

## Pengaruh Penambahan Vermiculite Termodifikasi $\text{Cu}^{2+}$ sebagai Media Imobilisasi Bakteri Anaerob pada Produksi Biogas terhadap Parameter Kinetika

### The Influence of $\text{Cu}^{2+}$ Impregnated Vermiculite Addition as An Anaerobic Bacteria Immobilization Media in Biogas Production Into Kinetics Parameters

Gregorius Prima Indra Budianto<sup>a</sup>, Wisnu Arfian Anditya Sudjarwo<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Fakultas Teknik Universitas Setia Budi Surakarta, Indonesia

Jl. Letjen Sutoyo No.6, Mojosongo, Jebres, Nusukan, Banjarsari, Surakarta

#### Artikel histori :

Diterima Oktober 2017  
Diterima dalam revisi Oktober 2017  
Diterima November 2017  
Online Desember 2017

**ABSTRAK:** Modifikasi vermiculite dilakukan untuk meningkatkan afinitasnya sebagai media imobilisasi bakteri anaerob. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$  dalam proses produksi biogas terhadap parameter kinetika. Penelitian ini dilakukan menggunakan tiga digester, yaitu digester tanpa penambahan vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$ , digester dengan penambahan vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$  0,01 mg/L dan digester dengan penambahan vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$  0,5 mg/L. Hasil yang diperoleh adalah semua digester dengan penambahan vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$  sebanyak 40 g memberikan peningkatan pada nilai laju pertumbuhan spesifik bakteri asidogen ( $\mu_{m_1}$ ) dibandingkan dengan digester tanpa penambahan vermiculite termodifikasi yaitu sebesar 48 %. Penurunan laju pertumbuhan spesifik bakteri metanogen ( $\mu_{m_2}$ ) hanya terjadi pada digester dengan penambahan vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$  0,5 mg/L hingga 88,87 %.

**Kata Kunci:** Anaerob; Imobilisasi Sel; Vermiculite

**ABSTRACT:** The purpose of vermiculite modification is to upgrade its affinity as a immobilization media for anaerobic bacteria. This research aimed to study about the effect of  $\text{Cu}^{2+}$  modified vermiculite addition in biogas production into kinetics parameters. This research was conducted in three digesters, they were digester without  $\text{Cu}^{2+}$  modified vermiculite, digester with 0,01 mg/L  $\text{Cu}^{2+}$  modified vermiculite addition, and digester with 0,5 mg/L  $\text{Cu}^{2+}$  modified vermiculite addition. The result is all of digester with 40 grams  $\text{Cu}^{2+}$  modified vermiculite addition gives increasing the specific growth rate of acidogen ( $\mu_{m_1}$ ) if compare to digester without modified vermiculite addition is about 48%. Decreasing the specific growth rate of metanogen ( $\mu_{m_2}$ ) just happen in digester with 0,5 mg/L  $\text{Cu}^{2+}$  modified vermiculite addition until 88,87%.

**Keywords:** Anaerobic; Cell Immobilization; Vermiculite.

## 1. Pendahuluan

Produksi biogas dengan proses anaerob merupakan suatu proses produksi gas (metana) melalui tahap perombakan bahan organik dengan bantuan bakteri anaerob. Kelebihan dari proses anaerob adalah sederhana dan mudah diaplikasikan serta menghasilkan metana yang bisa dimanfaatkan sebagai energi. Namun, proses anaerob mempunyai kelemahan diantaranya laju pertumbuhan bakteri anaerob lambat yang berdampak pada waktu tinggal bakteri yang lama sehingga membutuhkan ukuran digester yang besar untuk memenuhi waktu tinggal yang cukup dan potensi washout pada sistem kontinu yang berpengaruh pada kestabilan proses anaerob (Ward, 2008).

Imobilisasi sel adalah salah satu usaha untuk meningkatkan stabilitas proses anaerob sekaligus mengurangi potensi washout. Prinsip dari imobilisasi sel adalah mengikat sel bakteri di dalam suatu media dan atau menambahkan material padatan ke dalam reaktor anaerob sebagai media melekatnya bakteri (Shuler, 2002). Penambahan material padatan ini dapat meningkatkan efisiensi reaktor dan dapat meningkatkan yield metana (Martins, 2013; Weib, 2010). Penggunaan zeolite sebagai media imobilisasi memberikan peningkatan pada laju pertumbuhan bakteri, diantaranya peningkatan laju pembentukan metana hingga 50% pada proses produksi biogas dengan bahan baku POME dengan penambahan zeolite sebagai media imobilisasi (Halim, 2016). Hal serupa juga disimpulkan oleh Purnomo (2017) bahwa laju produksi metana tetap stabil pada digester berbahan isian

Corresponding Author:  
Email: gregoriusjoseph87@gmail.com

zeolite termodifikasi dengan kadar toksik yang tinggi. Namun pada akhir proses terjadi penambahan massa digester yang disebabkan karena bakteri membentuk biofilm pada zeolite sehingga membahayakan apabila diaplikasikan pada digester vertikal. Maka dari itu diperlukan material yang mempunyai massa jenis yang lebih ringan dibandingkan dengan zeolite.

Vermiculite merupakan mineral alam yang mempunyai massa jenis yang lebih ringan dibandingkan zeolite, luas area spesifik sebesar 100 m<sup>2</sup>/g, bulk density 56-64 kg/m<sup>3</sup>, kapasitas mengikat air 220-235 % berat dan kapasitas tukar kation 50-100 meq/100 g. Berdasarkan karakteristiknya, vermiculite biasa digunakan sebagai media tanam, isolator, dan penjerap. Modifikasi vermiculite dilakukan dengan tujuan meningkatkan afinitas dalam menyerap air, material organik dan anorganik (Marcos, 2014). Modifikasi dilakukan dengan menautkan kation Cu<sup>2+</sup>. Mekanisme proses impregnasi Cu<sup>2+</sup> adalah dengan cara menukar kation pada vermiculite dengan Cu<sup>2+</sup>. Cu<sup>2+</sup> merupakan salah satu nutrisi esensial bagi bakteri anaerob pada konsentrasi rendah (*trace*), Cu<sup>2+</sup> dibutuhkan untuk mendukung proses respirasi sel dan membantu merangsang produksi enzim. Namun pada konsentrasi tinggi Cu<sup>2+</sup> merupakan senyawa anti bakteri sehingga penggunaannya sebagai sumber mikronutrien perlu dipertimbangkan terkait dengan kadarnya (Shuler, 2002; Jiang, 2006; Pallar, 1994).

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari unjuk kerja masing-masing digester melalui perubahan nilai parameter kinetika terkait pertumbuhan pada digester dengan penambahan vermiculite termodifikasi sebagai media imobilisasi bakteri anaerob. Nilai-nilai tersebut dapat diperoleh dengan melakukan optimasi data dengan menggunakan persamaan yang telah dikembangkan Wresta (2012) sebagai berikut:

1. Laju pertumbuhan bakteri asidogen

$$\frac{\mu_{m1} \cdot VS}{K_{S_{X1}} \cdot X_1 + VS} = \mu_{g1}$$

2. Laju pengurangan Volatile Solids (VS)

$$-\frac{dVS}{dt} = \left( \frac{X_{10}}{Y_{X1/VS}} + VS_0 - VS \right) \cdot \mu_{g1}$$

3. Laju pertumbuhan bakteri metanogen

$$\frac{\mu_{m2} \cdot VFA}{K_{S_{X2}} \cdot X_2 + VFA} = \mu_{g2}$$

4. Laju pengurangan Volatile Fatty Acids (VFA)

$$\frac{dVFA}{dt} = Y_{VFA/VS} \cdot \mu_{g1} \cdot \left( \frac{X_{10}}{Y_{X1/VS}} + VS_0 - VS \right) - \mu_{g2} \cdot \left( \frac{Y_{CH_4/X_2} \cdot X_{20} + CH_4}{Y_{CH_4/VFA}} \right)$$

5. Laju pembentukan Metana (CH<sub>4</sub>)

$$\frac{dCH_4}{dt} = \mu_{g2} \cdot (Y_{CH_4/X_2} \cdot X_{20} + CH_4)$$

## 2. Metode Penelitian

Campuran kotoran sapi dan air digunakan sebagai starter sekaligus sebagai substrat karena dalam kotoran sapi mengandung banyak mikroorganisme dan bahan organik hasil pencernaan dalam lambung sapi. Kotoran sapi dan air yang digunakan adalah 1 : 1 dengan kandungan *Total Solids* (TS) 85551,33 mg/L, *Volatile Solids* (VS) 22862,44 mg/L, *Volatile Fatty Acid* (VFA) 1394,1163 mg/L. Beberapa bahan kimia yang digunakan untuk keperluan analisis adalah HCl 37%, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 98%, NaOH, CH<sub>3</sub>COOH 96% p.a. dan Aquadest.

Vermiculite teraktivasi selanjutnya direfluks dalam larutan CuSO<sub>4</sub> 0,01 mg/L dan 0,5 mg/L kemudian dicuci dan dikeringkan selanjutnya disimpan dalam tempat tertutup. Masing-masing vermiculite termodifikasi Cu<sup>2+</sup> dibuat pelet dengan menambah bentonit dan air pada perbandingan yang sama

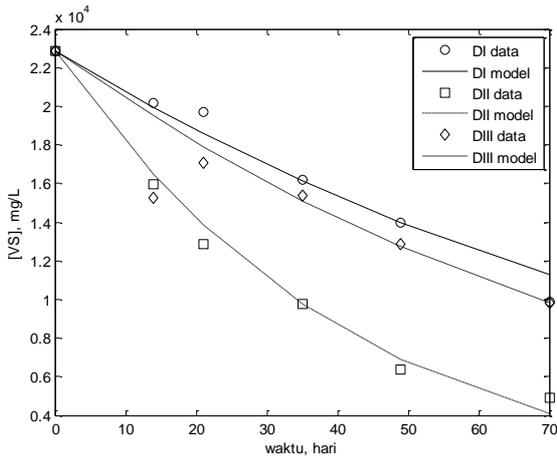
Peruraian anaerob dilakukan dalam sistem batch menggunakan erlenmeyer 1L yang dimodifikasi sehingga menyerupai sebuah digester, yaitu satu saluran pada bagian atas sebagai saluran gas, dan satu saluran pada bagian bawah sebagai saluran sampling. Digester beroperasi pada tekanan atmosferik dan suhu ruang. Sebanyak 800 mL campuran kotoran sapi dan air dimasukkan ke dalam masing-masing erlenmeyer yang telah berisi vermiculite termodifikasi Cu 0,01 mg/L dan 0,5 mg/L. Untuk membandingkan unjuk kerja digester maka digunakan digester kontrol yaitu digester tanpa penambahan *vermiculite* termodifikasi (DI) dan dua digester dengan penambahan *vermiculite* termodifikasi Cu<sup>2+</sup> masing-masing dengan konsentrasi 0,01 mg/L (DII) dan 0,5 mg/L (DIII).

Parameter yang diukur adalah kandungan VS dan VFA dan kadar metana serta volume akumulasi biogas. Pengukuran kandungan VS dan VFA mengikuti *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), pengukuran kadar metana dengan menggunakan Gas Chromatography (GC), dan pengukuran volume biogas dilakukan menurut metode Walker (2009). Selanjutnya data VS, VFA dan kadar metana dioptimasi menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4), (5) dengan bantuan software Matlab.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Nilai *Volatile Solid* (VS) merupakan parameter yang digunakan untuk merepresentasikan unjuk kerja dari bakteri asidogen. Profil VS tiap waktu pada masing-masing digester dapat dilihat pada Gambar 1

Pada Gambar 1 dapat dilihat profil VS pada awal proses, hanya data VS pada DIII yang tidak dapat diprediksi dengan baik oleh model pada awal proses, yaitu hari ke 14. Dengan kata lain bakteri asidogen dalam DIII membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyesuaikan diri dengan lingkungannya dibandingkan dengan DI dan DII.



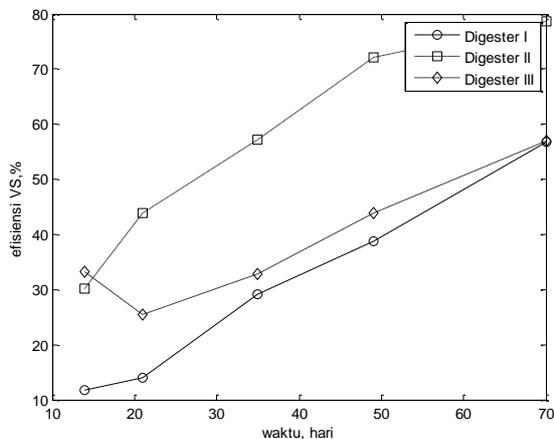
**Gambar 1.** Profil Volatile Solids (VS) tiap waktu pada masing-masing digester

Walaupun pada DIII membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyesuaikan diri, namun selanjutnya dapat meningkatkan efisiensi peruraian VS tiap waktu (Gambar 2) sehingga didapatkan % peruraian VS (Tabel 1) mendekati % peruraian VS pada DI. Hal ini disebabkan karena penambahan mikronutrien dapat membantu mempersingkat waktu aklimatisasi (Satyawali, 2008)

**Tabel 1.** Prosentase peruraian VS masing-masing digester

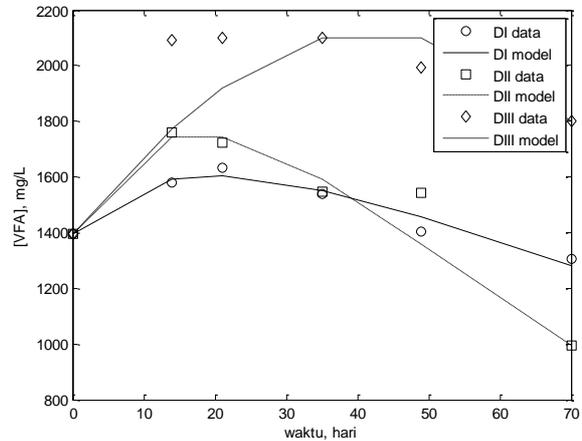
Digester	VS awal	VS akhir	% removal VS
DI	22862,44	9889,02	57%
DII	22862,44	4889,29	79%
DIII	22862,44	9501,88	58%

Penurunan VS setiap waktu menunjukkan bahwa VS dikonsumsi oleh bakteri asidogen dan dikonversi menjadi VFA. Penurunan VS pada DII paling cepat dibandingkan dengan penurunan VS pada DI dan DIII sehingga menyebabkan efisiensi VS tiap waktu (Gambar 2) dan %penurunan VS (Tabel 1) pada DII paling besar dibandingkan dengan digester yang lain.



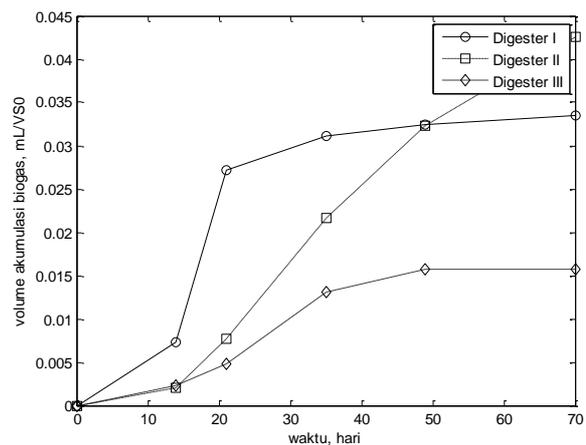
**Gambar 2.** Efisiensi VS tiap waktu

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$  pada konsentrasi rendah atau trace (0,01 ppm) dapat meningkatkan laju peruraian VS oleh bakteri asidogen sedangkan penambahan vermiculite termodifikasi  $\text{Cu}^{2+}$  0,5 ppm hanya sedikit mempengaruhi masa aklimatisasi menjadi lebih lama namun selanjutnya proses peruraian VS tetap stabil.



**Gambar 3.** Profil Volatile Fatty Acids (VFA) tiap waktu pada masing-masing digester

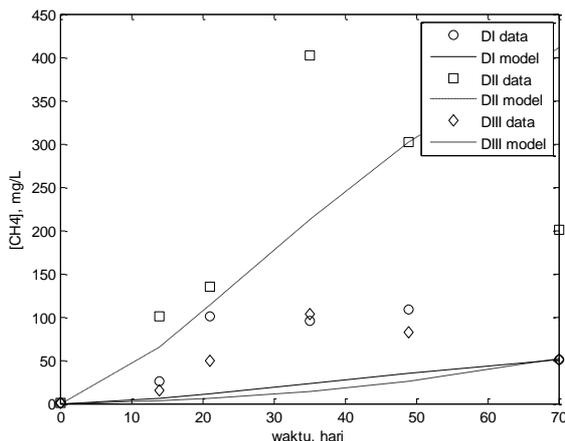
Pengukuran VFA pada masing-masing digester juga dilakukan pada rentang waktu yang sama. Pada Gambar 3 dapat dilihat pada awal proses ketiga digester mengalami peningkatan kadar VFA yang disebabkan karena bakteri metanogen belum bekerja secara optimal dalam mengonsumsi VFA dan mengubahnya menjadi metana, Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5 dimana pada awal proses gas yang terbentuk masih sedikit dan kadar metana yang terbentuk juga rendah.



**Gambar 4.** Profil volume akumulasi biogas tiap waktu pada masing-masing digester

Peningkatan kadar VFA yang terjadi di awal proses masih di bawah ambang batas. Kadar VFA di atas 4000 mg/L

menyebabkan penumpukan asam dalam digester yang berakibat pada penurunan stabilitas digester (Rein,2007). Penurunan VFA pada DIII paling lambat disebabkan karena bakteri metanogen tidak bekerja dengan baik dalam mengubah VFA menjadi metan atau dengan kata lain DIII mengalami penghambatan pertumbuhan bakteri metanogen namun masih dalam taraf yang rendah, sedangkan profil VFA untuk digester II menunjukkan penurunan VFA yang paling besar hal ini terjadi karena penambahan trace element dalam hal ini Cu<sup>2+</sup> dapat meningkatkan kapasitas degradasi VFA (Karlsson, 2012).



**Gambar 5.** Profil metana (CH<sub>4</sub>) tiap waktu pada masing-masing digester.

Metana merupakan hasil akhir dari proses produksi biogas. Pembentukan metana akan menurun seiring dengan penurunan VS. Namun, pada DII menunjukkan pembentukan metan masih menunjukkan nilai yang lebih

Nilai parameter kinetika merupakan hasil optimasi data lapangan yang meliputi VS, VFA dan CH<sub>4</sub>. Persaman matematis yang digunakan merupakan persamaan yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Wresta (2012), dengan laju pertumbuhan mengikuti persamaan Contois. Hasil perhitungan parameter kinetika disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 3.** Hasil perhitungan parameter kinetika

Parameter	DI	DII	DIII
$\mu_{m1}$	2,0327	3,0267	2,9813
$KS_{X1}$	2452,6667	8096,6667	10556,67
$Y_{X1/VS}$	0,0987	0,1458	0,2293
$\mu_{m2}$	0,5020	0,6187	0,0568
$KS_{X2}$	43,1200	41,0967	34,2767
$Y_{CH4/X2}$	0,0495	0,3302	0,7443
$Y_{VFA/VS}$	0,1712	0,1231	0,1658
$Y_{CH4/VFA}$	0,0270	0,1433	0,0300
<b>R squared (R<sup>2</sup>)</b>			
VS	0,998	0,911	0,910
VFA	0,983	0,845	0,855
CH4	0,224	0,616	0,358

Berdasarkan Tabel 2, disajikan nilai R squared (R<sup>2</sup>) untuk VS, VFA dan CH<sub>4</sub>. Nilai R<sup>2</sup> menunjukkan kedekatan antara data dengan prediksi berdasarkan persamaan matematika. Kedua parameter, yaitu VS dan VFA pada masing-masing digester menunjukkan nilai R<sup>2</sup> mendekati 1, hal ini berarti VS dan VFA data dapat diprediksi dengan baik oleh persamaan matematika, sedangkan data CH<sub>4</sub> mendapatkan nilai R<sup>2</sup> yang sangat rendah. Menurut Purnomo (2017), perbedaan data CH<sub>4</sub> dengan nilai CH<sub>4</sub> hasil perhitungan disebabkan karena persamaan matematis yang digunakan dibatasi oleh konsentrasi substrat.

**Tabel 2.** Interaksi antar parameter

	$\mu_{m1}$	$KS_{X1}$	$Y_{X1/VS}$	$\mu_{m2}$	$KS_{X2}$	$Y_{CH4/X2}$	$Y_{VFA/VS}$	$Y_{CH4/VFA}$
$\mu_{m1}$		0,818	0,771					
$KS_{X1}$	0,818		0,725			0,856		
$Y_{X1/VS}$	0,771	0,725		-0,806	-0,674	0,853		
$\mu_{m2}$			-0,806					
$KS_{X2}$			-0,674					
$Y_{CH4/X2}$		0,856	0,853	-0,777				
$Y_{VFA/VS}$								0,823
$Y_{CH4/VFA}$							0,823	

tinggi dibandingkan dengan digester lain hingga akhir proses, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan trace element dapat meningkatkan produktivitas bakteri metanogen dalam VS yang terbatas (Purnomo, 2017).

Pembandingan nilai parameter kinetika digunakan untuk mengevaluasi unjuk kerja masing-masing digester.

Berdasarkan Tabel 3, laju pertumbuhan maksimum bakteri asidogen ( $\mu_{m1}$ ), dan konstanta kejenuhannya ( $KS_{X1}$ ) serta Yield pembentukan bakteri asidogen ( $Y_{X1/VS}$ ) merupakan parameter pertumbuhan untuk bakteri asidogen dimana ketiganya saling berbanding lurus atau dengan kata lain semakin cepat  $\mu_{m1}$  berdampak pada meningkatnya nilai  $KS_{X1}$  dan nilai  $Y_{X1/VS}$ . Selain itu, semakin besar produktivitas bakteri asidogen ( $Y_{X1/VS}$ ) maka semakin besar

pula produktivitas bakteri metanogen ( $Y_{CH_4/X_2}$ ) karena tersedianya substrat yang cukup untuk membentuk metana. Laju pertumbuhan bakteri metanogen ( $\mu_{m2}$ ) dan konstanta kejenuhannya ( $KS_{X_2}$ ) berhubungan terbalik dengan Yield pembentukan bakteri asidogen ( $Y_{X_1/VS}$ ). Hal ini berarti semakin tinggi  $Y_{X_1/VS}$  mengakibatkan penurunan  $\mu_{m2}$  dan  $KS_{X_2}$  yang disebabkan karena adanya akumulasi asam yang berpotensi meracuni bakteri metanogen, namun sebaliknya jika  $Y_{X_1/VS}$  sedang atau rendah, bakteri metanogen dapat bekerja mengkonversi menjadi metana dengan baik dan berdampak pada konstanta kejenuhannya yang akan meningkat juga. Di sisi lain, sebagian besar VS yang terbentuk akan langsung dikonversi menjadi produk metana sehingga hubungan  $\mu_{m2}$  dengan  $Y_{CH_4/X_2}$  berbanding terbalik. Produktivitas pembentukan VFA dari VS ( $Y_{VFA/VS}$ ) berbanding lurus dengan Produktivitas pembentukan  $CH_4$  dari VFA ( $Y_{CH_4/VFA}$ ) hal ini menunjukkan bahwa semua VFA yang terbentuk langsung dikonversi menjadi  $CH_4$ .

## 6. Kesimpulan

Penambahan vermiculite termodifikasi  $Cu^{2+}$  hanya meningkatkan laju pertumbuhan spesifik dari bakteri asidogen yaitu kurang lebih sebesar 48%. Penurunan laju pertumbuhan spesifik dari bakteri metanogen terjadi pada digester dengan penambahan vermiculite termodifikasi  $Cu^{2+}$  0,5 mg/L yaitu hingga sebesar 88,87%..

## Daftar Pustaka (References)

- APHA, 2005, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association, New York
- Halim, L., 2016, Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent with Lampung Natural Zeolite as Microbe Immobilization Medium and Digested Cow Manure as Starter, International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering 2016
- Jiang, B., 2006, Impact of Trace Elements on The Metabolism of Methanogenic Consortia, Wagenigen University, Wagenigen
- Karlsson, A., 2012, Impact of Trace Element Addition on Degradation Efficiency of Volatile Fatty Acids, Oleic Acid and Phenyl Acetate and on Microbial Populations in a Biogas Digester, Journal Biosci. Bioeng. 446-452
- Marcos, C.R., 2014, Exfoliation of Vermiculite with Chemical Treatment using Hydrogen Peroxide and Thermal Treatment using Microwaves, Applied Clay Science, 219-227
- Martins, S.M., 2013, Immobilization of Microbial Cells: A Promising Tool for Treatment of Toxic Pollutants in Industrial Wastewater, African Journal of Biotechnology, 4412-4418
- Pallar, H., 1994, Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat, Rineka Cipta, Jakarta
- Purnomo, 2017, Simulation and Experimental Study on Iron Impregnated Microbial Immobilization in Zeolite for Production of Biogas, Waste Biomass Valor
- Rein, D., 2007, Converting Thin Stillage into Renewable Energy, Fertilizer, and Recyclable Water, State of Minnesota: Report Phase II-Thin Stillage, Rein and Associates.
- Satyawali, Y., 2008, Wastewater Treatment in Molasses-Based Alcohol Distilleries for COD and Color Removal: A Review, J. Environ. Manag, 481-497
- Shuler, M.K., 2002, Bioprocess Engineering Basic Concept 2nd Ed, New Jersey: Prentice Hall
- Walker, M., 2009, Potential Errors in the Quantitative Evaluation of Biogas Production in Anaerobic Digestion Processes, Bioresource Technology, 6339-6346
- Ward, A.J., 2008, Optimisation of The Anaerobic Digestion of Agricultural Resources, Bioresource Technology, 7928-7940
- Weib, S.T., 2010, Enhancement of Biogas Production by Addition of Hemicellulolytic Bacteria Immobilized on Activated Zeolite, Water Research, 1970-1980
- Wresta, A., 2012, Pembuatan Biogas dari Campuran Air Limbah Tahu dan Kotoran Sapi Menggunakan Bibit Mikrobia Pemicu dari Slurry Keluaran Digester Aktif, Yogyakarta: Jurusan Teknik Kimia Universitas Gadjah Mada.