

INOVASI ENERGI BERSIH DARI MOLASES SEBAGAI SUSTAINABLE AND ENERGI RESOURCE BERBASIS TEKNOLOGI MICROBIAL FUEL CELL (MFC)

Mirnawati^{a*}, Heri Heriyono^a, Ilmi Wahyuni^a

Dosen Tetap Jurusan Kimia, Universitas Teknologi Sulawesi
Jl Talasalapang No 51, Makassar
E-mail : muhsakhizaidan@gmail.com

Abstrak: *Microbial Fuel Cell. MFC merupakan teknologi ramah lingkungan yang mengubah bahan organik menjadi energi listrik dengan bantuan mikroorganisme. Tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan molases limbah industri gula sebagai sumber energi alternatif yang bernilai ekonomis, ramah lingkungan, dan mendesain sistem MFC. Penelitian ini menggunakan metode kompartemen ganda yaitu ruang anoda dan katoda. Ruang anoda berisi campuran substrat molases, larutan bufer kalium fosfat pH 7 dan bakteri. Sedangkan ruang katoda berisi larutan elektrolit KMnO_4 0,2 M. Pengukuran energi dilakukan setiap 4 jam selama 36 jam. Hasil pengukuran energi diperoleh nilai arus dan beda potensial maksimum yaitu sebesar 828 mV dan 791 μA . Sedangkan nilai kerapatan daya diperoleh dari nilai kuat arus dan beda potensial sebesar 897,185 mW/m^2 . Hasil ini menunjukkan bahwa limbah molases berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber energi alternative dengan menggunakan desain MFC kompartemen ganda dengan keunggulan bernilai ekonomis dan ramah lingkungan.*

Kata kunci: *Microbial Fuel Cell, molases, kompartemen ganda*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan perekonomian di era globalisasi mengakibatkan peningkatan konsumsi energi di berbagai sektor kehidupan. Energi listrik adalah salah satu jenis energi yang memiliki kebutuhan paling penting dalam kehidupan masyarakat karena perannya dalam menunjang berbagai aktivitas. Namun, energi listrik yang digunakan umumnya masih diperoleh dari sumber energi berbasis fosil seperti minyak bumi, gas alam, dan batu bara. Bahan bakar fosil adalah sumber energi yang sifatnya tidak dapat diperbaharui. Penggunaan secara berkelanjutan tanpa usaha untuk meregenerasi akan berakibat menurunnya suplai bahan baku sehingga dapat memicu krisis energi. Selain itu, dampak yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus adalah terjadinya pemanasan global atau efek rumah kaca karena gas yang dihasilkan berasal dari pembakaran sempurna.

Ditjen Listrik dan Pengembangan Energi, Statistik Energi menyatakan bahwa telah terjadi kenaikan konsumsi energi final di Indonesia pada rentang waktu 2003 - 2016. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa sebagian besar energi di Indonesia diperoleh dari bahan baku fosil antara lain BBM, Gas Bumi, Batubara, dan LPG (Yamtinah dan Putera, 2012). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu inovasi yang mengarah pada pemanfaatan sumber energi alternatif agar konsumsi energi tidak sepenuhnya bergantung dengan energi fosil. Salah satu alternatif yang dapat diupayakan adalah energi

dari bahan bakar berbasis hidrogen yaitu teknologi *Mikrobia Fuel Cell* (MFC) (Kurniawati dan Sanjaya, 2013).

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan teknologi yang memanfaatkan bakteri untuk mengubah energi kimia dari senyawa organik menjadi energi listrik melalui reaksi katalitik pada kondisi anaerob (Kanani, 2017). Mekanisme kerja bakteri sistem MFC pada dasarnya hampir sama dengan mekanisme kerja bakteri dalam pembuatan biogas. Perbedaan terletak pada output yang dihasilkan. Pada proses pembentukan biogas, bakteri mengurai senyawa organik dan mengubahnya menjadi senyawa sederhana yang mudah larut dan selanjutnya diubah menjadi gas metan (CH_4). Pada sistem MFC, senyawa mudah larut diubah menjadi proton (H^+), CO_2 , dan elektron yang akan dikonversikan menjadi energi listrik oleh kompartemen MFC (Hisyam, 2013).

Biomassa organik yang dapat digunakan pada sistem MFC yaitu biomassa organik yang mengandung molekul seperti protein, karbohidrat, lemak, asetat, glukosa, lignoselulosa dan selulosa (Rubin, 2008 dan Razei, 2009). Biomassa organik merupakan semua jenis material organik yang dihasilkan dalam proses fotosintesis yang mempunyai kandungan energi yang besar. Kandungan energi yang besar ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber bahan bakar baru yang dapat diperbaharui. Selain itu pemanfaatan biomassa organik sebagai bahan bakar nabati dapat memberikan keuntungan yaitu peningkatan efisiensi energi, karena kandungan energi yang terdapat pada limbah cukup besar dan akan terbuang jika tidak dimanfaatkan. Biomassa meliputi limbah pertanian, perkebunan, kehutanan dan industri. Salah satu limbah industri yang berpotensi adalah molases.

Molases merupakan produk samping pembuatan gula tebu yang masih banyak mengandung gula dan asam-asam organik. Umumnya molases menjadi tempat hidup bagi bakteri ataupun mikroba karena kandungan gulanya. Molases seperti halnya air kelapa, dapat berfungsi sebagai media pertumbuhan bakteri sehingga merupakan bahan baku yang cukup baik untuk industri pembuatan etanol. Kandungan gula dari molase terutama sukrosa berkisar antara 40-55% (Simanjuntak, 2009). Hal tersebut menyebabkan molases dapat dijadikan sebagai substrat sumber karbon untuk kebutuhan nutrisi bakteri dalam proses metabolismenya.

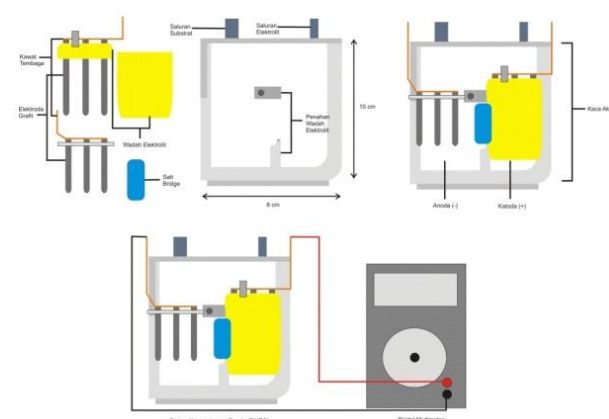
Berdasarkan uraian latar belakang tersebut maka dilakukan penelitian pemanfaatan molases sebagai susbtrat dalam sistem MFC untuk mengetahui potensi molases dalam menghasilkan energi listrik yang ramah lingkungan dan mendesain sistem MFC Kompartemen ganda. Selain itu, dari pemanfaatan molases ini diharapkan dapat mengurangi dampak buruk dari limbah molases terhadap lingkungan.

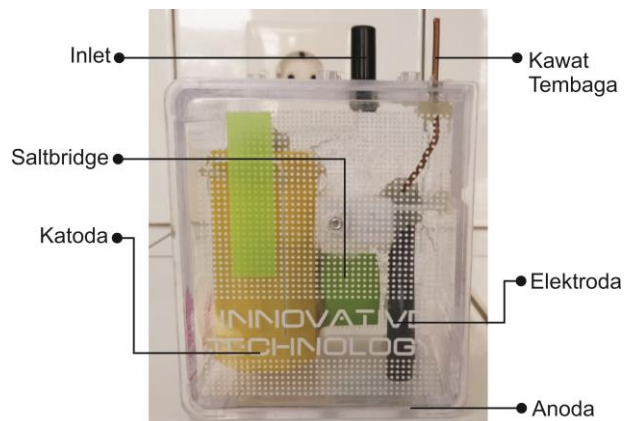
2. METODE PENELITIAN

2.1. Pembuatan bioreaktor MFC *double chamber*

Prototype terbuat dari kaca akrilik yang di desain seperti pada Gambar 1.

Gambar 1. Desain kompartemen ganda.





2.2. Preparasi elektroda grafit

Preparasi dilakukan dengan merendam batang elektroda grafit dengan HCL 1 M selama 1 x 24 jam kemudian dibilas dengan aquades (H_2O). Setelah itu, grafit kembali direndam dengan NaOH 1 M selama 1x 24 jam, selanjutnya dibilas dengan aquades (H_2O) hingga elektroda siap untuk digunakan.

2.3. Preparasi salt bridge

Sebanyak 2,5 gram agar ditimbang kemudian dilarutkan dengan 50 mL aquades (H_2O), selanjutnya dipanaskan dan ditambahkan 1,5 gram KCl dan dihomogenkan. Larutan dimasukkan ke dalam pipa PVC yang menghubungkan antara dua kompartemen, didiamkan hingga memadat dan siap untuk digunakan.

2.4. Preparasi larutan elektrolit $KMnO_4$ 1 M

Sebanyak 15,8 gram padatan $KMnO_4$ dilarutkan dalam aquades hingga 100 ml.

2.5. Eksperimen MFC

50 mL larutan elektrolit $KMnO_4$ 1 M dimasukkan ke dalam ruang katoda. Substrat molases dimasukkan ke dalam ruang anoda sebanyak 235 mL dan ditambahkan 10 gr *Saccaromyces Cerevisiae*. Selanjutnya diukur arus dan tegangan setiap 3 jam selama 33 jam.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

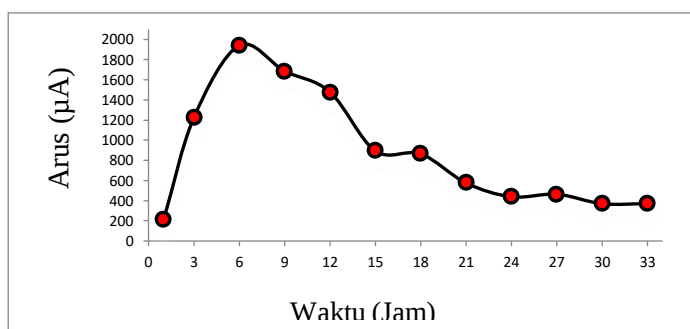
Pada penelitian ini dilakukan pengukuran arus dan beda potensial dari limbah samping produksi pembuatan gula yaitu molases sebagai substrat dalam sistem MFC. Desain sistem MFC yang digunakan adalah kompartemen ganda (DMFC), dimana ruang anoda dan katoda dihubungkan oleh jembatan garam. Jembatan garam terbuat dari campuran antara agar dan KCl, karena jari-jari K^+ lebih besar daripada jari-jari H^+ sehingga proton (H^+) akan dapat terdifusi menuju ruang katoda (Muftiana, dkk. 2018). Setelah itu, Dilakukan pengukuran arus dan beda potensial setiap 3 jam selama 33 jam.

Pengukuran pertama dilakukan pada pukul 09.00. Nilai arus dan tegangan diperoleh sebesar $211\mu A$ dan 0,24 mV. Nilai ini menunjukkan bahwa bakteri sudah mulai bekerja dan menyesuaikan diri dengan lingkungannya atau sumber nutrisi yang ada. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui perubahan energi yang terjadi akibat aktivitas mikroba dalam sistem DMFC. Pada jam ke-1 hingga jam ke-6 pengukuran nilai arus dan tegangan menunjukkan nilai kenaikan. Ini mengindikasikan bahwa bakteri sudah menyesuaikan dengan nutrisi sehingga proses pembelahan sel semakin banyak sehingga energi yang dihasilkan juga semakin tinggi. Akan tetapi, pada jam berikutnya energi yang

dihasilkan sudah mulai menurun karena sumber nutrisi yang diperlukan oleh bakteri sudah mulai berkurang.

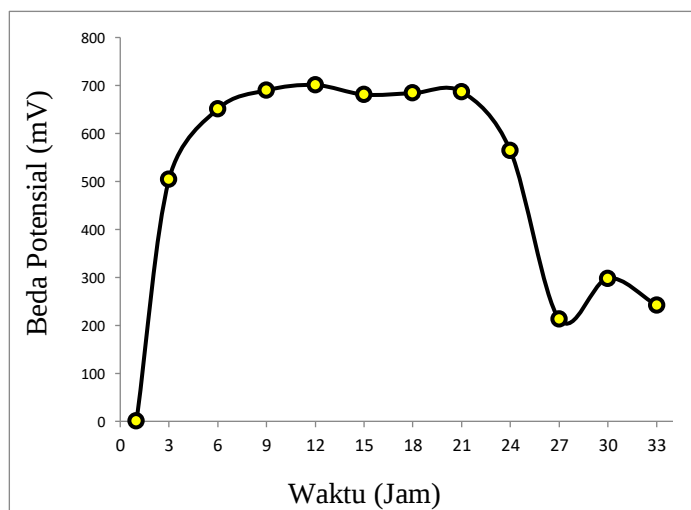
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nurhakim, dkk. (2016), yang menggunakan substrat glukosa pada sistem kompartemen ganda (DMFC) menghasilkan arus dan tegangan sebesar 561,83 mV dan 105,33 μA . Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa substrat molases menghasilkan energi yang lebih tinggi. Hal tersebut dikarenakan molases masih banyak mengandung komponen gula seperti sukrosa yang cukup tinggi untuk dijadikan sebagai sumber karbon bagi bakteri dalam proses metabolisme.

Gambar 2. Grafik nilai arus yang dihasilkan substrat molases



Berdasarkan pada Gambar 2, bahwa grafik menunjukkan kenaikan serta penurunan sesuai dengan pola pertumbuhan bakteri. Dimana pada jam pertamadi awal pengukuran sampai dengan jam ke-5 menunjukkan fase pertumbuhan bakteri yaitu fase lag. Pada jam ke-6 bakteri berada pada fase puncak pembelahan sel atau berada pada fase stasioner. Sedangkan untuk jam ke-9 berikutnya garfik menunjukkan pola penurunan sehingga diduga pada kondisi tersebut bakteri sudah berada pada fase kematian karena energi yang dihasilkan sudah berkurang. Menurunnya nilai arus pada sistem DMFC juga disebabkan berkurangnya nutrisi karena digunakan oleh mirkoorganisme dalam proses pembelahan sel. Arus maksimum yang diperoleh dari substrat molases yaitu 1941 μA . Nilai arus maksimum yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan dengan nilai arus yang diperoleh oleh Purwono, dkk. (2015) yang menggunakan substrat limbah cair industri tahu yaitu sebesar 7,25 μA . Selain diperoleh arus, pada penelitian yang dilakukan diperoleh juga beda potensial seperti pada Gambar 3.

Gambar 3. Grafik nilai beda potensial yang dihasilkan substrat molases



Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa nilai beda potensial maksimum ditunjukkan pada jam ke-12 yaitu sebesar 701 mV. Pada jam ke-27 hingga jam ke-33 terlihat bahwa terjadi pola kenaikan dan penurunan (fluktuasi) energi yang dihasilkan. Menurut Ibrahim, dkk. (2014), bahwa terjadinya proses fluktuasi akibat dari aktivitas mikroorganisme di dalam sistem DMFC. Adapun energi yang dihasilkan sistem DMFC dari proses metabolisme yang berlangsung dalam sel mikroorganisme, yang selanjutnya dikeluarkan oleh membran luar ke dalam larutan untuk menciptakan gradien elektrokimia dan dikonversikan menjadi energi

Untuk nilai beda potensial yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi. dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Oztruk M dan Onat (2017) yang menggunakan substrat molases dalam sistem MFC kompartemen ganda yaitu sebesar 375,4 mV. Hal tersebut dikarenakan penggunaan jenis dan konsentrasi larutan elektrolit KMnO_4 1 M dengan potensial reduksi 1,70 V. Menurut Muftiana, dkk. (2018) bahwa penggunaan jenis larutan elektrolit yang sesuai pada ruang katoda dapat mempengaruhi beda potensial yang dihasilkan karena kemampuan dari proses penangkapan elektron. Karena DMFC merupakan sistem bioelektrokimia yang melibatkan reaksi redoks sehingga dibutuhkan suatu oksidator yang berguna untuk menangkap elektron dari ruang anoda.

Data dari kuat arus dan beda potensial maksimum yang dihasilkan oleh sistem MFC kompartemen ganda (DMFC), kemudian dihitung nilai kerapatan dayanya, maka diperoleh kerapatan daya sebesar $310,65 \text{ mW/m}^2$. Kerapatan daya yang diperoleh memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan oleh penelitian yang dilakukan Ren, dkk. (2008), yang menggunakan substrat selulosa dengan nilai kerapatan daya maksimum yang diperoleh yaitu 153 mW/m^2 . Karena energi yang dihasilkan sebagian digunakan oleh mikroorganisme untuk memutuskan rantai panjang selulosa yang merupakan poli sakarida. Berbeda dengan substrat dari molases yang merupakan disakarida, sehingga energi yang digunakan oleh mikroorganisme untuk mengurai molases tidak terlalu besar karena rantai yang pendek dibandingkan dengan rantai selulosa yang panjang. Sehingga dengan menggunakan desain MFC kompartemen ganda, limbah molases berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber energi alternative dengan keunggulan bernilai ekonomis dan ramah lingkungan

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan didapatkan nilai maksimum arus dan beda potensial berturut-turut sebesar 1941 μA dan 701 mV. Sedangkan nilai kerapatan daya diperoleh dari nilai kuat arus dan beda potensial yaitu sebesar $310,65 \text{ mW/m}^2$. Hasil ini menunjukkan bahwa limbah molases berpotensi untuk dijadikan sebagai sumber energi alternative dengan menggunakan desain MFC kompartemen ganda dengan keunggulan bernilai ekonomis dan ramah lingkungan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Arif, A. B., Wahyu, D., Agus, B., & Nur, R. (2016). Analisis Rancangan Faktorial Tiga Faktor Untuk Optimalisasi Produksi Bioetanol Dari Molases Tebu. *Informatika Pertanian*. 25 (1). pp. 145-154.
- Fifendi, M., Eldini, & Irdawati. (2013). Pengaruh Pemanfaatan Molase Terhadap Jumlah Mikroba dan Ketebalan Nata pada Teh Kombucha. *Prosiding Semirata*. pp. 67-72.
- Hartina, F., Akyunul, J., & Anik, M. (2014). Fermentasi Tetes Tebu Dari Pabrik Gula Pagotan Madiun Menggunakan *Saccharomyces cerevisiae* Untuk Menghasilkan Bioetanol dengan Variasi Ph dan Lama Fermentasi. *Alchemy*. 3(1). pp. 93-100.
- Hisham, N. S. N. (2013). Microbial Fuel Cell Using Different Types Of Wastewater for Electricity Generation and simultaneously Removed polutan. *Journal of Engineering Science and Technology*. 8(3). pp. 316-325.

- Ibrahim, B., Suptijah, P., & Rosmalawati, S. (2014). Kinerja Rangkaian Seri Sistem *Microbial Fuel Cell* Sebagai Penghasil Biolistrik Dari Limbah Cair Perikanan. *Jurnal JPHPI*. 17 (1).
- Inayati, N. S., Aminin, A. L., & Suyati, L. (2015). The Bioelectricity of Tofu Whey in Microbial Fuel Cell System with *Lactobacillus bulgaricus*. *Sains dan Matematika*. 23(1). pp. 32-38.
- Ismawati, N., Aminin, A. L., & Suyati, L. (2015). Whey Tahu sebagai Penghasil Bioelektrisitas pada Sistem Microbial Fuel Cell dengan *Lactobacillus Plantarum*. *Sains dan Matematika*. 23(2). pp. 43-49.
- Kanani & Behzad. (2017). Microbial Fuel Cell, New Technologies in the Field of Green Energy and Weastwater Treatment. *Anatomy Physiology and Biochemistry*. 2 (5). pp. 2476-1400.
- Kurniawati, L., Sanjaya, I., & Gusti, M. (2013). Pengaruh Jenis Bakteri Selulotik Terhadap Efisiensi Sel Bakar Mikroba. *Unesa Journal Of Chemistry*. 2 (2). pp. 17-22.
- Logan, Bruce, E., Regan, & John, M. (2006). Electricity-Producing Bacterial Communities in Microbial Fuel Cell. *Elselvier*. 14 (12). pp. 512-518.
- Muftiana, Ilmi, Suyati, L., & Widodo, D. S. (2018). The Effect of KMnO_4 and $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ Concentrations on Electrical Production in Fuel Cell Microbial System with *Lactobacillus bulgaricus* Bacteria in a Tofu Whey Substart. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*. 21 (1). pp. 49-53.
- Nurhakim, Muhammad, A., Kusdiyantini, E., & Raharjo, B. (2016). Penggunaan Substrat Glukosa Berbagai Konsentrasi Sebagai Sumber Karbon *Microbial Fuel Cell* *Saccharomyces cerevisiae* untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Bioma*. 2 (18). pp. 131-136.
- Parkash & Anand. 2016. Microbial Fuel Cell: A Source of Bioenergy. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*. 8 (3). pp. 247-255.
- Purwono, Hermawan, & Hardianto. (2015). Penggunaan Teknologi Reaktor *Microbial Fuel Cell* (MFC) Dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu Untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Presipitasi*. 12 (2). pp. 57-65.
- Putra, Luki, L., Wahono, T., Maulana, Titok, L., & Azis, D. A. (2017). Sumber Energi Listrik Melalui Metode *Microbial Fuel Cell* denga Menggunakan *Bio Slurry* Sebagai Penerangan Kehidupan Manusia. *ejournal Undip*.
- Razaei, Farzaneh, Xing, Defeng, Wagner, Rachel, Regan, J. M., Richard, T. L., & Logan, B. E. (2009). Simultaneous Cellulose Degradation and Elektricity Production by *Enterobacter cloacae* in a Microbial Fuel Cell. *Applied and Environmental Microbiology*. 75 (11). pp. 3673-3678.
- Ren, Z., Steinberg, L. M., & Regan, J. M. (2008). Elektricity Production and Microbial Biofilm Characterization In Cellulose-fed Microbial Fuel Cell. *Water Science and Technologi*. 58 (3).
- Rezaei, Farzaneh, Richard, Tom, L., & Logan, B. E. (2008). Enzymatic Hydrolysis of Celulose Coupled With Electricity Generation in a Microbial Fuel Cell. *Biotechnology and Bioengineering* 101 (6). pp. 1163-1169.
- Rismani, Y. H., Chirty, A. D., Dehority, B. A., Morrison, M., Yu, Z., & Touvinen, O. H. (2007). Electricity Generation From Cellulose by Rumen Microorganisms in Microbial Fuel Cell. *Biotechnology and Bioengineering*. 97 (6). pp. 1398-1407.
- Rochani, A., Susi, Y., & Zuhdi, M. (2016). Pengaruh Konsentrasi Gula Larutan Molases Terhadap Kadar Etanol pada Proses Fermentasi. *Reka Buana*. 1(1). pp. 43-48.

Mirnawati, Heri Heriyono, Ilmi Wahyuni - Inovasi Energi Bersih Dari Molases Sebagai Sustainable And Energi Resource Berbasis Teknologi Microbial Fuel Cell (Mfc)

- Rubin, E. M. (2008). Genomic Of Cellulose Biofuels. *Nature*. 45 (4). pp. 841-845.
- Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, L. (2017). Microbial Fuel Cell: From Fundamentals to Applications. A review. *Journal of Power Sources Elsevier*. 365. pp. 225-244.
- Sari, D., Suyati, L., & Widodo, D. S. (2016). Pengaruh Buffer Kalium Fosfat dan Natrium Fosfat terhadap Produksi Listrik dalam Sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC) dengan *Lactobacillus Bulgarius* pada Whey Tahu. *Kimia Sains dan Aplikasi*. 19 (3). pp. 107-110.
- Simanjuntak, R. (2009). Studi Pembuatan Etanol Dari Limbah Gula (Molases). *Skripsi*. Sumatra Utara: Universitas Sumatra Utara.
- Sonu, K. (2017). Generation of Bio-Electricity from Sewage Sludge Using Single Chamber Microbial Fuel Cell. *Journal of Environmental Science and Public Health*. 1 (2). pp. 68-74.
- Utari, N. D., Istirokhatun, T., & Hadiwidodo, M. (2014). Pemanfaatan Limbah Buah Buahan Sebagai Penghasil Energi Listrik Dengan Teknologi Microbial Fuel Cell (Variasi Penambahan Ragi Dan Asetat). *Teknik Lingkungan*. 3(2). pp. 1-6.
- Yamtinah, S., & Monica, C. R. (2012). Pembuatan Briket Arang Dari Limbah Organik dengan Menggunakan Variasi Komposisi dan Ukuran Bahan. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.