

## Bioreaktor Hybrid Anaerob Dua Fasa Untuk Biokonversi Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit

Adrianto Ahmad, Bahrudin, Said Zul Amraini dan David Andrio

Lab. Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia-Universitas Riau

adri@unri.ac.id

### Abstract

Anaerobic hybrid bioreactor configuration in converting the liquid waste content of high organic materials can be done with a single-phase configuration and two-phase configuration. In a single-phase anaerobic hybrid bioreactor, methanogenesis and acidogenesis take place in a single bioreactor. As a result it is somewhat difficult to control pH and low process stability. To overcome these weaknesses, the anaerobic hybrid bioreactor uses two phases. Condition of operation two-phase anaerobic hybrid bioreactor was conducted at room temperature and continuous. The hydraulic residence time in the bioreactor tested for acidogenesis ranged from 0.3, 0.5, 0.7, 1 day with COD loading rate ranges from 150, 100, 75 dan 50 kg/m<sup>3</sup>-day, while the hydraulic residence time in the bioreactor for methanogenesis was 1 day with COD loading rate of 50 kg/m<sup>3</sup>-day. Testing at high organic loading is done by the variable residence time the same of methanogenesis and acidogenesis bioreactors i.e 0.5, 0.7, 1 day with COD loading rate ranges from 150, 100, dan 50 kg/m<sup>3</sup>-day. The results showed that the hydraulic residence time was optimum at 1.5 days (0.5 days in acidogenesis phase and 1 day in methanogenesis phase) with a COD removal efficiency of 84 % is capable of removing COD by 92 kgCOD/m<sup>3</sup>-day with the quality of effluent at COD 8,000 mgCOD/L and the content of nutrients (NPK), which is relatively good and the acquisition of specific methane gas by 46 m<sup>3</sup>/kgCOD removed. In addition, system stability is relatively good with the ratio of volatile fatty acids and alkalinity of 0,052.

**Keywords:** *anaerobic hybrid bioreactor, acidogenesis, liquid waste, methanogenesis, two-phase*

### 1 Pendahuluan

Biokonversi anaerob melibatkan beberapa tahap proses yakni proses hidrolisis, proses asidogenesis, proses asetogenesis dan proses metanogenesis. Secara umum keempat tahap proses ini dapat dipisahkan ke dalam dua fasa, yakni fasa asidogenesis dan fasa metanogenesis. Fasa asidogenesis terdiri dari proses hidrolisis, proses asidogenesis dan proses asetogenesis, sedangkan fasa metanogenesis terdiri dari proses metanogenesis asetatotrof dan proses metanogenesis hidrogenotrof. Kinerja fasa metanogenesis sangat dipengaruhi oleh kinerja fasa asidogenesis, karena kelompok bakteri metanogen sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan dan hanya membutuhkan substrat berupa asam asetat, gas H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> (Gujer dan Zehnder, 1983) yang dihasilkan dari fasa asidogenesis, selanjutnya kelompok bakteri metanogen mengubah asam asetat, H<sub>2</sub> dan CO<sub>2</sub> menjadi biogas.

Mengingat sangat sensitifnya kelompok bakteri metanogen dalam proses biokonversi anaerob maka upaya yang dilakukan antara lain menentukan kondisi optimum bioreaktor hybrid anaerob dua fasa sehingga terjadi keseimbangan antara kebutuhan substrat dengan pemanfaatan substrat antara fasa asidogenesis dan metanogenesis di dalam sistem. Kondisi optimum

bioreaktor sangat dipengaruhi oleh waktu tinggal biomassa, karena semakin lama waktu tinggal biomassa akan semakin lama kontak bakteri anaerob dengan substratnya. Ng dkk (1985) berusaha untuk memperbaiki kinerja proses anaerob dalam mengolah limbah cair dengan menggunakan *digester* anaerob dua fasa. Sistem ini merupakan bioreaktor tersuspensi yang mampu menyisihkan COD hingga 70 % dengan waktu pengolahan selama 11 hari (1 hari pada fasa asidogenesis dan 10 hari pada fasa metanogenesis).

Sementara itu, Ahmad dan Setiadi (1993) telah berhasil meningkatkan kinerja proses anaerob dalam mengolah limbah cair pabrik kelapa sawit dengan menggunakan bioreaktor unggun fluidisasi anaerob dua fasa. Sistem ini merupakan bioreaktor dengan pertumbuhan melekat yang mampu menyisihkan COD hingga 93 % dalam waktu 5 hari (2 hari pada fasa asidogenesis dan 3 hari pada fasa metanogenesis).

Namun demikian, sistem tersebut belum memberikan hasil yang memuaskan karena waktu tinggal hidraulik yang dibutuhkan relatif lama 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 dua fasa dalam rangka memperpanjang

waktu tinggal biomassa dan memperpendek waktu tinggal hidraulik (WTH). Bioreaktor hybrid anaerob dua fasa menggunakan dua buah unit bioreaktor hybrid anaerob. Bioreaktor hybrid anaerob pertama dikondisikan sebagai bioreaktor asidogenesis dan bioreaktor anaerob kedua dikondisikan sebagai bioreaktor metanogenesis. Penggabungan ini memberikan keuntungan sinergi yakni sistem bioreaktor pertama mendegradasi senyawa organik menjadi asam asetat kemudian sistem bioreaktor kedua mendegradasi asam asetat menjadi gas metan dan karbon dioksida. Makalah ini berupaya mengungkapkan biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit dengan bioreaktor hybrid anaerob dua fasa.

## 2 Metode

Metoda penelitian yang diuraikan di bawah ini mencakup karakteristik limbah cair pabrik kelapa sawit, sumber biomassa, bioreaktor anaerob, 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 m<sup>3</sup> dimasukkan ke dalam ruang berpenyekat sebanyak 0,5 m<sup>3</sup> pada ruang sekat pertama dan kedua, selanjutnya lumpur biomassa kolam keempat IPAL diambil sejumlah 1,5 m<sup>3</sup> dimasukkan kedalam ruang sekat ketiga. Bibit bakteri anaerob sebanyak 2,5 m<sup>3</sup> 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

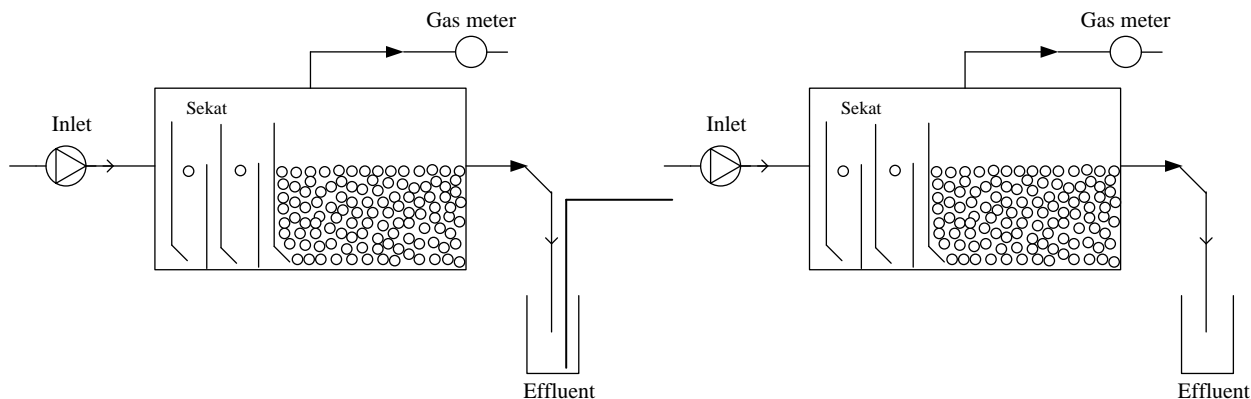
Bioreaktor hybrid anaerob yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai volume total 4,5 m<sup>3</sup> yang terdiri atas dua ruang sekat dengan volume masing-masing sebesar 0,75 m<sup>3</sup> dan satu ruang sekat dengan volume 3 m<sup>3</sup>, sedangkan volume cairan efektif adalah sebesar 2,5 m<sup>3</sup>. 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

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 serta aliran keluar relatif bebas dari padatan biomassa.

### 2.4 Tahap Penentuan Waktu Tinggal Hidraulik Optimum

#### 2.4.1 Tahap Kontinu Bioreaktor Hybrid Anaerob Dua Fasa Beban Rendah

Bioreaktor hybrid anaerob dua fasa dilakukan dengan mengkondisikan bioreaktor hybrid anaerob bermedia



Gambar 1 Bioreaktor Hybrid Anaerob (BIOHAN) Dua Fasa

tandan kosong sebagai fasa asidogenesis dan bioreaktor hybrid anaerob bermedia pelepah dikondisikan sebagai fasa metanogenesis.

Variabel proses yang digunakan adalah laju alir umpan limbah cair pabrik kelapa sawit pada fasa asidogenesis bervariasi sebesar 2500L/hari; 3750 L/hari; 5000 L/hari dan 7500 L/hari, sedangkan fasa metanogenesis tetap pada laju alir sebesar 2500 L/hari. Kondisi operasi bioreaktor hybrid anaerob dua fasa 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, kandungan nitrogen total, kandungan phosphor dan kandungan kalium.

#### 2.4.2 Tahap Kontinu Bioreaktor Hybrid Anaerob Dua Fasa Beban Tinggi

Variabel proses yang digunakan adalah laju alir umpan limbah cair pabrik kelapa sawit pada fasa asidogenesis bervariasi sebesar 2500 L/hari; 5000 L/hari dan 7500 L/hari, sedangkan fasa metanogenesis pada laju alir umpan yang sama. Kondisi operasi bioreaktor hybrid

anaerob dua fasa 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, kandungan nitrogen total, kandungan phosphor dan kandungan kalium.

#### 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.

#### 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 pabrik kelapa sawit, pengaruh pembebanan organik dan pengaruh waktu tinggal hidraulik pada keadaan *transien* bioreaktor hybrid anaerob dan kinerja bioreaktor hybrid anaerob dua fasa dalam mengkonversi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi bahan bakar gas..

#### 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.

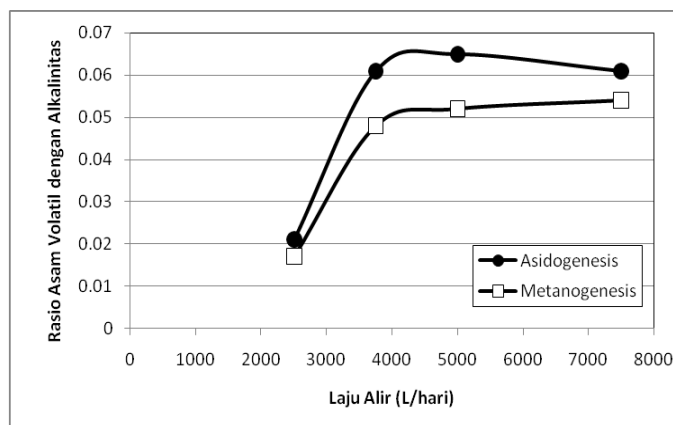
**Tabel 2.** Karakteristik Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Sei Pagar PTPN V

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 Kestabilan Proses Bioreaktor Hybrid Anaerob Dua Fasa Beban Rendah

Stabilitas bioreaktor hybrid anaerob dua fasa diekspresikan dengan rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas. Rasio asam lemak volatil dengan konsentrasi alkalinitas selama berlangsung proses kontinu pada berbagai laju alir umpan pada bioreaktor fasa asidogenesis dan laju alir 2500 L/hari pada fasa metanogenesis ditampilkan pada Gambar 2



**Gambar 2** Hubungan waktu terhadap rasio asam lemak voaltil dengan konsentrasi alkalinitas pada bioreaktor hybrid anaerob dua fasa dengan (a) 2500 L/hari; (b) 3750 L/hari; (c) 5000 L/hari; (d) 7500 L/hari

Gambar 2 menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan konsentrasi alkalinitas secara umum mempunyai kecenderungan relatif konstan dengan meningkatnya laju alir umpan. Pada laju alir umpan 2500 L/hari menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas bioreaktor fasa asidogenesis diperoleh sebesar 0,021 dan rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas pada bioreaktor fasa metanogenesis diperoleh sebesar 0,017. Pada laju alir umpan 3750 L/hari diperoleh rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas bioreaktor fasa asidogenesis diperoleh sebesar 0,061 dan rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas pada bioreaktor fasa metanogenesis diperoleh sebesar 0,048. Pada laju alir umpan 5000 L/hari diperoleh rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas bioreaktor fasa asidogenesis diperoleh sebesar 0,065 dan rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas pada bioreaktor fasa metanogenesis diperoleh sebesar 0,052. Sementara itu, pada laju alir umpan 7500 L/hari diperoleh rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas bioreaktor fasa asidogenesis diperoleh sebesar 0,061 dan rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas pada bioreaktor fasa metanogenesis diperoleh sebesar 0,054.

Hal yang menarik dikaji adalah rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas yang terdapat di dalam bioreaktor hybrid anarob dua fasa relatif lebih rendah dibandingkan kriteria optimum proses anaerob. Menurut Sahm (1984) bahwa proses anaerob mempunyai kestabilan tinggi jika mempunyai rasio asam lemak

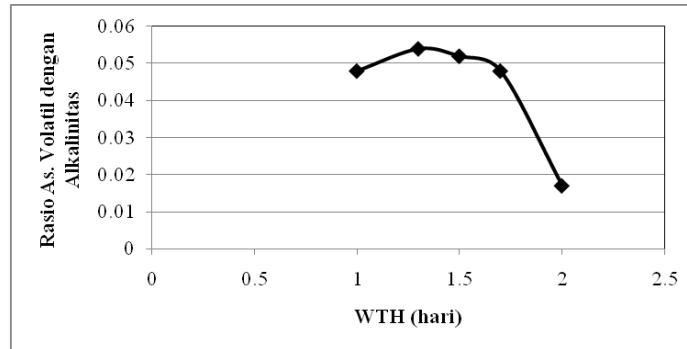
volatil dengan alkalinitas berkisar dibawah 0,1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioreaktor hybrid anaerob dua fasa mempunyai rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas dibawah 0,1, sehingga sistem mempunyai kestabilan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa alkalinitas berfungsi untuk menetralsir asam lemak volatil yang terbentuk sehingga kestabilan proses selalu dapat terjaga dengan baik.

### 3.3 Pengaruh Waktu Tinggal Hidraulik Terhadap Kinerja Bioreaktor

Pada bagian ini, variabel waktu tinggal hidraulik yang dikaji yakni, 0,6 hari (fasa asidogenesis 0,3 hari dan fasa metanogenesis 0,3 hari), 1 hari (fasa asidogenesis 0,5 hari dan fasa metanogenesis 0,5 hari), 1,3 hari (fasa asidogenesis 0,3 hari dan fasa metanogenesis 1 hari), 1,5 hari (fasa asidogenesis 0,5 hari dan fasa metanogenesis 1 hari), 1,7 hari (fasa asidogenesis 0,7 hari dan fasa metanogenesis 1 hari) dan 2 hari (fasa asidogenesis 1 hari dan fasa metanogenesis 1 hari). Hasil pengamatan selama variabel waktu tinggal hidraulik pada bioreaktor hybrid anaerob dua fasa ditampilkan dengan melihat hubungan antara waktu tinggal hidraulik terhadap kestabilan bioreaktor dan kehilangan biomassa.

#### 3.3.1 Kestabilan Sistem

Pengaruh waktu tinggal hidraulik terhadap rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas ditampilkan pada Gambar 3.



**Gambar 3** Pengaruh waktu tinggal hidraulik terhadap rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas pada bioreaktor hybrid anaerob dua fasa

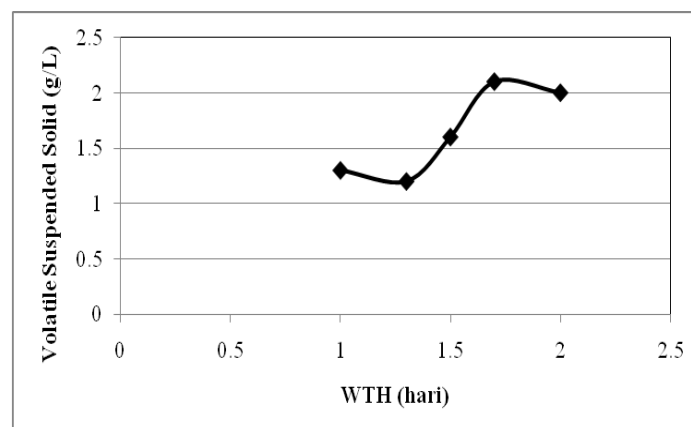
Gambar 3 menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas secara umum mempunyai kecenderungan menurun dengan meningkatnya waktu tinggal hidraulik. Pada waktu tinggal hidraulik 1 hari menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas sebesar 0,048, pada waktu tinggal hidraulik 1,3 hari menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas diperoleh sebesar 0,054. Sementara itu, pada waktu tinggal hidraulik 1,5 hari menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas diperoleh sebesar 0,052, pada waktu tinggal hidraulik 1,7 hari menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas diperoleh sebesar 0,048 dan pada waktu tinggal hidraulik 2 hari menunjukkan bahwa rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas diperoleh sebesar 0,017.

Hal yang menarik dikaji adalah rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas yang terdapat di dalam

bioreaktor hybrid anaerob dua fasa relatif lebih rendah dibandingkan kriteria optimum proses anaerob. Menurut Sahm (1984) bahwa proses anaerob mempunyai kestabilan tinggi jika mempunyai rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas berkisar dibawah 0,1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bioreaktor hybrid anaerob dua fasa mempunyai rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas dibawah 0,1, sehingga sistem mempunyai kestabilan yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa alkalinitas berfungsi untuk menetralsir asam lemak volatil yang terbentuk sehingga kestabilan proses selalu dapat terjaga dengan baik.

### 3.3.2 Kehilangan Biomassa (*Wash-out*)

Pengaruh waktu tinggal hidraulik terhadap kehilangan (*wash-out*) biomassa anaerob dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4** Pengaruh waktu tinggal hidraulik terhadap kehilangan biomassa anaerob pada bioreaktor hybrid anaerob dua fasa

Gambar 4 menunjukkan bahwa kehilangan biomassa secara umum mempunyai kecenderungan meningkat dengan meningkatnya waktu tinggal hidraulik. Pada waktu tinggal hidraulik 1 hari menunjukkan bahwa kehilangan biomassa sebesar 1,3 g/L, pada waktu tinggal hidraulik 1,3 hari menunjukkan bahwa kehilangan

biomassa diperoleh sebesar 1,2 g/L. Sementara itu, pada waktu tinggal hidraulik 1,5 hari menunjukkan bahwa kehilangan biomassa diperoleh sebesar 1,6 g/L, pada waktu tinggal hidraulik 1,7 hari menunjukkan bahwa kehilangan biomassa diperoleh sebesar 2,1 g/L dan pada

waktu tinggal hidraulik 2 hari menunjukkan bahwa kehilangan biomassa diperoleh sebesar 2,0 g/L.

Hal yang menarik dikaji adalah kehilangan biomassa relatif lebih rendah dibandingkan dengan nilai VSS umpan limbah cair pabrik kelapa sawit yaitu sebesar 7 g/L. Hal ini membuktikan bahwa sistem bioreaktor hybrid anaerob dua fasa telah optimal mencegah terjadinya kehilangan biomassa dari peningkatan laju alir umpan sehingga peningkatan waktu tinggal hidraulik tidak mempengaruhi biomassa anaerob yang melekat pada media imobilisasi sel. Dengan demikian, konsentrasi biomassa dalam bioreaktor meningkat dan waktu tinggal biomassa dapat diperpanjang, sehingga

bioreaktor ini mampu mengkonversi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi bahan bakar gas.

### 3.4 Studi Komperatif Kinerja Bioreaktor Hybrid Anaerob Dua Fasa

Studi banding kinerja bioreaktor ditinjau dengan membandingkan kinerja bioreaktor hybrid anaerob dua fasa dengan berbagai kinerja bioreaktor anaerob lainnya dalam mengkonversi limbah cair industri. Perbandingan kinerja bioreaktor ini dengan bioreaktor lainnya ditampilkan pada Tabel 5.

**Tabel 5** 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	Ahmad, 2009
BIOHAN (PELEPAH)	Minyak sawit	50	84	1	Ahmad, 2009
BIOHAN DUA FASA	Minyak sawit	100	84	1,5	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 unggun 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 5 menunjukkan bahwa kinerja bioreaktor hybrid anaerob dua fasa memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *anaerobic pond* dan *high-rate anaerobic pond* (Thanh, 1980), namun lebih rendah dibandingkan bioreaktor berpenyekat anaerob (Ahmad, 2001). 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. Sementara itu, Ahmad (2009) telah mengembangkan bioreaktor hybrid anaerob yang 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, sedangkan pada penelitian ini mampu menyisihkan COD dengan efisiensi penyisihan sebesar 84 % pada waktu tinggal 1,5 hari.

Di samping itu, kinerja bioreaktor hybrid anaerob dua fasa 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, sedangkan bioreaktor hybrid anaerob dua fasa pada penelitian ini mampu menyisihkan COD sebesar 84 % selama waktu tinggal cairan 0,5 pada fasa asidogenesis dan 1 hari pada fasa metanogenesis. Di samping itu, kinerja bioreaktor hybrid anaerob dua fasa memiliki kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bioreaktor unggun fluidisasi anaerob (Arief, 1992; Ahmad dan Setiadi, 1993). Bioreaktor unggun 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 1,5 hari pada penelitian ini menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hybrid anaerob dua fasa lebih baik karena ukuran bioreaktor yang relatif kecil dengan sendirinya kebutuhan lahan untuk membangun instalasinya relatif penghematan secara ekonomi.

Bila dibandingkan bioreaktor hybrid anaerob dua fasa pada penelitian ini dengan sistem yang lain dalam mengolah limbah cair industri minyak sawit (Ahmad, 2001, Faisal, 1994; Retnowati, 1996) menunjukkan bahwa penyisihan COD pada penelitian ini relatif sama, namun waktu pengolahan jauh lebih pendek yaitu 1,5 hari. Hal ini merupakan suatu indikasi bahwa sistem bioreaktor hybrid anaerob dua fasa lebih unggul dibandingkan dengan sistem bioreaktor lainnya. Hal ini disebabkan karena rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas sebesar 0,052 sehingga aktivitas bakteri metanogen lebih optimal dalam memanfaatkan senyawa

organik sederhana menjadi biogas. Menurut Sahm (1984) bahwa proses anaerob mempunyai kestabilan tinggi jika mempunyai rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas berkisar dibawah 0,1. Di samping itu, kelebihan bioreaktor hybrid anaerob dua fasa ditunjukkan oleh kemampuan untuk menerima pembebanan COD tinggi yakni sebesar 100 KgCOD/m<sup>3</sup>-hari pada waktu tinggal 1,5 hari dengan efisiensi penyisihan COD sebesar 84 %. Dengan demikian, bioreaktor hybrid anaerob dua fasa mampu digunakan untuk biokonversi limbah cair pabrik kelapa sawit menjadi bahan bakar gas dengan beban COD tinggi.

### 3.5 Pemanfaatan Keluaran Bioreaktor Sebagai Pupuk Cair

Pada bagian ini akan diuraikan kajian pemanfaatan cairan keluaran bioreaktor sebagai pupuk cair. Hasil analisis kandungan nutrisi yang terdapat pada cairan keluaran bioreaktor hybrid anaerob dua fasa ditampilkan pada Tabel 6 dan 7.

**Tabel 6** Komposisi Nutrisi Keluaran Bioreaktor Hybrid Anaerob Fasa Asidogenesis

No.	Tempuhan	Konsentrasi (mg/L)			
		COD keluaran	Total Nitrogen	Total Posfor	Total Kalium
1.	2500	8500	225,8	20,3	314,0
2.	3750	10000	206,8	78,6	266,1
3.	5000	8000	3110,9	3,2	349,7
4.	7500	9500	3017,6	35,5	304,8

**Tabel 7** Komposisi Nutrisi Keluaran Bioreaktor Hybrid Anaerob Fasa Metanogenesis

No.	Laju Alir Umpan (L/hari)	Konsentrasi (mg/L)			
		COD	Total Nitrogen	Total Posfor	Total Kalium
1.	2500	8500	2822,4	14,7	381,4
2.	3750	10000	2195,2	26,7	375,8
3.	5000	8000	1881,6	14,8	355,8
4.	7500	9500	1254,4	20,3	358,0

Tabel 6 dan 7 menunjukkan bahwa kandungan nutrisi keluaran bioreaktor hybrid anaerob relatif tinggi sehingga dapat digunakan sebagai pupuk cair pada lahan perkebunan kelapa sawit dengan metoda aplikasi lahan (*Land Application*). Limbah cair pabrik kelapa sawit yang memenuhi sebagai pupuk cair pada aplikasi lahan yang mempunyai konsentrasi BOD kecil dari 5000 mg/L. Menurut Chin (1981) bahwa limbah cair pabrik kelapa sawit mempunyai rasio antara BOD dengan COD adalah sebesar 50 %. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa keluaran bioreaktor hybrid anaerob dua fasa mempunyai konsentrasi dibawah 10000 mg/L sehingga setara dengan konsentrasi BOD sebesar 5000 mg/L. Di samping itu, keluaran tersebut mengandung nutrisi yang relatif besar baik pada bioreaktor fasa asidogenesis maupun pada bioreaktor fasa metanogenesis sebagaimana ditampilkan

pada Tabel 6 dan 7. Dengan demikian, keluaran bioreaktor hybrid anaerob dapat digunakan sebagai pupuk cair karena memenuhi persyaratan peraturan pemerintah dengan kandungan COD dibawah konsentrasi 10000 mg/L yang setara dengan BOD dibawah konsentrasi 5000 mg/L dan mengandung nutrisi berupa unsur nitrogen, posfor dan kalium.

### KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kondisi optimum bioreaktor hybrid anaerob dua fasa mampu mengkonversi limbah cair dengan laju pembebanan organik tinggi sebesar 100 kgCOD/m<sup>3</sup>-hari, menyisihkan COD sebesar 92 kgCOD/m<sup>3</sup>-hari, efisiensi penyisihan COD sebesar

84 % dengan kualitas COD efluen sebesar 8000 mgCOD/L. Kehilangan biomassa anaerob relatif kecil sebesar 1,6 mgVSS/L dengan rasio asam lemak volatil dengan alkalinitas sebesar 0,052 pada waktu tinggal hidraulik 1,5 hari (fasa asidogenesis 0,5 hari dan fasa metanogenesis 1 hari) dan perolehan gas metan spesifik sebesar 46 m<sup>3</sup>/KgCOD, sehingga penurunan potensi pencemar limbah cair dan limbah padat pabrik kelapa sawit dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah cair dan limbah padat tersebut sebagai pupuk cair dan media imobilisasi sel.

2. Perolehan gas metan spesifik dengan variabel laju pembebanan COD menunjukkan bahwa laju pembebanan organik 50 KgCOD /m<sup>3</sup>-hari diperoleh gas metan spesifik sebesar 20,8 m<sup>3</sup>/KgCOD disisihkan, pada laju pembebanan organik 75 KgCOD /m<sup>3</sup>-hari diperoleh gas metan spesifik sebesar 32,5 m<sup>3</sup>/KgCOD disisihkan.. Sementara itu, pada laju pembebanan organik 100 KgCOD/m<sup>3</sup>-hari diperoleh gas metan spesifik sebesar 46 m<sup>3</sup>/KgCOD disisihkan dan pada laju pembebanan organik 150 KgCOD /m<sup>3</sup>-hari diperoleh gas metan spesifik sebesar 70,3 m<sup>3</sup>/KgCOD disisihkan.
3. Keluaran bioreaktor hybrid anaerob dua fasa dapat digunakan sebagai pupuk cair karena memenuhi persyaratan peraturan pemerintah dengan kandungan COD dibawah konsentrasi 10000 mg/L yang setara dengan BOD dibawah konsentrasi 5000 mg/L dan mengandung nutrisi berupa unsur nitrogen, posfor dan kalium.

#### 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 2010 dengan surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian No. 163/SP2H/PP/DP2M/III/2010 tanggal 1 Maret 2010.

#### 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)