

**PEMODELAN PRODUKSI BIOGAS PADA REAKTOR TIPE BATCH  
MENGUNAKAN METODE ADAMS BASHFORTH MOULTON PREDIKTOR  
KOREKTOR  
MODELING OF BIOGAS PRODUCTION IN BATCH REACTOR USING ADAMS  
BASHFORTH MOULTON PREDICTOR CORRECTOR METHOD**

Furqon Hidayat<sup>1</sup>Pembimbing 1: Dr. Denis Saepudin<sup>2</sup>Pembimbing 2: Isman Kurniawan<sup>3</sup>, S.Pd, M.Si, M.Sc  
<sup>1</sup>Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom <sup>2</sup>Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas  
Informatika, Universitas Telkom <sup>3</sup>Prodi S1 Ilmu Komputasi, Fakultas Informatika, Universitas Telkom  
<sup>1</sup>furqon2194@gmail.com <sup>2</sup>denis7579@gmail.com <sup>3</sup>isman.krn@gmail.com

**Abstrak**

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan simulasi mengenai pemodelan produksi biogas pada reaktor batch dengan menggunakan metode Adams-Bashforth-Moulton Prediktor Korektor. Penelitian ini dilakukan karena untuk mengetahui pengaruh *Anaerobic Digestion Model 1 (ADM 1)* terhadap perubahan mikroorganisme yang memecahkan komponen-komponen biodegradable dalam proses produksi biogas tersebut. Proses penelitian ini dilakukan dengan berbagai tahap yaitu melakukan penentuan model kinetika reaksi lalu selanjutnya melakukan penurunan model matematika dan selanjutnya menyelesaikan model matematika dengan numerik dengan metode Adams-BashforthMoulton Prediktor Korektor dan terakhir melakukan interpretasi hasil perhitungan. Dalam penelitian ini hasil analisis simulasi di antara semua parameter kinetik dan stoikiometri, produk, substrat (hasil produk pada substrat) nilai menunjukkan sensitivitas yang tinggi pada hampir semua komponen. Konsentrasi metana adalah yang paling sensitif di antara limakomponen. Dan sementara asetat dan glukosa memiliki sensitivitas yang tinggi, propionat dan butirat menunjukkan sensitivitas yang relatif rendah. Ditemukan bahwa kepekaan komponen paling tergantung pada jumlah proses yang terkait dengan mereka. Sebagai contoh, glukosa adalah substrat utama dan konsentrasinya dikendalikan oleh penyerapan proses gula saja. Dari hasil perhitungan mempunyai waktu yang berbeda. Semakin banyak N (pembagi interval) dari semua komponen yang digunakan maka waktu perhitungannya juga semakin lama.

**Kata Kunci:** *Biogas, Anaerobic Digestion Model 1 (ADM 1), Metode Adams Bashforth Moulton Prediktor Korrektor*

**Abstract**

*At this final project research about the simulation modeling of biogas production in batch reactors using Adams-Moulton-Bashforth predictor corrector. This research was conducted as to determine the influence of Anaerobic Digestion Model 1 (ADM 1) to changes in the microorganisms to the break the biodegradable components in the biogas production process. The research process was conducted with the various stages that determined the reaction kinetics model and then do drop in a mathematical model and then complete the matematika models with numerical methods Adams-Moulton- Bashforth predictor corrector and finally to interpreted the results of the calculations. In this research the results of the simulation analysis of all the kinetic and stoichiometric parameters, product, substrate (the product of the substrate) values show a high sensitivity to virtually all the components. The concentration of methane is the most sensitive among five components. And while acetate and glucose has high sensitivity, propionate and butyrate showed relatively low sensitivity. It was found that the sensitivity of the components most dependent on the number of processes associated with them. For example, glucose is the main substrate and the absorption process is controlled by the concentration of sugar only. From the calculation results have a different time. The more N (divisor interval) of all the components used, the calculation time is also longer.*

**Keyword:** *Biogas, Anaerobic Digestion Model 1 (ADM 1), Adams Bashforth Moulton Prediktor Korrektor Method*

**1. PENDAHULUAN**

Biogas merupakan salah satu energi alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar minyak. Biogas itu sendiri adalah salah satu gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerob (tanpa udara) atau fermentasi dari bahan organik. [1]. Salah satu model yang dapat digunakan dalam pembentukan biogas adalah *Anaerobic Digestion Model 1 (ADM 1)* yang menjelaskan kumpulan proses mikroorganisme yang memecahkan komponen-komponen *biodegradable* dalam ketiadaan oksigen. [2]. Rujukan penelitian ini adalah berdasarkan referensi dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya yang digunakan sebagai data pembandingan [2]. Pada penelitian ini akan dikaji dari keakurasian implementasi metode Adams-Bashforth-Moulton Prediktor Korektor untuk menyelesaikan ADM1 (*Anaerobic Digestion Model 1*), lalu akan mengkaji hasil profil kinetika spesi yang terlibat pada ADM1 (*Anaerobic Digestion Model 1*), dan juga mengkaji hasil profil aspek komputasi dari simulasi yang dihasilkan. Adapun tujuan dari penulisan ini adalah untuk menentukan Akurasi metode numerik untuk menyelesaikan ADM1 (*Anaerobic Digestion Model 1*), menentukan profil kinetika spesi yang terlibat ada ADM1 (*Anaerobic Digestion Model 1*), dan untuk menentukan profil aspek komputasi dari simulasi. Tahap awal pada penelitian ini adalah mengumpulkan data melalui studi literatur dari buku-buku referensi dan jurnal yang terkait. Kemudian menentukan model kinetika reaksi dari proses produksi biogas. Selanjutnya, melakukan penurunan rumus model matematika yang ada. Kemudian tahap keempat itu adalah melakukan

penyelesaian model matematika dengan numerik. Dan selanjutnya tahap kelima adalah melakukan interpretasi hasil perhitungan. Dan tahap terakhir dari metodologi penelitian ini adalah melakukan optimasi parameter.

**2. DASAR TEORI**

**2.1 Biogas**

Biogas merupakan gas yang dihasilkan oleh aktivitas anaerobik atau fermentasi dari bahan-bahan organik termasuk diantaranya kotoran manusia dan hewan, limbah domestik (rumah tangga), sampah *biodegradable* atau setiap limbah organik yang *biodegradable* dalam kondisi anaerobik. Kandungan utama dalam biogas adalah metana dan karbon dioksida. Biogas dapat digunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun untuk menghasilkan listrik [3].

**2.2 Anaerobic Digestion Model No.1**

*Anaerobic Digestion* adalah salah satu teknologi tertua dalam proses biologis yang dimanfaatkan oleh umat manusia pada awalnya terutama untuk produksi makanan dan minuman. Model ini telah diterapkan dan dikembangkan selama berabad-abad, meskipun kemajuan yang paling dramatis telah dicapai dalam beberapa dekade terakhir dengan pengenalan berbagai bentuk proses pengolahan tingkat tinggi, terutama untuk air limbah industri [4].

**2.3 Metode Adams-Bashforth-Moulton Prediktor Korektor**

Metode Adams-Bashforth-Moulton prediktor korektor merupakan metode multistep yang terdiri dari metode Adams-Bashfort sebagai prediktor dan metode Adams Moulton sebagai korektor. Dengan menggunakan pengendalian ukuran langkah diperoleh kestabilan metode Adams-Bashforth-Moulton prediktor korektor yang ditunjukkan melalui penerapan pada permasalahan nilai awal yang menghasilkan harga pendekatan yang kesalahan pemotongannya sangat kecil. Penggunaan metode multistep Adams-Bashforth-Moulton predictor korektor pada penyelesaian persamaan diferensial biasa orde pertama secara numerik memberikan hasil yang lebih stabil.

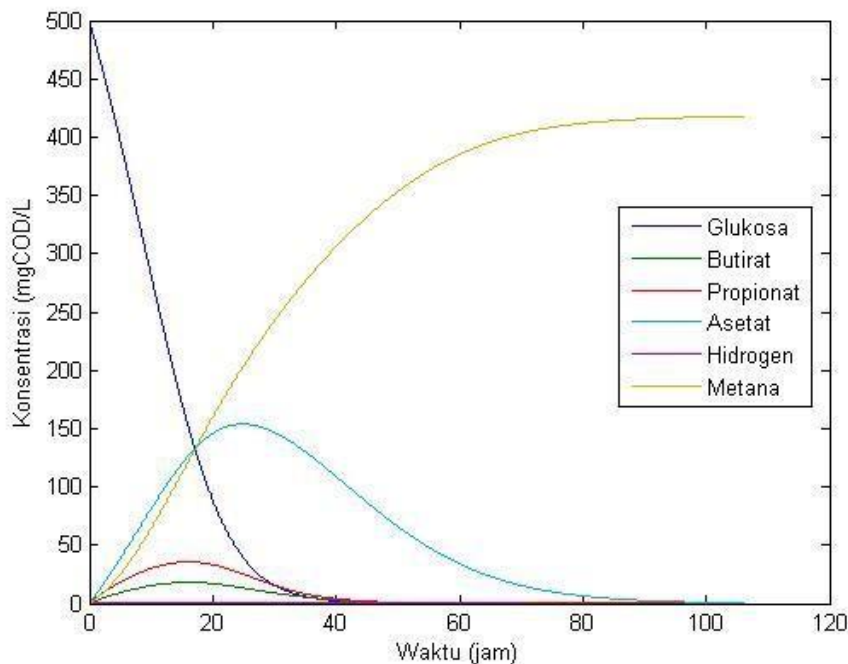
**3. Metode**

Pada tahapan pertama yang harus dilakukan adalah menentukan model kinetika reaksi. Pada tahap ini, penulis membuat tampilan diagram matriks stoikiometri yang sudah disederhanakan dari tabel Anaerobic Digestion Model No.1 (ADM 1). Selanjutnya pada tahapan kedua melakukan penurunan model matematika yang telah ditentukan pada model kinetika reaksi. Kemudian tahap ketiga model matematika yang telah dihasilkan, dilakukan penyelesaian model matematika dengan metode numerik yaitu dengan metode Adams-Bashforth-Moulton Prediktor Korektor. Selanjutnya tahap keempat yaitu melakukan interpretasi hasil perhitungan yang dihasilkan dari penyelesaian model matematika dengan metode Adams-Bashforth-Moulton Prediktor Korektor. Dan tahapan terakhir adalah melakukan optimasi parameter yang mendukung yang nantinya berguna untuk hasil pemodelan produksi biogas.

**4. Pembahasan**

**4.1 Profil Kinetika Reaksi**

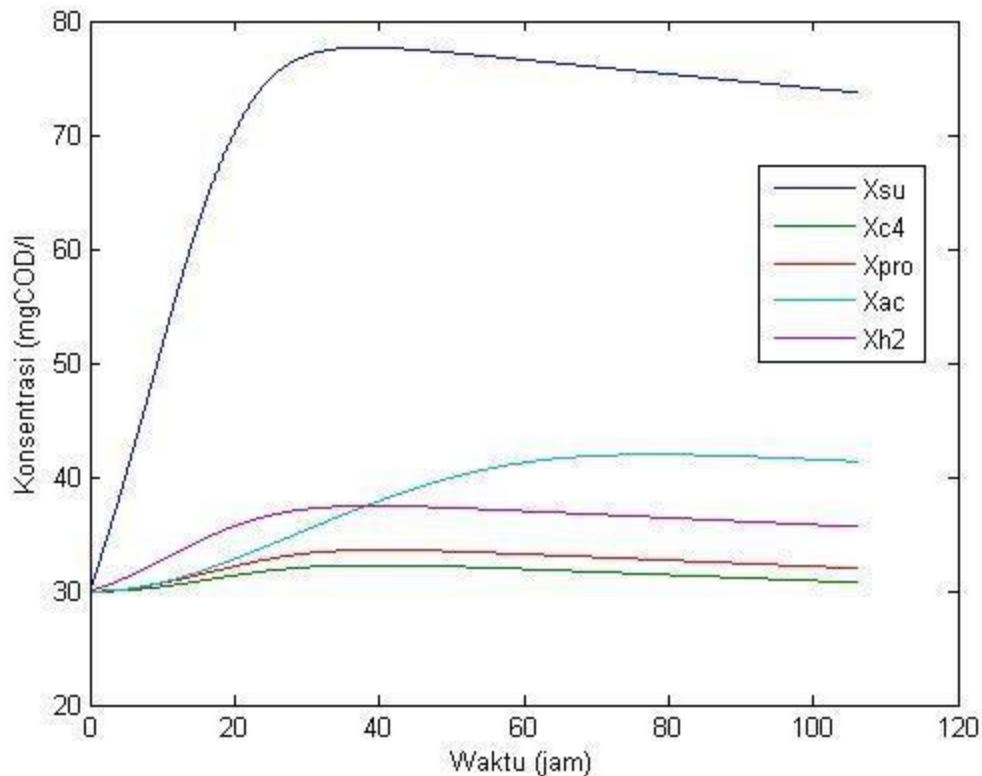
**1. Konsentrasi Glukosa**



Gambar 4-1-1: Hasil simulasi substrat glukosa sesuai dengan kecenderungan

Pada grafik diatas diketahui bahwa glukosa dengan konsentrasi awal sebesar 500 mgCOD/L. Sehingga dari proses tersebut, didapatkan hasil pemodelan yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi substrat glukosa akan mengalami penurunan konsentrasi yang sangat drastis dari 500 mgCOD/L turun menjadi 140 mgCOD/L hanya dalam waktu 19 jam pertama. Bahkan setelah itu terus mengalami penurunan waktu selanjutnya yaitu ketika diwaktu kurang lebih 30 jam, konsentrasi substrat glukosa terus berkurang menjadi 20 mgCOD/L dan menjadi 0 mgCOD/L di waktu 40 jam. Ini disebabkan karena reaksinya sangat cepat pada saat proses hidrolisis, bakteri pengurai asam seperti mikroba menguraikan senyawa glukosa menjadi asam butirat dan asam propionat. Hal ini berbanding terbalik dengan konsentrasi metana yang terus bertambah mulai dari waktu 0 jam sampai waktu 120 jam menjadi 400 mgCOD/L, ini sesuai dengan waktu pemodelan produksi dari biogas. Hasil kenaikan konsentrasi metana secara signifikan ini akan terlihat setelah melakukan proses produksi biogas selama dalam waktu kurang lebih 90 jam dan hasil tersebut akan terus bertambah hingga proses produksi biogas berakhir atau telah selesai. Sedangkan kondisi yang berbeda yang dialami konsentrasi substrat asam butirat, konsentrasi substrat asam propionat, konsentrasi substrat asam asetat, dan konsentrasi substrat hidrogen. Pada konsentrasi substrat asam butirat konsentrasinya mengalami kenaikan jumlah konsentrasi pada waktu kurang lebih 15 jam sebesar 10 mgCOD/L dan mengalami penurunan setelah waktu proses produksi biogas di waktu 40 jam sebesar 5 mgCOD/L. Hal ini juga dialami oleh konsentrasi substrat asam propionat yang mengalami kenaikan konsentrasi pada waktu kurang lebih 16 jam dengan konsentrasinya sebesar 35 mgCOD/L. Dan mengalami penurunan pada waktu kurang lebih 20 jam dengan konsentrasi 30 mgCOD/L. Namun pada konsentrasi substrat asam asetat mengalami titik tertinggi pada waktu sekitar 25 jam dengan konsentrasi sebesar 150 mgCOD/L dan terus mengalami penurunan pada waktu selanjutnya hingga mencapai konsentrasi 0 mgCOD/L pada waktu 100 jam sebelum proses produksi biogas berakhir. Dan pada substrat konsentrasi hidrogen yang tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan substrat lainnya. Konsentrasi substrat hidrogen mempunyai kandungan konsentrasi terbesar hanya sebesar kurang lebih sekitar 5 mgCOD/L pada waktu kurang lebih 2 jam. Laju penguraian konsentrasi substrat metana lebih sensitif daripada konsentrasi substrat lain karena konsentrasi substrat asam butirat dan asam propionat membentuk asetat sehingga konsentrasi substrat metana lebih tinggi dibandingkan konsentrasi asam butirat dan asam propionat. Dan juga diantara keenam tersebut konsentrasi substrat glukosa paling cepat bereaksi karena konsentrasi substrat glukosa merupakan awal mulanya pembentukan substrat-substrat yang lain pada proses pemodelan produksi biogas ini dalam diagram pembentukan metana pada ADM 1 (Anaerobic Digestion Model 1).

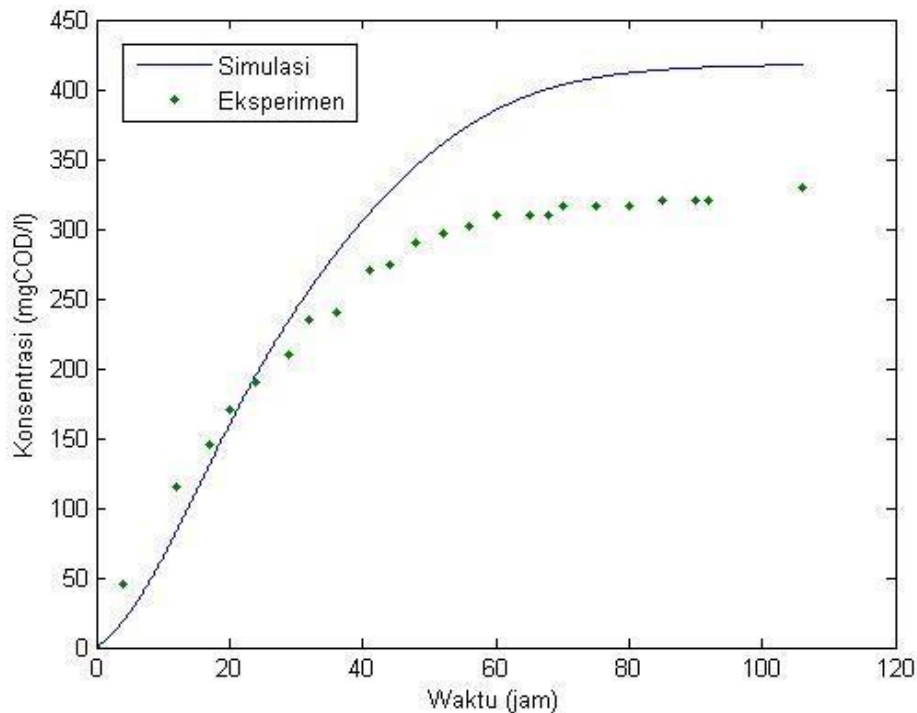
## 2. Konsentrasi Mikroba



Gambar 4-1-2: Hasil simulasi mikroba sesuai dengan kecenderungan  $N=161845$

Berdasarkan proses pemodelan produksi biogas tentunya sangat membutuhkan mikroba sebagai pengurai agar konsentrasi metana dapat terbentuk. Sehingga diperlukan kondisi nilai awal pada mikroba  $X_{su}$ ,  $X_{c4}$ ,  $X_{pro}$ ,  $X_{ac}$ , dan  $X_{h2}$  sebesar  $30 \text{ mgCOD/l}$ . Dari kelima mikroba tersebut, terjadi persamaan perubahan konsentrasi yaitu kenaikan konsentrasi sekaligus penurunan konsentrasi mikroba. Pada mikroba  $X_{su}$  akan mengalami kenaikan secara maksimal pada waktu 30 jam dengan konsentrasi sebesar  $78 \text{ mgCOD/l}$ . Sedangkan konsentrasi pada mikroba  $X_{c4}$ ,  $X_{pro}$ ,  $X_{ac}$ ,  $X_{h2}$  tidak mengalami kenaikan ataupun penurunan terlalu besar. Pada mikroba  $X_{c4}$ , kenaikan konsentrasi mencapai titik tertinggi pada konsentrasi  $40 \text{ mgCOD/l}$  yang terjadi pada waktu 60 jam dan konsentrasi tetap pada titik  $40 \text{ mgCOD/l}$  hingga proses pemodelan produksi biogas berhenti. Kemudian pada mikroba  $X_{pro}$  tidak terlalu mengalami perubahan yang terlalu signifikan dari kondisi nilai awal hingga proses pemodelan produksi biogas berhenti yaitu hanya mencapai titik tertinggi pada konsentrasi sebesar  $33 \text{ mgCOD/l}$  pada waktu kurang 35 jam. Lalu pada mikroba  $X_{ac}$  hampir sama juga dengan mikroba  $X_{pro}$  yang tidak mengalami perubahan yang cukup signifikan dari kondisi nilai awal yaitu hanya mencapai nilai konsentrasi tertinggi pada titik sebesar  $31 \text{ mgCOD/l}$  pada waktu 30 jam. Sedangkan untuk mikroba  $X_{h2}$  mengalami kenaikan tertinggi pada titik konsentrasi sebesar  $38 \text{ mgCOD/l}$  pada waktu 30 jam dan tetap berada pada titik tersebut hingga proses pemodelan produksi biogas berhenti.

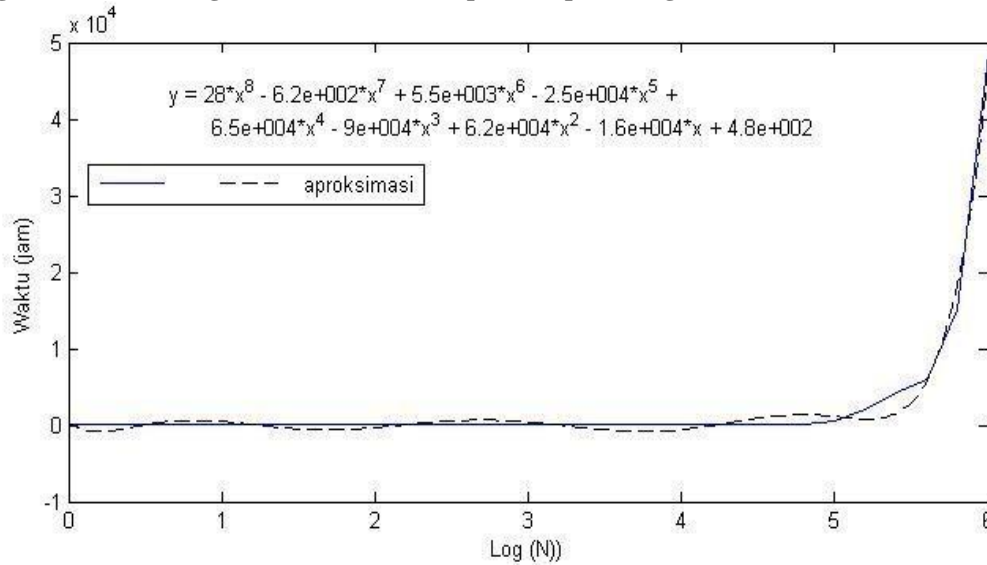
#### 4.2 Penentuan Akurasi Perhitungan



Gambar 4-2: Perbandingan antara hasil eksperimen dengan simulasi metana dengan  $N=161845$

Pada perbandingan antara hasil simulasi dengan data eksperimen terlihat substrat metana lebih cenderung mengalami kenaikan konsentrasi yang lebih besar dibandingkan hasil data eksperimen, yaitu terlihat perbedaan besar konsentrasi pada waktu kurang lebih 29 jam dimana hasil simulasi metana menggunakan metode Adams-BashforthMoulton Prediktor Korektor yaitu sebesar  $240 \text{ gCODm}^{-3}$  dan terus mengalami kenaikan hingga mencapai konsentrasinya menjadi kurang lebih  $425 \text{ gCODm}^{-3}$  pada waktu sekitar 85 jam berbeda dengan hasil data eksperimen yang lebih rendah atau lebih kecil konsentrasinya yaitu sekitar  $210 \text{ gCODm}^{-3}$  dan juga terus mengalami kenaikan konsentrasi hingga mencapai konsentrasi  $330 \text{ gCODm}^{-3}$  pada waktu 106 jam. Pada hasil perbandingan simulasi dengan data eksperimen pada gambar 4.2 akurasi hasil simulasi mulai berkurang pada waktu sekitar 30 jam dikarenakan metana yang merupakan hasil dari proses transfer gas (cair-gas) dari glukosa terjadi pengambatan oleh dekomposer mikroba yang menguraikan beberapa senyawa bentukan glukosa seperti asam butirat dan propionat.

**4.3 Pengaruh Nilai Pembagi Interval (N) terhadap waktu perhitungan**

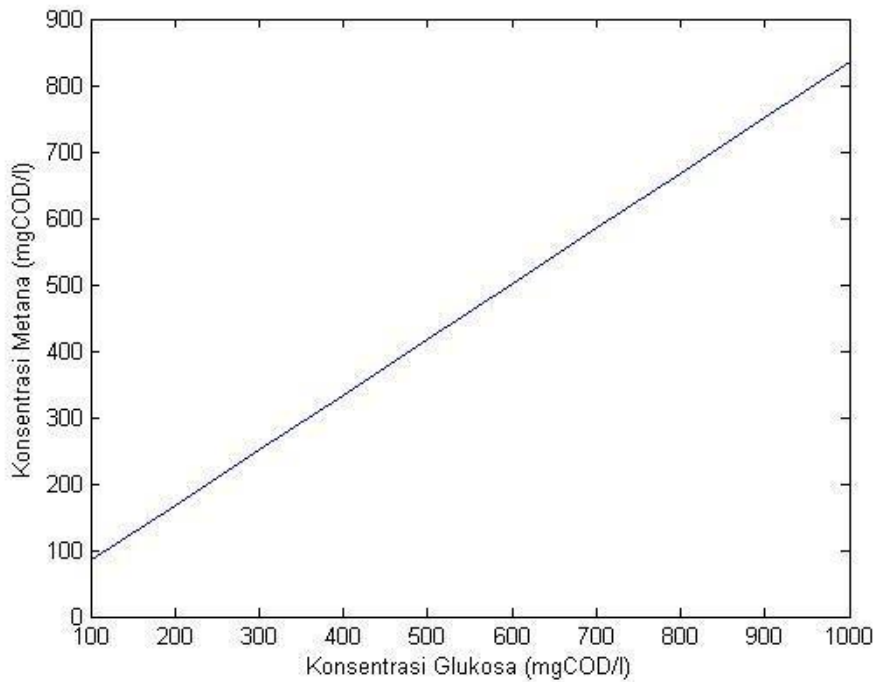


Gambar 4-3 : Grafik hasil simulasi waktu perhitungan setiap pembagi interval (N) yang dilakukan dan hasil fungsi kudratik.

Dari hasil simulasi grafik waktu perhitungan didapatkan hasil bahwa dari setiap hasil log (N) dimulai dengan pembagi interval dengan jumlah log (N) 0 sampai pembagi interval dengan jumlah log (N) 4 waktu perhitungannya berjarak sangat dekat dan cenderung hanya terjadi sedikit perubahan saja, namun ketika iterasi dengan jumlah log (N) nya 5 hingga jumlah log (N) nya 6 mengalami kenaikan yang cukup tinggi dalam artian waktu yang digunakan untuk melakukan proses tersebut cukup lama dari waktu perhitungan jumlah log (N) sebelumnya. Pada grafik jumlah log (N) 5 sampai 6 mulai mengalami waktu perhitungan yang cukup lama hingga mencapai 48540.13 detik pada iterasi jumlah log (N) terakhir. Sehingga bisa disimpulkan semakin besar pembagi interval (N) maka akan semakin lama pula proses perhitungan waktu yang akan digunakan untuk mendapatkan hasil simulasi pemodelan produksi biogas ini.

**4.4 Pengaruh Konsentrasi Awal Glukosa**

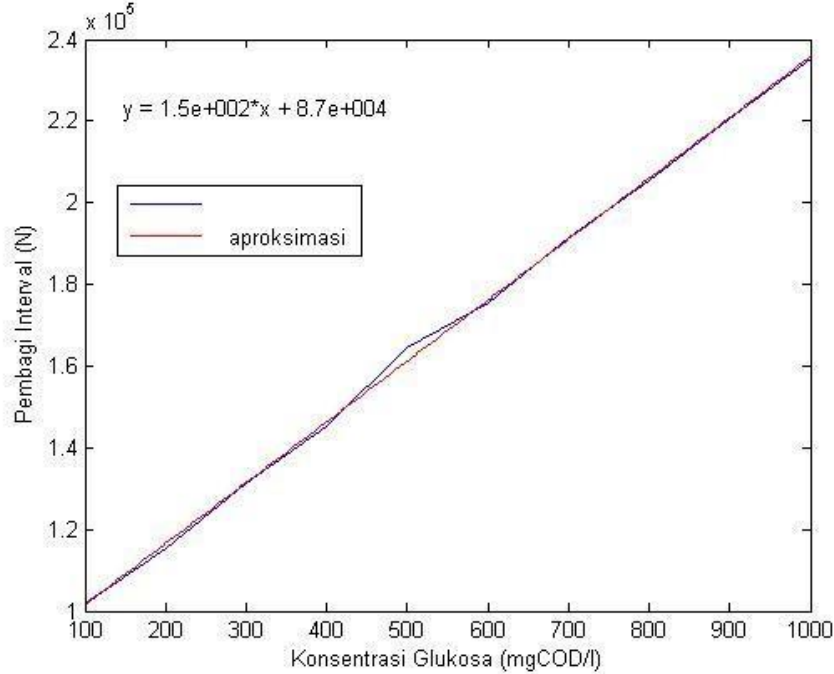
**1. Perbandingan antara Konsentrasi awal Glukosa dengan Konsentrasi Metana**



Gambar 4-4-1: Perbandingan antara konsentrasi glukosa dengan konsentrasi metana

Pada hasil diatas terlihat perbandingan antara konsentrasi substrat glukosa dengan konsentrasi substrat metana yang linear dan terus meningkat dimulai dari konsentrasi glukosa 100 hingga 1000 yaitu mulai dari konsentrasi 83.34880 mgCOD/L hingga 834.91829 mgCOD/L. Ini menunjukkan bahwa hasil simulasi tersebut bahwa semakin besar konsentrasi glukosa yang ada maka semakin besar pula konsentrasi metana yang akan dihasilkan. Sehingga dapat diprediksi untuk konsentrasi substrat glukosa ke N selanjutnya akan semakin besar.

**2. Perbandingan antara Konsentrasi Glukosa dengan N (pembagi interval)**

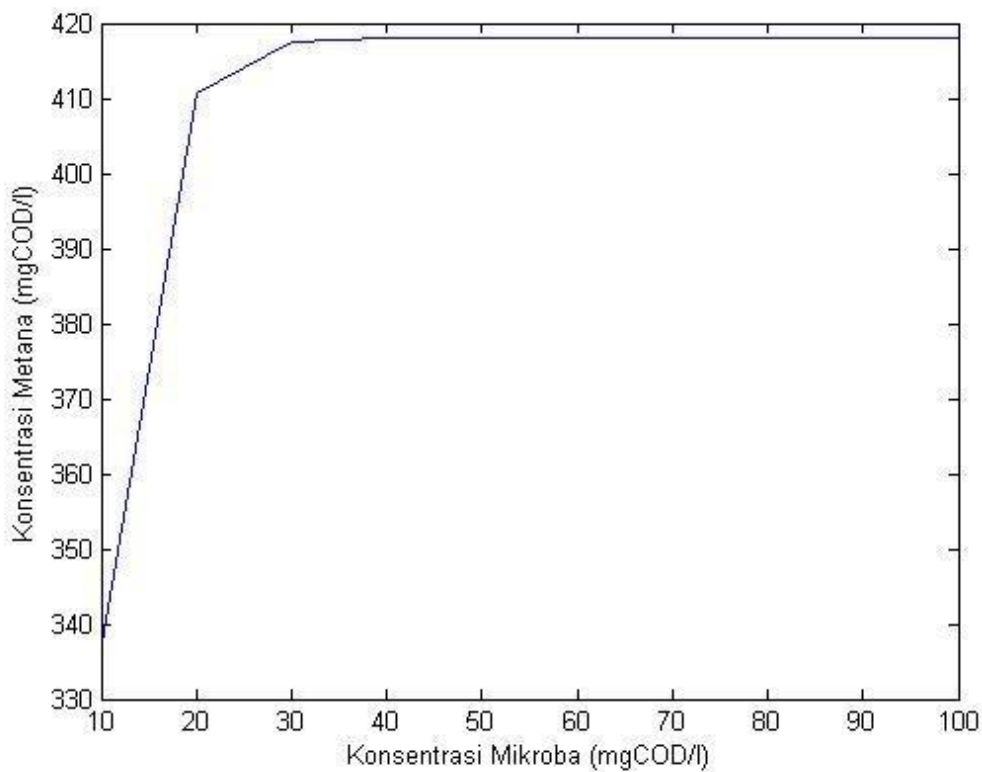


Gambar 4-4-2: Perbandingan antara konsentrasi glukosa dengan jumlah pembagi interval (N)

Pada hasil diatas menunjukkan hasil perbandingan antara konsentrasi glukosa terhadap jumlah iterasi (N) yang linear. Pada hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa N mulai dari 100 hingga N 1000 yaitu 101524 mgCOD/L terus meningkat semakin besar hingga 235237 mgCOD/L, maka disimpulkan bahwa semakin besar konsentrasi glukosa yang dihasilkan maka jumlah iterasi (N) tersebut akan semakin besar pula. Sehingga dapat diprediksi bahwa untuk konsentrasi glukosa ke N selanjutnya akan terus mengalami peningkatan konsentrasi glukosa.

**4.5 Pengaruh Perubahan Konsentrasi Mikroba**

**1. Perbandingan antara Konsentrasi awal Mikroba dengan Konsentrasi Metana**

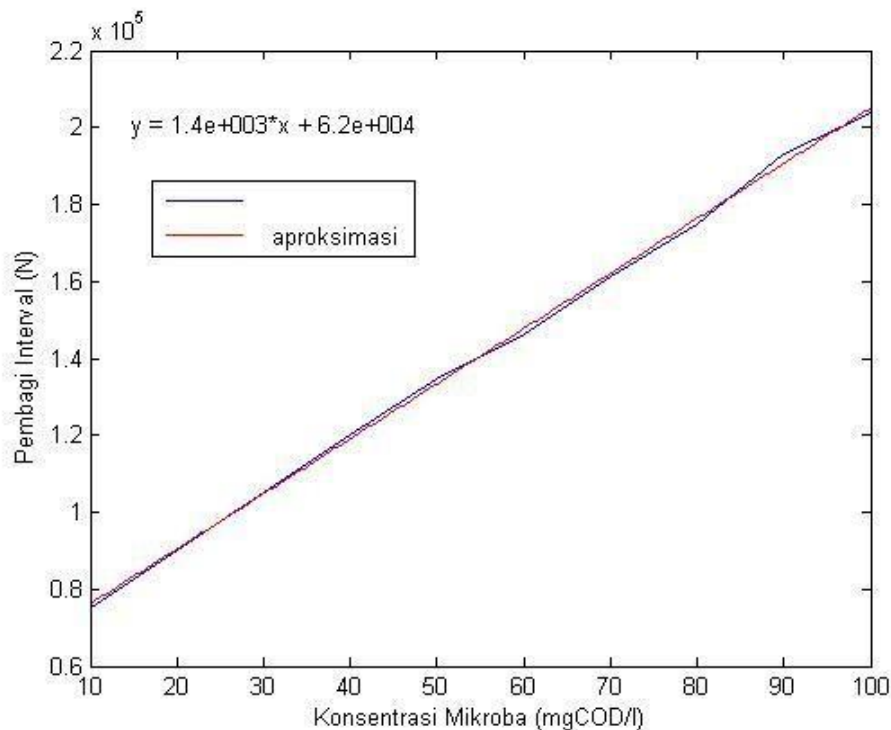


*Gambar 4-5-1: Perbandingan antara konsentrasi mikroba dengan konsentrasi metana*

Pada hasil perbandingan diatas menunjukkan bahwa pada konsentrasi mikroba 10 hingga konsentrasi mikroba 20 terus mengalami peningkatan secara linear terhadap konsentrasi metana yaitu sebesar 410.67035 dari titik sebelumnya yaitu sebesar 336.79105. Kemudian pada konsentrasi mikroba dari 20 ke 30 mengalami peningkatan yang tidak terlalu besar dibandingkan dengan konsentrasi 10 ke 20 sebelumnya yaitu dari 417.49296 mgCOD/L. Kemudian untuk konsentrasi dari 40 hingga 100 tidak mengalami perubahan yang begitu mencolok yaitu dari 418.02952 mgCOD/L hingga 418.07390 mgCOD/L.



## 2. Perbandingan antara Konsentrasi Mikroba dengan N (pembagi interval)



Gambar 4-5-2 : Perbandingan antara konsentrasi mikroba dengan jumlah iterasi (N)

Pada hasil diatas menunjukkan bahwa konsentrasi mikroba mengalami kenaikan secara linear terhadap jumlah iterasi (N). Berbeda dengan hasil simulasi perbandingan antara konsentrasi mikroba dengan konsentrasi metana sebelumnya, hasil simulasi perbandingan antara konsentrasi mikroba terhadap jumlah iterasi (N) mengalami peningkatan terus menerus dari konsentrasi awal mikroba 10 sampai konsentrasi mikroba 100. Jadi untuk konsentrasi mikroba N selanjutnya dapat diprediksi akan terus mengalami kenaikan terhadap jumlah iterasi (N) yang digunakan.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa Akurasi dari metode Adams-Bashforth-Moulton Prediktor Korektor dapat digunakan untuk menyelesaikan model ADM1 dalam proses pembentukan biogas karena menggunakan pengendalian ukuran langkah diperoleh kestabilan yang ditunjukkan melalui penerapan pada permasalahan nilai awal yang menghasilkan harga pendekatan yang kesalahan pemotongannya sangat kecil. Penggunaan metode multistep Adams- Bashforth-Moulton prediktor-korektor pada penyelesaian persamaan diferensial biasa orde pertama secara numerik memberikan hasil yang lebih stabil. Hasil profil kinetika reaksi di antara semua parameter kinetik dan stoikiometri, produk, substrat (hasil produk pada substrat) nilai menunjukkan sensitivitas yang tinggi pada hampir semua komponen. Konsentrasi metana adalah yang paling sensitif di antara lima komponen. Dan sementara asetat dan glukosa memiliki sensitivitas yang tinggi, propionat dan butirat menunjukkan sensitivitas yang relatif rendah. Ditemukan bahwa kepekaan komponen paling tergantung pada jumlah proses yang terkait dengan mereka. Sebagai contoh, glukosa adalah substrat utama dan konsentrasinya dikendalikan oleh penyerapan proses gula saja. Dari hasil perhitungan komputasi mempunyai waktu yang berbeda. Semakin banyak N (pembagi interval) dari semua komponen yang digunakan maka waktu perhitungannya juga semakin lama.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ward, A.J. et. al. (2008). "Optimisation of The Anaerobic Digestion of Agricultural Resources". *Bioresource Technology*. 99. 7928-7940.
- [2] Jeong, Hyeong-Seok et. al. 2005. "Analysis and application of ADM1 for anaerobic methane production". SpringerVerlag. *Bioprocess Biosyst Eng (2005) 27*: 81-82
- [3] Leggett, J., R.E. Graves, and L.E. Lanyon. 2007. "Anaerobic Digestion: Biogas Production and Odor Reduction from Manure". *Pennsylvania: PennState College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension, Agricultural and Biological Engineering*.
- [4] Batstone D. J. et. al. 2002. "The IWA Anaerobic Digestion Model No.1 (ADM 1)". *Water Science and Technology*. 45 (10) : 65-66.