

PENGARUH JENIS ELEKTRODA TERHADAP *POWER DENSITY* PADA *MICROBIAL FUEL CELL* DENGAN PENAMBAHAN *GRANULAR ACTIVATED CARBON*

Vidia Wahyu Meidy Safitri dan Tuhu Agung Rachmanto

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

Email: vidiameidy@gmail.com

ABSTRAK

Limbah cair tahu mengandung kandungan organik tinggi dengan konsentrasi COD 1408 mg/l, TSS 191 mg/l dan pH 4,46. Salah satu penelitian dengan pemanfaatan limbah dan energi yaitu Microbial Fuel cell (MFC). Energi Kimia senyawa organik dari mikroorganisme akan dirubah menjadi energi listrik dengan reaksi katalik dari mikroorganisme dalam keadaan anaerob merupakan proses microbial fuel cells. Salah satu tantangan untuk mengembangkan sistem MFC adalah dengan memilih elektroda yang tepat. Elektroda yang digunakan harus memiliki daya konduktifitas listrik tinggi, permukaan yang luas, non korosif, biokompatibel, stabil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis elektroda optimum dalam menghasilkan power density dengan variasi elektroda karbon grafit, seng dan tembaga, variasi waktu 0, 48, 96, 144, dan 192 jam. Dilakukan pre-treatment koagulasi flokulasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa MFC dengan elektroda karbon grafit dan karbon grafit menghasilkan power density sebesar 2292,994 mW/m². MFC juga menurunkan konsentrasi COD hingga 88%. Waktu pengolahan dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan COD.

Kata kunci: limbah tahu, microbial fuel cell, power density

ABSTRACT

Tofu liquid waste contains high organic content with a COD concentration of 1408 mg / l, TSS 191 mg / l and pH 4.46. One of the researches related to waste and energy utilization is Microbial Fuel cell (MFC). Chemical energy organic compounds from microorganism will be converted into electrical energy by the catalytic reaction of microorganism in anaerobic conditions is a process of microbial fuel cells. One of the challenges to developing an MFC system is to choose the right electrodes. The electrodes used must have high electrical conductivity, a wide surface, non-corrosive, biocompatible, stable. This study aims to find out the most optimum type of electrode in producing power density with variations of carbon graphite, zinc and copper, variations of 0, 48, 96, 144, and 192 hours. The pre-treatment are Coagulation-flocculation. The results showed that MFC with carbon graphite and carbon graphite electrodes produced a power density of 2292,994 mW/m². MFC also reduces COD concentrations up to 88%. Processing time can affect the efficiency of COD removal.

Keywords: Tofu Liquid Waste, Microbial Fuel Cells, power density

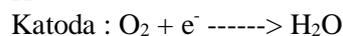
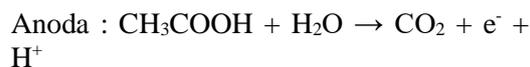
PENDAHULUAN

Industri tahu menghasilkan buangan pada proses produksi berupa limbah cair tahu dan ampas tahu. Bahan organik yang terkandung didalam limbah merupakan tempat bakteri untuk tumbuh. Namun seringkali limbah cair ini hanya dibuang begitu saja ke sungai atau selokan tanpa diolah terlebih dahulu terutama pada industri tahu tradisional. Industri Tahu di Kabupaten Sidoarjo menghasilkan limbah cair dengan konsentrasi COD 1408 mg/l, TSS 191 mg/l dan pH 4,46. Jika ditinjau dari Pergub no. 72 tahun 2013 limbah cair tersebut telah melampaui baku mutu yang telah ditetapkan.

Salah satu penelitian yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah dan energi yaitu *Microbial Fuel cell* (MFC). Energi kimia senyawa organik dari mikroorganisme akan dirubah menjadi energi listrik dengan reaksi katalik dari mikroorganisme dalam keadaan anaerob merupakan proses *microbial fuel cells*. Pemilihan elektroda yang tepat merupakan salah satu tantangan untuk mengembangkan sistem MFC. Elektroda yang digunakan harus memiliki daya konduktifitas listrik tinggi, permukaan yang luas, non korosif, biokompatibel, stabil sehingga dapat digunakan terus menerus. Penggunaan karbon grafit, seng dan tembaga sangat cocok sebagai elektroda karena memiliki sifat konduktifitas yang sangat tinggi dan telah dibuktikan pada penelitian terdahulu yang bisa menghasilkan *power density* sebesar 32,62 mW/m² pada menit ke-125.

Penelitian ini dilakukan *pre-treatment* dengan koagulasi dan flokulasi sebelum dilakukan penelitian utama menggunakan reaktor *Microbial Fuel Cell* dengan dua kompartemen dengan menggunakan jembatan garam. Penambahan media *Granular Activated Carbon* digunakan sebagai media lekat dari mikroorganisme. Substrat berasal dari limbah cair industri tahu. Hasil dari penelitian ini yaitu menghasilkan arus listrik yang kemudian bisa diukur dengan *power density*. Listrik tersebut digunakan untuk menyalakan lampu LED 1 watt sebagai indikator.

Prinsip kerja dari microbial fuel cell adalah terdapat dua kompartemen yaitu anoda dan katoda. Pada kompartemen anoda terdapat elektroda dan media GAC. Fungsi dari elektroda digunakan sebagai tranfer elektron yang dihasilkan dari proses degradasi substrat menuju ke katoda. Senyawa organik seperti glukosa dan asam asetat akan dikonsumsi oleh mikroorganisme dalam proses metabolismenya sehingga akan menghasilkan CO₂, elektron (e⁻) dan proton (H⁺) (Sinaga, Suyati et al., 2015). Pada jembatan garam terjadi proses perlewatan proton, sedangkan elektron yang menempel di elektroda anoda kemudian mengalir melalui sirkuit eksternal menuju elektroda pada katoda. Pertemuan antara elektron dan proton yang menyebabkan adanya perbedaan potensial antara kedua ujung elektroda (katoda dan anoda) sehingga menghasilkan daya listrik. Reaksi yang dihasilkan sebagai berikut:



Media GAC digunakan sebagai media pelekatan mikroorganisme dimana media GAC sebagai tempat menempelnya biofilm yang bisa mendukung kinerja MFC dalam menurunkan bahan organik (Estuning, 2015).

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan adalah reaktor Koagulasi Flokulasi dari tabung plastic (Ø 20 cm, tinggi), reaktor MFC dari plastik volume 5 L, kabel dan penjepit buaya, erlenmeyer, beaker glass, spatula kaca, Avo-multimeter digital, aluminium foil, pipet ukur, pipa pvc (Ø 1 inch, Panjang 10 cm), limbah tahu Sidoarjo, KMnO₄, NaOH 1 M, HCl 1 M, asam asetat, karbon grafit batang (Ø 1 cm, tinggi 10 cm), tembaga batang (Ø 1 cm, tinggi 10 cm), seng batang (Ø 1 cm, tinggi 10 cm), PAC, nutrient agar, KCl, aquades, *granular activated carbon*.

Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan dengan uji karakteristik awal limbah tahu.

Aktivasi Elektroda

Elektroda karbon dibersihkan dan diaktivasi dengan direndam HCl 1M dan NaOH 1 M, selama satu hari. Setelah itu direndam kedalam Aquades. Elektroda seng dan tembaga diampas dibersihkan dari pengotor maupun biofilm yang terbentuk pada permukaan elektroda

Pembuatan Jembatan Garam

KCl dan nutrient agar dicampurkan dengan aquadest yang mendidih kemudian diaduk hingga homogen dan mengental lalu dimasukkan kedalam pipa pvc (Ø 1 inch, panjang 10 cm)

Aktivasi media lekat GAC

GAC ditimbang sebanyak 200 gram kemudian direndam kedalam HCl dan NaOH, masing-masing selama 1 hari kemudian direndam kedalam aquades lalu dijemur dibawah sinar matahari.

Persiapan Substrat

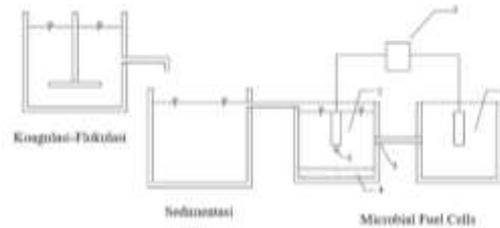
a. Pre-treatment

Dilakukan uji Jartest untuk mendapat variasi dosis koagulasi PAC yang paling optimal dalam proses koagulasi dan flokulasi dan didapatkan hasil koagulasi optimal yaitu 200 mg/L. Melakukan proses pre treatment dengan koagulasi dan flokulasi, limbah tahu dimasukkan dalam reaktor. Limbah tahu yang sudah melewati proses *pre-treatment* akan dilanjutkan ke proses *microbial fuel cells*.

b. Penelitian MFC

Reaktor MFC dual chamber berjumlah 5 pasang dengan variasi berbagai jenis elektroda didalamnya. Pada kompartemen anoda berisi media GAC, elektroda yang dijepit dengan penjepit buaya dan dihubungkan dengan kabel, substrat yang digunakan adalah limbah tahu dan asam asetat dengan total volume 4000 ml. kompartemen katoda berisi KMnO₄ 0,01 M yang telah dilarutkan dengan aquades 4000 ml. Jembatan garam yang terbuat dari pipa PVC berisi nutrient agar dan KCl digunakan sebagai pemisah antara anoda dan katoda. Pada kompartemen katoda

dilapisi alumunium foil yang bertujuan agar KMnO₄ tidak terfotodekomposisi. Pada kompartemen anoda dikondisikan anaerob. Terdapat outlet pada anoda untuk pengambilan sampel juga terdapat *Avo-multimeter digital* yang disambungkan pada kabel dan penjepit buaya untuk mengukur kuat arus dan tegangan. Pengukuran dan pengambilan sampel dilakukan setiap 48 jam sekali dalam 142 jam.



Gambar-1 : Perancangan Reaktor MFC

Keterangan:

1. Outlet sampling
2. Anoda
3. Jembatan Garam
4. GAC
5. Avo-multimeter
6. Katoda

Tahap Penelitian Akhir

Penelitian akhir dilakukan untuk mengetahui kuat arus, tegangan, COD, NH₃, dan PO₄.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Karakteristik Awal

Tabel-1: Karakteristik Awal Limbah Tahu

No.	Parameter	Hasil
1	COD	1408 mg/L
2	TSS	191 mg/L
3	NH ₃	20,3 mg/L
4	pH	6,4
5	PO ₄	0,752 mg/L

Berdasarkan uji awal karakteristik limbah tahu menunjukkan bahwa jika ditinjau dari Pergub no. 72 tahun 2013 limbah cair tahu Sidoarjo telah melewati baku mutu.

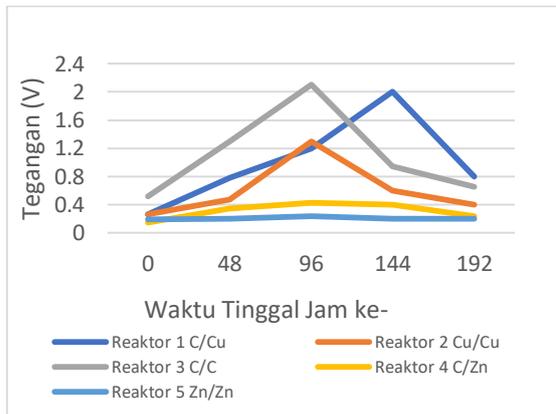
Penelitian Pendahuluan

Tabel-2: Hasil Analisa Perhitungan Dosis Optimum Koagulan Pada Proses Pre-Treatment

No.	Koagulan PAC (mg/L)	% Removal
1	100	50%
2	120	61%
3	150	71%
4	200	78%
5	250	68%

Berdasarkan tabel-2 tersebut didapatkan hasil penyisihan tertinggi yaitu pada dosis koagulan 200 mg/L dengan persentase removal TSS sebesar 82% dari persentase TSS awal. Untuk itu dosis koagulan yang digunakan pada saat pre-treatment adalah 200 mg/L koagulan.

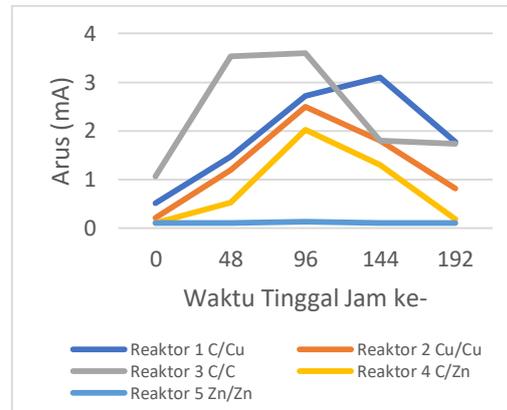
Penelitian Utama Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap Tegangan



Gambar-2: Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap Tegangan

Pada gambar-2 nilai fluktuasi tegangan naik dari jam 0-96 kemudian terjadi penurunan pada jam 144-192 hal ini dikarenakan terjadinya peningkatan secara tajam metabolisme mikroba dalam penguraian senyawa organik, yang diindikasikan oleh meningkatnya produksi listrik hasil dari metabolisme tersebut. Nilai tegangan tertinggi yang didapatkan sebesar 2,1 V pada reaktor 3. Penurunan tegangan ini disebabkan oleh semakin habisnya substrat yang dapat dioksidasi oleh mikroorganisme sehingga elektron yang dihasilkan semakin sedikit. Nilai tegangan terendah yaitu pada reaktor 1 0,19 V.

Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap Kuat Arus



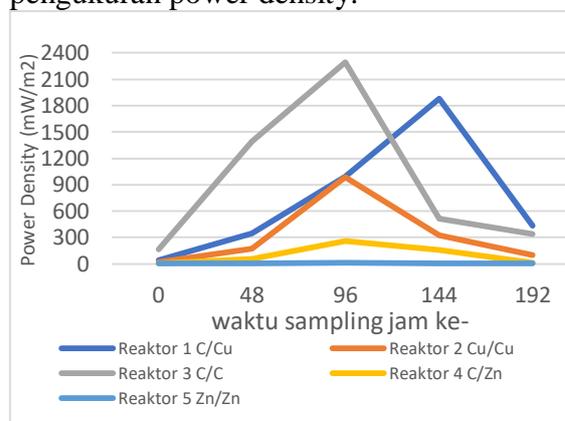
Gambar-3: Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap Kuat Arus

Dapat dilihat dari gambar-3 bahwa pada jam ke-0 reaktor menghasilkan besar kuat arus, hal ini dikarenakan air limbah tahu dan penambahan asam asetat yang melalui kontak dengan elektroda karbon grafit, tembaga maupun seng menghasilkan elektron yang menempel pada elektroda kemudian akan mengalir melalui sirkuit eksternal menuju ke katoda yang berisi larutan elektrolit, dan bertemu proton sehingga terukur menjadi arus listrik yang diukur menggunakan multimeter digital (Estuning, 2015). Menunjukkan bila saat jam ke-0 aktivitas mikroorganisme belum terlalu berperan. Jam ke-48 hingga jam ke-96 tegangan dan arus listrik yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan, hal ini menunjukkan bahwa aktivitas dari mikroorganisme mulai berperan dalam menguraikan bahan organik. Lamanya waktu tinggal dalam reaktor juga berpengaruh dalam menghasilkan besarnya tegangan dan kuat arus listrik. Semakin lama waktu tinggal maka semakin lama mikroorganisme yang kontak dengan air limbah tahu dan proses pendegradasian bahan organik akan lebih besar. Pada jam ke-96 hingga jam ke-192 arus listrik mengalami penurunan. Penurunan diakibatkan oleh hambatan-hambatan yang ada dalam prosesnya. Hal ini bisa terjadi akibat dari kurangnya sumber karbon yang digunakan oleh mikroorganisme dalam menghasilkan elektron (Widodo, 2019). Sumber karbon

telah habis didegradasi oleh bakteri pada jam 0-96. Menurut Wijayanti, et al (2015), korosi dari elektroda, kabel, jepit buaya pada rangkaian listrik termasuk juga faktor dari penghambat timbulnya arus listrik.

Pengaruh Jenis Elektroda Terhadap Power Density yang Dihasilkan MFC

Power density didapatkan dari pengukuran hasil angka dari kuat arus dan tegangan listrik tersebut kemudian dikalikan, kemudian dibagi dengan luas permukaan tiap elektroda. Berikut hasil pengukuran *power density*:



Gambar-4 : Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap *Power Density*

Dapat dilihat bahwa pada gambar-4 *power density* maksimum diperoleh pada jam ke-96 pada reaktor 3 dengan elektroda pada anoda adalah berbahan karbon grafit dan elektroda pada katoda juga berbahan karbon grafit yaitu sebesar 2292,99 mW/m². *Power density* terendah paling kecil diperoleh sebesar 4,96 mW/m² pada reaktor 4 jam ke-0 yaitu dengan elektroda anoda berbahan karbon grafit dan katoda berbahan seng (Zn). Material elektroda secara umum adalah kertas karbon, kain karbon, sikat karbon, dan karbon grafit. Namun pada umumnya juga material yang biasa dipakai untuk anoda juga dapat digunakan dan diaplikasikan sebagai elektroda pada katoda. Material elektroda dapat mempengaruhi struktur serta pembentukan biofilm dalam mentransfer elektron (Widodo, 2019). Elektroda grafit, tembaga, seng, dan adanya *granular activated carbon* (GAC) dalam kompartemen anoda berperan sebagai

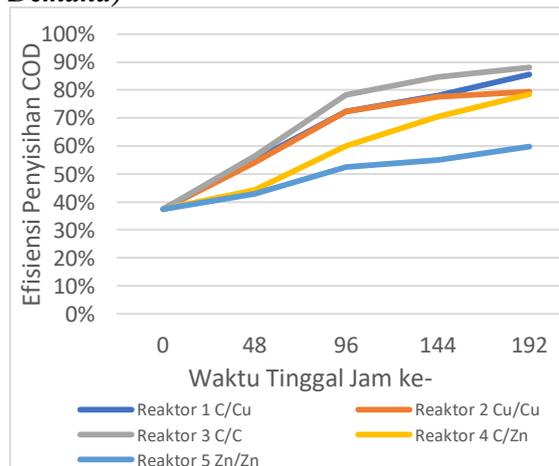
media lekat organisme untuk membentuk biofilm. Karbon juga sering digunakan sebagai elektroda karena konduktivitasnya yang baik, tidak mengalami korosi dan cocok untuk pertumbuhan mikroba (Estuning, 2015).

Perbedaan nilai tegangan dan arus listrik yang dihasilkan bisa disebabkan oleh variasi bahan elektroda. Pada penelitian (Immanah, 2013) elektroda yang digunakan berbentuk silinder dan menggunakan pasangan elektroda Cu-Fe, Cu-Pb, Al-Kuningan, Cu-Al, Cu-kuningan didapatkan hasil *power density* maksimum pada elektroda Cu-Fe. Hal itu dikarenakan berdasarkan pada urutan deret volta. Dalam penelitian ini didapatkan hasil bahwa variasi elektroda terbaik dimana menghasilkan *power density* paling maksimal yaitu pada anoda karbon grafit dan katoda karbon grafit. Karena karbon grafit merupakan golongan non logam yang berasal dari alotrip karbon yang memiliki nilai potensial standar yaitu -1,59. Nilai potensial standar yang tinggi pada karbon grafit menyebabkan elektroda ini tahan terhadap korosi dan sifat asam basa (Ibrahim, 2017). Variasi Zn dan Zn merupakan variasi paling rendah dikarenakan seng merupakan golongan logam yang memiliki nilai potensial -0,76 dimana lebih rendahnya nilai potensial seng dibandingkan dengan karbon membuat elektroda seng memberikan keluaran listrik lebih rendah. Semakin tingginya nilai potensial maka semakin bersifat reduktor yang artinya semakin mudah melepaskan elektron. Variasi anoda karbon grafit dan katoda tembaga (Cu) menghasilkan produksi listrik yang lebih besar dibandingkan variasi elektroda anoda karbon grafit dan katoda seng (Zn) dikarenakan tembaga memiliki nilai potensial standar +0,34, dimana tembaga pada deret volta berada disebelah kanan yang berperan sebagai oksidator. Semakin kekanan kedudukan suatu logam dalam deret volta maka semakin mudah untuk menerima elektron dan merupakan oksidator yang kuat (Ibrahim, 2017).

Semakin kuatnya oksidator maka reaksi akan lebih cepat berlangsung.

Peningkatan *power density* belum terlalu efisien pada penelitian ini dikarenakan penggunaan media GAC sebagai media perlekatan bakteri semakin lamanya waktu pengolahan akan terdapat biofilm yang dapat meningkatkan hambatan pada anoda. Apabila permukaan elektroda sudah dipenuhi oleh biofilm, jumlah elektron yang dapat ditransfer ke elektroda akan sedikit hingga terjadi penurunan listrik. Media lekat lain yang bisa digunakan adalah media lekat kerikil, bioball sebagai media lekat mikroorganisme dimana mikroorganisme akan menguraikan senyawa organik menjadi elektron CO_2 dan proton yang kemudian membentuk biofilm yang menempel pada media. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya media lekat mempengaruhi hasil pengukuran listrik. Energi listrik yang terbesar sebesar 179,54 mWh dengan penambahan media kerikil. Hal ini dikarenakan kerikil memiliki permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan media bioball (Purwono, 2015). Permukaan media yang lebar dan kasar mempromosikan kolonisasi bakteri dalam pertumbuhan biofilm.

Penyisihan COD (*Chemical Oxygen Demand*)



Gambar-5 : Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penyisihan COD

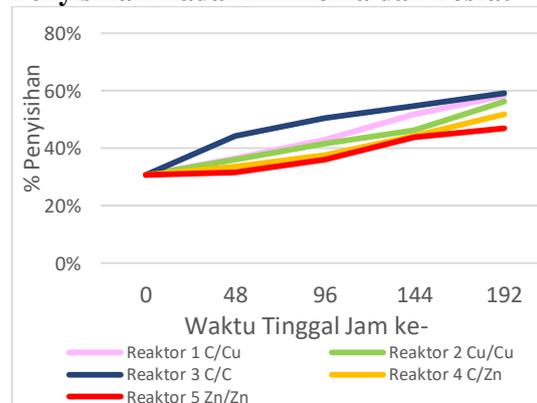
Sebelum dilakukan proses *pre-treatment*, kadar COD pada limbah cair industri tahu

dilakukan pengujian terlebih dahulu. Hasil uji diperoleh kadar COD sebelum *pre-treatment* yaitu sebesar 1408 mg/L. Efisiensi terbesar diperoleh pada reaktor Reaktor 3 dimana menunjukkan angka efisiensi penyisihan COD sebesar 88%. Efisiensi penyisihan COD terkecil diperoleh pada reaktor 5 dengan efisiensi penyisihan COD akhir sebesar 60%.

Analisa kinerja penurunan COD yang digambarkan dengan efisiensi penyisihan COD menunjukkan bahwa semakin bertambahnya waktu pengolahan efisiensi penyisihan COD semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh adanya kontak limbah dengan mikroorganisme tersuspensi dalam air maupun mikroorganisme yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat menguraikan zat organik pada kompartemen anoda (Said, 2017).

Mikroorganisme yang ada pada limbah akan mengoksidasi molekul biodegradable seperti asetat untuk menghasilkan electron, proton dan CO_2 . Hasil dari proses tersebut adalah timbulnya biomassa atau biofilm. Mikroorganisme ini akan membentuk biofilm pada permukaan elektroda dan GAC sebagai media lekat. Mikroorganisme yang ada pada biofilm akan mendegradasi bahan organik yang ada dalam air limbah. Pada biofilm yang terletak pada permukaan media GAC ataupun elektroda senyawa polutan dalam limbah seperti COD akan terdegradasi secara biologis (Said, 2017).

Penyisihan Kadar Ammonia dan Fosfat

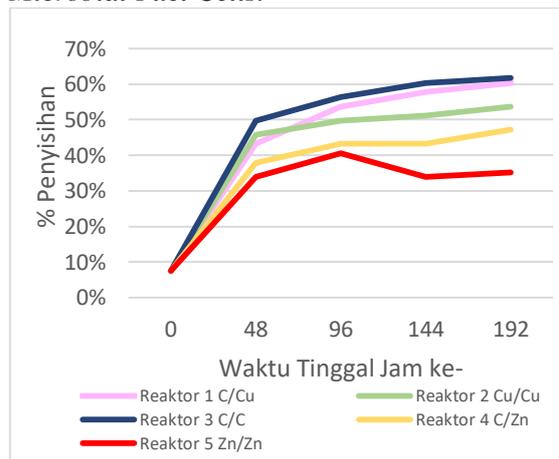


Gambar-6 : Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tinggal Terhadap Efisiensi Penyisihan Ammonia

Dari gambar-4 dapat diketahui bahwa penurunan efisiensi terbesar terjadi pada reaktor 3 dengan anoda karbon dan katoda karbon yaitu sebesar 59%. Sedangkan penurunan terkecil terjadi pada reaktor 5 dimana efisiensi penurunannya sebesar 47%. Adanya kontak limbah dengan mikroorganisme tersuspensi dalam air maupun mikroorganisme yang menempel pada elektroda dan media mengakibatkan zat organik akan terurai dan juga akan mempercepat proses denitrifikasi. Proses dari metabolisme mikroorganisme akan menghasilkan biomassa dan akan terbentuk biofilm yaitu kumpulan mikroba yang melekat secara bertahap pada permukaan pembawa atau media. Mikroorganisme yang tumbuh pada biofilm tersebut akan mendegradasi senyawa organik yang ada pada air limbah. Senyawa organik seperti ammonia dan fosfat akan terdegradasi pada proses anaerobik, dimana pada proses denitrifikasi terjadi degradasi senyawa ammonia akan dirubah menjadi menjadi nitrat. Perubahan nitrat akan menjadi nitrit yang selanjutnya akan terlepas menjadi gas nitrogen(N₂) (Said, 2017).



Pada penelitian ini juga terjadi penurunan fosfat pada air limbah tahu dengan proses *Microbial Fuel Cells*.



Gambar-7 : Pengaruh Jenis Elektroda dan Waktu Tenggat Terhadap Efisiensi Penyisihan Fosfat

Efisiensi penyisihan fosfat sebesar 62% pada reaktor 3. Proses dari *microbial fuel cell* ini yang memanfaatkan kemampuan

metabolisme bakteri akan menghasilkan biomassa yang akan menempel pada elektroda dan media lekat. Said, (2017) mengatakan bahwa, pertumbuhan biomassa di MFC akan menyerap nitrogen dan fosfat yang ada pada air limbah pada kompartemen anoda. Selama proses anaerob, terjadi proses hidrolisis fosfat yang diakibatkan oleh sel sel mikroba mengeluarkan fosfat anorganik sehingga mengakibatkan fosfat akan terdegradasi akibat dari proses hidrolisis dari bahan organik oleh mikroorganisme tersuspensi yang ada pada air limbah maupun mikroorganisme yang ada pada biofilm yang melekat pada elektroda dan media GAC. Semakin banyak mikroorganisme yang ada disekitar elektroda maka mikroorganisme tersebut akan menempel pada elektroda tembaga, seng dan karbon grafit sehingga menghasilkan elektron dalam jumlah yang besar.

KESIMPULAN

1. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan elektroda karbon grafit dan karbon grafit menghasilkan *power density* maksimum sebesar 2292,871 mW/m² dimana nilai tersebut adalah nilai tertinggi dari variasi kombinasi elektroda yang lainnya karena karbon grafit merupakan golongan non logam yang berasal dari alotrip karbon yang memiliki nilai potensial standar yaitu -1,59. Nilai potensial standar yang tinggi pada karbon grafit menyebabkan elektroda ini tahan terhadap korosi dan sifat asam basa Hal ini menunjukkan bahwa material logam elektroda berpengaruh terhadap *power density* yang dihasilkan.
2. Waktu pengolahan dapat mempengaruhi efisiensi penyisihan COD. Hal ini dibuktikan pada penelitian ini terjadi penurunan COD tiap jamnya selama 192 jam pengolahan pada setiap reaktor yang dihitung dengan efisiensi penyisihan sebesar 86% pada reaktor 1; 79% pada reaktor 2, 88% pada reaktor 3, 78% pada reaktor 4, 60% pada reaktor 5. Efisiensi penyisihan tersebut menunjukkan bahwa waktu pengolahan

berperan dalam penurunan COD. Semakin lama waktu kontak limbah dengan mikroorganisme maka proses pendegradasi senyawa organik semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- AliM., & WidodoA. A. 2019. *Biokonversi Bahan Organik Pada Limbah Cair Rumah Pemotongan Hewan Menjadi Energi Listrik Menggunakan Microbial Fuel Cell. Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 11(2), 30-37.
- Al Kholif, M., & Ratnawati, R. 2017. *Pengaruh Beban Hidrolik Media Dalam Menurunkan Senyawa Ammonia Pada Limbah Cair Rumah Potong Ayam (RPA)*. WAKTU, 15(1), 1-9.
- Asmadi dan Suharno. 2012. *Dasar – Dasar Teknologi Pengolahan Air Limbah*. Gosyen Publishing : Yogyakarta. 15-16
- Estuning, R.M., Sumiyati, S., Samudro, G. 2015. *Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) dan pH Terhadap Kinerja Granular Activated Carbon Dual Chamber Microbial Fuel Cells (GAC-DCMFCs)*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Universitas Diponegoro, 4(2), 1-8.
- Fitriani, A., Sumiyati, S., Samudro, G. 2015. *Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (Cod) Dan Luas Permukaan Elektroda Graphite Rod Terhadap Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cells (Dcmfcs)*. Skripsi, Universitas Diponegoro,
- George Alison. 1995. *Microbial Reduction Of Phospate*. Microbial Diversity Project University of Wales Cardiff.
- Grady, J., L. and Lim, H.C. 1980. *Biological Wastewater Treatment: Theory and Applications*. Marcel Dekker, Incorporated.
- Herlambang, A., 2002. *Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu*. Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan (BPPT) dan Bapedal. Samarinda.
- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Adjani, Z. N. 2017. *Kinerja microbial fuel cell penghasil biolistrik dengan perbedaan jenis elektroda pada limbah cair industri perikanan*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(2), 296-304.
- Imamah, A. N. (2013). *Efek Variasi Bahan Elektroda Serta Variasi Jarakantar Elektroda Terhadap Kelistrikan yang Dihasilkan Oleh Limbah Buah Jeruk (Citrus Sp.)*. Skripsi, Universitas Jember.
- Januarita, R., Azizah, A., Ulfa, A., Syahidah, H., Samudro, G. 2015. *Mfcs 2 In 1 : Microbial Fuel Cells Pengolah Air Limbah dan Penghasil Listrik (Alternatif : Limbah Isi Rumen Sapi Dengan Pengaruh Variasi COD dan Ph)*. Artikel Ilmiah, Universitas Diponegoro.
- Kalzoum, A. N., Kirom, M. R., & Qurthobi, A. (2018). *Pemanfaatan Limbah Cair Tahu Sebagai Penghasil Energi Listrik Menggunakan Sistem Microbial Fuel Cell*. *eProceedings of Engineering*, 5(3).
- Khafid A.M., Samudro, G., Sumiyati, S. 2015. *Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (COD) dan pH Terhadap Kinerja Granular Activated Carbon Dual Chamber Microbial Fuel Cells (GAC-DCMFCs)*. Skripsi, Universitas Diponegoro.
- Liu, H., et al. 2004. *Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell*. *Environmental science & technology* 38(7):2281-228
- Li, Z., Yao, L., Kong, L., & Liu, H. 2008. *Electricity Generation Using a Baffled Microbial Fuel Cell Convenient for Stacking*. *Bioresource Technology Journal*, 99(6): 1650-1655
- Pramono, S., & Rani, E. 2014. *Pengaruh Penambahan Bakteri Eschericia*

- Colio157: H7 Terhadap Produksi Energi Listrik Pada Sel Bahan Bakar Urine*. Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Vol 6, No.2
- Purwono, Hermawan, Hadiyanto. 2015. *Penggunaan Teknologi Reaktor Microbial Fuel Cells (Mfcs) Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu untuk Menghasilkan Energi Listrik*. Jurnal Prespitasi, Vol 12, No. 2.
- Reynolds. 1982. *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*. Texas A&M University, Brook/Cole Engineering Division, California.
- Rosariawari, F dan Mirwan, M. 2013. Efektifitas PAC dan Tawas Untuk Menurunkan Kekeruhan Pada Air Permukaan. *Envirotek : Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 5 (1). ISSN 2085-501-X
- Said, Nusa Idaman. 2017. *Teknologi Pengolahan Air Limbah: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Samudro, G., Sumiyati, S., Ramadan B.S., Lintang Iradati. 2015. *Pengaruh Dosis Ragi Dan Beban Organik Terhadap Kinerja DCMFCS dan GAC-DCMFCS Dalam Produksi Listrik dan Efisiensi Penurunan COD*. Skripsi, Universitas Diponegoro.
- Septyana, I., et al. 2014. *Pengaruh Variasi Debit dan Jumlah Elektroda Terhadap Penurunan COD dan Produksi Listrik dalam Reaktor Microbial Fuel Cells (MFCs) Studi Kasus: Air Limbah Rumah Potong Hewan (RPH) Kota Salatiga*. Jurnal Teknik Lingkungan 3(2): 1-9.
- Sinaga, D. H., et al. 2015. *Studi Pendahuluan Pemanfaatan Whey Tahu sebagai Substrat dan Efek Luas Permukaan Elektroda dalam Sistem Microbial Fuel Cell*. Jurnal Sains dan Matematika 22(2): 30-35.
- Sugiharto. 1987. *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*. UI Press, Jakarta
- Utami, L., et al., 2018. *Produksi Energi Listrik dari Limbah Kulit Pepaya (Carica papaya) Menggunakan Teknologi Microbial Fuel Cells*. Al-Kimia 6(1): 56-62.
- Utari, N. D. 2014. *Pemanfaatan Limbah Buah-Buahan Sebagai Penghasil Energi Listrik Dengan Teknologi Microbial Fuel Cell (Variasi Penambahan Ragi Dan Asetat)*. Skripsi, e-prints.undip.ac.id, Universitas Diponegoro.
- Wijayanti, A., Samudro, G., & Sumiyati, S. 2015. *Pengaruh Konsentrasi Chemical Oxygen Demand (Cod) Dan Rasio C: N: P Sebagai Sumber Nutrisi Terhadap Kinerja Dual Chamber Microbial Fuel Cells (Dcmfcs)* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- Witantri, R.G., Purwoko. T., Sunarto, E Mahajoeno. 2017. *Bioethanol Production By Utilizing Cassava Peels Waste Through Enzymatic And Microbiological Hydrolysis*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 75.
- Yogaswara,R.R.,et al. 2017. *Studi Penambahan Mikroorganisme Pada Substrat Limbah Pome Terhadap Kinerja Microbial Fuel Cell*. Teknik Kimia 12(1).
- Zahara, Nova Chisilia. 2011. *Pemanfaatan Saccharomyces cerevisiae Dalam Sistem Microbial Fuel Cell untuk Produksi Energi Listrik*. Skripsi, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Zeinali, F., Ghoreyshi, A.A., and Najafpour G.D. 2010. *Adsorption of dichloromethane from Aqueous Phase Using Granular Activated carbon: Isotherm and Breakthrough Curve Measurement*. Middle-East Journal of Scientific Research, Vol 5, No.4: 191-198.
- Zhang, Y. 2012. *Energy Recovery From Waste Streams With Microbial Fuel Cell (MFC)- Based Technologies*. Thesis Departement of Environment Engineering. Technical University of Denmark