

SIMULASI PRODUKSI METANA DALAM REAKTOR ANAEROBIK

SIMULATION OF METHANE PRODUCTION IN AEROBIC REACTOR

Fadhli Rahman¹, M Ramdhan Kirom², Isman Kurniawan³, Reza Fauzi Iskandar⁴

^{1,2,4}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Telkom

Fadhli.rahman82@gmail.com¹, jakasantang@gmail.com²

ismankurniawan@gmail.com³, rezafauzii@gmail.com⁴

Abstrak

Biogas biasanya mengacu pada campuran gas yang berbeda yang dihasilkan oleh pemecahan bahan organik tanpa adanya oksigen. Biogas dapat dihasilkan dari bahan baku seperti limbah pertanian, pupuk kandang, sampah kota dan limbah makanan. Biogas dapat diproduksi oleh pencernaan anaerobik dengan organisme anaerob, yang mencerna materi dalam sistem tertutup, atau fermentasi dari bahan biodegradable.

Tujuan penelitian ini membangun sebuah model matematika dari proses produksi biogas yang terjadi dalam digester *anaerobic* dan dapat dibandingkan dengan hasil eksperimen. Fokus utamanya pada simulasi pemodelan produksi biogas berdasarkan standar IWA ADM 1 (*Anaerobic Digestion Model No 1*). Model ini didefinisikan oleh satu set persamaan diferensial dan aljabar (DAE).

Pada penelitian ini, substrat yang digunakan adalah glukosa. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa hasil produk pada substrat menunjukkan tinggi kepekaan untuk masing-masing komponen dan konsentrasi metana adalah komponen paling sensitif yang terkait dengan semua proses yang digunakan dalam model. Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dalam model ADM 1 ini diharapkan lebih banyak komponen beserta variasinya yang digunakan dalam simulasi agar mendapatkan hasil metana yang lebih baik lagi.

Kata kunci: ADM1; Biogas; Pemodelan.

Abstract

Biogas typically refers to a mixture of different gases produced by the breakdown of organic matter in the absence of oxygen. Biogas can be produced from raw materials such as agricultural waste, manure, municipal waste, plant material, sewage, green waste or food waste. Biogas can be produced by anaerobic digestion with anaerobic organisms, which digest material inside a closed system, or fermentation of biodegradable materials.

The purpose of this study to build a mathematical model of the biogas production process that occurs in the anaerobic digester and can be compared with experimental results. The main focus on the simulation modeling of biogas production based on standard IWA ADM 1 (Anaerobic Digestion Model No. 1). This model is defined by a set of differential and algebraic equation (DAE).

In this study, glucose is used as biogas substrate. The simulation results showed that the results of the product on the substrate showed high sensitivity for models of each component and the concentration of methane is the most sensitive components associated with all the processes that are used in the model. For the development of further research in this ADM 1 models expected more components and its variations are used in the simulation in order to get an overview of methane for better results.

Key Words: ADM1, Biogas, Modeling

1. Pendahuluan

Dengan semakin menipisnya bahan bakar fosil, sudah sepatutnya kita lebih aktif dan kreatif menggunakan bahan bakar alternatif. Biogas merupakan salah satu jawaban terhadap kebutuhan bahan bakar alternatif. Biogas merupakan gas dari proses fermentasi bahan-bahan organik yang dihasilkan oleh bakteri – bakteri anaerob (bakteri yang biasa berkembang diruang tertutup atau kedap udara). Bakteri – bakteri anaerob yang digunakan untuk biogas ini bisa berasal dari bahan – bahan organik yang bersifat padat atau cair. Kandungan utama dari proses fermentasi biogas ini adalah sekitar 60 % gas CH₄ dan sisanya berupa kandungan padatan dan gas lain yang berada pada presentase kecil. Dalam hal ini, gas CH₄ inilah yang nantinya akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Adapun padatan yang masih tersisa akan dimanfaatkan sebagai pupuk atau kompos. Proses terbentuknya gas metan ini tentunya melalui beberapa tahap diantaranya ada tahap hidrolisis, asidifikasi, asetogenesis dan metanogenesis.

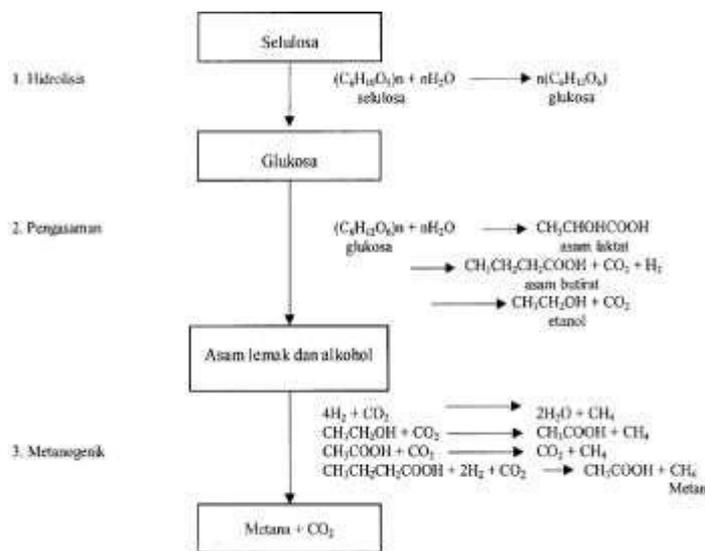
Dalam melakukan pemodelan terhadap limbah untuk menjadi biogas ada beberapa model yang dapat digunakan seperti ADM1 (*Anaerobic Digestion Model No 1*) dan juga ASM1 (*Activated Sludge Model No 1*). ASM1 adalah salah satu model yang paling banyak digunakan dari proses lumpur aktif. Model ini diusulkan IAWQ (*International Association on Water Quality*) pada tahun 1987[7]. Pada skripsi ini peneliti menggunakan model ADM1 (*Anaerobic Digestion Model No 1*) untuk melakukan simulasi model proses produksi biogas yang terjadi secara anaerobik. Simulasi model matematika dibuat berdasarkan pada standar IWA (*International Water Association*). Model ini didefinisikan oleh persamaan diferensial dan aljabar (DAE). ADM1 terdiri dari sejumlah proses untuk mensimulasikan semua reaksi yang mungkin terjadi di model *anaerobic* termasuk didalamnya reaksi biologis seperti disintegrasi, hidrolisis, pembusukan mikroorganisme, dan juga reaksi fisika-kimia, dan transfer gas liquid [6].

2. Dasar Teori

2.1 Biogas

Biogas adalah campuran gas mudah terbakar yang dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobik. Pada umumnya biogas terdiri atas gas metana (), gas karbon dioksida (), gas hidrogen () dan gas-gas lainnya dengan jumlah yang sedikit.

Dalam pemanfaatannya, biogas mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan BBM yang berasal dari fosil, diantaranya biogas mempunyai sifat ramah lingkungan dan dapat diperbarui. Bahan bakar fosil yang pembakarannya kurang sempurna menghasilkan yang merupakan salah satu penyebab pemanasan global. Sampah organik yang dibiarkan menumpuk di alam terbuka dapat menghasilkan gas metana () sebagai akibat proses pembusukan sampah yang bereaksi dengan oksigen. Gas Metana mempunyai sifat polutan 21 kali lebih besar dibandingkan sifat polutan , sehingga dengan memanfaatkan biogas dapat menekan jumlah gas metana yang langsung ke udara bebas.



Gambar 2.1 Tahap Pembentukan Biogas [1]

2.2 Glukosa

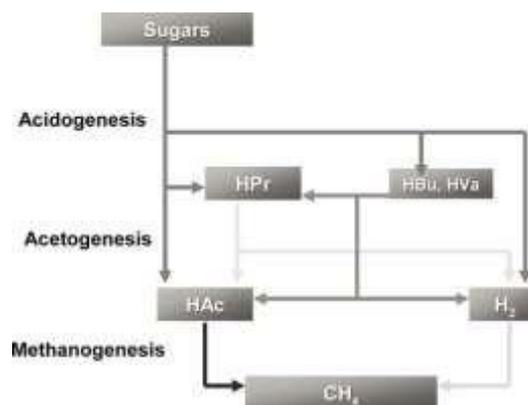
Glukosa adalah salah satu monosakarida sederhana yang mempunyai rumus molekul . Kata glukosa diambil dari bahasa Yunani yaitu *glukus* (γλυκύς) yang berarti manis, karena memang nyata bahwa glukosa

mempunyai rasa manis. Nama lain dari glukosa antara lain dekstrosa, D-glukosa, atau gula buah karena glukosa banyak terdapat pada buah-buahan. Glukosa merupakan suatu aldohexosa yang mempunyai sifat dapat memutar cahaya terpolarisasi ke arah kanan.

Dalam biologi, glukosa memegang peranan yang sangat penting, antara lain sebagai sumber energi dan intermediet metabolis me. Glukosa merupakan salah satu produk fotosintesis dan merupakan bahan bakar respirasi seluler. Glukosa berada dalam beberapa struktur yang dapat dibagi menjadi dua stereoisomer.

2.3 ADMI

ADM 1 (*Anaerobic Digestion Model No 1*) adalah model *anaerobic* terintegrasi yang dikembangkan oleh kelompok IWA untuk pemodelan matematika. Pemodelan ini didefinisikan oleh persamaan diferensial dan aljabar (DAE). ADM 1 terdiri dari sejumlah proses untuk mensimulasikan semua reaksi yang mungkin terjadi di model *anaerobic* termasuk didalamnya reaksi biologis seperti disintegrasi, hidrolisis, pembusukan mikroorganism, dan juga reaksi fisika-kimia, dan transfer gas liquid. Secara total terdapat 19 proses, 24 komponen dan 56 relatif stoikiometri dan parameter kinetik diasumsikan untuk proses biologis dan juga proses dan parameter tambahan yang ditentukan untuk proses fisika-kimia.



Gambar 2.3 Struktur ADMI [3]

2.4 Pemodelan Proses

Model ADM 1 digunakan untuk menghitung laju proses biokimia dan fisika-kimia. Yang termasuk proses biokimia adalah disintegrasi, hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis, sementara yang termasuk proses fisika-kimia adalah penguapan dari metana, karbon dioksida, hydrogen dan air.

2.5.1 Proses Biokimia

Ada empat proses biokimia utama yang terjadi selama proses *anaerobic*, yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Proses ini dikatalisasi oleh sejumlah mikroorganism berbeda. Mikroorganism ini dikelompokkan menurut substrat utama mereka, untuk degrader gula adalah Xsu dan degrader asetat adalah Xac. Aktivitas mikroorganism yang berbeda umumnya berkelompok dan diwakili oleh persamaan kinetik sederhana.

2.5.2 Proses Fisika-kimia

Ada beberapa proses fisika-kimia utama yang terjadi selama proses *anaerobic*, yaitu penguapan dari metana, karbon dioksida, hydrogen dan air. Berikut ringkasan tabel dari persamaan laju proses :

j	Process	Rate, μ_j [kg COD m ⁻³ d ⁻¹]
1	Disintegration	$k_{d1}C_{10}$
2	Hydrolysis of carbohydrates	$k_{h2,1}C_{2,1}$
3	Hydrolysis of proteins	$k_{h3,1}C_{3,1}$
4	Hydrolysis of lipids	$k_{h4,1}C_{4,1}$
5	Acido-/acetogenesis of sugars	$k_{a5,1} \frac{C_{5,1}}{K_{s5,1} + C_{5,1}} - C_{5,1} f_{p5,1} f_{a5,1} f_{i5,1} f_{m5,1}$
6	Acido-/acetogenesis of amino acids	$k_{a6,1} \frac{C_{6,1}}{K_{s6,1} + C_{6,1}} - C_{6,1} f_{p6,1} f_{a6,1} f_{i6,1} f_{m6,1}$
7	Acido-/acetogenesis of LCFA	$k_{a7,1} \frac{C_{7,1}}{K_{s7,1} + C_{7,1}} - C_{7,1} f_{p7,1} f_{a7,1} f_{i7,1} f_{m7,1}$
8	Acido-/acetogenesis of valerate	$k_{a8,1} \frac{C_{8,1}}{K_{s8,1} + C_{8,1}} - C_{8,1} f_{p8,1} f_{a8,1} f_{i8,1} f_{m8,1}$
9	Acido-/acetogenesis of butyrate	$k_{a9,1} \frac{C_{9,1}}{K_{s9,1} + C_{9,1}} - C_{9,1} f_{p9,1} f_{a9,1} f_{i9,1} f_{m9,1}$
10	Acetogenesis of propionate	$k_{a10,1} \frac{C_{10,1}}{K_{s10,1} + C_{10,1}} - C_{10,1} f_{p10,1} f_{a10,1} f_{i10,1} f_{m10,1}$
11	Methanogenesis of acetate	$k_{m11,1} \frac{C_{11,1}}{K_{s11,1} + C_{11,1}} - C_{11,1} f_{p11,1} f_{a11,1} f_{i11,1} f_{m11,1}$
12	Methanogenesis of hydrogen	$k_{m12,1} \frac{C_{12,1}}{K_{s12,1} + C_{12,1}} - C_{12,1} f_{p12,1} f_{a12,1} f_{i12,1} f_{m12,1}$
13	Decay of sugar degraders	$k_{d13,1}C_{13,1}$
14	Decay of amino acid degraders	$k_{d14,1}C_{14,1}$
15	Decay of LCFA degraders	$k_{d15,1}C_{15,1}$
16	Decay of C4-acid degraders	$k_{d16,1}C_{16,1}$
17	Decay of propionate degraders	$k_{d17,1}C_{17,1}$
18	Decay of acetate degraders	$k_{d18,1}C_{18,1}$
19	Decay of hydrogen degraders	$k_{d19,1}C_{19,1}$
20-25	Acid/base dissociation*	$k_{d20,1}(K_a C_{20,1} - C_{21,1})$
26	Hydrogen transfer	$k_{t26,1}(C_{12,1} - 16K_{H,12}P_{H,12,1})$
27	Methane transfer	$k_{t27,1}(C_{11,1} - 64K_{H,11}P_{H,11,1})$
28	Carbon dioxide transfer	$k_{t28,1}(C_{10,1} - K_{H,10}P_{H,10,1})$

Tabel 2.1 Persamaan Laju Proses [4]

2.5.3 Stoikiometri

Koefisien stoikiometri proses digambarkan dalam matriks v. Hal ini menentukan bagaimana setiap proses mempengaruhi masing-masing komponen. Setiap nilai dalam matriks adalah antara -1 dan 1.

component i → ↓ process j	1	2	3	4	5	6
	S_{su}	S_{aa}	S_{fa}	S_{va}	S_{bu}	S_{prv}
1 Dis. X_c	-	-	-	-	-	-
2 Hydr. X_{ch}	1	-	-	-	-	-
3 Hydr. X_{pr}	-	1	-	-	-	-
4 Hydr. X_{fi}	$1 - Y_{fa,li}$	-	$Y_{fa,li}$	-	-	-
5 Acid/acet. S_{su}	-1	-	-	-	$(1 - Y_{su})Y_{bu,su}$	$(1 - Y_{su})Y_{prv,su}$
6 Acid/acet. S_{aa}	-	-1	-	$(1 - Y_{aa})Y_{va,aa}$	$(1 - Y_{aa})Y_{bu,aa}$	$(1 - Y_{aa})Y_{prv,aa}$
7 Acid/acet. S_{fa}	-	-	-1	-	-	-
8 Acid/acet. S_{va}	-	-	-	-1	-	$(1 - Y_{ca})0.54$
9 Acid/acet. S_{bu}	-	-	-	-	-1	-
10 Acid/acet. S_{prv}	-	-	-	-	-	-1
11 Meth. S_{ac}	-	-	-	-	-	-
12 Meth. S_{H_2}	-	-	-	-	-	-

Tabel 2.2 Matriks Stoikiometri [4]

3. Metodologi Penelitian

3.1 Metode Penelitian

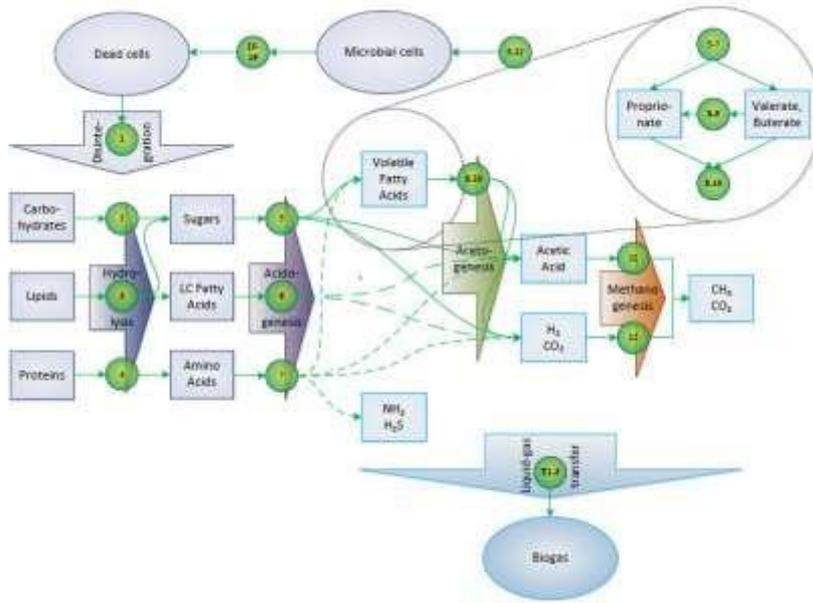
Tahap penelitian yang dilakukan adalah :

1. Studi literatur dilakukan dengan mencari teori-teori terkait proses biogas dan pemodelan dengan ADM 1 melalui berbagai sumber seperti jurnal, thesis, maupun internet.
2. Pembuatan simulasi dengan desain awal penulis yaitu membuat pemodelan produksi biogas yang kaitannya dengan metana dalam reactor anaerobik.
3. Setelah pembuatan simulasi dilakukan, maka selanjutnya diuji untuk mengetahui apakah simulasi bekerja dengan baik atau tidak. Jika simulasi bekerja dengan baik dapat dilanjutkan ke proses analisis. Namun, jika masih dibutuhkan perbaikan maka dilakukan perbaikan terlebih dahulu.
4. Tahap analisis dilakukan dengan cara menguji simulasi yang telah siap.

3.2 Gambar an Umum Sistem

Pemodelan simulasi yang akan dibangun oleh peneliti adalah simulasi produksi metana berdasarkan ADM 1. ADM 1 terdiri dari sejumlah proses untuk mensimulasikan semua reaksi yang mungkin terjadi di model *anaerobic* termasuk didalamnya reaksi biologis seperti disintegrasi, hidrolisis, pembusukan mikroorganismenya, dan juga reaksi fisika-kimia, dan transfer gas liquid. Secara total terdapat 19 proses, 24 komponen dan 56 relatif stoikiometri dan parameter kinetik diasumsikan untuk proses biologis pembentukan biogas.

Pemodelan simulasi ini menggunakan glukosa sebagai substrat utama. Dalam gambar 3.1 dapat dilihat glukosa (*sugars*) sebagai titik awal sebagai substrat utama. Dalam gambar 3.1 panah besar mewakili langkah-langkah dalam setiap proses pembentukan biogas.



Gambar 3.1 Gambaran Umum Proses Biogas

3.3 Flowchart Penelitian

Pada tugas akhir ini dibuat simulasi pemodelan biogas dengan berdasarkan ADM 1 (*Anaerobic Digestion Model No 1*). Simulasi pemodelan biogas menggunakan aplikasi MATLAB. Berikut adalah *flowchart* penelitian :



Gambar 3.1 Gambaran Umum Proses Biogas

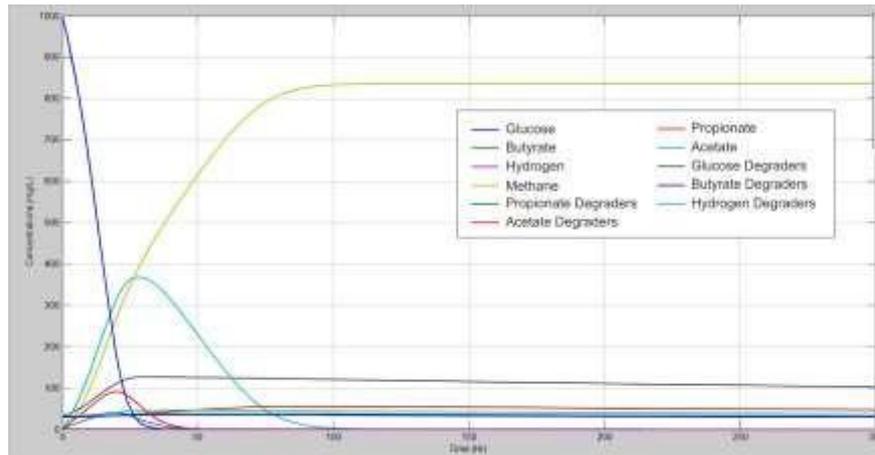
4 Kesimpulan dan Saran

4.1 Hasil Simulasi

Pembuatan program simulasi ini memerlukan beberapa aspek pendukung, seperti perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), dan pengguna (*brainware*). Dalam pembuatan program simulasi dan perancangan sistem memerlukan perangkat lunak (*software*) Matlab 2013a. Bahan dasar dalam program simulasi ini adalah glukosa.

4.1.1 Hasil Simulasi Dengan Glukosa

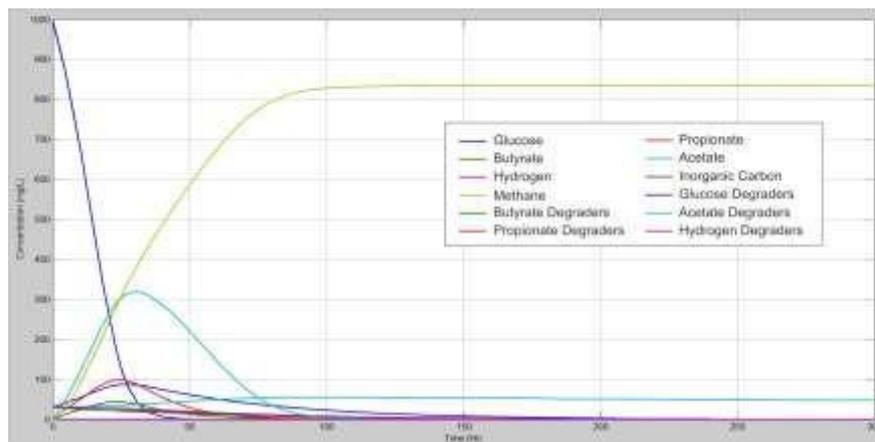
Berikut merupakan hasil simulasi menggunakan bahan dasar glukosa :



Gambar 4.1 Hasil Simulasi Degradasi Glukosa

4.1.2 Hasil Simulasi Glukosa Dengan Senyawa Karbon Anorganik

Berikut merupakan hasil simulasi menggunakan bahan dasar glukosa dan senyawa anorganik :



Gambar 4.2 Hasil Simulasi Degradasi Glukosa Dengan Senyawa Karbon Anorganik

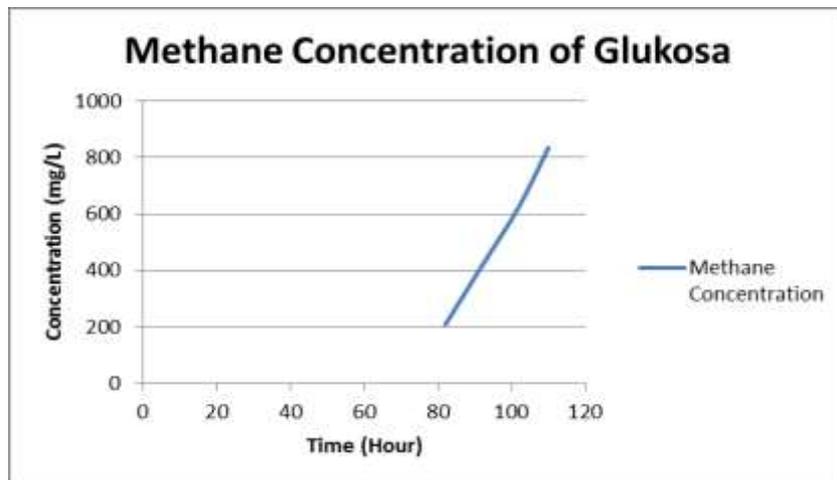
4.2 Analisis Data

4.2.1 Analisis Data Simulasi Degredasi Glukosa

Tabel 4.1 Nilai Konsentrasi Glukosa Dengan Hour Steady Metana

Substrat	Glukosa Concentration	Methane Concentration	Hour Steady
Glukosa	250	207	82
	500	417	92
	750	626	102
	1000	835	110

Berikut adalah grafik dari perbandingan antara konsentrasi glukosa dengan *hour steady* terbentuk metana :



Gambar 4.3 Grafik Nilai Konsentrasi Glukosa Dengan *Hour Steady* Metana

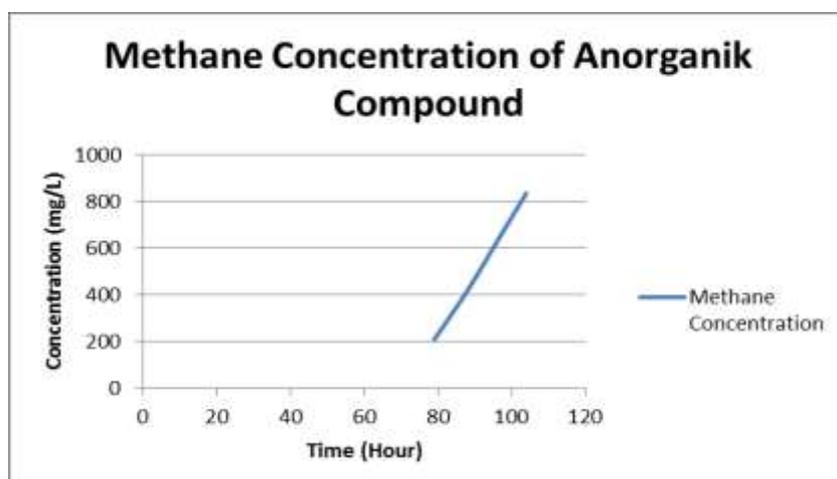
Dari gambar 4.3 saat dilakukan simulasi antara konsentrasi asetat dibandingkan dengan *hour steady* terbentuknya metana, terlihat konsentrasi asetat dengan *set point* terendah memiliki waktu tercepat untuk terbentuknya metana.

4.2.2 Analisis Data Simulasi Degradasi Glukosa Dengan Senyawa anorganik

Tabel 4.2 Nilai Konsentrasi Glukosa-Senyawa Anorganik Dengan *Hour Steady* Metana

Substrat	Concentration	Methane Concentration	Hour Steady
Glukosa-Senyawa Anorganik	250	207.84	79
	500	417.2	88
	750	626.3	96
	1000	835.3	104

Berikut adalah grafik dari perbandingan antara konsentrasi glukosa dengan *hour steady* terbentuk metana :



Gambar 4.4 Grafik Nilai Konsentrasi Glukosa-Senyawa Anorganik Dengan *Hour Steady* Metana

Dari gambar 4.4 terlihat bahwa saat dilakukan simulasi antara konsentrasi glukosa-senyawa anorganik dibandingkan dengan *hour steady* terbentuknya metana, terbentuk kurva linear dimana konsentrasi glukosa dengan *set point* terendah memiliki waktu tercepat untuk terbentuknya metana

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil simulasi didapatkan bahwa semakin rendah *set point* konsentrasi awal yang digunakan untuk semua komponen maka waktu yang dibutuhkan untuk terbentuknya metana semakin cepat.
2. Konsentrasi propionat menghasilkan hasil konsentrasi metana terendah bila dibandingkan dengan konsentrasi komponen lainnya, dimana untuk konsentrasi awal propionat 250 mg/L hanya menghasilkan 129.9 mg/L metana dan konsentrasi awal propionat 1000 mg/L hanya menghasilkan 519.8 mg/L metana.
3. Konsentrasi glukosa apabila dibandingkan dengan konsentrasi glukosa dengan penambahan senyawa anorganik menghasilkan konsentrasi metana dengan jumlah yang relatif sama untuk semua *set point* konsentrasi awal komponen. Saat konsentrasi awal komponen 1000 mg/L menghasilkan metana dengan konsentrasi 835 mg/L. Perbedaan terjadi hanya di waktu mulai terbentuknya metana. Untuk glukosa saat konsentrasi awal 1000 mg/L membutuhkan waktu 110 jam sampai terbentuknya metana, sementara untuk glukosa dengan tambahan senyawa organik membutuhkan waktu yang lebih singkat 104 jam.

5.2 Saran

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya dalam model ADM1 ini diharapkan lebih banyak komponen beserta variasinya yang digunakan dalam simulasi agar mendapatkan gambaran hasil metana yang lebih baik lagi.

Daftar Pustaka

- [1] Biogas. [Online]. Tersedia: eprints.undip.ac.id [Accessed 02 April 2016].
- [2] Ploting Matlab. [Online]. Tersedia: <https://radiotrack.wordpress.com/matlab-tutorials> [Accessed 03 April 2016].
- [3] Jeong, H.S., Suh, C.W., Lim, J.L., Lee, S.H., Shin, H.S. 2004. *Analysis and application of ADM1 for anaerobic methane production*. *Bioprocess Biosyst Eng* 27:81-89. Springer, Germany.
- [4] Bouma, E.L. 2014. *Building an explorative model of the biogas production process in an anaerobic digester*. *Msc Thesis* Wageningen University, Netherlands.
- [5] Rosen, Christian., Jeppsson, Ulf. 2006. *Aspect on ADM1 implementation within the BSM2 framework*. Department of Industrial Electrical Engineering and Automation Lund University, Sweden.
- [6] Bastone, D.J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S.V., Pavlostathis, S.G., Rozzi, A., Sanders, W.T.M., Siegrist, H. and Vavilin, V.A. (2002). *Anaerobic digestion model no 1 (ADM1)*. IWA scientific and technical report no 13. IWA publishing, London, UK.
- [7] Mohamadi, F., Rahimi, S., Bina, B., Amin, M.M. 2015. *Modeling of Activated Sludge with ASMI Model*. Department of Environmental Health Engineering, Isfahan, Iran.