



Evaluasi Waktu *Start Up* pada Proses Peruraian Limbah *Stillage* secara Anaerobik Menggunakan Reaktor *Fluidized Bed* Kontinyu dengan Zeolit sebagai Media Imobilisasi

Kunthi Widhyasih, Wiratni Budhijanto*, Chandra W. Purnomo

Laboratorium Teknik Pangan dan Bioproses Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik,
Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika 2, Yogyakarta 55281 Indonesia

*E-mail : wiratni@ugm.ac.id

Abstract

Stillage is wastewater from the ethanol industry. Organic matter content in the stillage is quite high, so it can damage to the environment if disposed of directly into the environment. Stillage has great potential to produce biogas that can be converted into energy by anaerobic treatment process. One of the anaerobic digestion methods is the bacterial cell immobilization technique. One of the reactor types using cell immobilization technique is Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR). This study uses a set of AFBR reactor containing zeolite media with particle diameters of 0.5 - 0.8 mm and operated at a fluidization level (FL) 20% - 40% of the total effective volume of the reactor. This work studied the effect initial organic concentrations and time during start up process on decomposition of stillage using AFBR. Scope of this work was evaluating AFBR performance by comparing the mathematical model simulation result with experimental data. The simulation results were used as standard, that described AFBR performance under ideal conditions. This experiment was conducted for 57 days in two cycles with varied sCOD concentrations and was done in batch recirculation process. The experiment showed that initial organic concentration was affected start up process. On high organic concentration, start up process failed, but the maximum concentrations limits have not been determined yet. Experiment showed that charging 50.000 mg sCOD/L to the reactor have made the system failed due the organic shock loading and inhibition by VFA. Optimum time of start up was determined in first cycle, with initial organic concentration 10.000 mg sCOD/L. Optimum time of start up is 7 until 10 days. If start up process was longer than 10 days, bacteria entered the decay phase due insufficiency of substrat. AFBR performance evaluation using mathematical approaches produced more objective and more accurate result, although there were several factor not evaluated in the mathematical model such as the inhibition effect. These results could be used as a reference for reactor performance optimization especially in addressing the problem of inhibition

Keyword : Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR), immobilization, zeolite, stillage, start up, sCOD concentration

Pendahuluan

Kelimpahan *stillage* sebagai limbah pabrik etanol menimbulkan permasalahan lingkungan apabila dibuang langsung tanpa adanya pengolahan, karena *stillage* tergolong limbah berat. Setiap pabrik etanol menghasilkan 15 -20 L *stillage*/L etanol yang diproduksi dengan kandungan bahan organik yang dinyatakan sebagai *soluble chemical oxygen demand* (sCOD) berkisar antara 50.000 – 250.000 mg/L (Beltran dkk., 2001 dan Prakash dkk., 2014). *Stillage* mempunyai potensi besar untuk diolah secara anaerobik menghasilkan biogas, namun karena karakteristiknya yang mengandung senyawa organik dalam konsentrasi tinggi serta banyaknya senyawa toksik yang ada di dalamnya, peruraian *stillage* tidak dapat hanya menggunakan sistem peruraian anaerobik konvensional. Salah satu teknik peruraian anaerobik dengan laju alir serta beban organik tinggi adalah menggunakan teknik imobilisasi sel bakteri. Imobilisasi sel bakteri dapat diaplikasikan dalam sistem reaktor yang beragam, dan salah satunya adalah *Anaerobic Fluidized Bed Reactor* (AFBR). Media imobilisasi yang baik untuk digunakan salah satunya adalah zeolit karena zeolit mempunyai kemampuan mengikat mikroba pada permukaan dan mempunyai kemampuan untuk mengadsorpsi logam berat dan zat toksik yang terkandung pada substrat (Fernández dkk., 2007). Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap keberhasilan proses peruraian pada reaktor AFBR adalah proses *start up*. Proses *start-up* adalah periode *commissioning* awal sampai menghasilkan sistem yang normal atau *steady-state*, sehingga dapat dilakukan pemasukan substrat secara kontinu (*continuous feeding*). Waktu *start-up* adalah pertimbangan utama dalam proses peruraian anaerobik karena mikroorganisme anaerobik mempunyai laju pertumbuhan lambat, terutama adalah bakteri metanogen dan sangat rentan terhadap perubahan lingkungan (Khanal, 2008).



Dalam proses *start-up* hal yang harus diperhatikan adalah *loading rate* dan faktor lingkungan seperti pH, nutrisi, dan temperatur. Faktor – faktor tersebut harus dipertahankan sesuai dengan standart parameter dalam peruraian anaerobik (Deublein dan Steinhauser, 2008). Pada Penelitian ini dilakukan peruraian anaerobik limbah stillage menggunakan AFBR pada periode *start up*, yang dilakukan dalam variasi konsentrasi awal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh konsentrasi sCOD awal terhadap waktu dan proses *start up* pada peruraian stillage menggunakan AFBR dengan zeolit sebagai media imobilisasi.

Metode Penelitian

Proses penelitian ini diawali dari penelitian Halim (2015) dan Mellyanawaty (2015) mengenai studi kinetika peruraian limbah *stillage* menggunakan zeolit sebagai media imobilisasi yang dilakukan secara *batch* sehingga dihasilkan konstanta konstanta kinetika yang terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta Kinetika yang Digunakan Dalam Simulasi

Konstanta	Nilai
μ_{m1} (hari ⁻¹)	19,9888
K_{SX1} (mg sCOD/mg biomassa)	1999,98
$Y'_{X1/sCOD}$ (mg sel/mg sCOD)	0,0769
$Y'_{VFA/sCOD}$ (mg VFA/mg sCOD)	0,4626
μ_{m2} (hari ⁻¹)	0,2026
K_{SX2} (mg sCOD/mg biomassa)	19,4557
Y_{CH_4/X_2} (mg CH ₄ /mg sel)	0,8980
$Y'_{CH_4/VFA}$ (mg CH ₄ /mg VFA)	0,0066

Berdasarkan studi kinetika tersebut dilakukan penyusunan model matematis yang akan digunakan untuk perancangan reaktor menghasilkan AFBR mini skala lab dengan dimensi dan kondisi operasi tertentu yang digunakan untuk eksperimen laboratorium. Model matematis ini sekaligus berfungsi sebagai metode untuk melakukan simulasi sebagai prediksi kondisi ideal kinerja reaktor. Kondisi ideal ini akan menjadi acuan seberapa baik atau buruknya kinerja AFBR, dilihat dari parameter operasional yaitu waktu *start up*. Alur penelitian ini adalah membandingkan kondisi riil yang diuji dalam eksperimen laboratorium menggunakan AFBR skala lab dengan hasil simulasi sebagai acuan pada kondisi ideal untuk memperoleh gambaran kinerja AFBR pada periode *start up*. Evaluasi hasil dilakukan dengan suatu standart dari hasil simulasi yang ditentukan berdasarkan model matematis. Model matematis disusun berdasarkan penelitian Echiegu dan Ghally (2014) dan dimodifikasi berdasarkan persamaan kinetika yang dihasilkan dari penelitian Mellyanawaty (2015). Sehingga dihasilkan persamaan – persamaan model matematis yang terdiri dari neraca massa sCOD, VFA dan CH₄. Adapun untuk laju pertumbuhan digunakan Persamaan Contois karena melibatkan mikroorganisme dalam konsentrasi tinggi, dan memperhitungkan keberadaan substrat, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan 1

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

Oleh karena itu untuk 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

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

Kondisi awal untuk Persamaan 4 adalah $t=0$, $sCOD=sCOD_0$, $X_1=X_{10}$ dan $X_2=X_{20}$

Neraca massa VFA dinyatakan dalam Persamaan 5

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

Kondisi awal untuk Persamaan 5 adalah $t=0$, $VFA=VFA_0$
Neraca massa CH_4 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 $t = 0$, $CH_4 = 0$.

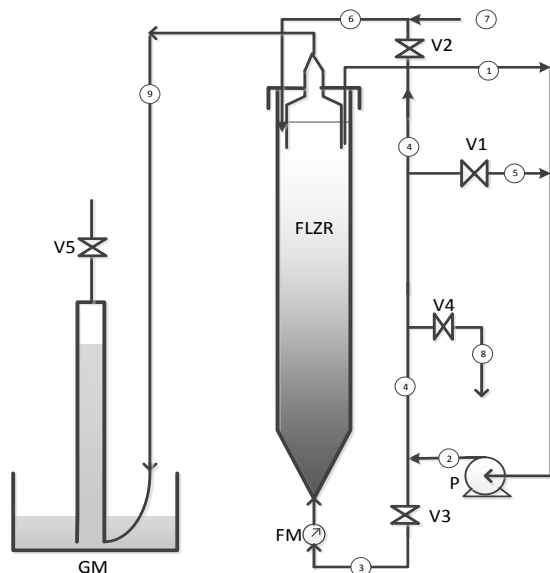
Adapun untuk eksperimen di laboratorium dilakukan dengan menggunakan reaktor Fluidized Bed skala laboratorium dengan bahan, alat, dan metode sebagai berikut :

Bahan Penelitian

Bahan penelitian terdiri dari stillage yang diambil dari PT Energi Agro Nusantara dengan konsentrasi sCOD 228.000 mg/L dan pH 4,5, zeolit alam dari Mojokerto Jawa Timur yang terdiri dari senyawa klinoptilolite dan modernite serta memiliki karakteristik luas permukaan spesifik = 15.178 m²/g, volume total pori = 40.778 x 10⁻³ cc/g, dan jari – jari pori rerata = 53,735 Å. Bahan utama lain adalah inokulum sebagai stater yang diambil dari KP4 UGM dengan kandungan bahan organik dalam hal ini sCOD 3035 mg/L, VFA 540,02 mg/L serta nilai pH = 7. Selain bahan utama diperlukan bahan – bahan untuk analisis sCOD dan VFA.

Alat Penelitian

Alat Penelitian berupa rangkaian reaktor fluidized bed (AFBR) yang terdiri dari digester AFBR dan pengukur gas seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Reaktor terbuat dari pipa fiberglass transparan dengan volume cairan 4.98 L, diameter dalam 10 cm, diameter luar 9.6 cm serta tinggi 68 cm.



Keterangan Gambar:

- V1 : Mengatur arus by pass
- V2 : Mengatur arus recycle
- V3 : Mengatur arus masuk reaktor
- V4 : Mengatur arus sampling
- V5 : Valve penyumbat gas keluar
- Arus 1 : Arus hisap dari reaktor
- Arus 2 : Arus output pompa
- Arus 3 : Arus masuk ke reaktor
- Arus 4 : Arus masuk recycle ke reaktor
- Arus 5 : Arus by pass dari pipa recycle
- Arus 6 : Arus masuk recycle
- Arus 7 : Arus feeding
- Arus 8 : Arus sampling
- Arus 9 : Arus gas ke pengukur gas

Gambar 1. Skema Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR)

Cara Kerja Penelitian

Proses penelitian terdiri dari dua siklus start up dengan konsentrasi berbeda masing – masing siklus dan dilakukan secara batch resirkulasi. Siklus yang pertama dilakukan pada konsentrasi sCOD pengisian awal 10.000 mg/L, dan siklus kedua dilakukan pada pengisian sCOD 50.000 mg/L dengan volume 20% volume cairan yaitu 20% dari 4.98 L. Pengisian dilakukan dengan mengeluarkan terlebih dahulu 20% cairan dalam reaktor setelah start up siklus pertama, dan digantikan dengan fresh stillage pada konsentrasi sCOD 50.000 mg/L. Komposisi dalam reaktor adalah 100 gram media zeolit pada diameter (ϕ) 0.5 -0.8 mm serta campuran stillage dan inokulum dengan perbandingan stillage : inokulum adalah 2:1 v/v. Pada tahap ini pompa resirkulasi dijalankan dan tahap ini berlangsung dalam waktu + 30 hari masing – masing siklus. Pompa resirkulasi dijalankan dengan tujuan sebagai proses pengadukan dan fluidisasi media yaitu sebesar 20%-40% ketinggian reaktor. Dilakukan analisis sCOD dan VFA dengan frekuensi sampling 2 hari sekali, serta produksi gas dengan frekuensi sampling setiap hari. Proses start

up masing – masing siklus diakhiri jika penurunan sCOD stabil dengan fluktuasi kurang dari 10%, produksi gas mulai berkurang, dan nilai VFA mulai menurun.

Hasil dan Pembahasan

Evaluasi pengaruh konsentrasi terhadap waktu start up akan dievaluasi dengan membandingkan hasil simulasi menggunakan model matematis sesuai Persamaan 1 sampai Persamaan 6 terhadap hasil eksperimen. Fungsi model matematis adalah untuk perancangan reaktor dan mensimulasikan kondisi ideal dari kinerja AFBR, khususnya pada waktu *start up*. Hasil dari simulasi berupa parameter sCOD, VFA, dan produksi biogas terhadap fungsi waktu $f(t)$. Untuk konstanta kinetika pertumbuhan yang digunakan dalam perhitungan adalah konstanta dari penelitian Mellyanawaty (2015). Berdasarkan persamaan model matematis didapatkan konfigurasi reaktor dan kondisi operasi AFBR yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil dan pembahasan merupakan hasil evaluasi antara hasil eksperimen dan hasil simulasi.

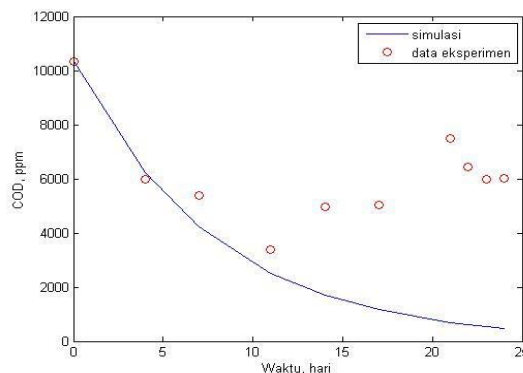
Tabel 2. Desain Reaktor AFBR yang Digunakan dalam Penelitian

No	Parameter	Nilai
1	Dimensi Reaktor	L = 100 cm, D in = 9.98 cm V efektif = 4.98 L
2	Fluidization Level	20% - 40% dari volume cairan
3	Superficial velocity/Upflow velocity	1.75 cm/dt
4	Diameter media	0.5 – 0.8 mm
5	Densitas Media	1.1 gr/mL
6	Jumlah media	100 gr
7	Temperatur	35°C
8	COD Influent	10.000 - 50.000 mg/L

A. Siklus Pertama

1. Penurunan nilai sCOD

Pada *start up* siklus pertama konsentrasi substrat dalam reaktor setelah pengisian adalah 10.350 mg/L. Konsentrasi tersebut digunakan sebagai konsentrasi awal tahap *start up*. Menurut Khanal (2008) periode *start up* akan diakhiri jika tidak ada lagi perubahan semua parameter terhadap waktu dalam hal ini adalah sCOD atau disebutkan bahwa $\frac{dsCOD}{dt}$ mendekati 0. Hal tersebut dibuktikan bahwa data perhitungan model matematis pada periode *start up* menghasilkan pola seperti terlihat pada grafik hasil simulasi di Gambar 2. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan pengoperasian secara *batch* dengan resirkulasi selama 7 hari diperoleh hasil bahwa penurunan konsentrasi sCOD telah mencapai 50% dari nilai sCOD awal. Hal ini mengindikasikan pertumbuhan mikroorganisme sudah cukup bagus. Setelah hari ke-10 penurunan sCOD cenderung kecil dan akhirnya mencapai konstan pada nilai sCOD minimumnya.



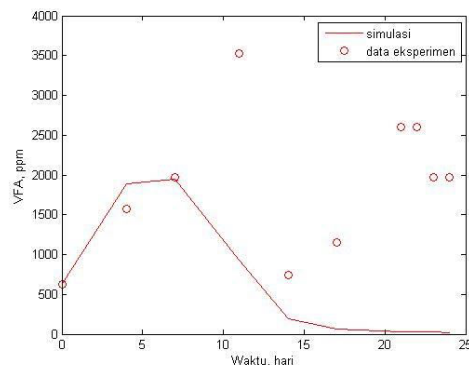
Gambar 2. Perbandingan Hasil Simulasi dan Data Eksperimen untuk Nilai sCOD terhadap Waktu pada Tahap *Start up* Siklus Pertama

Hasil eksperimen menunjukkan kecenderungan yang sama dengan hasil simulasi sampai dengan hari ke-10. Kecenderungan yang berbeda antara simulasi dan hasil eksperimen ditunjukkan mulai data hari ke-14. Simulasi menunjukkan nilai sCOD yang cenderung menurun sementara hasil eksperimen menunjukkan nilai sCOD yang justru konstan pada nilai yang relatif tinggi yaitu pada nilai 40% dari sCOD awal. Nilai sCOD data yang terukur jauh lebih tinggi daripada nilai sCOD yang diprediksi oleh simulasi. Hal tersebut kemungkinan disebabkan

karena adanya penguraian mikroorganisme yang mati. Pada penelitian Wresta (2012) menjelaskan bahwa pada waktu tertentu, dalam reaktor *batch* mikroorganisme akan memasuki fase *stationary* dimana fase pertumbuhan mulai menurun hingga memasuki fase kematian. Pada fase *stationary*, terdapat mikroorganisme yang mati dan terjadi peristiwa lisis (pecahnya sel dan keluarnya cairan sel). Peruraian dari mikroorganisme yang mati inilah yang mempengaruhi kandungan senyawa organik (sCOD) menjadi meningkat. Nilai sCOD yang terukur terdiri dari COD terlarut, biomassa aktif serta partikulat produk inert dari kematian dan pembusukan mikroorganisme (Kinyua, 2011). Model matematis yang digunakan tidak memperhitungkan faktor peruraian mikroorganisme yang mati, akan tetapi hanya memprediksi penurunan sCOD dari substrat (*stillage*) saja dari nilai konsentrasi awal substrat tersebut (Deublein dan Steinhauser, 2008).

2. Perubahan nilai VFA

Nilai konsentrasi VFA dalam sistem reaktor dijadikan parameter untuk memprediksi kegagalan proses apabila VFA teridentifikasi pada konsentrasi tinggi, di atas batas inhibisinya yaitu 2000 mg/L (Westerholm dkk., 2012). Perbandingan nilai VFA hasil simulasi dan hasil eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai VFA naik cukup signifikan pada hari ke-5 dan mulai menurun cukup signifikan pada hari ke-10. Setelah hari ke-14 penurunan nilai VFA cukup kecil dan mencapai titik konstan mendekati 0. Nilai VFA akan meningkat seiring dengan pertumbuhan bakteri asidogen yang memproduksi VFA, namun akan turun pada periode tertentu karena VFA akan dikonversi oleh bakteri metanogen menjadi gas metan. Penurunan VFA juga disebabkan karena pasokan substrat bahan organik yang dibutuhkan bakteri asidogen berkurang.



Gambar 3. Perbandingan Hasil Simulasi dan Data Eksperimen untuk Nilai VFA terhadap Waktu pada Tahap *Start up* Siklus Pertama

Hasil eksperimen menunjukkan kecenderungan yang sama dengan data simulasi sampai hari ke-14. Kecenderungan yang jauh berbeda antara hasil simulasi dan hasil eksperimen terjadi setelah hari ke-20. Pada hasil simulasi VFA mempunyai pola yang terus menurun mulai hari ke-10 sampai mencapai titik minimum mendekati 0, sedangkan pada eksperimen menunjukkan peningkatan kembali nilai VFA setelah hari ke-14 dan akhirnya konstan pada nilai VFA yang tinggi. Hal tersebut disebabkan karena model matematis tidak memperhitungkan kematian mikroorganisme. Nilai VFA dihitung sebagai konversi substrat berupa sCOD oleh bakteri asidogen dikurangi dengan konversi VFA menjadi gas metan oleh bakteri metanogen.

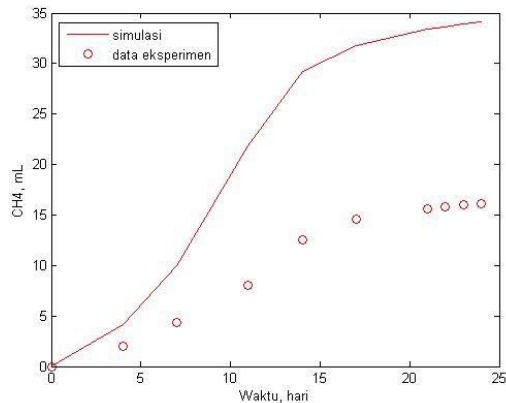
Kenaikan yang cukup signifikan nilai VFA di hari ke-20 pada hasil eksperimen menunjukkan bahwa terjadi akumulasi VFA yang diakibatkan kematian bakteri metanogen yang cukup signifikan, sehingga VFA yang terbentuk tidak terkonversi sempurna menjadi gas metan. Hal yang terjadi pada sistem setelah hari ke-14 adalah kegagalan proses yang ditunjukkan dengan kenaikan nilai VFA dan bertahan pada konsentrasi tinggi melebihi batas inhibisinya yaitu 2000 mg/L (Deublein dan Steinhauser, 2008).

3. Produksi Biogas

Data akumulasi gas metan digunakan juga untuk memprediksi kegagalan proses akibat akumulasi nilai VFA. Apabila nilai VFA tinggi sedangkan produksi biogas rendah maka dapat disimpulkan bahwa VFA yang terbentuk tidak dikonversi menjadi gas metan, akibat kematian bakteri metanogen. Untuk mengevaluasi sistem AFBR berdasarkan akumulasi biogas dilakukan dengan membandingkan data simulasi dan data eksperimen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Data simulasi menunjukkan kenaikan produksi gas metan yang cukup signifikan sampai hari ke-14. Setelah hari ke-14 kenaikan produksi biogas cenderung kecil dan akhirnya akan mencapai titik konstan. Hal ini mengindikasikan bahwa produksi biogas akan cenderung berkurang sebanding dengan menurunnya nilai VFA dan berkurangnya ketersediaan substrat. Kondisi ideal yang ditunjukkan pada data simulasi digunakan sebagai pembandingan untuk data eksperimen. Setelah hari ke-14 produksi gas metan cenderung rendah. Jika dibandingkan

dengan data simulasi produksi gas metan jauh lebih rendah. Sesuai dengan fenomena yang terjadi pada nilai VFA bahwa setelah hari ke-14 terjadi akumulasi VFA, produksi gas metan juga mengalami penurunan yang cukup signifikan. Hal tersebut mengindikasikan kematian bakteri metanogen terjadi cukup signifikan, sehingga VFA tidak terkonversi menjadi gas metan.

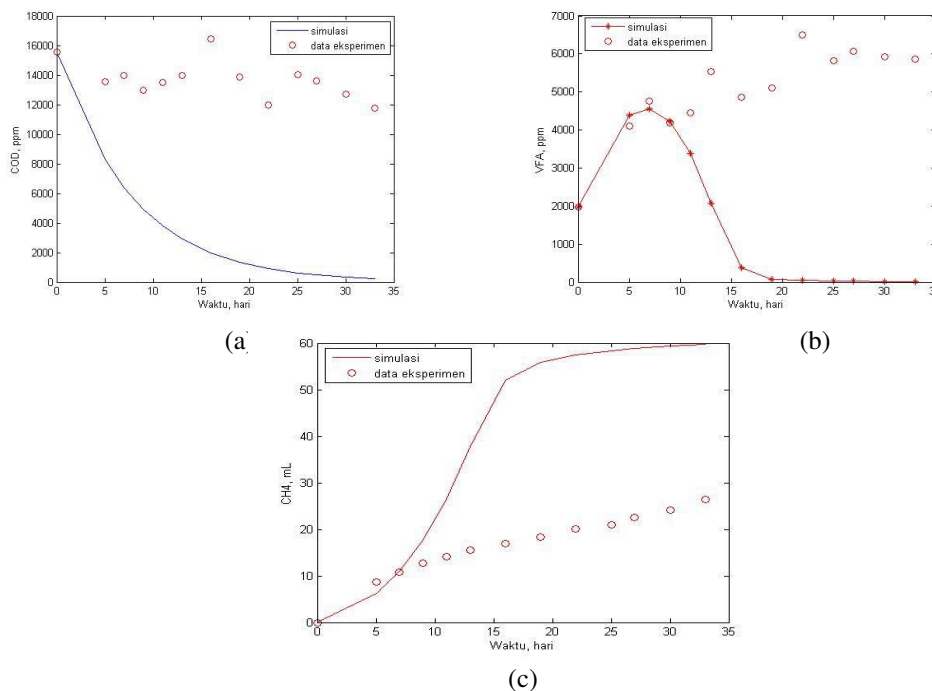


Gambar 4. Perbandingan Hasil Simulasi dan Data Eksperimen untuk Nilai CH_4 terhadap Waktu pada Tahap *Start up* Siklus Pertama

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa sebaiknya *start up* dilakukan tidak lebih dari 10 hari. Jika reaktor masih diperlakukan sebagai reaktor *batch* sampai lebih dari 10 hari, justru kemungkinan besar akan terjadi inhibisi akibat akumulasi VFA yang terlalu tinggi. Untuk menguji lebih lanjut bagaimana model matematis disusun dapat memprediksi perilaku reaktor, selanjutnya reaktor tetap diperlakukan sebagai reaktor *batch* tetapi dengan pengisian substrat 20% volume dengan konsentrasi sCOD sebesar 50.000 mg/L setelah siklus 1 berakhir. Pengisian dilakukan dengan mengeluarkan 20% *stillage* dalam reaktor hasil *start up* siklus 1 dan kemudian digantikan *fresh stillage* konsentrasi sCOD 50.000 mg/L

B. Siklus Kedua

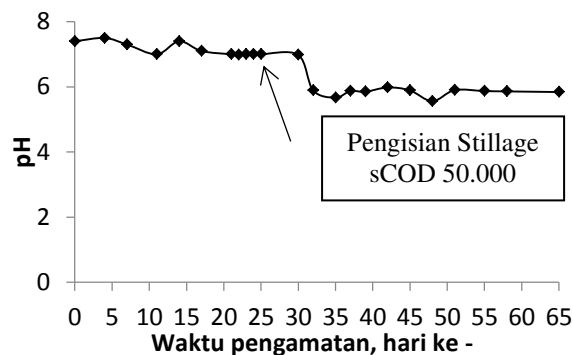
Pada *start up* siklus kedua konsentrasi substrat dalam reaktor setelah dilakukan pengisian substrat *fresh stillage* dengan konsentrasi sCOD 50.000 mg/L adalah 15.557 mg/L.



Gambar 5. Perbandingan data hasil perhitungan dan data eksperimen siklus kedua (a) sCOD terhadap waktu (b) VFA terhadap waktu (c) CH_4 terhadap waktu

Konsentrasi tersebut digunakan sebagai konsentrasi awal tahap *start up* siklus kedua. Perbandingan data hasil perhitungan dan data eksperimen untuk penurunan sCOD, VFA, dan produksi biogas ditunjukkan pada Gambar 5a, 5b dan 5c menunjukkan hasil yang berbeda jauh antara hasil simulai dan hasil eksperimen. Pada hasil simulasi sCOD dan VFA menunjukkan pola seperti siklus pertama yaitu sCOD dan VFA akan menurun terus sampai didapatkan nilai sCOD dan VFA minimum, hanya saja waktu yang dibutuhkan lebih panjang dan produksi biogas akan meningkat sampai hari tertentu. Akan tetapi pada hasil eksperimen menunjukkan ketidaksesuaian, yaitu sCOD dan VFA cenderung konstan di konsentrasi tinggi serta produksi biogas sangat rendah. Kondisi yang terjadi pada sistem disebut *organic shock loading*. Peningkatan konsentrasi substrat dalam range yang terlalu tinggi menyebabkan terganggunya proses pertumbuhan biomassa atau pembentukan biofilm yang mulai stabil. *Organic shock loading* pada peruraian anaerobik mengakibatkan tidak efektifnya penurunan sCOD dan menurunnya pH cairan (Mai, 2006). Pada data simulasi tidak memperhitungkan efek akumulasi VFA yang dapat mengganggu kinerja mikroorganisme yang berperan dalam peruraian anaerobik. Pada sistem sudah terjadi proses inhibisi oleh VFA, nilai VFA tertinggi mencapai 6499 mg/L. Nilai tersebut melebihi batas inhibisi VFA yaitu 2000 mg/L. Proses inhibisi tersebut juga dibuktikan dengan perubahan kisaran nilai pH pada periode *start up* pertama ke periode *start up* kedua.

Pada *start up* siklus pertama pH stabil di nilai kisaran 6.8 -7.2, namun setelah dilakukan pengisian dengan *fresh stillage* dengan konsentrasi sCOD 50.000 mg/L sebesar 20% volume reaktor, pH langsung menurun di kisaran 5.8 - 6.02, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Menurunnya pH cairan mengakibatkan bakteri metanogen tidak bisa tumbuh secara optimal dan konversi VFA menjadi gas metan akan terganggu. Hasil eksperimen *start up* siklus kedua, diketahui bahwa konsentrasi sCOD 50.000 mg/L tidak tepat digunakan untuk eksperimen selanjutnya, karena konsentrasi tersebut terlampaui tinggi sehingga tidak sesuai dengan kapasitas pengolahan AFBR pada eksperimen ini.



Gambar 6. Nilai pH terhadap waktu pada tahap *start up* siklus kedua

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan diperoleh kesimpulan :

1. Pada konsentrasi pengisian awal yang moderat (dalam kasus stillage adalah 10.000 mg sCOD/L), terdapat batasan waktu untuk *start up* yaitu faktor peningkatan sCOD akibat kematian bakteri, yang tidak terlihat pada model matematis. Dalam kasus *stillage* ini, waktu optimal untuk *start up* adalah 7-10 hari.
2. Terdapat batas maksimum konsentrasi untuk pengisian awal. Jika konsentrasi terlalu tinggi, *start up* akan gagal karena bakteri mengalami kematian akibat inhibisi. Dalam kasus *stillage*, konsentrasi 50.000 mg sCOD/L sudah terlalu tinggi sehingga *start up* gagal. Data yang diperoleh dalam penelitian ini belum mencukupi untuk memprediksi batasan konsentrasi ini. Model matematis cukup representatif dalam menggambarkan kondisi reaktor, walaupun tidak bisa memprediksi kematian mikroba karena faktor inhibisi.

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 biomassa)
 μ_m = kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum (hari⁻¹)
sCOD = soluble Chemical Oxygen Demand
V = volume cairan
 X_1 = konsentrasi biomassa asidogen (mg/L)
 X_2 = konsentrasi biomassa metanogen (mg/L)
 $Y'_{x1/sCOD}$ = yield massa bakteri asidogen yang dihasilkan persatuan sCOD (mg sel/mgsCOD)
 $Y'_{VFA/sCOD}$ = yield massa VFA yang dihasilkan persatuan massa sCOD (mg VFA/mgsCOD)
 $Y_{CH_4/VFA}$ = yield akumulasi CH₄ yang dihasilkan per VFA (mgCH₄ /mgVFA)
 Y'_{CH_4/X_2} = yield akumulasi CH₄ per satuan massa bakteri metanogen (mg CH₄/mg sel)

Daftar Pustaka

- Beltran, F.J., Alvarez, P.M., Rodriguez, E.M., Garcia-Araya, and J.F., Rivas, dan J., Treatment of high strength distillery wastewater (cherry stillage) by integrated aerobic biological oxidation and ozonation. *Biotechnology Program*. 2001;17, 462–467
- Deublein, D. dan Steinhauser, A. Biogas from Waste and Renewable Resources, An Introduction, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim. 2008.
- Echigu, E.A. dan Ghally, A.E. Kinetic Modelling of Continuous-Mix Anaerobic Reactors Operating Under Diurnally Cyclic Temperature Environment, *American Journal of Biochemistry dan Biotechnology* 10 (2). 2014; 130-142
- Fernández, N., Montalvo, S., Polanco, F., Fernández, Borja, R., Guerrero, L., Sánchez, E., Cortés, I., Colmenajaro, M.F., Travieso, L., dan Raposo, F. Performance Evaluation of an Anaerobic Fluidized Bed Reactor with Natural Zeolite as Support Material when Treating High-Strength Distillery Wastewater, *Journal of Renewable Energy*. 2008 ; 33: 2458-2466
- Halim, L. Peningkatan Produksi Biogas dari Stillage dengan Imobilisasi Bakteri Anaerobik pada Media Padatan Berpori, Tesis di Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. 2015
- Khanal, S. Kumar., 2008, *Biotechnology for Bioenergy Production : Principles and Application*, University of Hawai'i Manoa, Wiley-Blackwell, John Wiley and Sons Publication, 2008.
- Kinyua, M.N. Effect of Solids Retention Time on the Denitrification Potential of Anaerobically Digested Swine Waste, Theses and Dissertations, University of South Florida Scholar Commons, 2013.
- Mai, H.N.P. Integrated Treatment of Tapioca Processing Industrial Wastewater, Wageningen University: Ph.D Thesis, 2006.
- Mellyanawaty, M. Peningkatan Produksi Biogas dari Stillage dengan Penambahan Kation Fe²⁺ pada Zeolit Sebagai Media Imobilisasi Bakteri Anaerobik, Tesis di Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2015.
- Prakash, N. B., Vimala Sockan and V. S., Raju. Anaerobic Digestion of Distillery Spent Wash, *ARPN Journal of Science dan Technology*. 2014; VOL. 4, NO. 3, ISSN 2225-7217
- Westerholm, M., Hansson, M., Schurer, A. Improved Biogas Production from Whole Stillage by Co-digestion with cattle manure, *Journal of Bioresource Technology*. 2012; vol 114, 314-319.
- Wresta, A. Pembuatan Biogas dari Campuran Air Limbah Tahu dan Kotoran Sapi menggunakan Bibit Mikroba Pemicu dari Slurry Keluaran Digester Aktif, Tesis di Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 2012.





Lembar Tanya Jawab

Moderator : Yuliusman (Universitas Indonesia Depok)

Notulen : Susanti Rina (UPN "Veteran" Yogyakarta)

1. Penanya : Luqman (UPN)
Pertanyaan : Bagaimana dapat melakukan proses secara kontinyu dalam penelitian ini?
Jawaban : Sebenarnya proses ini baru start up yaitu proses batch resirkulasi untuk mengetahui kemampuan bakteri atau memperbanyak jumlah bakteri.
2. Penanya : Yuliusman (UI)
Pertanyaan : Bagaimana fluidisasi menggunakan zeolit?
Jawaban : Dengan mengetahui kapasitas pompa baru dan melihat ukuran zeolit

