

PEMODELAN PRODUKSI BIOGAS PADA REAKTOR BATCH MENGGUNAKAN METODE RUNGE KUTTA GILL

MODELING OF BIOGAS PRODUCTION IN BATCH REACTOR USING RUNGE KUTTA GILL METHOD

Ardhyka Dewantara¹, Rian Febrian Umbara², Isman Kurniawan³

Ilmu Komputasi Fakultas Informatika Universitas Telkom, Bandung

¹ardhyka@bclaboratory.com, ²rianum123@gmail.com ³ismankrn@telkomuniversity.ac.id,

Abstrak: Penelitian ini dilakukan untuk membuat model prediksi terhadap hasil biogas yang didapatkan dengan menggunakan reaktor tipe batch. Proses simulasi tersebut dapat menggunakan Anaerobic Digestion Model (ADM1) dengan menggunakan konsentrasi awal glukosa sebesar 500 mgCOD/l dan konsentrasi awal mikroba sebesar 30 mgCOD/l selama 106 jam. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui profil kinetika reaksi yang terlibat, penentuan akurasi perhitungan, pengaruh nilai pembagi interval terhadap waktu perhitungan, dan pengaruh konsentrasi awal pada substrat glukosa dan mikroba. Metode yang digunakan untuk memodelkan produksi biogas adalah Runge Kutta Gill. Hasil simulasi menunjukkan bahwa metana yang dihasilkan dari proses tersebut sebesar 417,49250 mgCOD/l dengan jumlah pembagi interval sebanyak 197.003. Selain itu, jumlah konsentrasi mikroba glukosa merupakan yang terbesar dibanding mikroba lainnya, sebesar 77,66615 mgCOD/l. Nilai parameter yang disarankan pada ADM1 hanya cocok untuk lama produksi kurang dari 29 jam. Konsentrasi awal substrat glukosa dan mikroba berpengaruh terhadap jumlah metana yang dihasilkan. Namun pada konsentrasi awal mikroba yang lebih dari 30 mgCOD/l maka akan menghasilkan jumlah metana yang cenderung konstan.

kata kunci : biogas, ADM1, metode runge kutta gill

1. Pendahuluan

Krisis energi merupakan permasalahan yang sedang dihadapi oleh berbagai negara di dunia, termasuk Indonesia. Sehingga untuk mengatasi permasalahan tersebut diperlukan sumber daya energi alternatif yang dapat diperbaharui, yaitu biogas. Penggunaan biogas dapat menekan emisi gas rumah kaca yang dapat menyebabkan perubahan iklim [1]. Bahan utama yang digunakan pada penelitian simulasi produksi biogas ini adalah glukosa. Diperlukan sebuah pemodelan yang dapat digunakan untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1) digunakan dalam pemodelan tersebut karena dapat memberikan pengetahuan mengenai proses dan dampak perubahan parameter, seperti konsentrasi, temperatur, pergerakan substrat, pH dan sebagainya [2]. Kelebihan ADM1 salah satunya adalah dapat meningkatkan penerapan model untuk perencanaan desain skala yang luas pada operasi dan optimasi.

Pada penelitian sebelumnya [3], digunakan untuk membandingkan hasil metana yang didapatkan. Perbedaannya terletak pada metode yang digunakan untuk menyelesaikan model ADM1. Jika pada referensi menggunakan sensitifitas analisis pada uji botol serum ADM1 untuk mengetahui pengaruh parameter masukannya terhadap metana yang didapatkan, maka pada penelitian ini, metode numerik yang digunakan adalah Runge Kutta Gill, yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial pada model kinetika reaksi ADM1. Metode Runge Kutta Gill mempunyai kelebihan mendapatkan hasil yang lebih akurat dan mampu untuk mengevaluasi efektifitas faktor dari enzim amobil [4][5].

Pada penelitian ini dikaji mengenai profil kinetika spesi yang terlihat pada ADM1, akurasi metode Runge Kutta Gill yang digunakan untuk menyelesaikan ADM1 dan profil aspek komputasi dari hasil simulasi produksi biogas.

2. Landasan Teori

2.1 Biogas

Biogas merupakan energi alternatif yang dapat diperbaharui. Biogas tercipta akibat terbentuknya senyawa metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) yang telah didekomposisi oleh senyawa organik secara anaerob. Pada saat memproduksi biogas terdapat parameter yang harus diperhatikan, seperti reaktor biogas yang kedap terhadap udara (anaerob), suhu, pH, substrat, kandungan bahan kering, dan rasio karbon/nitrogen. Proses produksi biogas dapat menggunakan secara batch reaktif atau continuous. Namun pada penelitian ini, jenis reaktor yang digunakan adalah reaktor batch. Reaktor Batch merupakan wadah yang digunakan untuk mengubah reaktan menjadi suatu produk selama periode siklus batch. Proses tersebut mengakibatkan perubahan variabel secara dinamis terhadap

waktu. Kelebihan reaktor ini adalah rendahnya biaya tetap jika memproduksi dalam skala kecil dan lebih fleksibel dibanding dengan jenis reaktan lain [7].

2.2 Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1)

Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1) berfungsi untuk memodelkan perubahan bahan organik (glukosa) menjadi biogas. Pada ADM1 terdapat dua proses, yaitu :

a. Proses Biokimia

Proses biokimia terdapat 4 tahapan agar bahan organik dapat menjadi biogas. Tahapan tersebut antara lain:

1. Hidrolisis

Tahapan ini merupakan proses ekstraseluler yang menengahi pemecahan dan kelarutan dari kompleksitas bahan organik menjadi substrat terlarut. Proses ini mengubah karbohidrat, lemak, asam nukleat dan protein menjadi glukosa, gliserol, purin dan pyridines. Namun dalam simulasi produksi biogas, tahap ini tidak digunakan karena untuk mengurangi tingkat kompleksitas. . Sehingga substrat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah glukosa.

2. Asidogenesis

Tahap asidogenesis digunakan untuk memecah glukosa menjadi bentuk yang lebih sederhana agar dapat diuraikan oleh mikroba.

3. Asetogenesis

Tahap asetogenesis digunakan untuk mengubah asam organik menjadi asam asetat.

4. Metanogen

Tahap metanogenesis digunakan untuk membentuk substrat metana.

b. Proses Fisikokimia

Proses fisikokimia penting dilakukan pada saat memodelkan sistem anaerobik. Hal itu dikarenakan pada proses fisikokimia dapat menyatakan sejumlah faktor inhibisi biologis, seperti pH. Pada proses fisikokimia terdapat jenis umum yang sesuai dengan relatifitas laju reaksi, yaitu [8] :

1. Proses cair-cair

Pada proses ini contohnya adalah asosiasi atau disosiasi ion.

2. Proses cair-gas

Pada proses ini contohnya adalah perubahan dari air ke gas

3. Proses cair-padat

Pada proses ini contohnya adalah pengendapan dan pelarutan

2.3 Metode Runge Kutta Gill

Metode Runge Kutta Gill termasuk golongan integrasi numerik pada persamaan diferensial biasa. Kelebihan metode ini mampu mendapatkan hasil yang lebih akurat dengan langkah waktu yang relatif kecil [4][5]. Pada persamaan metode Runge Kutta Gill digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial yang terdapat pada model stoikiometri yang terdapat pada ADM1.

3. Gambaran Sistem

3.1 Alur Penelitian

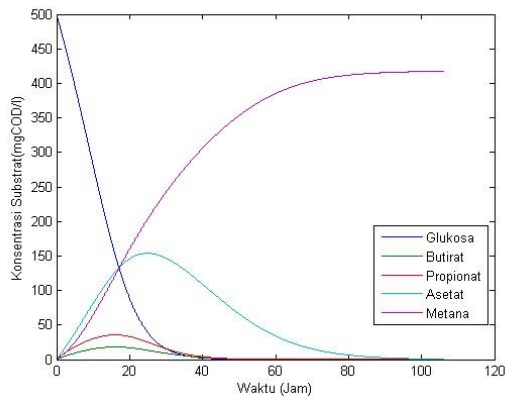
Pada penelitian ini, diperlukan berbagai tahapan yang harus diselesaikan untuk penyelesaian penelitian tersebut. Tahapan alur penelitian tersebut bersifat *sequential* atau berurutan. Tahap pertama adalah menentukan model kinetika reaksi yang digunakan agar tidak terlalu kompleks. Tahap selanjutnya adalah menentukan turunan model matematika yang digunakan pada model kinetika reaksi. Tahapan selanjutnya adalah menyelesaikan metode numerik. Tahap ini digunakan untuk memilih metode yang dianggap cocok dan diaplikasikan pada penyelesaian penelitian. Tahap selanjutnya adalah interpretasi perhitungan.

4. Pembahasan

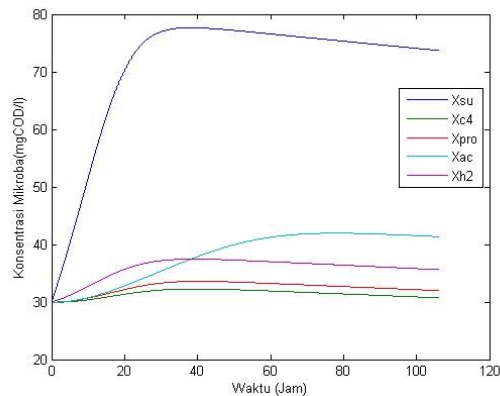
4.1 Profil Kinetika

Gambar 1 menunjukkan mengenai profil kinetika reaksi pada substrat yang terdapat pada ADM1. Simulasi produksi biogas tersebut dipengaruhi oleh 5 substrat, yaitu glukosa, butirat, propionat, asetat, dan metana. Proses tersebut menggunakan nilai pembagi interval minimum yang sesuai dengan kecenderungan dinamika konsentrasi substrat pada paper rujukan, yaitu sebesar 197.003. Konsentrasi glukosa mengalami penurunan secara signifikan karena adanya proses asidogenesis. Penurunan secara signifikan tersebut dipengaruhi oleh besarnya nilai parameter biokimia pada glukosa yang terbesar dibanding dengan substrat lainnya, yaitu sebesar 1,25/jam. Penguraian glukosa tersebut akan membentuk propionat, butirat dan asam asetat. Kenaikan tertinggi ketiga substrat tersebut secara berurutan adalah 18,22305 mgCOD/l, 35,77407 mgCOD/l, dan 153,91747 mgCOD/l. Perbedaan kenaikan jumlah konsentrasi diakibatkan oleh perbedaan jumlah substrat dan konsentrasi yang membentuk substrat

baru seperti terlihat pada gambar 3.2. Sehingga kenaikan konsentrasi substrat asam butirat hanya dipengaruhi oleh penguraian konsentrasi glukosa, sedangkan kenaikan konsentrasi substrat asam propionat dipengaruhi substrat glukosa dan asam butirat, dan kenaikan konsentrasi asam asetat dipengaruhi glukosa, hidrogen, asam butirat dan sedikit dipengaruhi oleh asam propionat. Dari proses simulasi produksi biogas tersebut, maka didapatkan kenaikan konsentrasi metana secara signifikan sebanyak 403,10340 mgCOD/l pada saat lama produksi mencapai 70 jam pertama.



Gambar 1 Profil Kinetika Substrat



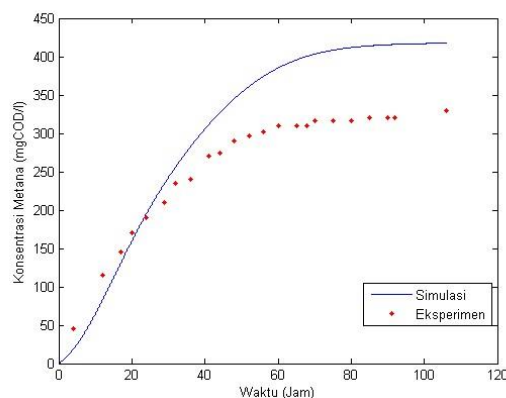
Gambar 2 Profil Kinetika Mikroba

Gambar 2 menunjukkan mengenai profil kinetika reaksi pada mikroba yang terlibat pada proses simulasi produksi biogas, seperti *Acetivibrio*, *Butyrivibrio*, *Propionibacterium*, dan *Methanobacterium*. Mikroba *Acetivibrio* digunakan untuk menguraikan glukosa pada tahap asidogenesis. Kenaikan jumlah konsentrasi mikroba *Acetivibrio* secara signifikan diakibatkan adanya proses penguraian glukosa selama 30 jam pertama yang dapat dilihat pada gambar 1. Pertumbuhan glukosa akan melambat setelah memasuki waktu 38,2068 jam karena jumlah mikroba yang terbentuk lebih sedikit daripada mikroba yang mati dan mengakibatkan mortalitas lebih besar daripada natalitas.

Selanjutnya pada tahap asetogenesis, mikroba *Propionibacterium* mengalami kenaikan konsentrasi tertinggi sebesar 32,26102 mgCOD/l pada waktu simulasi mencapai 39,5459 jam. Sedangkan mikroba pengurai substrat asam propionat (*Butyrivibrio*) mengalami kenaikan tertinggi sebesar 33,60318 mgCOD/l pada lama produksi memasuki 40,3746 jam. Pada gambar 1 juga menunjukkan bahwa substrat asam butirat dan asam propionat mengalami perlambatan penguraian konsentrasi dan cenderung habis setelah lama produksi mencapai 39 jam. Sehingga menyebabkan jumlah mikroba yang terbentuk lebih sedikit daripada mikroba yang mati.

Pada saat proses biokimia memasuki tahap metanogenesis, mikroba *Methanobacterium* bertugas menguraikan substrat asetat dan mikroba *Methanococcus* bertugas menguraikan hidrogen. Mikroba *Methanobacterium* mengalami kenaikan tertinggi sebesar 41,96097 mgCOD/l saat simulasi memasuki 78,0358 jam dan mikroba *Methanococcus* mengalami kenaikan konsentrasi tertinggi setelah memasuki proses simulasi produksi 23 jam sebesar 36,30113 mgCOD/l. Setelah memasuki titik konsentrasi tertinggi, maka jumlah konsentrasi mikroba tersebut akan menurun dikarenakan sedikitnya pertumbuhan mikroba yang tidak sebanding dengan banyaknya mikroba yang mati.

4.2 Penentuan Akurasi Perhitungan



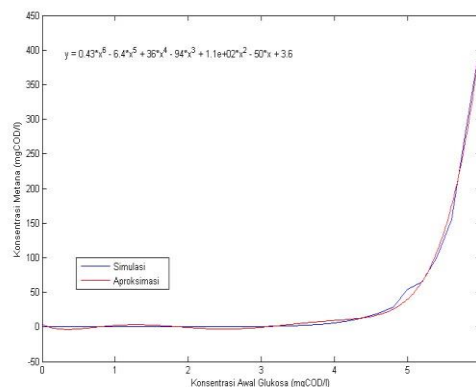
Gambar 3 Perbedaan hasil eksperimen dan Pemodelan

Pada gambar 3, menunjukkan bahwa tingkat akurasi hasil metana yang didapatkan mulai menjauh setelah lama simulasi produksi biogas mencapai 29 jam. Hal itu terjadi karena nilai parameter yang disarankan pada model

ADM1 tidak cocok untuk keseluruhan proses simulasi produksi biogas. Selain itu, perbedaan konsentrasi metana yang didapatkan saat melakukan proses simulasi diakibatkan terlalu banyak faktor yang diabaikan, seperti inhibisi pH, dan beberapa proses fisikokimia yang diabaikan seperti perpindahan dari cair ke cair dan cair ke gas. Namun pada penelitian rujukan [3], menyebutkan bahwa untuk menambah tingkat akurasi tersebut dapat menggunakan algoritma genetika untuk mengoptimasi nilai parameter. Selanjutnya, untuk mengetahui akurasi hasil perhitungan dapat dilakukan dengan menggunakan cara Uji T atau *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Pada proses perhitungan Uji T menunjukkan bahwa dengan tingkat kepercayaan sebesar 95%, maka mendapatkan *p value* sebesar 0.40. Dari Hasil tersebut diasumsikan bahwa variansi data metana yang didapatkan dari simulasi dan eksperimen tidak sama. Dari hasil tersebut juga didapatkan nilai signifikansi > 0.05 sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata metana yang dihasilkan pada proses simulasi sesuai dengan rata-rata metana yang dihasilkan pada proses eksperimen rujukan. Selain itu, pada proses perhitungan MAPE dihasilkan bahwa metode Runge Kutta Gill mempunyai tingkat eror sebesar 22.949%. Hal ini menunjukkan bahwa metode Runge Kutta Gill dikatakan baik jika dibandingkan dengan Metode Runge Kutta Orde 4 yang mempunyai tingkat eror sebesar 22.951%.

4.3 Pengaruh Nilai Pembagi Interval terhadap waktu Perhitungan

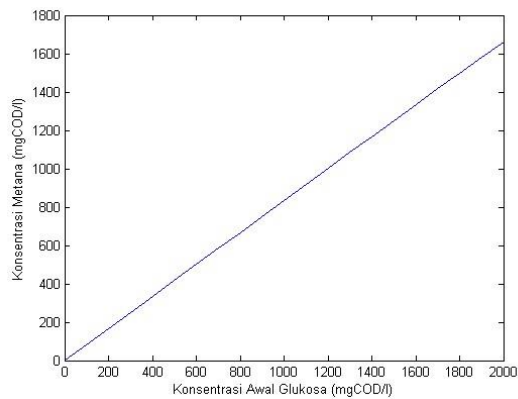
Gambar 4 merupakan formula yang digunakan dalam memprediksi lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan sebuah model pada saat nilai pembagi interval tertentu. Diperlukan 30 kali percobaan, dimana data sampel adalah antilog dari kelipatan 0,2 yang dimulai dari 0 hingga 6. Sehingga dapat diketahui bahwa semakin besar nilai pembagi interval yang digunakan maka semakin banyak waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proses simulasi. Hal itu dikarenakan semakin banyak jumlah pembagi interval yang digunakan maka jumlah langkah akan semakin kecil. Selanjutnya perhitungan nilai koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengetahui variasi informasi pada data yang dapat dijelaskan melalui persamaan polinomial pada formula yang telah didapatkan. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 99.45% yang menunjukkan bahwa model tersebut cukup baik untuk menggambarkan variasi informasi pada perilaku obyek secara nyata.



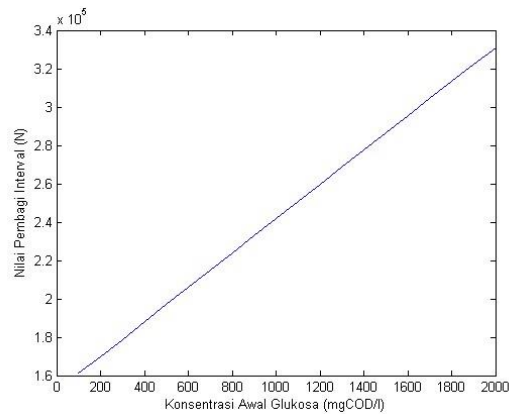
Gambar 4 Nilai Pembagi Interval terhadap waktu

4.4 Pengaruh Konsentrasi Awal Glukosa

Diperlukan beberapa percobaan untuk mengetahui pengaruh dari konsentrasi awal glukosa terhadap konsentrasi metana yang dihasilkan. Percobaan nilai awal konsentrasi glukosa dimulai dari 100-2000 mgCOD/l dengan nilai awal mikroba pengurai masing-masing substrat 30 mgCOD/l. Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin banyak nilai konsentrasi awal glukosa maka semakin banyak pula hasil metana yang didapatkan. Kenaikan jumlah konsentrasi metana yang didapatkan cenderung konstan sekitar 83 mgCOD/l pada setiap percobaan yang dilakukan.



Gambar 5 Pengaruh jumlah glukosa vs metana

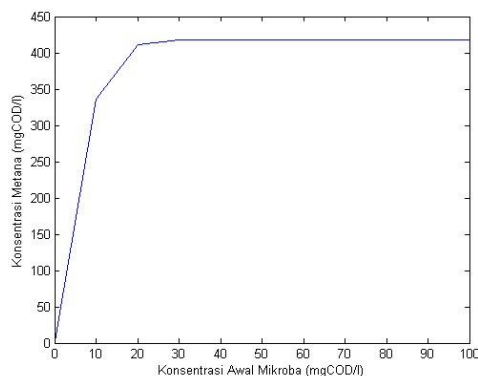


Gambar 6 Pengaruh jumlah glukosa vs iterasi minimum

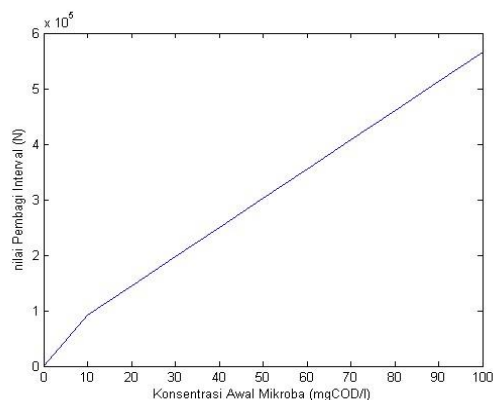
Dalam melakukan beberapa percobaan konsentrasi awal glukosa, akan digunakan nilai pembagian interval (N) minimum yang berbeda-beda dan disesuaikan dengan kecenderungan pada penelitian rujukan. Gambar 6 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi awal glukosa berpengaruh terhadap N minimum yang digunakan agar sesuai dengan kecenderungan tren Sehingga dari gambar 6 dapat diketahui bahwa semakin besar konsentrasi awal glukosa, maka nilai pembagi interval juga semakin besar.

4.5 Pengaruh Konsentrasi Awal Mikroba

Diperlukan beberapa percobaan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal mikroba terhadap konsentrasi metana yang dihasilkan. Percobaan nilai awal substrat glukosa sebesar 500 mgCOD/l dan mengubah nilai konsentrasi awal mikroba dari 10 mgCOD/l hingga 100 mgCOD/l. Gambar 7 menunjukkan bahwa penggunaan konsentrasi mikroba hanya sedikit berpengaruh terhadap metana yang dihasilkan. Dengan menggunakan konsentrasi awal mikroba lebih dari 30 mgCOD/l, maka menghasilkan jumlah metana yang cenderung konstan. Hal tersebut membuktikan bahwa penambahan jumlah mikroba tidak berpengaruh besar terhadap jumlah metana yang dihasilkan.



Gambar 7 Pengaruh jumlah mikroba vs metana



Gambar 8 Pengaruh jumlah mikroba vs iterasi minimum

Dalam melakukan beberapa percobaan konsentrasi awal glukosa, akan digunakan nilai pembagi interval (N) minimum yang berbeda-beda dan disesuaikan dengan penggunaan konsentrasi awal mikroba. Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai awal konsentrasi mikroba berbanding lurus dengan nilai pembagi interval (N) minimum. Sehingga semakin besar konsentrasi awal mikroba yang digunakan maka nilai N yang digunakan semakin besar.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa profil kinetika reaksi yang terlibat pada ADM1 adalah glukosa, propionat, butirat, asetat dan metana. Terurainya substrat glukosa menjadi propionat dan butirat terjadi pada proses asidogenesis. Selanjutnya, substrat propionat dan butirat tersebut akan diuraikan menjadi asetat pada saat proses asetogenesis. Pada proses terakhir dilakukan dengan menguraikan asam asetat menjadi metana. Selain itu pada proses pemodelan produksi biogas dengan menggunakan ADM1 hanya cocok digunakan pada saat lama produksi kurang dari 29 jam. Keseluruhan proses tersebut telah sesuai dengan kecenderungan tren yang dapat dilihat pada referensi rujukan [3] Namun diperlukan metode yang digunakan untuk mengetahui akurasi dari hasil perhitungan, yaitu Uji T dan MAPE. Hasil Uji T menunjukkan bahwa rata-rata

metana yang dihasilkan pada proses simulasi sesuai dengan rata-rata metana yang dihasilkan pada proses eksperimen rujukan. Selanjutnya pada perhitungan MAPE menunjukkan bahwa metode Runge Kutta Gill mempunyai hasil yang lebih akurat jika dibandingkan dengan Runge Kutta Orde 4. Selain itu, aspek komputasi yang digunakan adalah jika nilai pembagi interval yang digunakan semakin besar, maka simulasi produksi biogas akan semakin lama.

5.2 Saran

Saran dari penelitian tugas akhir ini adalah perlunya penggunaan algoritma genetika yang dapat mengoptimasi nilai parameter untuk mendapatkan akurasi yang lebih baik. Selain itu diperlukan data sampel untuk memprediksi nilai minimum pembagi interval (N) agar proses simulasi produksi biogas berjalan lebih cepat.

Daftar Pustaka

- [1] Umberto Desideri, Giampaolo Manfrida dan Enrico Scuibba (ed.). 2012. *Biogas From Mechanical Pulp Industry: Potential Improvement For Increased Biomass Vehicle Fuels*. Perugia: Firenze University Press.
- [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 (12), 86-89.
- [3] Jeong Hyeong-Seok., et al., 2005. "Analysis and Application of ADM1 for Anaerobic Methane Production". *Bioprocess Biosyst.* 27 (2), 81-89.
- [4] Oliveira, S.C., "Evaluation of effectiveness factor of immobilized enzymes using Runge-Kutta-Gill method: How to solve mathematical undetermination at particle center point?". *Bioprocess Engineering*. 20 (2), 185-187.
- [5] Clement, A (dkk.). 2008. *Comparing Numerical Integration Methods*. Team 82 NM Supercomputing Challenge.
- [6] Bothi Lynn Kimberly. 2007. Characterization of Biogas From Anaerobically Digested Dairy Waste for Energy Use. Thesis pada Sains Cornell University; diterbitkan.
- [7] Donati Gianni, et al. 1999. "Batch and semibatch catalytic reactors (from theory to practice)". *Catalysis Today*. 52 (2-3), 183-195.
- [8] Batstone, D.J (dkk.). 2002. *Anaerobic Digestion Model No 1*. United Kingdom: TJ International (Ltd)

Tabel Model Kinetika Reaksi

Component Process	X	S	P_1	P_2	H_2	CH_4	X	X	P_1	P_2	H_2	Rate
Uptake of Sugars	-1	$(1 - \frac{X}{K_1})$	$(1 - \frac{P_1}{K_2})$	$(1 - \frac{P_2}{K_3})$	$(1 - \frac{H_2}{K_4})$							$K_1 \frac{X}{K_1 + X} \frac{K_2}{K_2 + P_1} \frac{K_3}{K_3 + P_2}$
Uptake of Butyrate		-1		$(1 - \frac{P_2}{K_3})$	$(1 - \frac{H_2}{K_4})$							$K_1 \frac{X}{K_1 + X} \frac{K_2}{K_2 + P_1} \frac{K_3}{K_3 + P_2}$
Uptake of Propionate			-1	$(1 - \frac{P_2}{K_3})$	$(1 - \frac{H_2}{K_4})$							$K_1 \frac{X}{K_1 + X} \frac{K_2}{K_2 + P_1} \frac{K_3}{K_3 + P_2}$
Uptake of Acetate				-1		$(1 - \frac{H_2}{K_4})$						$K_1 \frac{X}{K_1 + X} \frac{K_2}{K_2 + P_1} \frac{K_3}{K_3 + P_2}$
Uptake of Hydrogen					-1	$(1 - \frac{H_2}{K_4})$						$K_1 \frac{X}{K_1 + X} \frac{K_2}{K_2 + P_1} \frac{K_3}{K_3 + P_2}$
Decay of X							-1					$K_4 X$
Decay of X								-1				$K_4 X$
Decay of P_1									-1			$K_4 X$
Decay of P_2										-1		$K_4 X$
Decay of H_2											-1	$K_4 X$