

# UJI KINERJA BIOREAKTOR HIBRID ANAEROB DUA TAHAP DENGAN VARIABEL BEBAN KEJUT (*SHOCK LOADING*) PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT

Nur Khairat<sup>1)</sup>, Adrianto Ahmad<sup>2)</sup>, Elvi Yenie<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Lingkungan, <sup>2)</sup>Dosen Teknik Kimia dan Lingkungan  
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 progress of plantation area in Indonesia to increase significantly. Along with the increasing area of oil palm plantations, the production of palm oil mills also increase. The production of palm oil mill produced wastewater with high content of organic material. If it discharged into the water, it will potentially to reduced water quality and pollute the environment. Wastewater treatment can be anaerobically by using hybrid anaerobic bioreactor. This research purposed to test the stability and performance of hybrid anaerobic bioreactor two stage with shock loading variable measured the content of COD (chemical oxygen demand), pH, temperature and production of biogas. The operation of shock loading is by providing the rate loading increase suddenly of 50% with the flow rate is 7.5 L/day, increase of 100% with the flow rate is 10 L /day and increase of 150% with the flow rate is 12.5 L/day for 6 hours, then returned to flow rate base of first bioreactor with the flow rate is 5 L/day. The results of testing the stability of the bioreactor in anticipation the fluctuations of wastewater flow with shock loading by 50%, 100% and 150% showed that the recovery period of hybrid anaerobic bioreactor two stage relatively quickly with time span is 5 to 7 days. The highest COD reduction is obtained after loading increase 150% at flow rate 12.5 L/day, COD value is 4.500 mg/L with COD removal efficiency is 92.2%. Therefore, the flow rate increase suddenly (shock loading) wasn't effect the performance of hybrid anaerobic bioreactor two stage so the process of wastewater treatment can take place properly.*

**Keywords:** *Anaerobic , COD, Palm Oil Mill Wastewater, Shock Loading, Two Stage Anaerobic Bioreactor Hybrid.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan luas area perkebunan di Indonesia terus mengalami peningkatan yang cukup signifikan, luas area perkebunan mengalami peningkatan 28,61% dari 16,64 juta Ha pada tahun 2004 menjadi 21,40 juta Ha pada tahun 2012 atau rata-rata meningkat 3,58% setiap tahunnya. Sejak tahun 2004 hingga tahun 2012 komoditi perkebunan yang dominan dikembangkan adalah perkebunan kelapa sawit dengan luas area 5,285 juta Ha pada tahun 2004 menjadi 9,075 juta Ha pada tahun 2012 atau meningkat 71,71% dengan rata-rata 15,61% setiap tahunnya. Seiring dengan

meningkatnya luas area perkebunan kelapa sawit maka produksi perkebunan juga mengalami peningkatan yaitu sebesar 10,830 juta ton pada tahun 2004 meningkat menjadi 23,521 juta ton pada tahun 2012. Provinsi Riau merupakan provinsi dengan luas area terbesar di Indonesia, pada tahun 2014 luas area perkebunan kelapa sawit di Riau yaitu sebesar 2,30 juta Ha dengan produksi perkebunan sebesar 7 juta ton [Kementrian Pertanian, 2013].

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 menghasilkan limbah yang dapat menurunkan kualitas lingkungan. Limbah pabrik kelapa sawit merupakan kotoran atau buangan yang dihasilkan dari proses pengolahan kelapa sawit yang dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Limbah cair pabrik kelapa sawit umumnya berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan senyawa organik yang tinggi [Ahmad dkk, 2010]. Kandungan senyawa organik tersebut ditunjukkan dengan tingginya nilai COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang berkisar antara 40.000–120.000 mg/L [Irfan, 2008], sedangkan nilai baku mutu limbah cair pabrik kelapa sawit yang ditetapkan oleh pemerintah melalui Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-51/MENLH/10/1995 adalah 300 mg/L untuk COD dan pH berkisar antara 6,0-9,0.

Limbah cair dengan kandungan senyawa organik yang tinggi jika dibuang ke perairan sangat berpotensi menurunkan kualitas perairan dan mencemari lingkungan. Untuk itu perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu agar limbah cair yang akan dibuang ke perairan sesuai dengan baku mutu lingkungan yang telah ditetapkan. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya pencemaran agar aktivitas biota perairan tidak terganggu dan kualitas air tidak menurun.

Pengolahan limbah cair dapat dilakukan secara aerob dan anaerob. Proses anaerob merupakan proses biodegradasi senyawa organik kompleks menjadi gas metan dan CO<sub>2</sub> secara biologis dalam kondisi tanpa kehadiran oksigen. Proses anaerob melibatkan beberapa tahap proses yaitu proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetogenesis dan proses metanogenesis. Salah satu pengolahan limbah cair secara anaerob yang dapat dilakukan dengan

menggunakan bioreaktor hibrid anaerob [Ahmad, 2004].

Bioreaktor hibrid anaerob 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]. Bioreaktor hibrid anaerob memiliki kelebihan dalam mempertahankan konsentrasi biomassa dalam jumlah yang tinggi sehingga efisiensi penyisihan senyawa organik menjadi lebih besar [Syafila, dkk, 2003].

## 2. METODE PENELITIAN

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair pabrik kelapa sawit yang berasal dari PTPN V Sei. Pagar, Kecamatan Perhentian Raja, Kabupaten Kampar, Propinsi Riau dengan karakteristik limbah pada Tabel 1.

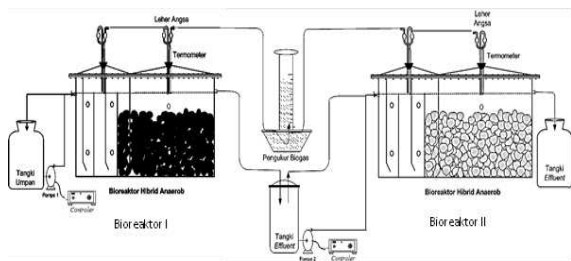
**Tabel 1.** Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PTPN V Sei. Pagar

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 beban kejut dengan peningkatan pembebanan secara tiba-tiba sebesar 50%, 100% dan 150% dari laju alir umpan yaitu 5 L/hari. Pada peningkatan 50% dengan laju alir 7,5 L/hari, peningkatan 100% dengan laju alir 10 L/hari dan peningkatan 150% dengan laju alir 12,5 L/hari selama 6 jam kemudian dikembalikan ke basis laju alir umpan pada bioreaktor I, sedangkan laju alir yang digunakan pada bioreaktor II adalah laju alir maksimum

yang diperoleh dari tahap kontinu. Parameter yang diamati adalah pH, COD, temperatur dan produksi biogas. Metode pengukuran pH dengan menggunakan pH meter dan metode analisa COD dengan menggunakan metode titrasi volumetri sesuai dengan *standard methods* [APHA, AWWA dan WPCF, 1992], sedangkan untuk pengukuran temperatur dan produksi biogas didapatkan langsung pada saat pengamatan. 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.



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

Dapat dilihat pada Gambar 1. bioreaktor hibrid anaerob dua tahap merupakan dua *set* bioreaktor yang dipasang secara paralel. Pada masing-masing 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 pabrik kelapa sawit yang akan diolah, dimasukkan ke dalam tangki umpan. Limbah cair tersebut dialirkan ke dalam bioreaktor dengan menggunakan pompa. Laju alir limbah yang masuk ke dalam bioreaktor dikontrol dan diatur dengan menggunakan katup yang ada pada selang penghubung. Limbah cair yang masuk ke dalam bioreaktor akan mengalir

naik turun mengikuti sekat yang ada di dalam bioreaktor kemudian limbah cair akan melewati media dan keluar menuju tangki efluen. Efluen pada bioreaktor I menjadi influen pada bioreaktor II. Dari tangki efluen bioreaktor I tersebut limbah cair akan dipompakan kembali menuju bioreaktor II. Pada bioreaktor II terjadi proses yang sama dengan bioreaktor I. Pada bagian atas bioreaktor dilengkapi dengan leher angsa dan selang. Selang pada leher angsa dimasukkan ke dalam tabung penampung biogas. 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 5 menit pada masing-masing fasa pertumbuhan tersuspensi dan melekat yang bertujuan untuk mengusir oksigen terlarut dalam cairan di dalam bioreaktor [Ahmad, 2009].

Aklimatisasi dilakukan dengan cara mengeluarkan sampel sebanyak 1 L dan kemudian menambahkan limbah cair pabrik kelapa sawit sebanyak 1 L setiap hari. Pengurangan sampel dan penambahan limbah cair pada aklimatisasi dilakukan dalam jumlah yang sama, lebih kurang 10% dari volume kerja reaktor. Pengambilan sampel yang dilakukan setiap hari akan dianalisa kandungan VSSnya. Hal ini dilakukan hingga fluktuasi kandungan VSS mencapai 10% [Ahmad, 2004].

*Start-up* dilakukan setelah fluktuasi kandungan VSS mencapai 10% pada tahap aklimatisasi. Selama tahap *start-up*, limbah cair pabrik kelapa sawit dimasukkan dengan menggunakan laju alir umpan sebesar 3,3 L/hari pada bioreaktor I dan laju alir 1,25 L/hari pada bioreaktor II. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari sebanyak 500 ml, kemudian dianalisa kandungan CODnya. Hal ini dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*), yaitu ditandai dengan fluktuasi nilai COD sebesar 10% setelah itu dilanjutkan dengan tahap kontinu [Ahmad, 2004].

Tahap Kontinu dilakukan dengan memvariasikan laju alir umpan pada

bioreaktor II dengan laju alir 1,4 L/hari, 2 L/hari dan 3,3 L/hari, sedangkan laju alir umpan yang digunakan pada bioreaktor I tetap, yaitu 5 L/hari. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari sebanyak 500 ml, kemudian dianalisa kandungan CODnya. Hal ini dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) yang ditandai dengan fluktuasi nilai COD sebesar 10% pada masing-masing laju alir.

Peningkatan laju pembebanan secara tiba-tiba (beban kejut) dilakukan setelah diperoleh laju alir maksimum pada bioreaktor II. Mulai dari peningkatan sebesar 50% dengan laju alir 7,5 L/hari, peningkatan 100% dengan laju alir 10 L/hari dan peningkatan 150% dengan laju alir 12,5 L/hari selama 6 jam, kemudian dikembalikan ke basis laju alir bioreaktor I yaitu 5 L/hari. Pengambilan sampel dilakukan setiap hari sebanyak 500 ml untuk dilakukan analisa terhadap COD dan pH. Tahap ini dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) yang ditandai dengan fluktuasi nilai COD sebesar 10% pada masing-masing pembebanan.

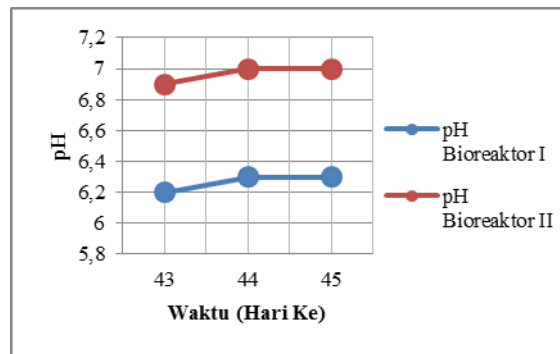
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Tahap *start-up* pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan *biofilm* di dalam bioreaktor. Tahap *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. Nilai pH pada Kondisi Tunak Tahap *Start-up*

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

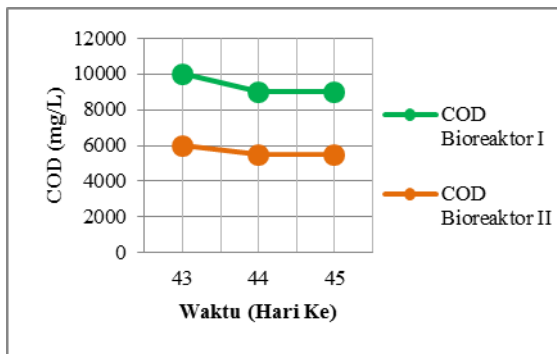


**Gambar 2.** Nilai pH pada Kondisi Tunak Tahap *Start-up*

Gambar 2. menunjukkan bahwa nilai pH pada hari ke-43 hingga hari ke-45 pada bioreaktor I dan bioreaktor II relatif meningkat. Hal ini terjadi karena asam-asam volatil yang terbentuk mampu disangga oleh unsur alkali yang terdapat pada limbah cair sehingga mempengaruhi nilai pH secara keseluruhan [Grady dan Lim, 1980]. Nilai pH pada bioreaktor I hari ke-43 diperoleh sebesar 6,2. Pada hari ke-44 pH meningkat hingga 6,3 dan pada hari ke-45 pH tetap. Nilai pH pada bioreaktor II hari ke-43 diperoleh sebesar 6,9. Pada hari ke-44 pH meningkat hingga 7,0 dan pada hari ke-45 pH tetap. Pada rentang pH yang 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]. Selama tahap *start-up* bioreaktor, fluktuasi nilai pH tidak dipengaruhi oleh peningkatan pembebanan organik [Ahmad, 1999].

##### 3.1.2. Nilai COD pada Kondisi Tunak Tahap *Start-up*

Nilai COD pada kondisi tunak tahap *start-up* bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Nilai COD pada Kondisi Tunak Tahap *Start-up*

Gambar 3. menunjukkan bahwa nilai COD pada hari ke-43 hingga hari ke-45 pada bioreaktor I dan bioreaktor II relatif konstan. Nilai COD yang relatif konstan menandakan bahwa keadaan tunak (*steady state*) telah tercapai [Ahmad, 2009]. Hal ini menunjukkan bahwa mikroorganisme telah sampai pada kemampuan optimumnya dalam menurunkan nilai COD. Nilai COD pada bioreaktor I hari ke-43 hingga hari ke-45 menurun dari 10.000 mg/L menjadi 9.000 mg/L dengan nilai rata-rata COD pada kondisi tunak sebesar 9.333,3 mg/L. Nilai COD pada bioreaktor II hari ke-43 hingga hari ke-45 menurun dari 6.000 mg/L menjadi 5.500 mg/L dengan nilai rata-rata COD pada kondisi tunak sebesar 5.666,7 mg/L. Penurunan nilai COD membuktikan bahwa pembentukan lapisan *biofilm* pada media di dalam bioreaktor berlangsung dengan baik, diikuti dengan pendegradasian senyawa organik sehingga mempengaruhi nilai COD pada limbah cair yang dihasilkan. Nilai COD yang rendah menunjukkan kandungan senyawa organik dalam limbah cair juga rendah. Lamanya waktu *start-up* pada proses anaerob juga disebabkan oleh laju pertumbuhan mikroorganisme anaerob yang lambat [Ahmad, 1992].

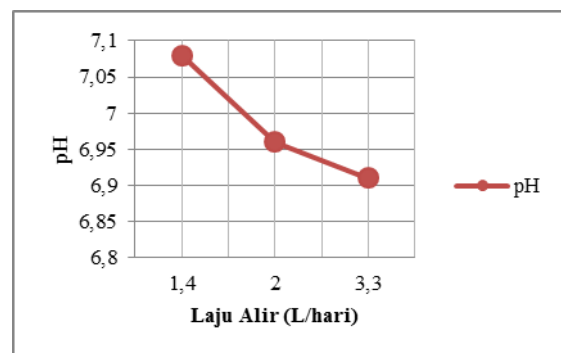
### 3.2. Data Pengamatan pada Tahap Kontinu

Tahap kontinu pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bertujuan untuk menentukan laju alir maksimum yang dapat menyisihkan COD dengan nilai COD terendah dan efisiensi penyisihan COD

tertinggi. Laju alir maksimum yang didapatkan pada tahap kontinu ini akan digunakan untuk pengoperasian beban kejut. Tahap kontinu pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap berlangsung selama 25 hari. Pada laju alir 1,4 L/hari berlangsung selama 10 hari sedangkan pada laju alir 2 L/hari berlangsung selama 8 hari dan pada laju alir 3,3 L/hari berlangsung selama 7 hari. Berikut ini akan ditampilkan nilai pH, nilai COD dan efisiensi penyisihan COD pada kondisi tunak tahap kontinu.

#### 3.2.1. Pengaruh Laju Alir terhadap pH pada Tahap Kontinu

Pengaruh laju alir terhadap nilai rata-rata pH pada tahap kontinu bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 4.

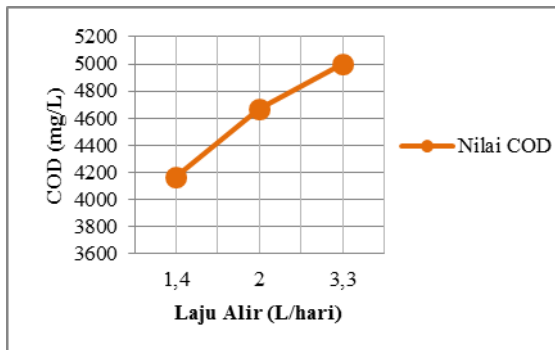


**Gambar 4.** Hubungan Laju Alir terhadap pH pada Tahap Kontinu

Gambar 4. menunjukkan pengaruh laju alir terhadap nilai pH. Semakin besar laju alir, nilai pH yang didapat semakin kecil. Hal ini terjadi karena besarnya laju alir menyebabkan produksi asam-asam volatil semakin meningkat sehingga pH limbah cair menjadi turun [Ahmad, 1992]. Nilai rata-rata pH pada laju alir 1,4 L/hari diperoleh sebesar 7,08 sedangkan pada laju alir 2 L/hari diperoleh nilai rata-rata pH 6,96 dan pada laju alir 3,3 L/hari diperoleh nilai rata-rata pH 6,91. Nilai pH pada laju alir 1,4 L/hari hingga laju alir 3,3 L/hari terukur menurun. Namun nilai pH yang didapat masih berada dalam rentang pH optimum proses anaerob yang berkisar antara 6,8-7,4 [Grady dan Lim, 1980].

### 3.2.2. Pengaruh Laju Alir terhadap Nilai dan Efisiensi Penyisihan COD pada Kondisi Tunak Tahap Kontinu

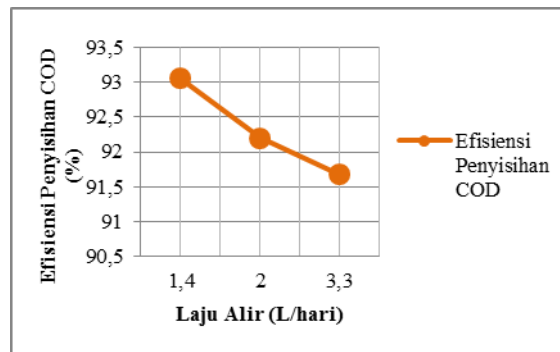
Pengaruh laju alir terhadap nilai rata-rata COD pada kondisi tunak tahap kontinu bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Hubungan Laju Alir terhadap Nilai COD pada Kondisi Tunak Tahap Kontinu

Gambar 5. menunjukkan pengaruh laju alir terhadap nilai COD. Semakin besar laju alir, nilai COD yang diperoleh semakin besar. Hal ini terjadi karena besarnya laju alir menyebabkan peningkatan kandungan bahan organik yang terukur sebagai COD dalam limbah cair. Nilai rata-rata COD pada laju alir 1,4 L/hari diperoleh sebesar 4.166,7 mg/L, pada laju alir 2 L/hari diperoleh nilai rata-rata COD sebesar 4.666,7 mg/L dan pada laju alir 3,3 L/hari diperoleh nilai rata-rata COD sebesar 4.833,3 mg/L. Nilai COD pada laju alir 1,4 L/hari hingga laju alir 3,3 L/hari terukur meningkat. Meningkatnya nilai COD menunjukkan bahwa proses degradasi senyawa organik relatif kecil akibatnya kandungan organik yang terdapat di dalam limbah cair tidak terdegradasi dengan baik sehingga berpengaruh terhadap nilai COD pada limbah cair [Ahmad, 1992].

Pengaruh laju alir terhadap efisiensi penyisihan COD pada kondisi tunak tahap kontinu bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Hubungan Laju Alir terhadap Efisiensi Penyisihan COD pada Kondisi Tunak Tahap Kontinu

Gambar 6. menunjukkan pengaruh laju alir terhadap efisiensi penyisihan COD. Semakin besar laju alir, efisiensi penyisihan COD semakin kecil. Hal ini terjadi karena besarnya laju alir menyebabkan peningkatan kandungan bahan organik dalam limbah cair sehingga berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan COD. Efisiensi penyisihan COD pada laju alir 1,4 L/hari didapatkan sebesar 93,06% sedangkan pada laju alir 2 L/hari didapatkan efisiensi penyisihan COD sebesar 92,2% dan pada laju alir 3,3 L/hari didapatkan efisiensi penyisihan COD sebesar 91,9%. Efisiensi penyisihan COD pada laju alir 1,4 L/hari hingga laju alir 3,3 L/hari terukur menurun.

Berdasarkan Gambar 5. dan Gambar 6. laju alir yang dapat menyisihkan nilai COD terkecil dengan efisiensi penyisihan COD terbesar diperoleh pada laju alir 1,4 L/hari. Laju alir 1,4 L/hari ini akan digunakan pada saat pengoperasian beban kejut untuk laju alir pada bioreaktor II.

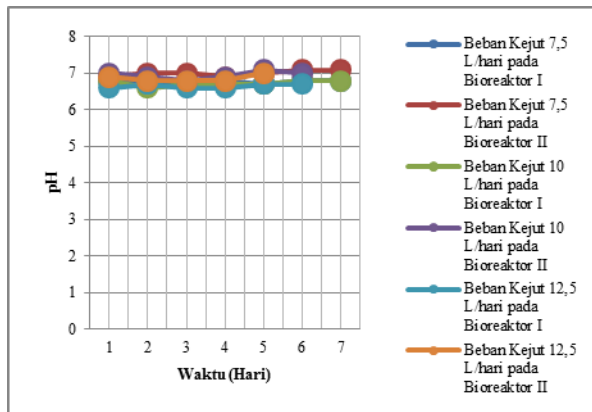
### 3.3. Data Pengamatan pada Beban Kejut (*Shock Loading*)

Pengoperasian beban kejut pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bertujuan untuk menguji stabilitas dan kinerja bioreaktor setelah diberi beban kejut atau peningkatan laju pembebanan secara tiba-tiba. Pengoperasian beban kejut ini berlangsung selama 20 hari. Berikut ini akan ditampilkan nilai pH, nilai dan efisiensi

penyisihan COD, temperatur serta produksi biogas.

### 3.3.1. Perubahan pH pada Pengoperasian Beban Kejut

Perubahan nilai pH setelah peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 7.



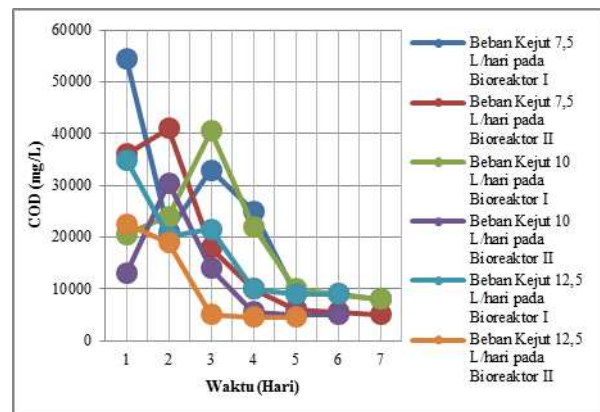
**Gambar 7.** Hubungan Waktu terhadap pH pada Pengoperasian Beban Kejut

Berdasarkan Gambar 7, peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba selama 6 jam terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap tidak mempengaruhi pH secara signifikan. Fluktuasi nilai pH yang relatif kecil terjadi akibat asam-asam volatil yang terbentuk mampu disangga oleh unsur alkali yang terdapat pada limbah cair. Unsur alkali yang terbentuk pada limbah cair berasal dari  $\text{CO}_2$  yang bersenyawa dengan air membentuk asam karbonat, asam karbonat berdisosiasi membentuk ion-ion hidrogen dan ion-ion bikarbonat. Ion-ion ini bertindak sebagai *buffer* [Grady dan Lim, 1980]. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 7,5 L/hari bioreaktor I diperoleh pH berkisar antara 6,7-6,8 sedangkan pada bioreaktor II pH berkisar antara 6,9-7,1. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 10 L/hari bioreaktor I diperoleh pH berkisar antara 6,6-6,8 sedangkan pada bioreaktor II pH berkisar antara 6,8-7,1 dan pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 12,5 L/hari

nilai pH yang diperoleh berkisar antara 6,6-6,7 pada bioreaktor I sedangkan pada bioreaktor II rentang pH 6,8-7,0. Rentang pH bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ini berada dalam rentang pH hidup bakteri metanogenik. Bakteri metanogenik adalah yang bakteri yang sensitif terhadap perubahan pH. Kondisi optimum untuk perkembangan bakteri metanogenik berkisar pada pH 6,8-7,4 [Benefield dan Randall, 1980].

### 3.3.2. Perubahan COD pada Pengoperasian Beban Kejut

Perubahan nilai COD setelah peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 8.

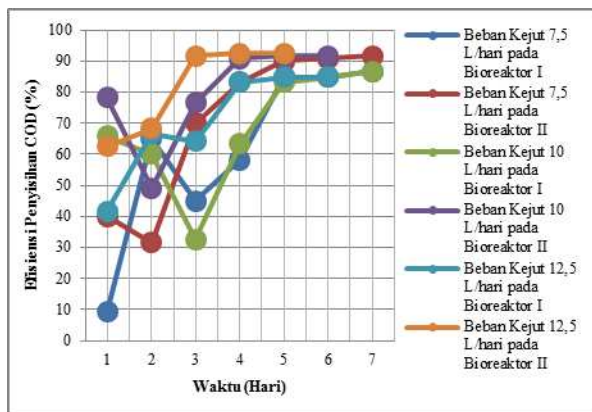


**Gambar 8.** Hubungan Waktu terhadap Nilai COD pada Pengoperasian Beban Kejut

Berdasarkan Gambar 8, peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba selama 6 jam terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap mempengaruhi nilai COD secara signifikan. Hal ini terjadi karena peningkatan laju alir umpan menyebabkan peningkatan senyawa organik yang terukur sebagai COD dalam limbah cair. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 7,5 L/hari fluktuasi nilai COD relatif besar dari hari pertama hingga hari ke-5 keadaan transien, pada hari berikutnya fluktuasi relatif rendah dan konstan hingga hari ke-7. Pada bioreaktor I diperoleh penurunan nilai COD dari 54.500 hingga 8.000 mg/L, sedangkan

pada bioreaktor II diperoleh penurunan nilai COD dari 41.000 hingga 5.000 mg/L. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 10 L/hari nilai COD meningkat tajam pada hari ke-2 dan hari ke-3 kemudian pada hari berikutnya nilai COD relatif konstan hingga hari ke-7. Pada bioreaktor I diperoleh penurunan nilai COD dari 40.500 hingga 8.000 mg/L, sedangkan pada bioreaktor II diperoleh penurunan nilai COD dari 30.500 hingga 5.000 mg/L. Hal yang berbeda diperoleh pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 12,5 L/hari, nilai COD relatif menurun dari hari pertama hingga hari ke-4, pada hari berikutnya nilai COD relatif konstan hingga hari ke-6. Pada bioreaktor I diperoleh penurunan nilai COD dari 35.000 hingga 9.000 mg/L, sedangkan pada bioreaktor II diperoleh penurunan nilai COD dari 22.500 hingga 4.500 mg/L. Penurunan nilai COD menunjukkan bahwa bahan organik yang terkandung dalam limbah cair hampir seluruhnya dapat didegradasi oleh mikroorganisme yang bekerja di dalam bioreaktor [Atikalidia, 2011].

Efisiensi penyisihan COD merupakan kemampuan bioreaktor dalam menurunkan nilai COD. Perubahan efisiensi penyisihan COD setelah diberi peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 9.

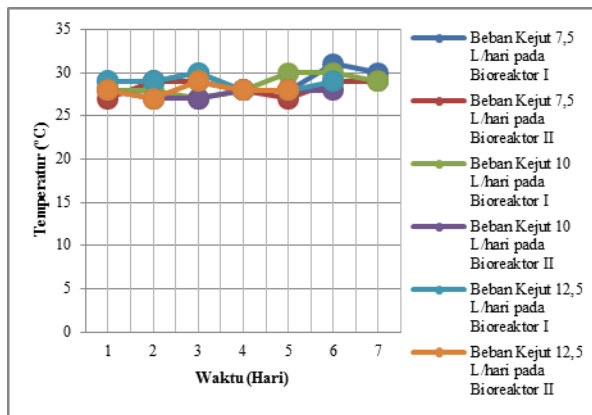


**Gambar 9.** Hubungan Waktu terhadap Efisiensi Penyisihan COD pada Pengoperasian Beban Kejut

Berdasarkan Gambar 9. peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba selama 6 jam terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap mempengaruhi efisiensi penyisihan COD secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan laju alir umpan menyebabkan peningkatan senyawa organik yang dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan COD. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 7,5 L/hari bioreaktor I diperoleh rata-rata efisiensi penyisihan COD kondisi tunak sebesar 86,11% sedangkan pada bioreaktor II sebesar 91%. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 10 L/hari bioreaktor I diperoleh rata-rata efisiensi penyisihan COD kondisi tunak sebesar 85% sedangkan pada bioreaktor II sebesar 91,4%. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 12,5 L/hari diperoleh rata-rata efisiensi penyisihan COD kondisi tunak sebesar 84% sedangkan pada bioreaktor II sebesar 92,2%. Meningkatnya efisiensi penyisihan COD pada bioreaktor II menunjukkan bahwa semakin lama waktu limbah dalam bioreaktor maka proses biodegradasi senyawa organik yang terkandung dalam limbah cair berlangsung dengan baik dikarenakan terjadinya waktu kontak yang lama antara mikroorganisme dengan limbah cair yang akan diolah [Lestari, 2012].

### 3.3.3. Perubahan Temperatur pada Pengoperasian Beban Kejut

Perubahan temperatur setelah peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 10.

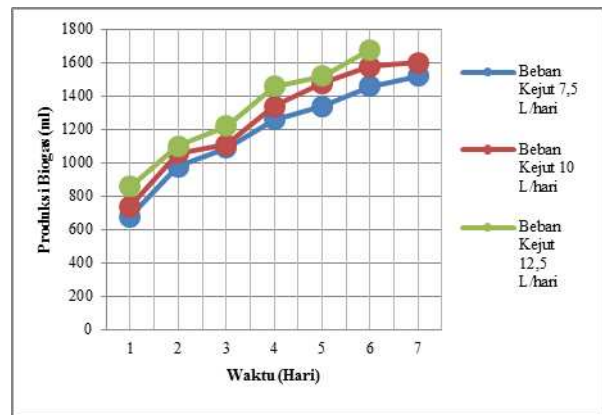


**Gambar 10.** Hubungan Waktu terhadap Temperatur pada Pengoperasian Beban Kejut

Berdasarkan Gambar 10. peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba selama 6 jam terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap tidak mempengaruhi temperatur secara signifikan. Temperatur pada bioreaktor I dengan peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 7,5 L/hari berkisar 28-31 °C dan pada bioreaktor II berkisar antara 27-29 °C. Pada laju alir 10 L/hari diperoleh temperatur berkisar antara 27-30 °C pada bioreaktor I dan pada bioreaktor II diperoleh rentang temperatur antara 27-28 °C, sedangkan pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 12,5 L/hari diperoleh temperatur berkisar antara 28-30 °C pada bioreaktor I dan pada bioreaktor II berkisar antara 27-28 °C. Pada rentang temperatur tersebut dapat dikatakan bahwa mikroorganisme yang bekerja di dalam bioreaktor ini tergolong mikroorganisme mesofilik, mengingat mikroorganisme mesofilik hidup dan berkembang dengan baik pada rentang temperatur 20-45 °C [Ahmad, 2009].

### 3.3.4. Perubahan Produksi Biogas pada Pengoperasian Beban Kejut

Perubahan produksi biogas setelah peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dapat dilihat pada Gambar 11.



**Gambar 11.** Hubungan Waktu terhadap Produksi Biogas pada Pengoperasian Beban Kejut

Gambar 11. menunjukkan peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba selama 6 jam terhadap bioreaktor hibrid anaerob dua tahap mempengaruhi produksi biogas. Produksi biogas yang dihasilkan relatif meningkat. Peningkatan produksi biogas merupakan gambaran aktivitas dari bakteri metanogenik. Hal ini menunjukkan bahwa proses degradasi senyawa organik oleh bakteri metanogenik yang terkandung dalam limbah cair berlangsung dengan baik sehingga menghasilkan gas metan dan CO<sub>2</sub> [Ahmad, 1992]. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 7,5 L/hari produksi biogas yang dihasilkan meningkat dari 680 ml hingga 1.520 ml pada hari ke-7. Pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 10 L/hari produksi biogas yang dihasilkan pada hari pertama sebesar 740 ml dan meningkat hingga 1.600 ml pada hari ke-7, sedangkan pada peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba sebesar 12,5 L/hari produksi biogas yang dihasilkan pada hari pertama sebesar 860 ml dan meningkat hingga 1.680 ml pada hari ke-6. Menurut Ahmad [1992], peningkatan laju pembebanan memberikan manfaat terhadap pertumbuhan bakteri metanogenik karena dengan meningkatnya laju pembebanan maka nutrisi yang tersedia untuk bakteri metanogenik semakin banyak.

### 3.4. Studi Komparatif Stabilitas Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap

Studi komparatif stabilitas bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ditinjau dengan membandingkan stabilitas bioreaktor hibrid

anaerob dua tahap terhadap stabilitas bioreaktor hibrid anaerob bermedia tandan kosong dan pelepah sawit. Perbandingan jangka waktu stabilitas bioreaktor hibrid anaerob dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Studi Komparatif Jangka Waktu Stabilitas Bioreaktor Hibrid Anaerob

Sumber	Jenis Bioreaktor	Lama Pembebanan (Jam)	Media Imobilisasi	Masa Pemulihan Bioreaktor (Hari)		
				Peningkatan Pembebanan 50%	Peningkatan Pembebanan 100%	Peningkatan Pembebanan 150%
				Ahmad, dkk. [2009]	Bioreaktor Hibrid Anaerob	6
Penelitian Ini [2015]	Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap	6	Cangkang Sawit dan Batu	7	6	5

Tabel 2. menunjukkan masa pemulihan bioreaktor hibrid anaerob setelah diberi peningkatan laju alir umpan secara tiba-tiba. Pada penelitian Ahmad, dkk. [2009] menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan media tandan kosong dan pelepah sawit membutuhkan masa pemulihan 6 hari hingga 8 hari. Pada penelitian ini menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bermedia cangkang sawit dan batu membutuhkan masa pemulihan 5 hari hingga 7 hari. Dengan demikian, bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ini lebih baik jika dibandingkan dengan bioreaktor hibrid anaerob bermedia tandan kosong dan pelepah sawit karena masa pemulihan sistem

setelah diberi gangguan selama 6 jam kembali stabil seperti keadaan semula dalam waktu yang relatif cepat dari penelitian sebelumnya.

### 3.5. Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap

Studi komparatif kinerja bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ditinjau dengan membandingkan kinerja bioreaktor hibrid anaerob dua tahap terhadap bioreaktor hibrid anaerob menggunakan substrat yang sama dengan media imobilisasi yang berbeda. Perbandingan kinerja bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dengan bioreaktor lainnya dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob

Sumber	Jenis Bioreaktor	Media Imobilisasi	Variabel	Hasil	Efisiensi Penyisihan COD
Luturkey [2011]	Bioreaktor Hibrid Anaerob	Tandan Kosong Sawit	Laju Pembebanan Organik	14,3 kgCOD/m <sup>3</sup> hari	82,6%
		Pelepah Sawit		16,6 kgCOD/m <sup>3</sup> hari	84%
Atikalidia [2011]	Bioreaktor Hibrid Anaerob	Cangkang Sawit	Laju Pembebanan Organik	20 kgCOD/m <sup>3</sup> hari	88,6%
Firdha [2010]	Bioreaktor Hibrid Anaerob	Batu	Waktu Tinggal Hidrolik	4 hari	90%
Ahmad, dkk.	Bioreaktor Hibrid	Tandan Kosong Sawit	Beban Kejut	Pembebanan 100%	80%

Sumber	Jenis Bioreaktor	Media Imobilisasi	Variabel	Hasil	Efisiensi Penyisihan COD
[2009]	Anaerob	Pelepah Sawit		Pembebanan 100%	84%
Penelitian Ini [2015]	Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap	Cangkang Sawit dan Batu	Beban Kejut	Pembebanan 150%	92,2%

Tabel 3. menunjukkan kemampuan bioreaktor hibrid anaerob dalam menurunkan nilai COD pada limbah cair pabrik kelapa sawit dengan menggunakan berbagai jenis media imobilisasi. Luturkey [2011] melakukan penelitian dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia tandan kosong dan pelepah sawit diperoleh efisiensi penyisihan COD sebesar 82,6% pada laju pembebanan organik 14,3 kgCOD/m<sup>3</sup>hari dan 84% pada laju pembebanan organik 16,6 kgCOD/m<sup>3</sup>hari. Atikalidia [2011] melakukan penelitian dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit diperoleh efisiensi penyisihan COD sebesar 88,6% pada laju pembebanan organik 20 kgCOD/m<sup>3</sup>hari, sedangkan penelitian Firdha [2010] diperoleh efisiensi penyisihan COD sebesar 90% pada WTH 4 hari dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu. Pada penelitian Ahmad, dkk. [2009] menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia tandan kosong sawit dan pelepah sawit diperoleh efisiensi penyisihan COD sebesar 80% dan 84% pada beban kejut dengan pembebanan 100%, sedangkan pada penelitian ini menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bermedia cangkang sawit dan batu diperoleh efisiensi penyisihan COD sebesar 92,2% pada beban kejut dengan pembebanan 150%. Pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit pada bioreaktor ini dikatakan berhasil atau bekerja dengan baik karena diperoleh efisiensi penyisihan COD relatif tinggi dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Dengan demikian bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ini bisa digunakan untuk mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pengujian stabilitas bioreaktor dalam mengantisipasi fluktuasi debit limbah cair dengan beban kejut sebesar 50%, 100% dan 150% menunjukkan bahwa jangka waktu stabilitas bioreaktor hibrid anaerob dua tahap relatif cepat dengan masa pemulihan 5 hingga 7 hari.
2. Pada pengoperasian beban kejut, diperoleh penurunan COD tertinggi setelah peningkatan pembebanan 150% dengan laju alir 12,5 L/hari nilai COD yang didapatkan sebesar 4.500 mg/L dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 92,2%. Nilai pH secara keseluruhan diperoleh berkisar antara 6,8 sampai 7,1. Dengan demikian, peningkatan laju alir secara tiba-tiba (beban kejut) tidak mempengaruhi kinerja bioreaktor hibrid anaerob dua tahap sehingga proses pengolahan limbah cair dapat berlangsung dengan baik.

#### 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., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B.Liang, 1999, *Bioreaktor Berpenyekat Anaerob Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri yang mengandung Minyak dan Lemak, Pengaruh Pembebanan Organik*

- Terhadap Kinerja Bioreaktor*, Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo, ISSN 0854-7769, Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau.
- 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 Industri*, Diklat, Pekanbaru.
- Ahmad, A., Bahruddin, S.Z. Amraini dan D. Andrio, 2009, *Uji Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob Dalam Mengolah Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit dengan Beban Kejut*, Prosiding Seminar Nasional dan Kongres MAKSI 2012. 20 Juni 2009.
- 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.
- 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 WPCF. 1992, *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington DC.
- Benefield, L. D. dan C. W. Randall, 1980, *Biological Process Design For Wastewater Treatment*, Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs.
- Firdha, I. 2010. *Penentuan Waktu Tinggal Hidrolik Terhadap Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu*. Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau, Pekanbaru.
- Grady, Leslie dan Henry C. Lim., 1980, *Biological Wastewater Treatment: Theory and Application*, 2<sup>nd</sup> ed., Marcel Dekker, New York.
- 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.
- Kementrian Pertanian, 2013, *Laporan Data Kinerja Pembangunan Pertanian Tahun 2004-2012*, Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Keputusan Menteri KLH Nomor KEP 51/MENKLH/10/1995 tentang *Baku Mutu Limbah cair bagi Kegiatan Industri*.
- Lestari, A., 2012, *Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) Limbah Cair Sagu dan Produksi Biogas dengan Bioreakor Hibrid Anaerob pada Kondisi Start up*, Skripsi Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau.
- Luturkey, Y.A., 2011, *Uji Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Tandan Kosong dan Pelepah Sawit Dalam Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit*. Skripsi Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau.
- 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*, Prosiding ITB Sains & Tek. Vol. 35 A, No. 1, hal 19-31.