

Penyisihan *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Adrianto Ahmad, Syarfi, Melissa Atikalidia

Laboratorium Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau
Jl. HR Subrantas Km 12,5 Kampus Bina Widya Panam Pekanbaru 28293
Email : adri@unri.ac.id

Abstract

Processing liquid waste oil industry has reached concentration of COD 60.000 mg / L. If discharged directly into water bodies can contaminate the environment because of the quality standard set by the government through Ministerial Decree No. 51 of 1995 Environment is the COD value of 350 mg / L. This research aims to reduce levels of COD in wastewater using hybrid anaerobic bioreactors combine 2 patterns of growth of microorganisms that is suspended insulated section and attached growth using palm shell as a medium of cell immobilization. Sampling was conducted in 2 phases. The first stage start-up are performed with organic loading rate of 12 kgCOD/m³ days. The second stage is a hybrid anaerobic continuous bioreactor with variable organic load 12; 15; 20; 30 and 60 kgCOD/m³hari, with a working volume of bioreactor, 11.34 L / day. The results showed that the removal efficiency of each of the organic load is 90,2; 89,1; 88.6, 85 and 85% respectively and the production of biogas in their respective organic load reached 340, 490, 320, 340 and 230 mL. The results obtained at optimum efficiency of COD organic loading 20 kgCOD/m³ day, while biogas production on organic load 15 kgCOD/m³. As such it deserves a hybrid bioreactor used for wastewater treatment plant oil.

Keywords: Anaerobes, COD removal, hybrid bioreactor, palm shell, wastewater palm oil

Pendahuluan

Permintaan akan minyak sawit Indonesia di pasar internasional semakin meningkat setiap tahunnya. Laju permintaan konsumsi dan ekspor kelapa sawit untuk menghasilkan minyak sawit naik hingga tahun 2007 mencapai 4,105 dan 12,65 juta ton (Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2008). Tingginya kebutuhan minyak sawit Indonesia mendorong pihak produsen untuk meningkatkan produksi industri minyak sawit seoptimal mungkin. Pengembangan industri minyak kelapa sawit ini menyerap banyak tenaga kerja, namun disisi lain menimbulkan limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan. Setiap ton minyak sawit yang dihasilkan akan mengeluarkan limbah cair sebanyak 2,5 m³ (Ahmad, 2003), berarti untuk mencapai produksi minyak sawit sebesar 17,1 juta ton akan menghasilkan 42,75 juta m³ limbah cair. Data ini menunjukkan betapa besarnya beban yang ditanggung oleh lingkungan akibat pencemaran lingkungan karena karakteristik limbah cair tersebut mengandung COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang sangat tinggi berkisar 47.165-49.765 mg/L (Firmansyah & Saputra, 2001). Sementara itu baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah RI melalui

KEPMEN LH No.51 tahun 1995 adalah nilai COD sebesar 350 mg/L dan BOD₅ 100 mg/L.

Untuk mengatasi hal itu telah dikembangkan modifikasi proses pengolahan anaerob yang dilakukan dengan menggabungkan pertumbuhan biomassa melekat dan tersuspensi di dalam satu bioreaktor yang disebut sebagai reaktor hibrid. Bioreaktor hibrid anaerob adalah bioreaktor pengolahan limbah cair yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan senyawa di dalam limbah cair industri. Bioreaktor hibrid anaerob merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Sistem bioreaktor hibrid ini mampu memperkecil kehilangan biomassa, sehingga limbah cair pabrik kelapa sawit yang diolah menggunakan bioreaktor hibrid ini memiliki nilai COD yang lebih rendah dari keadaan semula. Media imobilisasi yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya antara lain : batu, pelepah sawit, tandan kosong sawit dan bambu. Peneliti menggunakan media batu (Syafila dkk, 2003) dan (Firdha, 2010) menghasilkan efisiensi penyisihan COD sebesar 55 % dan 90 %,

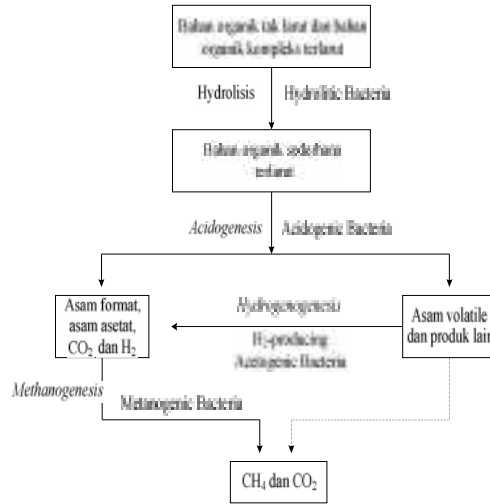
sedangkan (Luturkey dkk, 2010) menghasilkan efisiensi penyisihan COD sebesar 84 % untuk media pelepah sawit dan 82,6 % untuk media tandan kosong sawit. Namun demikian hasilnya belum memuaskan sehingga penting dilakukan penelitian dengan menggunakan cangkang sawit sebagai media imobilisasi sel dalam bioreaktor hibrid anaerob. Makalah ini bertujuan untuk menentukan efisiensi COD optimal dan produksi biogas tertinggi.

Landasan Teori

Limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit merupakan limbah cair yang berupa *palm oil mill effluent* (POME) yang berasal dari air kondensat pada proses sterilisasi sebesar 15-20%, air dari proses klarifikasi & sentrifugasi sebesar 40-50%, dan air dari proses *hydrocyclone* (*claybath*) sebesar 9-11% (Anonim, 2008).

Limbah cair pabrik kelapa sawit umumnya bersuhu tinggi, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang tinggi (Siregar, 2009). Limbah cair juga bersifat asam dengan pH 3,5-5 (Ahmad, 2004). Dengan nilai COD yang tinggi dan kisaran pH yang rendah ini, mengakibatkan terjadinya pencemaran lingkungan bila limbah cair minyak sawit langsung dibuang ke lingkungan. Pembuangan limbah tanpa pengolahan dapat meningkatkan COD dan mengurangi jumlah oksigen yang ada di badan air penerima, selain itu derajat keasaman badan air akan semakin rendah, akibatnya ekosistem lingkungan menjadi rusak.

Proses anaerob merupakan proses yang kompleks dengan melibatkan berbagai kelompok bakteri. Keterlibatan antara kelompok ini saling menguntungkan satu sama lainnya karena tidak terjadi saling kompetisi antara kelompok dalam rangka pemanfaatan nutrisi atau substrat. Masing-masing kelompok bakteri yang terlibat mempunyai substrat tertentu antara lain kelompok bakteri hidrolitik hanya memanfaatkan substrat berupa senyawa organik dengan molekul besar seperti karbohidrat, protein dan minyak lemak, kelompok bakteri asidogen hanya dapat memanfaatkan substrat yang lebih sederhana dengan molekul organik penguraian dari sebelumnya, sedangkan bakteri astogen hanya memanfaatkan asam organik rantai sedang. Selanjutnya produk akhir dari kelompok bakteri pembentuk asam berupa asam asetat akan dimanfaatkan oleh bakteri metanogen asetatotrof untuk membentuk gas metan sedangkan gas yang dihasilkan berupa gas CO₂ dan H₂ akan dimanfaatkan oleh kelompok bakteri metanogen hidrogenotrof untuk membentuk gas metan. Tahap proses ini dapat dilihat pada Gambar 1 (Grady dan Lim, 1980)



Gambar 1. Lintasan Degradasi Senyawa Organik Kompleks dalam Proses Anaerob

Pengolahan limbah secara anaerob merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerob tanpa kehadiran oksigen menjadi biogas yang terdiri dari CH₄ (50-70%) dan CO₂ (25-45%), serta N₂, H₂, H₂S dalam jumlah kecil. Proses anaerob umumnya digunakan untuk mengolah limbah cair dengan COD di atas 4000 mg/l (Syafila dkk, 2003).

Pengolahan limbah cair pabrik minyak sawit pada penelitian ini dilakukan secara kontinu dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit. Bioreaktor hibrid anaerob adalah bioreaktor pengolahan limbah cair yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan zat organik di dalam limbah cair pabrik.

Bioreaktor hibrid memiliki dua pola pertumbuhan mikroorganisme, yaitu pola pertumbuhan tersuspensi dan pola pertumbuhan melekat. Sistem pertumbuhan tersuspensi, mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam fasa cair (Syafila dkk, 2003). Pada bagian ini terdapat *baffle* yang berfungsi untuk memperlambat substrat melewati bagian ini. Sedangkan di dalam sistem pertumbuhan melekat, mikroorganisme tumbuh dan berkembang melekat di atas media pendukung dengan membentuk lapisan *biofilm*. Bagian melekat ini prinsip pengolahannya sama seperti *fixed bed*. Desain ini memiliki kelebihan dalam mempertahankan konsentrasi biomasa dengan jumlah yang tinggi di dalam reaktor sehingga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pengolahan air buangan (Malia, 2009), dimana efisiensi dilihat dari selisih nilai COD limbah cair yang akan diolah (umpan) dengan nilai COD limbah cair yang telah diolah (efluen). Beberapa peneliti terdahulu menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD dengan bervariasi waktu tinggal hidrolitik

yang cukup tinggi dengan sistem anaerob. Stover (1993), melaporkan bahwa penggunaan bioreaktor hibrid anaerob dalam pengolahan limbah cair pabrik dengan kadar COD yang sangat tinggi didapatkan besarnya penyisihan COD sebesar 90%. Syafila dkk, (2003) mengolah limbah molase menggunakan bioreaktor hibrid anaerob dengan WTH 1 hari 6 jam, dimana penyisihan COD yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah 55%. Sedangkan Ahmad dkk (2003), yang mengolah limbah minyak dan lemak dengan menggunakan bioreaktor berpenyekat anaerob dengan WTH 3 hari 8 jam, mampu menyisihkan COD sebesar 88,6 %. Dipandang dari segi nilai ekonomi, bioreaktor hibrid anaerob berpeluang besar untuk digunakan sebagai salah satu unit biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit skala industri dikarenakan rancang bangun sederhana, murah dan mudah pengoperasiannya serta lahan yang dibutuhkan relatif kecil.

Metodologi

Metoda penelitian yang diuraikan di bawah ini mencakup karakteristik limbah cair, bioreaktor hibrid anaerob dan 2 tahapan penelitian yakni *start-up* bioreaktor dan kontinu bioreaktor.

Karakteristik Limbah Cair

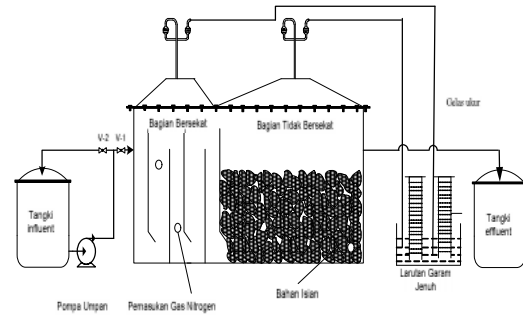
Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah cair pabrik minyak sawit PTPN V Sei. Pagar dengan karakteristik seperti ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Minyak Sawit PTPN V Sei. Pagar

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	5,6
Chemical Oxygen Demand (COD)	mg/L	60.000

Bioreaktor Hibrid Anaerob

Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai volume kerja 11,34 L. Bioreaktor terdiri dari 2 pola pertumbuhan, tersuspensi dibagian bersekat dengan volume 4,6 L dan pertumbuhan melekat menggunakan cangkang sawit sebagai media imobilisasi sel dengan volume 6,74 L. Media padat tempat melekat mikroorganisme diisikan sebanyak $\frac{3}{4}$ tinggi cairan sampai tinggi cairan sama dengan bagian tersuspensi Bioreaktor hibrid anaerob secara rinci ditampilkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Peralatan Pengolahan Limbah Cair

Gambar 2 di atas menunjukkan bahwa penyekat-penyekat dipasang secara vertikal memaksa agar aliran limbah cair yang masuk dari bagian atas mengalir sesuai dengan bentuk pola aliran di dalam ruang. Perjalanan aliran limbah cair tersebut kembali memaksa melewati bagian atas penyekat dan begitu seterusnya sehingga mengalir keluar dari bioreaktor. Bakteri anaerob di dalam bioreaktor cenderung terangkat dan terendapkan kembali akibat terbentuk biogas selama proses biokonversi secara anaerob. Kemudian sampel akan keluar menuju tangki efluen.

Tahap *Start-up* Bioreaktor Hibrid Anaerob

Start-up bioreaktor dilakukan pada dua unit bioreaktor yang mempunyai ukuran dan desain yang identik. Kondisi operasi bioreaktor selama *start-up* dilakukan pada suhu ruang dan pH 6,8 – 7,4. Pada bagian tersuspensi diisi bibit aklimatisasi sebanyak 4,6 L sampai batas sekat, dan pada bagian melekat diisi cangkang sawit sebagai media melekat mikroorganisme dimasukkan $\frac{3}{4}$ tinggi cairan sampai tinggi cairan sama dengan bagian tersuspensi. Sistem dibiarkan selama 3 hari dengan tujuan untuk mendapatkan biomassa dari kultur campuran. Selama proses *start-up* dialirkan umpan limbah cair pabrik kelapa sawit sebanyak 11,34 L per hari dan diresirkulasi yang bertujuan untuk menaikkan dan menahan pertumbuhan *biofilm*. Pada bagian atas bioreaktor hibrid anaerob tersebut dilengkapi dengan leher angsa dan selang yang menuju ke tabung penampungan biogas. Hasil selama proses *start-up* di tampung dan dipisahkan sebanyak 200 mL tiap prosesnya. Sampel hasil keluaran bioreaktor di Analisis nilai COD dan produksi biogas. Proses *start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*), yaitu nilai COD dengan fluktuasi 10 % (Ahmad, 2003).

Tahap Kontinu Bioreaktor Hibrid Anaerob

Setelah keadaan tunak tercapai, selanjutnya dilakukan variasi terhadap beban organik yang diumpangkan yaitu 60; 30; 20; 15; dan 12 kgCOD/m³.hari Tujuan dari peningkatan beban organik tersebut adalah untuk mengetahui kinerja

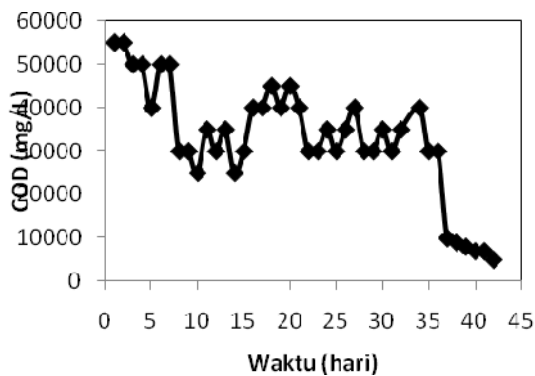
optimal bioreaktor dalam menyisihkan senyawa-senyawa organik. Parameter yang diamati antara lain nilai COD dan produksi biogas. Analisa COD dilakukan sesuai dengan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WCF, 1992). Pengambilan sampel dilakukan setiap hari.

Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian yang dipaparkan antara lain : hubungan antara nilai COD dan produksi biogas terhadap waktu *start-up*; variasi beban organik yang ditampilkan dengan melihat hubungan antara nilai COD beserta persentase efisiensi penyisihannya dan produksi biogas terhadap waktu pada proses kontinu bioreaktor hibrid anaerob. Hasil ditampilkan dalam bentuk grafik.

Nilai COD Pada Tahap *Start-up*

Hubungan antara perubahan nilai COD efluen pada bioreaktor hibrid anaerob terhadap waktu *start-up* ditampilkan dalam Gambar 3. Pada tahap *start-up* digunakan limbah cair dari pabrik dengan kadar COD sebesar 60.000 mg/L setiap hari untuk meningkatkan konsentrasi biomassa dan mempertahankan pertumbuhan biofilm pada media cangkang sawit.



Gambar 3. Hubungan Antara Waktu Terhadap Nilai COD Pada Tahap *Start-up* Bioreaktor

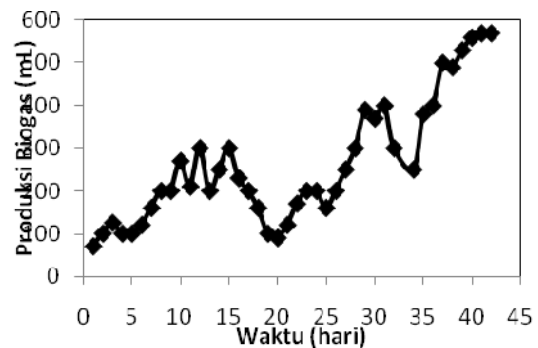
Gambar 3. dapat dilihat bahwa perubahan nilai COD cenderung menurun dan berfluktuasi. Menurut (Ahmad, 1992) bahwa selama masa *start-up* bioreaktor anaerob tetap dalam keadaan non tunak sampai biofilm berkembang secara penuh. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa kondisi non tunak diperlihatkan dengan berfluktuasinya konsentrasi COD mulai dari hari pertama hingga hari ke-36. Setelah hari ke-36 fluktuasi konsentrasi COD relatif kecil. Menurunnya nilai COD pada tahap *start-up* dari 55.000 mg/L menjadi 7.000 mg/L terjadi dalam waktu 1,5 bulan. Penurunan ini membuktikan bahwa pembentukan lapisan mikroorganisme pada media

melekat berlangsung diikuti dengan degradasi senyawa-senyawa organik kompleks yang menghasilkan gas metan dan CO₂. Pendegradasian tersebut akan mempengaruhi terhadap nilai COD yang dihasilkan, berarti jika nilai COD rendah menunjukkan kandungan senyawa organik didalam air buangan akan rendah juga.

Proses dapat dikatakan telah selesai apabila kondisi tunak (*steady state*) telah tercapai yakni nilai COD menunjukkan fluktuasi 10%. Pada hari ke-38, ke-39, dan ke-40, nilai COD menunjukkan fluktuasi 10 %, yaitu sebesar 9000 mg/L, 8000 mg/L dan 7000 mg/L. Bila ditinjau efisiensi penyisihan COD selama proses *start-up* akan didapatkan hasil sebesar 88,3 %.

Produksi Biogas Pada Tahap *Start-up*

Hubungan antara waktu *start-up* terhadap produksi biogas pada bioreaktor hibrid anaerob ditampilkan dalam Gambar 4..



Gambar 4. Hubungan antara Waktu Terhadap Produksi Biogas *Start-up* Bioreaktor

Dari Gambar 4. menunjukkan bahwa produksi biogas pada tahap *start-up* cenderung mengalami kenaikan yang berfluktuasi. Pada awal pengolahan (hari 1-36 *start-up*) relatif rendah karena degradasi senyawa organik berlangsung sedikit, ini digambarkan dengan rendahnya nilai COD. Hari ke-37 sampai ke-42, peningkatan biogas relatif konstan. Produksi biogas pada keadaan tunak dicapai sebesar 567 mL/hari. Bila dibandingkan bioreaktor hibrid anaerob dengan bioreaktor unggul fluidisasi Ahmad, (1992) menghasilkan produksi biogas sebesar 20,9 L/hari dalam waktu 70 hari. Sementara dengan menggunakan bioreaktor berpenyekat anaerob Ahmad, (2001) menghasilkan produksi biogas sebesar 1800 mL/hari dalam waktu 47 hari. Ini membuktikan bahwa degradasi senyawa-senyawa organik oleh bakteri metanogenik akan menghasilkan biogas (CH₄ dan CO₂).

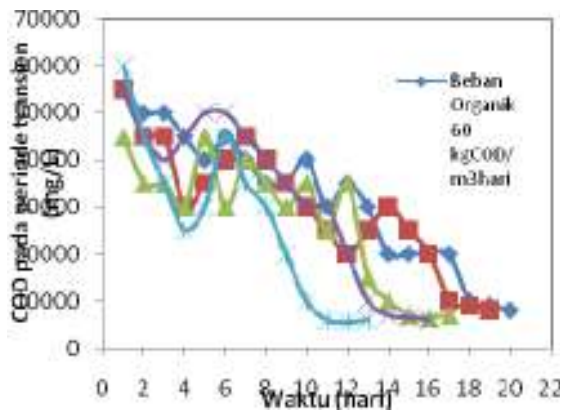
Tahap Kontinu Bioreaktor Hibrid Anaerob

Pengamatan pada tahap kontinu bioreaktor hibrid anaerob meliputi hubungan masing-masing beban

organik pada nilai COD periode transien terhadap waktu, penyisihan COD, efisiensi penyisihan COD serta produksi biogas.

Nilai COD pada Periode Transien Terhadap Masing-masing Beban Organik

Nilai COD selama masa kontinu dengan masing-masing beban organik menunjukkan kecenderungan menurun dan berfluktuasi (lihat Gambar 5.). Peningkatan beban organik yang besar terhadap bioreaktor dapat mempengaruhi konsentrasi COD di dalam sistem secara signifikan. Hal ini dapat terjadi karena peningkatan beban organik menimbulkan peningkatan kandungan/senyawa-senyawa organik yang terukur sebagai COD yang ada dalam limbah cair, sedangkan limbah cair yang diumpungkan mengandung konsentrasi yang tinggi sebesar 60.000 mg/L.



Gambar 5. Hubungan Waktu Pada Masing-masing Beban Organik Terhadap Nilai COD Pada Periode Transien

Gambar 5. menunjukkan bahwa hubungan nilai COD pada periode transien terhadap waktu pada masing-masing beban organik memiliki kecenderungan menurun. Pada beban organik 12 kgCOD/m³hari nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar 5833 mg/L dengan waktu 13 hari. Pada beban organik 15 kgCOD/m³hari nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar 6500 mg/L dengan waktu 16 hari. Pada beban organik 20 kgCOD/m³hari nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar 6833 mg/L dengan waktu 17 hari. Pada beban organik 30 kgCOD/m³hari nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar 9000 mg/L dengan waktu 19 hari. Sedangkan pada beban organik 60 kgCOD/m³hari nilai COD mengalami penurunan sampai keadaan tunak sebesar 9000 mg/L dengan waktu 20 hari. Penurunan nilai COD tidak terlalu berbeda jauh setiap beban organiknya, nilai tertinggi didapatkan pada beban organik 12 kgCOD/m³hari

(WTH 5 hari), namun penurunan nilai COD hasil terbaik dengan menghitung kesalahan relatif terkecil terjadi pada beban organik 20 kgCOD/m³hari (WTH 3 hari). Analisis kondisi tunak masing-masing beban organik dapat juga dilihat di Tabel 2.

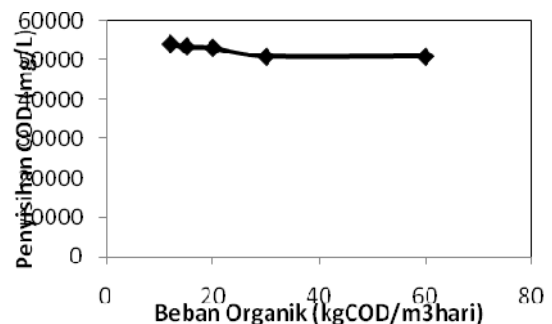
Tabel 2. Analisis Kondisi Tunak COD Efluen, Penyisihan COD dan Produksi Biogas Pada Masing-masing Beban Organik

Parameter	Satuan	Laju Pembebanan Organik (kgCOD/m ³ hari)				
		12	15	20	30	60
COD Efluen	mg/L	5833	6500	6833	9000	9000
Penyisihan COD	mg/L	54167	53500	53167	51000	51000
% Efisiensi Penyisihan COD	-	90,2	89,1	88,6	85	85
Produksi Biogas	mL	340	490	320	340	230

Bila dibandingkan dengan sistem yang sama bioreaktor hibrid anaerob namun berbeda media melekat Firdha, (2010) menggunakan media batu mendapatkan hasil hubungan nilai COD terhadap WTH menurun pada WTH 4 hari yang lebih tinggi dibandingkan pada WTH lainnya. Penurunan ini menandakan bahwa zat-zat organik yang ada didalam limbah hampir seluruhnya dapat didegradasi oleh mikroorganisme yang bekerja di dalam bioreaktor hibrid anaerob. Makin 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 (Ambar dkk, 2004).

Pengaruh Beban Organik Terhadap Penyisihan COD Pada Tahap Kontinu

Hubungan laju pembebanan organik dalam penyisihan COD limbah cair pabrik kelapa sawit dapat dilihat pada Gambar 6.

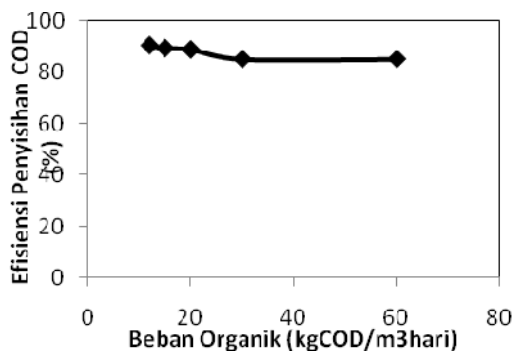


Gambar 6. Hubungan Beban Organik terhadap Penyisihan COD

Gambar 6. menunjukkan bahwa penyisihan COD secara umum menurun dengan meningkatnya laju pembebanan organik. Penurunan COD menunjukkan bahwa mikroorganisme bekerja dengan baik sehingga proses dapat berlangsung karena dapat mendegradasi/menyisihkan senyawa-senyawa organik di dalam limbah cair. Pada laju pembebanan organik 60 kgCOD/m³hari didapatkan penyisihan COD sebesar 51 kgCOD/m³hari, pada pembebanan organik 30 kgCOD/m³hari didapatkan penyisihan COD sebesar 25,5 kgCOD/m³hari, pada pembebanan organik 20 kgCOD/m³hari didapatkan penyisihan COD sebesar 17,72 kgCOD/m³hari, pada pembebanan organik 15 kgCOD/m³hari didapatkan penyisihan COD sebesar 13,375 kgCOD/m³hari serta pembebanan organik 12 kgCOD/m³hari didapatkan penyisihan COD sebesar 10,833 kgCOD/m³hari. 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.

Pengaruh Beban Organik Terhadap Efisiensi Penyisihan COD Selama Proses Kontinu

Besarnya efisiensi penyisihan COD limbah cair pabrik sawit dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit pada beban organik 12; 15; 20; 30 dan 60 kgCOD/m³hari selama proses kontinu dapat dilihat Gambar 7.



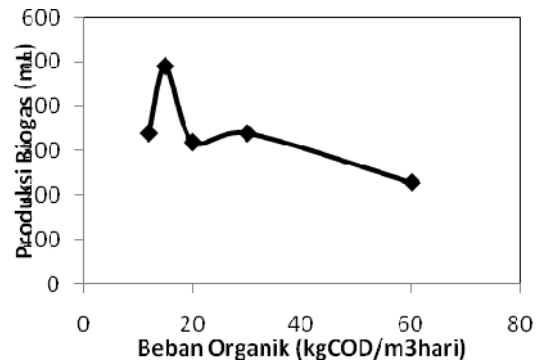
Gambar 7. Hubungan Beban Organik Terhadap Efisiensi Penyisihan COD

Data percobaan yang menunjukkan bahwa nilai sudah relatif konstan menandakan bahwa keadaan tunak (steady state) telah tercapai. Kemampuan bioreaktor dalam menurunkan nilai COD dapat dilihat dengan efisiensi penyisihan COD pada setiap pengoperasian laju beban organik. Efisiensi penyisihan COD terbesar diperoleh pada pengoperasian beban organik 12 kgCOD/m³hari dengan waktu tinggal hidrolis (WTH) 5 hari sebesar 90,2 %, namun hasil terbaik dengan melihat kesalahan relatif terkecil yakni 0,5 diperoleh pada pengoperasian beban organik 20 kgCOD/m³hari

dengan waktu tinggal hidrolis (WTH) 3 hari sebesar 88,6 % dengan produksi biogas sebanyak 320 mL.

Pengaruh Beban Organik Terhadap Produksi Biogas Pada Tahap Kontinu

Produksi biogas yang dihasilkan setiap beban organik berbeda-beda. Seperti terlihat pada Gambar 8. berikut.



Gambar 8. Hubungan Beban Organik Terhadap Produksi Biogas

Gambar 8. menunjukkan bahwa biogas yang terbentuk semakin lama semakin menurun pada beban organik yang tinggi. Ini dikarenakan semakin besar beban organik maka semakin cepat waktu kontak sehingga degradasi senyawa organik berlangsung sedikit. Hal ini menunjukkan bahwa pada bioreaktor asidifikasi yang aktif hanya bakteri asidogenik sedangkan bakteri metanogenik tidak aktif disebabkan oleh kondisi lingkungan pH yang tidak memenuhi untuk pertumbuhan bakteri metanogenik (Ahmad, 1992). Ini berarti semakin tinggi pembebanan yang banyak diperkirakan adalah gas hydrogen dan CO₂ bukannya gas metan dan CO₂.

Produksi Biogas tertinggi terjadi pada beban organik 15 kgCOD/m³hari (WTH 4 hari) yaitu sebesar 490 mL sedangkan terendah pada beban organik 60 kgCOD/m³hari yakni 230 mL. Produksi biogas pada beban organik 30 kgCOD/m³hari sebesar 340 mL, pada beban organik 20 kgCOD/m³hari sebesar 320 mL dan pada beban organik 12 kgCOD/m³hari sebesar 340 mL.

Studi Komparatif Efisiensi Penyisihan COD dan Produksi Biogas Limbah Cair Pabrik Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob

Studi komparatif ditinjau dengan membandingkan hasil efisiensi penyisihan COD terbaik dan produksi biogas terbanyak dengan menggunakan bioreaktor yang sama yakni hibrid anaerob namun berbeda media melekat dalam mengolah limbah cair industri sawit. Perbandingan

efisiensi penyisihan COD disajikan dalam Tabel 3 dan perbandingan produksi biogas dalam Tabel 4.

Tabel 3. Perbandingan Efisiensi penyisihan COD Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Imobilisasi lainnya

Media Imobilisasi	Limbah	COD Influen (mg/L)	WTH	Efisiensi Penyisihan COD (%)	Pustaka
Batu	Molase	40.000	1 hari 6 jam	55	(Syafila dkk, 2003)
Batu	Sawit	50.000	4 hari	90	(Firdha, 2010)
Pelepah Sawit	Sawit	50.000	4 hari	84	(Luturkey dkk, 2010)
Tandan Kosong Sawit	Sawit	50.000	3 hari	82,6	(Luturkey dkk, 2010)
Cangkang Sawit	Sawit	60.000	3 hari	88,6	Penelitian ini

Tabel 3. menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD tertinggi dengan bioreaktor hibrid anaerob mencapai 90 % pada WTH 4 hari (Firdha, 2010) yakni dengan menggunakan batu sebagai media imobilisasi. Pada penelitian ini dihasilkan efisiensi mencapai 88,6 % pada WTH 3 hari. Hal ini dikarenakan media batu yang merupakan bahan non organik bila dibandingkan pada penelitian ini kemungkinan cangkang sawit yang merupakan bahan organik dapat terurai dalam jangka waktu yang lama sehingga merusak lapisan biofilm. Namun dengan hasil yang tidak berbeda secara signifikan menggunakan media cangkang membutuhkan waktu yang relatif lebih singkat dari media batu. Adapun kekurangan dari media batu lainnya adalah dari produksi biogas. Perbandingan produksi biogas dapat dilihat di Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Produksi Biogas Menggunakan Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Imobilisasi lainnya

Media Imobilisasi	Limbah	WTH	Produksi Biogas (mL)	Pustaka
Batu	Sawit	3 hari	315	(Putra dkk, 2010)
Cangkang Sawit	Sawit	4 hari	490	penelitian ini

Tabel 4. menunjukkan bahwa produksi biogas dengan biorektor hibrid anaerob menggunakan media imobilisasi batu lebih sedikit yakni sebesar 315 mL pada WTH 3 hari bila dibandingkan dengan media cangkang sawit sebesar 490 mL pada WTH 4 hari. Hal ini dapat terjadi karena cangkang sawit merupakan bahan organik yang dapat dimanfaatkan mikroorganisme sebagai nutrisi. Sehingga produksi biogas menggunakan cangkang sawit lebih baik daripada menggunakan media imobilisasi batu.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Proses *start-up* bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit berlangsung selama 1,5 bulan dengan efisiensi penyisihan COD 88,3 % dan produksi biogas mencapai 570 mL.
2. Selama proses kontinu dengan variasi laju pembebanan organik 12; 15; 20; 30; dan 60 kgCOD/m³hari didapatkan efisiensi penyisihan masing-masing beban organik sebesar 90,2; 89,1; 88,6; 85; dan 85 % secara berturut-turut, sedangkan produksi biogas pada masing-masing beban organik mencapai 340; 490; 320; 340 dan 230 mL secara berturut-turut. Ini menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan COD dan produksi biogas pada masing-masing beban organik tidak terlalu berbeda jauh.
3. Hasil efisiensi COD optimum yang terbaik didapatkan pada laju pembebanan organik 20 kgCOD/m³hari yaitu sebesar 88,6 % dengan produksi biogas tertinggi sebesar 490 mL pada laju pembebanan organik 15 kgCOD/m³hari.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I Tahun 2010 dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian No 163/SP2H/PP/DP2M/III/2010.

Daftar Pustaka

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

- Ambar, H., Sumarno, dan Sutrisnanto. 2004. *Uji Kinerja Pengolahan Limbah Cair Industri Partikel Board Secara Aerobik*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses 2004 ISSN : 1411-4216. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Anonim. 1995. *Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 Tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri*. Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Minyak Sawit.
- Anonim. 2008. *Produksi Berdasarkan Jenis Tanaman 1995-2007 (ton)*, Badan Pusat Statistik, <http://www.bps.go.id>, (30 November 2009).
- APHA, AWWA, and WPCF. 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 Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu. Laporan Penelitian Jurusan Teknik Kimia Universitas Riau, Pekanbaru.
- Firmansyah, A dan A. Saputra. 2001. *Pengolahan Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Anaerob*. ITB. Bandung.
- Grady, Jr, C.P.L dan H.C. Lim. 1980. *Biological Wastewater Treatment: Theory and Application*, 2nd ed., Marcel Dekker, New York.
- Hartono, R dan T. Kurniawan, 2009. *Produksi Biogas dari Jerami Padi dengan Penambahan Kotoran Kerbau*, Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Luturkey, Y.A., A. Ahmad dan S.Z. Amraini. 2010. *Uji Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Tandan Kosong dan Pelepah Sawit Dalam Penyisihan COD Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit*. Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2010. ITB, Bandung.
- Pusat Penelitian Minyak Sawit, 2008, <http://www.iopri.org>, (15 Maret 2010).
- Putra, L.P., A, Ahmad dan Chairul. 2010. *Uji Kestabilan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu Dengan Indikator Rasio Asam Folatil dan Alkalinitas*. Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 2010. ITB, Bandung.
- Siregar, P. 2009. *Produksi Biogas Melalui Pemanfaatan Limbah Cair PKS dengan Digester Anaerob*. <http://uwityangyoyo.wordpress.com/2009/04/11/produksi-biogas-melalui-pemanfaatan-limbah-cair-pabrik-minyak-kelapa-sawit-dengan-digester-anaerob/> (29 November 2009).
- Stover, E. L., 1993, *Biochemically Enhanced Hybrid Anaerobic Reactor*, US Patent No. 5,228,995.
- Syafila, M., A, Djadjadiningrat dan M, Handajani. 2003. *Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air*