilakukan pengolahan lebih lanjut terhadap limbah cair yang sudah diolah agar sesuai dengan baku mutu lingkungan.

#### DAFTAR PUSTAKA

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., Bahruddin, dan A. Rahmi, 2010, *Penyisihan Kandungan Padatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit*, Prosiding SNTK

“Kejuangan”, Yogyakarta 22 Februari 2011.

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: Pekanbaru.

Ahmad, A., 2009, *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*, Diktat Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau: Pekanbaru.

Ahmad, A., S.Z. Amraini, dan Y.A. Luturkey, 2009a, *Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Tandan Kosong dan Pelelah Sawit Dalam Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit*. Jurnal Teknik Kimia Indonesia Vol. 10, No. 3, 2011, 134-140.

Atikalidia, M., 2011, *Penyisihan COD dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anarob Bermedia Cangkang Sawit*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau: Pekanbaru.

APHA, AWWA dan WCPF, 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington DC.

Firdha, I., 2010, *Penentuan Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Penyisihan COD (Chemical Oxygen Demand) Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit dengan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu*, Skripsi, Jurusan Kimia UNRI: Pekanbaru.

Irfan, M., 2008, *Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Land Application System di PT. Perkebunan Nusantara V Sei. Pagar*, Laporan Kerja Praktek, Universitas Riau: Pekanbaru.

Keputusan Menteri KLH Nomor KEP 51/MENKLH/10/1995 tentang

- Baku Mutu Limbah cair bagi Kegiatan Industri.*
- Lestyana, Y.K., 2012. *Efisiensi Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) Limbah Cair Pabrik Sagu Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob Pada Kondisi Tunak Dengan Variabel Laju Pembebanan Organik.* Skripsi, Jurusan Kimia UNRI: Pekanbaru.
- Luturkey, Y.A., 2011. *Uji Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Tandan Kosong dan Pelelah Sawit Dalam Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit.* Skripsi, Universitas Riau: Pekanbaru
- Speece R.E., 1996. *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters,* Archae Press, Vanderbilt University.
- Syafila M., A. H. Djajadiningrat, dan M. Handajani, 2003, *Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Molase,* Prociding ITB Sains & Tek. Vol. 35 A, No. 1, hal 19-31.