

## PENGARUH LAJU ALIR UMPAN TERHADAP PENYISIHAN KANDUNGAN PADATAN LIMBAH CAIR INDUSTRI MINYAK SAWIT DENGAN BIOREAKTOR HIBRID BERMEDIA BATU SKALA PILOT PLANT

**Agnita Febyanti, Adrianto Ahmad, Bahruddin**

Laboratorium Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia-Universitas Riau

Email : [mbie\\_dunk@yahoo.com](mailto:mbie_dunk@yahoo.com)

### Abstrak

*Perkembangan industri kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Namun seperti dua sisi mata uang, dampak positif dari perkembangan juga diikuti dampak negatif terhadap lingkungan akibat dihasilkannya limbah industri dari hasil pengolahan sawit. Saat ini diperkirakan jumlah limbah cair yang dihasilkan oleh industri minyak sawit di Indonesia mencapai 28,7 juta ton/tahun. Penanganan limbah cair industri minyak sawit dapat dilakukan dengan proses anaerob menggunakan bioreaktor hibrid bermedia batu. Bioreaktor hibrid anaerob merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan tersuspensi dan sistem pertumbuhan melekat. Media pelekatan mikroorganisme yang digunakan adalah batu. Batu dipilih karena batu relatif murah, kuat, mudah didapat, tahan terhadap tekanan dan memiliki luas permukaan perunit volume yang tinggi. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah penyisihan kandungan padatan limbah cair sawit meliputi TS, TVS, TSS dan VSS. Variabel proses yang diamati adalah laju alir umpan yang masuk ke bioreaktor. Laju alir yang diberikan adalah 2,5 L/hari, 3,3 L/hari, 5 L/hari, dan 10 L/hari dengan kondisi operasi pada pH  $6,0 \pm 0,2$  dengan suhu  $35 \pm 1$  °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besarnya efisiensi penyisihan kandungan padatan TSS sebesar 51,66% dan kandungan VSS sebesar 76,79% dengan laju alir 2,5 L/hari. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem bioreaktor hibrid bermedia batu baik dalam mencegah kehilangan biomassa anaerob dan mampu digunakan untuk mengolah limbah cair industri kelapa sawit.*

*Kata kunci : bioreaktor hibrid; kandungan padatan; limbah cair sawit; proses anaerob*

### Abstract

*The development of the palm oil industry in recent years experienced strong growth. But like two sides of the coin, the positive impact of the developments also followed a negative environmental impact caused by industrial waste resulting from processing of oil. Currently estimated amount of wastewater generated by oil palm industry in Indonesia has reached 28.7 million tons/year. Handling liquid waste palm oil industry can be done by the anaerobic process in bioreactor hybrid rocks of media. Anaerobic hybrid bioreactor system is a combination between suspended growth and attached growth systems. Media attachment microorganism used is stone. Stone is chosen because it is cheap, accessible, resistant to pressure and has a surface area of high volume perunit. The parameters used in this study is the provision for oil content of wastewater solids include TS, TVS, TSS and VSS. The observed process variables are feed flow rate into the bioreactor. Given flow rate is 2.5 L / day, 3.3 L / day, 5 L / day, and 10 L / day with the operating conditions at pH  $6.0 \pm 0.2$  with a temperature of  $35 \pm 1$  °C. The results showed that the level of efficiency allowance solids content of 51,66% for TSS and VSS content of 76,79% with a flow rate of 2.5 L / day. These results indicate that the hybrid bioreactor system of media stones prevent loss of biomass in both anaerobic and capable of being used to process liquid waste oil palm industry.*

*Keywords : anaerobic process; hybrid bioreactor; solids content, wastewater palm oil*

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan bisnis dan investasi minyak sawit dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat. Pada tahun 2000 produksi minyak sawit di Indonesia mencapai 5,094 juta ton per tahun dan hingga tahun 2007, produksi minyak sawit di Indonesia mencapai 11,809 juta ton per tahun (BPS, 2008). Dan seiring dengan meningkatnya produksi minyak sawit, konsumsi minyak sawit dalam negeri juga terus meningkat tiap tahunnya. Pada tahun 2004 konsumsi minyak sawit dalam negeri mencapai 3.347 ribu ton per tahun dan hingga tahun 2008, konsumsi minyak sawit mencapai 4.105 ribu ton per tahun (Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2008).

Namun seperti dua sisi mata uang yang tidak dapat terpisahkan, dampak positif dari perkembangan juga diikuti dampak negatif terhadap lingkungan akibat dihasilkannya limbah industri dari hasil pengolahan sawit. Limbah cair yang dikeluarkan dari industri minyak sawit berkisar 2 hingga 3 m<sup>3</sup> setiap ton minyak sawit yang dihasilkan (Ditjen PPHP, 2006). Limbah cair industri minyak sawit umumnya bersuhu tinggi, berwarna kecoklatan, mengandung padatan total (TS) yang tinggi berkisar antara 15.890 mg/L. Sedangkan menurut baku mutu limbah yang ditetapkan oleh Kepmen Lingkungan Hidup Nomor 51/MEN LH/10/1995 nilai TS sebesar 250 mg/L. Jadi jika padatan ini langsung dibuang ke perairan akan berdampak buruk bagi biota yang ada di perairan tersebut.

Penanganan yang sesuai untuk limbah cair industri minyak sawit adalah dengan proses anaerob (Ahmad dan Setiadi, 1993). Proses anaerob merupakan proses biodegradasi senyawa organik secara biologis dalam kondisi tanpa kehadiran oksigen. 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 CH<sub>4</sub> (50-70%) dan CO<sub>2</sub> (25-45%), serta N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S dalam jumlah kecil.

Salah satu pengolahan limbah cair secara anaerob yang dapat dilakukan adalah dengan bioreaktor hibrid anaerob (Malia, 2009). Bioreaktor hibrid anaerob merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan tersuspensi, dan sistem pertumbuhan melekat. Media pelekatan mikroorganisme yang digunakan adalah batu. Sistem pertumbuhan tersuspensi adalah sistem pertumbuhan dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam fasa cair, sedangkan sistem pertumbuhan melekat dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang melekat di atas media pendukung dengan membentuk lapisan biomassa (Ahmad, 2009). Pada sistem pertumbuhan tersuspensi diharapkan dapat berlangsung proses asidogenesis, sedangkan pada pertumbuhan melekat diharapkan berlangsung proses metanogenesis. Makalah ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh laju alir umpan terhadap penyisihan kandungan padatan limbah cair industri minyak sawit dengan biorektor hibrid anaerob bermedia batu.

## **METODE PENELITIAN**

### ***Karakteristik Limbah Cair***

Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah cair industri minyak sawit Pabrik Minyak Sawit PTPN V Sei Pagar Kec. Perhentian Raja. Karakteristik limbah cair industri minyak sawit dapat dilihat pada Tabel 1.

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

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	5,6
Total Solid (TS)	g/L	15,89
Total Volatile Solid (TVS)	g/L	2,86
Total Suspended Solid (TSS)	g/L	14,56
Volatile Suspended Solid (VSS)	g/L	2,54

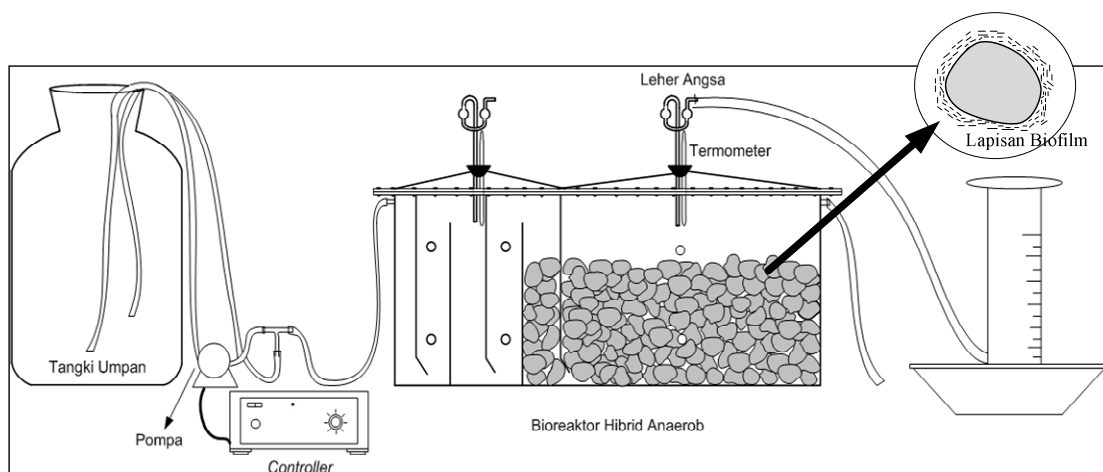
### **Pembibitan dan Aklimatisasi**

Mikroorganisme yang digunakan berupa kultur campuran (*mixed culture*) yang berasal dari ekstrak kotoran sapi. Persiapan bibit kultur campuran dilakukan dengan mengambil sejumlah kotoran sapi segar, kemudian disaring dengan kain kasa dan filtratnya ditampung hingga mencapai volume 1 L. Filtrat yang diperoleh dimasukkan ke dalam pencerna anaerob (*anaerob digester*) yang berukuran 2 L dan alirkan gas nitrogen agar diperoleh kondisi anaerob. Pembibitan ini dilakukan pada kondisi lingkungan : suhu kamar dan pH 6,8 – 7,4. Untuk mencapai volume lumpur sebanyak 2 L maka ke dalam pencerna anaerob setiap hari ditambahkan 100 ml substrat (limbah cair) selama 10 hari. Setelah didapat volume lumpur sebesar 2 liter selanjutnya dilakukan aklimatisasi (Ahmad, 1992).

Bibit bakteri anaerob sebanyak 2 L diaklimatisasi dengan cara membuang cairan dari dalam digester sebanyak 200 ml lalu ditambahkan dengan 200 ml limbah cair segar yang memiliki kandungan COD tertentu ke dalam digester anaerobik. Tahap aklimatisasi ini dilakukan selama 55 hari sehingga dapat dipastikan bahwa mikroorganisme dan limbah cair telah teraklimatisasi dengan baik (Ahmad, 1992).

### **Rancangan Bioreaktor**

Bioreaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah bioreaktor berpenyekat hibrid anaerob yang menggabungkan sistem pertumbuhan bakteri tersuspensi dan melekat, seperti yang terlihat pada Gambar 1. Volume kerja dari bioreaktor ini adalah 10 L, dimana 5 L untuk bagian bersekat dan 5 L untuk bagian yang tidak bersekat.



Gambar 1. Rancangan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu

Batu dimasukkan ke dalam bagian yang tidak bersekat dengan ketebalan  $\frac{3}{4}$  dari tinggi cairan. Kemudian pada bagian yang tersuspensi dimasukkan kultur campuran yang telah diaklimatisasi, sedangkan bagian yang melekat dimasukkan kultur campuran dari ITB sehingga volume reaktor efektif cairan 10 L. Kemudian diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem yang bertujuan untuk mengusir oksigen terlarut dalam cairan. Lalu dibiarkan selama 3 hari. Hal ini bertujuan untuk mengendapkan biomassa dari kultur campuran. Setelah itu, dialirkan umpan dengan laju alir 5 L/hari dan diresirkulasi. Pola aliran mengikuti rezim di dalam sistem bioreaktor hibrid anaerob.

### Start-up Bioreaktor

Start-up bioreaktor dilakukan dengan cara memasukkan lumpur bibit anaerob dari hasil aklimatisasi dan lumpur bibit anaerob dari ITB ke dalam bioreaktor. Lumpur bibit anaerob dari ITB merupakan lumpur yang sudah terbiasa dengan pembebanan yang tinggi. Setelah itu, diumpankan limbah cair keluaran kolam 1 PTPN V Sei. Pagar sebanyak 5 L/hari dan diresirkulasi. Kondisi operasi bioreaktor selama *start-up* dilakukan pada temperatur kamar dan pH 6,8 – 7,4. Proses *start-up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan fluktuasi efisiensi penurunan COD berkisar 10%.

### Variabel Penelitian

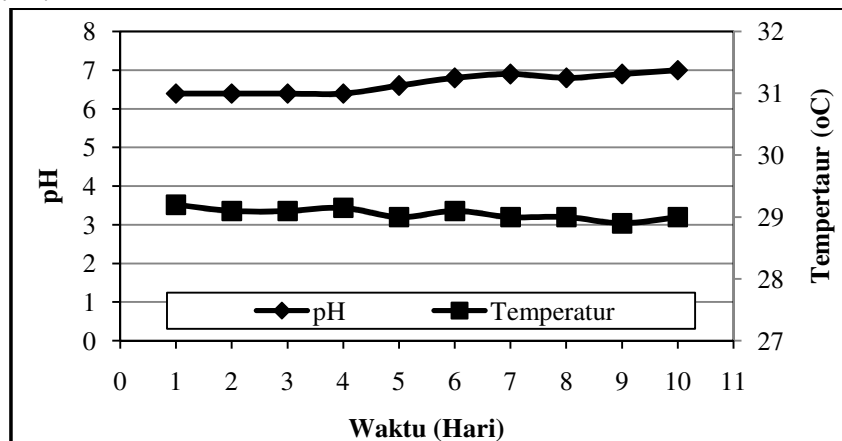
Variabel proses yang digunakan adalah laju alir masuk limbah cair minyak sawit yaitu 2,5 L/hari, 3,3 L/hari, 5 L/hari, dan 10 L/hari. Kondisi operasi bioreaktor dilakukan pada temperatur kamar dan pH 6,8 – 7,4. Parameter yang diamati antara lain TS (*Total Solid*), TVS (*Total Volatile Suspended*), TSS (*Total Suspended Solid*) dan VSS (*Volatile Suspended Solid*). Analisa padatan dilakukan sesuai dengan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA & WPCF, 1992).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan selama dilakukannya variasi laju alir pada bioreaktor hibrid anaerob ditampilkan dengan melihat hubungan antara waktu *start-up* terhadap pH dan temperatur, waktu *start-up* terhadap konsentrasi padatan dan hubungan antara laju alir umpan terhadap konsentrasi padatan pada bioreaktor serta hubungan antara laju alir umpan terhadap efisiensi kandungan padatan pada bioreaktor.

### pH dan Temperatur

Perubahan nilai pH dan temperatur selama berlangsungnya proses *start-up* ditampilkan pada Gambar 2.



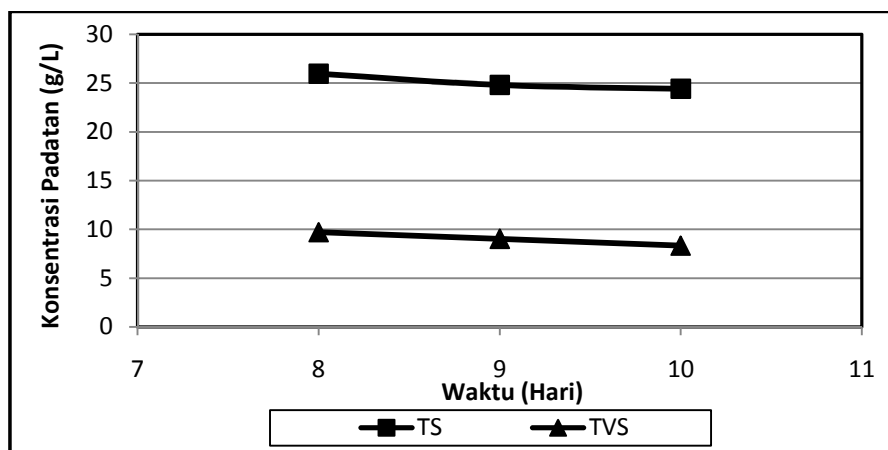
Gambar 2. Hubungan Waktu *Start-up* terhadap pH dan Temperatur

Gambar 2 menunjukkan bahwa selama proses *start-up*, nilai pH mengalami peningkatan tiap harinya. Bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap perubahan pH, dan pada umumnya hanya dapat tumbuh dalam rentang pH yang sangat kecil. Laju pertumbuhan optimum bakteri metanogenik yaitu pada rentang pH 6,8 – 7,4 (Ahmad, 2004). Hasil percobaan menunjukkan bahwa pH cairan berfluktuasi sekitar 6,4 - 7. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengendalian pH umpan pada hari ke-4 dengan menambahkan larutan NaOH 5 N. Ion Na<sup>+</sup> dapat bersifat sebagai *buffer* sehingga dapat menjaga kenetralan pH (Manurung, 2004).

Gambar tersebut juga menunjukkan hubungan antara temperatur dengan waktu *start-up*. Rentang temperatur pertumbuhan mikroorganismenya selama proses *start-up* di dalam bioreaktor adalah berkisar dari 28,9 – 29,2 °C. Pada rentang suhu tersebut dapat dikatakan bahwa mikroorganismenya tergolong bakteri mesofilik yaitu berkisar dari 20 – 45°C. Kondisi lingkungan proses yang umum digunakan dalam mengolah limbah cair industri adalah mesofilik karena dalam rentang suhu mesofilik tidak membutuhkan penambahan energi untuk mengatur suhu proses (Ahmad, 2009).

### ***Konsentrasi Padatan Limbah Cair selama Proses Start-up***

Konsentrasi padatan selama proses *start-up* dapat dilihat pada Gambar 3.

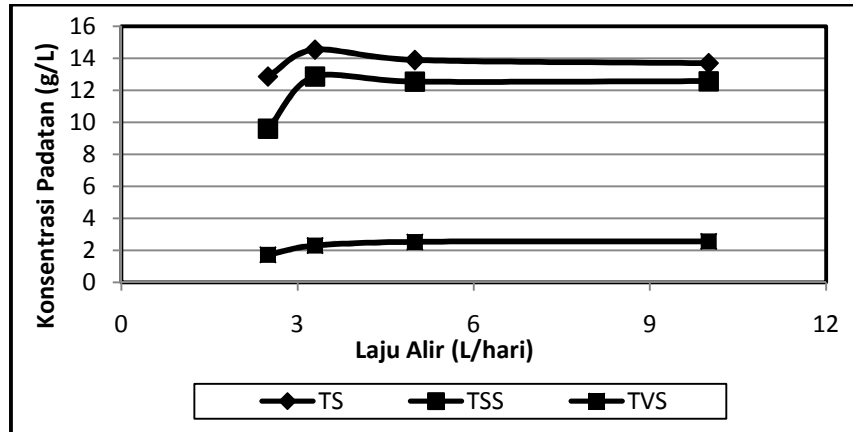


Gambar 3. Konsentrasi Padatan selama Proses *Start-up* pada Bioreaktor Hibrid Anaerob

Konsentrasi padatan dianalisa setelah keadaan *steady state* tercapai yang ditandai dengan fluktuasi penyisihan COD sebesar 10 %. Fluktuasi konsentrasi padatan pada padatan total maupun padatan volatil total mulai hari ke 8 dan seterusnya relatif konstan. Konsentrasi padatan total (TS) pada keadaan ini berkisar antara 24,44 – 25,98 g/L dan konsentrasi padatan volatil total (TVS) sekitar 8,34 - 9,72 g/L.

### ***Konsentrasi Padatan Limbah Cair selama Proses Kontinu***

Proses kontinu bioreaktor hibrid anaerob dilakukan dengan variasi laju alir umpan. Laju alir yang diberikan adalah 2,5 L/hari, 3,3 L/hari, 5 L/hari, dan 10 L/hari. Pengaruh laju alir umpan terhadap konsentrasi padatan pada kondisi *steady state* ditampilkan dalam Gambar 4.

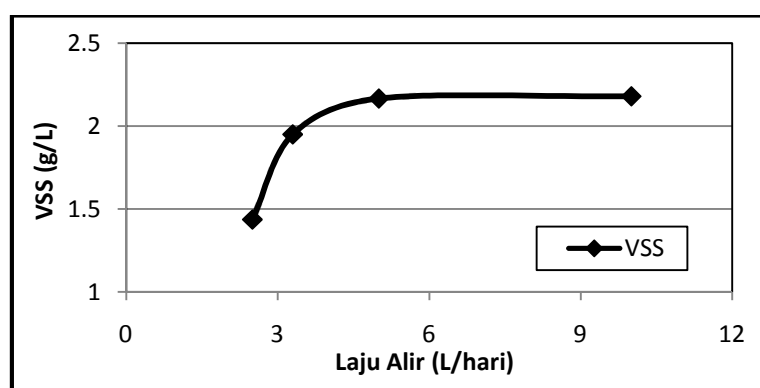


Gambar 4. Pengaruh antara Laju Alir Umpan Terhadap Konsentrasi Padatan Selama Proses Kontinu

Gambar 4 menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi padatan terhadap laju alir umpan. Semakin besar laju alir umpan yang dialirkan ke bioreaktor, maka konsentrasi padatan akan semakin besar. Konsentrasi padatan total (TS), TSS dan TVS pada laju alir 2,5 L/hari adalah sebesar 12,86 g/L, 9,6 g/L, 1,72 g/L. Pada laju alir 3,3 L/hari, nilai TS, TSS dan TVS adalah sebesar 14,54 g/L, 12,86 g/L, dan 2,29 g/L. Pada laju alir 5 L/hari, nilai TS, TSS dan TVS adalah 13,9 g/L, 12,54 g/L, dan 2,52 g/L. Dan pada laju alir 10 L/hari, nilai TS, TSS dan TVS mencapai 13,7g/L, 12,57 g/L dan 2,56 g/L. Hal ini membuktikan bahwa semakin rendah laju alir maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam limbah berlangsung baik, karena kontak antara mikroorganisme dengan limbah berlangsung cukup lama (Nugrahini, 2008).

#### **Konsentrasi Biomassa Anaerob Di dalam Sistem**

Konsentrasi biomassa di dalam sistem bioreaktor diukur sebagai padatan volatil tersuspensi (VSS) yang terdapat di dalam bioreaktor dan substrat (Ahmad, 2000). Hubungan konsentrasi biomassa terhadap laju alir dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara Konsentrasi Biomassa Terhadap Laju Alir Umpan di dalam Sistem

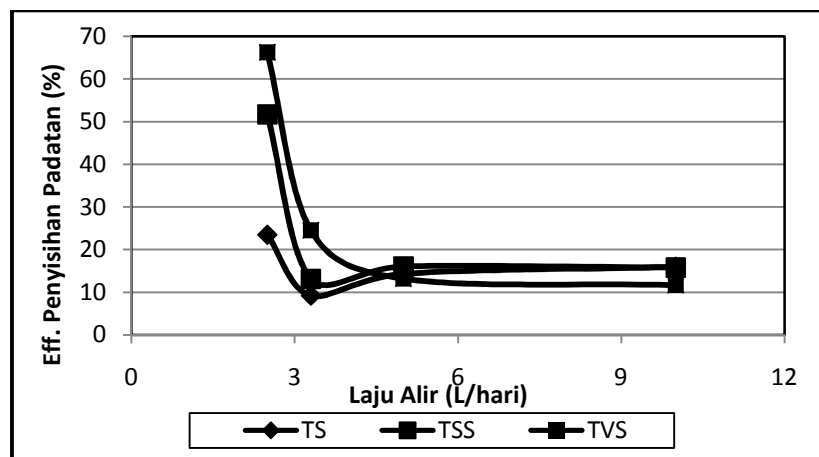
Gambar 5 menunjukkan bahwa konsentrasi biomassa yang terbawa keluar meningkat seiring dengan peningkatan laju alir umpan dalam bioreaktor. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada laju alir 2,5 L/hari diperoleh konsentrasi VSS sebesar 1,43 g/L. Pada laju alir 3,3 L/hari diperoleh nilai VSS sebesar 1,95 g/L. Pada laju alir 5 L/hari



diperoleh VSS sebesar 2,16 g/L dan pada laju alir 10 L/hari diperoleh VSS sebesar 2,18 g/L. Secara keseluruhan konsentrasi biomassa yang terbawa keluar semakin meningkat ketika laju alir umpan diperbesar dan itu menunjukkan bahwa kehilangan biomassa semakin meningkat karena pada saat laju alir umpan semakin besar maka pola aliran di dalam sistem akan menjadi turbulen sehingga dapat menghanyutkan padatan biomassa keluar dari sistem (Ahmad, 1999). Efisiensi penyisihan VSS terbesar pada laju alir 2,5 L/hari yaitu sebesar 76,79%. Tingginya efisiensi penyisihan VSS tersebut menunjukkan bahwa hanya sedikit konsentrasi biomassa yang mengalami *wash-out* dari sistem dan hal itu menunjukkan bahwa bioreaktor hibrid anaerob sangat baik dalam mempertahankan konsentrasi biomassa yang ada di dalam sistem.

### ***Efisiensi Penyisihan Konsentrasi Padatan***

Hubungan antara efisiensi penyisihan kandungan padatan terhadap laju alir umpan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan antara Efisiensi Penyisihan Kandungan Padatan terhadap Laju Alir Umpan pada Bioreaktor Hibrid Bermedia Batu

Dari Gambar 6 dapat diperoleh bahwa efisiensi penyisihan konsentrasi padatan yang paling tinggi adalah dengan laju alir umpan sebesar 2,5 L/hari yaitu sebesar 23,49% untuk TS, 51,66% untuk TSS, dan TVS sebesar 66,27%. Gambar tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan kandungan padatan semakin menurun dengan peningkatan laju alir umpan. Efisiensi penyisihan konsentrasi padatan menunjukkan kemampuan biodegradasi senyawa organik oleh bakteri anaerob menjadi gas metana dan gas CO<sub>2</sub> (Ahmad, 1999). Efisiensi konsentrasi padatan dengan laju alir 3,3 L/hari yaitu sebesar 9,2% untuk TS, 13,16% untuk TSS, dan TVS sebesar 24,52%. Pada laju alir 5 L/hari efisiensi penyisihan konsentrasi padatan adalah sebesar 14,31% untuk TS, 16,04% untuk TSS, dan TVS sebesar 13,19%. Sedangkan efisiensi terendah dicapai ketika laju alir ditingkatkan menjadi 10 L/hari atau yaitu sebesar 15,98% untuk TS, 15,80% untuk TSS, dan TVS sebesar 11,71%.

Tingginya efisiensi penyisihan kandungan padatan disebabkan karena laju alir umpan yang rendah sehingga mikroorganisme memiliki waktu yang lebih lama untuk mendegradasi senyawa organik yang terkandung didalam limbah cair yang diolah, sedangkan pada laju alir yang tinggi, mikroorganisme tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk mencerna senyawa organik yang merupakan nutrisi bagi mikroorganisme

tersebut. Laju alir umpan yang tinggi akan menyebabkan kecepatan alir (*velocity*) semakin meningkat sehingga laju alir tersebut dapat mempengaruhi turbulensi cairan di dalam bioreaktor. Turbulensi cairan ini akan memperkecil daya lekat padatan biomassa untuk media batu sehingga akan mendorong padatan biomassa ke atas dan keluar terbawa oleh aliran (Ahmad, 1999).

### Studi Komparatif Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob

Studi komparatif kinerja bioreaktor hibrid anaerob ditinjau dengan membandingkan kinerja bioreaktor hibrid anaerob terhadap bioreaktor anaerob lainnya dalam mengolah limbah cair industri. Perbandingan kinerja bioreaktor hibrid anaerob dengan bioreaktor lainnya disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Bioreaktor Anaerob lainnya

Jenis Bioreaktor	Limbah	Efisiensi Penyisihan Padatan (%)		Pustaka
		TSS	VSS	
Bioreaktor UASB	Pangan	-	68,9	Nugrahini (2008)
Anaerobic digestion	Tapioka	58,5	67,8	Widjaja et all (2008)
Bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu	Minyak Sawit	51,66	76,79	Penelitian ini

Keterangan:

UASB = Upflow Anaerobic Sludge Blanket

Tabel 2 menunjukkan bahwa penggunaan bioreaktor UASB dan digester anaerob memberikan efisiensi VSS yang lebih rendah dibandingkan dengan bioreaktor hibrid anaerob. Hal itu dapat dipahami karena bioreaktor UASB dan digester anaerob merupakan bioreaktor dengan sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi, sehingga konsentrasi biomassa yang tercapai relatif rendah karena tingginya biomassa yang mengalami *wash-out* dari sistem (Syafila et.al, 2003). Semakin rendah konsentrasi biomassa di dalam sistem, maka proses degradasi senyawa organik akan semakin rendah, sedangkan bioreaktor hibrid anaerob merupakan proses penggabungan sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dan melekat, sehingga memiliki kelebihan dalam mempertahankan konsentrasi biomassa dalam jumlah yang tinggi dan efisiensi degradasi senyawa organik menjadi lebih besar (Syafila et.al, 2003).

### KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Kondisi operasi selama proses *start-up* adalah dengan pH operasi berkisar antara 6,4 – 7,4 dan pada temperatur kamar.
2. Mikroorganisme yang digunakan termasuk pada kelas mesofilik yaitu berkisar 20 – 45°C.
3. Selama proses *start-up* konsentrasi padatan total (TS) , TVS, dan TSS cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena kandungan padatan yang berasal dari limbah cair telah didegradasi oleh bakteri anaerob membentuk biogas, sehingga konsentrasi padatan yang keluar dari efluen menjadi rendah.



4. Kehilangan biomassa meningkat seiring dengan peningkatan laju alir umpan dalam bioreaktor yaitu sebesar 2,18 g/L pada laju alir umpan 10 L/hari.
5. Laju alir umpan akan mempengaruhi efisiensi penyisihan kandungan padatan dalam limbah cair. Semakin tinggi laju alir umpan atau tingginya pembebanan organik dalam bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan, maka efisiensi penyisihan kandungan padatan dalam limbah cair akan semakin menurun.
6. Efisiensi penyisihan konsentrasi padatan terbesar dicapai pada laju alir 2,5 L/hari dengan nilai TS sebesar 23,49 %, TSS sebesar 51,66 % dan TVS sebesar 66,27 %.
7. Sistem bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu dapat mendegradasi senyawa organik yang relatif tinggi dengan efisiensi penyisihan TSS sebesar 51,66%.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Strategis Nasional Tahun Anggaran 2009 dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian No. 159/H19: /PL/2009 tanggal 31 Desember 2008.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. 1992. *Kinerja Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerobik Dua Tahap Dalam Mengolah Limbah Cair Industri Minyak Kelapa Sawit*. Laporan Magang, PAU-Bioteknologi ITB, Bandung.
- Ahmad, A. dan T. Setiadi, 1993. *Pemakaian Bioreaktor Unggun Fluidisasi Anaerob Dua Tahap dalam Mengolah Limbah Cair Pabrik Minyak Sawit*. Makalah Seminar Nasional Bioteknologi Industri, PAU-Bioteknologi ITB, Bandung, 27-29 Januari.
- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang, 1999. *Bioreaktor Berpenyekat Anaerob Untuk Pengolahan Limbah Industri Yang Mengandung Minyak dan Lemak: Pengaruh Pembebanan Organik terhadap Kinerja Bioreaktor*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 1999, TK-ITB, Bandung, 19-20 Oktober.
- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang, 2000. *Bioreaktor Berpenyekat Anaerob untuk Pengolahan Limbah Industri yang Mengandung Minyak dan Lemak: Kajian Dinamik Bioreaktor dengan Pembebanan Organik Rendah*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, FT-Universitas Diponegoro, Semarang, 26-27 Juli.
- Ahmad, A. 2004. *Studi Komperatif Sumber dan Proses Aklimatisasi Bakteri Anaerob pada Limbah Cair yang Mengandung Karbohidrat, Protein dan Minyak-Lemak*. Jurnal Sains dan Teknologi Vol.3 No.1, 2004 : 1-10.
- Ahmad, A. 2004. *Teknologi Bioproses dalam Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit*. Seminar Nasional Teknik Kimia Teknologi Oleo dan Petrokimia Indonesia.
- Ahmad, A. 2009. *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*. Diktat Kuliah, Universitas Riau, Pekanbaru.
- Anonim, 2008. *Produksi Berdasarkan Jenis Tanaman 1995-2007 (ton)*, Badan Pusat Statistik, <http://www.bps.go.id>, (30 November 2009)
- Anonim, 2008. *Statistik Produksi, Ekspor, dan Konsumsi Minyak Sawit Indonesia*, Pusat Penelitian Kelapa Sawit, <http://www.iopri.org>, 16 Maret 2010.
- APHA, AWWA & WCF. 1992. *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association, Washington DC.

- Ditjen PPHP, 2006. *Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit*. Subdit Pengelolaan Lingkungan Direktorat Pengolahan Hasil Pertanian, Departemen Pertanian.
- Malia, F. 2009. *Peranan Mikroorganisme Tersuspensi dan Terlekat di Fase Terlekat pada Bioreaktor Hibrid Upflow Anaerob Menggunakan Media Bambu untuk Biodegradasi Molase dengan Pengaruh Pembebanan Organik dan Waktu Detensi*. <http://www.itb.ac.id> Kategori Tesis/Skripsi, 23 November 2009.
- Manurung, R, 2004. *Proses Anaerobik sebagai Alternatif untuk Mengolah Limbah Sawit*. e-USU Repository, Universitas Sumatra utara.
- Nugrahini, P, 2008. *Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Pabrik Menggunakan Reaktor UASB*. Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, Universitas Lampung.
- Syafila M., A. H. Djajadiningrat dan M. Handajani, 2003. *Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Molase*. Prociding ITB Sains & Tek. Vol. 35 A, No. 1, hal 19-31.
- Widjaja, T., A. Altway, P. Prameswarhi dan F. S. Wattimena, 2008. *Pengaruh HRT dan Beban COD Terhadap Pembentukan Gas Methan pada Proses Anaerobic Digestion Menggunakan Limbah Padat Tepung Tapioka*. Makalah Seminar Nasional Soebardjo Brotohardjono, Surabaya, 18 Juni 2008.