

Kajian Efisiensi Penyisihan BOD pada *Start-Up* Bioreaktor Hibrid Anaerob Menggunakan Substrat Limbah Cair Pabrik Sagu

KH. Sri Handayani ^{a,b*}, Adrianto Ahmad^a, Bahrudin^a

^aProgram Studi Magister Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293, Indonesia.

^bKementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Cipta Karya, Balai Prasarana Permukiman Wilayah Riau

ARTICLE HISTORY

Received : 03-02-2025

Accepted : 21-03-2025

Published : 24-03-2025

KEYWORDS

Sago Wastewater

BOD

TSS

Bioreactor

Start-Up

*correspondence author:

Email:

katharinasrihandayani28@gmail.com



ABSTRACT

The Meranti Islands Regency is renowned as one of the largest sago flour producers in Indonesia, with a total production of 202,186 tons of sago per year and wastewater production reaching 40,000 liters. The microorganism *Enterobacter aerogenes* is a facultative anaerobic hydrogen-producing bacterium through dark fermentation of sago liquid waste. This study aims to determine study on bod removal efficiency during the start-up phase of a hybrid anaerobic bioreactor, identify the biological oxygen demand (BOD) loading rate during start-up, and evaluate the BOD removal efficiency in the start-up phase. The sago wastewater was characterized for its BOD, pH, and VSS content before treatment. The first phase involved preparing cow dung extract, which serves as a medium. The second phase focused on biomass seeding and acclimatization using a sago medium. The acclimatization process utilized a daily discharge-and-fill method of 200 mL (total acclimatization volume of 12.5 L). Samples from the acclimatization process were analyzed for potential of hydrogen (pH) and volatile suspended solid (VSS) values. If the acclimatized VSS values were below 10%, the third phase (start-up phase) was initiated. The start-up phase was operated with a hydraulic retention time (HRT) of 48 hours. Output samples were analyzed for pH, VSS, and %BOD values until a consistent %BOD value below 10% was achieved. The final stage involved data collection for analyzing the kinetics of microorganism cell growth. The specific growth kinetics value (μ) of the mixed-culture microorganism cells during the start-up phase calculated with a result of $\mu=0.00617$. The highest BOD loading rate during the start-up phase occurred at the 1st hydraulic retention time (HRT), reaching 6.54 kg/m³/day, accompanied by the lowest BOD removal efficiency of 18.76%. In contrast, the lowest BOD loading rate was recorded at the 11th HRT, at 0.704 kg/m³/day, achieving the highest BOD removal efficiency of 91.26%.

1. PENDAHULUAN

Kabupaten Kepulauan Meranti terkenal sebagai salah satu penghasil tepung sagu terbesar di Indonesia dengan total produksi 202.186 ton sagu/tahun dan limbah cair yang dihasilkan 40.000 liter (Priyono dkk., 2013). Dengan estimasi limbah cair sagu yang dihasilkan per harinya 22.156 kL (Ul-Fadhli dkk., 2013). Menurut Bujang dan Ahmad (2000), untuk menghasilkan 1 kg tepung sagu akan dihasilkan air limbah sebanyak 20 liter. Kandungan ampas sagu dan pati yang cukup besar didalam air sisa pencucian memberikan kontribusi terhadap peningkatan konsentrasi BOD dan COD perairan secara signifikan. Hasil Kepmen LH No. KEP 51-/MENLH/10/1995 menjabarkan karakteristik limbah cair sagu yang dirangkum dalam Tabel 1.

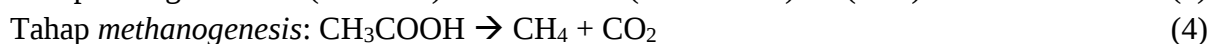
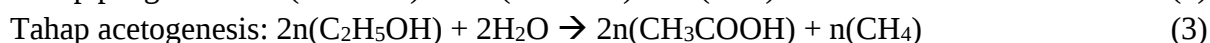
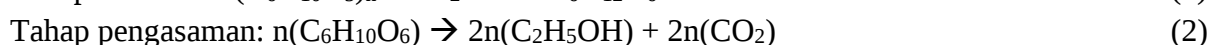
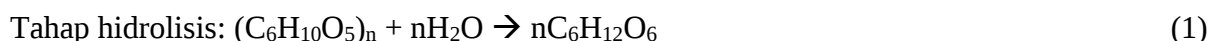
Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Sagu (Rahmadhan dkk., 2016)

Parameter	Nilai Terukur	Baku Mutu Lingkungan
pH	5,6	6,0-9,0
Chemical oxygen demand	50.000 mg/L	3000 mg/L
Total solid	3,76 g/L	2-4 g/L
Total volatile solid	0,64 g/L	0,2-0,4 g/L
Total suspended solid	1,27 g/L	0,2-0,4 g/L

*) Kepmen LH No. KEP 51-/MENLH/10/1995

Limbah cair sagu terdiri dari lignoselulosa yang mengandung komponen penting seperti pati dan selulosa (Supeni dan Nuryanto., 2013). Selulosa ($C_6H_{10}O_5$)_n merupakan komponen utama lignoselulosa yang berupa mikrofibril homopolisakarida dan merupakan biopolimer linier dari molekul anhidroglukopiranosida pada ikatan β -1,4 glikosidik yang berlimpah di alam (Dashtban dkk., 2014). Struktur selulosa umumnya berbentuk teratur (kristalin), tetapi ada bagian-bagian yang berbentuk tidak teratur (*amorf*). Tingkat kekristalan selulosa dapat mempengaruhi kemampuan hidrolisis baik melalui teknik konvensional maupun secara enzimatik (Toor dkk., 2011). Di dalam batang tanaman sagu mengandung 44,1 % selulosa. Nizzy. dkk (2020), melakukan penelitian di bidang energi dan lingkungan interdisipliner tampaknya mengalihkan upayanya dari "pengendalian polusi" menjadi "memanen sumber daya dari limbah".

Menurut Mbachu dkk (2020) proses degradasi bahan organik baik secara aerobik maupun anaerobik, diperoleh hasil dalam fase gas dan suspensi padat-cair. Proses degradasi secara aerobik dengan cukup oksigen, dapat berlangsung secara alamiah atau secara tiruan, sedangkan proses degradasi secara anaerobik dengan oksigen terbatas, juga dapat berlangsung secara alamiah atau tiruan. Penggunaan bahan baku organik, berfungsi sebagai sumber karbon dan nitrogen merupakan sumber kegiatan dan pertumbuhan mikroorganisme. Tahapan untuk terbentuknya biogas dari proses fermentasi anaerob dapat dipisahkan menjadi empat. Tahap pertama adalah tahap hidrolisis, tahap kedua adalah tahap pengasaman, tahap *acetogenesis*, tahap ketiga adalah tahap pembentukan gas CH₄ (Amaru., 2004).



Penanganan limbah cair pati sagu yang dilakukan dengan fermentasi anaerob dapat menggunakan teknologi penanganan limbah cair pati sagu (Ahmad dkk, 2009). Bioreaktor hibrid anaerob merupakan perpaduan antara komunitas bakteri tersuspensi dengan komunitas bakteri melekat yang berada dalam satu wadah kedap udara sehingga mampu menghasilkan biogas dan pupuk cair. Gas hasil tersebut dapat dikonversi menjadi bahan bakar dan energi listrik. Produksi gas hidrogen optimum dengan teknologi fermentasi anaerob dapat terjadi dalam rentang pH 4,0 – 6,5 dan suhu 30 -70 °C (Sabaraswaran., 2013). Gas hidrogen dapat dihasilkan dari fermentasi POME dengan teknologi fermentasi anaerob dalam kondisi pH 5 - 7, penambahan posfat buffer 10% dan NaCl 5%, sehingga menghasilkan biohidrogen dengan spesifikasi kadar BOD 2%

Proses biologis dengan bakteri tersuspensi adalah sistem pengolahan dengan menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa padatan yang ada dalam air dan mikroorganisme yang digunakan dibiakkan secara tersuspensi di dalam satu reaktor. Proses biologis dengan biakan melekat merupakan proses pengolahan limbah dimana mikroorganisme yang digunakan dibiakkan dalam suatu media sehingga mikroorganisme tersebut melekat pada permukaan media. Tujuan artikel ini adalah untuk menentukan efisiensi penyisihan BOD pada tahap *start-up* bioreaktor hibrid anaerob.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Pembuatan sampel membutuhkan peralatan yaitu satu set rangkaian alat bioreaktor hibrid anaerob, oven, desikator, leher angsa, gelas ukur cawan porselen, selang, pompa air, *sentrifuge*, neraca analitik, *furnace*, tangki influen, tangki *effluent* dan wadah penampungan. Adapun alat untuk analisis adalah pipet tetes, buret, pH meter, Erlenmeyer dan tabung reaksi. Sedangkan dalam pengujian sampel limbah cair sagu dan *treatment* dengan bioreaktor hybrid anaerob membutuhkan peralatan pH meter, satu unit alat pengujian VSS (cawan porselin, *furnace*, gelas beaker, kertas saring dan desikator), oven, satu unit alat pengujian BOD (Botol DO, lemari inkubasi, botol gelas, pipet volum, labu ukur, DO meter, shaker, blender, timbangan analitik). Bahan yang digunakan dalam pembuatan sampel penelitian ini yaitu, limbah cair sagu dari Kilang Sagu Maju Bina Bersama (MBB) Kabupaten Kepulauan Meranti dengan spesifikasi pada Tabel 2, yaitu kotoran sapi, larutan garam jenuh, gas nitrogen dan batu. Sedangkan bahan untuk analisis yaitu larutan kalium dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,05 M pro analis, katalis $AgSO_4$ pro analis, larutan ferro ammonium sulfat (FAS) 0,05 M pro analis, indikator ferroin, dan akuades.

Tabel 2. Spesifikasi Limbah Cair Sagu

Parameter	Satuan	Nilai Terukur	Baku Mutu Air Limbah*
pH	-	3,83	6,0-9,0
<i>Biological oxygen demand</i>	mg/L	16.000	50-150
<i>Volatile Suspended solid</i>	mg/L	386	3000

2.2 Metodologi

2.2.1 Preparasi Limbah Cair Sagu

Limbah cair sagu dikarakterisasi kandungan *biological oxygen demand* (BOD), pH, dan *volatile suspended solid* (VSS). Substrat yang dibutuhkan sekitar 11,25 liter dengan perbandingan *sludge*:air yaitu 1:1.

2.2.2 Tahapan Pembuatan Ekstrak Kotoran Sapi

Kotoran sapi yang diambil dari rumah potong hewan dicampurkan dengan air pada rasio 1:1 berdasarkan satuan volume (Winarni dkk., 2013). Kotoran sapi dan air diaduk hingga merata lalu campuran disaring dengan menggunakan kain dan diambil filtratnya. Kotoran sapi digunakan sebagai mikroorganisme pada produksi biohidrogen karena didalamnya terkandung beberapa bakteri yaitu *Clostridium sp*, *Butyricum*, dan *C. Sprogenes* dan unsur pendukung pertumbuhan mikroorganisme.

2.2.2 Tahapan Pembibitan (*Seedings*) Biomassa dan Aklimatisasi

Mikroorganisme yang digunakan yaitu kultur campuran (*mixed culture*) dari dasar kolam limbah cair pabrik sagu yang disaring dan dicampur dengan ekstrak kotoran sapi. Pada tahap ini, mikroorganisme dibibitkan pada pH 5,5 dan suhu 37°C. Kultur yang diperoleh kemudian dimasukan ke dalam digester anaerobik dan dibibitkan hingga volume 1,25 L. Proses aklimatisasi dilakukan dengan metoda buang dan isi (*fill and draw*) yaitu mengambil sampel di dalam tangki *effluent* dan mengisi kembali dengan substrat yang baru (limbah cair sagu) sebanyak sampel yang diambil setiap hari (Ahmad, 2004). Pada proses aklimatisasi, sampel yang diambil dari tangki *effluent* sebanyak 200 ml lalu ditambahkan 200 ml limbah cair industri sagu setiap harinya. Proses aklimatisasi berlangsung pada pH 5,5 dan suhu 37°C dengan volume sebanyak 12,5 L. Selama proses aklimatisasi, sampel dianalisis terhadap nilai pH dan konsentrasi biomassa yang dinyatakan sebagai *volatile suspended solid* (VSS). Proses aklimatisasi dapat dihentikan jika fluktuasi *volatile suspended solid* (VSS) kurang lebih dari 10%. Setelah selesai proses aklimatisasi, hasil dari aklimatisasi dimasukan kedalam bioreaktor dan didiamkan agar memberikan waktu untuk mikroorganisme membentuk *biofilm*.

2.2.3 Tahap Start-Up

Biomassa dari proses aklimatisasi dimasukkan kedalam badan bioreaktor dan diinjeksikan gas nitrogen ke dalam sistem untuk menghilangkan oksigen terlarut dan didiamkan selama 3 hari. Pada tahap *start up* kondisi operasi yang digunakan yaitu pH 5,5 dan suhu 37°C dengan volume sebanyak 12,5 L serta waktu retensi hidrolik (WRH) selama 48 jam. Keluaran dari hasil *start up* ditampung dan diambil untuk dianalisis. Proses *start up* dilakukan hingga tercapai keadaan tunak (*steady state*) dengan fluktuasi efisiensi penyisihan *biological oxygen demand* (BOD) dibawah 10%.

2.2.4 Kondisi Tunak

Kondisi pada saat sampel hasil tahap *start up* yang dianalisis memiliki kadar BOD yang konstan untuk setiap waktu pengujian. Sehingga kadar BOD yang tetap ini juga dipengaruhi oleh beban BOD yang mampu diserap oleh reaktor. Adapun beban BOD dapat diartikan sebagai jumlah BOD di dalam air limbah yang masuk (*influent*) dibagi dengan volume reaktor.

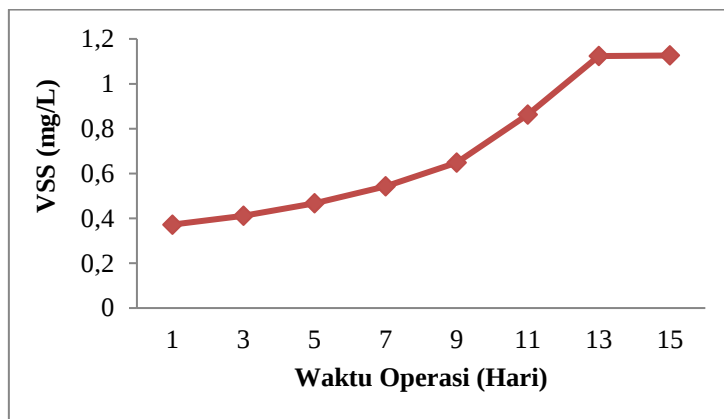
2.2.5 Pengumpulan dan Analisis Data

Pada proses *start up* data sampel akan diambil setiap hari untuk melihat penyisihan *volatile suspended solid* (VSS), *biological oxygen demand* (BOD) dan volume biogas. Pengumpulan data akan dilakukan setiap hari. Selanjutnya data dianalisis nilai *biological oxygen demand* (BOD), penyisihan padatan, *volatile fatty acid* (VFA) dan volume biogas yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahap pembibitan (*seeding*) bertujuan untuk menumbuhkan mikroorganisme (mikroba) pada media sehingga akan terbentuk lapisan tipis *biofilm* pada permukaan media dalam penelitian ini. *Mixed culture* merupakan mikroorganisme yang digunakan dan berasal dari fermentasi limbah cair sagu yang dicampur dengan filtrat kotoran sapi sebagai nutrisi pertumbuhan bibit mikroba. Tahap aklimatisasi mikroba bertujuan untuk mikroorganisme yang digunakan dalam proses degradasi mampu beradaptasi dengan substrat (limbah cair sagu), sehingga mikroorganisme dapat bekerja dengan maksimal (Iriani dkk, 2017). Proses aklimatisasi dilakukan dengan metoda buang dan isi (*fill and draw*) yaitu mengambil sampel

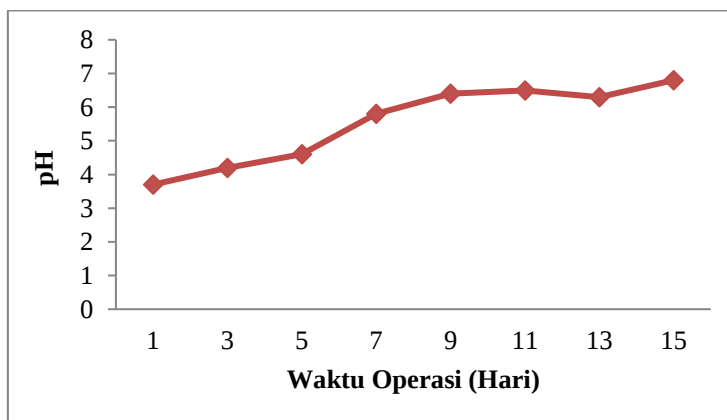
di dalam tangki efluen dan mengisi kembali dengan substrat yang baru (limbah cair sagu) sebanyak sampel yang diambil setiap hari (Ahmad, 2004). Hasil proses aklimatisasi, didapatkan pengaruh waktu operasi aklimatisasi terhadap nilai *volatile suspended solid* (VSS) dan potensial hidrogen (pH) yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perubahan nilai VSS terhadap perubahan waktu operasi pada tahap aklimatisasi

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa data perubahan nilai VSS terhadap perubahan waktu operasi membentuk *trend* grafik nilai VSS (g/L) vs waktu operasi (Hari) cenderung meningkat. Nilai VSS menandai jumlah mikroba yang berkembang biak, tumbuh, menyesuaikan diri dan bertahan hidup pada substrat (limbah cair sagu) semakin meningkat seiring penambahan waktu operasi (Ahmad, 2004), maka dapat dikategorikan pertumbuhan mikroba berlangsung cukup baik hingga hari ke-13. Pada hari ke-13 mulai terlihat lapisan biofilm semakin menebal dan memanjang yang dapat dilihat secara manual dengan penglihatan mata terbuka. Penebalan lapisan biofilm mengakibatkan penghambatan akses mikroorganisme terhadap nutrisi dan subtract yang berujung kematian mikroorganisme (Sanchez-Huerta, 2022). Hal ini menandai senyawa organik sudah tidak terdegradasi atau jumlah yang terdegradasi sangat sedikit (Ahmad, 2004) dan proses *start-up* telah selesai (Saputra dan Viena, 2020) mengakibatkan nilai VSS dari hari ke-13 hingga ke-15 cenderung konstan senilai 1,126 g/L.

Pada proses aklimatisasi, nilai pH selalu diukur dan diperhatikan setiap waktu operasi hingga waktu akhir operasi aklimatisasi dengan laju alir umpan 6,25 L/hari yang ditampilkan pada Gambar 2.

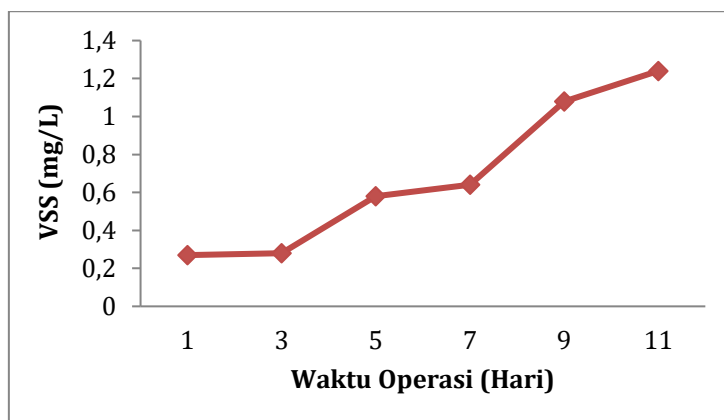


Gambar 2. Perubahan nilai pH terhadap perubahan waktu operasi pada tahap aklimatisasi

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai pH membentuk *trend* meningkat dengan bentuk fluktuasi seiring penambahan waktu operasi aklimatisasi. Fluktuasi nilai pH pada umumnya disebabkan oleh kondisi mikroba yang tidak terkontrol (Sarah dkk., 2021). Selama proses anaerob, berbagai kelompok mikroorganisme bekerjasama untuk mengubah bahan organik melalui reaksi berantai yang melibatkan tahapan hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis, serta metanogenesis (Batstone dkk., 2002). pH yang asam mengakibatkan kemungkinan kecil akan tumbuh mikroorganisme metanogenesis. Hal ini dikarenakan untuk terbentuknya tahap metanogenesis diperlukan kondisi pH 6,4-7,4 atau pH netral. Proses metanogenesis akan menghasilkan reaksi asetotrofik yang mengakibatkan penguraian *volatile fatty acids* (VFAs) seperti asam asetat hasil fermentasi oleh bakteri. Penguraian VFAs mengakibatkan sistem cenderung menjadi pH netral. pH yang netral pada sistem dapat disimpulkan tahap aklimatisasi pada penelitian ini terbentuk biogas (CH_4 dan CO_2) yang dihasilkan oleh mikroorganisme metanogenesis. Kondisi optimum aklimatisasi untuk pertumbuhan mikroba dalam limbah cair, terdapat pada rentang pH 6,8-7,2 (Sun dkk, 2020).

3.1 Start-Up

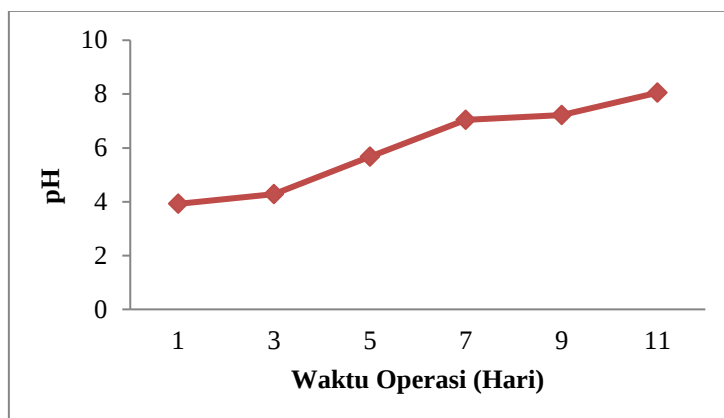
Pada tahap *start-up* bioreaktor hibrid anaerob didapatkan nilai VSS yang berpengaruh terhadap waktu operasi ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Perubahan nilai VSS limbah cair sagu terhadap perubahan waktu operasi pada tahap *start-up*

Gambar 3 menunjukkan bahwa data nilai VSS limbah cair sagu yang didapatkan pada tahap *start-up* membentuk trend meningkat. Pada awal tahap *start-up*, kenaikan nilai VSS tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan kinerja mikroorganisme belum optimal dalam memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi pada limbah cair sagu dan berdampak pada perkembang biakan mikroorganisme yang melambat (Chandra dan Muria, 2015), setelah mikroorganisme mampu menyesuaikan diri dengan kondisi lingkungan akan menghasilkan nilai VSS meningkat seperti pada hari 3-9 (Ghanimeh dkk, 2012). Pada hari ke-9 hingga ke-11, nilai VSS tidak mengalami perubahan (bernilai konstan). Hal ini menandakan, proses penguraian zat organik oleh mikroorganisme pada limbah cair telah terhenti.

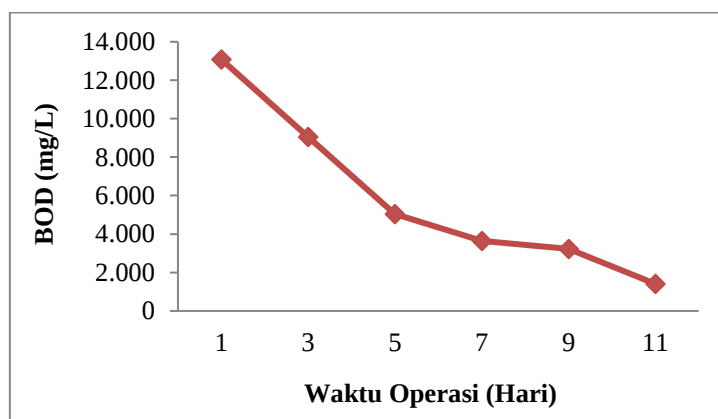
Perubahan nilai pH juga terjadi seiring penambahan waktu operasi pada tahap *start-up* ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Pengaruh waktu operasi terhadap nilai pH pada tahap *start-up*

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai pH yang didapatkan dalam penelitian ini selama waktu operasi bioreaktor hibrid pada tahap *start-up* membentuk *trend* meningkat. Kenaikan nilai pH terjadi karena adanya aktivitas penguraian senyawa VFAs pada tahap metanogenesis membentuk gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) oleh mikroorganisme yang mengakibatkan pH larutan limbah cair sagu cenderung netral (pH 6,8 – 7,5) (Ali dkk, 2019). Waktu operasi bioreaktor hibrid pada hari pertama hingga hari ke-3, peningkatan nilai pH cenderung rendah diangka pH 3,92-4,46 yang diakibatkan konsentrasi VFAs masih tinggi dan juga diakibatkan adanya penguraian VFAs menjadi asam asetat, asam propionat dan asam butirat pada tahap *acidogenesis* (tahap awal). Waktu operasi bioreaktor hibrid anaerob hari ke-5, nilai pH mengalami kenaikan cukup tinggi yang menandakan proses metanogenesis mulai berlangsung, dimana pH proses metanogenesis dimulai pada rentang pH 6,8 (Van dkk., 2020) yang mengakibatkan mikroorganisme anaerob yang digunakan di dalam reaktor dapat berkembang dengan optimum mengingat kondisi lingkungan optimum mikroorganisme anaerob berada pada rentang pH 6,6-7,6 (Hermanus., 2015).

Pengaruh perubahan waktu operasi terhadap kadar BOD pada tahap *Start-up* dapat dilihat pada Gambar 5.

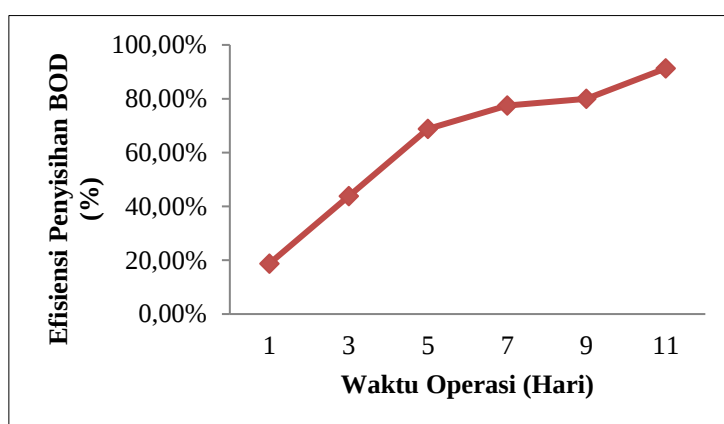


Gambar 5. Pengaruh perubahan waktu operasi terhadap kadar BOD pada tahap *start-up*

Gambar 5 menunjukkan bahwa data yang didapatkan dari tahap *start-up* bioreaktor hibrid anaerob ini berfokus pada data hubungan waktu operasi dengan penyisihan BOD. Nilai BOD

tidak menunjukkan jumlah bahan organik yang sebenarnya, namun hanya mengukur secara relatif jumlah oksigen yang diperlukan (Hidayati, 2015). Data awal nilai BOD limbah cair sagu dari Kilang Sagu Maju Bina Bersama (MBB) yang digunakan sebagai umpan sebesar 16.000 mg/L. Grafik pada Gambar 5 membentuk *trend* menurun. Keadaan nilai BOD masih belum konstan selama proses *start-up* yang disebabkan selama tahap *start-up* bioreaktor masih dalam keadaan non tunak sampai mikroba biofilm berkembang/tumbuh secara menyeluruh (Ahmad, 2004). Nilai BOD dari waktu operasi hari ke-1 hingga hari ke-5 mengalami penurunan dari 25.000 – 5.035 mg/L. Penurunan disebabkan karena proses degradasi mikroorganisme semakin baik apabila kontak air limbah dengan mikroorganisme pada lapisan *biofilm* semakin lama (Sanchez-Huerta, 2022). Pada hari ke-11, nilai BOD₅ menunjukkan nilai konstan atau stabil yang menandakan proses *start-up* memasuki kondisi tunak (*steady state*).

Pengaruh perubahan waktu operasi terhadap nilai efisiensi penyisihan BOD pada tahap *start-up* dapat dilihat pada Gambar 6.



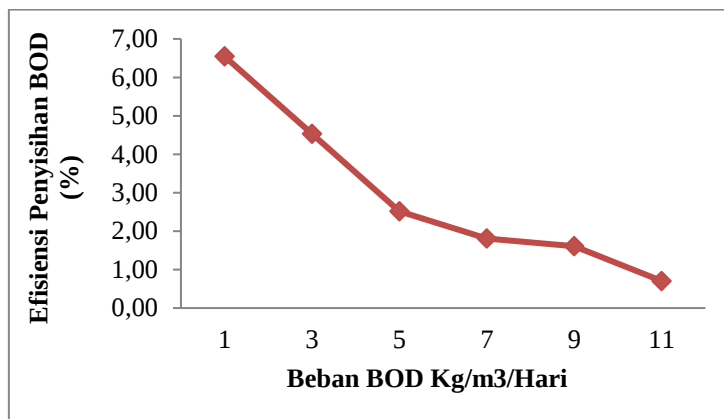
Gambar 6. Pengaruh waktu operasi terhadap nilai efisiensi penyisihan BOD pada tahap *start-up*

Gambar 6 *trend* grafik efisiensi penyisihan BOD₅ pada penelitian ini meningkat seiring penambahan waktu operasi pada tahap *start-up*. Waktu retensi bioreaktor yang cukup dan optimum pada tahap *start-up* menyebabkan waktu kontak mikroba pada proses degradasi senyawa organik limbah cair sagu menjadi semakin lama dan optimal, sehingga efisiensi penyisihan BOD semakin besar. Pada waktu retensi hari ke-11, didapatkan nilai efisiensi penyisihan BOD yang konstan sebesar 91,26%.

Hasil yang didapatkan mendekati rata-rata hasil penelitian sebelumnya, dimana Rizvi dkk (2015) melakukan penelitian tentang analisis proses *start-up* reaktor *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) dengan umpan air limbah perkotaan dan waktu retensi hidrolik yang bervariasi. Penelitian tersebut mendapatkan nilai efisiensi BOD rata-rata 77-83% dengan waktu retensi 120 hari. Díaz-Gómez dkk (2022) melakukan penelitian tentang evaluasi tahap *start-up* pada proses *treatment* limbah cair dengan reaktor *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) bermedia lumpur aktif yang mendapatkan rata-rata efisiensi penyisihan BOD unit pengolahan lumpur buangan (STP) sebesar $\pm 90\%$ dengan waktu retensi 6 jam. Berdasarkan perbandingan hasil penelitian ini dengan penelitian sebelumnya, dapat dikatakan penelitian ini

telah berhasil menurunkan kadar BOD dikarenakan mampu mendegradasikan biomassa dengan baik dan mikroorganisme telah beradaptasi dengan substrat secara cepat.

Pengaruh perubahan beban BOD terhadap nilai efisiensi penyisihan BOD pada tahap *start-up* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh beban BOD terhadap nilai efisiensi penyisihan BOD pada tahap *start-up*

Gambar 7 menampilkan hasil penelitian yang ditampilkan dalam bentuk grafik dengan *trend* naik untuk setiap peningkatan beban organik BOD pada sampel limbah cair sagu. Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa nilai efisiensi penyisihan BOD berbanding terbalik dengan nilai beban organik BOD limbah cair sagu tinggi disebabkan mikroorganisme tidak mampu menyisihkan parameter BOD secara efektif. Sedangkan, beban BOD berbanding lurus dengan kadar (konsentrasi) BOD awal (*influent*) yang akan menurunkan persentase penyisihan BOD dalam reaktor. Said dan Utomo (2007) melakukan penelitian ttg efisiensi pengolahan air limbah domestik dan nilai efisiensi penyisihan BOD yang dihasilkan tertinggi 95,16% dengan nilai beban BOD umpan terendah 0,077 Kg /m³/hari. Sedangkan nilai efisiensi BOD terendah 79,41% didapatkan pada saat nilai beban BOD umpan tertinggi 1,065 Kg/m³/hari. Pada tahun 2020, Zahroh dan Prayitno melakukan penelitian tentang pengaruh konsentrasi umpan terhadap persentase penurunan konsentrasi bahan pencemar air limbah industri tepung tapioka menggunakan proses *anaerobic fixed film biofilter* (AF2B), dengan salah satu hasil yang didapatkan berupa pengaruh beban BOD limbah terhadap efisiensi penyisihan BOD. Dimana nilai efisiensi penyisihan BOD tertinggi 95,16% ketika beban BOD mencapai nilai terendah 0,077 Kg BOD/m³/hari.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh beban BOD terhadap kinetika pertumbuhan bakteri pada fermentasi limbah cair sagu, maka didapatkan nilai laju pembebanan BOD pada tahap *start-up* tertinggi sebesar 6,54 Kg/m³/hari. Sedangkan nilai efisiensi penyisihan BOD tertinggi terdapat pada waktu retensi hidraulik ke-11 sebesar 91,26%.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. (2004). Studi Komperatif Sumber dan Proses Aklimatisasi Bakteri Anaerob pada Limbah Cair yang Mengandung Karbohidrat, Protein dan Minyak-Lemak. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 3(1), 1-10.
- Amaru, K. (2004). Rancang Bangun dan Uji Kinerja Biodigester Plastik Polyethilene Skala Kecil (Studi Kasus Ds. Cidatar Kec. Cisurupan Kab. Garut). *Jurusan Tekonologi Pertanian Fakultas Teknoligi Pertanian, Universitas Padjadjaran, Bandung*.
- Díaz-Gómez, J., Pérez-Vidal, A., Vargas-Nuncira, D., Usaquén-Perilla, O., Jiménez-Daza, X., & Rodríguez, C. (2022). *Start-up* evaluation of a full-scale wastewater treatment plant consisting of a UASB reactor followed by activated sludge. *Water*, 14(24), p.4034.
- Fry, L.J., & Merrill, R. 1973. *Methane digesters for fuel gas and fertilizer* (No. 3). Hatchville, MA: New Alchemy Institute.
- Ghanimeh, S., Al-Sanioura, D., Saikaly, P.E., & El-Fadel, M. (2020). Comparison of single-stage and two-stage thermophilic anaerobic digestion of SS-OFMSW during the *start-up* phase. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 6709-6716.
- Hermanus, M.B., Polii, B., & Mandey, L.C. (2015). Pengaruh perlakuan aerob dan anaerob terhadap variabel BOD, COD, pH, dan bakteri dominan limbah industri desiccated coconut PT. Global Coconut Radey, Minahasa Selatan. *J. Ilmu dan Teknologi Pangan*, 3(2), 48-58.
- Iriani, P., Suprianti, Y., & Yulistiani, F. (2017). Fermentasi anaerobik biogas dua tahap dengan aklimatisasi dan pengkondisian pH fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, 1(1), 1-10.
- Liu, Y. (2007). Overview of some theoretical approaches for derivation of the Monod equation. *Applied microbiology and biotechnology*, 73, 1241-1250.
- Mbachu, A. E., Chukwura, E. I., & Mbachu, N. A. (2020). Role of microorganisms in the degradation of organic pollutants: a review. *Energy Environ Eng*, 7(1), 1-11.
- Rizvi, H., Ahmad, N., Abbas, F., Bukhari, I.H., Yasar, A., Ali, S., Yasmeen, T., & Riaz, M. (2015). *Start-up* of UASB reactors treating municipal wastewater and effect of temperature/sludge age and hydraulic retention time (HRT) on its performance. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(6), 780-786.
- Said, N.I., & Utomo, K. (2007). Pengolahan air limbah domestik dengan proses lumpur aktif yang diisi dengan media bioball. *Jurnal Air Indonesia*, 3(2).
- Sanchez-Huerta, C., Fortunato, L., Leiknes, T., & Hong, P.Y. (2022). Influence of biofilm thickness on the removal of thirteen different organic micropollutants via a Membrane Aerated Biofilm Reactor (MABR). *Journal of Hazardous Materials*, 432, p.128698.
- Saputra, M., & Viena, V. (2020). Efektivitas Biofilter Dari Media Sedotan Plastik Untuk Penyisihan Limbah Cair Rumah Potong Hewan Kota Banda Aceh The Effectiveness Of Pipettes Waste Biofilter Media For The Removal Of Slaughterhouse Wastewater In Banda Aceh. *Jurnal TEKSAGRO*, 1(2), 30-38.
- Sarah, M., Misran, E., Maulina, S., Pertiwi, I., Ritman, N., Hasibuan, I.M., & Parulian, I. (2021). Parameter Biokinetika dari Degradasi Limbah Kol dan Tomat Menggunakan Sistem Bioreaktor Anaerobik. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 10(2), 82-89.

- Sun, M., Liu, B., Yanagawa, K., Ha, N.T., Goel, R., Terashima, M., & Yasui, H. (2020). Effects of low pH conditions on decay of methanogenic biomass. *Water research*, 179, p.115883.
- Zahroh, N.A., & Prayitno, P. (2020). Pengaruh Konsentrasi Umpan terhadap Persentase Penurunan Konsentrasi Bahan Pencemar Air Limbah Industri Tepung Tapioka Menggunakan Proses Anaerobic Fixed Film Biofilter (AF2B). *Distilat: Jurnal Teknologi Separasi*, 6(2), 431-438.