

Efisiensi Penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) Limbah Cair Pabrik Sagu Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob Dua Tahap Dengan Variabel Laju Pembebanan Organik

Phivi Andriza Sartunus¹⁾, Adrianto Ahmad²⁾, Syarfi²⁾

¹⁾ Mahasiswa Prodi Teknik Lingkungan, ²⁾ Dosen Teknik Kimia dan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas Km 12,5, Pekanbaru Kode Pos 28293
E-mail: ppieuntsa.andriza@yahoo.com

ABSTRACT

Sago industry has the potential to pollute the environment. This is because the concentration of COD contained in the sago industry environment quality standard that exceeds 55,000 mg / L. One way to lower the COD concentration is by using a hybrid anaerobic bioreactor two stages. The purpose of this study was to remove COD and determine the highest COD removal efficiency in wastewater treatment sago tunak Volume working conditions hybrid anaerobic bioreactor two stages used in this study was 10 L to 20 L the first stage bioreactor and the second stage in the bioreactor with variations of organic loading rate is 27.50 kgCOD / m³hari the first bioreactor and organic loading rate of 7.86 kgCOD / m³hari; 11 kgCOD / m³hari; 18.33 kgCOD / m³hari on the second stage bioreactor. Each organic loading rate is operated until steady state based on the data obtained COD. The results showed that most of COD removal efficiency was obtained in the operation of the organic loading rate of 27.50 kgCOD / m³hari amounted to 87.88% in the first stage bioreactor and organic loading rate of 7.86 kgCOD / m³hari amounted to 93.94% in the second stage bioreactor. The system of hybrid anaerobic bioreactor two stages mediated phase of this stone can be used as a technology that is used for treating wastewater effectively and efficiently sago.

Keywords: anaerobic bioreactor hybrid, COD, sago wastewater, two stages.

PENDAHULUAN

Sagu (*Metroxylon sp.*) merupakan salah satu alternatif pengganti beras yang merupakan sumber karbohidrat bagi penduduk Indonesia. Di Kabupaten Kepulauan Meranti, Riau sagu memiliki luas area penanaman sagu sebesar 47.172 ha [Wicahya dan Fikri, 2010]. Produksi sagu di Kabupaten Kepulauan Meranti dapat mencapai 450.000 ton/tahun [Riau Pos, 2012].

Sagu sering diolah masyarakat menjadi tepung sagu. Proses produksi tepung sagu menghasilkan limbah berupa limbah cair. Limbah cair berasal dari air yang digunakan dalam proses ekstraksi untuk menghasilkan pati sagu. 1 ton sagu yang akan diolah membutuhkan 20.000 liter air [Banu dkk, 2006]. Menurut Awg-Adeni dkk

[2010], 94% air yang digunakan dalam pengolahan sagu akan menjadi limbah cair. Karena dalam mengolah sagu ini membutuhkan banyak air, proses pengolahan sagu dilakukan di dekat sumber air seperti sungai. Limbah cair sagu yang berasal dari pabrik pengolahan sagu ini biasanya dibuang langsung ke sungai ataupun anak sungai [Amos, 2010].

Limbah cair yang memiliki kandungan bahan organik tinggi jika dibuang ke permukaan air akan menurunkan kualitas perairan dan mencemari lingkungan. Dampak yang akan terjadi yaitu terjadinya pembusukan pada permukaan air dan pada selang waktu tertentu akan mengeras sehingga menutupi permukaan air, akibatnya menghambat kontak

antara air dengan udara bebas sekitarnya yang akan mempengaruhi kehidupan biota di permukaan air tersebut. Terhambatnya kontak antara air dengan udara bebas akan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air, akhirnya akan mempengaruhi terhadap kehidupan biota yang ada di dalam air tersebut [Ahmad, 1992].

Pengolahan limbah sagu khususnya limbah cair sagu masih jarang ditemukan. Limbah cair sagu biasanya langsung dibuang ke sungai. Limbah cair sagu tersebut mengandung parameter lingkungan yang melebihi baku mutu. Salah satu parameter yang memiliki kandungan tinggi yaitu COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. COD merupakan kebutuhan oksigen kimia pada reaksi oksidasi terhadap air buangan.

Nilai COD yang terdapat dalam limbah cair sagu yaitu sebesar 55.000 mg/L. Nilai ini menunjukkan nilai COD melebihi baku mutu yakni 100-300 mg/L sesuai dengan baku mutu berdasarkan KepmenLH No. KEP 51/MENLH/10/1995.

Pengolahan secara biologi merupakan salah satu alternatif usaha untuk menanggulangi limbah cair pengolahan sagu. Bahan organik tinggi (COD > 4.000 mg/L) lebih tepat diolah dengan menggunakan pengolahan biologi secara anaerob [Syafila dkk, 2003]. Contoh pengolahan limbah cair secara anaerob yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap. Bioreaktor hibrid anaerob dua tahap merupakan dua buah bioreaktor yang disusun secara paralel dengan tiap bioreaktornya terdiri atas dua kompartemen yang berfungsi sebagai tempat komunitas bakteri anaerob tersuspensi dan tempat komunitas bakteri anaerob melekat.

Banu dkk [2006] telah melakukan penelitian limbah cair sagu menggunakan bioreaktor hibrid anaerob

bermedia plastik *ring* dengan volume 5,9 L yang dioperasikan dengan laju pembebanan organik 10,4-24,6 kg COD/m³hari. Efisiensi penyisihan COD terbesar yaitu 91% pada laju pembebanan organik 10,4 kg COD/m³hari. Kusuma [2012] juga telah melakukan 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 / m³ hari. Efisiensi penyisihan COD terbesar yaitu 90,2 % pada laju beban organik 12,5 kg COD/m³hari dengan waktu 28 hari. Sementara itu Ahmad dkk [2011] melakukan pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bermedia tandan kosong sawit dan pelepah sawit volume 4500 L. Efisiensi penyisihan COD yang diperoleh sebesar 84 % pada laju pembebanan organik 100 kg COD/m³hari dengan waktu 1,5 hari. Pada penelitian ini akan divariasikan laju pembebanan organik dan dengan menggunakan dua tahap. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan efisiensi penyisihan COD yang lebih besar pada limbah cair sagu dalam waktu yang singkat namun tetap ekonomis.

Bioreaktor ini memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang tumbuh dan berkembang melekat di atas media sehingga dapat menurunkan kandungan senyawa bahan organik yang terkandung dalam limbah cair [Ahmad dkk, 2011].

Tujuan dari penelitian ini adalah menyisihkan COD limbah cair sagu dan menentukan efisiensi penyisihan COD tertinggi pada pengolahan limbah cair sagu menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dengan memvariasikan laju pembebanan organik

METODA PENELITIAN

Metodologi penelitian yang diuraikan dibawah ini mencakup

karakteristik limbah cair, instalasi alat pengolah limbah cair sagu, kalibrasi pompa dan pengoperasian instalasi alat pengolah limbah cair sagu

2.1 Karakteristik Limbah Cair

Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair sagu dari Pabrik Sagu yang terletak di Desa Teluk Belitung, Kecamatan Merbau, Kabupaten Kepulauan Meranti Provinsi Riau dengan karakteristik seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Pabrik Sagu

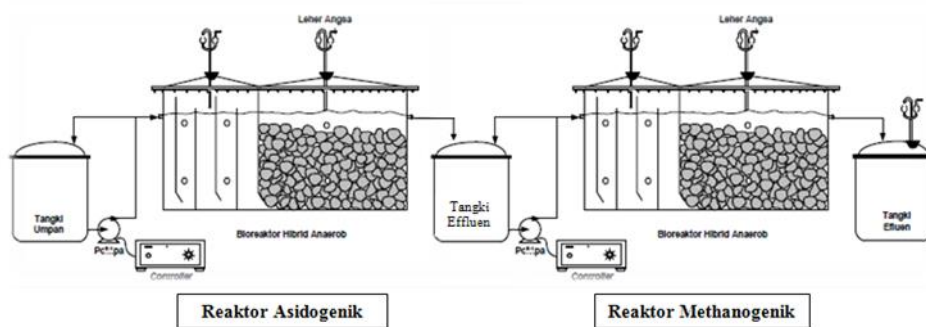
Parameter	Satuan	Nilai	BML
pH	-	5,1	6-9
COD	mg/L	55.000	100-300

Sumber : Penelitian ini

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

2.2 Instalasi Alat Pengolahan Limbah Cair Sagu

Alat utama yang digunakan pada penelitian ini adalah bioreaktor hibrid anaerob dua tahap (menyatukan sistem tersuspensi dan melekat) agar biomassa yang dihasilkan sedikit. Rangkaian alat bioreaktor hibrid anaerob dua tahap yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Rangkaian peralatan pengolahan limbah menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap bermedia batu

Dari Gambar 1. dapat dilihat bahwa Bioreaktor hibrid anaerob dua tahap terdiri dari dua buah reaktor anaerob yang disusun secara paralel dengan tiap bioreaktornya terdiri dari dua bagian yakni bagian pertama mempunyai dua kompartemen yang berfungsi sebagai tempat komunitas bakteri anaerob tersuspensi, sedangkan bagian kedua dilengkapi dengan media immobilisasi sel yang berfungsi sebagai tempat komunitas bakteri anaerob melekat.

Alat ini dilengkapi dengan pipa inlet, pipa outlet dan pipa aliran biogas ke wadah penampung. Batu dimasukkan ke dalam bagian yang tidak bersekat dengan ketinggian $\frac{3}{4}$ dari tinggi cairan. Kemudian pada bagian yang tersuspensi dan melekat dimasukkan kultur campuran yang terdiri dari kotoran sapi dan substrat berupa limbah cair sagu yang telah diaklimatisasi, sehingga volume reaktor efektif cairan 10 L pada bioreaktor tahap satu dan 20 L pada bioreaktor tahap dua. Lalu diinjeksikan

gas nitrogen ke dalam sistem melalui lubang yang telah tersedia pada bioreaktor selama 10 menit pada masing masing fase pertumbuhan tersuspensi dan melekat yang bertujuan untuk mengusir oksigen terlarut dalam cairan. Pola aliran mengikuti rezim di dalam sistem bioreaktor hibrid anaerob dua tahap.

Limbah cair sagu yang akan diolah dimasukkan ke dalam tangki umpan. Kemudian dengan menggunakan pompa limbah cair tersebut dialirkan menuju bioreaktor tahap satu dengan laju pembebanan organik 27,5 kg COD/m³hari atau sama dengan laju alir umpan 5 liter/hari. Aliran limbah cair sagu yang ada di dalam bioreaktor turun dan naik mengikuti sekat yang ada di dalam bioreaktor hibrid anaerob dua tahap dan aliran tersebut akan keluar menuju tangki *effluent*. Dari tangki *effluent* limbah cair sagu akan dipompakan kembali menuju bioreaktor tahap dua dengan laju pembebanan organik yang telah divariasikan. Pada bagian atas bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ini dilengkapi dengan leher angsa dan selang. Larutan garam diisi pada leher angsa agar dapat mencegah masuknya mikroorganisme pengganggu dari luar bioreaktor.

2.3 Pengoperasian Instalasi Pengolahan Limbah

a. Tahap *Start-up*

Selama proses start-up limbah cair pabrik sagu ditambahkan sebagai umpan sebanyak 18,3 kg COD/m³hari pada bioreaktor tahap satu dan 6,9 kg

COD/m³hari pada bioreaktor tahap dua yang bertujuan untuk membentuk lapisan biofilm. Sampel hasil keluaran bioreaktor diambil setiap hari, dan dianalisa pH, temperatur dan kandungan COD. Proses *start-up* dihentikan jika tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan nilai COD berfluktuasi 10%.

b. Tahap Kontinu

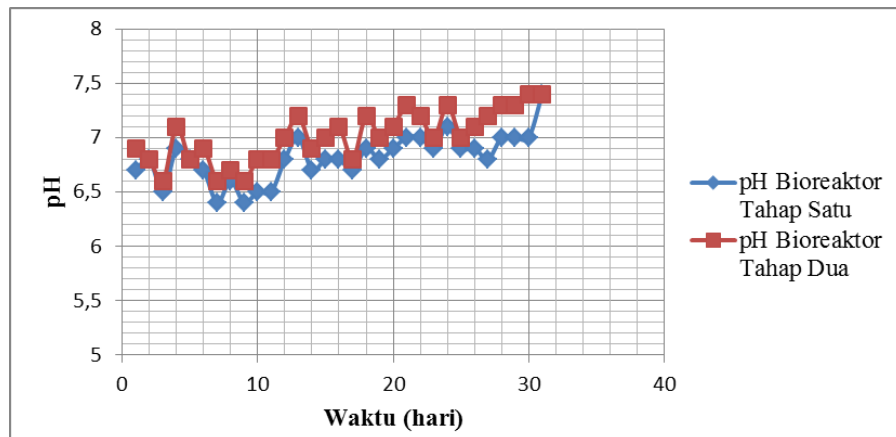
Setelah keadaan tunak tercapai selanjutnya bioreaktor dikondisikan pada kondisi lingkungan mikroorganisme dengan mengubah laju pembebanan organik. Proses kontinu ini bertujuan untuk melihat pengaruh laju pembebanan organik terhadap waktu serta kemampuan bioreaktor dalam mengolah limbah cair. Setiap laju pembebanan organik yang diberikan dilakukan *sampling* efluen bioreaktor sebanyak 500 mL setiap hari. Parameter yang diamati antara lain nilai COD. Laju pembebanan organik yang diberikan pada bioreaktor tahap satu tetap yaitu sebesar 27,5 kg COD/m³hari dan pada bioreaktor tahap dua divariasikan sebesar 7,84 kg COD/m³hari, 11 kg COD/m³hari, dan 18,43 kg COD/m³hari.

2.4 Analisa dan Pengolahan Data

Analisis COD dilakukan sesuai dengan *Standart methods for the Examination of water and wastewater* [APHA, AWWA, WFC,1992].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai pH yang diukur pada waktu *start-up* dapat dilihat pada Gambar 1.

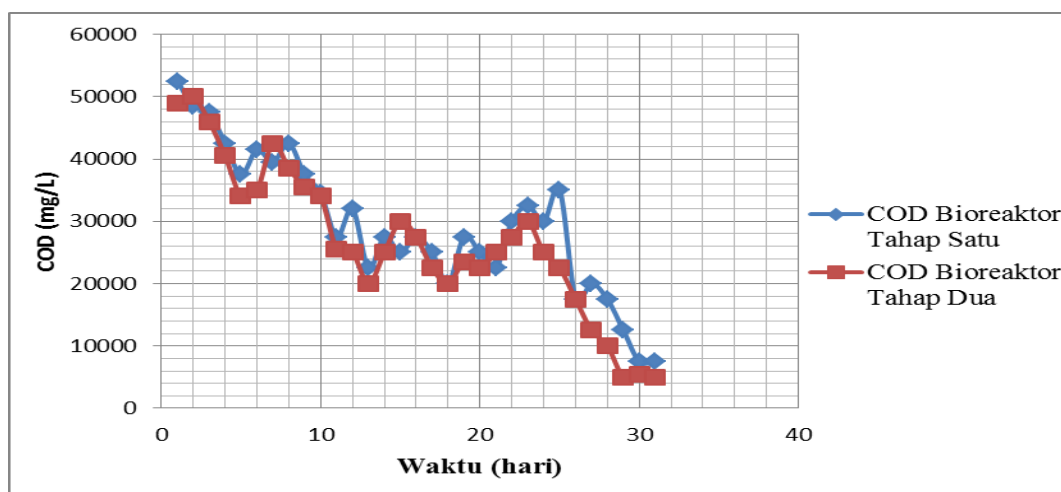


Gambar 1. Perubahan pH Selama *Start-Up*

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai pH berfluktuasi selama proses *start-up* mulai dari 6,4 – 7,4 pada bioreaktor tahap satu dan 6,6 – 7,4 pada bioreaktor tahap dua. 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, CO₂, dan gas H₂ sehingga akan mempengaruhi tingkat keasaman cairan secara keseluruhan [Ahmad, 1992]. Bakteri metanogen adalah yang bakteri yang sensitif terhadap perubahan pH. Rentang pH hidup bakteri metanogen adalah 6,4-7,8. Rentang pH bioreaktor ini berada dalam rentang pH hidup

bakteri metanogen. Selama proses *start-up* bioreaktor, fluktuasi nilai pH tidak dipengaruhi oleh peningkatan pembebanan organik [Ahmad, 1999].

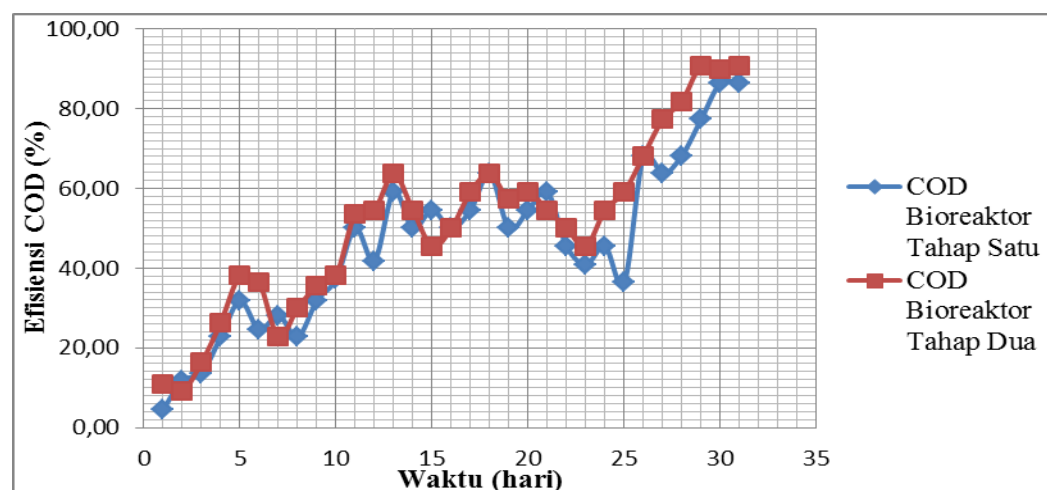
Pada tahap *start-up* digunakan limbah cair sagu dari pabrik pengolahan sagu dengan kadar COD sebesar 55.000 mg/L setiap hari untuk meningkatkan konsentrasi biomassa dan mempertahankan pertumbuhan biofilm pada media batu. Hubungan antara perubahan nilai COD *efluen* pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap terhadap waktu *start-up* ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Antara Waktu Terhadap Nilai COD Pada Tahap *Start-up*.

Gambar 2 menunjukkan perubahan nilai COD cenderung menurun. Menurut Ahmad [1992] bahwa selama masa *start-up* bioreaktor hibrid anaerob tetap dalam keadaan non tunak sampai *biofilm* berkembang secara penuh. Hasil pengamatan menunjukkan kondisi non tunak diperlihatkan dengan berfluktuasinya konsentrasi COD mulai dari hari pertama hingga hari ke-29. Setelah hari ke-29 fluktuasi konsentrasi COD relatif kecil. Menurunnya nilai COD pada tahap *start-up* dari 55.000 mg/L menjadi 5.000 mg/L terjadi dalam waktu 1 bulan. Penurunan ini membuktikan bahwa pembentukan lapisan mikroorganisme pada media melekat berlangsung, dengan diikuti degradasi senyawa-senyawa organik kompleks yang menghasilkan gas metan

dan CO₂. Pendegradasian senyawa organik ini akan mempengaruhi nilai COD yang dihasilkan. Dari hasil pengamatan menunjukkan konsentrasi COD efluen pada keadaan tunak (*steady state*) sebesar 9.167 mg/L pada bioreaktor tahap satu dan 5.167 mg/L pada bioreaktor tahap dua. Dibandingkan dengan penelitian Kusuma [2012] yang menggunakan bioreaktor hibrid anaerob media batu dan limbah cair sagu sebagai substrat didapatkan nilai COD terendah sebesar 7.500 mg/L dengan lama waktu *start up* 59 hari, penelitian ini lebih baik karena mendapatkan nilai COD yang lebih rendah dan dalam waktu yang lebih singkat. Efisiensi penyisihan COD pada tahap *start-up* dapat dilihat pada Gambar 3

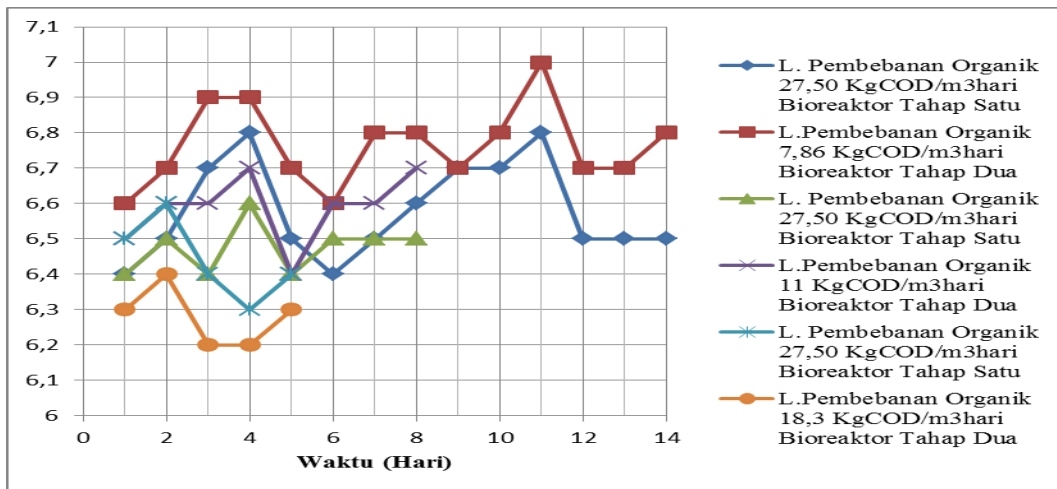


Gambar 3. Efisiensi Penyisihan COD pada Tahap *Start-up*

Dari gambar 3 dapat dilihat bahwa efisiensi penyisihan COD terbesar yaitu 81,82% pada bioreaktor tahap satu dan 90% pada bioreaktor tahap dua dengan lama waktu 31 hari. Hubungan ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu proses maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam limbah cair berlangsung dengan baik dikarenakan terjadinya waktu kontak yang lama antara mikroorganisme dengan limbah

cair sebagai substrat. Dibandingkan dengan penelitian Banu dkk [2006] yang telah mengolah limbah cair sagu sintetik dengan media *plastic rings* didapatkan nilai efisiensi penyisihan COD terbesar adalah 83% dengan lama waktu *start-up* yaitu 120 hari, efisiensi penyisihan COD pada penelitian ini lebih besar dan dengan waktu yang lebih singkat.

Nilai pH yang diukur pada tahap kontinu dapat dilihat pada Gambar 4.

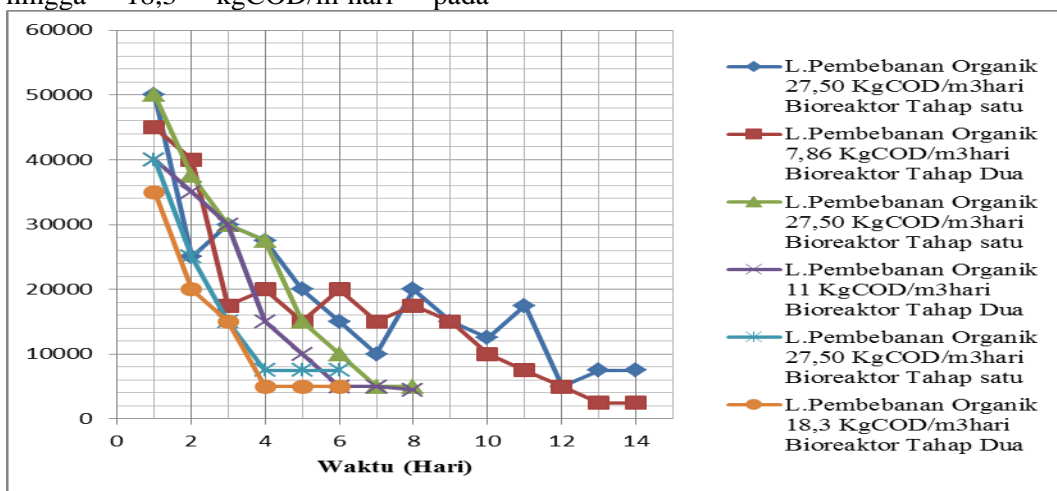


Gambar 4 Perubahan pH Selama Tahap Kontinu

Berdasarkan Gambar 4 di atas dapat dilihat bahwa terjadi perubahan nilai pH pada setiap laju pembebanan organik selama 14 hari. 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 7,86 kgCOD/m³hari hingga 18,3 kgCOD/m³hari pada

bioreaktor tahap dua adalah berkisar dari pH 7 hingga 6,2. Sedangkan pada bioreaktor tahap satu dengan laju pembebanan organik yang tetap yaitu 27,50 kgCOD/m³hari menunjukkan penurunan nilai pH berkisar dari pH 6,8 hingga 6,4.

Hubungan antara perubahan nilai COD efluen pada bioreaktor hibrid anaerob dua tahap terhadap waktu pada tahap kontinu ditampilkan dalam Gambar 5.



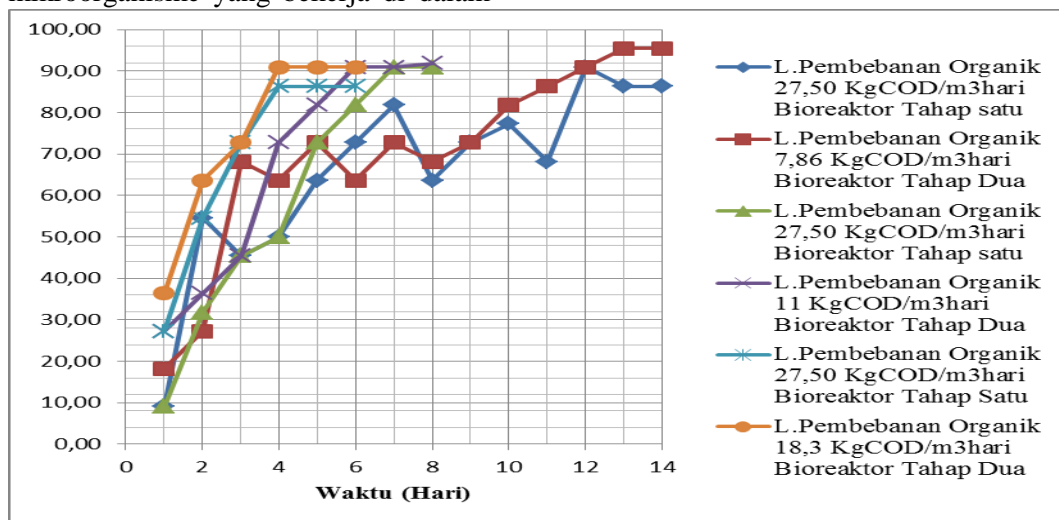
Gambar 5 Hubungan Antara Waktu Terhadap Nilai COD Pada Tahap Kontinu

Gambar 5 menunjukkan perubahan nilai COD cenderung menurun. Nilai COD pada tahap kontinu dengan menggunakan laju alir 27,50

kgCOD/m³hari pada bioreaktor tahap satu dan 7,86 kgCOD/m³hari; 11 kgCOD/m³hari; dan 18,3 kgCOD/m³hari pada bioreaktor tahap dua turun dari

55.000 mg/L menjadi 3333 mg/L. Penurunan nilai COD ini terjadi dalam waktu yang berbeda-beda pada setiap laju pembebanannya. Nilai COD terendah terdapat pada laju pembebanan organik 7,86 kgCOD/m³hari (WTH 7 hari) selama 14 hari. Nilai ini menandakan bahwa zat – zat organik yang terdapat dalam limbah hampir seluruhnya dapat didegradasi oleh mikroorganismenya 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 mikroorganismenya juga semakin lama sehingga degradasi senyawa organik (penurunan COD) menjadi paling besar. Efisiensi penyisihan COD pada tahap kontinu dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Efisiensi Penyisihan COD pada Tahap Kontinu

Gambar 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 mikroorganismenya dengan limbah cair sebagai substratnya cukup lama. Berdasarkan hasil pengamatan, efisiensi penyisihan COD terbesar terjadi pada

laju pembebanan organik 7,86 kgCOD/m³hari (WTH 7 hari) yaitu 93,94% pada bioreaktor tahap satu dan 87,88% pada bioreaktor tahap dua pada hari ke-14.

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.

Jenis Bioreaktor	Limbah Cair	Laju pembebanan organik (kgCOD/m ³ hari)	Eff penyisihan COD (%)	Pustaka
BHA	Sawit	12	90,2	Ahmad dkk (2011)
BHA	Sagu Sintetik	10,4	91	Banu dkk (2006)
BHA	Sagu	12,5	90	Kusuma dkk (2012)
BHA dua tahap	Sagu	7,86	93,94	Penelitian Ini

Keterangan:

BHA = Bioreaktor Hibrid Anaerob

Tabel 2 menunjukkan bahwa kinerja bioreaktor hibrid anaerob dua tahap memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor hibrid anaerob. Bioreaktor hibrid anaerob hanya mampu menyisihkan COD sebesar 90 % pada laju pembebanan organik 12,5 kgCOD/m³hari selama 29 hari, sedangkan bioreaktor hibrid anaerob dua tahap pada penelitian ini mampu menyisihkan COD sebesar 93,94 % pada laju pembebanan organik 7,86 kgCOD/m³hari. Meskipun laju pembebanan organik bioreaktor hibrid anaerob dua tahap ini lebih kecil dari bioreaktor hibrid sebelumnya, bioreaktor tahap satu ini tetap memiliki kelebihan yakni waktu penyisihan yang lebih cepat yaitu selama 14 hari. Hal ini membuat pengolahan limbah cair sagu menjadi lebih efektif. Dengan demikian, bioreaktor hibrid anaerob dua tahap mampu digunakan untuk biokonversi limbah cair pabrik sagu menjadi bahan bakar gas dengan beban COD tinggi.

KESIMPULAN

1. Kondisi tunak (*steady state*) tahap *start-up* tercapai setelah 31 hari.
2. Nilai efluen terendah tahap *start-up* sebesar 9.167 mg/L pada bioreaktor tahap satu dan 5.167 mg/L pada bioreaktor tahap dua.
3. Efisiensi penyisihan COD tertinggi tahap *start-up* sebesar

83,33% pada bioreaktor tahap satu dan 90,61% pada bioreaktor tahap dua dengan laju pembebanan organik 27,50 kgCOD/m³hari.

4. pH operasi pada tahap kontinu berkisar antara 6,4-6,8 pada bioreaktor tahap satu dan pH operasi 6,6-7 pada bioreaktor tahap dua.
5. Kondisi tunak (*steady state*) tahap kontinu tercapai setelah 14 hari.
6. Penyisihan COD tertinggi tahap kontinu sebesar 6,75 kgCOD/m³hari pada bioreaktor tahap satu dengan laju pembebanan organik 7,86 kgCOD/m³hari dan 24,17 kgCOD/m³hari pada bioreaktor tahap dua dengan laju pembebanan organik 27,50 kgCOD/m³hari.
7. Efisiensi penyisihan COD tertinggi tahap kontinu sebesar 87,88% pada bioreaktor tahap satu dengan laju pembebanan organik 27,50 kgCOD/m³hari dan 93,94% pada bioreaktor tahap dua dengan laju pembebanan organik 7,86 kgCOD/m³hari.

SARAN

Beberapa hal yang disarankan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Perlu dilakukan penambahan jumlah variasi laju pembebanan organik untuk penelitian selanjutnya.

2. Perlu dilakukan identifikasi bakteri yang terlibat selama proses penyisihan COD.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, Keluarga, Bapak Prof. Dr. H. Adrianto Ahmad, MT, Bapak Ir, Syarfi, MT, teman sepenelitian Resarizki Utami, Apriadi Rio, Riki Rahmadhan, teman-teman prodi teknik lingkungan dan jurusan teknik kimia yang telah memberikan bantuan tenaga, semangat maupun pengetahuan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A., 1992, *Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap dalam Mengolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit*, Pusat Antar Universitas-Bioteknologi, Institut Teknologi 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*. Prosiding Teknik Kmia Soehadi Reksowardojo, Bioteknologi ITB, Bandung.
- Ahmad, A., M. Atikalidia, dan Syarfi, 2011, Penyisihan Chemical Oxygen Demand (COD) dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit, *Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*, ISSN 1693 – 4393
- Amos, 2010, *Dampak Limbah Pengolahan Sagu Skala Kecil Terhadap Mutu Air Anak Sungai di Kelurahan Cibuluh Bogor*, 12(5), 29
- Awg-Adeni, D.S., S. Abd-Aziz., K. Bujang dan M.A. Hassan., 2010. *Bioconversion of Sago Residue Into Value Added Products*”, *African Journal of Biotechnology* Vol. 9 (14). Hal 2016-2012.
- APHA, AWWA dan WCPF., 1992. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington DC.
- Banu, J.R., S. Kaliappan, dan D. Beck, 2006, *Treatment of Sago Wastewater Using Hybrid Anaerobic Reactor*, *Water Qual. Res. J. Canada*, 2006 Volume 41, No. 1, 56–62
- Bioreaktor Hibrid Anaerob bermedia Batu, *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*, Universitas Riau.
- Keputusan Menteri LH, Nomor KEP 51/MENLH/10/1995 tentang *Baku Mutu Limbah cair bagi Kegiatan Industri*.
- Lestyana Kusuma, Yatri, 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.
- Riaupos, 2012, Meranti Penghasil Sagu Terbesar Ketiga di Dunia, <http://www.riapos.com>, 28 April 2012.
- Syafila, M, A. H. Djadjadiningrat, 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.
- Wicahya, I., dan D.R.A. Fikri, 2010, *Pengembangan Energi Terbarukan Melalui*

*Pemanfaatan Sumber Daya
Alam Indonesia Sebagai Upaya
Peningkatan Ketahanan Energi*

*Nasional, Lomba Rancang
Pabrik Tingkat Nasional.*