

PENGARUH PENAMBAHAN *TRACE METAL* (MOLYBDENUM & SELENIUM) TERHADAP PEMBUATAN BIOGAS DARI SAMPAH ORGANIK DAN KOTORAN SAPI

THE EFFECT OF TRACE METAL (MOLYBDENUM & SELENIUM) ADDITION ON BIOGAS PRODUCTION FROM ORGANIC WASTE AND COW MANURE

Fatimah, Grace Angelin*

Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara,
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155, Indonesia

* Email : grcangelin@gmail.com

Abstrak

Trace metal sangat penting untuk enzim kofaktor dalam pembentukan metana, namun ketersediaannya secara alami di alam tidak mencukupi sehingga diperlukan penambahan *trace metal*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *trace metal* Molibdenum (Mo) dan Selenium (Se) sebagai *trace metal* terhadap kinerja digester anaerobik. Penelitian dilakukan terhadap campuran sampah sayuran, *aquadest* dan kotoran sapi yang telah diblender kemudian difermentasi selama 30 hari pada variasi penambahan *trace metal* Mo 10 mg/L, Se 10 mg/L, campuran Mo + Se 10 mg/L di dalam reaktor *batch* berkapasitas 4 L. Digester dioperasikan pada range pH (6,5 – 8) dan suhu lingkungan (25 – 30 °C). Pada penelitian ini parameter yang diamati adalah volume biogas, pH, suhu, TS dan VS. Volum kumulatif biogas tertinggi pada penelitian ini sebesar 630 ml dalam reaktor penambahan Mo+Se dengan degradasi TS rata-rata 26,69 % dan VS 17,18 %.

Kata kunci: digester anaerobik, kotoran sapi, molibdenum, sampah sayuran, selenium

Abstract

Trace metal are essential for the enzyme cofactors in methane formation, but its availability of natural is not enough so that the necessary additional trace metal. The purpose of this study is to determine the effect of addition Molybdenum (Mo) and Selenium (Se) as trace metal on the quality and quantity of biogas in anaerobic digesters. The study was carried out by mixing vegetables wastes, *aquadest* and cow manure that have been in a blender and then have been fermented for 30 days in variety of addition of *trace metal* Mo 10 mg/L, Se 10 mg/L and a mixture of Mo + Se 10 mg/L in an reactor batch of 4 L capacity. Operation in digesters, pH was maintained in range (6.5 – 8) and at temperature 25 – 30 °C. This research parameters that observed were volume biogas, pH, temperature, TS and VS. The highest of volume cumulative biogas in this experiment 630 ml are formed Mo + Se, with degradation average TS 26.69 % and VS 17.18 %.

Keywords: anaerobic digester, cow manure, molybdenum, vegetable waste, selenium

Pendahuluan

Energi selalu memainkan peranan penting dalam perkembangan hidup manusia dan pertumbuhan ekonomi. Total permintaan dunia akan energi primer (batu bara, nuklir, LNG, bahan bakar dari fosil) senantiasa mengalami peningkatan, maka diperlukan adanya energi alternatif [5]. Biogas merupakan salah satu alternatif pemecahan masalah energi [16].

Biogas dapat dibuat dari sampah organik. Sampah organik mengandung senyawa organik yang tersusun dari unsur C, H, O, N, dan unsur lainnya yang mudah terurai secara alami oleh mikroorganisme [24]. Penguraian sampah organik yang mengandung protein, lemak, dan karbohidrat dilakukan oleh mikroba anaerob

sehingga menghasilkan gas metana [28]. Sampah organik dapat dicampurkan dengan kotoran sapi menghasilkan yield metana 0,387 L/g VS [6].

Kotoran sapi merupakan substrat yang cocok sebagai sumber pembuatan biogas, karena mempunyai keseimbangan nutrisi serta mengandung mikroba metanogenesis [11]. Sampah organik dan kotoran sapi mengandung nutrisi makro yang diperlukan untuk pembuatan biogas. Selain nutrisi makro dibutuhkan juga nutrisi mikro berupa *trace metal* untuk pertumbuhan mikroorganisme dalam menguraikan sampah organik menjadi gas metan [9].

Trace metal (Co, Ni, W, Se dan Mo) sangat penting untuk enzim kofaktor dalam

pembentukan metana namun ketersediaannya pada sampah sayuran sangat rendah [14]. *Trace metal* bukan merupakan kebutuhan pokok pada proses anaerobik tetapi keberadaannya dapat menstimulasi aktivitas bakteri metanogenik sehingga dapat meningkatkan produksi metana [33]. Penggunaan *trace metal* ini sangat kecil tetapi esensial bagi pertumbuhan mikroorganisme namun apabila konsentrasinya terlalu tinggi dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme [32, 9]. Penambahan *trace metal* (Molybdenum, Selenium) meningkatkan produksi biogas sebesar 30-40 % [33]. Molybdenum dan Selenium merupakan logam esensial yang berperan dalam proses-proses biokimia oleh mikroorganisme dan pada dosis tertentu dibutuhkan sebagai nutrisi untuk pertumbuhan mikroorganisme [13]. Pada penelitian ini akan dikaji jumlah penambahan variasi molybdenum dan selenium sebagai *trace metal* yang sesuai untuk pembuatan biogas dari sampah sayuran.

Teori

Penguraian anaerob terjadi secara alami pada substrat organik yang mengandung protein, lemak, dan karbohidrat dengan melibatkan mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik menjadi gas metan [28,7]. Tahapan pembentukan biogas dimulai dari proses hidrolisis, asidogenesis, asetonogenesis, dan metanogenesis [23].

Hidrolisis merupakan proses penguraian senyawa organik kompleks (atau senyawa polimer) menjadi bentuk yang lebih sederhana [17]. Pada tahap ini, makromolekul seperti protein, karbohidrat dan lemak, dipecah menjadi asam amino, gula dan asam lemak oleh bakteri [31]. Asidogenesis merupakan proses mengkonversi gula, asam amino, dan asam lemak menjadi alkohol dan keton, asetat, CO₂, dan H₂ oleh bakteri asidogenik [17]. Produk dari asidogenesis, yang tidak bisa secara langsung dikonversikan menjadi metana oleh bakteri metanogenik, diolah lebih lanjut melalui tahap asetonogenesis [21]. Asam lemak volatile atau *volatile fatty acids* (VFA) dan alkohol dioksidasi menjadi substrat (asetat, hidrogen, dan karbondioksida) untuk proses metanogenesis [22]. Metanogenesis merupakan tahap yang paling akhir dimana bakteri metanogenik atau bakteri pembentuk metan menghasilkan gas metan, karbondioksida, dan sedikit gas lain [10, 4].

Komposisi biogas secara umum terdiri dari 55 - 65% metana, 35 - 45% karbondioksida, 0 - 3% nitrogen, 0 - 1% hidrogen sulfide. Biogas dapat dikonversi menjadi energi sebesar 20 - 25

MJ/ m³ [7,3]. Pada biogas yang memiliki komposisi metan lebih dari 45% bersifat mudah terbakar dan merupakan bahan bakar yang cukup baik karena memiliki nilai kalor bakar yang tinggi [19].

Metodologi Penelitian

Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan adalah sampah sayuran sebanyak 500 g, kotoran sapi 1000 g dan *aquadest* 3000 mL sebagai bahan baku. Alat utama yang digunakan ialah wadah plastik ukuran 5 L berjumlah 4 buah sebagai digester, gelas ukur, termometer, selang, dan plastik. Rangkaian peralatan digester yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.

Prosedur Percobaan

Sampel (sampah sayuran) diblender dengan *aquadest* sehingga volume mencapai 2000 mL kemudian ditambahkan kotoran sapi yang telah diencerkan dengan air hingga 2000 mL. *Trace metal* Mo, Se dan campurannya (Mo+Se) sebanyak 10 mg/L untuk masing-masing variasi digester. Bahan isian dimasukkan ke dalam digester sebanyak 80 % yaitu sebanyak 4 L. Selanjutnya difermentasikan selama 30 hari. Tangki digester dihubungkan ke alat pengukur volume biogas, dimana volume gas diukur setiap hari.

Penelitian ini dilakukan pada reaktor *batch* dengan range pH 6,5 – 8, dan pada suhu ruangan (25 – 29 °C). Diamati parameter ukur yaitu volume biogas, pH, dan temperatur setiap hari serta dilakukan analisa nilai TS (*Total Solid*), VS (*Volatile Solid*) setiap 2 hari..



Gambar 1. Rangkaian Peralatan Pembuatan Biogas Hasil Penelitian

Karakteristik Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi

Penelitian ini menggunakan bahan baku sampah sayuran yang diperoleh dari pasar tradisional dan kotoran sapi yang diperoleh dari peternakan sapi. Berikut karakteristik campuran sampah sayuran dan kotoran sapi, terlihat pada tabel 1.

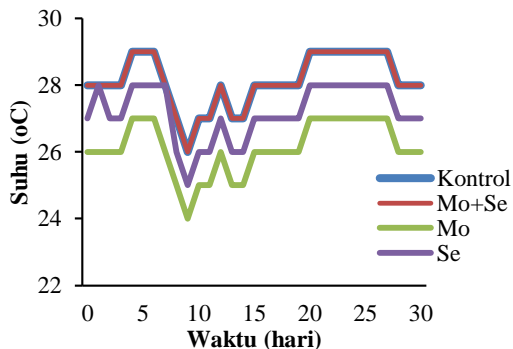
Tabel 1. Karakteristik Campuran Sampah Sayuran dan Kotoran Sapi

Komponen	Satuan	Hasil Uji
Suhu	°C	28
Ph	-	5,0
TS	mg/L	25220
VS	mg/L	12340
Kadar Air	%	97,65

Pada tabel 1 diperoleh nilai TS dan VS yang tinggi menunjukkan kandungan bahan organik di dalam sampel tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa sampah ini dapat dijadikan sebagai salah satu bahan baku pembuatan biogas [8].

Profil Temperatur Fermentasi pada Penambahan dan Tanpa Trace Metal

Pada penelitian ini profil temperatur sepanjang proses fermentasi dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Profil Temperatur terhadap Penambahan dan Tanpa Trace Metal

Gambar 2 menunjukkan profil temperatur terhadap variasi penambahan dan tanpa *trace metal* selama 30 hari. Suhu digester tertinggi yang terbentuk pada semua digester yaitu 29 °C sedangkan suhu terendah yaitu 25 °C. Rentang suhu yang diperoleh pada setiap digester masih berada pada syarat pertumbuhan bakteri mesofilik, yaitu 25 – 40 °C akan tetapi penelitian ini belum mencapai kondisi optimal ± 35 °C [31, 27].

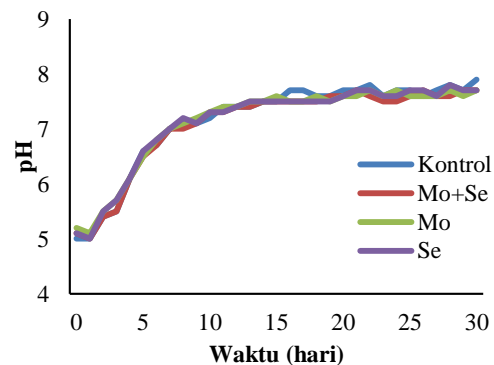
Profil temperatur yang terlihat pada gambar 2 mengalami fluktuasi, dimana fluktuasi yang terjadi dapat mempengaruhi aktivitas bakteri pada pembentukan gas metana.

Temperatur pada *start up* hingga hari ke-3 cenderung konstan dan volume biogas masih sedikit, hal ini dikarenakan mikroorganisme masih dalam tahap adaptasi (penyesuaian diri). Volume biogas dapat dilihat pada gambar 8. Pada tahap metanogenesis terjadi reaksi eksoterm, terlihat pada hari ke-10 digester mengalami peningkatan suhu [30], namun terjadi penyimpangan pada hari ke-6 sampai ke-9 dikarenakan pada saat itu suhu di lingkungan sangat rendah dibanding suhu di dalam digester sehingga digester menyerap kalor dari lingkungan.

Pada digester tanpa *trace metal* (kontrol) dan dengan penambahan *trace metal* Mo+Se diperoleh temperatur rata-rata sama sebesar 28,13 °C sehingga dapat disimpulkan tidak ada pengaruh penambahan *trace metal* terhadap profil temperatur.

Profil pH Fermentasi Akibat Penambahan dan Tanpa Trace Metal

Pada penelitian ini profil pH sepanjang proses fermentasi dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Profil pH Fermentasi Akibat Penambahan dan Tanpa Trace Metal

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada awal fermentasi sampai hari ke-4 pH berada dibawah 6,5; hal ini menunjukkan kondisi *souring* (pengasaman) yaitu terjadi proses asidogenesis dan asetogenesis, dimana proses ini terbentuk asam-asam hasil konversi yang menyebabkan nilai pH rendah [15]. Hal ini dapat menghambat proses metanogenik karena bakteri metanogenik sangat sensitif terhadap pH rendah [24]. Oleh karena itu, pH dikontrol dengan penambahan natrium karbonat sehingga pH netral dan menciptakan kondisi yang optimal bagi mikroba metanogenik.

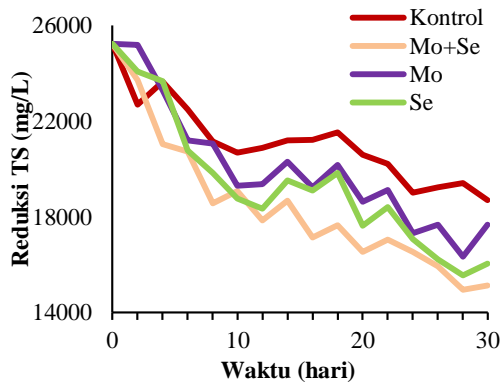
Asam organik yang terbentuk pada tahap asidifikasi akan digunakan sebagai substrat dalam pembentukan gas metana [29]. Pembentukan metana berlangsung pada kisaran

pH 5,5-8,5, dengan pH optimum untuk fermentasi mesofilik adalah 6,5-8,0 [27].

Pada gambar 3 dapat dilihat bahwa pH cenderung meningkat pada hari pertama sampai ke-15 akibat dari penambahan natrium karbonat dan pH kemudian cenderung konstan dari hari ke-15 sampai ke-30 karena asam volatil dan asam asetat yang terbentuk dikonversi menjadi biogas oleh bakteri metanogenik [20].

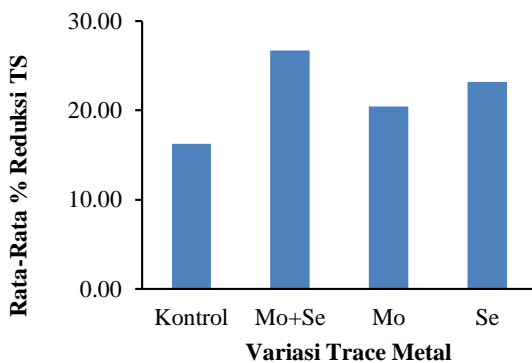
Pengaruh Penambahan Trace Metal terhadap Reduksi Total Solid

Pada penelitian ini reduksi *total solid* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Penambahan dan Tanpa Trace Metal terhadap Reduksi TS

Gambar 4 menunjukkan bahwa grafik penambahan *trace metal* mempengaruhi reduksi *total solid*. Hal ini disebabkan bahan organik yang terdapat pada digester mengalami penguraian oleh bakteri sehingga TS tereduksi [12]. Menurut Padang, dkk (2011) bahwa adanya reduksi total solid mengakibatkan produksi biogas meningkat [35]. Gambar 4 pada hari ke-30 dengan TS 15.120 mg/L diperoleh persentase reduksi sebesar 40,05 % variasi penambahan Mo+Se mengakibatkan volume biogas kumulatif sebesar 630 mL. Volume kumulatif dapat dilihat pada gambar 9.

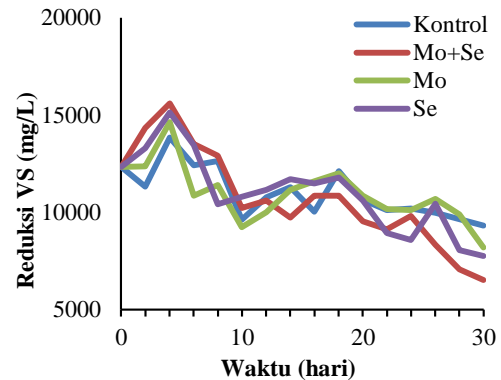


Gambar 5. Rata-Rata % Reduksi TS

Gambar 5 menunjukkan perbedaan nilai rata-rata % reduksi TS yang cukup signifikan terhadap variasi penambahan *trace metal*. Hasil rata-rata % reduksi TS tertinggi diperoleh pada penambahan *trace metal* Mo+Se sebesar 26,69%. Semakin tinggi rata-rata % TS artinya sebagian besar padatan berhasil dirombak oleh mikroorganisme menjadi *Volatil Fatty Acid* (VFA) sehingga mengalami peningkatan produksi biogas. Sebaliknya rata-rata % TS semakin rendah, maka perombakan bahan organik tidak efektif berakibat menurunnya produksi biogas [18]. Pada gambar 5 menunjukkan rata-rata % reduksi TS terendah pada variasi tanpa penambahan *trace metal* sebesar 16,27 % dengan total volume biogas terendah sebesar 365 mL. Hal ini menunjukkan penambahan *trace metal* mempengaruhi degradasi bahan organik dan produksi biogas.

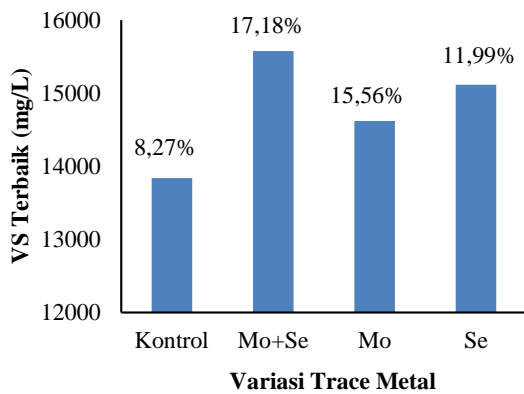
Pengaruh Penambahan Trace Metal terhadap Reduksi Volatile Solid

Pada penelitian ini reduksi *volatile solid* dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Profil Reduksi VS terhadap Penambahan dan Tanpa Trace Metal

Gambar 6 menunjukkan bahwa grafik penambahan *trace metal* mempengaruhi reduksi *volatile solid*. Menurut Ratnaningsih (2009), reduksi volatil solid disebabkan karena adanya aktivitas mikroorganisme yang menguraikan bahan organik pada digester [25]. Setiap pelakuan penambahan *trace metal* menunjukkan fluktuasi karena kemampuan mikroorganisme mendegradasi bahan organik berbeda-beda [2]. Besarnya VS terbaik yang dialami masing-masing perlakuan dapat dilihat pada gambar 7.



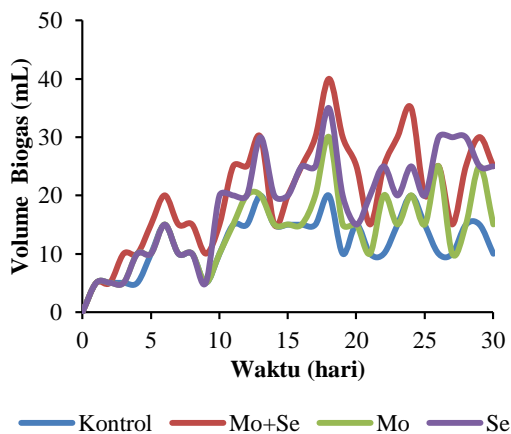
Gambar 7. Pengaruh Trace Metal terhadap Degradasi Bahan Organik Terbaik Pada Setiap Perlakuan

Gambar 7 menunjukkan profil VS terbaik untuk setiap variasi *trace metal* dicapai pada hari ke-4. Adapun nilai VS terbaik untuk variasi penambahan Mo+Se sebesar 15.580 mg/L dengan reduksi sebesar 17,18% dan total volume biogas 630 mL, dan terendah tanpa penambahan *trace metal* sebesar 13.840 mg/L dengan reduksi sebesar 8,27% dan total volume biogas 365 mL. Semakin tinggi VS yang tereduksi menunjukkan semakin banyak bahan organik yang dikonversi oleh mikroba dalam digester sehingga meningkatkan produksi biogas [26]. Hal ini menunjukkan adanya penambahan *trace metal* mengakibatkan bahan organik terdegradasi oleh mikroba dan meningkatkan produksi biogas.

Pengaruh Penambahan Trace Metal terhadap Produksi Biogas

a. Pengaruh Penambahan Trace Metal terhadap Produksi Biogas Harian

Pada penelitian ini produksi harian biogas dapat dilihat pada gambar 8.



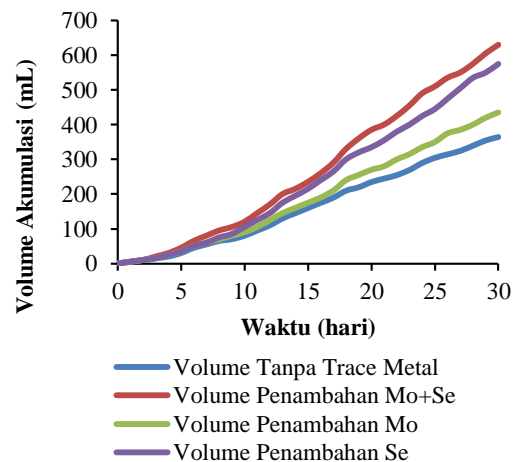
Gambar 8. Grafik Pengaruh Penambahan dan Tanpa Trace Metal terhadap Produksi Biogas

Gambar 8 menunjukkan bahwa volume biogas yang dihasilkan mengalami fluktuasi untuk setiap sampel. Pada penelitian ini perolehan volume biogas paling maksimum dihasilkan pada variasi penambahan *trace metal* Mo dan Se hari ke-18 menghasilkan biogas sebesar 40 mL, selanjutnya pada penambahan *trace metal* Se sebesar 35 mL, dan pada penambahan *trace metal* Se sebesar 30 mL. Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan dengan konsentrasi Mo 3-12 mg/TS dan konsentrasi Se 10 mg/TS meningkatkan produksi biogas sampai 30-40%. Sedangkan campuran *trace metal* dapat meningkatkan produksi biogas 45-65% [34]. Hal ini berarti dengan penambahan *trace metal* dapat meningkatkan produksi biogas.

Pada gambar 8 dapat dilihat bahwa pada awal proses fermentasi bakteri pembentuk biogas (metanogen) mengalami masa penyesuaian dengan keadaan di digester, kemudian mengalami pertumbuhan karena adanya pemanfaatan nutrisi hingga dihasilkan produksi biogas maksimal [29]. Pada tahap akhir, fermentasi memasuki fase stasioner dimana bakteri mulai kekurangan nutrisi dan mengalami kematian sehingga produksi biogas cenderung konstan dan mulai menurun [1].

b. Pengaruh Penambahan Trace Metal terhadap Produksi Biogas Kumulatif

Pada penelitian ini volume kumulatif biogas dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Volume Kumulatif Biogas Setiap Waktu Fermentasi

Gambar 9 menunjukkan volume kumulatif biogas tertinggi dihasilkan dari penambahan *trace metal* Mo+Se yaitu sebesar 630 mL, sedangkan volume kumulatif biogas terendah dihasilkan pada variabel biogas tanpa penambahan *trace metal* yaitu sebesar 365 mL. Pada penambahan *trace metal* Se sebesar 575 mL.

dan pada penambahan *trace metal* Mo sebesar 435 mL.

Adanya penambahan *trace metal* dapat mengakibatkan volume akumulasi biogas meningkat dibanding tanpa penambahan *trace metal* dan dengan mencampurkan *trace metal* Mo dan Se ke dalam digester mengakibatkan volume akumulasi biogas lebih tinggi dibandingkan dengan penambah *trace metal* Mo dan pada penambahan *trace metal* Se. Volume kumulatif biogas yang rendah bisa disebabkan karena bakteri pengurai tidak dapat beraktivitas secara maksimal [34, 3]. Hal ini menunjukkan bahwa pada penelitian ini ketersediaan *trace metal* Mo+Se sangat dibutuhkan pada produksi biogas.

Kesimpulan

Hasil penelitian ini memberikan kesimpulan sebagai berikut :

1. Volume kumulatif biogas terbesar diperoleh pada penambahan Mo+Se yaitu sebesar 630 mL.
2. Nilai pH awal untuk semua perbandingan berfluktuatif namun *range* perubahan pH untuk semua perbandingan berkisar antara 6,5-7,8 karena penggunaan *buffer* Natrium Karbonat.
3. Nilai reduksi rata-rata TS terbesar pada penambahan Mo+Se yaitu sebesar 26,69%.

Daftar Pustaka

- [1] A. Fransiska, *Aplikasi Parameter Produk Biogas Dari Limbah Cair Industri Tapioka Dalam Bioreaktor Anaerobik 2 Tahap*, Magister Teknik Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang, 2011.
- [2] A. Purnomo, E. Mahajoeno, *Produksi Biogas dari Limbah Makanan Melalui Peningkatan Suhu Biodigester Anaerob*, Seminar Nasional Pendidikan Biologi FKIP UNS, 2010, Halaman: 137-143.
- [3] A. Puspita, D. A. Herawati, *Strategi Pengumpulan Vinasse Pada Pembuatan Biogas dari Limbah Cair Industri Alkohol*. Mahasiswa Program Studi S1 Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Setia Budi, Semarang, 2013.
- [4] A. Schnurer, A. Jarvis, *Microbiological Handbook for Biogas Plants*, Avfall Sverige, Swedish, 2009.
- [5] B. Dudley, *BP Statistical Review of World Energy June 2015*, bp, 64th Edition, 2015, p. 42.
- [6] B. Sitorus, Sukandar, S. D. Panjaitan, *Biogas Recovery From Anaerobic Digestion Process of Mixed Fruit – Vegetable Wastes*, Energy Procedia 32 (2013), p. 176-182.
- [7] B. Salam, S. Biswas, M. S. Rabbi, *Biogas from Mesophilic Anaerobic Digestion of Cow Dung Using Silica Gel as Catalyst*, Procedia Engineering 105 (2015), p. 652 – 657.
- [8] BLH Sumatera Utara, “Permasalahan Sampah, Kebersihan, dan Ruang Terbuka Hijau di Perkotaan,” Sumutprov, 2014
- [9] C. Zhang, H. Su, J. Baeyens, T. Tan, *Reviewing The Anaerobic Digestion of Food Waste For Biogas Production*, Renewable and Sustainable Review 38 (2014), p. 383 - 392.
- [10] D. Clinton, *Skripsi Pengaruh Waktu Fermentasi dan Komposisi Limbah Kulit Buah Aren (Arenga pinnata) Dengan Starter Kotoran Sapi Terhadap Biogas yang Dihasilkan*, Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2015.
- [11] D. R. Sumady, *Skripsi Pengaruh Suhu, Rasio C/N dan Penambahan Bioaktivator EM4 Terhadap Produksi Biogas Dari Sampah Buah-Buahan*, Fakultas Sain dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah, Jakarta, 2009.
- [12] D. Sanjaya, A. Haryanto, Tamrin, *Produksi Biogas dari Campuran Kotoran Sapi dengan Kotoran Ayam*, Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol. 4, No. 2. 2015, Halaman: 127-136
- [13] D. T. Sembel, *Toksikologi Lingkungan*, Andi, Yogyakarta, 2015, p.142
- [14] Fatimah, N. Fara, Tesis Pengaruh Pengurangan *Trace Metal* (Nikel dan Kobal) Pada Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Secara Anaerobik Termofilik Terhadap Produksi Biogas, Program Studi Magister Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara Medan, 2012.
- [15] G. Lettinga and A.C.V. Haandel, *Anaerobic Sewage Treatment, a Practical Guide for Regions with a Hot Climate*, 1994, dalam D. Clinton, 2015.
- [16] G. P. Minde, S. S. Magdum and V. Kalyanraman, *Biogas as a Sustainable Alternative for Current Energy Need of India*, Journal of Sustainable Energy & Environment 4 (2013), p. 121-132
- [17] I. H. F. Whittle, A. Walter, C. Ebner, H. Insam, *Investigation Into The Effect of High Concentrations of Volatile Fatty Acids in Anaerobic Digestion on Methanogenic Communities*, Waste Management 34 (2014), p. 2080–2089

- [18] Inpurwanto, *Tesis Produksi Biogas Dari Limbah Peternakan Ayam Dengan Penambahan Beban Organik dan Waktu Tinggal Hidraulik Pada Biodigester Anaerob Sistem Kontinyu*, Pasca Sarjana Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2012.
- [19] Irvan, I. Suraya, H. Tiarasti, B. Trisakti, R. Hasibuan, Y. Tomiuchi, Pembuatan Biogas Dari Berbagai Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit, *Jurnal Teknik Kimia USU*, Vol. 1, No. 1 (2012), p. 45-48.
- [20] Krisye, M. Kawaroe, U. Hasanuddin, *Biodegradasi Anaerobik Makroalga Ulva sp. Untuk Menghasilkan Biogas dengan Metode Batch*. *Oseanologi dan Limnologi di Indonesia* Volume 1(1), 2016, p. 57-65.
- [21] M. Bavutti, L. Guidetti, G. Allesina, A. Libbr, A. Muscio, S. Pedrazzi, *Thermal Stabilization of Digesters of Biogas Plants by Means of Optimization of The Surface Radiative Properties of The Gasometer Domes*, *Energy Procedia* 45 (2014), p. 1344 – 1353
- [22] P. A. Ukpai, M.N. Nnabuchi, *Comparative study of Biogas Production from Cow Dung, Cow Pea, and Cassava Peeling Using 45 Liters Biogas Digester*, *Applied Science Research*, 3 (3), 2012, p. 1864-1869
- [23] R. Hendroko, S. K. Wahono, G. A. Praptaningsih, Salafudin, A. S. Yudhanto, I. Wahyudi, and S. Dohong, *The Study of Optimization Hydrolysis Substrate Retention Time and Augmentation as an Effort to Increasing Biogas Productivity from Jatropha curcas Linn. Capsule Husk at Two Stage Digestion*, *Energy Procedia* 4 7(2014). Halaman 255 – 262
- [24] R. Kigozi, A. Aboyade and E. Muzenda, *Biogas Production Using the Organic Fraction of Municipal Solid Waste as Feedstock*. *Int'l Journal of Research in Chemical, Metallurgical and Civil Engg. (IJRCMCE)* Vol. 1 Issue 1, 2014, ISSN 2349-1442 EISSN 2349-1450
- [25] R. Ratnaningsih, H. Widyatmoko dan T. Yananto, 2009. Potensi pembentukan biogas pada proses biodegradasi campuran sampah organik segar dan kotoran sapi dalam batch reaktor anaerob. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, Vol 5, no.1: 20-26.
- [26] S. Maamri, M. Amrani, *Biogas Production From Waste Activated Sludge Using Cattle Dung Inoculums: Effect of Total Solid Contents and Kinetics Study*, *Energy Procedia* 50 (2014), p. 352-359.
- [27] S. P. Sejati, *Karya Tulis Sistem Sirkulasi Lindi Pada Digester Anaerobik Untuk Produksi Biogas Dari Limbah Sayuran*, Departemen Teknologi Industri Pertanian IPB, Bogor, 2008.
- [28] S. Redjeki, Nurul Widji Triana, Iriani, IsniUtami, *Alternative Energy Biogas From Chocolate Rind*, *Procedia- Social and Behavioral Sciences* 103 (2013), p. 95-100
- [29] Soemarno, *Rancangan Teknologi Proses Pengolahan Tapioka dan Produk-Produknya*, Magister Teknik Kimia, Universitas Brawijaya, Malang, 2007.
- [30] Suyitno, A. Sujono, dan Dharmanto, *Teknologi Biogas*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2010.
- [31] T. A. Seadi, D. Rutz, H. Prassl, M. Kottner, T. Finsterwalder, S. Volk, R. Janssen, *Biogas Handbook*, University of Southern Denmark Esbjerg, 2008.
- [32] T. R. Mulyaningsih, *Kandungan Unsur Besi (Fe) dan Seng (Zn) dalam Bahan Pangan Produk Pertanian, Perikanan dan Peternakan Ditentukan dengan Metode k0-AANI*, *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology* Vol. X, No. 2, Agustus 2009: 71-80. ISSN 1411 – 3481.
- [33] V. Facchin, C. Cavinato, P. Pavan, D. Bolzonella, *Batch and Continuous MESOPHILIC Anaerobic Digestion of Food Waste: Effect of Trace Elements Supplementation*, *Chemical Engineering Transaction*, Vol. 32, 2013.
- [34] V. Facchin, C. Cavinato, F. Fatone, P. Pavan, F. Cecchi, D. Bolzonella, 2012. *Effect of Trace Element Supplementation on The Mesopholic Anaerobic Digestion of Foodwaste in Batch Trials : The Influence of Inoculum Origin*. *Biochemical Engineering Journal* 70 (2012).
- [35] Y.A. Padang, Nurchayati, dan Suhandi, *Meningkatkan Kualitas Biogas dengan Penambahan Gula*, *Jurnal Teknik Rekayasa*.12(1), 2011, p. 53-62.