

## Biokonversi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hybrid Anaerob Fasa Tunggal

Adrianto Ahmad, Bahrudin, Said Zul Amraini dan David Andrio

Lab. Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia-Universitas Riau

adri@unri.ac.id

### Abstract

The performance of anaerobic processes in the bioconversion of palm oil mill effluent into gaseous fuel is very dependent on the concentration of biomass. Effort to increase the concentration of anaerobic biomass can be done by using anaerobic hybrid bioreactor. The bioreactor used had 3 chambers, each divided for an up and down flow pattern and having a working volume of 2,5 m<sup>3</sup>. Several series of experiments were conducted with variable hydraulic retention time (HRT) of 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 and 5 day under room temperature conditions and continuous operation. This study uses two anaerobic hybrid bioreactors equipped with cell immobilization media. Media used in cell immobilization is a medium density form of solid palm oil mills waste, namely: empty fruit bunch and palm midrib. The results showed that the anaerobic hybrid bioreactor system was capable of converting single-phase oil palm mill effluent with a good performance, and high organic loading rate of COD removal efficiency of 84% for the bioreactor with palm midrib media and 88% for the bioreactor with empty fruit bunch media within bioconversion of one day and the stability of the bioreactor is relatively high so as to convert liquid waste into fuel gas.

**Keywords:** *HRT, single-phase, the anaerobic hybrid bioreactor, wastewater*

### 1 Pendahuluan

Pemerintah Indonesia telah mencanangkan bahwa produksi minyak sawit kasar (CPO) pada tahun 2010 dicapai sebesar 12,29 juta ton. Setiap ton minyak sawit yang diproduksi akan menghasilkan 2,5 m<sup>3</sup> limbah cair sehingga pada tahun tersebut akan terjadi pencemaran limbah cair sebesar 30,7 juta m<sup>3</sup>. Pencemaran ini dikategorikan sebagai pencemar lingkungan yang dahsyat karena karakteristik limbah cair tersebut mengandung COD yang sangat tinggi berkisar 47.165–49.765 mg/L dan kandungan BOD<sub>5</sub> yang cukup tinggi berkisar dari 24.833–27.421 mg/L. Sementara itu baku mutu yang diperbolehkan untuk harga COD senilai 350 mg/L dan BOD<sub>5</sub> sebesar 100 mg/L sesuai dengan KEPMEN LH N0. 51 Tahun 1995. Oleh karena itu, limbah cair pabrik kelapa sawit ini perlu dikonversi terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air atau perairan (Ahmad dan Setiadi, 1993).

Biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit secara biologis dapat dilakukan dengan sistem aerob atau sistem anaerob. Penanganan secara aerob mempunyai beberapa kelemahan antara lain membutuhkan biaya untuk aerasi dan penangan lumpur. Kelemahan ini dapat diatasi oleh sistem anaerob dengan keuntungan antara lain tidak membutuhkan biaya untuk aerasi, lumpur yang dihasilkan sedikit dan menghasilkan biogas yang dapat digunakan sebagai sumber energi untuk pemanasan, pembakaran dan lain sebagainya (Ahmad dan Wenten, 1999).

Biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit di Indonesia sebagian besar menggunakan kolam anaerob fasa tunggal kemudian dilanjutkan dengan kolam aerob. Sistem ini mampu menyisihkan kandungan BOD hingga 95 %, namun dalam jangka waktu yang lama yakni 55 hari hingga 110 hari sehingga membutuhkan lahan instalasi yang sangat luas. Setiadi dan Arief (1992) berupaya mempersingkat waktu pengolahan dengan menggunakan bioreaktor unggun fluidisasi anaerob fasa tunggal menjadi 3 hari dengan efisiensi pengolahan 75 %. Sementara itu, Setiadi dan Faisal (1994) mengembangkan pengolahan limbah cair pabrik kelapa sawit dengan bioreaktor berpenyekat anaerob fasa tunggal. Sistem ini mampu menyisihkan COD hingga 85 % dalam waktu pengolahan 2,5 hari. Beberapa rancangan sistem bioreaktor telah dilakukan untuk mengantisipasi agar biomassa dalam sistem tetap tinggi dengan waktu tinggal sel yang lama pada waktu tinggal hidraulik yang singkat. Ahmad dan Setiadi (1993) telah berhasil meningkatkan kinerja proses anaerob dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit dengan menggunakan bioreaktor unggun fluidisasi anaerob fasa tunggal. Sistem ini mampu menyisihkan COD hingga 83 % dalam waktu 7 hari. Selanjutnya, Ahmad (2001) telah berhasil mempercepat waktu pengolahan menjadi 0,83 hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 80 % menggunakan bioreaktor berpenyekat anaerob.

Ahmad dkk (2002), menggunakan bioreaktor membran mikrofiltrasi berbahan poli eter sulfon untuk mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit dengan

menggabungkan bioreaktor tersuspensi dengan teknik filtrasi membran. Tahun berikutnya, Ahmad dkk (2003) melakukan perbaikan sistem bioreaktor membran anaerob dengan menggunakan membran mikrofiltrasi berbahan polipropilen. Namun demikian, sistem tersebut belum memberikan hasil yang memuaskan karena energi yang dibutuhkan relatif tinggi sehingga dinilai tidak ekonomis oleh pihak pabrik kelapa sawit. Untuk mengantisipasi fenomena tersebut maka diupayakan penggabungan sistem bioreaktor tersuspensi dan sistem bioreaktor melekat yang disebut sebagai bioreaktor hybrid anaerob. Penggabungan ini memberikan keuntungan sinergi yakni sistem bioreaktor tersuspensi mendegradasi senyawa organik menjadi asam asetat kemudian sistem bioreaktor melekat mendegradasi asam asetat menjadi gas metan dan karbon dioksida. Di samping itu, disain bioreaktor hybrid anaerob mempunyai rasio waktu tinggal biomassa dengan waktu tinggal hidraulik jauh lebih besar dibandingkan dengan sistem bioreaktor tercampur sempurna (CSTR, *continouos stirred tank reaktor*) (Faisal, 1994). Makalah ini berupaya mengungkapkan biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit dengan bioreaktor hybrid anaerob fasa tunggal dengan menggunakan media imobilisasi sel yang berbeda yakni media tandan kosong sawit dan media pelepah sawit.

## 2 Metode

Metoda penelitian yang diuraikan di bawah ini mencakup karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit, sumber biomassa, bioreaktor anaerob, peralatan bioreaktor, pengoperasian bioreaktor serta metoda analisa.

### 2.1 Sumber dan Karakteristik Limbah Cair

Limbah cair yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari pabrik kelapa sawit PT. Sei Pagar PTPN V Riau berlokasi di Kabupaten Kampar,

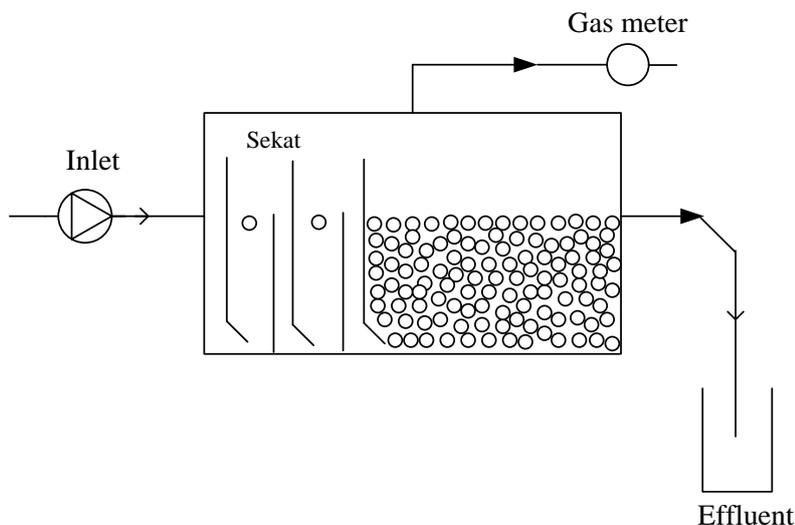
Propinsi Riau. Di samping itu, limbah padat berupa tandan kosong sawit dan pelepah sawit dimanfaatkan sebagai media imobilisasi sel bakteri anaerob dalam bioreaktor.

### 2.2 Sumber Biomassa

Bakteri anaerob yang digunakan berasal dari lumpur bakteri anaerob pada kolam kedua dan keempat Instalasi Pengolah Air Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar PTPN V Riau. Lumpur biomassa kolam kedua IPAL diambil sebanyak  $1 \text{ m}^3$  dan lumpur biomassa kolam keempat IPAL diambil sejumlah  $1,5 \text{ m}^3$  dimasukkan kedalam bioreaktor. Lumpur bibit bakteri anaerob dimasukkan ke dalam ruang berpenyekat sebanyak  $0,5 \text{ m}^3$  pada ruang sekat pertama dan kedua serta  $1,5 \text{ m}^3$  pada ruang sekat ketiga. Bibit bakteri anaerob sebanyak  $2,5 \text{ m}^3$  tersebut diaklimatisasi dengan cara menginjeksikan gas nitrogen kedalam bioreaktor. Proses ini dilakukan selama 20 hari untuk memastikan bahwa bibit telah teraklimatisasi dengan baik terhadap limbah cair tersebut.

### 2.3 Peralatan Bioreaktor Hybrid Anaerob

Bioreaktor hybrid anaerob yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai volume total  $4,5 \text{ m}^3$  yang terdiri dari dua ruang sekat dengan volume masing-masing sebesar  $0,75 \text{ m}^3$  dan satu ruang sekat dengan volume  $3 \text{ m}^3$ , sedangkan volume cairan efektif adalah sebesar  $2,5 \text{ m}^3$ . Ruang sekat pertama dan kedua diperuntukkan sebagai bioreaktor pertumbuhan bakteri anaerob tersuspensi, sedangkan ruang sekat ketiga diperuntukkan sebagai bioreaktor pertumbuhan bakteri melekat yang dilengkapi dengan media padat sebagai media imobilisasi sel. Media padat tersebut diisikan sebanyak sepertiga dari ruang sekat. Ruang aliran arah kebawah dirancang sepertiga dari ruang aliran keatas pada setiap ruang berpenyekat. Rancangan bioreaktor tersebut secara rinci ditampilkan pada Gambar 1



Gambar 1 Bioreaktor Hybrid Anaerob (BIOHAN)

Penyekat-penyekat yang dipasang secara vertikal memaksa agar aliran limbah cair yang masuk dari bagian atas mengalir sesuai dengan bentuk pola aliran di dalam ruang berpenyekat. 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. Bakteri anaerob tersebut akan bergerak secara perlahan ke arah horizontal sehingga terjadi kontak antara biomassa aktif dan limbah cair yang masuk serta aliran keluar relatif bebas dari padatan biomassa.

#### 2.4 Tahap Penentuan Laju Alir Umpan Optimum Fasa Tunggal

Variabel proses yang digunakan adalah laju alir umpan limbah cair pabrik kelapa sawit yakni 500 L/hari; 625 L/hari; 714 L/hari; 830 L/hari; 1000 L/hari; 1250 L/hari; 1667 L/hari dan 2500 L/hari dengan waktu tinggal hidraulik 1 ;1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4 dan 5 hari. Kondisi operasi bioreaktor hybrid anaerob pada suhu

ruang dan kontinu. Parameter yang diamati antara lain pH, suhu, asam lemak volatil yang dinyatakan sebagai asam asetat, alkalinitas, COD total, konsentrasi biomassa sebagai VSS, volume gas dan komposisi biogas.

#### 2.5 Lokasi dan Frekuensi Sampel

Parameter yang dikaji pada penelitian ini antara lain pH, suhu, COD, VSS, total asam lemak volatil (TAV), alkalinitas, produksi biogas dan komposisinya. Jenis dan frekuensi pengambilan sampel ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

#### 2.6 Metoda Analisa

Parameter yang diamati antara lain pH, suhu, asam lemak volatil yang dinyatakan sebagai asam asetat, alkalinitas, COD total, konsentrasi biomassa sebagai VSS. Parameter tersebut dianalisa sesuai dengan metoda standar (APHA, AWWA, WCF, 1992), sedangkan volume gas dengan metoda penampungan dengan larutan NaCl jenuh.

**Tabel 1.** Parameter, lokasi dan frekuensi sampel

Parameter	Lokasi Sampel	Frekuensi
pH	umpan, keluaran	Tiap hari
SUHU	Umpan, keluaran	Tiap hari
COD	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
VSS	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
TOTAL ASAM VOLATIL	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
ALKALINITAS	umpan, keluaran	Tiap 2 hari
VOLUME GAS	Penampung gas	Tiap hari
BIOMASSA	Dalam reaktor	Tiap tunak

### 3 Hasil dan Pembahasan

Pada bagian ini akan diuraikan mengenai karakteristik limbah cair, pengaruh laju alir umpan terhadap proses optimalisasi bioreaktor hybrid anaerob, pengaruh laju pembebanan organik terhadap kinerja bioreaktor.

#### 3.1 Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Pada bagian ini dikaji tentang karakteristik limbah cair yang akan digunakan sebagai umpan bioreaktor hybrid anaerob. Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar PTPN V Riau dengan karakteristik seperti ditampilkan pada Tabel 2.

**Tabel 2** Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar PTPN V

PARAMETER	SATUAN	BESARAN
pH	-	5,6
Asam Lemak Volatil	mg/L	250,8
Alkalinitas	mg/L	114
Padatan Total (TS)	mg/L	7.100
Padatan Tersuspensi Total (TSS)	mg/L	7.000
Padatan Volatil Tersuspensi (TVS)	mg/L	3.530
Padatan Tersuspensi Volatil (VSS)	mg/L	1.700
COD total	mg/L	50.000

Tabel 2 menunjukkan bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit yang akan diolah dengan bioreaktor hybrid anaerob mempunyai kandungan organik yang tinggi dan bersifat asam. Berdasarkan kandungan senyawa organik tersebut maka proses biokonversi yang sesuai adalah proses anaerob. Menurut Malina dan Pohland (1992) bahwa limbah cair yang mengandung COD di atas 3000 mg/L lebih baik diolah secara anaerob dibandingkan dengan proses aerob. Hal ini disebabkan bahwa biokonversi limbah cair dengan kandungan COD di atas 3000 mg/L secara aerob membutuhkan energi yang besar untuk proses aerasi.

### 3.2 Pengaruh Laju Alir Umpan Terhadap Optimalisasi Bioreaktor

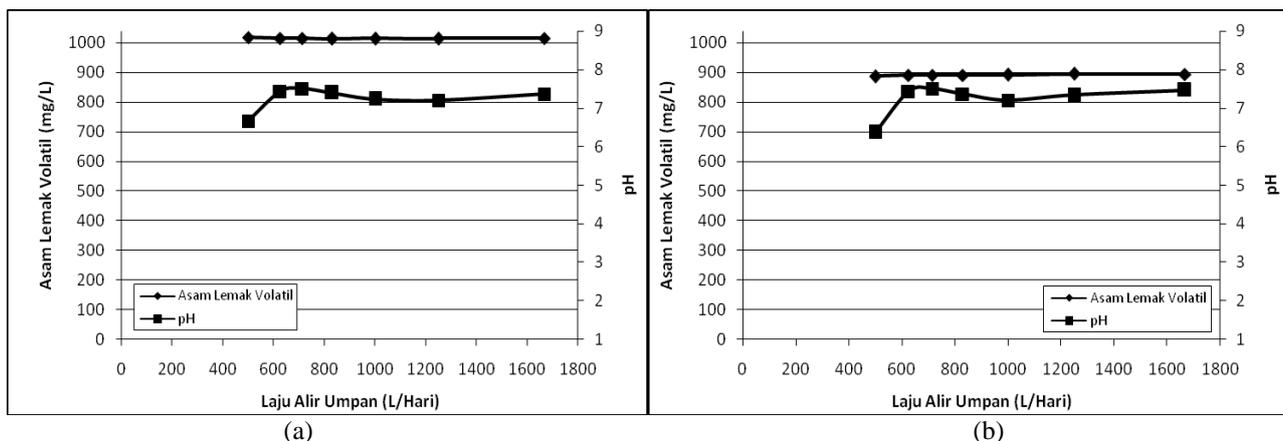
Hasil pengamatan selama variabel laju alir umpan pada bioreaktor hybrid anaerob ditampilkan dengan melihat hubungan antara laju alir umpan terhadap pH dan konsentrasi asam lemak volatil, serta kehilangan biomassa anaerob.

#### 3.2.1 pH Dan Asam Lemak Volatil

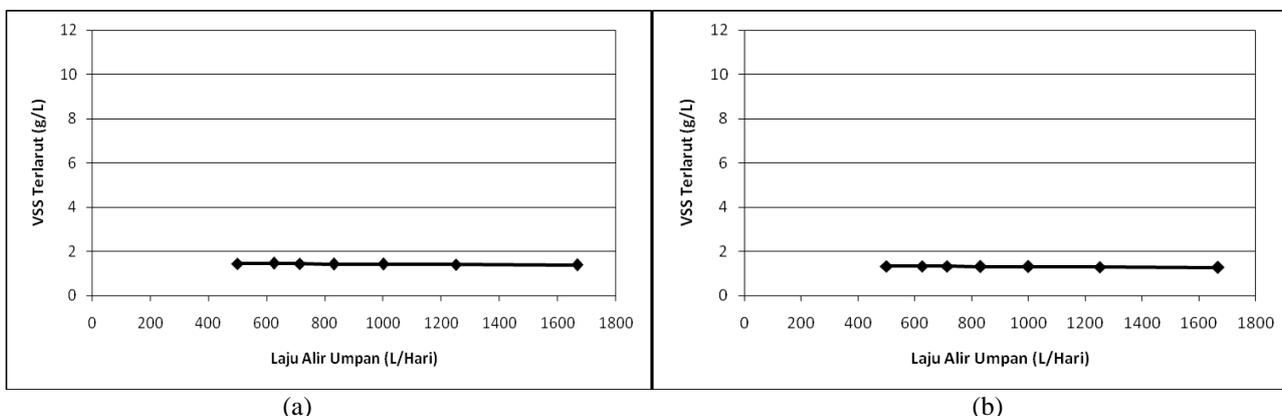
Pengaruh laju alir umpan terhadap pH dan asam lemak volatil yang dihasilkan ditampilkan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai pH mendekati konstan dan tidak dipengaruhi oleh peningkatan laju alir umpan pembebanan organik. Hal ini bisa saja terjadi karena fluktuasi pH sistem sangat dipengaruhi oleh alkalinitas yang terbentuk selama proses anaerob. Pada penelitian ini, alkalinitas yang terbentuk mampu menetralkan perubahan pH yang terjadi di dalam sistem. Sementara itu, semakin tinggi laju alir umpan mengakibatkan semakin menurun konsentrasi asam lemak volatil. Konsentrasi asam lemak volatil yang diperoleh berkisar dari 1.016 mgTAV/L pada bioreaktor hybrid anaerob bermedia tandan kosong sawit, sedangkan pada bioreaktor hybrid anaerob bermedia pelepah sawit sebesar 893 mgTAV/L. Rentang konsentrasi asam lemak volatil ini relatif lebih tinggi dibandingkan dengan peneliti lain (Nakamura dkk., 1993; Ng dkk., 1985; Ahmad, 1992).

Nakamura dkk. (1993) memperoleh konsentrasi asam lemak volatil sekitar 400 mg/L pada SRT 8 jam dengan menggunakan substrat glukosa. Sementara itu, Ng dkk. (1985) memperoleh asam lemak volatil sebesar 5.458 mg/L pada waktu tinggal hidraulik 1 hari dengan menggunakan substrat limbah cair industri minyak sawit, sedangkan Ahmad dan Setiadi (1993) memperoleh asam lemak volatil sebesar 2.026 mg/L pada waktu tinggal



Gambar 2 Pengaruh laju alir umpan terhadap pH dan asam lemak volatil pada bioreaktor hybrid anaerob bermedia tandan kosong(a) dan pelepah sawit (b)



Gambar 3 Pengaruh laju alir umpan terhadap kehilangan biomassa anaerob pada bioreaktor hybrid anaerob bermedia tandan kosong (a) dan pelepah sawit (b)

hidraulik 2 hari dengan menggunakan limbah cair industri minyak sawit. Sementara itu, Sam-Soon dkk. (1991) memperoleh asam lemak volatil sebesar 13 mg/L pada pembebanan organik 4,2 kgCOD/m<sup>3</sup>-hari dengan menggunakan substrat yang mengandung asam lemak rantai panjang (asam oleat).

### 3.2.2 Kehilangan Biomassa (*wash-out*)

Konsentrasi bakteri anaerob di dalam sistem bioreaktor hybrid anaerob diwakili oleh konsentrasi VSS (*volatile suspended solid*) di dalam bioreaktor. Pengaruh laju alir umpan terhadap kehilangan (*wash-out*) biomassa anaerob dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3 menunjukkan bahwa kehilangan biomassa semakin menurun dengan meningkatnya laju alir umpan. Peningkatan debit umpan menyebabkan pola aliran di dalam sistem menjadi turbulen dan dapat menghanyutkan padatan biomassa sehingga terbawa aliran keluar dari sistem. Hasil ini membuktikan bahwa sistem bioreaktor hybrid anaerob telah optimal mencegah terjadinya kehilangan biomassa dari sistem. Dengan sendirinya konsentrasi biomassa dalam bioreaktor dapat ditingkatkan dan waktu tinggal biomassa dapat diperpanjang, sehingga bioreaktor ini mampu mengkonversi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi bahan bakar gas.

### 3.3 Pengaruh Laju Pembebanan Organik Terhadap Kinerja Bioreaktor

Hasil pengamatan selama variabel laju pembebanan pada bioreaktor hybrid anaerob ditampilkan dengan melihat hubungan antara laju pembebanan organik terhadap penyisihan bahan organik, Variabel laju pembebanan yang dikaji yakni, 10; 12,5; 14,3; 16,6; 20; 25; 33 dan 50 KgCOD /M<sup>3</sup>-hari

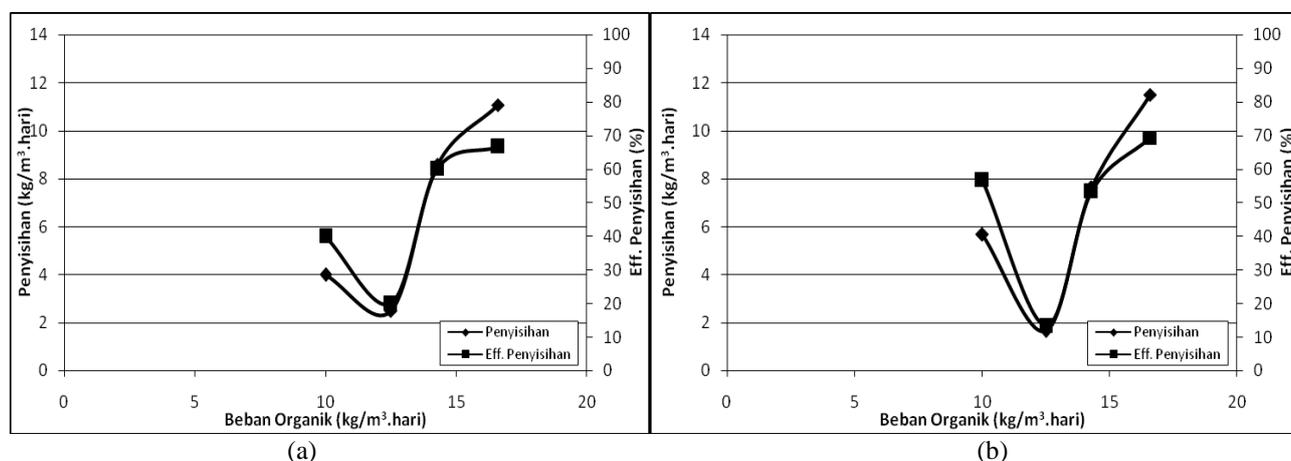
#### 3.3.1 Penyisihan Bahan Organik

Penyisihan bahan organik dan efisiensi penyisihan bahan organik ditampilkan pada Gambar 4.

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin tinggi laju pembebanan organik akan mengakibatkan semakin tinggi penyisihan bahan organik. Hal ini dapat dimengerti karena dengan semakin tinggi pembebanan organik berarti semakin banyak bahan organik yang diberikan dengan sendirinya semakin banyak yang dapat disisihkan. Sejalan dengan hal tersebut, terlihat bahwa efisiensi penyisihan bahan organik relatif tinggi dan konstan. Efisiensi penyisihan bahan organik ini menunjukkan kemampuan biodegradasi limbah cair pabrik kelapa sawit oleh bakteri anaerob menjadi gas metan dan gas CO<sub>2</sub>. Semakin tinggi efisiensi penyisihan bahan organik menunjukkan bahwa bahan organik yang diubah menjadi gas metan semakin banyak, sebaliknya gas CO<sub>2</sub> semakin menurun. Hal ini dapat dipahami karena dengan pembebanan organik tinggi maka bahan organik lebih banyak diuraikan menjadi asam asetat, selanjutnya asam asetat diubah menjadi biogas oleh kelompok bakteri metanogen. Hal ini dibuktikan dengan semakin tinggi efisiensi penyisihan bahan organik sebesar 88 % pada bioreaktor hybrid bermedia tandan kosong sawit dan 84 % pada bioreaktor hybrid bermedia tandan kosong sawit dengan laju pembebanan organik sebesar 50 KgCOD /M<sup>3</sup>-Hari. Menurut Malina dan Pohland (1992) bahwa tingkat kinerja pengolahan anaerob yang baik berkisar dari 80-90% penyisihan bahan organik.

#### 3.4 Studi Banding Kinerja Bioreaktor Hybrid Anaerob

Studi banding kinerja bioreaktor ditinjau dengan membandingkan kinerja bioreaktor hybrid anaerob dengan berbagai kinerja bioreaktor anaerob lainnya dalam mengkonversi limbah cair industri. Perbandingan kinerja bioreaktor ini dengan bioreaktor lainnya ditampilkan pada Tabel 4.



**Gambar 4** Pengaruh laju pembebanan organik terhadap penyisihan dan efisiensi penyisihan bahan organik pada bioreaktor hybrid anaerob bermedia tandan kosong (a) dan pelepah sawit (b)

Tabel 4. Perbandingan Kinerja Bioreaktor Hybrid Anaerob Dengan Bioreaktor Lain

Jenis Bioreaktor	Limbah	Beban Organik (kgCOD/m <sup>3</sup> -hari)	Efisiensi Penyisihan organik (%)	WTH (hari)	Pustaka
AP	Minyak sawit	1,21-2,87	95	15-20	Thanh, 1980
HRAP	Minyak sawit	4,36-5,18	95	15	Thanh, 1980
DTP	Minyak sawit	62,9	78	11	Ng dkk., 1985
DDU	Minyak sawit	4,5	80,9	10	Chin, 1981
DTDU	Minyak sawit	3,2	60	14	Chin, 1981
DSA	Minyak sawit	12,6	75	-	Gail dan Barford, 1984
BUFAN	Minyak sawit	20,6	75	3	Setiadi dan Arief, 1992
BUFAN Dua tahap	Minyak sawit	26,6	93	5	Ahmad dan Setiadi, 1993
BIOPAN	Minyak sawit	9,6	85	2,5	Faisal, 1994
BIOPAN	Minyak sawit	6,37	92	5	Retnowati, 1996
BIOPAN	Minyak-lemak	3,2	86	0,83	Ahmad, 2001
BIOHAN (TANKOS)	Minyak sawit	50	88	1	Penelitian ini
BIOHAN (PELEPAH)	Minyak sawit	50	84	1	Penelitian ini

Keterangan:

AP = anaerobic pond; HRPA = High-rate anaerobic pond; DTP = digester two-phase; DDU= digester daur ulang; DTDU= digester tanpa daur ulang; DSA = digester semi-kontinu anaerob; BUFAN = bioreaktor unggul fluidisasi anaerob; HABR = hybrid anaerobic baffled reactor; ABR = anaerobic baffled reactor; MABR = modified anaerobic baffled reactor; BIOPAN = bioreaktor berpenyekat anaerob; WTH = waktu tinggal hidraulik; BIOHAN = bioreaktor hybrid anaerob

Tabel 4 menunjukkan bahwa kinerja bioreaktor hybrid anaerob baik bermedia tandan kosong sawit maupun bermedia pelepah sawit memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *anaerobic pond* dan *high-rate anaerobic pond* (Thanh, 1980). Pada sistem *anaerobic pond* meskipun penyisihan COD lebih tinggi dari penelitian ini, namun memerlukan waktu pengolahan yang sangat lama yaitu 15-20 hari. Hal yang sama juga diperoleh pada *high-rate anaerobic pond* yaitu penyisihan sebesar 95 % selama waktu pengolahan 15 hari, dan bioreaktor berpenyekat anaerob mampu menyisihkan COD sebesar 86 % selama waktu tinggal cairan 20 jam (Ahmad, 2001), sedangkan pada penelitian ini mampu menyisihkan COD dengan efisiensi penyisihan sebesar 88 % dan 84 %, berturut-turut bioreaktor hybrid anaerob bermedia tandan kosong sawit dan bioreaktor hybrid anaerob bermedia pelepah sawit pada waktu tinggal 1 hari.

Disamping itu, kinerja bioreaktor hybrid anaerob memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan digester dua tahap (Ng dkk., 1985). Digester dua tahap hanya mampu menyisihkan COD sebesar 78 % pada waktu tinggal cairan 11 hari. Di samping itu, kinerja bioreaktor hybrid anaerob memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor unggul fluidisasi anaerob (Arief, 1992; Ahmad dan Setiadi, 1993). Bioreaktor unggul fluidisasi anaerob satu tahap hanya mampu menyisihkan COD sebesar 75 % selama waktu tinggal cairan 3 hari, sedangkan bioreaktor unggul fluidisasi anaerob dua tahap mampu menyisihkan COD sebesar 93 % selama waktu tinggal 5 hari. Waktu pengolahan yang cukup singkat yakni 1 hari pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hybrid anaerob lebih baik karena ukuran bioreaktor yang relatif kecil dengan sendirinya kebutuhan lahan untuk

membangun instalasinya relatif penghematan secara ekonomi.

Bila dibandingkan bioreaktor hybrid anaerob pada penelitian ini dengan sistem yang lain dalam mengolah limbah cair industri minyak sawit (Faisal, 1994; Retnowati, 1996) menunjukkan bahwa penyisihan COD pada penelitian ini relatif sama, namun waktu pengolahan jauh lebih pendek yaitu 1 hari. Hal ini merupakan suatu indikasi bahwa sistem bioreaktor hybrid anaerob dengan pengendalian proses pada kondisi pH 7 lebih unggul dibandingkan dengan sistem bioreaktor lainnya. Hal ini disebabkan karena pada pH 7 aktivitas bakteri metanogen lebih optimal dalam memanfaatkan senyawa organik sederhana menjadi biogas. Menurut Benefield dan Randall (1980), bakteri metan sangat sensitif terhadap perubahan pH. Laju fermentasi metan relatif konstan pada rentang pH 6,0 hingga 8,5, namun menurun sangat cepat diluar rentang tersebut. Menurut Sahn (1984) bahwa aktivitas metan relatif konstan pada rentang pH 6-8. Kelebihan bioreaktor hybrid anaerob ditunjukkan oleh kemampuan untuk menerima pembebanan COD tinggi yakni sebesar 50 KgCOD/m<sup>3</sup>-hari pada waktu tinggal 1 hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 84-88 %. Dengan demikian, bioreaktor hybrid anaerob mampu digunakan untuk biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi bahan bakar gas dengan beban COD tinggi.

#### 4 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil suatu kesimpulan sebagai berikut:

1. Laju alir umpan optimum bioreaktor hybrid anaerob bermedia tandan kosong diperoleh sawit sebesar 2.500 L/hari, pH relatif konstan sebesar 7,2, konsentrasi asam lemak volatil sebesar 1.015

mgTAV/L, kualitas efluen sebesar 6.000 mgCOD/L, kehilangan biomassa anaerob sebesar 1.350 mgVSS/L, efisiensi penyisihan COD sebesar 88 % dengan laju pembebanan organik sebesar 50 kgCOD/m<sup>3</sup>-hari dan waktu tinggal hidraulik sebesar 1 (satu) hari.

2. Laju alir umpan optimum bioreaktor hybrid anaerob bermedia pelepah sawit diperoleh sebesar 2.500 L/hari, pH relatif konstan sebesar 7,2, konsentrasi asam lemak volatil sebesar 895 mgTAV/L, kualitas efluen sebesar 8.000 mgCOD/L, kehilangan biomassa anaerob sebesar 1.260 mgVSS/L, efisiensi penyisihan COD sebesar 84 % dengan laju pembebanan organik sebesar 50 kgCOD/m<sup>3</sup>-hari dan waktu tinggal hidraulik sebesar 1 (satu) hari.
3. Pada berbagai laju alir umpan yang diuji diperoleh pH pada rentang 6,9 hingga 7,5, konsentrasi asam lemak volatil pada rentang 891 hingga 1.018 mgTAV/L, kehilangan biomassa anaerob pada rentang 1.260 hingga 1.470 mgVSS/L.
4. Pada berbagai laju pembebanan COD diperoleh efisiensi penyisihan bahan organik pada rentang 40 % hingga 88 % dengan kualitas COD efluen pada rentang 6.000 hingga 30.000 mgCOD/L.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I tahun 2009 dengan surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian No. 428/SP2H/PP/DP2M/VI/2009 tanggal 20 Juni 2009.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, A, *Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap Dalam Mengolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit*, Laporan Magang, PAU-Bioteknologi ITB, Bandung, (1992)

Ahmad, A, T. Setiadi dan IG Wenten, *Bioreaktor Membran Anaerob Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Sawit*, Laporan Akhir HIBAH BERSAING IX, DP3M DIKTI DEPDIKNAS RI, Jakarta, (2003)

Ahmad, Adrianto, **Biodegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit Dalam Sistem Bioreaktor Anaerob**, Disertasi, Program Pascasarjana ITB, Bandung, (2001)

Ahmad, A dan T. Setiadi, Pemakaian bioreaktor ungun fluidisasi anaerob dua tahap dalam mengolah limbah cair pabrik minyak sawit, *Seminar Nasional Bioteknologi Industri*, PAU-Bioteknologi ITB, Bandung, 27-29 Januari, (1993)

APHA, AWWA & WCF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington DC, (1992)

Arief, M., *Pengolahan Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik*, Thesis Magister ITB, Bandung, (1992)

Boopathy, R dan Sievers, Performance of a Modified Anaerobic Baffled Reactor (ABR) to Treat Swine Waste, *Transactions of the ASAE.*, 34(6), (1991)

Boopathy, R, Larsen, V.F dan Senior, E., "Performance of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) in Treating Distillery Wastewater from a Scotch Whisky Factory", *Biomass*, 16, 133-143 (1988)

Chen, J.S, C.T Li dan W.K Shieh, "Performance Evaluation of The Anaerobic Fluidized Bed Systems: I. Substrat Utilisation and Gas Production", *J. Chem Tech. Biotech.*, 35, 101-109, (1985)

Chin, K.K, Anaerobic treatment kinetics of palm oil sludge, *Wat. Res.*, 15, 199-202, (1981)

Faisal, *Pengolahan Air Limbah Industri Minyak Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Berpenyekat Anaerobik*, Thesis Magister ITB, Bandung, (1994)

Ghosh, S dan Klass, D.L, "Two-Phase Anaerobic Digestion", *Process Biochemistry*, april, 15-24, (1978)

Grobicki, A dan Stuckey, D.C., "Performance of the Anaerobic Baffled Reactor under Steady State and Shock Loading Condition", *Biotechnol. And Bioeng.*, 37, 344-355, (1991)

Gujer, W dan A.J.B Zehnder, "Conversion Processes in Anaerobic Digestion", *Wat. Sci. Tech.*, 15, 127-167, (1983)

Heijnen, J. J., A. Mulder, W. Enger, P.A Lourens, A.A Keijzers dan F.W.J.M.M Hoeks, "Application of Anaerobic Fluidized Bed Reactors in Biological Wastewater Treatment", *Starch/Starke.*, 38(12), 419-428, ( 1986)

Hickey, R.F, W.M Wu, M.C Veiga dan R. Jones, "Start-up, Monitoring and Control of High-rate Anaerobic Treatment Systems", *Water Sci. Tech.*, 24(8), 207-255, (1991)

Lema, J.M et al., "Chemical Engineering Concept in Operation and Design Process Anaerobic Wastewater Treatment", *Water Sci. Tech.*, 24(8), 79-86, (1991)

- Malina, J.F. dan F.G. Pohland, Design of anaerobic processes for the treatment of industrial and municipal wastes, *Water Quality Management Library*, **Vol. 7**, (1992)
- McInerney, M.J, “ Anaerobic Hydrolysis and Fermentation of Fats and Protein”, *Biology of Anaerobic Microorganism*, editor: A.J.B Zehnder, John Willey and Sons, New York, (1988)
- Nakamura, M, H. Kanbe dan J. Matsumoto, ”Fundamental Studies on Hydrogen Production in the Acid-Forming Phase and Its Bacteria in Anaerobic Treatment Processes-the Effects of Solids Retention Time”, *Wat. Sci. Tech.*, 28(7), 81-88, (1993)
- Ng, W.J, K.K Wong dan Chin, K.K, “Two-phase Anaerobic Treatment Kinetics of Palm Oil Wastewaters”, *Water Res.*, 19(5), 667-669. (1985)
- Retnowati, E.I, *Pengaruh Laju Pembebanan dan Resirkulasi Pada Kinerja Biopan Untuk Pengolahan Limbah Cair Industri Minyak Sawit*, Thesis Magister ITB, Bandung, (1996)
- Sam-Soon, P, R.E Loewenthal, M, C. Wentzel dan GvR. Marais, “a Long-chain Fatty Acids, Oleat, as Sole Substrate in UASB Reactor Systems”, *Water SA.*, 17(1), 31-36, (1991)
- Thanh, N.C., High organic wastewater control and management in the tropics, *Water Pollution Control Conference*, CDG, AIT-ERL, Bangkok, Nov., (1980)
- Yang, P.Y dan Chou, C.Y., “Horizontal-Baffled Anaerobic Reactor for Treating Diluted Swine Wastewater”, *Agricultural Waste*, 14, 221-239, (1985)