

Pengaruh Penggunaan Bioreaktor Dua Tahap terhadap Pengolahan Anaerobik Lindi Sampah Kota

Laily Isna Ramadhani, Alifa Dewi Kirana, Ghinaa Annisa Khairani, Herawati Budastuti,
Dhyana Analyses Trirahayu, Keryanti*

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Jawa Barat, Indonesia

*Koresponden email: keryanti@polban.ac.id

Diterima: 23 Agustus 2024

Disetujui: 2 September 2024

Abstract

The generation of waste in landfills can result in the production of wastewater, commonly referred to as leachate. This leachate has the potential to pollute the surrounding environment, as it can enter the groundwater or be transported by surface flows. Consequently, leachate treatment is conducted through a two-stage anaerobic process. The method was selected due to its capacity to decompose waste with high organic content and to produce optimal biogas. The objective of this study is to ascertain the impact of employing a two-stage anaerobic bioreactor on the proliferation of anaerobic microorganisms in the context of leachate treatment. The application of an acidic pH in the acidogenic bioreactor influences the growth of acidogenic bacteria, resulting in a shorter lag phase in comparison to the single bioreactor. This also impacted the reactor's performance in reducing the concentration of chemical oxygen demand (COD). The two-stage bioreactor demonstrated a superior COD reduction efficiency of 78%, in comparison to the single-stage bioreactor, which exhibited an efficiency of 69%.

Keywords: *anaerobic, bioreactor, leachate, single-stage, multi-stage*

Abstrak

Timbulan sampah pada tempat pembuangan sampah dapat menghasilkan air limbah yang disebut dengan lindi dan dapat mencemari lingkungan karena lindi dapat masuk ke dalam air tanah ataupun terbawa dalam aliran permukaan. Oleh karena itu, dilakukan pengolahan air lindi dengan menggunakan metode anaerobik dua tahap. Metode tersebut dipilih karena dapat menguraikan limbah dengan kandungan organik yang tinggi serta dapat menghasilkan biogas yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bioreaktor anaerobik dua tahap terhadap pertumbuhan mikroorganisme anaerobik dalam mengolah lindi. Penggunaan pH asam di bioreaktor asidogenik berpengaruh pada pertumbuhan bakteri asidogenik dengan diperolehnya fase lag yang lebih singkat dibandingkan dengan bioreaktor tunggal. Hal ini juga mempengaruhi performa reaktor untuk menurunkan konsentrasi COD. Bioreaktor dua tahap menghasilkan efisiensi penurunan COD yang lebih tinggi yaitu sebesar 78% sedangkan pada bioreaktor satu tahap diperoleh efisiensi penurunan COD sebesar 69%.

Kata Kunci: *anaerobik, bioreaktor, lindi, satu tahap, dua tahap*

1. Pendahuluan

Sampah menjadi permasalahan di Indonesia dengan seiring peningkatan jumlah penduduk, mengakibatkan bertambahnya jumlah sampah yang dihasilkan oleh manusia. Berdasarkan data dinas lingkungan hidup Jawa Barat total Jumlah Sampah adalah 4.747.300-ton pada tahun 2023. Di sisi lain, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Said dan Hartaja tahun 2018 [1] menunjukkan bahwa pengolahan lindi yang dilakukan di Instalasi Pengolahan Lindi di suatu TPA di Jawa Barat belum optimal. Hal ini terlihat dari konsentrasi BOD keluaran lindi yaitu sebesar 190-1856 mg/L dan konsentrasi COD yaitu sebesar 2.934-4.515 mg/L[1]. Nilai ini berada jauh di atas baku mutu lindi. keluaran. Konsentrasi BOD. Salah satu rangkaian sistem pengolahan lindi di TPA ini adalah dengan adanya pengolahan biologis secara anaerob dengan bantuan mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik yang terkandung. Pengolahan biologis secara anaerobik lebih sesuai untuk mengolah lindi, karena dapat menguraikan limbah yang memiliki kandungan organik yang tinggi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Safria [2] terkait evaluasi IPAL TPA tersebut, diperoleh hasil bahwa efisiensi penurunan COD belum memenuhi kriteria desain ABR dimana pada kondisi aktual reaktor ini hanya mampu menyisihkan COD sebesar 1%.

Karakter air lindi sangat bervariasi dan dipengaruhi oleh beberapa faktor proses yang terjadi di landfill yaitu : jenis sampah, tempat landfill, hidrogeologi dan sistem pengoperasian. Faktor-faktor ini

sangat berbeda pada tempat pembuangan antara satu sama lain, dan begitu juga aktivitas biologis dan proses-proses yang berlangsung di timbunan sampah aerobik atau anaerobik. Karakteristik lindi berdasarkan usia landfill dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Karakteristik Lindi Berdasarkan Usia Landfill

Parameter	Landfill umur < 2 th (mg/L)	Tipikal (mg/L)	Landfill Umur > 10 th (mg/L)	Sumber
BOD	2.000 - 30.000	10.000	100 - 200	[3]
COD	3.000 - 60.000	18.000	100 - 500	
pH	4,5 - 7,5	6	6,6 - 7,5	
TSS	200 - 2.000	500	100 - 400	
Rasio C/N	10 - 20	-	0,1 - 1	[4]

Proses digestasi anaerobik merupakan proses fermentasi yang berlangsung secara bertahap. Setiap tahapan proses melibatkan dominasi mikroorganisme yang memiliki kondisi operasi optimum yang berbeda-beda. Proses asidogenesis dimaksudkan sebagai tahap degradasi polutan menjadi asam-asam volatil, mikroorganisme pada tahap ini tumbuh optimum pada pH 4-5 [5]. Sebaliknya, proses metanogenesis yang merupakan tahap konversi asam-asam volatil (VFA) menjadi biogas dipengaruhi oleh kinerja bakteri metanogen yang sangat sensitif terhadap pH asam. Bioreaktor anaerobik menghasilkan metana secara optimal pada pH 6,6-7.8. Nilai pH lebih rendah dari 6,2 akan menghambat aktivitas bakteri metanogenik [6]. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Ramadhani dkk pada tahun 2021 [7], penggunaan pH netral pada reaktor metanogenik berhasil meminimalisir pertumbuhan bakteri asidogenik dan memaksimalkan pertumbuhan bakteri metanogenik.

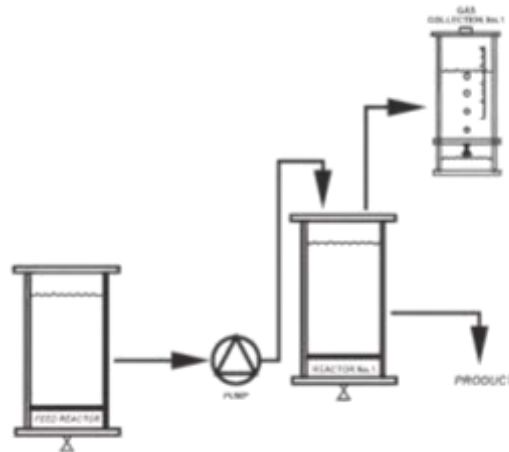
Reaktor dua tahap memiliki beberapa kelebihan dalam mengolah substrat kompleks dibandingkan dengan satu tahap, seperti waktu tinggal yang dibutuhkan lebih rendah, efisiensi pembentukan gas lebih tinggi dan konsentrasi gas metana yang lebih tinggi. Reaktor satu tahap dapat menghasilkan biogas dengan kandungan metana sebesar 50-60% [8] sementara bioreaktor dua tahap berpotensi menghasilkan 75% metana [9]. Tingkat kegagalan reaktor dua tahap sebagai akibat dari perubahan pH atau *amonia build-up* pada reaktor dua tahap juga lebih rendah [10].

2. Metode Penelitian

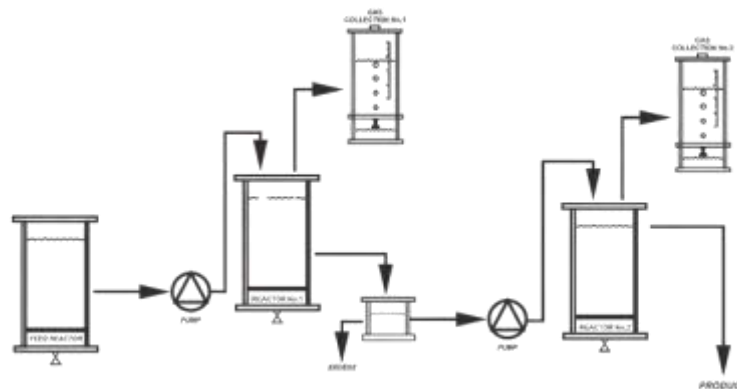
A. Alat dan Bahan

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini antara lain lindi yang berasal dari salah satu TPA di Jawa Barat, eceng gondok yang tumbuh di Waduk Cirata dan rumen sapi dari peternakan yang berada di kawasan Bandung. Pada tahap seeding dan aklimatisasi, digunakan starter mikroorganisme sebanyak 100 mL, lindi sebanyak 500 mL, dan ekstrak eceng gondok sebanyak 200 mL. Pada reaktor asidogen pH berada di rentang 4 – 5 sedangkan pada reaktor metanogen pH berada di rentang 6,4 – 7,4. Kondisi reaktor asidogen memiliki pH asam sekitar 4 – 5. Reaktor metanogen diatur dengan pH 6,4 – 7,4 jika pH terlalu kecil maka mikroorganisme pembentuk metana tidak akan bekerja maksimal sehingga perlu ditambahkan Natrium Karbonat (Na₂CO₃). Temperatur kedua reaktor dijaga ±25 °C (suhu ruangan).

Pada tahapan ini dilakukan pengujian konsentrasi COD, MLVSS, nilai pH, volume biogas dan komposisi biogas. Seeding dan Aklimatisasi dilakukan hingga diperoleh penurunan konsentrasi COD yang tunak dengan fluktuasi <10% [10]. Reaktor yang digunakan merupakan suatu rangkaian yang didesain khusus untuk meningkatkan produksi biogas melalui proses anaerobik sebagaimana terlampir pada **Gambar 1**. untuk bioreaktor satu tahap dan **Gambar 2** untuk bioreaktor dua tahap. Masing-masing bioreaktor memiliki volum aktif 1L, dilengkapi dengan tangki umpan dan pengukur gas.



Gambar 1. Skema bioreaktor satu tahap



Gambar 2. Skema bioreaktor dua tahap

B. Analisa

Pada penelitian ini, COD (*Chemical Oxygen Demand*) merupakan parameter yang merepresentasikan konsentrasi substrat, sedangkan MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*) digunakan untuk merepresentasikan konsentrasi mikroorganisme. Analisis COD dilakukan dengan metode reflux tertutup secara titrimetri (SNI 6989.73:2009) dan analisis MLVSS dilakukan dengan metode gravimetri merujuk pada cara uji padatan tersuspensi total (*Total Suspended Solid, TSS*) secara gravimetri (SNI 06-6989.3-2004).

Volume biogas yang terbentuk akan terukur dalam alat pengukur gas berbentuk silinder tertutup dimana sebagian kolom terendam dalam wadah terbuka berisi air. Metode ini mengadaptasi metode pengukuran volum biogas yang dilakukan oleh Walker dkk [11] yang kemudian digunakan dalam studi mengenai proses anaerobik untuk limbah cair lindi sampah kota [12] dan untuk limbah cair kelapa sawit (POME) [7].

3. Hasil dan Pembahasan

A. Karakterisasi Bahan

Proses pengolahan lindi melalui proses anaerobik pada penelitian ini dilakukan melalui dua tahapan proses, diawali dengan tahap aklimatisasi pada kondisi batch dan dilanjutkan pada tahap operasi dimana reaktor dioperasikan semi kontinyu dengan adanya penambahan umpan. Tahap aklimatisasi merupakan masa pengkondisian awal dimana reaktor asidogen dioperasikan pada kondisi asam sehingga bakteri asidogenik dapat tumbuh dengan baik untuk memaksimalkan penurunan kadar pencemar dalam lindi. Reaktor metanogen dijalankan pada kondisi netral sehingga diharapkan produksi gas metana dapat berjalan optimal. Reaktor satu tahap dioperasikan pada kondisi netral sehingga proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung secara simultan dalam reaktor.

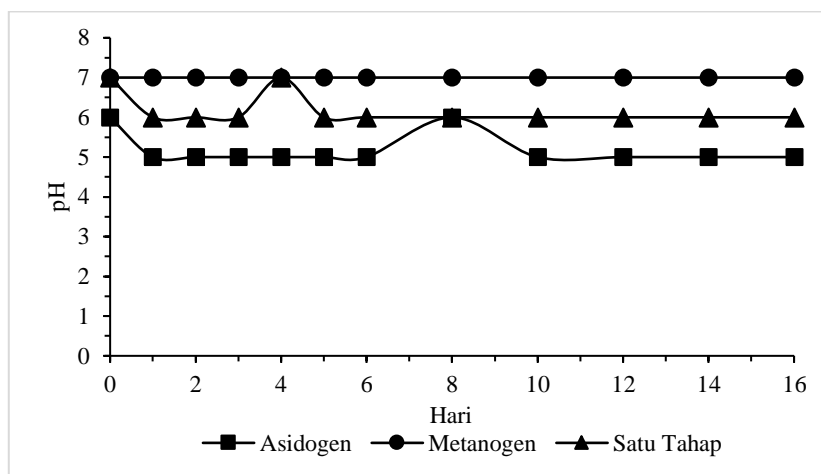
Analisis karakteristik awal bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari lindi dan starter mikroorganisme IPL TPA Sarimukti. Analisis karakterisasi lindi, starter mikroorganisme dan eceng gondok meliputi analisis COD, pH, serta MLVSS (Tabel 2).

Tabel 2. Karakteristik lindi, starter mikroorganisme dan eceng gondok

Parameter	Satuan	Lindi	Starter Mikroorganisme	Ekstrak Eceng Gondok
Temperatur	°C	25	25	25
pH	-	8	8	6
COD	mg/L	7200	24400	200
MLVSS	mg/L	17795	19005	-

B. Proses Aklimatisasi

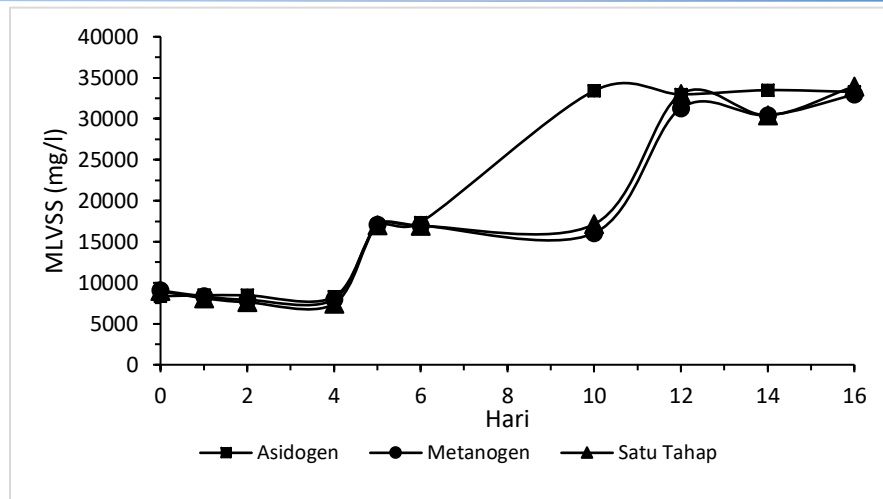
Pada penelitian ini tidak dilakukan proses seeding tidak dilakukan karena mikroorganisme yang digunakan sebagai starter inoculum berasal dari kolam anaerobik IPAL TPA yang sudah terbiasa mengolah limbah yang digunakan pada penelitian ini. Tahap aklimatisasi dimaksudkan sebagai tahap adaptasi mikroorganisme untuk dapat menyesuaikan dengan kondisi reaktor penelitian, selain itu juga dilakukan penyesuaian pH reaktor sesuai dengan kondisi optimum proses dua tahap untuk raksi asidogenesis, reaksi metanogenesis dan proses satu tahap. Hasil pengamatan pH yang dilakukan selama proses anaerobik ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. pH reaktor selama tahap aklimatisasi

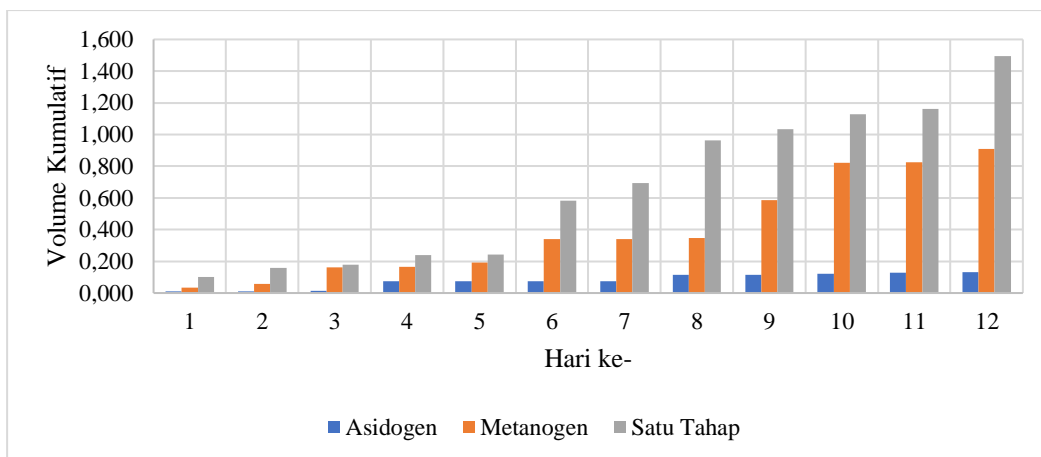
Berdasarkan **Gambar 3**, terlihat perubahan pH selama proses pengolahan tidak signifikan dikarenakan pada penelitian ini menjaga pH agar tetap stabil. Pada anaerobik dua tahap reaktor asidogenesis nilai pH dipertahankan berada pada rentang 4-5 [13] yaitu pH yang optimum bagi mikroorganisme hidrolisis untuk mengubah senyawa kompleks menjadi asam volatil. Dari hasil pengamatan didapatkan hasil yang stabil, hal ini dapat mendukung mikroorganisme metanogenesis untuk tumbuh dan mengubah asam volatil menjadi gas metana (CH_4) dan CO_2 . Pada perubahan pH dalam proses ini terjadi karena perubahan suhu serta interaksi mikroorganisme [14]. Reaktor satu tahap dijaga pada pH 6, menurut Indriyati [15] bahwa proses anaerobik dapat berjalan pada rentang pH 6–8. Kondisi pH akan mempengaruhi pertumbuhan mikroorganisme dalam masing-masing reaktor yang terukur sebagai MLVSS sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 4**.

Berdasarkan **Gambar 4**, konsentrasi MLVSS pada proses aklimatisasi menunjukkan pada hari ke-1 sampai dengan hari ke-4 memiliki pertumbuhan yang lambat atau dapat disebut fase lag. Hal tersebut dapat disebabkan oleh kondisi mikroorganisme yang masih beradaptasi dengan reaktor baru. Pada hari ke-5 menunjukkan peningkatan pertumbuhan (fase eksponensial) pada setiap reaktor dengan konsentrasi MLVSS sebesar 17.005 mg/L (reaktor asidogen), 17.075 mg/L (reaktor metanogen), dan 16.990 mg/L (reaktor tunggal). Pada hari ke-8, menambahkan umpan sebanyak 220 mL dengan konsentrasi MLVSS 18.840 mg/L, yang menyebabkan konsentrasi MLVSS reaktor metanogen menurun pada hari ke-10 sebesar 16.060 mg/L. Selanjutnya pada hari ke-12 konsentrasi MLVSS di seluruh reaktor menunjukkan konsentrasi yang relatif stabil karena berada pada fase stasioner. Untuk mempertahankan konsentrasi mikroorganisme di fase stasioner, maka tahap aklimatisasi dihentikan dan dilanjutkan dengan tahap operasi.



Gambar 4. pH reaktor selama tahap aklimatisasi

Pada akhir tahap aklimatisasi, diperoleh efisiensi penurunan COD bioreaktor asidogenik sebesar 78%. Hasil ini lebih besar dibandingkan dengan efisiensi penurunan COD bioreaktor satu tahap yaitu sebesar 69%. COD merupakan parameter utama dalam penelitian ini yang digunakan untuk mengetahui penurunan zat organik selama proses pengolahan, penggunaan pH asam di bioreaktor asidogen terbukti berpengaruh terhadap aktivitas mikroorganisme asidogenik sehingga dihasilkan efisiensi penurunan COD yang lebih tinggi. Indikator lain berlangsungnya proses anaerobik dengan baik dalam tahap aklimatisasi adalah dihasilkan biogas sebagaimana terlampir dalam Gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. pH reaktor selama tahap aklimatisasi

Pada hari ke-1 hingga hari ke-4 tahap aklimatisasi, mikroorganisme masih berada pada fase lag sehingga sedikit volume biogas yang terbentuk pada ketiga reaktor. Produksi biogas meningkat setelah hari ke-5 ketika mikroorganisme berada pada fase eksponensial dan fase stasioner. Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa volume biogas kumulatif tertinggi dihasilkan oleh reaktor satu tahap yaitu sebesar 1,495 L di hari ke-12. Hal ini dikarenakan pada reaktor satu tahap proses asidogenesis dan metanogenesis berlangsung secara simultan sehingga gas dihasilkan pada kedua tahapan proses. Proses asidogenesis mengubah senyawa rantai pendek hasil proses pada tahap hidrolisis menjadi asam organik volatil (asam asetat, asam laktat, asam propionat), selain itu juga dihasilkan gas hidrogen (H₂) dan karbondioksida. Sedangkan pada proses metanogenesis, mikroorganisme metanogenik akan mengkonversi asam organik volatil menjadi gas metan (CH₄) dan karbondioksida (CO₂) [16].

4. Kesimpulan

Penggunaan pH asam di bioreaktor asidogenik berpengaruh pada pertumbuhan bakteri asidogenik dengan diperolehnya fase lag yang lebih singkat yaitu 4 hari dibandingkan dengan bioreaktor tunggal. Hal ini juga mempengaruhi performa reaktor untuk menurunkan konsentrasi COD. Bioreaktor dua tahap

menghasilkan efisiensi penurunan COD yang lebih tinggi yaitu sebesar 78% sedangkan pada bioreaktor satu tahap diperoleh efisiensi penurunan COD sebesar 69%.

5. Referensi

- [1] N.I. Said and D.R.K. Hartaja, “Pengolahan Air Lindi Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob dan Denitrifikasi,” *Jurnal Air Indonesia*. vol.8(1), Feb.2018.
- [2] P. Safria and A. Perdana, “Evaluasi dan Optimalisasi Instalasi Pengolahan Lindi di TPK Sarimukti,” *Jurnal Reka Lingkungan*. vol.10(1), 2021.
- [3] Y. Xiao, F. Zan, W. Zhang, and T Hao, “Alleviating nutrient imbalance of low carbon-to-nitrogen ratio food waste in anaerobic digestion by controlling the inoculum-to-substrate ratio,” *Bioresour Technol*.vol.346:126342, Feb.2022.
- [4] R. Xu, K. Zhang, P. Liu, A. Khan, J. Xiong, and F. Tian, “A critical review on the interaction of substrate nutrient balance and microbial community structure and function in anaerobic co-digestion,” *Bioresour Technol*. 247:1119–27, Jan.2018.
- [5] S. M. Rambe, “Evaluasi Reaktor Hidrolisis-Acidogenesis Sebagai Bioreaktor Intermediate Proses Pada Pra Pembuatan Biogas Dari Limbah Cair PKS Pada Skala Pilot Plant,” *J. Din. Penelit. Ind.*, vol. 27(2), pp. 94–102, 2016
- [6] R. Borja, “Biogas Production,” no. April 2016, pp. 1–24, 2017, doi: 10.1016/B978-0-12-809633-8.09105-6.
- [7] L.I. Ramadhani, S.I. Damayanti, H. Sudibyoy, M.M. Azis, and W. Budhijanto, “The Impact of Hydraulic Retention Time on the Biomethane Production from Palm Oil Mill Effluent (POME) in Two-Stage Anaerobic Fluidized Bed Reactor,” *International Journal of Renewable Energy Development*. Vol.10(1), 11-16, 2021.
- [8] S.M. Stronach, T. Rudd, and J.N. Lester, (1986). *Anaerobic digestion processes in industrial wastewater treatment: Vol. Vol. 2*. Springer Science & Business Media.
- [9] A. Schnürer and Å. Jarvis, (2010) *Microbiological Handbook for Biogas Plants Swedish Waste Management U2009:03 Swedish Gas Centre Report 207*. Svenskt Gesteknikskt CenterAB.
- [10] L.I. Ramadhani, S.I. Damayanti, H. Sudibyoy, and W. Budhijanto, “Kinetics of Anaerobic Digestion of Palm Oil Mill Effluent (POME) in Double-Stage Batch Bioreactor with Recirculation and Fluidization of Microbial Immobilization Media” *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering*, 2018.
- [11] M. Walker, Y. Zhang, S. Heaven and C. Banks, “Potential Errors in the Quantitative Evaluation of Biogas Production in Anaerobic Digestion Processes,” *Bioresour. Technol*. 100 6339-6346, 2010.
- [12] E. Prasetyo, H. Sudibyoy, and W. Budhijanto, “Determination of the optimum hydraulic retention time in two-stage anaerobic fluidized bed bioreactor for landfill leachate treatment,” *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 49, no. 3, pp. 388–399, 2017
- [13] M.N, Dewi, and R. Visca, “Potensi Limbah Cair Organik Sebagai Bahan Baku Biogas Menggunakan Sistem Fermentasi Dua Tahap,” *Jurnal Migasian*. Vol. 4(2), 2580–5258, 2020.
- [14] E. Novita, S. Wahyuningsih, H.A. Pradana, “Variasi Komposisi Input Proses Anaerobik untuk Produksi,” *Jurnal Agroteknologi*. vol.12(1), 2018.
- [15] Indriyati, “Pengolahan Limbah Cair Organik Secara Biologi Menggunakan Reaktor Anaerobik Lekat Diam. Pengolahan Limbah Cair Organik Secara Biologi,” *Jurnal Air Indonesia*. vol. 1(3), 2005.
- [16] K. Amri, and P. Wesen, “Pengolahan Air Limbah Domestik Menggunakan Biofilter Anaerob Bermedia Plastik (Bioball),” *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*. vol 7(2), 2015.