



MFCS 2 IN 1 : MICROBIAL FUEL CELLS PENGOLAH AIR LIMBAH DAN PENGHASIL LISTRIK (ALTERNATIF : LIMBAH ISI RUMEN SAPI DENGAN PENGARUH VARIASI COD DAN PH)

Rizki Januarita, Azka Azizah, Anis Ulfa W A, Hilma Syahidah, Ganjar Samudro

Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Indonesia

Jl. Prof. H. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang

Email: rizki.januarita@gmail.com

ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan populasi penduduk, konsumsi masyarakat akan pangan pun meningkat. Salah satu kebutuhan akan protein hewani dari daging sapi. Di kota Semarang frekuensi pemotongan hewan sekitar 40-50 ekor sapi dan meningkat hingga 100 ekor sapi perhari menjelang lebaran (Suaramerdeka, 2012). Frekuensi pemotongan yang tinggi ini berpotensi untuk menimbulkan limbah. Limbah yang berasal dari rumen sapi fasa cair mengandung konsentrasi COD sebesar 5.500-7000 mg/L (Padmono, 2005). Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air penerima. Reaktor terbaru dari proses pengolahan anerobik yang sering digunakan dalam pengolahan air limbah yang saat ini telah banyak dikembangkan yaitu *microbial fuel cells*. Menurut (Aeltermn et al. 2006 dalam Zhang, 2012) *microbial fuel cells* (MFCs) adalah reaktor *bioelektrokimia* yang dapat mengkonversi energi kimia dari zat organik pada air limbah menjadi listrik dengan katalis dari mikroorganisme. Penelitian dengan MFCs *dual chamber* dengan substrat limbah rumen sapi fasa cair dengan variasi pH 7 (netral), pH 5 (asam), pH 9 (basa) ini menunjukkan bahwa variasi pH berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD dan produksi listrik pada pengolahan air limbah rumen sapi menggunakan reaktor *Microbial fuel cells*. Rreaktor dengan varioasi pH netral produksi listrik terbesar adalah 219,0916 mW/m², sedangkan variasi pH asam dan pH basa power density terbesar 108,5341 mW/m² dan 174,5589mW/m². Penurunan COD optimum pada hari ke 10 untuk pH netral COD 167,5 mg/L pada reaktor NI (memenuhi baku mutu), pH asam COD 185,2 mg/L pada reaktor A2 (memenuhi baku mutu), dan pH basa 292,1 mg/L (belum memenuhi baku mutu). Efisiensi penyisihan optimum pada pH netral 94,8%, pH asam 94,4% dan pH basa 88,1 %. Pada reaktor dengan variasi substrat pH netral power density, penurunan COD dan efisiensi penurunan lebih baik dibanding dengan pH asam dan basa, meskipun demikian mikroorganisme dalam limbah rumen sapi tetap dapat berkembang biak dalam kondisi substrat pH ekstim.

Kata Kunci : MFCs, limbah rumen sapi, pH, power density, COD

LATAR BELAKANG

Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan populasi penduduk, konsumsi masyarakat akan pangan pun meningkat. Salah satu kebutuhan akan protein pada pangan pun tidak dapat diabaikan. Pemenuhan akan protein salah satunya diambil dari daging sapi yang secara umum dikonsumsi masyarakat Indonesia. Banyaknya permintaan daging sapi dari masyarakat berbanding lurus dengan semakin meningkatnya jumlah pemotongan hewan sapi. Dari banyaknya jumlah hewan sapi yang akan dipotong inilah yang akan menimbulkan dampak lain yaitu limbah yang berasal dari pemotongan sapi tersebut. Limbah yang berasal dari rumen sapi fasa cair mengandung konsentrasi COD sebesar 5.500-7000 mg/L (Padmono, 2005). Oleh karena itu perlu dilakukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air penerima.

Dewasa ini pengolahan limbah menggunakan proses anerob lebih banyak digunakan karena dapat menghasilkan biogas dan biomassa yang dihasilkan sedikit (Lettinga, 1996), cocok untuk limbah yang mempunyai kadar

polutan yang tinggi (Ayati dan Ganjidoust, 2006: 39). Reaktor terbaru dari proses pengolahan anerobik yang saat ini telah banyak dikembangkan yaitu *microbial fuel cells*. Menurut (Aeltermn et al. 2006 dalam Zhang, 2012) *microbial fuel cells* (MFCs) adalah reaktor *bioelektrokimia* yang dapat mengkonversi energi kimia dari zat organik pada air limbah menjadi listrik dengan katalis dari mikroorganisme. Hal ini dapat dilihat dimana penelitian yang dilakukan oleh (Sitorus, 2010), dimana MFCs yang menggunakan substrat air buangan isi rumen sapi menghasilkan potensial listrik sebesar 810 mV dengan pH 6,45-7,02. Saat ini MFCs telah dikembangkan sebagai aplikasi dalam pengolahan limbah cair. Efisiensi dan kinerja dari MFCs dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya pH. Menurut (Rozendal et al., 2006), dalam MFCs *dual chamber* pertumbuhan optimal bakteri membutuhkan pH netral. Oleh karena itu penggunaan substrat berupa rumen sapi merupakan langkah sederhana yang dapat dilakukan selain untuk menekan pencemaran air yang akan ditimbulkan juga dapat menghasilkan listrik dimana menjadi solusi alternatif energi

terbarui dan mendukung upaya pemerintah dalam pengembangan EBT (Energi Baru Terbarukan) dan pengendalian pencemaran lingkungan.

PERUMUSAN MASALAH

Berdasarkan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang, maka penelitian ini diambil beberapa rumusan masalah :

1. Bagaimana pengaruh variasi pH terhadap penurunan konsentrasi COD dan produksi listrik pada pengolahan air limbah isi rumen sapi menggunakan reaktor *microbial fuel cells*?
2. Dalam pH berapa teknologi pengolahan air limbah isi rumen sapi menggunakan reaktor *microbial fuel cells* bekerja secara optimal?

BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penelitian ini:

1. Penelitian ini hanya membahas pengaruh pH terhadap penurunan COD dan produksi listrik.
2. Penelitian ini hanya membahas penurunan COD dan efisiensi penurunan COD yang dipengaruhi kondisi substrat (limbah) dalam range pH 5 (asam), pH 7 (netral), pH 9 (basa).
3. Tidak membahas proses biologis pada bakteri spesifik dalam limbah rumen sapi di reaktor *microbial fuel cells*.
4. Tidak membahas seberapa besar gas metan yang dihasilkan reaktor *microbial fuel cells*.

TUJUAN PENELITIAN

Implementasi dukungan kebijakan strategis pemerintah mengenai Kebijakan Energi Baru Terbarukan (EBT) dan Pengendalian Pencemaran Lingkungan dalam teknologi MFCs. Adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi pH terhadap penurunan konsentrasi COD dan produksi listrik yang optimum pada pengolahan air limbah isi rumen sapi menggunakan reaktor *microbial fuel cells*.
2. Menentukan pH yang optimum pada teknologi *microbial fuel cells*.

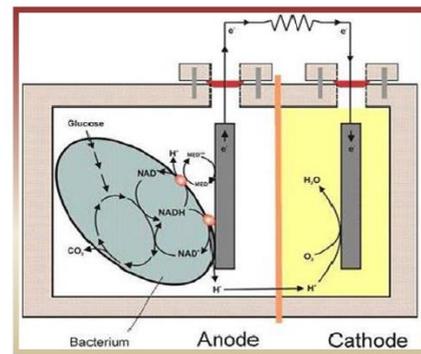
TINJAUAN PUSTAKA

Microbial Fuel Cell

Microbial Fuel Cells atau yang dikenal dengan istilah MFC merupakan sistem pembangkit energi listrik dengan memanfaatkan interaksi bakteri yang terdapat di alam.

MFC membangkitkan listrik dengan mengoksidasi bahan organik melalui bantuan mikrobia. Aktivitas katalitik dan transfer proton dilakukan dengan menggunakan enzim atau tambahan mediator (Kordesch dan Simader 2001 dalam Zahara 2011). Bahan organik yang dapat digunakan sebagai substrat dalam microbial fuel cell, adalah glukosa (Liu dan Logan 2004), pati

(Min dan Logan 2004), asam lemak (Liu et al. 2005), asam amino dan protein (Logan et al. 2005). Secara umum mekanisme prosesnya adalah substrat dioksidasi oleh bakteri sehingga menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron ditransfer melalui sirkuit eksternal, sedangkan proton didifusikan melalui larutan menuju katoda. Pada katoda, reaksi elektron dan proton terhadap oksigen akan menghasilkan air (Cheng *et al.*, 2006). Penggunaan mikroorganisme dalam MFC ini bertujuan untuk menggantikan fungsi enzim sehingga dihasilkan substrat yang lebih murah



(Idham, 2009).

Gambar 1. Prinsip Kerja Sistem MFCs

Sumber : Kim (2009) dalam Novitasari (2011: 7)

Menurut Lovley (2006), MFC memiliki beberapa kelebihan yaitu dapat menghasilkan listrik dari sampah organik dan biomassa terbarui. Bakteri mampu menjadi katalis dan beradaptasi dengan baik terhadap bahan organik berbeda yang terdapat pada limbah lingkungan sehingga menghasilkan elektron.

Air Limbah Rumen Sapi

Limbah cair Rumah Pemotongan Hewan sapi (RPH-sapi) sebagian besar dihasilkan dari air pembersih ruang potong, air pembersih intestinal, dan pembersih kandang ternak. Salah satu bagian yang menghasilkan padatan organik besar adalah dari isi rumen sapi fase cair, dimana COD yang dihasilkan sebesar 5.500-7000 mg/L dari sekitar 0,5-0,6 m³/m³ isi rumen. Sebagian besar kandungan isi rumen adalah bahan lignoselulosa (seperti rumput, merang, dll) dan bahan pencernaan meragi (digestive ferments) (Padmono, 2005).

Proses Degradasi Chemical Oxygen Demand

Degradasi COD tidak terlepas dari terjadinya proses anaerob pada *microbial fuel cells*. Seperti yang telah disebutkan proses anaerob merupakan serangkaian proses mikrobiologi yang merubah bahan organik menjadi metan.

Bakteri terlibat dalam transformasi senyawa kompleks menjadi metan. Lebih jauh lagi terjadi interaksi sinergis antara bermacam kelompok bakteri yang berperan dalam penguraian

limbah. Dari senyawa organik tidak hanya menghasilkan metan (CH_4), tetapi juga CO_2 , H_2 , NH_3 , dan H_2S . Berikut adalah reaksi yang dapat digambarkan

Senyawa organik $\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2 + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{S}$

Chemical Oxygen Demand (COD) adalah jumlah kebutuhan oksigen dalam air untuk proses reaksi secara kimia guna menguraikan unsur pencemar yang ada. COD dinyatakan dalam ppm (*part per milion*) atau ml O_2 / liter. Nilai COD mencakup kebutuhan oksigen untuk reaksi biokimiawi, karena senyawa yang dapat dirombak oleh mikroorganisme dapat pula mengalami oksidasi lewat reaksi kimiawi. (Alaerts dan Santika, 1984).

2.3 pH (*Pondous Hydrogen*) atau Derajat Keasaman

pH merupakan faktor kritis untuk semua proses berbasis mikroba. Pada MFC, pH tidak hanya mempengaruhi metabolisme dan pertumbuhan bakteri tapi juga terhadap transfer proton, reaksi katoda sehingga mempengaruhi performa MFC. Sebagian besar MFC beroperasi pada pH mendekati netral untuk menjaga kondisi pertumbuhan optimal komunitas mikroba yang terlibat dalam pembentukan listrik (Liu, 2008).

Ren *et al.*, (2007) dalam Puig *et al.*, (2010) mengemukakan bahwa dalam *dual chamber* MFCs, produksi listrik menurun secara signifikan ketika pH akhir turun menjadi 5,2 karena produk asam fermentasi, namun kembali normal ketika pH kembali 7,0. Namun pada katoda, pH mempengaruhi baik anodik dan reaksi katodik dimana pH tinggi (8-10) menghambat aktivitas bakteri anodik sampai batas tertentu, tapi mungkin menguntungkan untuk reaksi katodik, sehingga meningkatkan kinerja keseluruhan (He *et al.*, 2008 dalam Puig *et al.*, 2010)

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu yang dibutuhkan untuk penelitian ini adalah 5 bulan. Kegiatan dilakukan di dua tempat, yaitu : Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro dan Laboratorium BPIK Semarang.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

- Konsentrasi COD dan pH

Variabel Terikat

- Penurunan Konsentrasi COD dan Produksi Listrik

Variabel Kontrol

- Suhu

Alat dan Bahan

Alat Penelitian

1. Reaktor MFC
2. pH meter
3. Thermometer
4. COD reaktor
5. Neraca Analitik
6. Gelas Bekker
7. *Magnetic stirrer*
8. Multimeter digital
9. Kabel dan jepit buaya
10. Pipa bening diameter 1"
11. Pipet ukur
12. Gelas ukur

Bahan Penelitian

1. Air Limbah Rumen Sapi
2. Agar Pro Analisis
3. Elektroda (Grafit)
4. Aquadest
5. NaCl 1 M
6. KMnO_4 Pro Analisis
7. HCl 1 M
8. NaOH 1M
9. Buffer fosfat
10. Pereaksi asam sulfat ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ag}_2\text{SO}_4$)

HASIL PENELITIAN & PEMBAHASAN

Secara keseluruhan penelitian ini telah berjalan 100% dari hasil analisa karakteristik air limbah ruman sapi di RPH Semarang yang terletak di belakang terminal bis penggaron didapatkan kadar COD yang sangat tinggi setelah dilakukan 5 kali pengenceran. Yakni pada 2 kali pengujian didapatkan hasil data :

Karakteristik awal

Tabel 1. Hasil uji karakteristik awal (5 kali pengenceran)

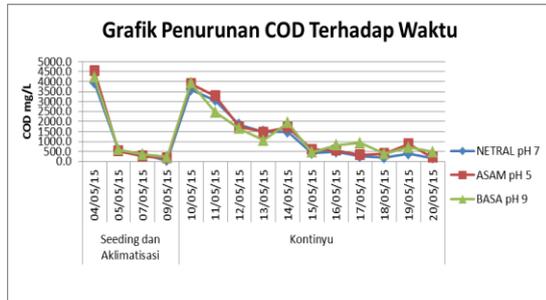
No.	Hasil	Satuan	Keterangan
1.	4487	mg/L	Panjang Gelombang 660 nm, dengan metode Spektrofotometri UV-Vis
2.	4463	mg/L	

Sumber : Data Primer, 2015

Data menunjukan walau telah dilakukan pengenceran nilai COD masih tinggi dan tidak sesuai dengan baku mutu air limbah industri rumah potong hewan menurut PERDA JATENG No. 5 Tahun 2012 yang mengisyaratkan untuk COD kadar maksimum ialah 200 mg/L.

Konsentrasi dan efisiensi penurunan COD

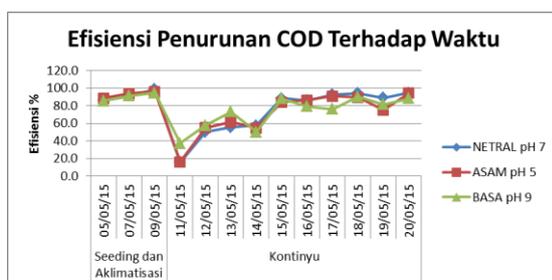
Penelitian ini dilakukan dengan 2 Tahapan yakni seeding dan aklimatisasi untuk pengkondisian dan pertumbuhan mikroba yang melekat pada elektrode selama seminggu dan tahap running yang dilaksanakan selama 10 hari dalam variasi pH pada reservoir netral pH 7, asam pH 5, dan basa pH 9. Dan menghasilkan data sebagai berikut:



Dari tahap seeding aklimatisasi tingkat penurunan COD dalam kondisi stasioner dimana kondisi penyisihan senyawa organik telah konstan dengan tingkat fluktuasi yang tidak lebih dari 10 % (Ardhianto, 2013). Konsentrasi COD semakin menurun dikarenakan substrat yang semakin habis. Hal ini dikarenakan substrat merupakan karbon sehingga penting dalam sumber energi (Angenent dan Wrenn, 2008) Sementara itu pada tahap running penurunan COD optimum pada hari ke 10 untuk pH netral COD 167,5 mg/L pada reaktor N1 (memenuhi baku mutu), pH asam COD 185,2 mg/L pada reaktor A2 (memenuhi baku mutu), dan pH basa 292,1 mg/L (belum memenuhi baku mutu). Kinerja *microbial fuel cells* juga dievaluasi berdasarkan efisiensi penyisihan COD yang dikalkulasikan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\epsilon = \frac{C_{inlet} - C_{outlet}}{C_{inlet}} \times 100\%$$

Dimana ϵ adalah efisiensi penyisihan COD, C_{inlet} adalah konsentrasi COD awal (mg/l) dan C_{outlet} adalah konsentrasi COD saat waktu tertentu.



Efisiensi penyisihan COD optimum pada tahap seeding aklimatisasi mencapai 98,8 %; 96, 2

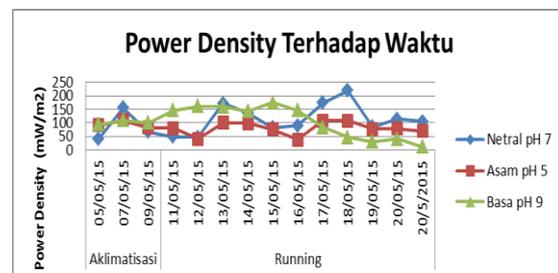
% dan 94,5 % masing-masing untuk variasi pH netral, asam dan basa. Sedangkan pada tahap running sistem efisiensi penyisihan optimum pada pH netral 94,8%, pH asam 94,4% dan pH basa 88,1 %. Efisiensi penyisihan tertinggi ialah pada reaktor dengan pH netral.

Produksi Listrik

Produksi listrik dalam reaktor MFC dihitung dengan menganalisa data *open circuit voltage* (OCV) dan arus (I) diukur setiap hari sekali menggunakan multimeter digital (DT-830B). Nilai kuat arus dan tegangan yang didapatkan kemudian dikonversi ke *power density* P (mW/m²) sesuai dengan rumus :

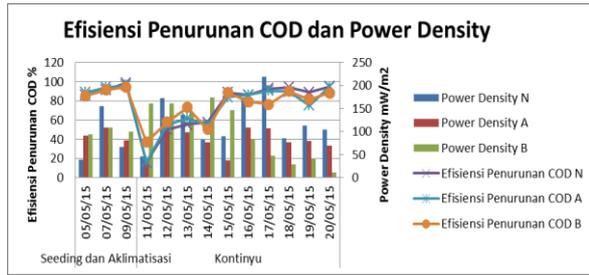
$$P = \frac{I}{A} \quad P = \frac{V \times I}{A}$$

dimana I (mA) adalah arus listrik, V (volt) adalah tegangan / beda potensial dan A (m²) adalah luas permukaan yang digunakan mikroorganisme bertumbuh di anoda grafit batang. Di dalam penelitian ini, luas permukaan anoda dihitung dengan perhitungan selimut tabung tanpa tutup ($2\pi r t + \pi r^2$) sebesar 12,308 cm². Densitas arus juga dihitung dengan membagi arus yang terukur dengan luas permukaan anoda, yakni dengan rumus :

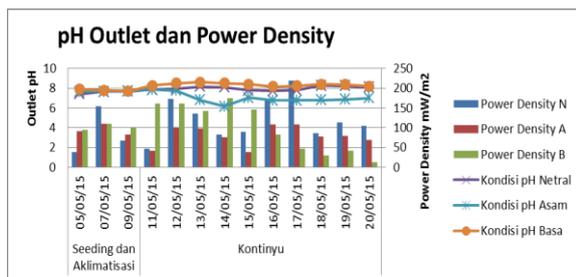


Dari grafik diatas untuk reaktor dengan varioasi pH netral produksi listrik terbesar adalah 219,0916 mW/m² pada hari ke 7 (18/05/15) , sedangkan untuk reaktor dengan variasi pH asam power density terbesar adalah 108,5341 mW/m² pada hari ke 6 (17/05/15). Untuk reaktor dengan variasi pH asam power density terbesar adalah 174,5589mW/m² pada hari ke 4 (15/05/15). Produksi listrik berdasarkan variabel arus dan tegangan ini mrnunjukan optimum pada hari ke 4 sampai hari ke 7 yang kemudian turun namun masih dalam kondisi stabil. Reaktor dengan kondisi kurang optimum adalah variasi basa dikarenakan saat hari ke 7 hingga hari ke 10 arus yang dihasilkan rendah, sedangkan untuk reaktor variasi asam produksi listrik mulai hari ke 8 hingga ke 10

juga mengalami penurunan. Reaktor dengan kondisi optimum hingga hari ke 10 adalah reaktor dengan variasi netral.



Analisa kinerja penurunan COD yang di gambarkan dengan efisiensi penurunan COD memperlihatkan bahwa semakin hari efisiensi penurunan semakin meningkat hal ini dikarenakan mikroorganisme telah membentuk biofilm selama proses seeding-aklimatisasi-running mulai menyesuaikan dengan kondisi variasi pH limbah dan substrat yang berangsur-angsur berkurang. Namun produksi listrik cenderung menurun untuk reaktor variasi pH basa dan cenderung stabil untuk reaktor variasi pH asam. Produksi listrik yang lebih rendah mulai hari ke 7 hingga 10 dibanding pada hari ke 1 hingga ke 6 dikarenakan substrat sebagai unsur karbon yakni makanan sekaligus sumber energi mikroorganisme telah berkurang sehingga elektron yang dihasilkan dari proses metabolisme berkurang dan menyebabkan produksi listrik juga berkurang.



Produksi listrik yang tinggi tidak lepas dari penggunaan substrat, namun selama proses running kemudian produksi listrik semakin menurun sesuai dengan peningkatan konsentrasi karena adanya faktor lain seperti ketebalan biofilm dan pH yang mempengaruhi transfer elektron dan aktifitas mikroorganisme dalam menghasilkan elektron. Kecenderungan penurunan produksi listrik ditunjukkan pada semua reaktor ketika substrat hampir habis pada hari ke sepuluh running sistem. Konsentrasi karbon yang tinggi sebanding dengan peningkatan arus listrik karena substrat yang di

konversi menjadi elektron semakin banyak (Ghoreysi, 2011). Hasil penelitian ini memperlihatkan pula bahwa pH outlet rata-rata pH 6-8 dengan pH optimum paling baik adalah pada reaktor variasi pH netral yang berkisar pH 7,38-7,9 pada outlet. pH outlet reaktor variasi substrat asam hari ke 3 terjadi penurunan pH hingga 6,15 sedangkan pada reaktor variasi substrat basa hari ke 3 terjadi kenaikan pH hingga 8,49 namun untuk seterusnya pH kembali stabil di rentang pH netral.

4.4 Pengujian Bakteriologis

Mikroorganisme berperan penting dalam sistem MFC, bakteri penghasil listrik yang terdapat dalam limbah umumnya adalah *geobacter sp.*, *Shewanella sp.*, dan *e. Colli*. Dalam penelitian ini kami menganalisa bakteri dalam reaktor MFC yang berperan dalam produksi listrik menggunakan metode MPN yang dilakukan di Laboratorium BPIK Semarang. Berikut adalah gambar hasil pengujian bakteri dalam sampel yang telah diencerkan 1000 kali pengenceran.



Gambar 5. Hasil Uji Bakteri dalam Reaktor MFC
Sumber: BPIK Semarang, 2015

Berdasarkan gambar di atas, hasil tersebut menunjukkan jumlah bakteri *E-coli* dalam reaktor MFC sebanyak 100.000 bakteri. Hasil di dapat dari perhitungan = $1 \times 100 \times 1000$ (angka pengenceran sampel).

Potensi Khusus

Pengolahan limbah dengan reaktor *microbial fuel cell* dengan variasi substrat pH ekstrim asam 5 dan basa pH 9 dalam limbah rumen sapi mikroorganisme masih dapat berkembang biak, mampu menyisihkan COD dan menghasilkan listrik, sehingga inovasi pengolahan biologis ini mempunyai ketahanan dan potensi yang dapat dikembangkan lebih lanjut dan diterapkan untuk pengolahan limbah yang terintegrasi pada implementasi kebijakan strategis mengenai Energi baru terbarukan (EBT).

Kesimpulan

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa variasi pH berpengaruh terhadap penurunan konsentrasi COD dan produksi listrik pada pengolahan air limbah rumen sapi menggunakan reaktor Microbial fuel cells.

1. Reaktor dengan variasi pH netral produksi listrik terbesar adalah 219,0916 mW/m² pada hari ke 7, Reaktor dengan variasi pH asam power density terbesar adalah 108,5341 mW/m² pada hari ke 6, Reaktor dengan variasi pH asam power density terbesar adalah 174,5589 mW/m² pada hari ke 4. Produksi listrik ialah pada reaktor dengan variasi substrat pH netral.
2. Penurunan COD optimum pada hari ke 10 untuk pH netral COD 167,5 mg/L pada reaktor N1 (memenuhi baku mutu), pH asam COD 185,2 mg/L pada reaktor A2 (memenuhi baku mutu), dan pH basa 292,1 mg/L (belum memenuhi baku mutu).
3. Efisiensi penyisihan optimum pada pH netral 94,8%, pH asam 94,4% dan pH basa 88,1 %. Efisiensi penyisihan tertinggi pada reaktor dengan variasi substrat pH netral.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G dan Sri Sumestri, S. 1984. *Metoda Penelitian Air*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional. 25
- Aelterman, P., Rabaey, K., Pham, T.H., Boom, N., and Verstraete, W., 2006. *Continuous Electricity Generation at High Voltages and Currents Using Stacked Microbial Fuel Cells. Journal Environmental Science & Technology Vol. 40, No. 10, 3388-3394.*
- B. Ayati, H. Ganjidoust. 2006. *Comparing The Efficiency of UAFF and UASB with Hybrid Reactor in Treating Wood Fiber Wastewater. Iranian Journal of Environment Health Science and Engineering Vol. 3, No.1, 39-44.*
- Du, Zhuwei., Li, Haoran., and Gu, Tingyue. 2007. *A State of The Art Review on Microbial Fuel Cells: A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy. Biotechnology Advances Journal Vol. 25, No. 5, 464-482.*
- Idham F, Halimi S, dan Latifah S. 2009. *Alternatif Baru Sumber Pembangkit Listrik dengan Menggunakan Sedimen Laut Tropika Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell. Teknologi Hasil Perairan Institut Pertanian Bogor.*
- Lettinga, G., Hulshoff, Pol, L.W. and Zeeman, G. 1996. *Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic Wastewater Treatment. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University*
- Liu H dan Logan BE. 2004. *Electricity Generation Using an Air Cathode Single-Chamber Microbial Fuel Cell in the presence and absence of proton exchange membrane. J. Environment Science Technology 38:4040.*
- Lovely DR. 2006. *Review Bug Juice : Harvesting Electricity with Microorganism. Nature Reviews Microbiology Vol 4, No. 7, 497-508. 14*
- Puig, Sebastian., Serra, Marc., Coma, Marta., Cabre, Marina., Balaguers, M. Dolores., and Colprim, Jesus. 2010. *Effect of pH on Nutrient Dynamics and Electricity Production Using Microbial Fuel Cells. Bioresource Technology Journal, Vol. 101, No. 24, 9594-9599.*
- Rozendal, R. A., Hamelers, H. V. M. & Buisman, C. J. N. 2006a. *Effects of Membrane Cation Transport on pH and Microbial Fuel Cell Performance. Journal Environmental Science Technology, Vol. 40, No.17, 5206–5211.*
- Sitorus, Berlian. 2010. *Diversifikasi Sumber Energi Terbarukan melalui Penggunaan Air Buangan dalam Sel Elektrokimia Berbasis Mikroba. Jurnal ELKHA Vol. 2, No. 1, 10-16.*
- Zahara, Nova Chisilia. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces cerevisiae dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik. Fakultas Teknik. Universitas Indonesia.*