

Kinetika Penyisihan COD dan Pertumbuhan Biomassa pada Aplikasi Lumpur Aktif pada Air Limbah Industri Tahu

Anshah Silmi Afifah¹, I Wayan Koko Suryawan^{2*}

¹*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik
Universitas Universal*

E-mail: silmi.kbub@gmail.com

²*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Perencanaan Infrastruktur
Universitas Pertamina*

E-mail: i.suryawan@universitaspertamina.ac.id

Abstract

Tofu wastewater is one of the residues produced by the industry, where this residue is greater than the product. Activated sludge is one of the conventional wastewater treatment techniques that can be applied to the tofu industry. Kinetic parameters are an important basis in bioreactor design. This study aims to determine the specific growth rate (μ) and the rate of degradation of the substrate (q) in the bioreactor of tofu wastewater treatment with an activated sludge process. This study consisted of three stages, namely acclimatization 1, acclimatization 2, and the process of treating wastewater purely. Specific growth rates at each stage of acclimation 1, acclimation 2, and running were 0.0589 days^{-1} , 0.0539 days^{-1} , and 0.0478 days^{-1} . Whereas the value of substrate removal rate is 0.4591 day^{-1} , 0.4179 day^{-1} , and 0.3761 day^{-1} , respectively.

Keywords: activated sludge, specific growth rate, substrate degradation rate, tofu wastewater

PENDAHULUAN

Produksi produk tahu di Indonesia semakin meningkat dan masih menggunakan teknologi sederhana (Sakinah *et al.*, 2019). Penggunaan teknologi sederhana ini memiliki efisiensi yang rendah dimana residu lebih besar dibandingkan dengan produk. Pada proses produksi tahu dengan bahan baku 1 ton kedelaihari⁻¹ akan menghasilkan air limbah sebesar sebesar 8500 Lhari⁻¹ (Hikmah *et al.*, 2019). Air limbah tahu merupakan hasil dari proses pencucian, perendaman, penggumpalan, dan pencetakan selama pembuatan tahu. Air limbah industri tahu berpotensi dalam pencemaran lingkungan pada badan air. Menurut Adack (2013), sebagian besar industri tahu membuang air ke badan air. Berbagai dampak lingkungan yang mungkin terjadi akibat pembuangan limbah cair secara langsung ke badan air adalah toksik terhadap biota sekitar dan eutrofikasi (Wang dan Serventi, 2019; Widada, 2019; Suryawan *et al.*, 2019a). Mencegah terjadinya dampak tersebut industri tahu harus memiliki teknologi pengolahan yang tepat guna.

Lumpur aktif merupakan salah satu teknik pengolahan air limbah konvensional yang digunakan dalam negara berkembang (Suryawan *et al.*, 2019b). Penelitian terdahulu teknologi lumpur aktif memberikan hasil positif dalam pengolahan air limbah tahu. Penurunan konsentrasi COD (*chemical oxygen demand*) air limbah tahu dari konsentrasi 496 mg/L menjadi 250 mg/L dengan MLVSS sekitar 692-1104 mg/L (Ratnasari, 2012). Efisiensi lebih tinggi dihasilkan oleh penelitian Sudaryanti *et al.* (2012), dimana nilai MLVSS sebesar 2265 mg/L mampu menyisihkan COD limbah cair industri tahu dengan effluent 46,645 mg/L.

Parameter kinetika merupakan dasar penting dalam desain bioreaktor. Berdasarkan uraian yang telah dikemukakan pada latar belakang, maka yang menjadi masalah dalam penelitian ini adalah mencari nilai parameter yang berkaitan dengan kinetika pengolahan biologi yaitu laju utilisasi substrat (q), dan *specific growth rate* (μ) agar dapat digunakan untuk perancangan sistem bioreaktor pada proses perombakan aerob (Dwiyantara dan Nugrahini, 2013).

Lumpur aktif aerob adalah reaktor biologis di mana dilakukan transfer oksigen yang relatif besar kepada bakteri aerob, selain itu terdapat reaksi oksidasi karbon dan nitrifikasi adalah dua reaksi yang terjadi di tangki aerasi. Dengan adanya oksigen terlarut yang cukup, pertumbuhan mikroba yang optimal dan maka penyisihan polutan dapat berlangsung. Pertumbuhan bakteri berlangsung dengan baik akan membentuk padatan tersuspensi. Rendahnya konsentrasi oksigen terlarut (DO) dapat menyebabkan akumulasi nitrit karena proses nitrifikasi. Konsentrasi DO yang lebih tinggi akan menghasilkan pengurangan kompetisi antara mikroorganisme untuk memanfaatkan oksigen dan proses nitrifikasi dapat menyebabkan peningkatan konsumsi daya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui laju pertumbuhan spesifik (μ) dan laju degradasi substrat (q) pada reaktor pengolahan air limbah tahu dengan proses lumpur aktif. Penelitian ini juga melihat korelasi dari setiap tahapan proses percobaan (aklimatisasi dan *running*) terhadap nilai μ dan q .

METODE PENELITIAN

Reaktor dan Pengukuran Kualitas Air

Reaktor lumpur aktif yang digunakan dalam penelitian ini memiliki volume sebesar 2 L dengan penambahan aerasi dengan laju aliran sebesar 2 L/menit. DO dan pH diukur setiap hari menggunakan alat DO meter dan pH meter. MLVSS (*mixed liquor volatile suspended solids*) diukur dengan metode gravimetri sesuai dengan *Standard Method* 1684. Nilai COD yang diukur adalah COD terlarut dengan menggunakan refluks tertutup sesuai dengan *Standard Method* 2220. Periode pengukuran setiap parameter adalah sampai dengan konsentrasi konstan. Tahapan proses pengolahan terdiri dari aklimatisasi 1 yaitu dengan penambahan 75% glukosa pada 25% air limbah tahu. Aklimatisasi tahap 2 yaitu penambahan 25% glukosa pada 75% air limbah tahu. Sedangkan pada proses *running* menggunakan 100% air limbah tahu.

Perhitungan Laju Pertumbuhan Spesifik (μ)

Menurut Pirbazari *et al.* (1996), nilai μ merupakan salah satu indikator tingkat biodegradabilitas proses pengolahan air limbah. Dalam interval waktu singkat (dt) terjadi kenaikan jumlah biomassa (dx) yang proporsional dengan jumlah biomassa yang ada (x). Nilai μ yang rendah menunjukkan pertumbuhan mikroorganisme yang lambat.

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \quad (1)$$

dx/dt = laju pertumbuhan populasi
 μ = laju pertumbuhan spesifik
 X = laju pertumbuhan persatuan jumlah biomassa

Nilai μ dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Perez Garcia *et al.*, 2010) jumlah sel biomassa akan bertambah secara eksponensial sehingga didapatkan persamaan laju pertumbuhan spesifik sebagai berikut:

$$\ln \frac{X_n}{X_0} = \mu t \quad (2)$$

dimana:

X_n = konsentrasi biomassa hari ke-n, mg/L
 X_0 = konsentrasi biomassa hari ke-0, mg/L
 t = waktu ke-n

Plotkan nilai (t) terhadap ($\ln X$) dan buat garis regresinya dimana *slope* merupakan laju pertumbuhan spesifik (μ).

Perhitungan Laju Degradasi Substrat (q)

Persamaan kecepatan spesifik penyisihan substrat mengikuti persamaan reaksi orde satu (persamaan 3) (Reynolds, 1982).

$$dC/dt = k C^n \quad (3)$$

dimana:

C = konsentrasi substrat, mg/L

Dengan memplotkan nilai $\ln(C_0-C)$ dan waktu maka akan didapatkan nilai q atau ketetapan laju degradasi substrat (q). Penurunan COD menunjukkan bahwa mikroorganisme bekerja dengan baik sehingga proses dapat berlangsung karena dapat mendegradasi atau menyisihkan senyawa-senyawa organik di dalam limbah cair.

HASIL

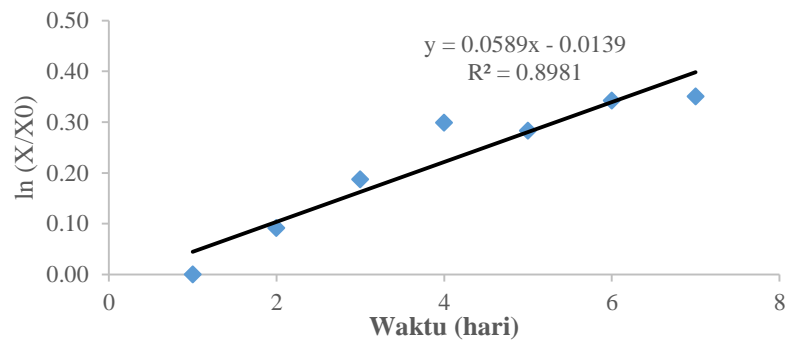
Laju Pertumbuhan Spesifik (μ)

Perhitungan laju pertumbuhan spesifik dihitung berdasarkan data pada Tabel 1. Nilai μ tergantung dari jumlah konsentrasi pembatas nutrisi (*limiting nutrient*) yang berfungsi sebagai sumber karbon, penerima elektron, sumber nitrogen, dan berbagai faktor yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk berkembangbiak (Grady *et al.*, 1999).

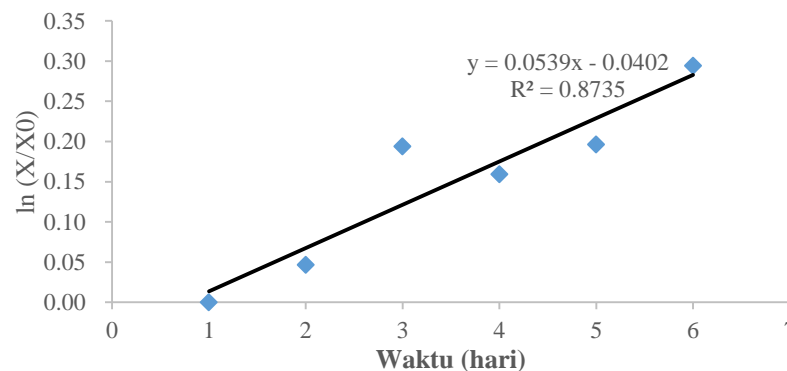
Tabel 1. Pengukuran MLVSS pada setiap tahap penelitian pada proses lumpur aktif

Waktu (hari)	MLVSS (g/L)		
	Aklimatiasi 1	Aklimatiasi 2	Running
1	1,64	1,64	1,92
2	1,80	1,72	1,97
3	1,98	2,00	2,11
4	2,22	1,93	2,17
5	2,18	2,00	2,30
6	2,31	2,21	2,24
7	2,33		2,29

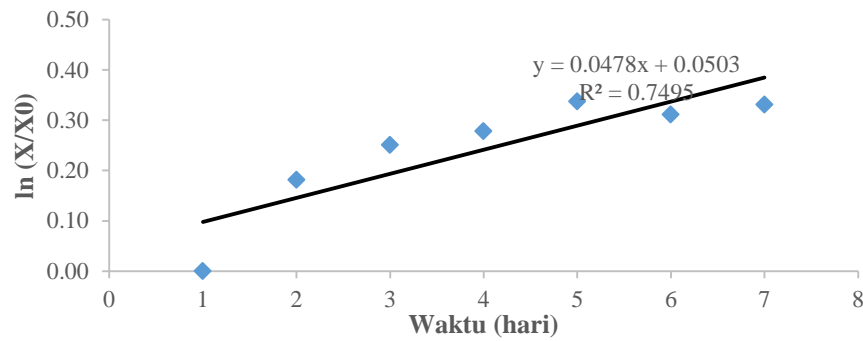
Dengan mengikuti persamaan laju reaksi orde satu maka didapatkan persamaan 2 maka didapatkan nilai μ untuk masing - masing pertumbuhan pada masing masing tahap aklimatisasi. Kemudian dilakukan perhitungan μ pada masing – masing tahap berdasarkan persamaan 2. Hasil plot antara nilai (t) terhadap (ln X) pada setiap tahap penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



(a)



(b)



(c)

Gambar 1. Plot antara nilai (t) terhadap (ln X) pada setiap tahap penelitian (a) Aklimatisasi 1, (b) Aklimatisasi 2, dan (c) *Running*.

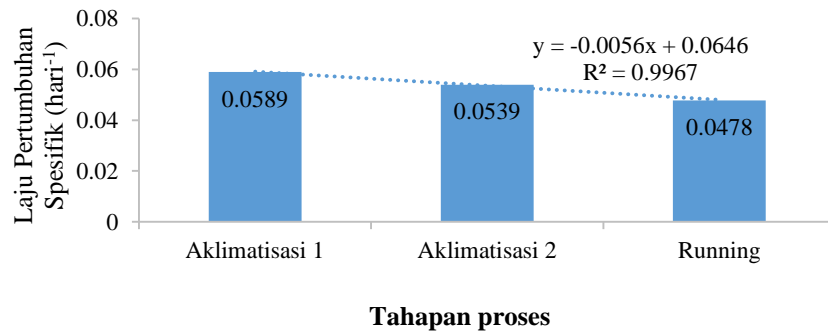
Hasil perhitungan menunjukkan laju pertumbuhan spesifik pada tahap aklimatisasi 1 lebih besar yaitu 0.0589 hari⁻¹ dibandingkan dengan aklimatisasi 2 yaitu 0.0539 hari⁻¹ dan *running* yaitu 0.0478 hari⁻¹. Pertumbuhan mikroorganisme yang optimum terjadi karena penambahan glukosa tertinggi yaitu pada aklimatisasi 1. Berdasarkan persamaan linier laju pertumbuhan spesifik memiliki korelasi negatif dengan tahapan proses pengolahan dengan R² sebesar 0.9967.

Laju Degradasi Substrat (q)

Penguraian zat organik oleh mikroorganisme dalam lingkungan anaerob bisa berlangsung bila mikroorganisme tersebut menggunakan molekul selain oksigen (O₂) sebagai akseptor elektron. Penyisihan bahan-bahan organik sebagai substrat diukur dalam bentuk COD. Hasil pengukuran COD untuk setiap tahapan dapat dilihat pada Tabel 2. Sedangkan plot nilai ln (Co-C) dan waktu pada persamaan reaksi orde satu dapat dilihat pada Gambar 3.

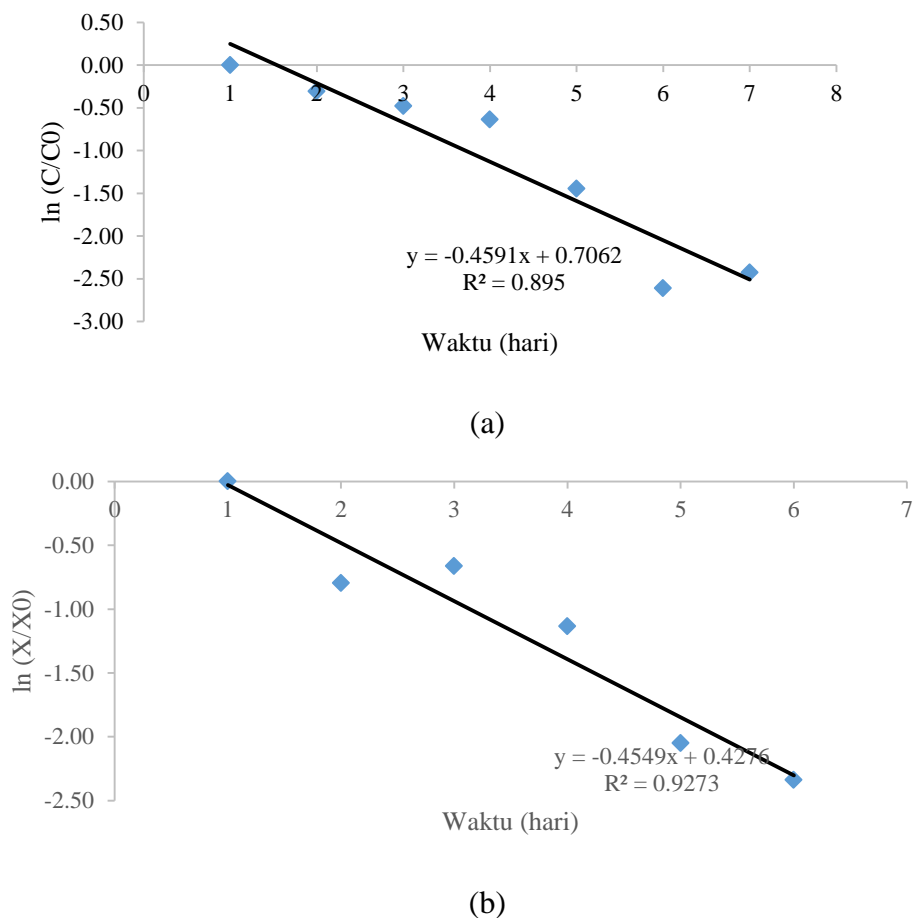
Tabel 2. Pengukuran COD pada setiap tahap penelitian pada proses lumpur aktif

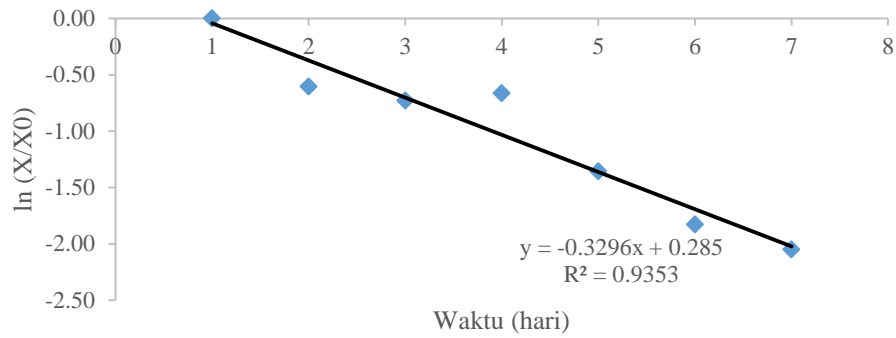
Waktu (hari)	COD (g/L)		
	Aklimatisasi 1	Aklimatisasi 2	<i>Running</i>
1	2,72	1,24	1,04
2	2,00	0,56	0,68
3	1,68	0,64	0,60
4	1,44	0,40	0,64
5	0,64	0,16	0,32
6	0,20	0,12	0,20
7	0,24		0,16



Gambar 2. Korelasi antara laju pertumbuhan spesifik dan tahap penelitian

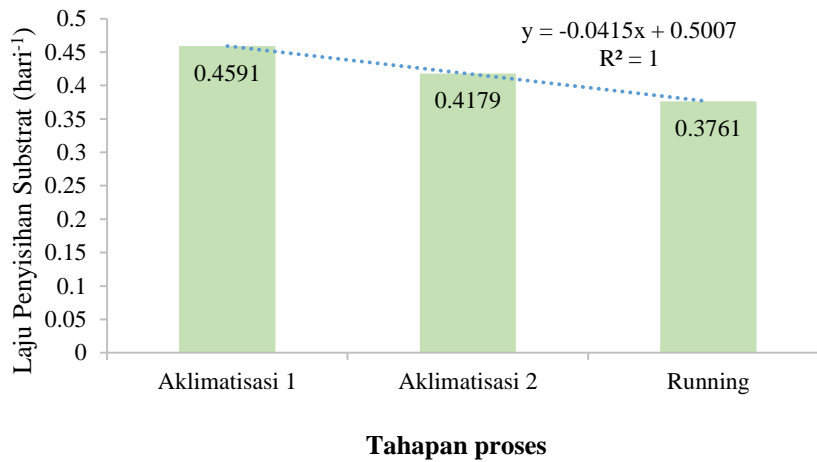
Hasil perhitungan menunjukkan nilai laju penyisihan substrat cenderung tidak jauh berbeda untuk masing – masing tahapan (Gambar 4a). Nilai laju penyisihan substrat pada tahap aklimatisasi 1, aklimatisasi 2, dan *running* yaitu 0.4591 hari⁻¹, 0.4179 hari⁻¹, dan 0.3761 hari⁻¹. Sedangkan untuk efisiensi penyisihan cenderung menurun untuk setiap tahapan yaitu 91.18% saat aklimatisasi 1, 90.35% saat aklimatisasi 2, dan 84.62% saat *running*. Korelasi laju penyisihan substrat dan tahapan proses penelitian menunjukkan hasil korelasi dengan nilai R² = 1. Berbeda dengan korelasi efisiensi reduksi hanya menunjukkan nilai R² sebesar 0.8424. Nilai korelasi cenderung menurun seiring dengan semakin meningkatnya perbandingan jumlah limbah tahu dalam penelitian.



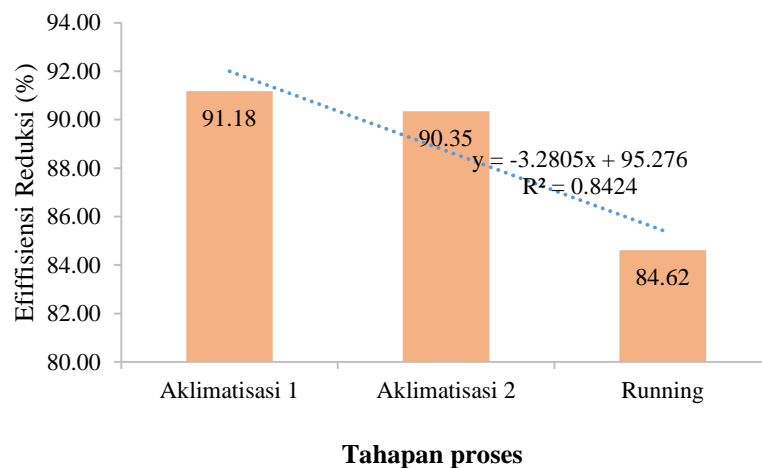


(c)

Gambar 3. Plot antara nilai ln(Co-C) dan waktu pada setiap tahap penelitian (a) Aklimatisasi 1, (b) Aklimatisasi 2, dan (c) *Running*.



(a)



(b)

Gambar 4. Korelasi antara laju penyisihan substrat dan tahap penelitian (a) serta efisiensi reduksi COD dan tahap penelitian (b)

PEMBAHASAN

Hasil akhir pengolahan air limbah tahu dengan proses lumpur aktif suda memenuhi baku mutu untuk effluent menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah. Penyisihan COD dalam penelitian ini sebanding dengan penelitian Sakinah *et al.*, (2019) dan lebih tinggi dibandingkan dengan penelitian Widada (2019). Hasil ini tentu saja dapat ditingkatkan dengan pengolahan lanjutan. Mengingat saat ini industri harus melakukan langkah proakti dalam pengelolaan limbah. Penggunaan kembali air limbah dengan teknologi lanjutan didalam suatu industri merupakan tantangan suatu tantangan dimasa sekarang (Suryawan *et al.*, 2020).

Nilai μ pada aklimatisasi 25% limbah tahu dan 75% glukosa adalah 0.0589 hari⁻¹, ini menunjukkan substrat dapat digunakan sebagai subtrat sekunder. μ pada aklimatisasi 75% limbah tahu dan 25% glukosa adalah 0.0539 hari⁻¹ menunjukkan substrat sudah dapat didegradasi sebagai substrat primer dalam pengolahan limbah tahu.

Laju degradasi pada aklimatisasi 25% limbah tahu dan 75% glukosa adalah 0.4591 hari⁻¹ dan q pada aklimatisasi 75% limbah tahu dan 25% glukosa adalah 0.4179 hari⁻¹. Nilai ini cenderung menurun seiring dengan penambahan beban substrat limbah tahu pada setiap tahap aklimatisasi. Nilai μ pada tahap *running* adalah 0.0478 hari⁻¹. Hal ini menunjukkan laju pertumbuhan lebih lambat daripada tahap aklimatisasi. Dalam penelitian lain dengan menggunakan proses anaerob menunjukkan hasil yang lebih baik seperti yang dilakukan oleh Chu *et al.* (2013), Chen *et al.* (2011), dan Mahmoud (2017) (Tabel 3). Penelitian lain memperlihatkan hasil yang mendekati hasil perhitungan laju pertumbuhan spesifik dalam penelitian ini (Manfaati, 2010; Suryawan dan Sofiyah, 2020). Sedangkan laju degradasi substrat pada tahap *running* 100% limbah ini menunjukkan nilai yang lebih kecil yaitu 0.3761 hari⁻¹ dari pada tahap aklimatisasi yang mencapai 0.4591 hari⁻¹ dan 0.4179 hari⁻¹.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Nilai Laju Pertumbuhan Spesifik dari Penelitian terdahulu

Sumber	Laju Pertumbuhan Spesifik	Kondisi Lumpur Aktif
Chu et al., 2013	0.28 jam ⁻¹	Menggunakan <i>mixed culture</i> dengan air campuran limbah industri
Chen et al., 2011	0.33 jam ⁻¹	Menggunakan lumpur aktif dengan kondisi CSTR (<i>continuous stirred tank reactor</i>)
Manfaati, 2010	0,02-0,036 jam ⁻¹	Penggunaan biomassa bakteri <i>Rhizopus oryzae</i> , dalam mengolah air limbah tahu
Suryawan dan Sofiyah, 2020	0.027 jam ⁻¹	Pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan <i>mixed culture</i> dari mikroalga
Mahmoud, 2017	0.358 jam ⁻¹	Penggunaan <i>Mixed Culture Methanotrophic Bacteria</i> dalam lumpur aktif
Fergala <i>et al.</i> , 2018	0.018 ± 0.001 jam ⁻¹	Penggunaan <i>Methanotrophic Bacteria</i> dalam lumpur aktif dalam penyisihan ammonium

KESIMPULAN

Hasil perhitungan laju pertumbuhan spesifik (μ) dan laju degradasi substrat (q) pada pengolahan air limbah tahu dengan lumpur aktif menunjukkan penurunan nilai pada masing-masing tahapan. Laju menunjukkan penurunan nilai pada tahap aklimatisasi 1 sebesar 0.0589 hari^{-1} sedangkan pada tahap aklimatisasi 2 dan *running* adalah 0.0539 hari^{-1} dan 0.0478 hari^{-1} . Laju penyisihan substrat masing-masing yaitu 0.4591 hari^{-1} , 0.4179 hari^{-1} , dan 0.3761 hari^{-1} .

DAFTAR PUSTAKA

- Adack, J., 2013. *Dampak Pencemaran Limbah Pabrik Tahu Terhadap Lingkungan Hidup*. Lex Administratum, 1(3).
- Chen, C. C., Wu, J. H., Lay, C. H., Sen, B., & Chang, J. S., 2011. *Kinetics Of Hydrogen Production From Condensed Molasses Fermentation Solubles Using Sewage Sludge In A Continuous Stirred Tank Reactor*. Environ. Res, 21(2): 117-121.
- Chu, C. Y., Tung, L., & Lin, C. Y., 2013. Effect Of Substrate Concentration and pH on Biohydrogen Production Kinetics From Food Industry Wastewater by Mixed Culture. *International Journal of Hydrogen Energy*. 38(35): 15849-15855.
- Dwiyantara, A., & Nugrahini, P. F., 2013. *Penentuan Nilai Parameter Kinetika Proses Dalam Perombakan Secara Anaerobik Limbah Cair Industri Gula, Tepung Tapioka, dan Minyak Kelapa Sawit Menggunakan 4 Reaktor UASB*. Bionatura. 15(1).
- Fergala, A., Al Sayed, A., & Eldyasti, A., 2018. *Behavior of Type II Methanotrophic Bacteria Enriched From Activated Sludge Process While Utilizing Ammonium as A Nitrogen Source*. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 130: 8-16.
- Grady, C. P. L., Daigger, G. T., & Lim, H. C. 1999. *Biological wastewater treatment: Principles and practice*. New York, Marcel Dekker
- Mahmoud, A. M. A., 2017. *Biological Conversion Process of Methane Into Methanol Using Mixed Culture Methanotrophic Bacteria Enriched From Activated Sludge System*.
- Manfaati, R., 2010. *Kinetika dan Variabel Optimum Fermentasi Asam Laktat dengan Media Campuran Tepung Tapioka dan Limbah Cair Tahu Oleh Rhizopus oryzae*. Doctoral Dissertation, Universitas Diponegoro.
- Perez-Garcia, O., De-Bashan, L. E., Hernandez, J. P., & Bashan, Y., 2010. *Efficiency of Growth and Nutrient Uptake From Wastewater by Heterotrophic, Autotrophic, and Mixotrophic Cultivation of Chlorella Vulgaris Immobilized With Azospirillum brasilense 1*. *Journal of Phycology*. 46(4): 800-812.
- Pirbazari, M., Varadarajan R., Badriyha, B. D., dan Kim, S.H., 1996. *Hybrid Membrane Filtration Process for Leachate Treatment*. *Wat. Res.*11: 2691–2706.
- Ratnasari, R. D., 2012. *Kemampuan Kombinasi Eceng Gondok dan Lumpur Aktif untuk Menurunkan Pencemaran pada Limbah Cair Industri Tahu*. *Jurnal Ilmiah Momentum*. 8(2).
- Reynolds. 1982. *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*, Texas A&M University, Brook/Cole Engineering Division, California.

- Sakinah, N. E., Rahmatullah, L. T., Kuncoro, E. P., & Oktavitri, N. I., 2019. *Performance of Sequencing Batch Reactor (SBR) of Treated Tofu Wastewater: Variation of Contact Time and Activated Sludge Sources*. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 259(1).
- Sudaryati, N. L. G., Kasa, I. W., & Suyasa, I. W. B., 2012. *Pemanfaatan Sedimen Perairan Tercemar Sebagai Bahan Lumpur Aktif dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. *Ecotrophic: Jurnal Ilmu Lingkungan (Journal of Environmental Science)*: 3(1).
- Suryawan, I. W. K., Prajati, G., Afifah, A. S., Apritama, M. R., & Adicita, Y., 2019a. *Continuous Piggery Wastewater Treatment With Anaerobic Baffled Reactor (Abr) by Bio-Activator Effective Microorganisms (EM4)*. *Indonesian Journal of Urban And Environmental Technology*. 3(1): 1-12.
- Suryawan, I., Siregar, M. J., Prajati, G., & Afifah, A. S., 2019b. *Integrated Ozone and Anoxic-Aerobic Activated Sludge Reactor for Endek (Balinese Textile) Wastewater Treatment*. *Journal of Ecological Engineering*. 20(7).
- Suryawan, I. W. K., Helmy, Q., & Notodarmojo, S., 2020. *Laboratory Scale Ozone-Based Post-Treatment From Textile Wastewater Treatment Plant Effluent For Water Reuse*. *Journal of Physics: Conference Series*. 1456(1).
- Suryawan, I. W. K., & Sofiyah, E. S., 2020. *Cultivation of Chlorella Sp. and Algae Mix for NH₃-N and PO₄-P Domestic Wastewater Removal*. *Civil and Environmental Science Journal*. 3(1).
- Hikmah, S. F., Rahman, A., Kholiq, I. N., & Andriani, Z. Z. D., 2019. *Teknologi Pengolahan Limbah Industri Tahu sebagai Upaya Pengembangan Usaha Kecil Menengah (UKM) di Kecamatan Gambiran Kabupaten Banyuwangi*. *Jurnal Istiqro*.5(1): 53-71.
- Wang, Y., & Serventi, L., 2019. *Sustainability of Dairy and Soy Processing: A Review on Wastewater Recycling*. *Journal of Cleaner Production*.
- Widada, A., 2019. *The Effectiveness Of Liquid Waste Treatment With Tofu Industry Aeration Method*. In 1st International Conference on Inter-Professional Health Collaboration (ICIHC 2018). Atlantis Press.