

## DISTRIBUSI SUBSTRAT DI DALAM FIXED BED REACTOR (FBR)

Djoko Padmono

Pusat Teknologi Lingkungan  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

### Abstract

*Fixed Bed Reactor was the biological wastewater treatment reactor that was one of the Cakung Slaughterhouse (RPH Cakung) wastewater treatment. Biological wastewater treatment process in principle was process use of the microorganism to degrade the wastewater pollutant, where the wastewater will be changed into gas and the particle bio-solid that enabled to be sediment. The capability of the microorganism degrading this pollutant was influenced by various factor, some among them were the distribution of the substrate (microorganism group) in the reactor. The distribution of this substrate could be known by measuring the value of pH and organic content as Chemical Oxygen Demand (COD) or Total Solid (TTS). Considering the importance of the parameter then must be keep so that both of them, did not exceed limits that were allowed in the FBR operation. This paper was discussed by the condition for the distribution of the substrate in various hydraulic retention time (HRT). Analysis was held for the operation with the up-flow system. Results of the research could be known that the value of the pH and TS in various HRT relatively constant, that is between 6.93 – 7.15 (for the pH) and 0.32% - 0.56% (for TS). This value is still in limits that were allowed. This showed that the FBR reactor had the good performance was inspected from the condition for the distribution of the substrate inside.*

**Key words :** Fixed Bed Reaktor, biological wastewater, substrats distribution

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kebutuhan air bersih dan masalah pelestarian lingkungan pada saat ini, mengharuskan kita untuk segera melakukan antisipasi yaitu dengan berusaha semaksimal mungkin melindungi sumber daya air yang ada dari pencemaran. Antisipasi dalam hal ini adalah mengupayakan untuk mengolah air limbah/buangan sebelum dibuang ke badan sungai, dengan memanfaatkan kemajuan ilmu

pengetahuan dan teknologi yang ada, termasuk didalamnya adalah bioteknologi. Bioteknologi merupakan aplikasi teknologi yang terjadi tumpuan dalam pengolahan air buangan yang bersifat biodegradable. Dengan menggunakan kemampuan mikroorganisme, senyawa-senyawa organik yang terlarut dalam air buangan dikonversikan ke bentuk yang lebih stabil seperti gas dan partikel *biosolid* yang mudah untuk diendapkan. Kemampuan mikro-organisme dalam menguraikan limbah ini pada dasarnya dipengaruhi berbagai faktor<sup>(1)</sup> seperti waktu tinggal hidrolis, laju

pembebanan, temperatur, asam lemak organik, alkalinitas dan sebagainya. Disamping itu terdapat juga faktor dominan yang mempengaruhi kemampuan mikroorganisma ini yaitu distribusi substrat.

Dalam percobaan ini dikaji kondisi distribusi substrat dalam reaktor pada berbagai nilai waktu tinggal hidrolis atau *hydraulic Retention Time* (HRT). Pengamatan dilakukan dengan mengukur nilai *Total Solid* (TS) dan pH pada titik dari *Anaerobic Fixed Bed Reactor* (FBR), dengan menggunakan substrat limbah isi rumen yang dihasilkan dari rumah potong hewan.

## I.2 Tinjauan Pustaka

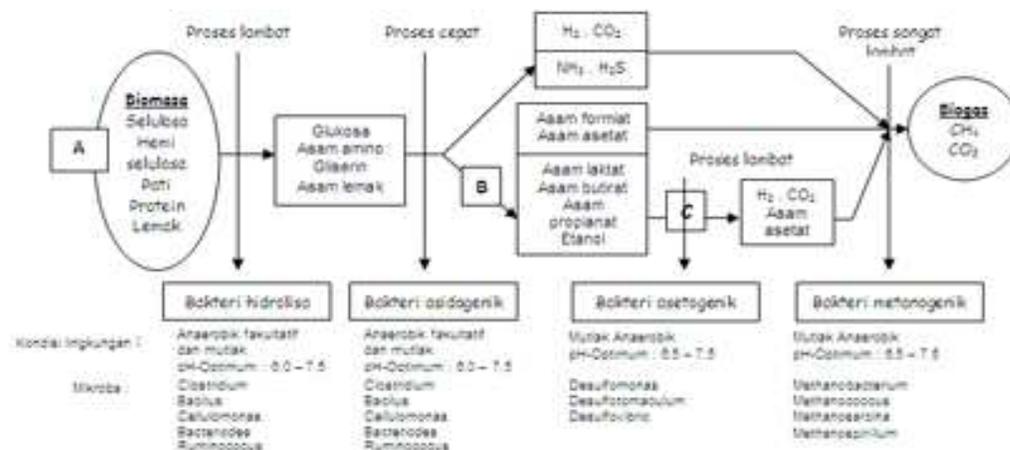
Prinsip dasar dari penolakan limbah secara biologis adalah penggunaan kemampuan mikroorganisma dalam mendegradasi/menguraikan bahan organik suatu limbah. Pengolahan limbah dengan menggunakan *Fixed Bed Reactor* (FBR) merupakan salah satu dari jenis pengolah limbah biologis ini. Proses biologis yang terjadi didalamnya adalah terurainya bahan organik limbah oleh mikroorganisma anaerobic yang tumbuh dengan melekat pada suatu media (dalam percobaan ini digunakan media *fabricated*).

Proses penguraian bahan dalam FBR berlangsung dalam 4 (empat) tahap, yaitu :

proses hidrolisis dan fermentasi, proses pembentukan asam lemak, proses pembentukan Asetat, dan terakhir proses pembentukan gas metana. Di dalam keempat proses tersebut berperan berbagai jenis bakteri yang kemampuan kerjanya dipengaruhi oleh kondisi lingkungan reaktor sebagaimana terlihat dalam Gambar-1. Kondisi ini ditentukan oleh beberapa faktor<sup>(1)</sup> antara lain:

1. Waktu tinggal hidrolis (*Hydraulic Retention Time* - HRT)
2. Laju pembebanan organik (*organic Loading Rate*)
3. Asam lemak organik
4. Temperatur
5. Alkalinitas
6. C/N ratio
7. Senyawa racun dan penghambat (*Toxic dan Inhibitor*)
8. Distribusi substrat yang ditunjukkan dengan nilai parameter sebagai berikut:
  - pH
  - *Total Solid* (TS)

Dalam makalah ini dikaji kondisi distribusi substrat pada berbagai macam harga HRT untuk menentukan performansi reaktor. Seperti telah dijelaskan di atas, distribusi substrat dalam reaktor dapat diukur dengan nilai pH dan TS, sedang



Gambar-1. Konversi biomasa menjadi Biogas<sup>(3)</sup>

pengaruh ke-2 parameter ini pada performansi reaktor tersebut adalah:

**Pengaruh pH :** Pada harga pH yang rendah diakibatkan oleh proses dari tahap ke dua terbentuknya asam lemak volatil. Pada kondisi yang sangat asam, bakteri acetogenic (bakteri pembentukan asam asetat) mungkin masih bisa bertahan hidup, tetapi bakteri methanogenic (bakteri pembentuk gas methan) sama sekali tidak bisa bertahan hidup. Harga pH optimum yang dibutuhkan dalam proses Anaerobic FBR ini adalah 6,0 – 8,5<sup>(2,3)</sup>. Proses akan berlangsung sangat baik pada pH 7, karena pada pH netral ini akan didapatkan proses yang optimum<sup>(4)</sup>. Pada pH 5,5 proses masih bisa berjalan dan bila pH turun sampai 4 maka proses akan terhenti sama sekali<sup>(1)</sup>.

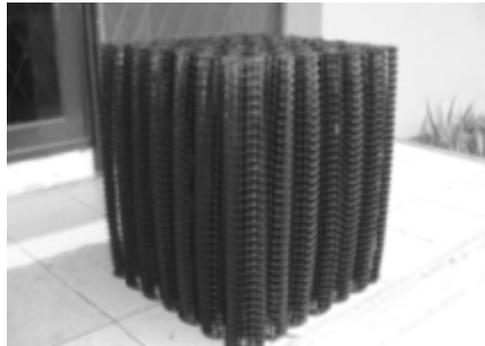
**Total Solid (TS) :** Kandungan total solid dari air limbah yang diumpankan, merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam pengoperasian FBR. Kandungan solid yang terlalu besar akan mengganggu kelangsungan proses dalam FBR, yaitu akan terjadinya penyumbatan aliran pada reaktor FBR. Kandungan total solid yang baik untuk FBR ini adalah kurang dari 5%<sup>(3)</sup>.

### 1.3 Tujuan

Dalam makalah ini dikaji kondisi distribusi substrat pada berbagai macam harga HRT untuk menentukan performansi reaktor FBR.

## 2. METODOLOGI

Reaktor yang digunakan pada peneliti ini adalah *Fixed Bed Reactor* dengan volume 900 m<sup>3</sup> dan volume kerja 600 m<sup>3</sup>. Media yang digunakan sebagai *material support* adalah *fabricated material* seperti terlihat dalam Gambar-2. dengan luas permukaan spesifik media tumbuh per volume reaktor mencapai 100 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> dan porositasnya 80%.



Gambar-2. Media tumbuh Mikroorganisme

Reaktor dioperasikan dengan menerapkan sistem *up-flow*. Setelah melalui periode *start-up* yang dimaksudkan untuk membiakkan bakteri selama 22 hari, dilakukan pembebanan dengan memompakan limbah rumah potong hewan Cakung ke dalam reaktor yang besarnya ditingkatkan secara berangsur-angsur. Pada setiap nilai pembebanan, diadakan pengamatan terhadap nilai *Total Solid* (TS) dan pH pada 3 titik pada reaktor yang terletak pada bagian atas, tengah dan bawah. Selain itu juga diadakan pengamatan terhadap parameter-parameter lain seperti COD dari *influent* dan *effluent* (untuk menentukan efisiensi), serta produksi gas dan persentasi CH<sub>4</sub>.

Dari data-data selanjutnya dilakukan analisa untuk mengetahui distribusi substrat dalam reaktor, hubungan distribusi substrat terhadap efisiensi reaktor dan produksi gas. Hal ini dilaksanakan dalam rangka untuk mencoba mengetahui keterkaitan parameter-parameter tersebut.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana diuraikan di atas, untuk mengetahui sifat distribusi substrat dapat dilihat dari hasil pengukuran pH dan TS pada berbagai ketinggian (3 titik). Pengamatan ditinjau berdasarkan kinerja reaktor sebagaimana ditunjukkan hubungan HRT dengan efisiensi reaktor dalam Tabel-1. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kondisi

reaktor pada efisiensi yang optimal. Sedangkan hasil pengukuran terhadap perilaku distribusi mikroorganisme di dalam reaktor adalah seperti ditunjukkan oleh Tabel-2 dan Tabel-3.

Tabel-1. Nilai rata-rata efisiensi Reaktor FBR terhadap HRT.

HRT	Debit	OLR	Efisiensi
Hari	m <sup>3</sup> /day	Kg COD/m <sup>3</sup> .hr	%
7.27	63	1.17	65.1
5.88	68	1.48	75.3
4.34	92	2.02	73.2
3.36	119	2.52	74.8
2.87	139	3.05	78.7

Dari Tabel-1 di atas dapat diketahui bahwa kondisi relatif stabil hingga mencapai HRT termasuk 3 hari. Terlihat dari efisiensi degradasi bahan organik di atas 65%, bahwa dapat mencapai 78,7%. Hal ini disebabkan karena penambahan pembakaran masih dapat mengikuti perilaku pertumbuhan bakteri sehingga keseimbangan lingkungan masing-masing terdapat mengganggu tahap lainnya.

Tabel-2. Nilai rata-rata pH menurut ketinggian reaktor pada berbagai HRT

HRT	Debit	Nilai rata-rata pH		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
(hari)	m <sup>3</sup> /hr	Bawah	tengah	atas
7.27	63	7.14	7.14	7.14
5.88	68	7.11	7.12	7.12
4.34	92	7.15	7.15	7.15
3.36	119	7.09	7.09	7.08
2.87	139	7.06	7.05	7.05

Dari hasil pengamatan di atas, terlihat bahwa pada HRT konstan, distribusi nilai pH pada berbagai ketinggian reaktor menunjukkan nilai yang relatif homogen. Keadaan yang homogen ini disebabkan oleh adanya material support, dalam hal ini adalah *fabricated material* sehingga substrat dapat terdegradasi sesuai tahapannya terdistribusi secara merata pada seluruh ketinggian reaktor.

Nilai pH cenderung menurun searah dengan pembebanan yang semakin bertambah. Pada HRT 3 hari nilai pH masih berada pada pH netral (pH = 7), hal ini mengindikasikan bahwa reaktor tidak teracuni dengan proses tahap esidogenik dan asetogenik yang banyak menghasilkan asam lemak volatil dan asam asetat.

Tabel-3. Nilai rata-rata *total solid* (TTS) menurut ketinggian reaktor pada berbagai HRT (dalam %).

HRT	Debit	Nilai rata-rata pH		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
(hari)	m <sup>3</sup> /hr	bawah	tengah	atas
7.27	63	0.32	0.32	0.32
5.88	68	0.36	0.36	0.35
4.34	92	0.42	0.42	0.42
3.36	119	0.45	0.45	0.45
2.87	139	0.50	0.50	0.50

Secara keseluruhan nilai pH yang terukur selama pengoperasian adalah cukup baik, karena mendekati harga pH netral<sup>(4)</sup>.

Sebagai gambaran bahwa proses berjalan dengan baik dapat dilihat pula dari produktivitas gas dalam Tabel-4.

Table-4. Produksi gas Methane/*Biogas*

HRT	Debit	Biogas	CH4%	Metan
(hari)	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /hr	m <sup>3</sup> /hr	
7.27	63	58	81	47.0
5.88	68	69	82	56.6
4.34	92	60	80	48.0
3.36	119	65	83	54.0
2.87	139	70	78	54.6

Dari tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai TS pada berbagai ketinggian pada reaktor adalah homogen untuk setiap harga HRT. Keadaan yang homogen ini disebabkan oleh adanya aliran dan pembentukan lapisan mikroorganisma yang melekat pada material support (*fixed film*) yang konstan dan merata pada seluruh ketinggian reaktor. Nilai TS yang selalu bertambah seiring dengan berkurangnya

nilai HRT adalah hal yang logis karena semakin bertambahnya beban.

Dari keseluruhan nilai TS yang terukur dapat disimpulkan pula bahwa kriteria pengoperasian FBR yang menetapkan nilai ideal TS dalam pengoperasian kurang dari 5% telah terpenuhi<sup>(4)</sup>. Oleh karena itu FBR dapat dinyatakan sangat cocok untuk mengolah limbah cair.

Tabel-1 menunjukkan kemampuan optimal dari reaktor adalah pada HRT 3 hari, dimana rata-rata pembebanan adalah 140 m<sup>3</sup>/hr. dengan nilai efisiensi : 78.7%. Hasil pengukuran yang ditunjukkan oleh Tabel 4 memperlihatkan bahwa biogas dan gas CH<sub>4</sub> yang dihasilkan dalam setiap peningkatan HRT, berkurang seiring dengan pertambahan debit yang diolah. Pada HRT 3 hari reaktor belum mencapai titik batas kemampuannya yang ditandai dengan adanya lonjakan biogas dan CH<sub>4</sub> yang dihasilkan. Dari hasil pengamatan ini dapat disimpulkan bahwa pada HRT 3 hari reaktor masih pada kondisi normal dan masih dapat ditingkatkan kembali efektivitasnya.

Dari studi perbandingan terhadap ke 4 tabel di atas, dapat diketahui bahwa keempat tabel mengindikasikan hal yang sama berkaitan dengan performansi reaktor, yaitu bahwa batas kemampuan reaktor belum mencapai kondisi minimum. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa data-data pada keempat tabel di atas, khususnya data untuk Tabel-1 dan-2 adalah cukup representative.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa diatas dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Distribusi substrat dalam reaktor yang ditunjukkan oleh nilai pH dan TS adalah faktor yang cukup dominan dalam

melihat kinerja pengoperasian reaktor FBR.

- Untuk HRT pada kondisi reaktor stabil, nilai pH dan TS terukur, pada berbagai ketinggian adalah relatif homogen. Hal ini karena adanya *fabricated material* sebagai material support yang membuat aliran dan lapisan mikroorganisma pada berbagai ketinggian menjadi konstan dan merata.
- Nilai pH dan TS terukur masing-masing 6.93 – 7.15 (untuk pH), dan 0.38% - 0.56% (untuk TS). Nilai masih dalam batas-batas yang diperkenankan dalam pengoperasian FBR. Dengan demikian, ditinjau dari distribusi substrat dalam reaktor, performansi FBR adalah baik.

##### 4.2 Saran

Anaerobik Fixed bed Reaktor dengan material penyangga berupa *fabricated material* masih dapat dioperasikan lebih pendek lagi. Hal ini dapat dilakukan pengkajain berikutnya untuk mengetahui batas kemampuan bawah dari jenis eraktor ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Stanfford, David A., et. All.1981. "Methane Production from Waste Organic Matter". CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
2. Stuckey, David C.1982. "Anaerobic Treatment of Industrial in The Developing Nationals". Management of Industrial Wastewater in Developing Nations, Editor : D. Stuckey and A Hamza, Pergamon Press, Oxford.
3. Tchobanoglous, George and Schroeder, Edward D.1987. "Water Zuality – Characteristicx Modelling, Modification". Addison – Wesley publishing Company, Reading, Massachusetts, 1987.
4. Graddy, C.P.L, and Lim, C.H. 1980. "Biological Wastewater Treatment – Therory and Applications". Marcel Dekker, Inc., New York.