

Whey Tahu sebagai Penghasil Bioelektrisitas pada Sistem *Microbial Fuel Cell* dengan *Lactobacillus Plantarum*

Nur Ismawati¹, Agustina L.N. Aminin², Linda Suyati^{1,*}

¹Physical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang 50275

²Biochemistry Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University

*Corresponding author's emails: linda_s@undip.ac.id, lindasuyati15@gmail.com

ABSTRACT

Bioelectricity of soy whey in Microbial Fuel Cell system with *Lactobacillus plantarum* has been performed. This study aims to determine the capacity of soy whey as a substrate in the MFC system and determine the influence of the speed of agitation against potential difference generated. The potential difference compared to different substrates, namely soy whey, glucose and lactose. Determination of the potential difference in speed variation agitation performed with variations 30, 60, 90, 125 and 250 rpm. The potential difference at the maximum voltage variation of the substrate obtained by soy whey by 33.3 mV / 100 mL at the 15th hour, whereas glucose and lactose reaches the maximum potential difference at the 12th hour with a relatively similar value. Agitation speed that generates the highest potential difference in soy whey substrate was obtained at 90 rpm with maximum potential difference of 63.1 mV / 100mL at the 14th hour.

Keywords: soy whey, Microbial Fuel Cell, Lactobacillus plantarum, agitation

ABSTRAK

Bioelektrisitas whey tahu pada sistem *Microbial Fuel Cell* dengan *Lactobacillus plantarum* telah dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kapasitas whey tahu sebagai substrat dalam sistem MFC dan menentukan pengaruh kecepatan agitasi terhadap beda potensial yang dihasilkan. Beda potensial dibandingkan terhadap pemakaian substrat yang berbeda, yaitu whey tahu, glukosa dan laktosa. Penentuan beda potensial pada variasi kecepatan agitasi dilakukan dengan variasi 30, 60, 90, 125 dan 250 rpm. Beda potensial pada variasi substrat diperoleh tegangan maksimum oleh whey tahu sebesar 33,3 mV/100 mL pada jam ke 15, sedangkan glukosa dan laktosa mencapai beda potensial maksimum pada jam ke 12 dengan nilai yang relatif sama. Kecepatan agitasi yang menghasilkan beda potensial tertinggi pada substrat whey tahu diperoleh pada 90 rpm dengan beda potensial maksimum sebesar 63,1 mV/100mL pada jam ke 14.

Kata kunci: Whey tahu, Microbial fuel cell, Lactobacillus plantarum, agitasi

Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan manusia yang sangat penting di kehidupan. Diantaranya untuk industri, transportasi, elektronik dan keperluan lainnya. Namun untuk memenuhi kebutuhan yang terus meningkat, maka energi konvensional akan habis bila digunakan secara terus-menerus. Hal itu dikarenakan sumber energi tersebut tidak dapat diperbaharui. Oleh

karena itu dibutuhkan sumber energi yang bisa terbarukan dengan dampak lingkungan minimal [1]. Baru-baru ini, sel bahan bakar mikroba (MFC) telah menarik perhatian di seluruh dunia dalam menghasilkan listrik langsung dari bahan organik [2].

Microbial Fuel Cell (MFC) adalah perangkat yang secara langsung mengubah energi kimia dalam senyawa organik menjadi listrik dan dikatalisis oleh

mikroorganisme. Prinsip dasar MFC mirip dengan sel bahan bakar umum kecuali sumber elektron. Elektron dalam MFC berasal dari oksidasi senyawa organik oleh mikroba [3]. MFC terdiri dari sebuah anoda, katoda dan jembatan garam yang berfungsi sebagai separator, sehingga elektron yang dihasilkan ditransfer ke katoda melalui sirkuit eksternal sedangkan proton ditransfer secara internal melalui jembatan garam. Ruang aerasi katoda mengandung zat pengoksidasi yang menerima oksigen yang akhirnya menggabungkan dengan proton dan elektron untuk membentuk air [4]. Membran atau separator yang sering digunakan adalah nafion karena mempunyai daya selektivitas tinggi, namun harganya cukup mahal. Maka banyak dikembangkan separator alternatif yang efektif dengan harga terjangkau. Selain PEM, dapat juga digunakan jembatan, *Anion Exchange Membrane* (AEM), *Cation Exchange Membrane* (CEM), membran bipolar, dan membran ultrafiltrasi [5].

Senyawa organik dapat menghasilkan listrik dengan MFC, tetapi ada nilai tambah bila menggunakan limbah sebagai substrat pada MFC. Nilai tambahnya yaitu memanfaatkan limbah yang tidak dimanfaatkan dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Berbagai jenis limbah telah dijadikan sebagai substrat dalam sistem MFC [6]. Di antaranya limbah pengolahan kentang dan pupuk [7], *cheese whey* telah diteliti oleh Antonopoulou dkk [8] sebagai substrat dengan menggunakan bakteri. Salah satu substrat yang dapat digunakan pada MFC adalah *whey* tahu.

Whey tahu digunakan sebagai substrat dalam MFC karena masih terdapat sumber nutrisi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber makanan mikroba untuk melakukan metabolisme. Menurut Nuraida [9], untuk setiap 1 kg bahan baku kedelai dibutuhkan rata-rata 45 L air dan akan dihasilkan produk samping berupa *whey* tahu rata-rata 43,5 L. Bila produk samping tersebut dibuang ke lingkungan dapat terurai menjadi senyawa-senyawa organik yang dapat mencemari lingkungan. Menurut Husin [10] limbah cair industri tahu mengandung BOD, COD, TSS, Nitrogen dan fosfor tinggi. Jumlah industri tahu di Indonesia pada tahun 2010 mencapai 84.000 unit usaha yang dapat memproduksi lebih dari 2,56 juta ton per tahun dan menghasilkan limbah cair sebanyak

20 juta meter kubik per tahun. Sebagian besar industri tahu di Indonesia merupakan industri berskala kecil dan menengah yang belum mengelola limbah secara baik. Dari data tersebut menunjukkan banyaknya limbah yang dibuang ke lingkungan yang berpotensi menimbulkan pencemaran. Padahal di dalam *whey* tahu masih terdapat nutrisi yang terdiri dari 0,5% protein, 0,4% lemak, 2,23% karbohidrat dalam bentuk stasiosa dan rafinosa, serta zat-zat larut air lainnya yang tidak menggumpal yang masih dapat dimanfaatkan [11]. Penelitian MFC menggunakan *whey* tahu telah dilakukan oleh Sinaga [12] dengan *Saccharomyces cerevisiae* dan Inayati [13] dengan *Lactobacillus bulgaricus*.

Mikroba yang telah digunakan dalam sistem MFC diantaranya *Geobacter sulfurreducens* [14], *Escherichia coli* [15], *Saccharomyces cerevisiae* [16-18], dan *Shewanella oneidensis* [19, 20] dan lainnya. Fernandez dan Vega [21] telah menggunakan *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus lactis*, and *Erwinia dissolvens* dalam sistem MFC.

Peningkatan produksi listrik pada sistem MFC dapat dilakukan dengan berbagai cara. Salah satunya adalah dengan mengaduk larutan pada kompartemen anoda. Menurut Aremu dan Agarry [22], pengadukan (agitasi) dapat meningkatkan produksi listrik pada sistem MFC karena substrat dapat menyebar rata dalam kompartemen anoda, sehingga mikroba dapat mendegradasi semua senyawa organik yang ada. Namun, jika tidak diberi agitasi mikroba hanya akan mendegradasi senyawa organik yang melayang disekelilingnya, sedangkan yang mengendap tidak mampu didegradasi [4].

Pada penelitian sebelumnya kultur campuran *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus lactis*, dan *Erwinia dissolvens* telah digunakan dalam sistem MFC dengan substrat glukosa, maka dalam penelitian ini digunakan *whey* tahu sebagai substrat dan *Lactobacillus plantarum* sebagai biokatalisator dalam sistem MFC. Selain itu juga dilakukan pengujian pengaruh kecepatan agitasi terhadap beda potensial yang dihasilkan dalam sistem tersebut.

Bahan dan Metode

Bahan - Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kultur mikroba *Lactobacillus plantarum*,

whey tahu, MRS, susu sapi, susu kedelai, glukosa, laktosa, agar, grafit, akuades, NaOH 1M, HCl 1M, KCl 1M, KMnO_4 0,2M, alkohol 70%, K_2HPO_4 , KH_2PO_4 .

Alat - Peralatan yang digunakan adalah Reaktor MFC, multimeter digital Sanwa CD800A, kabel dan jepit buaya, timbangan digital, inkubator, autoklaf, lemari pendingin, inkas, alat ultrafiltrasi, kertas pH, gelas beker, gelas ukur, erlenmeyer, pengaduk, spatula, kaca arloji, *magnetic stirrer* Thermo Cimarec SP 131010-33, corong, pipet tetes, mikro pipet.

Prosedur Kerja

Preparasi Komponen MFC

Konstruksi MFC

Kompartemen MFC yang digunakan dalam penelitian ini adalah dua kompartemen yang terdiri dari anoda dan katoda dengan volume masing-masing 100 mL. Kedua kompartemen ini dihubungkan dengan jembatan garam. Pembuatan jembatan garam dilakukan dengan menambahkan 5 g agar kedalam 100 mL larutan KCl 1M, kemudian dipanaskan dan dimasukkan ke dalam pipa U dengan panjang 20 cm. Selanjutnya pipa U direndam dalam 100 mL larutan KCl 1M hingga saat akan digunakan. Elektroda yang digunakan dalam sistem MFC adalah grafit dengan luas permukaan $13,29 \text{ cm}^2$.

Preparasi Elektrolit KMnO_4 0,2M

Larutan KMnO_4 0,2M sebanyak 80 mL ditambahkan 20 mL buffer fosfat 0,2M pH 7 diisi ke dalam kompartemen katoda dan dijaga agar tidak terkena cahaya matahari dengan cara menutup larutan dengan menggunakan *aluminium foil* karena larutan mudah mengalami fotodekomposisi.

Preparasi Mikroorganisme *Lactobacillus plantarum*

Preparasi mikroorganisme dilakukan dengan menginokulasikan 1 mL bibit *Lactobacillus plantarum* dari media MRS ke dalam 100 mL susu sapi yang telah dipasteurisasi. Susu sapi yang telah diinokulasi bibit mikroba diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C . Proses inkubasi ini akan menghasilkan 2 bagian yaitu bagian padat dan bagian cair. Bagian cair digunakan sebagai starter

berikutnya. Tahap selanjutnya 1 mL *Lactobacillus plantarum* diinokulasikan pada media susu kedelai sebanyak 100 mL yang telah dipasteurisasi dan kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C . Kemudian dilakukan penginokulasian 1 mL *Lactobacillus plantarum* pada media *whey* tahu sebanyak 100 mL dan diinkubasi selama 15 jam pada suhu 37°C . Starter mikroba dalam *whey* tahu inilah yang akan digunakan dalam kompartemen anoda pada sistem MFC.

Pengukuran Beda Potensial Pada Variasi Substrat

Substrat yang digunakan adalah 80 mL glukosa, laktosa, dan *whey* tahu dengan konsentrasi masing-masing 0,8% (w/v). Substrat ini ditempatkan dalam kompartemen anoda dan ditambahkan 20 μL inokulum *Lactobacillus plantarum* serta 20 mL buffer fosfat 0,2M pH 7. Untuk kompartemen katoda berisi 80 mL larutan KMnO_4 0,2M yang ditambahkan dengan 20 mL buffer fosfat 0,2M pH 7. Kompartemen anoda dan katoda diisi dengan elektroda grafit, kemudian elektroda grafit pada masing-masing kompartemen dihubungkan dengan rangkaian kabel pada multimeter digital. Langkah selanjutnya dilakukan pengamatan beda potensial yang dihasilkan setiap jam selama 30 jam.

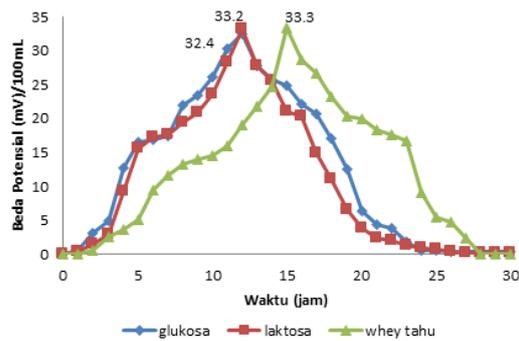
Pengukuran Beda Potensial dengan Pengaruh Agitasi

Kompartemen anoda diisi dengan 80 mL substrat *whey* tahu dan ditambahkan 20 μL inokulum *Lactobacillus plantarum* serta 20 mL buffer fosfat 0,2M pH 7. Sedangkan kompartemen katoda diisi dengan campuran 80 mL larutan KMnO_4 dan buffer fosfat 0,2M pH 7. Kompartemen anoda dan katoda diisi dengan elektroda grafit, kemudian elektroda grafit pada masing-masing kompartemen dihubungkan dengan rangkaian kabel pada multimeter digital. Pada kompartemen anoda dilakukan agitasi dengan cara menstirer kompartemen anoda dengan variasi kecepatan agitasi pada kecepatan 30 rpm, 60 rpm, 90 rpm, 125 rpm, dan 250 rpm. Langkah selanjutnya dilakukan pengukuran beda potensial yang dihasilkan setiap jam selama 30 jam.

Hasil dan Pembahasan

Pengukuran Beda Potensial Variasi Substrat

Hasil pengukuran beda potensial dari variasi substrat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar1. Beda potensial variasi substrat

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa ketiga substrat yang digunakan yaitu *whey tahu*, glukosa dan laktosa mampu menghasilkan beda potensial. Beda potensial maksimum untuk substrat *whey tahu* dihasilkan pada jam ke 15 sebesar 33,3 mV/ 100 mL, substrat glukosa menghasilkan beda potensial maksimum pada jam ke 12 sebesar 32,4 mV/100 mL, sedangkan pada substrat laktosa dihasilkan beda potensial maksimum pada jam ke 12 sebesar 33,2 mV/100 mL. Besar kecilnya beda potensial yang dihasilkan oleh substrat dipengaruhi oleh jumlah sel yang hidup dan memanfaatkan nutrisi yang terkandung dalam substrat tersebut. Semakin aktif suatu sel mikroba dalam melakukan metabolisme, maka semakin banyak pula elektron bebas yang dihasilkan. Aliran elektron inilah yang menyebabkan beda potensial antara anoda dan katoda, sehingga dapat dideteksi oleh multimeter.

Pada Gambar 1 menunjukkan bahwa glukosa dan laktosa menghasilkan beda potensial maksimum pada jam yang sama yaitu jam ke 12. Maka dapat disimpulkan bahwa kemampuan *Lactobacillus plantarum* dalam memetabolisme glukosa dan laktosa memerlukan waktu yang sama. Hal itu dikarenakan ketika fase adaptasi sebelum jam ke-5 tampak bahwa kecepatan tumbuh mikroba dipengaruhi tingkat kekompleksan substrat glukosa, laktosa dan *whey tahu*. Namun pada *Lactobacillus plantarum*, kecepatan tumbuh laktosa tidak jauh

signifikan dibandingkan dengan glukosa. Sehingga laktosa mampu mencapai beda potensial maksimum pada jam yang sama dengan glukosa yaitu jam ke-12. Pada beberapa spesies galaktosa dapat meningkatkan metabolisme sel. Diantaranya yaitu metabolisme galaktosa pada *Saccharomyces cerevisiae* [23]. Maka pada laktosa untuk memecah galaktosa tidak membutuhkan waktu yang lama dan kecepatan pertumbuhannya hampir sama dengan glukosa. Sedangkan pada *whey* membutuhkan waktu yang lebih lama.

Secara teoritis, perbedaan waktu dari ketiga substrat untuk mencapai beda potensial maksimum dipengaruhi oleh kekompleksan struktur molekul ketiga substrat tersebut. Glukosa merupakan bentuk gula yang paling sederhana, sehingga langsung dikonsumsi mikroba tanpa membutuhkan waktu yang lama. Kemudian mikroba akan memetabolisme glukosa untuk menghasilkan elektron. Sedangkan pada laktosa, mikroba membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengonsumsi laktosa. Karena harus memecah laktosa menjadi molekul yang lebih sederhana yaitu glukosa dan galaktosa dengan bantuan enzim laktase.

Pada *whey tahu* membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan glukosa dan laktosa yaitu pada jam ke 15. Hal itu dikarenakan karbohidrat dalam *whey tahu* terdiri dari golongan oligosakarida yaitu stasiosa dan rafinosa yang bentuknya lebih kompleks. Untuk mengonsumsi nutrisi dari *whey tahu*, mikroba harus mensintesis enzim α -galaktosidase dan enzim sukrase untuk memecah molekul stasiosa dan rafinosa menjadi bentuk yang sederhana yaitu glukosa, fruktosa dan galaktosa.

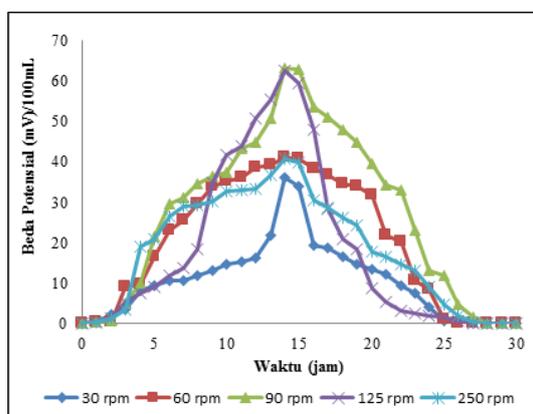
Energi listrik yang dihasilkan oleh sistem MFC sebanding dengan metabolisme bakteri [24] sedangkan metabolisme bakteri sebanding dengan jumlah substrat yang tersedia. Ketersediaan substrat yang tercukupi sebagai sumber karbon dapat menunjang terjadinya peningkatan energi listrik [25]. Beda potensial yang diperoleh dalam penelitian ini tidak terlalu besar dikarenakan sumber karbohidrat yang tersedia dalam *whey tahu* hanya sekitar 0,8%. Untuk meningkatkan kinerja MFC dapat dilakukan dengan memperbesar konsentrasi substrat yang digunakan sebagai sumber nutrisi mikroba.

Pada jam setelah mencapai beda potensial maksimum terjadi penurunan secara perlahan hingga konstan pada titik terendah yang menandakan bahwa produksi beda potensial semakin menurun bahkan habis. Hal ini disebabkan berkurangnya kadar nutrisi yang mengakibatkan penurunan kecepatan metabolisme sel, sehingga jumlah sel hidup menurun yang ditunjukkan dari menurunnya beda potensial yang dihasilkan. Fase kematian ditandai dengan jumlah sel yang mati lebih banyak daripada yang hidup karena ketersediaan substrat yang menurun bahkan habis.

Pada substrat *whey* tahu mampu menghasilkan beda potensial maksimum sebesar 33,3 mV/100 mL. Hasil ini tidak jauh berbeda dibandingkan dengan glukosa dan laktosa. *Lactobacillus plantarum* mampu mencapai populasi tinggi dalam susu kedelai, maka sangat cocok untuk tumbuh di *whey* tahu [11]. Untuk meningkatkan kinerja sistem MFC dengan substrat *whey* tahu menggunakan *Lactobacillus plantarum*, maka dilakukan agitasi pada kompartemen anoda.

Beda Potensial pada Variasi Kecepatan Agitasi

Pengukuran beda potensial pada variasi kecepatan agitasi bertujuan untuk menentukan pengaruh kecepatan agitasi terhadap beda potensial yang dihasilkan dalam sistem MFC. Pengujian beda potensial pada variasi agitasi dilakukan dengan menstirer kompartemen anoda dengan kecepatan 30 rpm, 60 rpm, 90 rpm, 125 rpm, dan 250 rpm. Hasil beda potensial dengan variasi kecepatan agitasi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Beda potensial variasi kecepatan agitasi

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa agitasi dapat meningkatkan beda potensial yang dihasilkan. Hal itu dikarenakan agitasi dapat mempermudah terjadinya tumbukan elektron dan elektroda. Selain itu, dengan agitasi substrat dapat menyebar rata dalam kompartemen anoda, sehingga mikroba dapat mendegradasi semua substrat yang ada. Semakin banyak yang didegradasi, maka elektron yang dihasilkan juga semakin meningkat [4]. Pada kecepatan 30 rpm hingga 90 rpm beda potensial mengalami peningkatan. Namun pada kecepatan 125 rpm dan 250 rpm, beda potensial yang dihasilkan mengalami penurunan, pada 90 rpm menghasilkan beda potensial sebesar 63,1 mV/100 mL sementara pada 125 rpm sebesar 62,7 mV/100 mL dan pada 250 rpm sebesar 40,8 mV/100 mL. Hal itu dikarenakan agitasi yang terlalu cepat mengakibatkan waktu kontak antara mikroba dan substrat lebih singkat, sehingga metabolisme mikroba tidak maksimal. Waktu kontak antara substrat dan mikroba yang singkat menyebabkan produksi elektron oleh mikroba terganggu. Hal itu dikarenakan substrat berputar terlalu cepat sehingga dalam melakukan metabolisme sel terjadi kesulitan yang mengakibatkan produksi elektron terhambat. Terhambatnya produksi elektron menyebabkan elektron yang ditransfer melalui sirkuit eksternal tidak terlalu banyak, maka beda potensial yang dihasilkan pada agitasi yang terlalu cepat mengalami penurunan. Selain itu dapat dikarenakan sebagian mikroba mati dikarenakan perputaran yang terlalu cepat tersebut.

Pada penelitian variasi kecepatan agitasi didapatkan kecepatan optimum pada 90 rpm, karena mampu menghasilkan beda potensial maksimum tertinggi dibandingkan kecepatan yang lebih kecil ataupun yang lebih besar. Hal itu dikarenakan pada kecepatan 90 rpm waktu kontak antara mikroba dan substrat tidak terlalu singkat dan nutrisi yang digunakan mikroba untuk metabolisme sel tercukupi. Pada agitasi dengan kecepatan 90 rpm, mikroba dapat melakukan metabolisme secara optimal dan mampu menghasilkan beda potensial yang optimum pula.

Kesimpulan

Whey tahu dapat menghasilkan beda potensial maksimum sebesar 33,3 mV/100 mL substrat pada jam ke 15 pada sistem MFC dengan *Lactobacillus*

plantarum. Kecepatan agitasi optimum dalam penelitian ini pada 90 rpm dengan beda potensial *whhey* tahu sebesar 63,1 mV/100 mL substrat pada jam ke 14, maka agitasi dapat meningkatkan kinerja MFC.

Daftar Pustaka

- [1] Derek R. Lovley, (2006), Bug juice: harvesting electricity with microorganisms, *Nat Rev Micro*, 4 (7), 497-508
- [2] Hong Liu, Shaoan Cheng, Bruce E. Logan, (2005), Production of Electricity from Acetate or Butyrate Using a Single-Chamber Microbial Fuel Cell, *Environmental Science & Technology*, 39 (2), 658-662 [10.1021/es048927c](http://dx.doi.org/10.1021/es048927c)
- [3] Kazuya Watanabe, (2008), Recent Developments in Microbial Fuel Cell Technologies for Sustainable Bioenergy, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 106 (6), 528-536 <http://dx.doi.org/10.1263/jbb.106.528>
- [4] Abhilasha S Mathuriya, VN Sharma, (2010), Bioelectricity production from various wastewaters through microbial fuel cell technology, *Journal of Biochemical Technology*, 2 (1), 133-137
- [5] Wen-Wei Li, Guo-Ping Sheng, Xian-Wei Liu, Han-Qing Yu, (2011), Recent advances in the separators for microbial fuel cells, *Bioresource Technology*, 102 (1), 244-252 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.03.090>
- [6] Deepak Pant, Gilbert Van Bogaert, Mark De Smet, Ludo Diels, Karolien Vanbroekhoven, (2010), Use of novel permeable membrane and air cathodes in acetate microbial fuel cells, *Electrochimica Acta*, 55 (26), 7710-7716 <http://dx.doi.org/10.1016/j.electacta.2009.11.086>
- [7] Patrick D. Kiely, Roland Cusick, Douglas F. Call, Priscilla A. Selembo, John M. Regan, Bruce E. Logan, (2011), Anode microbial communities produced by changing from microbial fuel cell to microbial electrolysis cell operation using two different wastewaters, *Bioresource Technology*, 102 (1), 388-394 <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.05.019>
- [8] Georgia Antonopoulou, Katerina Stamatelatou, Symeon Bebelis, Gerasimos Lyberatos, (2010), Electricity generation from synthetic substrates and cheese whey using a two chamber microbial fuel cell, *Biochemical Engineering Journal*, 50 (1-2), 10-15 <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2010.02.008>
- [9] L Nuraida, (1985), Pengamatan Terhadap Rangkaian Produksi tahu pada Industri Kecil Tahu di Bondongan Kodya Bogor, Laporan KKN FATETA IPB, Bogor,
- [10] Amir Husin, (2003), Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Menggunakan Biji Kelor (*Moringa oleifera* Seeds) Sebagai Koagulan, in: Laporan Penelitian Dosen Muda, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [11] W. Ben Ounis, C. P. Champagne, J. Makhlof, L. Bazinet, (2008), Utilization of tofu whey pre-treated by electromembrane process as a growth medium for *Lactobacillus plantarum* LB17, *Desalination*, 229 (1-3), 192-203 <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.08.019>
- [12] David Hamonangan Sinaga, Linda Suyati, Agustina L. N. Aminin, (2014), 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
- [13] Nor Sri Inayati, Agustina L. N. Aminin, Linda Suyati, (2015), The Bioelectricity of Tofu Whey in Microbial Fuel Cell System with *Lactobacillus bulgaricus*, *Jurnal Sains dan Matematika*, 23 (1), 32-38
- [14] NgocTrung Trinh, JongHyeok Park, Byung-Woo Kim, (2009), Increased generation of electricity in a microbial fuel cell using *Geobacter sulfurreducens*, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 26 (3), 748-753 [10.1007/s11814-009-0125-7](http://dx.doi.org/10.1007/s11814-009-0125-7)
- [15] Keith Scott, Cassandro Murano, (2007), Microbial fuel cells utilising carbohydrates, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 82 (1), 92-100 [10.1002/jctb.1641](http://dx.doi.org/10.1002/jctb.1641)
- [16] M Rahimnejad, N Mokhtarian, G Najafpour, W Daud, A Ghoreyshi, (2009), Low voltage power

- generation in abiofuel cell using anaerobic cultures, *World Applied Sciences Journal*, 6 (11), 1585-1588
- [17] Shaheen Aziz, Abdul Rehman Memon, Syed Feroz Shah, Suhail A Soomro, Anand Parkash, Abdul Sattar Jatoi, (2013), Electricity Generation from Sewage Sludge using Environment-Friendly Double Chamber Microbial Fuel Cell, *Science International*, 25 (1),
- [18] G. D. Najafpour, M Rahimnejad, N Mokhtarian, Wan Ramli Wan Daud, AA Ghoreyshi, (2010), Bioconversion of whey to electrical energy in a biofuel cell using *Saccharomyces cerevisiae*, *World Applied Sciences Journal*, 8 (Special Issue), 1-5
- [19] Justin C Biffinger, Lloyd J Nadeau, Jeremy Pietron, Orianna Bretschger, Cynthia C Williams, Kenneth H Neelson, Brad R Ringeisen, Glenn R Johnson, (2008), Electrochemically Active Soluble Mediators from *Shewanella oneidensis*: Relevance to Microbial Fuel Cells and Extracellular Electron Transfer, in, DTIC Document.
- [20] Martin Lanthier, Kelvin B Gregory, Derek R Lovley, (2008), Growth with high planktonic biomass in *Shewanella oneidensis* fuel cells, *FEMS microbiology letters*, 278 (1), 29-35
- [21] Carmen A. Vega, Ivonne Fernández, (1987), Mediating effect of ferric chelate compounds in microbial fuel cells with *Lactobacillus plantarum*, *Streptococcus lactis*, and *Erwinia dissolvens*, *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 17 (2), 217-222 [http://dx.doi.org/10.1016/0302-4598\(87\)80026-0](http://dx.doi.org/10.1016/0302-4598(87)80026-0)
- [22] O.M. Aremu, E.S. Agarry, (2010), Bioelectricity Generation Potential of Some Nigerian Industrial Wastewater Through Microbial Fuel Cell (MFC) Technology, *International Journal of Research in Science and Technology*, 2 (5), 40-48
- [23] David J Timson, (2007), Galactose metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*, *Dynamic Biochemistry, Process Biotechnology and Molecular Biology*, 1 (1), 63-73
- [24] SeungWon Lee, BoYoung Jeon, DooHyun Park, (2010), Effect of bacterial cell size on electricity generation in a single-compartmented microbial fuel cell, *Biotechnology Letters*, 32 (4), 483-487 [10.1007/s10529-009-0184-1](https://doi.org/10.1007/s10529-009-0184-1)
- [25] Korneel Rabaey, Geert Lissens, StevenD Siciliano, Willy Verstraete, (2003), A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency, *Biotechnology Letters*, 25 (18), 1531-1535 [10.1023/a:1025484009367](https://doi.org/10.1023/a:1025484009367)