

OPTIMASI DEBIT AIR LIMBAH PADA PENGOLAHAN LIMBAH CAIR SECARA ANAEROBIK *EXPANDED GRANULAR SLUDGE BLANKET* DI INDUSTRI MAKANAN DAN MINUMAN

Cahyagi Putra
062115005

Fakultas MIPA Universitas Pakuan, Bogor – Indonesia
Email : cahyagi@gmail.com

ABSTRAK

Industri makanan dan minuman yang berada di daerah Bogor memiliki Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) dengan sistem proses pengolahan limbah cairnya menggunakan reaktor anaerobik *Expanded Granular Sludge Blanket* (EGSB), namun didalam proses pengolahan EGSB ditemukan bahwa pada tahun 2018 efisiensi COD *removalnya* fluktuatif dan rata-ratanya hanya sekitar 60%. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan debit optimum proses reaktor EGSB yang dapat menghasilkan efisiensi penyisihan konsentrasi COD optimum hingga mencapai 93% di dalam limbah cair. Penelitian ini terdiri dari 4 tahap yaitu, tahap pengambilan *sample*, tahap pengukuran suhu & pH di ketinggian 2, 4, 6, 8 meter titik sampling EGSB, tahap pengujian kualitas *input-output* EGSB pada beberapa variasi debit proses yaitu 2, 3, 4, 5 m³/jam dan tahap analisis data. Pengujian kualitas *input* dan *output* EGSB meliputi pengujian suhu, pH, COD, TSS dan TDS. Hasil penelitian ini menunjukkan efisiensi penyisihan COD oleh EGSB sekitar 70 – 93% menggunakan debit proses 2, 3, 4 dan 5 m³/jam dengan rata-rata efisiensi penyisihan COD masing-masing adalah 77, 76, 85 dan 81 %, maka debit optimum proses adalah 4 m³/jam dengan rata-rata efisiensi penyisihan COD sebesar 85%. Pencapaian terbaik adalah pada debit proses 4 m³/jam ulangan ketiga yang memperoleh nilai efisiensi penyisihan COD sebesar 93% dengan konsentrasi COD *input* sebesar 1340 mg/L dan COD *output* sebesar 93 mg/L.

Kata Kunci: Limbah Cair, Debit Optimum Proses, EGSB, Efisiensi Penyisihan COD, Variasi Debit Proses.

ABSTRACT

The food and beverage industry has a Waste Water Treatment Plant (WWTP) with its wastewater treatment system using an Expanded Granular Sludge Blanket (EGSB) anaerobic reactor, but in the EGSB treatment process it was found that in 2018 the efficiency of COD removal fluctuated and the average was only around 60%. The purpose of this research is to determine the optimum discharge of the EGSB reactor process which can produce the optimum efficiency of COD concentration up to 93% in liquid waste. This research consists of 4 stages, namely sampling stage, temperature & pH measurement stage at 2, 4, 6, 8 meters EGSB sampling point, the measurement stage of the EGSB input-output quality on several process discharge variations, 2, 3, 4, 5 m³/hour and the data analysis stage. Measurement the quality of EGSB input and output includes measurement temperature, pH, COD, TSS and TDS. The results of this research show that the efficiency of COD removal by EGSB is around 70 - 93% using process discharge 2, 3, 4 and 5 m³/hour with an average efficiency of COD removal of 77, 76, 85 and 81%, then optimum discharge the process is 4 m³/hour with an average COD removal efficiency of 85%. The best achievement was at the third repetition 4 m³/hour process which obtained a COD removal efficiency value of 93% with a COD input concentration of 1340 mg/L and COD output of 93 mg/L.

Keywords: Liquid Waste, Process Optimum Discharge, EGSB, COD Removal Efficiency, Process Discharge Variation.

1. PENDAHULUAN

Salah satu industri makanan dan minuman yang berada di daerah Bogor menghasilkan produk berbahan sari buah, susu dan pemanis rendah kalori. Limbah yang dihasilkan utamanya adalah limbah cair. Industri makanan dan minuman ini memiliki IPAL (Instalasi Pengolahan Air Limbah) sendiri yang berfungsi untuk mengolah limbah cair yang dihasilkan dari sisa kegiatan produksi. Sistem proses pengolahan limbah cairnya menggunakan 2 reaktor utama yaitu reaktor anaerobik EGSB (*Expanded Granular Sludge Blanket*) dan reaktor aerobik aerasi (*Activated Sludge*). *Effluent* yang dihasilkan dari pengolahan telah memenuhi baku mutu yang ditetapkan yaitu PermenLH nomer 5 tahun 2014, namun didalam proses pengolahan biologis anaerobik EGSB ditemukan bahwa pada tahun 2018 efisiensi COD *removalnya* fluktuatif dan rata-ratanya hanya sekitar 60%. Berdasarkan jurnal yang ditulis oleh Sheldon dan Erdogan (2015), yang berjudul “*Multi-stage EGSB/MBR treatment of soft drink industry wastewater*” menyimpulkan bahwa kemampuan COD *removal* oleh EGSB mencapai 93% dengan HRT (*Hydraulic Retention Time*) 12 jam, Vup (*Velocities*) 0,85 m/jam dan OLR (*Organic Loading Rate*) 11 kg COD/m³ per hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan debit optimum proses reaktor anaerobik EGSB (*Expanded Granular Sludge Blanket*) sehingga menghasilkan efisiensi penyisihan konsentrasi COD optimum hingga mencapai 93% di dalam limbah cair.

2. BAHAN & METODE

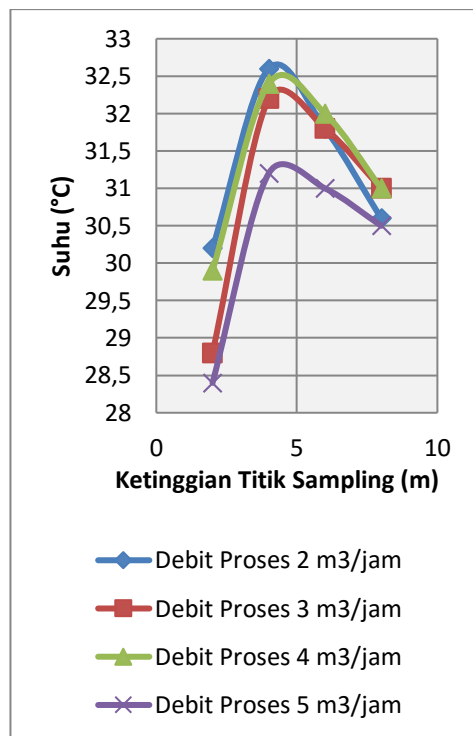
Penelitian dilakukan di laboratorium IPAL Industri Makanan dan Minuman, Jalan Raya Bogor Nomer XY, Kota Bogor. Dilaksanakan pada bulan Januari - Maret 2019. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi bahan uji dan bahan kimia. Bahan uji berupa limbah cair industri makanan dan minuman, sedangkan bahan kimia terdiri dari NaOH 33%, HACH larutan untuk COD, larutan *buffer* 4. Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi flowmeter, pompa, pH meter Eutech 450, HACH DR/890 colorimeter, HACH DRB 200 COD reaktor, TDS meter, HACH kuvet 25 mL, labu takar 100 mL, pipet mohr 2 mL, pipet volumetric 25 mL, gelas piala 250 mL. Penelitian ini terdiri dari 4 tahap yaitu, tahap pengambilan *sample*, tahap pengukuran suhu & pH di ketinggian 2, 4, 6, 8 meter titik sampling EGSB, tahap pengujian kualitas *input-output* anaerobik EGSB pada beberapa variasi debit proses dan tahap analisis data. Pengambilan *sample* diambil pada bak ekualisasi yang merupakan bak penampung air limbah sebelum masuk ke proses anaerobik EGSB sebagai *sample input* anaerobik EGSB dan *sample output* anaerobik EGSB diambil di ujung pipa saluran EGSB yang menuju ke aerasi, pengambilan *sample* dilakukan dengan memperhitungkan waktu tinggal (HRT) air limbah didalam reaktor sehingga setiap variasi debit memiliki HRT berbeda. Dilakukan variasi debit proses yaitu 2, 3, 4 dan 5 m³/jam. Dilakukan pengujian kualitas *input* dan *output*

anaerobik EGSB meliputi pengujian suhu, pH, COD, TSS dan TDS.

3. HASIL & PEMBAHASAN

3.1 Profil Suhu Reaktor EGSB

Reaktor EGSB memiliki 4 titik sampling pada ketinggian yang berbeda, yaitu pada ketinggian 2, 4, 6 dan 8 meter. Hasil pengukuran suhu secara keseluruhan dari keempat titik sampling menunjukkan rata-rata yang berbeda. Pada ketinggian 2, 4, 6 dan 8 meter rata-rata suhunya masing-masing adalah 29,3°C; 32,1°C; 31,6°C dan 30,8°C seperti terlihat pada gambar 1.



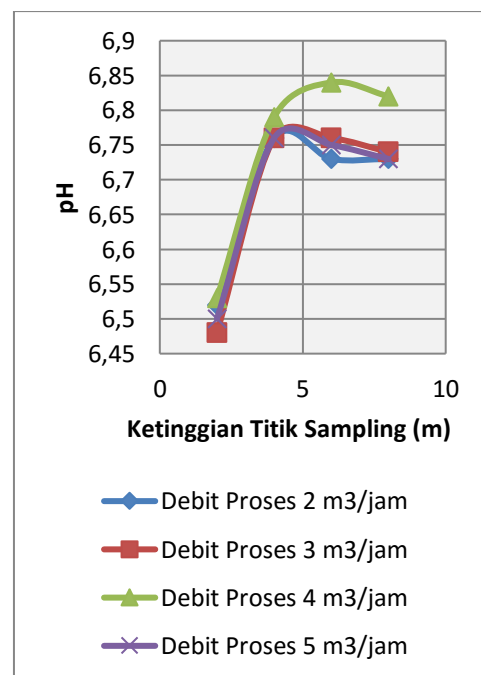
Gambar 1. Grafik Nilai Suhu Berdasarkan Debit Proses & Ketinggian Titik Sampling EGSB

Berdasarkan debit proses dan ketinggian titik sampling, secara keseluruhan dari keempat variasi debit proses yang digunakan menunjukkan hasil yang sama yaitu terjadi kenaikan suhu yang cukup signifikan antara

suhu pada ketinggian 2 meter dan 4 meter. Keadaan ini disebabkan karena pada ketinggian 2 meter merupakan wilayah atau bagian yang ditempati oleh granular bakteri anaerobik yang membentuk agregat padat seperti *sludge*. Jadi bisa dipastikan proses awal perombakan komponen organik air limbah oleh bakteri anaerobik berada pada ketinggian 2 meter. Proses penguraian atau degradasi bahan organik secara anaerobik akan menghasilkan panas (Buekens, 2005) yang mengakibatkan terjadinya perubahan suhu yang cukup signifikan pada ketinggian 4 meter.

3.2 Profil pH Reaktor EGSB

Hasil pengukuran pH pada keempat titik sampling yaitu pada ketinggian 2, 4, 6 dan 8 meter menunjukkan rata-rata nilai pH masing-masing adalah 6,51; 6,77; 6,77 dan 6,75. Pada gambar 2 dibawah ini dapat terlihat kenaikan pH yang cukup signifikan di ketinggian 2 meter dan 4 meter, yaitu dari pH 6,51 menjadi 6,77.



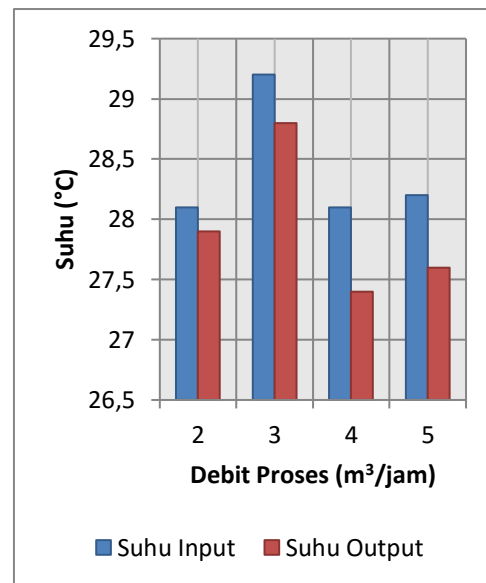
Gambar 2. Grafik Nilai Suhu Berdasarkan Debit Proses & Ketinggian Titik Sampling EGSB

Di ketinggian 2 meter merupakan wilayah atau bagian yang ditempati oleh granular bakteri anaerobik yang membentuk agregat padat seperti *sludge*. Proses perombakan bahan organik secara anaerobik yang terjadi di dalam EGSB, terdiri atas empat tahapan proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), asetogenesis dan metanogenesis. Menurunnya nilai pH pada reaktor menandakan bahwa pada reaktor tersebut berada dalam tahap asetogenesis ditunjukkan oleh nilai pH berada pada rentang 5 – 6,5 (Malina & Pohland, 1992) sehingga dapat disimpulkan pada ketinggian 2 meter terjadi proses hidrolisis, asidogenesis dan asetogenesis karena ditandai dengan nilai pH yang cukup rendah ($\pm 6,5$). Kemudian peningkatan nilai pH pada reaktor menandakan bahwa tahap asetogenesis telah berakhir dan mulai memasuki tahap metanogenesis dengan ditandai nilai pH diatas 6,5 (Malina & Pohland, 1992) sehingga dapat disimpulkan pada ketinggian 4 meter sudah terjadi proses pemecahan asam asetat menjadi metana (CH_4) dan karbondioksida (CO_2) ditandai dengan peningkatan nilai pH menjadi rata-rata sekitar 6,77.

3.3 Hubungan Suhu Dengan Debit Proses

Hasil pengukuran suhu *input* maupun *output* diperoleh sekitar 27 - 29°C walaupun cukup fluktuatif tapi tidak melebihi dari *range* tersebut dengan rata-rata suhu *input* sebesar 28,4°C dan suhu *output* 27,9°C. Dari keempat variasi debit proses, debit proses 3

m^3/jam menunjukkan nilai suhu *input* dan *output* yang lebih tinggi dibandingkan saat debit proses lainnya. Faktor utama yang mempengaruhi kondisi tersebut adalah karena cuaca yang cukup panas. Pada gambar 3 dapat terlihat perbandingan antara suhu *input* air limbah dengan suhu *output* yang menunjukkan suhu *input* selalu lebih tinggi daripada suhu *output*. Kondisi tersebut diakibatkan karena limbah cair mempunyai temperatur lebih tinggi daripada asalnya, tingginya temperatur disebabkan oleh pengaruh cuaca, pengaruh kimia dalam limbah cair dan kondisi bahan yang dibuang ke dalam saluran limbah (Metcalf & Eddy, 2003).

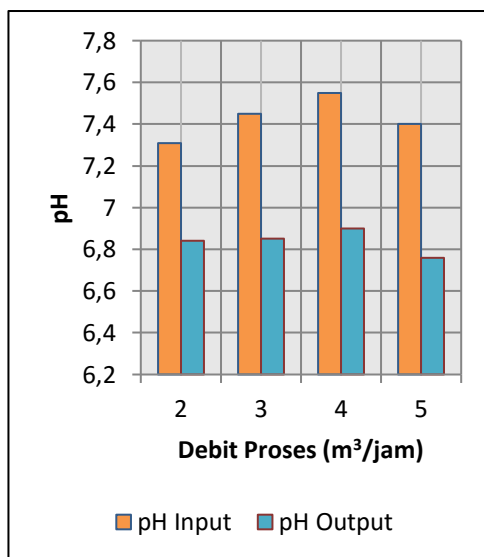


Gambar 3. Grafik Nilai Suhu *Input* & *Output* EGSB

3.4 Hubungan pH Dengan Debit Proses

Hasil pengukuran pH *input* diperoleh sekitar 6,8 - 7,7 dengan rata-rata 7,4 dan pH *output* diperoleh sekitar 6,64 - 7,08 dengan rata-rata 6,84. Kondisi yang memperlihatkan perubahan rata-rata pH input sebesar 7,4 berubah menjadi rata-rata pH output sebesar 6,84 dipengaruhi oleh proses perombakan

bahan organik yang terjadi didalam EGSB. Proses perombakan bahan organik secara anaerobik yang terjadi di dalam EGSB, terdiri atas empat tahapan proses yaitu hidrolisis, fermentasi (asidogenesis), asetogenesis dan metanogenesis. Pada tahap hidrolisis sampai asetogenesis ini yang menyebabkan nilai pH mengalami penurunan hingga sekitar 6,5 dan mengalami peningkatan kembali menjadi sekitar 6,7 – 6,8 pada tahap metanogenesis. Pada gambar 4 dapat dilihat berdasarkan keempat debit proses yang digunakan mulai dari 2 – 5 m³/jam, pH *input* dan *output* memang cenderung mengalami peningkatan namun mengalami penurunan saat debit proses 5 m³/jam.

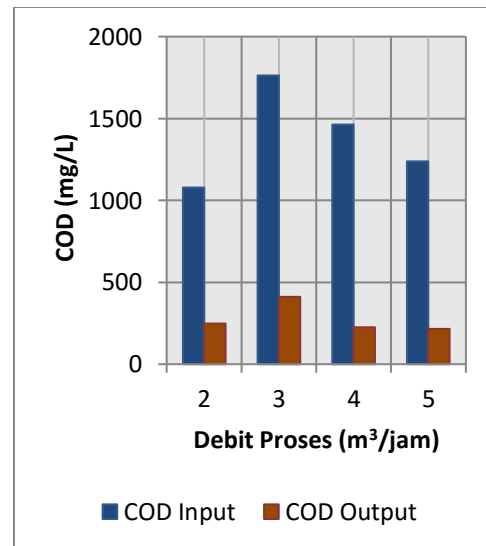


Gambar 4. Grafik Nilai pH *Input* & *Output* EGSB

Kondisi tersebut diakibatkan karena pH *input* air limbah yang cukup fluktuatif. Secara keseluruhan nilai pH *input* maupun *output* cukup stabil karena tidak ada peningkatan atau penurunan pH yang ekstrem atau signifikan.

3.5 Hubungan COD Dengan Debit Proses

Konsentrasi nilai COD *input* air limbah yang akan diproses oleh EGSB mempunyai *range* 630 - 3000 mg/L dengan rata-rata 1386 mg/L. Kemudian untuk nilai COD *output* air limbah yang telah diolah oleh EGSB diperoleh sekitar 93 - 616 mg/L dengan rata-rata 275 mg/L. Pada gambar 5 dapat terlihat grafik nilai COD *input* mengalami peningkatan yang menyebabkan nilai COD *output* juga mengalami peningkatan, karena semakin tinggi nilai COD maka semakin tinggi pula beban organik yang mesti diurai atau didegradasi oleh EGSB.



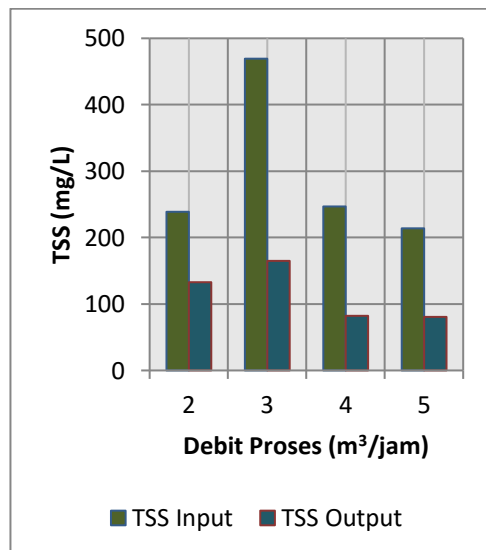
Gambar 5. Grafik Nilai COD *Input* & *Output* EGSB

Dari keempat variasi debit proses yang digunakan dapat terlihat nilai rata-rata COD *input* yang masuk cukup fluktuatif. Nilai rata-rata COD *input* yang paling tinggi terjadi pada saat debit proses 3 m³/jam sehingga berpengaruh terhadap nilai rata-rata COD *output*nya dan menjadikannya paling tinggi diantara debit proses lainnya, ini disebabkan karena beban organik yang masuk berbeda-beda dan pada saat debit proses 3 m³/jam kondisi beban organik air

limbah yang masuk ke IPAL merupakan yang paling tinggi dengan ditandai nilai COD *input* yang tinggi.

3.6 Hubungan TSS Dengan Debit Proses

Konsentrasi nilai TSS *input* air limbah yang akan diolah oleh EGSB mempunyai *range* 161 - 604 mg/L dengan rata-rata 292 mg/L. Kemudian untuk nilai TSS *output* air limbah yang sudah diolah oleh EGSB diperoleh sekitar 40 - 269 mg/L dengan rata-rata 115 mg/L. Pada gambar 6 dapat terlihat konsentrasi TSS *input* air limbah yang masuk cukup fluktuatif karena berbagai kondisi baik itu dari awal mula sumber air limbah maupun dalam proses perjalanan menuju IPAL yang melalui saluran pipa sehingga material padat yang mengendap maupun menempel di dinding pipa bisa terbawa oleh air limbah.

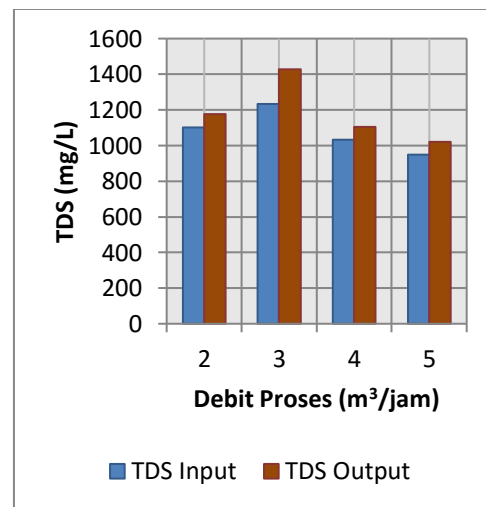


Gambar 6. Grafik Nilai TSS *Input* & *Output* EGSB

Kondisi TSS *input* tertinggi terjadi pada saat debit proses 3 m³/jam, ini disebabkan karena pada saat itu kondisi *input* air limbah mengandung material padat tersuspensi yang cukup tinggi.

3.7 Hubungan TDS Dengan Debit Proses

Konsentrasi nilai TDS *input* air limbah yang akan diproses oleh EGSB mempunyai *range* 874 - 1261 mg/L dengan rata-rata 1079 mg/L. Kemudian untuk nilai TDS *output* air limbah yang sudah diolah oleh EGSB diperoleh sekitar 910 - 1640 mg/L dengan rata-rata 1182 mg/L. Pada gambar 7 dapat terlihat kondisi yang menunjukkan konsentrasi TDS *output* selalu lebih besar dari konsentrasi TDS *input*.



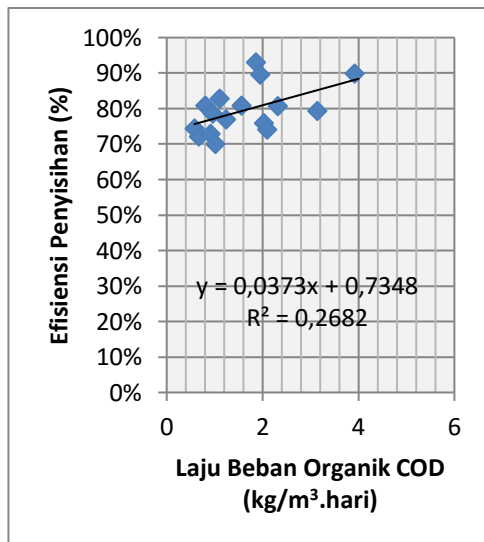
Gambar 7. Grafik Nilai TDS *Input* & *Output* EGSB

Hasil akhir dari proses anaerobik adalah gas metan (CH₄) dan karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida (CO₂) dapat larut dalam air membentuk asam karbonat (H₂CO₃) kemudian asam karbonat (H₂CO₃) ini dapat meng-ion menjadi ion bikarbonat (HCO₃⁻). Ion-ion bikarbonat (HCO₃⁻) inilah yang terlarut dalam *output* EGSB sehingga mengakibatkan nilai TDS mengalami peningkatan saat dilakukan pengukuran oleh TDS meter.

3.8 Efisiensi Penyisihan Konsentrasi COD

Dengan menggunakan empat variasi debit proses yaitu 2, 3, 4 dan 5 m³/jam dengan

waktu tinggal (HRT) masing-masing adalah 34; 22,7; 17 dan 13,6 jam, didapatkan data berupa nilai efisiensi penyisihan konsentrasi COD. Beban organik yang berbeda-beda pada keempat variasi debit disebabkan konsentrasi nilai COD *input* yang fluktuatif. Nilai COD yang fluktuatif ini merupakan gambaran bahwa beban organik yang masuk atau yang akan diolah oleh EGSB berubah-ubah (fluktuatif). Konsentrasi nilai COD *input* yang akan diolah berkisar 630 - 3000 mg/L (beban organik 0,58 – 3,91 kgCOD/m³ per hari).



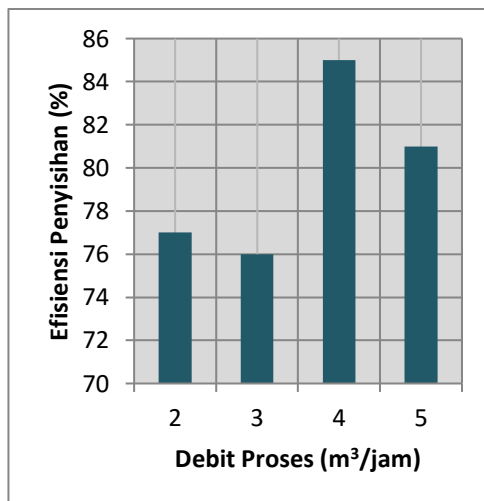
Gambar 8. Grafik Hubungan Laju Beban Organik COD Terhadap Efisiensi Penyisihan COD

Dapat dilihat pada gambar diatas menunjukkan hubungan antara pengaruh laju beban organik terhadap efisiensi penyisihan COD dengan nilai R^2 sebesar 0,268. Nilai R^2 yang kecil berarti kemampuan variabel-variabel independen dalam menjelaskan variasi variabel dependen amat terbatas (Ghozali, 2012) sehingga dengan nilai R^2 yang kecil yaitu 0,268 maka nilai beban COD 0,58 – 3,91 kg/m³ per hari tidak dapat menjelaskan dengan lengkap (amat terbatas)

terhadap nilai efisiensi penyisihan COD atau secara sederhananya adalah nilai beban COD 0,58 – 3,91 kg/m³ per hari tidak terlalu mempengaruhi terhadap nilai efisiensi penyisihan COD. Efisiensi penyisihan COD berkisar dari 70 – 93%. Pada variasi debit proses 2, 3, 4 dan 5 m³/jam menunjukan rata-rata efisiensi penyisihan COD sekitar 80%. Nilai COD *input* tertinggi yang masuk adalah 3000 mg/L pada debit proses 3 m³/jam dengan efisiensi penyisihan konsentrasi COD sebesar 79% dan nilai COD *output* terendah adalah 93 mg/L pada debit proses 4 m³/jam dengan efisiensi penyisihan konsentrasi COD sebesar 93%. Dengan menggunakan persamaan bahwa nilai BOD₅ adalah setengah dari nilai COD, maka nilai COD 100 mg/L bisa dijadikan baku mutu *output* IPAL. Dari 16 kali percobaan yang dilakukan hanya 1 kali nilai COD *output* EGSB dibawah 100 mg/L yang merupakan nilai COD *output* terendah yaitu 93 mg/L. Kondisi tersebut membuktikan bahwa dalam pengolahan limbah cair di industri makanan dan minuman yang berada di kota Bogor ini memang perlu menggunakan aerasi untuk pengolahan selanjutnya agar *output* yang dihasilkan dapat memenuhi baku mutu yang ditetapkan oleh Pemerintah. Industri makanan dan minuman ini memang sudah memperhitungkan dan mendesain sistem IPAL yang kompatibel dengan karakteristik limbah cair yang dihasilkannya sehingga dalam proses pengolahan limbah cairnya mengkombinasikan pengolahan secara anaerobik EGSB dan aerobik aerasi.

3.9 Penentuan Debit Optimum Proses

Penentuan debit optimum proses dilakukan dengan melihat rata-rata efisiensi penyisihan COD dari masing-masing debit proses 2, 3, 4 dan 5 m³/jam. Pada grafik 10 dapat dilihat rata-rata efisiensi penyisihan COD pada debit proses 2, 3, 4 dan 5 m³/jam masing-masing adalah 77, 76, 85 dan 81 %. Kemudian dipilih nilai rata-rata efisiensi penyisihan COD yang paling tinggi, maka dapat disimpulkan debit optimum proses adalah 4 m³/jam dengan rata-rata efisiensi penyisihan COD sebesar 85%.



Gambar 9. Grafik Rata-rata Efisiensi Penyisihan COD

Debit 2, 3, 4 dan 5 m³/jam jika dikonversikan kedalam *upflow velocities* menjadi 0,38; 0,57; 0,76 dan 0,96 m/jam. Sebagai perbandingan dalam jurnal yang ditulis oleh Sheldon dan Erdogan (2015), yang berjudul “*Multi-stage EGSB/MBR treatment of soft drink industry wastewater*” menyimpulkan bahwa kemampuan COD *removal* oleh EGSB mencapai 93% dengan HRT (*Hydraulic Retention Time*) 12 jam, Vup (*Velocities*) 0,85 m/jam dan OLR (*Organic Loading Rate*) 11 kg COD/m³ per hari, maka dalam penelitian ini kemampuan COD *removal*

oleh EGSB industri makanan dan minuman di Bogor ini pernah mencapai 93% dengan HRT (*Hydraulic Retention Time*) 17 jam, Vup (*Velocities*) 0,76 m/jam dan OLR (*Organic Loading Rate*) 1,89 kg COD/m³ per hari.

4. KESIMPULAN & SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi penyisihan COD berkisar dari 70 – 93% pada variasi debit proses 2, 3, 4 dan 5 m³/jam dengan rata-rata efisiensi penyisihan COD sekitar 80%. Debit optimum proses air limbah yang diolah secara anaerobik EGSB adalah 4 m³/jam (HRT 17 jam) dengan rata-rata efisiensi penyisihan COD sebesar 85%. Pencapaian terbaik adalah pada debit proses 4 m³/jam ulangan ketiga yang memperoleh nilai efisiensi penyisihan COD sebesar 93% dengan konsentrasi COD *input* sebesar 1340 mg/L (beban organik 1,89 kgCOD/m³ per hari) dan COD *output* sebesar 93 mg/L.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sebaiknya industri makanan dan minuman ini menerapkan serta menjadikan debit proses 4 m³/jam sebagai acuan standar dalam mengolah air limbah menggunakan EGSB sehingga hasil yang diperoleh akan optimal terutama dalam hal efisiensi penyisihan COD.

5. DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia*. Badan Pusat Statistik, Jakarta.

- Bitton, G. 2005. *Wastewater Microbiology 3rd edition*. John Wiley & Sons, inc, New Jersey.
- Broughton, A.D. 2009. Hydrolysis and Acidogenesis OF Farm Dairy Effluent for Biogas Production at Ambient Temperature. *Thesis*. Massey University New Zealand.
- Buekens, A. 2005. Energy Recovery from Residual Waste by Means of Anaerobic Digestion Technologies. *The Future of Residual Waste Management in Europe*.
- Davis, M. 2010. *Water and Wastewater Engineering*. Newyork: McGraw Hill Companies, Inc.
- Deublein, D. dan A, Steinhauser. 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources, an Introduction*. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Eskani; N, Istihanah; Sulaiman, dan D.C, Ivone. 2005. Efektivitas Pengolahan Air Limbah Batik Dengan Cara Kimia dan Biologi. *Laporan Penelitian*. Balai Besar Kerajinan Dan Batik. Badan Penelitian dan Pengembangan Industri. Yogyakarta: Departemen Perindustrian.
- Fuantes, M., N.J. Scenna., & P.A, Aguirre. 2011. A coupling model for EGSB bioreactors: Hydrodynamics and anaerobic digestion processes. *Chemical Engineering and Processing* 50 2011 316-324.
- Ghozali, Imam. 2012. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS*. Yogyakarta: Universitas Diponegoro.
- Hammer, J.J., 1996. *Water and Waste-Water Technology*. John Wiley & Sons, New York.
- Hasibuan, Utami Langga. 2014. Kemampuan Batu Apung Sebagai Adsorben Penyisihan Logam Besi (Fe) Air Tanah. *Skripsi*. Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Andalas, Padang.
- Karnchanawong, S., & P, Wachara. 2009. Effects of Upflow Liquid Velocity on Performance of Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) System. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering* Vol:3, No:3, 2009.
- Lang, Ling Yu. 2007. Treatability of Palm Oil Mill Effluent (POME) Using Black Oil Liquor in an Anaerobic Treatment Process. *Thesis*. Universitas Sains Malaysia.
- Metcalf & Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th ed*. Newyork: McGraw Hill Companies, Inc.
- Pohland, F.G & J.F, Malina. (1992). *Design of Anaerobic Process for The Treatment of Industrial and Municipal Waste*. Technomic Publishing Co.
- Pusat Data Dan Informasi Kementerian Perindustrian. 2018. *Analisis Perkembangan Industri Edisi III*. Kementerian Perindustrian, Jakarta.
- Santoso, Singgih. (2017). *Menguasai statistik dengan SPSS 24*. Jakarta: PT. Elexmedia Komputindo
- Schnurer, A. dan A, Jarvis. (2010). *Microbiological Handbook For Biogas Plants*. Swedish Waste Management, Swedia.
- Sheldon, M.S., & I.G, Erdogan. 2015. Multi-stage EGSB/MBR treatment of soft drink industry wastewater. *Chemical Engineering Journal* 285 2016 368-377.
- Sperling, M.V. 2007. *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. Aptara Inc., New Delhi, India.
- Waskito, D. 2011. Analisis Pembangkit listrik Tenaga Biogas Dengan Pemanfaatan Kotoran Sapi Di Kawasan Usaha Peternakan Sapi. *Tesis*. Universitas Indonesia.
- Zhang, C., Aihua, W., J, Junqi., Z, Ligang., & S, Wuchang. 2017. Effect of Parameters on Anaerobic Digestion EGSB Reactor for Producing Biogas. *Procedia Engineering* 205 (2017) 3749–3754