

# Pengaruh Penambahan Zeolit Pada Pengolahan Limbah Vinasse secara Anaerob dalam Reaktor *Batch* Dengan Mikroaerasi

## *The Influence of Zeolite Addition into Anaerobic Vinasse Treatment Process in Microaerated Batch Reactor*

Umul Lailatul Jannah<sup>1</sup>, Gregorius Prima Indra Budianto<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Setia Budi, Surakarta  
Jln. Letjen Sutuyo-Mojosongo Surakarta-57127 Telp. 0271-852578

\*Corresponding Author: [gregoriusjoseph87@gmail.com](mailto:gregoriusjoseph87@gmail.com)

**ABSTRAK:** Beberapa variasi proses dilakukan untuk menakar sejauh mana efektifitas mikroaerasi dan imobilisasi sel pada proses pengolahan limbah vinasse 200 ppm secara anaerob, variasi tersebut diantaranya (R1) reaktor dengan mikroaerasi, (R2) reaktor dengan penambahan zeolite, (R3) reaktor dengan penambahan mikroaerasi dan zeolite (R4) reaktor control – tanpa penambahan mikroaerasi dan zeolite. Proses dijalankan pada kondisi pH 7, mode batch. Selama proses, pengukuran volume biogas dilakukan dengan konsep water replacement dan pengambilan sampel dilakukan untuk kebutuhan analisis Volatile Solids (VS) dan kadar metana. Hasilnya, penambahan zeolite pada reaktor dengan mikroaerasi menghasilkan masa aklimatisasi tersingkat sedangkan produktivitas dan laju penurunan VS tidak berbeda signifikan masing-masing dari reaktor dengan zeolite dan reaktor dengan mikroaerasi.

**Kata kunci :** anaerob, mikroaerasi, vinasse, zeolit

**ABSTRACT:** *Microaeration and cell immobilization are two ways to improve the performance of vinasse anaerobic treatment. Several variations of vinasse anaerobic process were conducted to approach the effectivity of microaeration and cell immobilization addition in 200 ppm vinasse anaerobic treatment process. The variation of (R1) microaeration addition; (R2) zeolite addition as cell immobilizer; (R3) combination microaeration and zeolite addition and (R4) blank reactor – anaerobic reactor without microaeration and zeolite addition. The process was conducted in batch mode, pH in 7. During the process, gas volume was calculated by water replacement concept and sampling was done for analytical such as Volatile Solids (VS) and methane concentration. The result, combination between microaeration and zeolite addition was obtained the lag phase to be shorter while the biogas productivity and VS degradation rate were obtained the insignificant difference value with reactor with zeolite addition and reactor with microaeration addition respectively*

**Keywords:** anaerobic, microaeration, vinasse, zeolite

## 1. PENDAHULUAN

Vinasse adalah air limbah dari industri etanol yang merupakan produk bawah (*bottom product*) pada proses distilasi etanol. Vinasse memiliki kandungan organik tinggi yang dinyatakan dalam *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) dan *Chemical Oxygen Demand*

(COD) berturut-turut 40.000–60.000 mg/L dan 60.000–120.000 mg/L (Española-Gamboa, 2011). Sebagai limbah organik, Vinasse diperoleh dari proses distilasi yang sebelumnya dibuat melalui proses fermentasi molasses, sehingga memiliki pH 4,46, berwarna coklat dan berbau sangat menyengat. Hal ini memperkuat

argumen bahwa vinasse merupakan bahan organik. Oleh karena itu, vinasse dapat diolah dengan proses anaerobik (Khanal, 2010).

Proses anaerobic secara konvensional mempunyai kelemahan diantaranya bakteri anaerob yang lambat dalam pertumbuhan menyebabkan waktu retensi yang lama sehingga berdampak pada volume reactor yang besar. Selain itu, peristiwa washout kemungkinan besar terjadi pada proses anaerobik konvensional yang dijalankan pada mode kontinyu (Moraes, 2015). Mikroaerasi adalah satu cara untuk mengurangi kelemahan tersebut. Jenicek (2011) mengungkapkan bahwa unjuk kerja proses anaerobik meningkat dengan adanya mikroaerasi. Mikroaerasi dapat meningkatkan yield peruraian bahan organik (COD), phenol dan peningkatan akumulasi metana masing-masing hingga 60%, 50%, dan 216,8 mL/g VS (Wang, 2014; Fu, 2016). Cara lain yang digunakan untuk meminimalisasi kekurangan dari proses anaerobic konvensional adalah penambahan zeolite sebagai media imobilisasi bagi bakteri anaerob. Bakteri dalam kondisi terimobilisasi dapat bekerja lebih optimum dalam meningkatkan yield metana dan efisiensi bioreaktor. Selain itu, penambahan zeolite dapat mengurangi potensi washout, meningkatkan laju pertumbuhan bakteri, laju produksi metana dan meningkatkan 50% produksi biogas (Montalvo, 2012; Purnomo, 2017).

Berdasarkan studi literatur yang dilakukan belum ditemukan informasi terkait kombinasi penambahan mikroaerasi dan zeolite kedalam sistem pengolahan limbah vinasse dengan proses anaerobik, sehingga pada penelitian ini akan dikaji bagaimana pengaruh penambahan zeolite pada reactor anaerob dengan mikroaerasi terhadap parameter kinetika, diantaranya tingkat biodegradabilitas, masa aklimatisasi dan produktivitas pembentukan biogas.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah erlenmeyer yang dimodifikasi sehingga menyerupai sebuah digester, yaitu satu lubang pada sisi bawah erlenmeyer sebagai saluran tempat pengambilan sampel *slurry* dan bagian atas erlenmeyer sebagai saluran gas, dimana gas yang terbentuk selanjutnya akan dialirkan melalui selang ke alat gasmeter untuk pengukuran volume biogas dan kandungan gas metan tiap waktu tertentu.

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah kotoran sapi diambil dari peternakan sapi di Karanganyar. Pembuatan starter berbahan baku kotoran sapi ini dilakukan dengan menyampur kotoran sapi dengan vinasse 10 ppm dengan rasio 1:1, kemudian didiamkan dalam kondisi kedap udara hingga gas terbentuk. Setelah itu,

campuran disaring untuk mendapatkan filtratnya. Filtrat ini selanjutnya digunakan sebagai starter. Substrat yang digunakan adalah vinasse yang diambil dari sebuah industri alkohol di Bekonang, Sukoharjo. Vinasse yang digunakan memiliki konsentrasi 200 ppm.

## 2.2 Prosedur

Campuran starter dan substrat dengan proporsi 1:1 dan telah diketahui kandungan VS nya dimasukkan kedalam erlenmeyer hingga volume total 800 mL. Selanjutnya, menutup rapat erlenmeyer dan proses anaerob mulai dijalankan. Proses anaerob berlangsung pada pH 7, mode batch dan dihentikan saat proses tidak menghasilkan gas lagi.

Penelitian ini dibagi menjadi 4 variabel, yaitu (1) reaktor dengan penambahan mikroaerasi (R1); (2) reaktor dengan penambahan zeolite (R2); (3) reaktor dengan penambahan zeolite dan mikroaerasi (R3); dan (4) reaktor kontrol – tanpa penambahan zeolite maupun mikroaerasi (R4). Mikroaerasi dilakukan dengan menambahkan sejumlah kecil udara ( $0.5 L_{udara}/L_{umpan}$ ) setiap dua hari sekali. Zeolite yang digunakan adalah zeolite alam yang telah diimpregnasi untuk menghilangkan material organik yang melekat. Selanjutnya 10gram zeolite terimpregnasi dimasukkan ke dalam reaktor (R2 dan R3).

Untuk kebutuhan analisis, sampel *slurry* diambil sebanyak 10 mL dari masing-masing reaktor tiap dua hari sekali untuk dianalisis kandungan *Volatile Solids*

(VS) dengan metode APHA (2005), 10 mL sampel gas juga diambil dengan menggunakan *high pressure syringe* dari masing-masing reaktor pada hari ke 8, 12 dan 22 untuk dianalisis kandungan gas metan dengan metode *gas chromatography*. Pengamatan gas yang terbentuk dilakukan pada gasmeter. Gasmeter dijalankan dengan prinsip *water replacement*, yaitu gas yang terbentuk akan mengalir menuju gasmeter menekan air yang ada didalamnya hingga menunjukkan volume tertentu pada tiap harinya (Walker, 2009).

## 2.3 Analisis Data

Pada penelitian ini diperoleh data VS dan volume biogas tiap waktu. Selanjutnya masing-masing dioptimasi menggunakan persamaan *first order kinetic model* dan *modified gompertz model*. Persamaan *first order kinetic model* yang disajikan pada persamaan (1) digunakan untuk mengkuantifikasi tingkat biodegradabilitas pada masing-masing reaktor

$$1/t \ln \left( \frac{dyt}{dt} \right) = \frac{1}{t} (\ln ym + \ln k) - k \dots (1)$$

dimana:

$y_t$  = volume biogas per unit massa padatan yang mudah menguap setiap saat (mL/kg VS)

$y_m$  = volume biogas per unit massa padatan yang mudah menguap maksimum (mL/kg VS)

$t$  = waktu pengambilan sampel (hari)

$k$  = tingkat biodegradabilitas (hari<sup>-1</sup>)

Persamaan *Modified Gompertz model* (2) digunakan untuk mengetahui masa aklimatisasi dan produktivitas pembentukan biogas.

$$P = A \exp \left\{ -\exp \left[ \frac{\mu}{A} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \dots (2)$$

Dimana:

P = volume akumulasi biogas (Liter)

A = potensi produksi biogas maksimum (Liter)

$\mu$  = produktivitas biogas (Liter/hari)

$\lambda$  = waktu aklimatisasi (hari)

t = Waktu pengambilan sampel

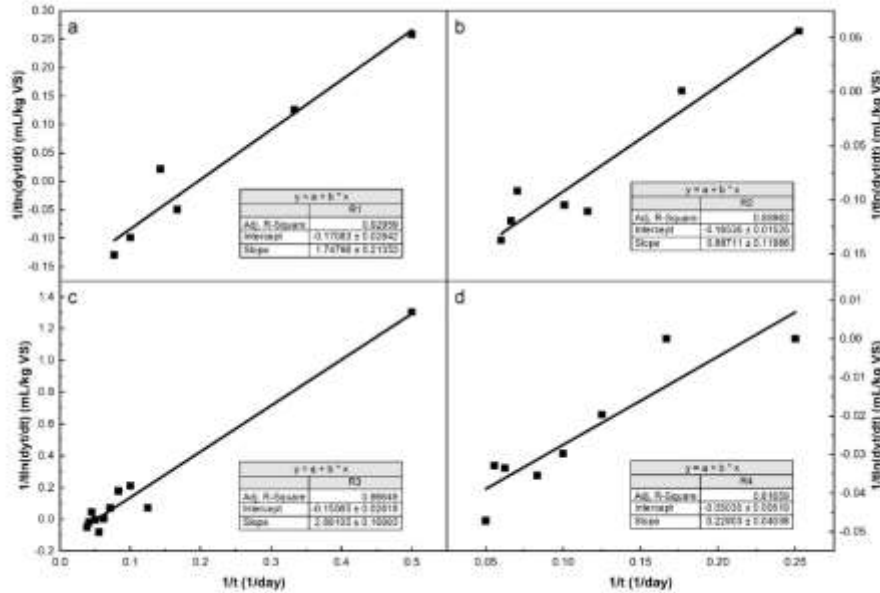
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Tingkat biodegradabilitas

*Volatile Solids* (VS) merepresentasikan jumlah material organik di dalam substrat yang dapat dikonsumsi oleh bakteri. Dengan kata lain hubungan VS terhadap waktu adalah menggambarkan keaktifan mikroba selama proses anaerob berlangsung (Bahrin dkk, 2011). Tingkat keaktifan bakteri juga merefleksikan tingkat

biodegradabilitas substrat. Profil tingkat biodegradabilitas pada masing-masing reactor ditunjukkan pada Gambar 1. Uji statistik sederhana yaitu koefisien determinasi digunakan untuk validasi data dengan model yang diusulkan. Berdasarkan perhitungan, diperoleh nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang mendekati 1 pada masing-masing reaktor, dapat diartikan data lapangan yang diperoleh dapat dengan baik diprediksi menggunakan persamaan atau teori yang ada. Selanjutnya, kuantifikasi tingkat biodegradabilitas antar digester dilakukan dengan membandingkan nilai k yang diperoleh dari titik potong antara garis dengan  $x=0$  (intercept) (Yusuf, 2011).

Berdasarkan tabel 2, nilai k pada reaktor dengan penambahan mikroaerasi menunjukkan nilai k terkecil yaitu sebesar -0,1708 dibandingkan dengan digester lain, hal ini menunjukkan bahwa mikroaerasi dapat mempercepat proses degradasi VS,



Gambar 1. Hasil linierisasi persamaan (1) pada (a) reaktor dengan mikroaerasi (b) reaktor dengan zeolite (c) reaktor zeolite dan mikroaerasi (d) reaktor kontrol

Tabel 1. Nilai k

Reaktor	k (day <sup>-1</sup> )
R1	-0,1708 ± 0,02842
R2	-0,1654 ± 0,01525
R3	-0,1506 ± 0,02818
R4	-0,0503 ± 0,00519

Mikroorganisme yang merespon mikroaerasi termasuk dalam grup non-metanogenik yang terdiri dari bakteri fakultatif. Bakteri fakultatif adalah bakteri yang mempunyai kemampuan untuk tumbuh pada kondisi sedikit atau tanpa molekul oksigen sehingga penambahan sedikit udara tidak akan berpengaruh buruk pada unjuk kerja reactor tetapi justru dapat meningkatkan efisiensi peruraian VS hingga 60% seperti diungkapkan oleh Xu (2014) dimana penambahan mikroaerasi dapat meningkatkan efisiensi VS sekitar 30,9 – 57,7%.

Pada digester dengan penambahan zeolit memiliki nilai k sebesar -0,1654 sehingga proses hidrolisis yang dihasilkan sedikit lebih lambat dari penambahan mikroaerasi yang memiliki nilai k sebesar -0,1708 karena bakteri harus beradaptasi dengan keadaan zeolit dengan cara melekat dan membentuk biofilm dipermukaan zeolit. Selain itu, penambahan zeolit tidak terlalu berpengaruh terhadap kinerja bakteri hidrolisis dan lebih berpengaruh pada kinerja bakteri metan sehingga pada proses hidrolisis berjalan sedikit lambat.

### 3.2. Masa aklimatisasi dan produktivitas biogas

Gambar 2 menunjukkan volume akumulasi biogas pada tiap reactor yang dioptimasi dengan persamaan modified gompertz. Optimasi didasarkan pada

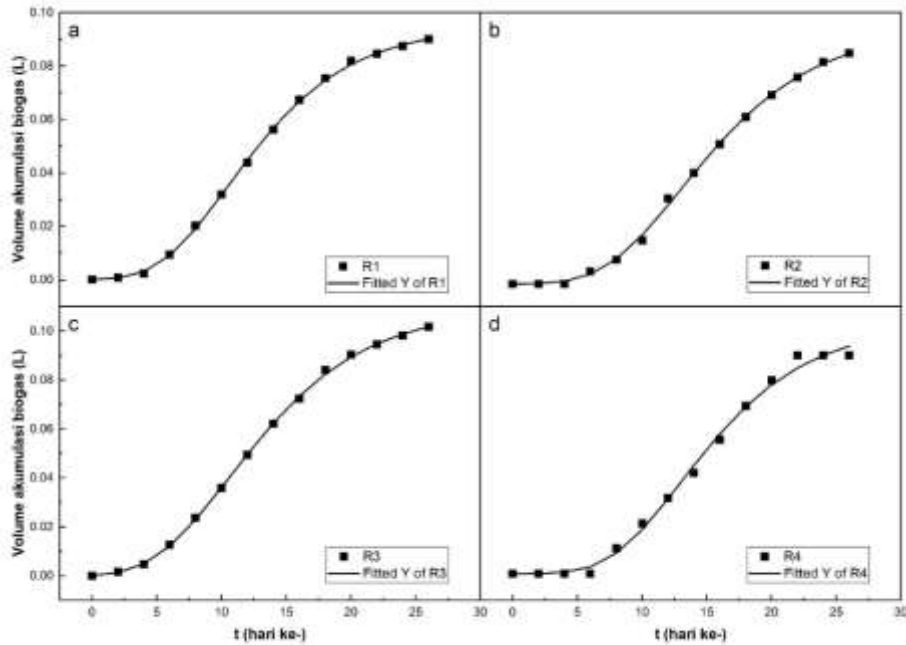
---

bentuk kurva akumulasi biogas yang menyerupai kurva non-linier (sigmoidal), data yang dioptimasi menghasilkan koefisien determinasi yang nyaris sempurna, yang berarti volume akumulasi biogas dapat diprediksi dengan baik menggunakan persamaan modified gompertz.

Tabel 2 menyajikan koefisien dari persamaan modified gompertz, yaitu masa aklimatisasi dan produktivitas pembentukan biogas. Masa aklimatisasi adalah masa penyesuaian bakteri terhadap substrat baru (vinasse). Secara umum, dalam hal prediksi masa aklimatisasi perlakuan terhadap reactor memberikan pengaruh positif dibandingkan dengan reactor control. Penambahan mikroaerasi, zeolite dan kombinasinya menghasilkan masa aklimatisasi yang lebih singkat. Pada digester dengan penambahan zeolit memiliki masa aklimatisasi paling lama dibandingkan dengan reactor dengan perlakuan lainnya, hal ini disebabkan adanya penambahan material berpori sehingga bakteri harus beradaptasi dan menyesuaikan diri dengan keadaan disekitar digester dengan zeolit dalam membentuk biofilm, sedangkan pada digester dengan penambahan mikroaerasi menghasilkan masa aklimatisasi yang lebih singkat dibandingkan dengan penambahan zeolit karena mikroaerasi dilakukan pada fase cair didalam digester sehingga mikroaerasi akan membantu proses hidrolisis dan membuat bakteri

beradaptasi lebih cepat didalam digester. Di sisi lain, kombinasi penambahan zeolite dan mikroaerasi ke dalam proses anaerob dapat menghasilkan masa aklimatisasi tersingkat.

Berbeda dengan masa aklimatisasi, penurunan produktivitas biogas terjadi pada ketiga reactor dengan perlakuan yang diberikan. Namun, diantara ketiga reactor tersebut produktivitasnya tidak berbeda signifikan. Pada digester dengan penambahan zeolit cenderung mencapai produktivitas tertinggi dibandingkan dengan digester dengan penambahan mikroaerasi dan kombinasi mikroaerasi dan zeolite dimana hal ini berdampak pada pembentukan metana. Pada reactor dengan penambahan zeolit gas metan yang dihasilkan pada minggu kedua sebanyak 14,075% dan mengalami peningkatan pada minggu ketiga sebesar 37,561% tetapi minggu keempat gas mengalami penurunan menjadi 21,682%. Hal ini membuktikan bahwa adanya pengaruh zeolit yang dapat meningkatkan kadar gas metana dari hari ke hari disebabkan karena adanya bakteri yang melekat pada material berpori dan membentuk lapisan biofilm mikroorganisme sehingga kadar metana akan mengalami peningkatan. Seperti dalam penelitian Weib (2009) mengamati adanya peningkatan metana sebesar 53% dibandingkan dengan kontrol tanpa tambahan mikroorganisme yang diimobilisasi pada zeolit.



**Gambar 2.** Profil volume akumulasi biogas yang dioptimasi dengan *Modified Gompertz Model* pada masing-masing reaktor

**Tabel 2.** Koefisien dari *Modified Gompertz Model*

Reaktor	$\mu$ (Liter/hari)	$\lambda$ (Hari)	$R^2$
R1	0,01803 ± 0,000298	5,2 ± 0,10723	0.99956
R2	0,01929 ± 0,000484	7,1 ± 0,17042	0.99892
R3	0,01860 ± 0,000272	4,8 ± 0,10293	0.99961
R4	0,04269 ± 0,002460	7,5 ± 0,36941	0.99484

Penambahan mikroaerasi menghasilkan penurunan produktivitas dibandingkan dengan digester tanpa penambahan apapun. Namun, dengan produktivitas yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan reactor control menghasilkan gas metan yang lebih baik. Pada digester dengan penambahan mikroaerasi di minggu ketiga menghasilkan gas metan sebesar 20,709% kemudian pada minggu selanjutnya gas mengalami penurunan menjadi 8,916%. Pemberian mikroaerasi hanya meningkatkan proses degradasi

menjadi lebih cepat dan volume gas yang terbentuk lebih banyak dibandingkan dengan proses anaerob yang selanjutnya akan mempengaruhi gas metan yang dihasilkan sehingga gas metan pada digester dengan penambahan mikroaerasi lebih tinggi dibandingkan dengan digester tanpa penambahan apapun.

Di sisi lain, pada digester dengan penambahan zeolit dan mikroaerasi diperoleh perproduktivitas yang lebih baik dibandingkan dengan hanya menambahkan mikroaerasi saja hal ini disebabkan karena adanya mikroaerasi

yang mempercepat laju pertumbuhan dan disisi lain adanya zeolit yang digunakan bakteri metan untuk menempel dan membuat biofilm sehingga menghasilkan gas metan yang lebih tinggi. Gas metan yang dihasilkan pada minggu kedua sebesar 11,242%, pada minggu ketiga mengalami peningkatan sebesar 34,913% dan seperti digester lainnya pada minggu keempat gas yang dihasilkan mengalami penurunan menjadi 21,944%.

#### 4. KESIMPULAN

Penambahan mikroaerasi, zeolite dan kombinasi mikroaerasi dan zeolite dapat digunakan untuk mempersingkat masa aklimatisasi sehingga berdampak pada laju penurunan volatile solids menjadi lebih cepat pula, namun tidak untuk produktivitasnya, produktivitas pada reactor dengan penambahan mikroaerasi, zeolite dan kombinasi mikroaerasi dan zeolite mengalami penurunan dibandingkan dengan reactor control.

#### DAFTAR PUSTAKA

- APHA. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Standard Methods
- Bahrin D, Anggraini D, Pertiwi MB. 2011. Pengaruh Jenis Sampah, Komposisi Masukan dan Waktu Tinggal terhadap Komposisi Biogas dari Sampah Organik Pasar di Kota Palembang. Palembang. Universitas Sriwijaya.
- Espana-Gamboa, E., Mijangos-Cortes, J., Barahona-Perez, L., Dominquez-Maldonado, J., HernandezZarate, G., Alzate-Gaviria, L. 2011. Vinasses: Characterization and Treatmentso Title. Waste Management and Research. 29(12). 1235–1250.
- Fu, S. F., Wang, F., Shi, X. S., & Guo, R. B. 2016. Impacts of microaeration on the anaerobic digestion of corn straw and the microbial community structure. Chemical Engineering Journal.
- Jenicek, P., Celis, C. A., Koubova, J., & Pokorna, D. 2011. Comparison of microbial activity in anaerobic and microaerobic digesters. Water Science and Technology.
- Khanal *et al.* 2010. Bioenergy And Biofuel From Biowastes And Biomass. ASCE. Environmental and Water Resources Institute.
- Montalvo *et al.* 2012. Application of natural zeolites in anaerobic digestion processes: A review. *Applied Clay Science* 58:125–133.
- Moraes, B. S., Zaiat, M., & Bonomi, A. 2015. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Purnomo, C. W., Mellyanawaty, M., & Budhijanto, W. 2017. Simulation and Experimental Study on Iron Impregnated Microbial Immobilization in Zeolite for Production of Biogas. *Waste and Biomass Valorization*
- Walker, M., Zhang, Y., Heaven, S., & Banks, C. 2009. Potential errors in the quantitative evaluation of biogas production in anaerobic digestion processes. *Bioresource Technology*.
- Wang, W., Zhang, J., Wang, S., Shen, J., & Pan, S. L. 2014. Oxygen-limited aeration for relieving the impact of phenolic compounds in anaerobic treatment of coal gasification wastewater. *International Biodeterioration and Biodegradation*.
- Xu, S., Selvam, A., & Wong, J. W. C. 2014. Optimization of microaeration intensity in acidogenic reactor of a two-phase anaerobic digester treating food waste. *Waste Management*



Yusuf MOL, Debora A., Ogheneruona DE.  
2011. Ambient temperature kinetic  
assesment of biogas production

from co-digestion of horse and cow  
dung. *Res. Agr. Eng* 57:97-104.