Jurnal Teknik Kimia USU
Vol. 10, No. 2, September 2021 | 82-89
ISSN : 2337-4888
Homepage: https://talenta.usu.ac.id/jtk

Parameter Biokinetika dari Degradasi Limbah Kol dan Tomat Menggunakan Sistem Bioreaktor Anaerobik

Biokinetic Parameters of Rotten Cabbage and Tomato Degradation Using Anaerobic Bioreactor

Maya Sarah*, Erni Misran, Seri Maulina, Ika Pertiwi, Nahlionny Ritman, Isti Madinah Hasibuan, Ihut Parulian
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU, Padang Bulan, Kota Medan, Kode pos 20155, Negara Indonesia
*Email: Maya3@usu.ac.id

Abstrak
Pasokan energi dunia sangat bergantung pada energi tak terbarukan berupa bahan bakar fosil. Hal ini menyebabkan terjadinya penipisan bahan bakar fosil dan diperlukannya sumber energi alternatif seperti biogas. Biogas dihasilkan dari proses fermentasi bahan organik dengan bantuan bakteri anaerob tanpa adanya oksigen bebas. Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi biogas dari limbah kol dan tomat secara terpisah. Pembuatan biogas dari limbah kol dilakukan dengan variasi konsentrasi umpan 100 g/L, 200 g/L, dan 300 g/L sedangkan biogas dari limbah tomat menggunakan variasi konsentrasi umpan 81,6 g/L; 215 g/L; dan 237 g/L. Penelitian ini terdiri dari proses *seeding* dan aklimatisasi selama 10 hari, dilanjutkan dengan tahapan *start up* menggunakan bioreaktor anaerobik berpenyekat. Jumlah metana terbesar yang diperoleh dari limbah kol sebanyak 60% volume pada konsentrasi umpan 200g/L dan dari limbah tomat diperoleh 50% volume pada konsentrasi umpan 237 g/L. Laju pertumbuhan maksimum (μ_m) untuk biogas dari limbah kol dan tomat berturut-turut adalah 0,122 $hari^{-1}$ dan 0,121 $hari^{-1}$.

Kata kunci: biogas, bioreaktor anaerobik berpenyekat, limbah kol, limbah tomat, persamaan Monod

Abstract
The world's energy supply is very dependent on non-renewable energy in the form of fossil fuels. This causes fossil fuels depletion and the need for alternative energy sources such as biogas. Biogas is produced from the fermentation process of organic matter with the help of anaerobic bacteria in free oxygen absence. This study aims to produce biogas from cabbage and tomato waste separately. Biogas production was carried out by varying feed concentrations of 100 g/L, 200 g/L, and 300 g/L for cabbage waste and 81.6 g/L; 215 g/L; and 237 g/L for tomato waste. This study consisted of 10 days seeding and acclimatization process, followed by a start-up stage using insulated anaerobic bioreactors. The largest methane from cabbage and tomato waste was 60% at a feed concentration of 200 g/L and 50% at a feed concentration of 237 g/L, respectively. The maximum growth rates (μ_m) for biogas from cabbage and tomato waste were 0.122 day^{-1} and 0.121 day^{-1}, respectively.

Keywords: *biogas, anaerobic baffle bioreactor, cabbage waste, tomato waste, Monod equation*

Pendahuluan

Pasokan energi dunia sangat bergantung pada energi tak terbarukan berupa bahan bakar fosil, dimana sekitar 90% digunakan untuk transportasi dan konsumsi energi. Hal ini menyebabkan dunia menghadapi krisis ganda yaitu penipisan bahan bakar fosil dan degradasi lingkungan[1]. Krisis energi di seluruh dunia mengarahkan perhatian pada sumber energi alternatif bukan fosil [2].

Jumlah sampah yang dihasilkan per harinya di Kota Medan adalah sekitar 1975 ton, sedangkan yang dapat diangkat ke TPA Terjun adalah 1.460 ton/hari atau sekitar 73% dari total produksi harian sampah perkotaan Kota Medan [3]. Komposisi berat rata-rata sampah organik yang dihasilkan pasar per harinya adalah 488,777 kg untuk sampah organik sayur; 181,700 kg sampah organik buah; dan sekitar 207,470 kg sampah anorganik [4].

Diterima : 18 Februari 2021| Direvisi : 17 Mei 2021| Disetujui : 27 Mei 2021

Rata-rata kol yang masuk ke gudang sayuran di Berastagi Kabupaten Karo berjumlah ± 50 ton per hari dari jumlah tersebut sekitar 3-5 % atau sekitar 1,5-2,0 ton menjadi limbah [5]. Jumlah pasokan buah tomat sekitar 574 ton/minggu dan potensi menjadi limbah sebesar 115 ton/minggu [6]. Limbah tersebut biasanya tidak diolah dan hanya ditumpuk begitu saja pada tempat pembuangan sampah sementara (TPS).

Mengingat kandungan kelembaban dan organik yang tinggi, limbah kol dan tomat sebaiknya ditangani secara biologis. Pengolahan secara anaerobik lebih baik dibanding teknik lainnya seperti insinerasi dan pengomposan [6] [7]. Bahan biomassa memiliki kandungan padatan organik antara 76 sampai 95 persen basis kering, ini menunjukkan bahan organik tersebut berpotensi untuk dikonversi secara anaerobik menjadi biogas [8].

Pada penelitian ini limbah kol dan tomat diolah menjadi biogas menggunakan *anaerobic baffled reactor* (ABR). ABR memiliki beberapa keunggulan seperti desain yang sederhana, tidak memerlukan pemisahan gas atau lumpur dan stabilitas yang tinggi [9]. Degradasi limbah kol dan tomat untuk menghasilkan biogas pada penelitian ini dilakukan secara terpisah.

Teori

Biogas adalah jenis energi terbarukan yang dapat dihasilkan dari penguraian limbah hewan dan tumbuhan yang terdiri dari metana, karbon dioksida, dan impuritis seperti hidrogen, hidrogen sulfida, dan beberapa nitrogen [10]. Komposisi biogas secara umum dapat dilihat pada tabel.

Penguraian anaerobik adalah proses penguraian terkontrol dari bahan yang dapat terurai secara hayati dalam kondisi tidak ada oksigen bebas dan pada suhu yang sesuai untuk bakteri anaerob yang mengubah *input* menjadi biogas. Keuntungan dari penguraian anaerobik adalah tingkat lumpur biologis yang rendah, kebutuhan nutrisi yang rendah, efisiensi dan produksi metana yang tinggi [11].

Keuntungan utama dari ABR adalah pemisahan parsial kelompok mikroba secara longitudinal ke bawah reaktor [12]. ABR awalnya menerima fraksi organik dari sampah yang diikuti dengan penguraian bahan dan akhirnya menghasilkan biogas oleh aktivitas mikroorganisme. Lumpur yang dihasilkan dari sistem ini dapat digunakan sebagai sumber pupuk organik [13].

Persamaan Monod menggambarkan hubungan antara tingkat pertumbuhan mikroorganisme dengan pemanfaatan substrat, dimana laju pertumbuhan akan terus meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi substrat. Persamaan (1) berikut merupakan persamaan Monod [14].

$$\mu = \frac{\mu_m S}{K_S + S} \quad \text{.....} (1)$$

Dimana μ_m adalah laju pertumbuhan maksimum spesifik dan K_S adalah konstanta Monod.

Tabel 1. Komposisi Biogas [15]

Komponen	Rumus Kimia	Konsentrasi
Metana	CH_4	55-65%
Karbon Dioksida	CO_2	35-45%
Nitrogen	N_2	0-3 ppm
Hidrogen Sulfida	H_2S	0-1 ppm
Hidrogen	H_2	0-1 ppm
Amonia	NH_3	0-1 ppm

Metodologi Penelitian

Bahan baku yang digunakan pada penelitian ini adalah limbah kol dan tomat yang diperoleh dari Pasar Pagi dan Pasar Sore Jamin Ginting. Penelitian dilakukan dengan proses fermentasi anaerobik menggunakan ABR pada suhu ruangan. Pembuatan biogas dari kedua bahan tersebut dilakukan secara terpisah dengan memvariasikan konsentrasi umpan, yaitu 100, 200, dan 300 g/L untuk biogas dari limbah kol dan 81,6; 215; dan 237 g/L untuk biogas dari limbah tomat. Variabel tetap yang digunakan adalah perbandingan mikroorganisme terhadap substrat dengan perbandingan 1:2 dan waktu *seeding* dan aklimatisasi selama 10 hari. Analisa yang dilakukan adalah pengukuran pH, *mixed liquor suspended solid* (MLSS), *chemical oxygen demand* (COD), dan komposisi gas [16] [17].

Tahap awal yang dilakukan adalah menyiapkan inokulum yang berasal dari IPAL (Instansi Pengolahan Air Limbah) Cemara, Medan. Selanjutnya dilakukan *seeding* mikroorganisme di dalam toples dengan volume *seeding* 1/3 dari volume bioreaktor. Perbandingan inokulum terhadap substrat dengan perbandingan 1:1. Sebelum digunakan, substrat dipotong terlebih dahulu, lalu dihaluskan menggunakan *blender* dan ditambahkan air. *Feeding* glukosa dilakukan pada hari ke-3, 6, dan 9. Pada hari ke-10 dilakukan analisa MLSS untuk melihat apakah terjadi penambahan mikroorganisme. Jika terjadi peningkatan, maka mikroorganisme bisa digunakan untuk tahap *start-up*.

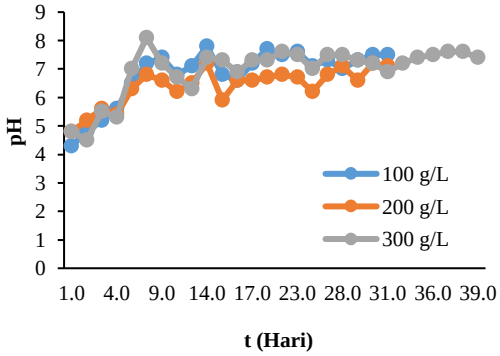
Tahap *start-up* dilakukan di dalam bioreaktor. Sebelum memasuki bioreaktor, limbah kol dipotong menjadi ukuran 0,5-1 cm sedangkan

limbah tomat dipotong dengan ukuran 2 cm, kemudian dihaluskan menggunakan *blender*. Selanjutnya ditambahkan air sesuai konsentrasi yang diinginkan. Mikroorganisme ditambahkan ke dalam *mixer* dengan perbandingan substrat terhadap mikroorganisme dengan perbandingan 2:1. Lakukan hal tersebut berulang kali hingga volume bioreaktor penuh [18][19].

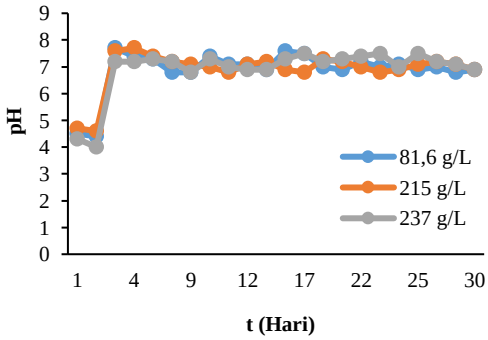
Hasil

Pengaruh Konsentrasi Umpan Terhadap pH

Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan pengaruh konsentrasi umpan terhadap pH untuk bahan baku limbah kol dan tomat.



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap pH pada degradasi limbah kol



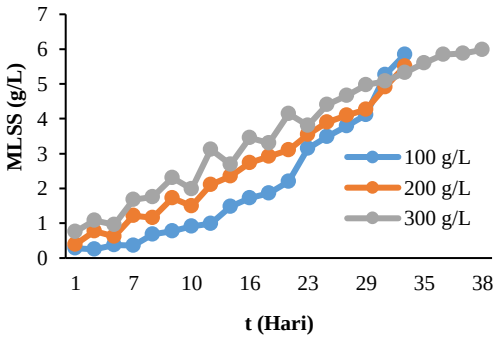
Gambar 2. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap pH pada degradasi limbah tomat

Bakteri metanogen sangat sensitif terhadap perubahan pH, dan secara umum pH optimum proses anaerob adalah antara 6,8-7,2 namun proses tersebut dapat mentoleransi rentang pH 6,5-8,0 [20]. Konsentrasi umpan tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada kondisi temperatur ruang. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 di mana pH terlihat cukup stabil dan masih berada pada rentang pH yang dapat mentolerir terjadinya metanogenesis.

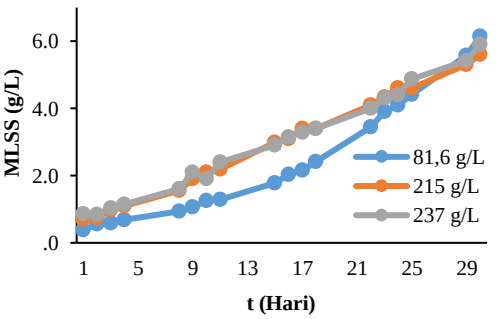
Nilai pH merupakan salah satu parameter kehidupan mikroba dan fluktuasi nilai pH kemungkinan disebabkan oleh kondisi mikroba. Penurunan pH menunjukkan bakteri metanogen tidak bertahan hidup (pH < 6,6) dan pH dalam kisaran normal menandakan mikroba berada dalam keadaan baik. Ketika pH mengalami penurunan maka diperlukan pengadukan untuk meningkatkan kembali kondisi mikroba yang menurun dikarenakan pengendapan terlalu lama [20].

Pengaruh Konsentrasi Umpan Terhadap Pertumbuhan Mikroba

Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan pengaruh konsentrasi umpan terhadap pertumbuhan mikroba yang ditunjukkan dengan nilai MLSS pada degradasi limbah kol dan tomat.



Gambar 3. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap pertumbuhan mikroba pada degradasi limbah kol



Gambar 4. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap pertumbuhan mikroba pada degradasi limbah tomat

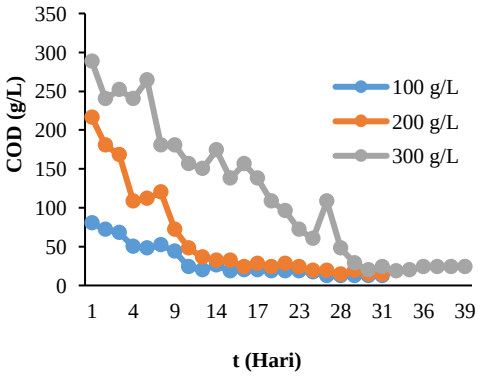
Peningkatan nilai MLSS dipengaruhi oleh banyaknya bahan organik yang dioksidasi [21]. Semakin banyak bahan organik atau substrat yang dioksidasi maka semakin meningkat pula konsentrasi MLSS [14]. Bahan organik dioksidasi oleh mikroorganisme untuk menghasilkan energi yang nantinya energi tersebut digunakan untuk pertumbuhan mikroorganisme. Nilai MLSS dipengaruhi oleh konsentrasi kol dan tomat,

bakteri, serta komponen-komponen yang tidak teruapkan. Namun, konsentrasi umpan berlebih menyebabkan terjadinya akumulasi asam intermediet yang menghambat pertumbuhan mikroorganisme metanogen. Semakin besar konsentrasi umpan menunjukkan bahwa jumlah air dalam umpan semakin sedikit. Keberadaan air berfungsi untuk mengencerkan sistem reaksi sehingga tidak terjadi lonjakan asam lemak volatil yang menjadi inhibitor terhadap mikroorganisme anaerob [22]. Kehadiran inhibitor ini menjadi penyebab pertumbuhan mikroorganisme yang berfluktuasi, terutama pada konsentrasi umpan limbah kol 300 g/L.

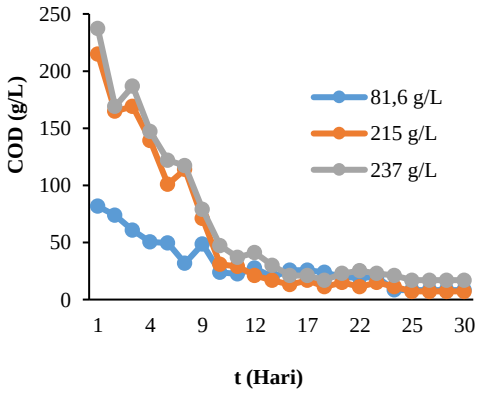
Kebutuhan nutrisi bagi mikroorganisme dalam proses anaerob bergantung pada konsentrasi COD [23]. Setiap jenis limbah biomassa memilki konsentrasi COD berbeda yang menyebabkan pertumbuhan mikroorganisme dan jumlah biogas yang dihasilkan berbeda pula. Oleh sebab itu, pertumbuhan mikroorganisme pada pembuatan biogas dengan limbah kol dan tomat menunjukkan pola yang berbeda.

Pengaruh Konsentrasi Umpan Terhadap Reduksi COD

Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan pengaruh konsentrasi umpan terhadap reduksi COD pada degradasi kol dan tomat. COD merupakan variabel penting yang menunjukkan keberhasilan proses degradasi [24]. Nilai COD menunjukkan ukuran tingkat pencemaran oleh bahan organik [25]. Penurunan nilai COD menandakan degradasi bahan organik semakin tinggi untuk menghasilkan biogas. Peningkatan konsentrasi bahan organik menyebabkan penurunan nilai COD. Seiring penambahan hari, nilai COD menurun dan mencapai stabilitas dengan rentang nilai 12-24 g/L untuk bahan baku limbah kol dan 1,7-7,2 g/L untuk bahan baku limbah tomat.



Gambar 5. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap reduksi COD pada degradasi limbah kol

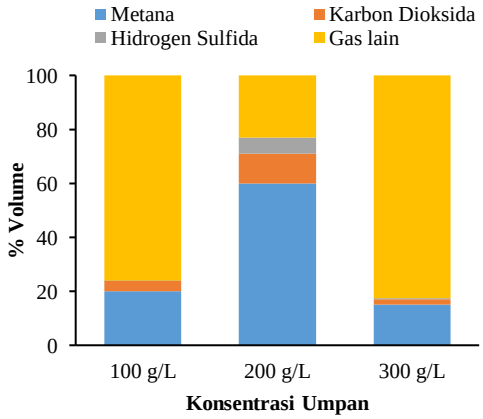


Gambar 6. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap reduksi COD pada degradasi limbah tomat

Pengaruh Konsentrasi Umpan Terhadap Komposisi Biogas

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan pengaruh konsentrasi umpan terhadap komposisi biogas dari bahan baku limbah kol dan tomat.

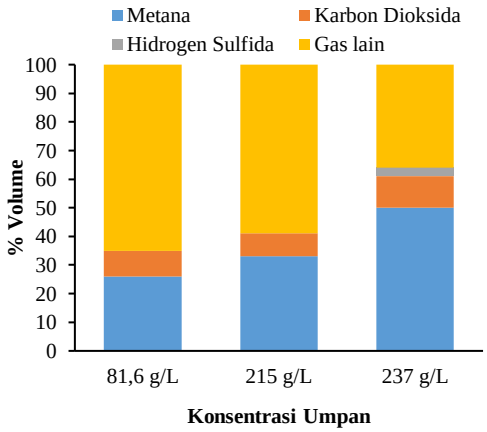
Tahap terakhir dari digestasi anaerobik adalah tahap metanogenesis. Pada tahap ini akan dihasilkan metana. Dekomposisi senyawa organik mempengaruhi proses metanogenesis dalam digester anaerobik [26]. Pada kondisi fermentasi dengan bahan baku yang telah mengalami proses asetogenik, maka senyawa hasil proses tersebut (yakni asam asetat) akan lebih mudah dan cepat untuk digunakan oleh bakteri metanogenik untuk dikonversi menjadi CH_4, CO_2 dan produk lain sehingga laju pembentukan metana seiring dengan laju pertumbuhan bakteri metanogenik [27].



Gambar 7. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap komposisi biogas dari limbah kol

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa produksi biogas tertinggi diperoleh pada konsentrasi umpan 200 g/L yang menghasilkan biogas sebanyak 60%. Pada kandungan organik yang lebih tinggi memungkinkan mikroba untuk mendegradasi

substrat lebih banyak sehingga biogas yang dihasilkan lebih tinggi. Akan tetapi kandungan organik yang terlalu tinggi menyebabkan produksi asam organik pada tahap awal digestasi lebih cepat dibandingkan dengan kecepatan konsumsi asam organik oleh bakteri metanogen. Hal tersebut menyebabkan aktivitas bakteri metanogen terhambat dan menurunkan produksi biogas [28]. Sedangkan untuk biogas dari limbah tomat, dapat dilihat pada gambar 8 bahwa hasil tertinggi dari proses metanogenesis diperoleh pada konsentrasi umpan 237 g/L, yaitu sebesar 50% volume.



Gambar 8. Pengaruh konsentrasi umpan terhadap komposisi biogas dari limbah tomat

Analisa Pertumbuhan Bakteri Menggunakan Persamaan Monod

Hasil analisa COD dan MLSS digunakan untuk menentukan nilai kinetika menggunakan persamaan Monod yang diturunkan menjadi persamaan (2) [24].

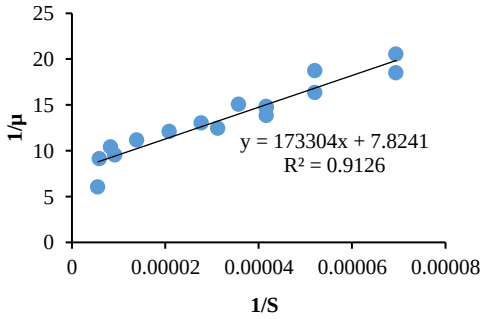
$$r_X = \mu X$$

$$= \frac{\mu_m S}{K_S + S} X$$

$$\frac{X}{r_X} = \frac{1}{\mu} = \frac{K_S + S}{\mu_m S}$$

$$\frac{1}{\mu} = \frac{K_S}{\mu_m}\frac{1}{S} + \frac{1}{\mu_m} \quad \text{..... (2)}$$

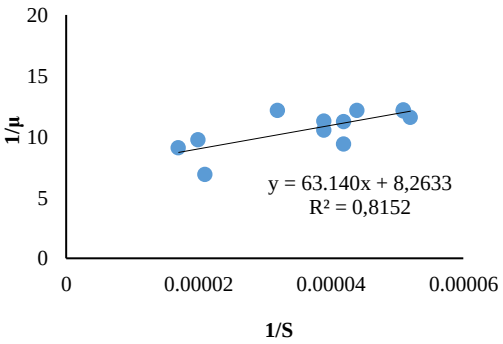
Gambar 9 menunjukkan penentuan nilai kinetika biologis untuk degradasi limbah kol pada konsentrasi umpan 200 g/L, dimana pada konsentrasi umpan tersebut diperoleh R^2 tertinggi sehingga dianggap paling cocok menggambarkan pertumbuhan mikroorganisme.



Gambar 9. Penentuan nilai kinetika pertumbuhan bakteri menggunakan persamaan Monod untuk degradasi limbah kol

Nilai kinetika yang diperoleh berdasarkan grafik tersebut adalah μ_m = 0,122 hari^{-1} dan K_S = 20,123 g/L, atau dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (3).

$$\mu = \frac{0{,}122S}{20{,}123+S} \quad \text{..... (3)}$$



Gambar 10. Penentuan nilai kinetika pertumbuhan bakteri menggunakan persamaan Monod untuk degradasi limbah tomat

Berdasarkan grafik pada Gambar 10 diperoleh persamaan Monod untuk degradasi limbah tomat pada konsentrasi umpan 81,6 g/L yang ditunjukkan pada persamaan (4).

$$\mu = \frac{0{,}121S}{7{,}64+S} \quad \text{..... (4)}$$

Dari persamaan Monod diatas diperoleh K_S = 7,64 g/L dan μ_{max} = 0,121 hari^{-1}.

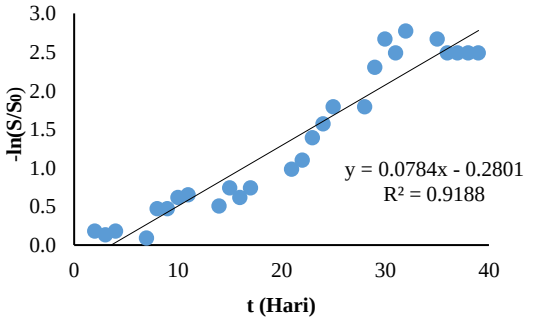
Analisis Degradasi Substrat Berdasarkan Persamaan Laju Reaksi Orde 1

Laju reaksi kimia adalah perubahan konsentrasi pereaksi atau produk dalam suatu satuan waktu. Laju reaksi dapat dinyatakan sebagai laju berkurangnya konsentrasi suatu pereaksi atau laju bertambahnya konsentrasi suatu

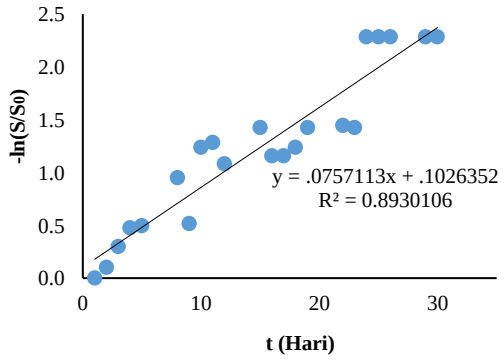
produk persatuan waktu, seperti pada persamaan (5) [29].

$$-\ln\frac{[A]}{[A_0]} = kt \quad \text{..... (5)}$$

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan penentuan konstanta laju degradasi substrat terhadap waktu pada konsentrasi umpan 300 g/L untuk limbah kol dan pada konsentrasi umpan 81,6 g/L untuk limbah tomat, dalam hal ini konsentrasi umpan dinyatakan sebagai COD. Konsentrasi umpan tersebut dipilih karena memiliki R^2 tertinggi.



Gambar 11. Penentuan konstanta laju degradasi limbah kol terhadap waktu



Gambar 12. Penentuan konstanta laju degradasi limbah tomat terhadap waktu

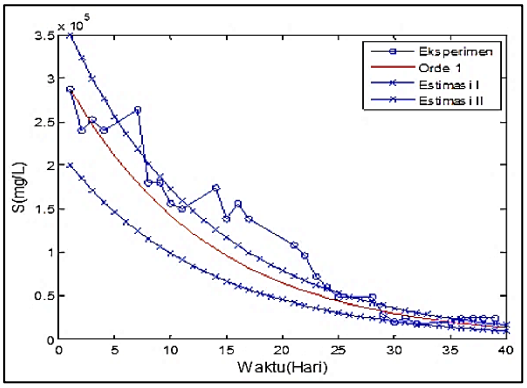
Dari grafik pada Gambar 11 dan Gambar 12 dapat dilihat bahwa reaksi pertumbuhan bakteri merupakan reaksi orde 1. Persamaan laju degradasi substrat limbah kol dapat dilihat pada persamaan (6) dan degradasi substrat limbah tomat pada persamaan (7).

$$-\frac{d[S]}{dt} = 0{,}0784[S] \quad \text{..... (6)}$$

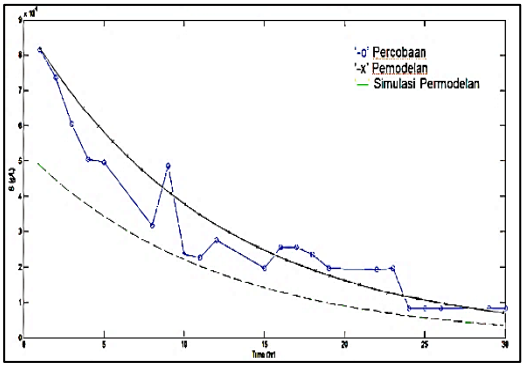
$$-\frac{d[S]}{dt} = 0{,}0757[S] \quad \text{..... (7)}$$

Berdasarkan persamaan kinetika tersebut, laju degradasi substrat dapat diprediksi secara teori. Gambar 13 dan Gambar 14 menunjukkan degradasi substrat secara teoritis (pemodelan) dan eksperimen menggunakan program Matlab.

Pemodelan degradasi substrat terlihat mengalami penurunan dengan bertambahnya waktu reaksi. Penurunan konsentrasi substrat menggunakan persamaan orde satu lebih baik dibandingkan penurunan substrat secara eksperimen . Hal ini dikarenakan pada umumnya reaksi biodegradasi limbah mengacu pada persamaan orde satu.



Gambar 13. Degradasi substrat secara pemosdelan dan eksperimen pada bahan baku limbah kol



Gambar 14. Degradasi substrat secara pemodelan dan eksperimen pada bahan baku limbah tomat

Kesimpulan

Pada penelitian ini diperoleh komposisi metana terbesar yaitu 60% pada konsentrasi umpan 200 g/L untuk substrat limbah kol dan sebesar 50% pada konsentrasi umpan 237 g/L untuk substrat limbah tomat. Pada degradasi limbah kol, laju pertumbuhan maksimum (μ_{max}) yang diperoleh pada konsentrasi umpan 200 g/L adalah 0,122 $hari^{-1}$ dengan K_S sebesar 20,123 g/L. Sedangkan untuk degradasi limbah tomat, laju pertumbuhan maksimum (μ_{max}) yang diperoleh

pada konsentrasi umpan 81,6 g/L adalah 0,121 hari^{-1} dengan nilai K_S sebesar 7,64 g/L.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Universitas Sumatera Utara yang telah mendukung pendanaan pada penelitian ini melalui skema penelitian TALENTA tahun 2017.

Daftar Pustaka

[1] A. Okewale, "Alternative energy production for environmental sustainability," *Br. J. Renew. energy*, vol. 1, pp. 18–22, 2016.

[2] M. S. Musa, M. Makwayo, and K. D. Khalid, "Biogas productions from food waste and functional working methane gas digester design," *Int. J. Eng. Sci. Comput.*, vol. 6, no. 3, pp. 2185–2187, 2016.

[3] Anonim, Volume Sampah per Hari Tahun Anggaran 2016, Pemerintah Kota Medan, Medan, 2016.

[4] N. H. Gurning, A. P. M. Tarigan, and Z. P. Nasution, "Studi pengelolaan sampah pasar Kota Medan (Studi Kasus: Pasar Sore Padan Bulan, Medan)," *J. Tek. Sipil USU*, vol. 2, no. 3, 2013.

[5] D. Sembiring, "Efektivitas berbagai jenis aktivator dalam pembuatan kompos dari limbah kol (*Brassica Oleracea*) tahun 2014," Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2015.

[6] A. Baharudin, "Pemanfaatan limbah pepaya (*Carica papaya* L.) dan tomat (*Solanum lycopersium* L.) untuk mempercepat pengomposan sampah organik," Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Yogyakarta, 2016.

[7] N. Phetyim, T. Wanthong, P. Kannika, and A. Supngam, "Biogas Production from Vegetable Waste by Using Dog and Cattle Manure, " *Energy Procedia*, vol. 79, 2015.

[8] M. Romli, Suprihatin, N. S. Indrasti, and A. Y. Aryanto, "Potensi limbah biomassa pertanian sebagai bahan baku produksi bioenergi (biogas)," *Pros. Semianr Tjipto Utomo Inst. Tekhnologi Nas.*, vol. 7, pp. B71-B7-9, 2010.

[9] T. Wu *et al.*, "Hydrogen production with effluent from an anaerobic baffled reactor (ABR) using a single-chamber microbial electrolysis cell (MEC)," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 38, pp. 11117–11123, 2013.

[10] L. Deressa, S. Libsu, R. B. Chavan, D. Manaye, and A. Dabassa, "Production of biogas from fruit and vegetable wastes mixed with different wastes," *Environ. Ecol. Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 65–71, 2015.

[11] Budiyono, F. Manthia, N. Amalin, H. Hawali Abdul Matin, and S. Sumardiono, "Production of biogas from organic fruit waste in anaerobic digester using ruminant as the inoculum," *MATEC Web Conf.*, vol. 156, pp. 1–5, 2018.

[12] S. Jamshidi and M. Khalesidoost, "Biogas production yield of anaerobic baffled reactor in low pH and HRT," *J. Middle East Appl. Sci. Technol.*, vol. 15, no. 15, pp. 765–770, 2014.

[13] A. Malakahmad, N. Ahmad Basri, and S. M. Zain, "An application of anaerobic baffled reactor to produce biogas from kitchen waste," *WIT Trans. Ecol. Environ.*, vol. 109, pp. 655–664, 2008.

[14] Y. Liu, "Overview of some theoretical approaches for derivation of the Monod equation," *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 73, no. 6, pp. 1241–1250, 2007.

[15] S. E. Hosseini, M. A. Wahid, and A. A. A. Abuelnuor, "Biogas flameless combustion: A review," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 388, pp. 273–279, 2013.

[16] Anonim, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, American Public Health Association (APHA), Washington DC, 1999, pp. 236–244.

[17] R. M. Osman, A. I. Hafez, and M. A. Khedr, "Flax retting wastewater part 2. microbial growth and biodegradation kinetics," *Int. j. eng. sci. innov. technol.*, vol. 3, no. 4, pp. 783–791, 2014.

[18] S. Kumar and A. Bharati, *Management of Organic Waste*, Rijeka: BoD – Books on Demand, 2011.

[19] C. W. Yuwono and T. Soehartanto, "Perancangan sistem pengaduk pada bioreaktor batch untuk meningkatkan produksi biogas," *J. Tek. POMITS*, vol. 2, no. 1, pp. 141–145, 2013.

[20] A. E. Cioabla, I. Ionel, G. A. Dumitrel, and F. Popescu, "Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues," *Biotechnol. Biofuels*, vol. 5, no. 39, pp. 1–9, 2012.

[21] E. A. Subaida and K. S. Dinesh, "Anaerobic baffled reactor-a sustainable approach for coconut husk retting," *Int. J. Sci. Res. Publ.*, vol. 6, no. 5, pp. 287–292, 2016.

[22] Zuliyana, S. K. Wirawan, W. Budhijanto, R. B. Cahyono, "Pengaruh kadar air umpan dan rasio C/N pada produksi biogas dari sampah organik pasar," *J. Rekayasa Proses*, vol. 9, no. 1, pp. 22–27, 2015.

[23] A. Nugroho and I. Sumantri, "Biogas production of tomato sauce wastewater by batch anaerobic digestion," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2197, pp. 1–8, 2020.

[24] I. Abu Reesh, "Kinetics of anaerobic digestion of labaneh whey in a batch reactor," *African J. Biotechnol.*, vol. 13, pp. 1745–1755, 2014, doi: 10.5897/AJB2013.13310.

[25] S. Carcano, "A model for cell growth in batch bioreactors," Tesis, Politecnico Di Milano, Milan, 2010.

[26] E. K. Geoghegan, Z. Cardon and j. J. Vallino, "Decomposition and Methane Production in Anaerobic Environments: A Case Study in A Methanogenic Bioreactor." Marine Biological Laboratory, Massachusetts, 2016.

[27] P. Iriani, Y. Suprianti, and F. Yulistiani, "Fermentasi anaerobik biogas dua tahap dengan aklimatisasi dan pengkondisian pH fermentasi," *J. Tek. Kim. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2017.

[28] I. H. Ardinata and W. D. Nugraha, "Pengaruh konsentrasi total padatan pada produksi biogas dari limbah sekam padi dengan metode Solid State Anaerobic Digestion (SS-AD)," *J. Tek. Lingkung*, vol. 5, no. 4, pp. 1–11, 2016.

[29] N. Zainol, N. Masngut, and M. K. Jusup, "Kinetic study on ferulic acid production from banana stem waste via mechanical extraction," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 342, no. 1, pp. 1–7, 2018.