



## Evaluasi Waktu *Start Up* pada Proses Peruraian *Stillage* secara Anaerobik Menggunakan Reaktor *Fixed Bed* dengan Zeolit sebagai Media Imobilisasi

Wivina Diah Ivontianti\*, Wiratni Budhijanto, dan Siti Syamsiah

Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada Jalan Grafika No.02 Yogyakarta

\*E-mail: [wiratni@ugm.ac.id](mailto:wiratni@ugm.ac.id)

### Abstract

*Stillage* was a waste containing high organic load and thus potentially as substrate anaerobic decomposition. However the complexity of the compounds contained therein has caused the decomposition process was slow. The study was conducted to evaluate the effect of substrate concentration to performance and the start up time required in fixed bed reactor with zeolite as immobilization media for stillage decomposition. The evaluation of the fixed bed reactor performance was executed by comparing experimental data and simulation result from the mathematical modelling as the standard under ideal condition for anaerobic stillage decomposition that has been compiled. The start up phase was conducted in the circulated batch system in two cycles with different substrate concentrations. Based on the evaluation, the first cycle with the substrate concentration of 11.900 mg sCOD/L required 7-10 days to start up. If the first cycle had been conducted in more than 10 days, the condition was not optimum and it led to the death of microorganism. In the second cycle start-up phase with concentration of the substrate of 17.600 mg/L sCOD in the reactor resulted in the failure of the system due to organic shock loading. From this study, it is obtained the substrate with low concentration, 10.000 mg/L was good to start up.

**Keywords:** fixed bed reactor, stillage, start up, mathematic model, anaerobic digestion

### Pendahuluan

*Stillage* merupakan limbah pengolahan etanol yang mengandung beban organik yang tinggi (COD 60.000-120.000 mg/L), pH rendah (3,7-4,5), mengandung senyawa *phenolic*, melanoidin yang berpotensi toksik bagi mikroorganisme (España-Gamboa dkk., 2011; Prakash dkk., 2014). Tingginya senyawa organik di dalam *stillage* berpotensi sebagai substrat akan tetapi bukan substrat ideal karena mengandung senyawa toksik. Dalam peruraian anaerobik terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan peruraian salah satunya ialah fase *start up*. Tahap *start up* bertujuan untuk mengembangkan biomassa pada media imobilisasi hingga tercapai kondisi biofilm dan system reaktor yang stabil. Upaya mempersingkat *start-up* merupakan faktor penting untuk meningkatkan efisiensi system penguraian anaerobic secara kontinyu. Akan tetapi *stillage* merupakan substrat yang kompleks sehingga dibutuhkan strategi untuk mencapai keberhasilan pada tahapan *start up*.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi keberhasilan *start up*, di antaranya ketersediaan jumlah mikroorganisme awal, jenis, komposisi serta konsentrasi air limbah dan kondisi operasi reaktor (Weiland dan Rozzi, 1991). Upaya mempersingkat masa *start up* dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu dengan menggunakan air limbah berkonsentrasi rendah dan penambahan substrat sekunder atau inokulum (Alkarimiah dkk., 2011). Pada penelitian ini dilakukan peruraian *stillage* dengan peruraian anaerobik dalam reaktor *fixed bed* dengan zeolit sebagai media imobilisasi dengan menggunakan konsentrasi *stillage* yang berbeda. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh konsentras COD awal terhadap kinerja dan waktu *start up* yang dibutuhkan pada reaktor *fixed bed* dengan zeolit sebagai media imobilisasi dalam peruraian *stillage*.

Penelitian ini merupakan aplikasi dari beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang menggunakan reaktor *batch* sehingga dihasilkan model dan konstanta-konstanta kinetika untuk peruraian *stillage* secara anaerobik (Halim, 2015; Mellyanawaty, 2015). Model dan konstanta kinetika yang dihasilkan digunakan untuk direalisasikan dalam perancangan reaktor *fixed bed* kontinyu skala laboratorium dan untuk penyusunan permodelan matematis. Pada penelitian ini akan dihasilkan data 2 kelompok data yaitu sCOD, VFA dan CH<sub>4</sub> hasil eksperimen dan simulasi. Data yang dihasilkan dari simulasi dengan permodelan matematis merupakan prediksi kinerja reaktor dalam kondisi ideal sebagai acuan peruraian *stillage* secara anaerobik. Data eksperimen kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi sebagai standar kondisi terbaik yang mungkin dicapai jika reaktor beroperasi secara ideal. Dengan perbandingan ini maka akan diketahui tingkat kinerja reaktor *fixed bed* yang digunakan.





## Metode Penelitian

Permodelan matematis yang digunakan merupakan modifikasi model matematis Echigu dan Ghally (2014) yang digunakan disesuaikan dengan variabel-variabel proses yang bias dianalisis dengan fasilitas yang tersedia. Pada permodelan ini menggunakan pendekatan persamaan Contois dimana laju pertumbuhan mikroba dipengaruhi konsentrasi mikroba dan substrat, yang dituliskan pada Persamaan 1.

$$\mu_g = \frac{\mu_{m1} s}{K_{SX} X + s} \quad (1)$$

Oleh karena itu, laju pertumbuhan bakteri dirumuskan dalam Persamaan 2 untuk bakteri asidogen dan Persamaan 3 untuk bakteri metanogen.

$$\frac{dX_1}{dt} = \frac{\mu_{m1} sCOD}{K_{SX1} X_1 + sCOD} X_1 \quad (2)$$

$$\frac{dX_2}{dt} = \frac{\mu_{m2} VFA}{K_{SX2} X_2 + VFA} X_2 \quad (3)$$

Neraca massa sCOD dinyatakan dalam Persamaan 4.

$$\frac{d(sCOD)}{dt} = \frac{(sCOD_{in} - sCOD)}{\theta} - \left[ \left( \frac{1}{Y'_{X1/sCOD}} \right) \left( \frac{\mu_{m1} sCOD}{K_{SX1} X_1 + sCOD} X_1 \right) \right] \quad (4)$$

Kondisi awal untuk persamaan 4 adalah  $t=0$ ,  $sCOD=sCOD_0$ ,  $VFA=VFA_0$ ,  $X_1=X_1_0$  dan  $X_2=X_2_0$ .

Neraca massa VFA dinyatakan dalam Persamaan 5.

$$\frac{d(VFA)}{dt} = \frac{(VFA_{in} - VFA)}{\theta} + \left[ \left( \frac{Y_{VFA/sCOD}}{Y'_{X1/sCOD}} \right) \left( \frac{\mu_{m1} sCOD}{K_{SX1} X_1 + sCOD} X_1 \right) \right] - \left[ \left( \frac{Y_{CH_4/X_2}}{Y'_{CH_4/VFA}} \right) \left( \frac{\mu_{m2} VFA}{K_{SX2} X_2 + VFA} X_2 \right) \right] \quad (5)$$

Kondisi awal untuk Persamaan 5 adalah  $t=0$ ,  $VFA=VFA_0$ .

Neraca massa CH<sub>4</sub> dinyatakan dalam Persamaan 6.

$$\frac{dCH_4}{dt} = Y_{CH_4/X_2} \frac{d(X_2)}{dt} \quad (6)$$

Kondisi awal untuk Persamaan 6 adalah  $t = 0$ ,  $CH_4 = 0$ .

## Hasil dan Pembahasan

Substrat peruraian anaerobik ini merupakan campuran *stillage* bersama *effluent digester* aktif dengan perbandingan volume 2:1. Pada fase ini sistem dijalankan secara *batch* dengan resirkulasi aliran *upflow pada* reaktor *fixed bed* bermedia imobilisasi zeolit dengan tinggi reaktor 100 cm dan diameter 10 cm. Fase *start up* dihentikan jika sistem sudah tidak mengalami proses peruraian (tidak menghasilkan gas dan konsentrasi COD dan VFA tidak berubah) yang kemudian akan dilakukan *feeding* kembali dengan konsentrasi 50.000 mg/L. Pada tahap ini dilakukan pengambilan sampel untuk dianalisa beberapa parameter seperti pH, COD, VFA dan CH<sub>4</sub> setiap 3 hari sekali. Hasil simulasi didapatkan dengan memasukan kondisi awal yang sama dengan data eksperimen baik untuk parameter sCOD, VFA dan CH<sub>4</sub> pada persamaan dari model matematis yang kemudian menjadi standar kondisi ideal kinerja reaktor. Sedangkan konstanta kinetika yang digunakan dalam model matematis berasal dari hasil penelitian Mellyanawaty (2015) pada reaktor kontrol yaitu substrat dengan media tanpa tambahan ion Fe<sup>2+</sup> yang mengolah limbah *stillage* pada reaktor batch dengan beban organik sebagai sCOD per berat zeolit yang sama. Konstanta kinetika yang digunakan terdapat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Konstanta Kinetika (Mellyanawaty, 2015)

No	Konstanta	Nilai
1	$\mu_{m1}$ (hari <sup>-1</sup> )	19,9888
2	$K_{SX1}$ (mg sCOD/mg biomassa)	1999,98
3	$Y'_{X1/sCOD}$ (mg sel/mg sCOD)	0,0769
4	$Y'_{VFA/sCOD}$ (mg VFA/mg sCOD)	0,4626
5	$\mu_{m2}$ (hari <sup>-1</sup> )	0,2026
6	$K_{SX2}$ (mg sCOD/mg biomassa)	19,4557
7	$Y_{CH_4/X_2}$ (mg CH <sub>4</sub> /mg sel)	0,8980
8	$Y'_{CH_4/VFA}$ (mg CH <sub>4</sub> /mg VFA)	0,0066

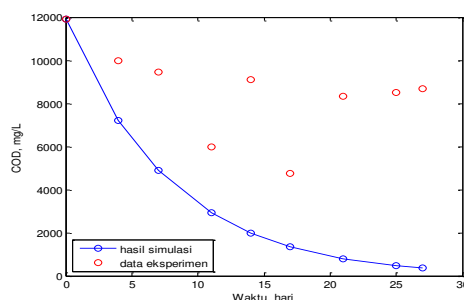
Dengan membandingkan antara hasil simulasi (kondisi ideal) dan data eksperimen (kondisi riil) dapat diketahui seberapa jauh atau seberapa dekat kondisi yang dihasilkan pada eksperimen (kondisi riil) dengan kondisi idealnya dan kemudian dievaluasi penyebab dari hasil yang terjadi.

### 1. Siklus Pertama

#### a. Nilai sCOD



Pada siklus pertama setelah pengisian reaktor diperoleh konsentrasi substrat di dalam reaktor memiliki konsentrasi sCOD sebesar 11.900 mg/L. Hasil perbandingan simulasi hitung dan data eksperimen untuk parameter sCOD untuk siklus pertama ditampilkan pada Gambar 1.



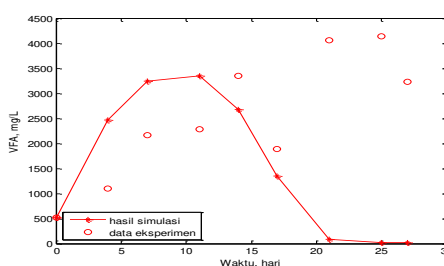
**Gambar 1.** Perbandingan Simulasi hitung dan Data Eksperimen untuk Nilai sCOD terhadap Waktu pada Tahap *Start up* Siklus Pertama

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada pengoperasian reaktor selama 7 hari, penurunan sCOD telah mencapai 50%. Hasil ini mengindikasikan bahwa dalam waktu tinggal 7 hari pertumbuhan mikroorganisme sudah cukup baik tetapi biofilm yang dihasilkan belum stabil. Hal ini ditunjukkan dari nilai sCOD yang masih turun secara signifikan hingga hari ke-10. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh informasi bahwa dengan konsentrasi awal substrat sebesar 11.900 mg/L diperlukan waktu *start up* selama 7-10 hari. Hasil simulasi yang digunakan kemudian dibandingkan dengan data hasil eksperimen.

Hasil eksperimen pada Gambar 1 menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi hingga hari ke-10. Akan tetapi kecenderungan yang berbeda setelah hari ke-20 dimana hasil simulasi menunjukkan nilai sCOD menurun tetapi pada hasil eksperimen tidak mengalami penurunan justru naik dan konstan pada konsentrasi tinggi yaitu di atas 8000 mg/L padahal tidak ada umpan segar dimasukkan ke dalam reaktor. Hal ini disebabkan karena dalam reaktor *batch* mikroorganisme akan memasuki fase *stationary* dimana mikroorganisme mati dan terjadi peristiwa lisis (Wresta, 2012). Sisa mikroorganisme yang mati dalam larutan di reaktor ini terukur sebagai sCOD sehingga nilai sCOD larutan menjadi naik (Budhi dkk., 1999). Model matematis yang digunakan pada penelitian ini hanya memperhitungkan perubahan nilai sCOD terhadap waktu akibat konsumsi substrat tetapi mikroorganisme yang mati dan seharusnya terhitung sebagai sCOD tidak diperhitungkan di dalamnya. Dengan membandingkan hasil simulasi dengan data percobaan dapat disimpulkan bahwa pada hari ke-10, terjadinya kematian ini disebabkan karena ketersediaan substrat yang sudah tidak mencukupi untuk pemeliharaan sel.

b. Nilai *Volatile Fatty Acid* (VFA)

Nilai VFA hasil simulasi dan data eksperimen pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Hasil Perbandingan Simulasi hitung dan Eksperimen Konsentrasi VFA *Effluent* terhadap Waktu pada Tahap *Start up* Siklus Pertama

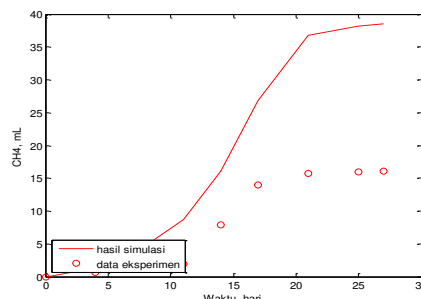
Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa nilai VFA pada penelitian ini akan terjadi peningkatan akibat konversi VFA oleh bakteri asidogen dari 500 mg/L hingga konsentrasi 3500 mg/L pada hari ke-10. Kemudian nilai VFA akan turun secara signifikan akibat konsumsi VFA dan konversi menjadi metana oleh bakteri metanogen.

Pada data eksperimen diperoleh kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi hingga hari ke-17. Akan tetapi terdapat kecenderungan yang berbeda antara simulasi hitung dan hasil eksperimen. Pada simulasi menunjukkan bahwa pada hari ke-20 nilai VFA mencapai konsentrasi minimum yaitu dibawah VFA awal (500 mg/L) akan tetapi pada eksperimen meningkat diatas 4000 mg/L. Hal ini diakibatkan oleh inhibisi VFA yang terakumulasi dimana konsentrasi VFA > 2000 mg/L (Deublein dan Steinhauer, 2008). Inhibisi ini terjadi mulai pada hari ke-15 dimana nilai VFA mencapai 3550 mg/L. Inhibisi VFA berkontribusi menurunkan kinerja pada hidrolisis dan peruraian anaerobik mikroorganisme methanogen (Bank dan Wang, 1999; Moletta, 2010) sehingga metanogen tidak mampu

mengolah VFA. Akan tetapi fenomena inhibisi akibat akumulasi VFA ini tidak diperhitungkan di dalam model matematis karena sistem diasumsikan berjalan normal tanpa inhibisi. Berdasarkan hasil simulasi dan data eksperimen terdapat indikasi bahwa *start up* sebaiknya tidak dilakukan lebih dari 10 hari untuk menghindari inhibisi yang semakin parah.

### c. Produksi Biogas

Pada hasil simulasi yang terdapat pada Gambar 3 produksi metana dengan pengoperasian reaktor *fixed bed* meningkat seiring bertambahnya waktu.



**Gambar 3.** Hasil Perbandingan Simulasi hitung dan Eksperimen Produksi  $\text{CH}_4$  terhadap Waktu pada Tahap *Start up* Siklus Pertama

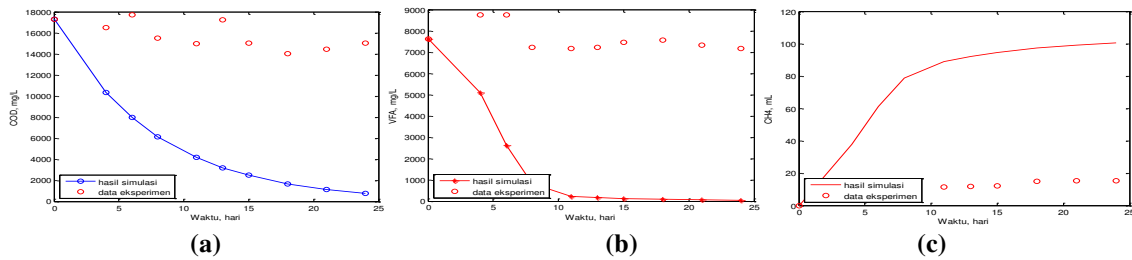
Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan data eksperimen. Hasil eksperimen menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi hingga hari ke-15. Akan tetapi terjadi perbedaan produksi metana pada hari ke-20. Hal ini dapat disebabkan karena pada lingkungan eksperimen bakteri metanogen yang sangat sensitif sudah mulai mengalami inhibisi oleh VFA yang melampaui batas inhibisi (2000 mg/L) dimana pada hari ke-15 dengan konsentrasi VFA sebesar 3550 mg/L. Terjadinya inhibisi ini juga dapat diperkuat dengan penurunan produksi biogas setelah hari ke-17 akibat terganggunya sistem peruraian anaerobik. Perbedaan hasil simulasi dan data eksperimen ini disebabkan karena pada permodelan matematis yang merupakan kondisi ideal tidak memperhitungkan efek inhibisi dan kematian mikroorganisme yang terjadi. Sedangkan pada kenyataannya terjadi kematian mikroorganisme pada sistem yang bekerja secara sintropi ini diakibatkan oleh inhibisi oleh VFA.

Siklus pertama pada tahap ini berakhir pada hari ke-27 yang ditandai dengan tidak terjadinya penurunan sCOD dan tidak terbentuknya biogas. kinerja pengolahan pada sistem ini masih di bawah kondisi ideal. Salah satu gangguan yang terjadi ialah akibat inhibisi VFA yang dimulai pada hari ke-15. Selain itu hidrodinamika dapat merubah fisiologi sel yang menyebabkan pergeseran pertumbuhan sel dari produksi lebih lanjut menjadi produksi metabolit sekunder yang tidak diinginkan (Agustriyanto dan Fatmawati, 2013).

Perbedaan nilai eksperimen dari hasil simulasi sebesar 25% masih dapat diterima dalam sistem bioproses mengingat ketidakpastian yang tinggi dalam sistem yang melibatkan aktivitas biologis suatu makhluk hidup. Operasional *start up* pada penelitian ini mendekati hasil penelitian yang dilakukan oleh Acharya dkk. (2008) yang melakukan *start up* selama 30 hari sistem kehabisan substrat. Akan tetapi hasil simulasi yang diverifikasi dengan data eksperimen ini menunjukkan bahwa pada pengoperasian reaktor secara *batch* sebaiknya *start up* dilakukan tidak lebih lama dari 10 hari karena akan terjadi inhibisi akibat akumulasi VFA. Untuk menguji lebih lanjut bagaimana model matematis yang disusun dapat memprediksi perilaku reaktor, selanjutnya akan dilakukan peningkatan konsentrasi umpan substrat yaitu dengan menambahkan *fresh stillage* hingga terjadi peningkatan konsentrasi di dalam reaktor sebesar 17.600 mg/L.

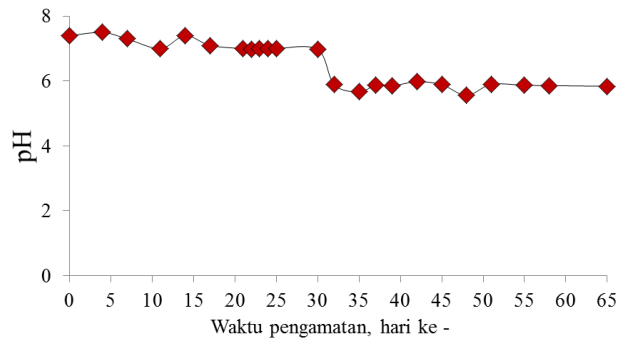
## 2. Siklus Kedua

Pada siklus kedua sistem reaktor diisi dengan 50.000 mg/L sCOD *fresh stillage* sebanyak 20% volume reaktor dan didapatkan konsentrasi substrat di dalam reaktor 17.600 mg/L. Hasil perbandingan simulasi hitung dan data eksperimen untuk parameter sCOD, VFAdan  $\text{CH}_4$  untuk siklus pertama ditampilkan pada Gambar 4. Siklus kedua ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan biofilm terhadap perubahan konsentrasi. Berdasarkan hasil evaluasi yang terdapat pada Gambar 4a, b dan c didapatkan nilai yang berbeda jauh antara hasil simulasi dan data eksperimen. Pada hasil simulasi untuk nilai sCOD dan VFA menurun hingga konsentrasi minimum dan produksi metana meningkat signifikan. Akan tetapi pada data eksperimen memberikan hasil yang sebaliknya.



**Gambar 4.** Hasil Perbandingan Simulasi hitung dan Eksperimen terhadap Waktu pada Tahap *Start up* Kedua untuk Parameter (a) sCOD (b) VFA dan (c) CH<sub>4</sub>

Perbedaan hasil yang jauh berbeda ini mengindikasikan terjadinya kegagalan proses akibat penambahan konsentrasi *fresh stillage* yang terlalu tinggi sehingga menyebabkan *organic shock loading*. Hal ini juga didukung oleh Olafadehan dan Alabi (2009) yang menyebutkan bahwa peningkatan konsentrasi substrat menyebabkan penurunan laju pertumbuhan mikroorganisme yang ditandai dengan peningkatan kadar COD dan penurunan pH effluen juga terjadi pada siklus ini yang ditampilkan pada Gambar 5. Hal ini jugalah yang dapat menyebabkan terjadinya kenaikan sCOD di hari awal setelah *feeding* (Mai, 2006). Penurunan pH ini berdampak terhadap penurunan kinerja mikroorganisme metanogen (Moletta, 2010) sehingga tidak dapat mengkonversi VFA bahkan dapat menyebabkan kematian. Hal ini terlihat pada data eksperimen hasil pengamatan. Pada hari ke-2 hingga ke-7 terjadi lonjakan VFA. Menurut Amani dkk. (2010) produk intermediet dari produk pada proses asetogenesis ini berlebih maka akan terjadi inhibisi baik dari proses difusi maupun inhibisi VFA itu sendiri. Aiyuk dkk. (2010) juga menambahkan bahwa akumulasi ini dapat mengelilingi sel aktif, yang berakibat terhambatnya transfer substrat dan menghasilkan biogas dengan kualitas yang buruk. Pernyataan dari Aiyuk dkk. (2010) diatas menjelaskan fenomena yang terjadi pada penelitian ini.



**Gambar 5.** Perubahan nilai pH cairan pada periode start up

Berdasarkan rangkaian *start up* 2 siklus diatas dapat disimpulkan bahwa untuk waktu yang dibutuhkan untuk *start up* dapat dicapai sekitar 7-10 hari. Bila terlalu lama maka semakin lama pula kondisi yang tidak optimum tercipta bagi mikroba (Syafilla dkk., 2003). Konsentrasi umpan substrat pada fase *start up* sangat mempengaruhi keberhasilan. Untuk mendapatkan fase *start up* yang optimal dapat dilakukan penurunan konsentrasi *start up* pada konsentrasi tertentu (Alkarimiah dkk., 2011)

## Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu:

1. Pada fase *start up* dengan konsentrasi substrat moderat (dalam kasus ini *stillage* sebesar 10.000 mg sCOD/L), ada batasan waktu untuk *start up* yang tidak terdapat pada model yang tidak memperhitungkan faktor peningkatan sCOD akibat kematian bakteri. Dalam kasus *stillage* ini, waktu optimal untuk *start up* adalah 7-10 hari. Jika *start up* dilakukan lebih panjang daripada batasan ini, bakteri yang sudah terbentuk akan mati.
2. Terdapat batas maksimum konsentrasi substrat pada fase *start up*. Jika konsentrasi terlalu tinggi, *start up* akan gagal karena bakteri gagal tumbuh akibat inhibisi. Dalam kasus *stillage*, konsentrasi 17.600 mg sCOD/L sudah terlalu tinggi sehingga *start up* gagal. Data yang diperoleh dalam penelitian ini masih belum mencukupi untuk memprediksi batasan konsentrasi maksimum pada fase *start up*.





## Daftar Notasi

$\frac{d(sCOD)}{dt}$	= kecepatan akumulasi sCOD [mg/L.hari]
$\frac{d(VFA)}{dt}$	= kecepatan akumulasi VFA [mg/L.hari]
$\frac{dX_1}{dt}$	= kecepatan pertumbuhan bakteri asidogen [mg/L/hari]
$\frac{dX_2}{dt}$	= kecepatan pertumbuhan bakteri metanogen [mg/L/hari]
$K_{SX}$	= konstanta kejenuhan [mg sCOD/mg sel]
$S$	= konsentrasi substrat [mg/L]
$sCOD_{in}$	= konsentrasi substrat yang masuk reaktor ( <i>influent</i> ) [mg/L]
$sCOD$	= konsentrasi substrat di dalam reaktor dan arus yang keluar reaktor ( <i>effluent</i> ) [mg/L]
$X$	= konsentrasi biomassa [mg/L]
$V$	= volume reaktor aktif [L]
$VFA_{in}$	= konsentrasi <i>volatile fatty acid</i> yang masuk reaktor ( <i>influent</i> ) [mg/L]
$VFA$	= konsentrasi <i>volatile fatty acid</i> di dalam reaktor dan arus yang keluar reaktor ( <i>effluent</i> ) [mg/L]
$Y'_{X_1/sCOD}$	= <i>yield</i> massa bakteri asidogen yang dihasilkan persatuan sCOD [mg sel/mg sCOD]
$Y'_{VFA/sCOD}$	= <i>yield</i> massa VFA yang dihasilkan per satuan sCOD [mg VFA/mg sCOD]
$Y_{VFA/X_1}$	= <i>yield</i> massa VFA oleh bakteri asidogen [mg VFA/mg sel]
$Y_{CH_4/X_2}$	= <i>yield</i> massa CH <sub>4</sub> yang dihasilkan per satuan massa bakteri metanogen [mg CH <sub>4</sub> /mg sel]
$Y_{CH_4/VFA}$	= <i>yield</i> massa CH <sub>4</sub> yang dihasilkan per satuan VFA [mg CH <sub>4</sub> /mgVFA]
$\theta$	= HRT [hari]
$\mu_m$	= kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum [hari <sup>-1</sup> ]

## Daftar Pustaka

- Acharya, BK, S. Mohana and D. Madamwar. Anaerobic Treatment of Distillery Spent Wash – A Study on Upflow Anaerobic Fixed Film Bioreactor. *Bioresource Technology* 2008; 99:4621–4626
- Agustriyanto, R dan A Fatmawati. Model produksi Bioetanol dari Limbah Keju Menggunakan *Kluyveromyces Marxianus*. *J. Teknik Kimia USU*2013; 2 (3).
- Aiyuk, SE, Sunny P, Odonkor N, Theko A, Van Deel and W Verstraete. Technical Problems Ensuing From UASB Reactor Application in Domestic Wastewater Treatment without PreTreatment. *International Journal of Environmental Science and Development* 2010; 1(5): 2010-0264
- Alkarimiah R, SB Mahat, A Yuzir, MFM Din and S Chelliapan. Performance of An Innovative Multi-stage Anaerobic Reactor During Start-up Period. *African Journal Of Biotechnology* 2011; 10(54):11294-11302
- Banks CJ and Wang Z. Development of A Two Phase Anaerobic Digestion for The Treatment of Mixed Abattoir Wastes. *J.WaterSciTechnol*1999; 40: 69–76.
- Budhi YB, T Setiadi dan B Harimurti. Peningkatan Biodegradabilitas Limbah Cair Printing Industri Tekstil Secara Anaerob. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo Institut Teknologi Bandung* 1999; 157-164.
- Deublein D dan Steinhauser A. *Biogas from Waste and Renewable Resources, An Introduction*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim.2008
- Echigu, EA dan Ghally AE. Kinetic Modelling of Continuous-Mix Anaerobic Reactors Operating Under Diurnally Cyclic Temperatur Environment. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology* 2014; 10 (2): 130-142
- España-Gamboa, E, Mijangos-Cortes J, Barahona-Perez L, Dominguez-Maldonado J, Hernández-Zarate G, and Alzate-Gaviria L. *Vinasse: characterization and treatments*, *Waste Manage.* 2011; 29: 1235–1250
- Halim L. Peningkatan Produksi Biogas dari Stillage dengan Imobilisasi Bakteri Anaerobik pada Media Padatan Berpori. *Gajah Mada University, Yogyakarta, Thesis*, 2015
- Mai HNP. *Integrated Treatment of Tapioca Processing Industrial Wastewater*, Wageningen University: Ph.D Thesis, 2006
- Mellyanawaty M. Peningkatan Produksi Biogas dari Stillage dengan Penambahan Kation Fe<sup>2+</sup> pada Zeolit Sebagai Media Imobilisasi Bakteri Anaerobik, *Gajah Mada University, Yogyakarta, Thesis*, 2015
- Moletta R. *Winery and Distillery Wastewater Treatment by Anaerobic Digestion*. *Water Science and Technology* 2005; 51(1): 137–144
- Olafadehan OA and AT Alabi. Modelling and Simulation of Methanogenic Phase of an Anaerobic Digester. *Journal of Engineering Research* 2009; 13(2): 1-16





- 
- Prakash NB, VimalaSockan and VS Raju. Anaerobic Digestion of Distillery Spent Wash. *ARNP Journal of Science and Technology* 2014; 4 (3): 2225-7217
- Weiland P and A Rozzi. The Start up, Operation and Monitoring of High-rate Anaerobic Treatment System: Discussers' Report. *Water Sci. Technol.* 1991; 24: 152-158.
- Wresta A. Pembuatan Biogas dari Campuran Air Limbah Tahu dan Kotoran Sapi Menggunakan Bibit Mikroba Pemicu dari Slurry Keluaran Digester Aktif. Gadjah Mada University, Yogyakarta, Thesis, 2012.





**Lembar Tanya Jawab**  
**Moderator : Luqman Buchori (UNDIP Semarang)**  
**Notulen : Retno Ringgani (UPN "Veteran" Yogyakarta)**

1. Penanya : Lulu  
Pertanyaan : Apakah mikroba yang digunakan ditambahkan dari luar?  
Jawaban : Ya, yaitu bakteri ditambahkan lewat dengan penambahan inokulum, diatur dengan NaOH.
2. Penanya : Hargono (UNDIP Semarang)  
Pertanyaan : Cara mengidentifikasi bakteri, kaitan inokulasi dengan identifikasi  
Jawaban : Yang digunakan bakteri campuran untuk perhitungan perlu dikethui perbandingan jumlah asinogen dan metanogen dari percobaan dengan literatur.
3. Penanya : Zainus S (BATAN Serpong)  
Pertanyaan : Peruraiannya menggunakan zeolit, alasannya apa  
Kenapa Zeolit bisa digunakan?  
Zeolite yang digunakan jenis apa?  
Kenapa logam di zeolite baik untuk proses?  
Jawaban : Zeolite digunakan sebnagai media tumbuh  
Zeolite alam  
Karena logam lebih meningkatkan pelekatan bakteri di media zeolite, keberadaan EPS pada bakteri lebih condong kuat terikat/berasosiasi dengan logam.

