

**PEMODELAN PRODUKSI BIOGAS PADA REAKTOR TIPE *BATCH*  
MENGUNAKAN METODE MILNE-SIMPSON *PREDICTOR-CORRECTOR***  
***MODELING OF BIOGAS PRODUCTION IN BATCH REACTOR USING MILNE  
SIMPSON PREDICTOR-CORRECTOR METHOD***

Mohammad Adietya Perdana<sup>1</sup>, Rian Febrian Umbara<sup>2</sup>, Isman Kurniawan<sup>3</sup>

Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom

<sup>1</sup>[muhammad.adietya.perdana@gmail.com](mailto:muhammad.adietya.perdana@gmail.com)

---

**Abstrak**

Pada penelitian ini dijelaskan model prediksi hasil produksi biogas dengan menggunakan reaktor tipe *batch*. Pada penelitian ini substrat utama dalam produksi biogas adalah substrat glukosa yang memiliki nilai konsentrasi awal 500 gCODm<sup>-3</sup> dan waktu produksi biogas dilakukan selama 106 jam. Didalam penelitian ini juga dijelaskan mengenai konsentrasi substrat dan mikroba yang terlibat pada perencanaan anaerobik, penentuan keakurasian hasil konsentrasi metana pada simulasi dan eksperimen yang sudah dilakukan pada penelitian rujukan [2], pengaruh nilai pembagi interval terhadap waktu proses perhitungan, dan juga pengaruh konsentrasi awal glukosa dan mikroorganisme terhadap hasil konsentrasi metana. Dalam memprediksi produksi biogas diperlukan suatu model yaitu Anaerobic Digestion Model 1 (ADM1) karena didalam model ADM1 mencakup kinetika disintegrasi partikel karbohidrat, protein, lipid, hidrolis, dan asam amino. Untuk mendapatkan hasil model yang memiliki keakurasian tinggi digunakan metode numerik Milne-Simpson *Predictor-Corrector*. Hasil pemodelan kandungan metana dari produksi biogas pada penelitian ini mengalami kenaikan tren pada nilai konsentrasi hingga mencapai 417,51573 gCODm<sup>-3</sup> dan konsentrasi mikroba terbesar dari produksi ini adalah konsentrasi mikroba glukosa mencapai 77,67351 gCODm<sup>-3</sup>.

**Kata Kunci:** Biogas, ADM1, Metode Milne-Simpson Predictor-Corrector.

---

**1. Pendahuluan**

Energi adalah sesuatu yang sangat dibutuhkan oleh semua orang, mulai dari memasak, untuk menyalakan televisi dan lain-lain. Semua aktivitas yang dilakukan manusia pasti membutuhkan energi namun persediaan energi seiring berjalannya waktu akan terus berkurang. Di zaman sekarang kemajuan teknologi untuk mengembangkan sumber energi sangat penting, karena dengan adanya kemajuan tersebut manusia dapat meminimalkan sumber daya alam yang dikeluarkan [2]. Banyak sekali cara atau aplikasi agar bisa menciptakan sumber energi dari bahan organik. Salah satu yang sudah ada yaitu biogas. Biogas merupakan konsep pengolahan bahan organik agar didapat campuran gas. Komposisi yang ada dalam biogas antara lain metana (CH<sub>4</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), nitrogen (N<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>), hidrogen sulfide (H<sub>2</sub>S), Oksigen (O<sub>2</sub>).

Pada simulasi penelitian produksi biogas ini merujuk pada penelitian yang dilakukan pada jurnal "*Analysis and Application of ADM1 for Anaerobic Methane Production*" [1] yang bertujuan untuk membandingkan hasil produksi metana pada produksi biogas. Dengan adanya penelitian model uji botol serum yang telah dibangun dengan menggunakan Anaerobic Digestion Model No.1 (ADM1) yang menganalisis berdasarkan kesensitivitasan analisis yang digunakan untuk memastikan model dalam memberikan hasil yang tergantung dari parameter masukannya. Dengan tergantungnya parameter masukan untuk hasil yang dikeluarkan dapat disimpulkan bahwa parameter masukan mempengaruhi proses yang dari hasil pengeluaran. Sensitivasi analisis merupakan algoritma genetika yang dapat digunakan sebagai estimasi hasil eksperimen yang dilakukan karena dengan menggunakan algoritma genetika tersebut dapat mengevaluasi tingkat kinerja dari ADM1 yang memiliki persamaan non linier yang kompleks [3]. Ada beberapa perhitungan numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial pada ADM1. Milne-simpson *predictor-corrector* merupakan metode numerik *single-step method* yang cocok digunakan untuk memproduksi biogas. Metode milne-simpson *predictor-corrector* juga memiliki keakurasian yang tinggi pada setiap iterasinya. [4]

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah mencari keakurasian metode Milne-Simpson *Predictor-Corrector* untuk menyelesaikan ADM1, menjelaskan profil kinetika spesi yang terlibat pada ADM1, dan menentukan aspek komputasi dari hasil simulasi produksi biogas yang dilakukan.

2. Teori Dasar

2.1. Biogas

Biogas adalah energi buatan yang dibuat sebagai bahan bakar *alternative* yang berasal dari bahan yang mengandung biomassa. Kandungan utama biogas yaitu metana (CH<sub>4</sub>) dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang terbentuk dari pembusukan bakteri anaerobik senyawa organik. Metana merupakan kandungan utama biogas karena senyawa tersebut menghasilkan energi yang lebih besar dengan estimasi kandungan senyawa karbondioksida akan lebih sedikit. Kandungan didalam biogas tidak hanya Metana (CH<sub>4</sub>) sebanyak 55% - 70% dan karbondioksida (CO<sub>2</sub>) sebanyak 30% - 45% tetapi ada beberapa kandungan lainnya antara lain Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S) sebanyak 1% - 2%, Hidrogen (H<sub>2</sub>) sebanyak 1% - 2%, Ammonia (NH<sub>3</sub>) sebanyak 1% - 2%, Karbonmonoksida (CO), Nitrogen (N<sub>2</sub>), dan Oksigen (O<sub>2</sub>) [5].

Digester biogas merupakan alat yang digunakan untuk melakukan proses biogas dan menampung bahan organik pada kondisi bebas dari oksigen agar dapat dilakukan proses fermentasi oleh bakteri megaton. Digester untuk memproses biogas dengan baik harus terdapat bak penampung yang disesuaikan dengan produksi biogas yang ingin dihasilkan, digester, bak penampung lumpur sisa fermentasi, bak penampung gas, pipa biogas keluar, penutup digester, dan pipa keluar slurry [6]. Desain reaktor yang digunakan untuk memproduksi biogas ada tiga tipe yaitu *batch reactor*, *semi-batch reactor*, dan *continuous flow stirred-tank reactor* (CSTR) [7].

2.2. ADM1

Anaerobic Digestion Model 1 (ADM1) merupakan salah satu konsep dalam memproduksi biogas. Dengan adanya ADM1 parameter-parameter yang berkaitan atau yang berpengaruh seperti karbohidrat, protein, dan lemak dalam produksi biogas bisa diolah. Oleh karena itu ADM1 dapat memproduksi biogas dengan akurat sehingga dapat meningkatkan teknologi anaerobik. Didalam model ADM1 terdapat dua sistem reaksi yang mengatur proses bahan organik menjadi biogas antara lain reaksi biokimia dan reaksi fisiko-kimia. Reaksi biokimia biasanya dipengaruhi oleh enzim yang terdapat dibahan organik yang kemudian disintegrasi komposit untuk partikulat konsituten dan enzimatik. Dengan sistem reaksi fisiko-kimia mencakup ion asosiasi atau sisosiasi dan transfer gas cair namun tidak termasuk curah hujan [1].

Didalam proses biokimia terdapat perbedaan antara persediaan substrat dan keseluruhan pemasukan *Chemical Oxygen Demand* (COD). Didalam proses biokimia terdapat persamaan yang berfungsi mewakili sistem anaerobik. Untuk mengetahui perubahan reaksi biokimia dari konsentrasi pH dan gas konservasi fisika-kimia harus dimasukkan. Model sistem reaksi biokimia berkaitan dengan tiga tahapan pada proses biogas yaitu fermentasi, oksidasi anaerobik, dan meranogenesis [1][8]. Dalam fermentasi metana terdapat empat proses yang komplek yaitu hidrolisis merupakan material organik polimerik diubah menjadi monomer seperti glukosa, asam lemak dan asam amino oleh bakteri hidrolitik., asidogenesis merupakan tahapan pembentukan bagi senyawa-senyawa organik sederhana, acetogenesis/dehidrogenasi yang merupakan tahapan pelepasan atom hidrogen, dan metanation merupakan tahap pembentukan metana.

Dalam sistem reaksi fisiko-kimia tidak mengarah pada mikroorganism tapi sesuatu yang terjadi pada digester anaerobik antara lain reaksi dari ion, pertukaran dari gas ke cair, dan perubahan dari air ke padat. Transformasi dari air ke air berkaitan dengan asosiasi dan disosiasi pada ion terhadap hidrogen dan juga ion hidroksida karena pada proses asosiasi dan disosiasi sangat cepat sehingga membantu keseimbangan pada proses [1].

2.3. Metode Numerik

Metode numerik dibagi menjadi dua berdasarkan prosesnya yaitu single-step method dan multi-step method. Multi-step method atau metode multi langkah sebelumnya merupakan bagian dari turunan polynomial yang merupakan interpolasi dari titik x dan titik sebelum x yang termasuk kedalam formula jenis eksplisit.

Persamaan diferensial Milne-Simpson untuk *Predictor*

$$y_{k+1} = y_{k-3} + \frac{4h}{3} (2y'_k - y'_{k-1} - 2y'_{k-2})$$

Persamaan diferensial Milne-Simpson untuk *Modiffier*

$$y_{k+1} = y_{k+1} + 28(y'_{k+1} - y'_{k-3})/29$$

Persamaan diferensial Milne-Simpson untuk *Corrector*

$$y_{k+1} = y_{k-1} + \frac{h}{3} (y'_{k+1} + 4y'_k + y'_{k-1})$$

dimana :

$$y_{k+1} = y_{k+1}, y_{k-1} = y_{k-1}, y'_k = y'_k, y'_{k-1} = y'_{k-1}, y'_{k-2} = y'_{k-2}, k = i + 1; i = i - 1 [9]$$

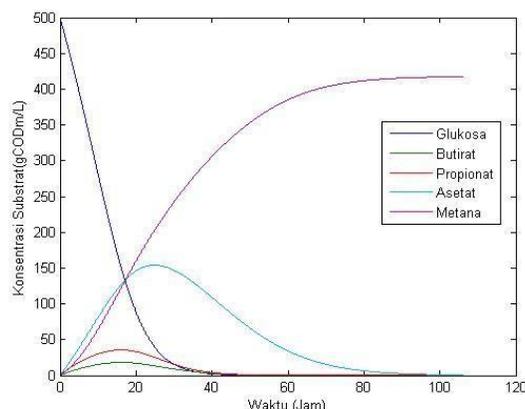
### 3. Metode

Dalam proses produksi biogas ini terdapat lima tahapan yang dilakukan. Tahap pertama adalah penentuan model kinetika reaksi. Pada tahap ini dilakukan penentuan reaksi yang digunakan untuk memproduksi biogas. Kinetika reaksi yang tidak dibutuhkan tidak perlu digunakan. Tahap selanjutnya adalah penurunan model matematika yang didapat dari model komponen dan proses kinetika reaksi. Penyelesaian model matematika dengan metode numerik Milne-Simpson *Predictor-Corrector*. Setelah perhitungan numerik selesai selanjutnya dilakukan interpretasi hasil perhitungan dengan membandingkan hasil produksi biogas yang didapat dengan hasil produksi biogas dari eksperimen, kemudian jika hasilnya berbeda maka dilakukan tahap optimasi parameter yang akan membantu model tersebut lebih baik.

### 4. Pembahasan

#### 4.1. Profil Kinetika Reaksi Substrat

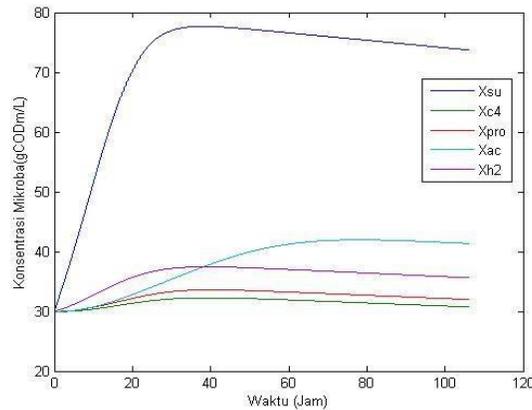
Pada gambar 4.1.1.1 konsentrasi glukosa mengalami penurunan hingga 0,0001 gCODm<sup>-3</sup> saat waktu mencapai 103,110 jam penurunan konsentrasi glukosa dikarenakan adanya proses asidogenesis, sedangkan pada ke empat substrat lainnya yaitu asam butirat, asam propionate, asam acetat, dan metana mengalami kenaikan karena keempat substrat tersebut terbentuk dengan adanya penurunan konsentrasi glukosa namun kenaikan keempat substrat tersebut berbeda-beda dan waktu proses kenaikannya pun berbeda. Pada asam butirat konsentrasi tertinggi mencapai 18.22769 gCODm<sup>-3</sup> saat produksi berlangsung selama 16.275 jam, pada asam propionat mencapai konsentrasi tertinggi hingga 35.76999 gCODm<sup>-3</sup> saat produksi berlangsung selama 16.173 jam, sedangkan konsentrasi tertinggi asam asetat mencapai 153, 9907 gCODm<sup>-3</sup> saat produksi berlangsung sampai 25,015 jam, dan metana yang merupakan kandungan utama pada biogas mencapai konsentrasi hingga 17,51573 gCODm<sup>-3</sup>.



Gambar 1. Konsentrasi substrat biogas dengan nilai pembagi interval 176.663

#### 4.2. Profil Kinetika Reaksi Mikroba

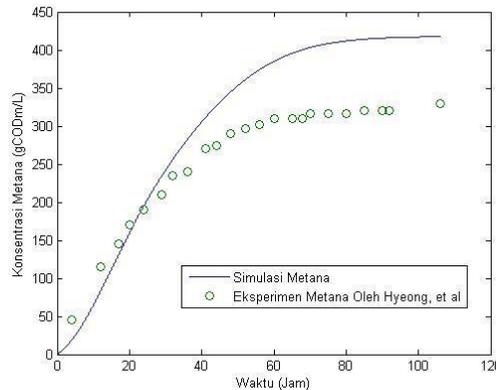
Mikroorganisme yang digunakan pada penelitian ini yaitu mikroba pengurai glukosa, mikroba pengurai butirate, mikroba pengurai propionat, mikroba pengurai hidrogen dan mikroba pengurai asetat. Nilai konsentrasi awal pada mikroba pengurai ditentukan karena untuk mengoptimasi hasil dari mikroba pengurai yang terjadi. Pada gambar 4.1.2.1 terlihat bahwa konsentrasi mikroba glukosa mencapai 77,67351 gCODm<sup>-3</sup> saat produksi berlangsung sampai 38,23 jam, konsentrasi mikroba pengurai butirat mencapai 32,6456 gCODm<sup>-3</sup> saat 39,619 jam, namun konsentrasi mikroba pengurai propionat mencapai 33,60714 gCODm<sup>-3</sup> saat 40,401 jam, konsentrasi mikroba asetat mencapai 41,96788 gCODm<sup>-3</sup> saat 78,121 jam, dan Walaupun konsentrasi substrat hidrogen sangat kecil tetapi konsentrasi mikrobaanya lebih tinggi dibandingkan propionate dan butirate yaitu mencapai 37,46259 gCODm<sup>-3</sup> dan tidak hanya konsentrasi mikrobaanya yang lebih tinggi dari propionat dan butirate tapi waktu untuk mencapai konsentrasi mikrobaanya juga lebih cepat yaitu 39,252 jam. Kenaikan konsentrasi mikroba glukosa lebih tinggi dari pada kenaikan konsentrasi mikroba lainnya dikarenakan nilai kandungan substrat sebagai makanan dari mikroba glukosa tinggi.



**Gambar 2. Konsentrasi mikroba biogas dengan nilai pembagi interval 176.663**

**4.3. Penentuan Akurasi Perhitungan**

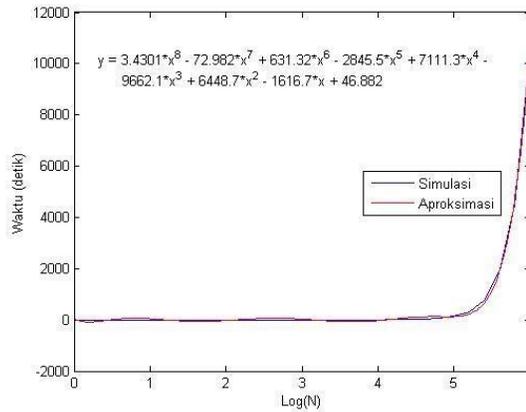
Dari hasil simulasi yang dilakukan selisih konsentrasi terkecil antara hasil konsentrasi metana dengan hasil konsentrasi metana pada eksperimen terjadi saat waktu proses berada pada 29 jam dengan nilai konsentrasi metana pada simulasi sebesar 235.07287 gCODm<sup>-3</sup> dan nilai metana dari penelitian rujukan sebesar 210 gCODm<sup>-3</sup>. Perbandingan hasil antara simulasi dan eksperimen terlampau jauh dikarena nilai parameter yang tidak sesuai terhadap keseluruhan proses produksi biogas. Faktor perbedaan hasil metana dari simulasi dan eksperimen dikarena pada simulasi produksi factor pH, suhu, dan fisiko-kimia pada proses diabaikan.



**Gambar 3. Pembeding produksi metana**

**4.4. Pengaruh Nilai Pembagi Interval Terhadap Waktu Pembentukan**

Pada gambar 4.3.1 ini dilakukan percobaan berulang-ulang dengan mengganti nilai pembagi interval pada setiap simulasi sebanyak 30 dengan data logaritma yang digunakan pada simulasi ini dimulai dari 0.0 sampai 6.0 dengan kenaikan data logaritma setiap iterasi 0.2. Dari data logaritma tersebut akan mengetahui nilai pembagi interval yang digunakan dengan menggunakan rumus  $10^{(\text{data logaritma})}$ , sebagai contoh data logaritma yang digunakan adalah 0.2 berarti nilai pembagi interval dari data logaritma 0.2 adalah  $10^{0.2} = 1.584893$  data.. Dari percobaan tersebut mendapatkan persamaan kuadratik sebagai persamaan penentuan waktu proses dengan interval yang melebihi 1.000.000.

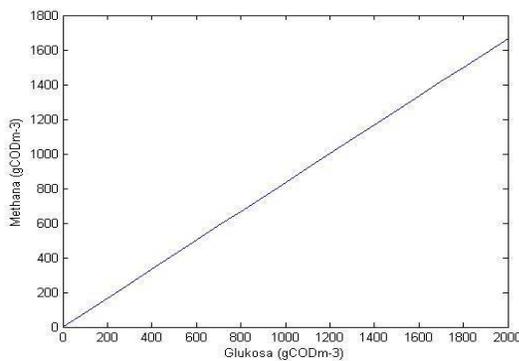


Gambar 4. Perhitungan waktu proses

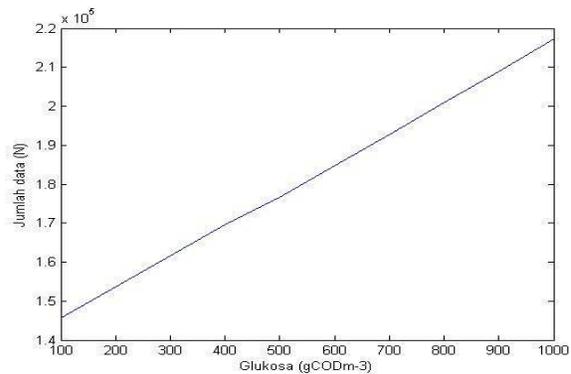
4.5. Pengaruh Konsentrasi Glukosa

Pada gambar 4.4.1 terlihat bahwa semakin banyaknya konsentrasi awal glukosa maka akan meningkatkan hasil konsentrasi metana pada produksi biogas karena semakin banyak glukosa yang merupakan substrat utama produksi biogas digunakan maka hasil metana yang dihasilkan juga tinggi. Pada gambar 4.4.1 konsentrasi glukosa awal dari 100 gCODm<sup>-3</sup> sampai 500 gCODm<sup>-3</sup> menggunakan jumlah data 176.663. Namun ketika konsentrasi glukosa awal 600 gCODm<sup>-3</sup>, jumlah data yang digunakan sebelumnya tidak tepat karena jumlah metana yang dihasilkan melebihi glukosa sehingga pada kondisi konsentrasi awal glukosa 600 gCODm<sup>-3</sup> jumlah data yang digunakan 184.770 data. Pada konsentrasi glukosa awal 700 gCODm<sup>-3</sup> sampai 2.000 gCODm<sup>-3</sup> menggunakan jumlah data yang berbeda sehingga pada gambar 4.4.1 grafik pengaruh konsentrasi glukosa awal terhadap hasil konsentrasi metana membentuk grafik linier.

Tidak hanya dilakukan pembantingan antara nilai awal glukosa terhadap hasil konsentrasi metana namun pengaruh nilai awal glukosa terhadap nilai minimum pembagi interval juga ditinjau. Pada gambar 4.4.2 nilai glukosa yang dilakukan terhadap percobaan dimulai dari 0 gCODm<sup>-3</sup> sampai 1.000 gCODm<sup>-3</sup> dan grafik pengaruh keduanya menghasilkan grafik linier dengan setiap bertambahnya nilai konsentrasi awal glukosa maka bertambahnya nilai minimum pembagi sebanyak 8107. Dari percobaan tersebut dapat membuktikan bahwa nilai konsentrasi awal glukosa berpengaruh terhadap nilai pembagi interval.



Gambar 5. Konsentrasi awal glukosa vs hasil metana

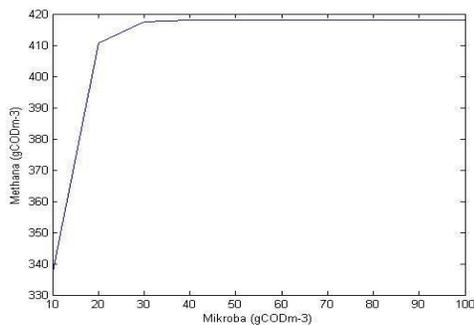


Gambar 6. Konsentrasi awal glukosa vs minimum nilai pembagi interval

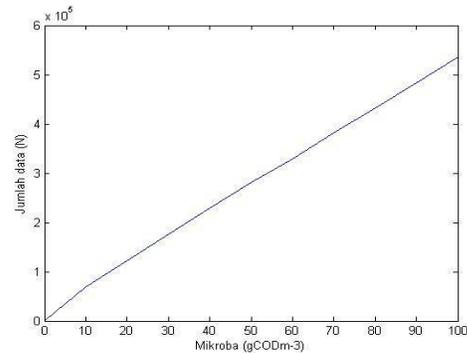
4.6. Pengaruh Konsentrasi Awal Mikroba

Pada gambar 4.5.1 menunjukkan grafik konsentrasi pada produksi biogas yang dipengaruhi dari konsentrasi awal mikroba, terlihat bahwa konsentrasi metana sangat meningkat ketika konsentrasi awal mikroba dari 10 gCODm<sup>-3</sup> sampai 30 gCODm<sup>-3</sup> namun ketika konsentrasi awal mikroba berada pada 40 gCODm<sup>-3</sup> sampai 100 gCODm<sup>-3</sup> konsentrasi metana yang dihasil mengalami grafik yang stabil karena nilai konsentrasi awal mikroba pada saat itu tidak mempengaruhi hasil.

Pada gambar 4.5.2 terlihat bahwa kenaikan pengaruh konsentrasi awal mikroba terhadap jumlah data minimum mengalami kenaikan yang linier karena setiap bertambahnya 10 gCODm<sup>-3</sup> konsentrasi awal mikroba dari konsentrasi awal sebelumnya mengalami kenaikan jumlah data minimum yang stabil dengan rata-rata kenaikan jumlah data 53.000 data.



Gambar 7. Konsentrasi awal mikroba vs hasil metana



Gambar 8. Konsentrasi awal mikroba vs jumlah pembagi interval minimum

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan percobaan simulasi yang dikaji pada bab IV diperoleh kesimpulan bahwa profil kinetika reaksi yang terlibat pada ADM1 antara lain glukosa, butirrat, propionate, aasetat, metana dan hidrogen, konsentrasi awal substrat glukosa sangat mempengaruhi peningkatan dari konsentrasi metana serta pengaruh konsentrasi mikroba pada produksi biogas yang dapat mempercepat terurainya substrat yang berkaitan, semakin simulasi pada produksi biogas mengkaitkan faktor-faktor yang berpengaruh dan pemilihan langkah pada metode numerik yang akurat maka hasil simulasi akan mendekati hasil eksperimen, dan jumlah data pada setiap percobaan sangat mempengaruhi lamanya proses tersebut berjalan, dan setiap konsentrasi awal pada substrat glukosa dan mikroba memiliki jumlah data minimum yang berbeda agar hasil dari konsentrasi metana sebagai substrat yang dikaji semakin akurat.

### 5.2. Saran

Saran yang didapat dari hasil penelitian ini, bahwa optimasi biogas yang telah dilakukan mengalami kekurangan antara lain harus adanya perubahan data minimum terhadap konsentrasi awal glukosa maupun konsentrasi awal mikroba dan harus ditambah faktor-faktor yang mempengaruhi produksi agar hasil simulasi lebih akurat.

### Daftar Pustaka

- [1] Batstone, D J. et al. 2002. *The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1)*. Australia. Advanced Wastewater Management Centre.
- [2] Satpathy, P. et al. 2013. "Application of Anaerobic Digestion Model 1 (ADM1) for Prediction of Biogas Production". *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 4, 86-89.
- [3] Jeong, Hyeong Seok. et al. 2005. "Analysis and application of ADM1 for anaerobic methane production". *Bioprocess Biosyst Eng*. 27, 81-89
- [4] Burden, Richard L dan J Douglas Faires. 2010. *Numerical Analysis 9<sup>th</sup>*. USA. Brooks/Cole, Cengage Learning.
- [5] Jorgensen Peter Jacob. 2009. *Biogas Green Energy*. Denmark. Digisource Danmark A/S.
- [6] Putro Sartono. 2007. "Penerapan Instalasi Sederhana Pengolahan Kotoran Sapi Menjadi Biogas Di Desa Sugihan Kecamatan Bendosari Kabupaten Sukuharjo". *WARTA*. 10 (2), 178 - 188.
- [7] Donati, Gianni. et al. 1999. "Batch and Semibatch Catalytic Reactor (From Theory to Practice)". *Catalysis Today*. 52, 183-195.
- [8] Haryati, Tuti. 2006. "Biogas : Limbah Peternakan Yang Menjadi Sumber Energi Alternatif". *WARTAZOA*. 16 (3), 160-169.
- [9] John H. Mathews dan Kurtis D. Fink. 1999. *Numerical Method Using MATLAB Trird Edition*. California. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458.

Lampiran

Tabel1. Matriks stokiometri ADM1

Komponen Proses	$\text{NH}_4$	$\text{NH}_3$	$\text{NH}_4\text{OH}$	$\text{NH}_2$	$\text{NH}_2$	$\text{NH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$	Laju
Penyerapan dari Glukosa	-1	$(1 - \text{CO}_2)$	$(1 - \text{CO}_2)$	$(1 - \text{CO}_2)$	$(1 - \text{CO}_2)$		$\text{CO}_2$					Laju 5
Penyerapan dari Butirat		-1		$(1 - \text{CO}_2) 0.8$	$(1 - \text{CO}_2) 0.2$		$\text{CO}_2$					Laju 9
Penyerapan dari Propionat			-1	$(1 - \text{CO}_2) 0.57$	$(1 - \text{CO}_2) 0.43$			$\text{CO}_2$				Laju 10
Penyerapan dari Asetat				-1		$(1 - \text{CO}_2)$				$\text{CO}_2$		Laju 11
Penyerapan dari Hidrogen					-1	$(1 - \text{CO}_2)$					$\text{CO}_2$	Laju 12
Pembusukan dari $\text{CO}_2$							-1					Laju 13
Pembusukan dari $\text{CO}_2$								-1				Laju 16
Pembusukan dari $\text{CO}_2$									-1			Laju 17
Pembusukan dari $\text{CO}_2$										-1		Laju 18
Pembusukan dari $\text{CO}_2$											-1	Laju 19