

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR TERHADAP PRODUKSI ARUS LISTRIK PADA REAKTOR STM DENGAN SUBSRAT LIMBAH RUMINANSIA

ANALYSIS OF TEMPERATURE INFLUENCE ON ELECTRICAL CURRENT PRODUCTION IN MFC REACTOR WITH SUBSRATE OF RUMINANT WASTE

Yasir Rizki¹, M. Ramdhan Kirom², Ahmad Qurthobi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Fisika, Fakultas Teknik Elektro, University Telkom

¹yasirrizki@student.telkomuniversity.ac.id, ²mramdhankirom@telkomuniversity.ac.id,

³qurthobi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sel Tunam Mikroba (STM) merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat memproduksi energi listrik melalui proses metabolisme bakteri pada bahan organik. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kaitan antara pengaruh temperatur terhadap kinerja dari sistem STM. Reaktor yang digunakan berkonfigurasi *dual chamber* berdimensi 5 cm x 10 cm x 10 cm, dengan elektroda yang digunakan berupa seng dan tembaga dengan dimensi sebesar 2 cm x 5 cm. Pada penelitian ini subsrat yang digunakan adalah rumen sapi yang dicampur dengan lumpur sawah dengan elektrolit berupa KMnO₄. Pada sistem STM *dual chamber*; elektron yang dihasilkan oleh bakteri dari subsrat pada anoda ditransfer menuju elektroda katoda, sedangkan proton ditransfer melalui jembatan garam (NaCl 1M) sebagai media transfer proton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya maksimum yang dapat dihasilkan sistem STM mencapai 0,82 W (temperatur 30° C) dan energi maksimum sebesar 0,54 J (t= jam ke-28, temperatur 32° C). Perolehan tegangan dan kuat arus bervariasi untuk tiap-tiap percobaan. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa produksi kuat arus tertinggi dihasilkan pada temperatur 37° C.

Kata kunci : Sel Tunam Mikroba, rumen, elektroda, temperatur

Abstract

Microbial Fuel Cell (MFC) is the one of renewable energies that can produce electrical energy through the process of bacterial metabolism in organic matter. This study aims to investigate the influence of temperature on the performance of the MFC system. The reactor used in dual chamber configuration has dimensions of 5 cm x 10 cm x 10 cm, with 2 cm x 5 cm zinc and copper as electrodes. In this study ruminant waste mixed with the mud use as substrate with electrolytes of KMnO₄. In dual chamber system; electrons produced by bacteria from the substrate on the anode are transferred to electrode on the cathode, while the protons are transferred via a salt bridge (1M NaCl) as a proton transfer medium. The results showed that the maximum power that can be produced by the MFC system reached 0,82 W (temperature 30° C) and maximum energy was 0,54 J (t= 28th hours, temperature 32° C). Voltage gain and current strength vary for each experiment. Based on the results of the study, it can be concluded that the highest current production is produced at 37° C.

Keywords: Microbial Fuel Cell, ruminant waste, electrode, temperature

1. Pendahuluan

Populasi peternakan khususnya ternak hewan ruminansia / hewan memamah biak dikota Bandung semakin meningkat tiap tahunnya. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Bandung, pada tahun 2013 jumlah populasi hewan ruminansia mencapai 9.683 ekor dengan yang terbanyak adalah sapi (1.642 ekor) dan domba sebanyak 7.284 ekor [1].

Salah satu permasalahan yang muncul adalah dikarenakan sistem peternakan yang masih tradisional, sehingga limbah rumen terutama sapi tidak dimanfaatkan dengan baik dan menimbulkan masalah lain seperti masalah kesehatan, pencemaran lingkungan, bahkan global warming [2]. Dengan melihat fakta tersebut sudah seharusnya pengelolaan limbah khususnya rumen sapi menggunakan metode pengelolaan secara terpadu / ISWM (*Integrated Solid Waste Management*) dan teknologi tepat guna demi meminimalisir dampak dari limbah tersebut.

Bentuk pengelolaan limbah secara terpadu dapat meliputi pengelolaan menjadi energi [3], salah satunya adalah *Microbial Fuel Cell* / Sel Tunam Mikroba. STM (Sel Tunam Mikroba) merupakan suatu perangkat yang dapat mengubah energi kimia dalam senyawa organik menjadi energi listrik [4]. Prinsip kerja dari STM menyerupai sel bahan bakar namun menggunakan sumber elektron yang berasal dari mikroba dalam subsrat.

Penggunaan rumen sapi sebagai subsrat dalam reaktor STM dimungkinkan karena terdapat bakteri elektrogenik pada rumen sapi seperti *Pseudomonas & Clostridium sp* [5]. Selain rumen sapi sebagai elemen utama sistem, dibutuhkan pula elemen lain seperti anoda, katoda, jembatan garam, juga elektroda yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Alwahan (2017) didapatkan tegangan output sebesar 0,835 Volt pada reaktor STM dengan subsrat rumen sapi dan

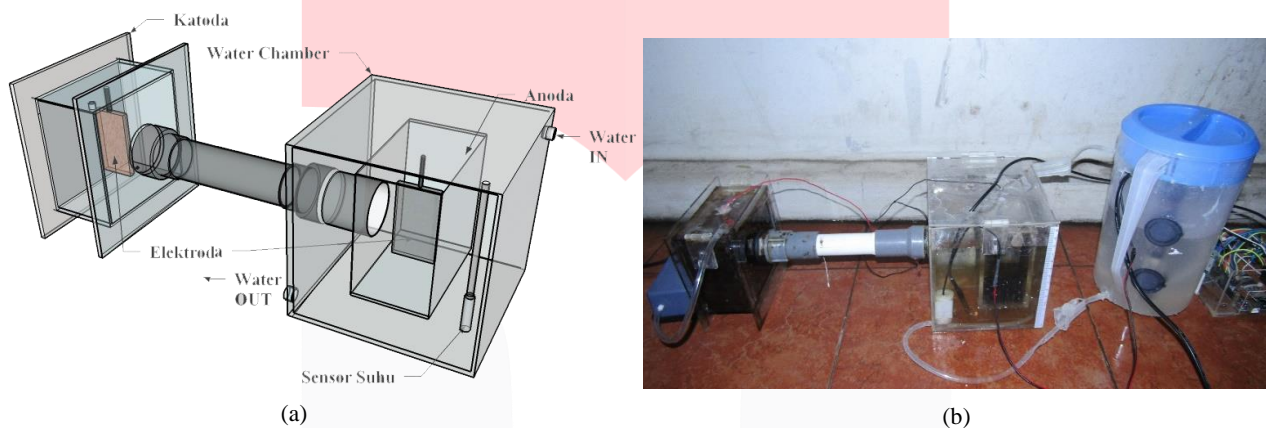
elektrolit KMnO_4 [6]. Sedangkan elektroda yang digunakan pada penelitian ini berupa material Zn & Cu karena berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Akbar (2017) penggunaan elektroda Zn & Cu memiliki kerapatan daya maksimum yang lebih besar dibandingkan kombinasi elektroda lain seperti Al & Cu sebesar $32,62 \text{ mW/m}^2$ dan menghasilkan energi maksimum sebesar $585,9 \text{ mJ}$ [7].

Adapun eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini adalah pengembangan dari penemuan-penemuan sebelumnya, menurut Edwards (2012) bakteri/mikroba memiliki rentang temperatur metabolismenya [8], pada penelitian ini akan dicari temperatur optimum metabolisme mikroba dari substrat, diharapkan dengan mendapatkan temperatur optimum bakteri pada substrat rumen sapi serta menjaga temperatur reaktor STM tetap berada pada temperatur optimumnya, maka output arus dan tegangan yang dihasilkan memiliki *lifetime* lebih panjang dibandingkan reaktor STM tanpa menggunakan sistem kontrol temperatur.

2. Metode Penelitian

2.1. Konstruksi Reaktor STM

Desain STM pada penelitian ini berbasis sel bio-elektrokimia dengan konfigurasi *dual chamber* yang terdiri dari kompartemen anoda dan katoda, dengan masing-masing kompartemen mampu menampung volume hingga 500 mL. Desain STM yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 (a) Desain alat yang digunakan pada penelitian, (b) Alat yang digunakan pada penelitian ini

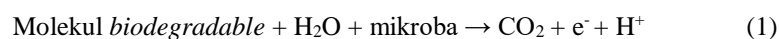
2.2. Preparasi Eksperimen

Sistem STM ini menggunakan seng dan tembaga sebagai elektroda anoda dan katoda. Luas permukaan dari tiap sisi elektroda sebesar 10 cm^2 dengan ketebalan masing-masing sebesar $0,2 \text{ mm}$. Sebelum digunakan, elektroda dipreparasi dengan cara diamplas untuk membersihkan dari pengotor maupun biofilm yang mungkin terdapat pada permukaan elektroda.

Substrat berupa rumen/rumen sapi yang diambil 1 hari sebelum percobaan dicampurkan dengan lumpur sawah dengan perbandingan 2 : 1 (rumen : lumpur). Sebelum digunakan sebagai substrat dalam percobaan kali ini, masing-masing rumen dan lumpur diaduk menggunakan pengaduk agar substrat bersifat homogen untuk masing-masing percobaan.

Kompartemen anoda diisi dengan 400 mL substrat yang mengandung mikroorganisme, pada kompartemen ini terjadi proses transfer elektroda dari mikroorganisme ke elektroda sebagai bagian dari metabolisme bakteri. Sedangkan pada kompartemen katoda diisi dengan larutan KMnO_4 (1 M) dan disuplai oksigen oleh aerator.

Pada kompartemen anoda terjadi reaksi dari mikroorganisme yang menghasilkan listrik dengan reaksi umum sebagai berikut.



Sedangkan pada kompartemen katoda terjadi penggabungan antara elektron dan proton dengan oksigen yang membentuk senyawa H_2O dengan persamaan reaksi.



Kedua kompartemen dipisahkan oleh jembatan garam sepanjang 10 cm dengan luas permukaan yang terkena kontak sebesar $\pm 5,06 \text{ cm}^2$. Jembatan garam dibuat menggunakan pilinan sumbu kompor dengan diameter $0,4 \text{ mm}$ yang direndam dalam larutan NaCl 1 M. Jembatan garam berfungsi sebagai mediator untuk mendifusikan proton yang dihasilkan pada kompartemen anoda menuju kompartemen katoda. Jembatan garam ini sendiri diganti untuk tiap percobaan yang berbeda.

2.3. Parameter Temperatur Kerja

Sesuai dengan namanya, Sel Tunam Mikroba mengandalkan bakteri dalam proses transfer elektron untuk menghasilkan listrik. Sugi et. al (2009) menyatakan bahwa kehidupan bakteri dalam subsrat rumen sapi sangat dipengaruhi oleh temperatur, apabila temperatur subsrat rendah bakteri akan dorman / tidak aktif, sebaliknya apabila temperatur subsrat terlalu tinggi maka bakteri akan mati.

Berdasarkan uji DGGE (*Denaturing Gradient Gel Electrophoresis*) selama 20 – 70 hari teridentifikasi beberapa grup bakteri pada rumen sapi, yakni *Trichococcus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Bacillus subtilis subsp.*, *Ochrobactrum pseudogrignonense*, *Pseudomonas sp.* dan *Bacillus sp.* [5]. Jenis *Clostridium sp* *Pseudomonas luteola* dan *Ochrobactrum pseudogrignonense* adalah jenis grup bakteri yang paling dominan dalam menghasilkan listrik [19].

Tabell Karakteristik *Electrogenic Bacteria*

Nama Bakteri	Atmosfir Hidup	Temperatur Optimum	Pertumbuhan Cell
<i>Clostridium sp.</i> [8]	Anaerobic gas mixture, 85% N ₂ , 5% CO ₂ , 10% H ₂	37°C	24 Jam
<i>Pseudomonas luteola</i> [14]	Aerobic	25 – 35°C	2 – 5 Hari
<i>Ochrobactrum pseudogrignonense</i> [5]	Anaerob	28°C	3 Hari

Dari data tersebut didapatkan bahwa tiga bakteri yang paling dominan menghasilkan arus listrik (Park et. al, 2001) memiliki rentang reperatur optimumnya yakni 28°C – 37°C [20]. Dengan menaikkan temperatur menjadi 28°C – 37°C akan dicari rentang kerja optimum bakteri tersebut untuk hasil produksi arus listrik maksimalnya.

2.4. Sistem Kontrol

Untuk mencapaikan temperatur kerja, air dari reaktor pemanas dikondisikan oleh pemanas akuarium 25 watt dengan menggunakan sistem on/off relay, relay akan melakukan kerja berdasarkan *set point* yang telah diprogram pada Arduino IDE, Arduino mendapatkan *feedback* berdasarkan data temperatur yang dideteksi oleh sensor DS18B20.

2.5. Kerapatan Daya dan Energi

Kuat arus dan tegangan yang dihasilkan diukur menggunakan multimeter Fluke 87V yang telah mendapatkan sertifikasi IEC-1010-1, lisensi TUV EN 61010-1, dengan nomor registrasi CSA 22.2 No. 1010.1:1992. Pengukuran dilakukan dengan keadaan *open circuit voltage* dan arus *short circuit* dengan interval waktu 2 jam selama 7 hari. Data yang didapatkan diolah untuk mendapatkan nilai kerapatan daya dan energi listrik dengan menggunakan persamaan;

$$P = \text{daya} = V \times I \quad (3)$$

$$E = \text{energi} = P \times \Delta t \quad (4)$$

Keterangan :

P = Daya (W)

I = Kuat Arus (A)

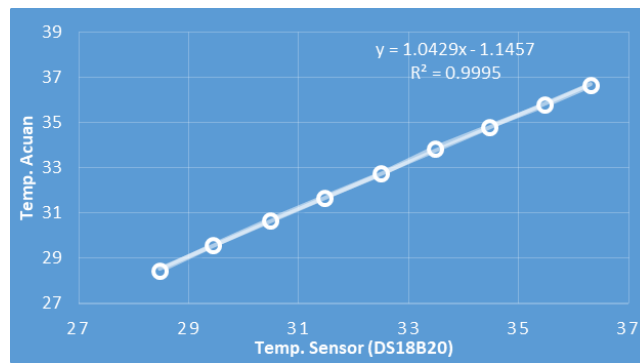
E = Energi (J)

Δt = Selang Waktu (second)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kalibrasi Sensor

Dikarenakan pada sistem STM menggunakan parameter temperatur kerja dari 28° C hingga 37° C, pengkondisian temperatur dibutuhkan untuk mencapai parameter tersebut. Sistem pengontrolan menggunakan sensor DS18B20 sebagai *feedback* untuk kontrol pemanas dibutuhkan pengkalibrasian untuk mendapatkan data yang akurat. Sensor temperatur tersebut dikalibrasi dengan cara membandingkan dengan data temperatur acuan menggunakan 4 in 1 meter LM-8000A yang telah mendapatkan sertifikasi ISO 9001 dari SGS.

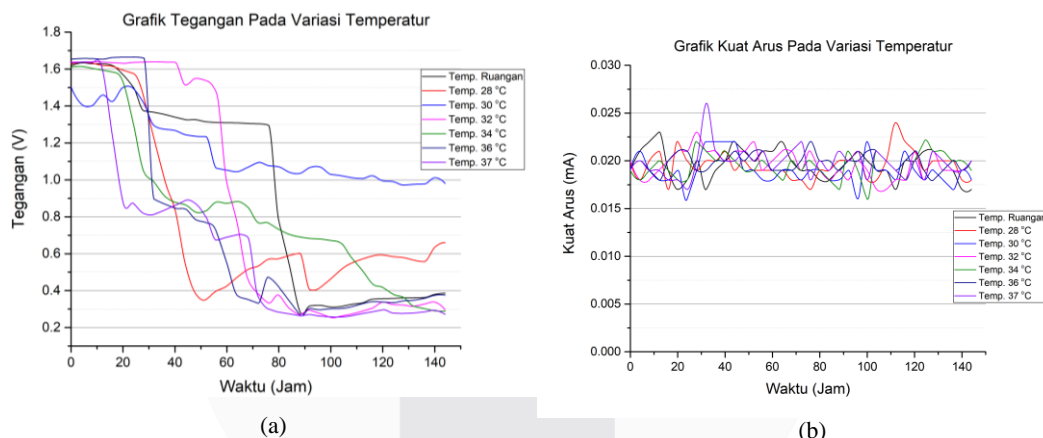


Gambar 2 Grafik kalibrasi sensor dengan temperatur acuan

Pada gambar 2 menunjukkan bahwa grafik telah linier dengan kolerasi linier $R^2 \approx 1$. Hal tersebut menjelaskan bahwa hasil pengujian dengan kalibrator telah menunjukkan grafik yang linier dan sensor telah layak untuk digunakan.

3.2 Tegangan dan Kuat Arus

Preparasi substrat dan lumpur untuk masing-masing percobaan dilakukan dengan interval waktu yang sama. Kompartemen anoda pada sistem dioperasikan tanpa menggunakan mediator elektron / *mediator less*, sehingga elektron yang dihasilkan mikroba dari proses degradasi senyawa organik ditransfer secara langsung tanpa bantuan zat kimia tambahan. Tegangan dan kuat arus diukur menggunakan multimeter yang dihubungkan pada kedua elektroda sistem STM, dimana kutub negatif pada multimeter dihubungkan dengan anoda dan kutub positif dengan katoda. Pengukuran tegangan dan kuat arus pada sistem ini tidak menggunakan hambatan atau beban eksternal, sehingga tegangan yang terukur disebut sebagai *Open Circuit Voltage* dan arus yang terukur disebut arus *short circuit*.



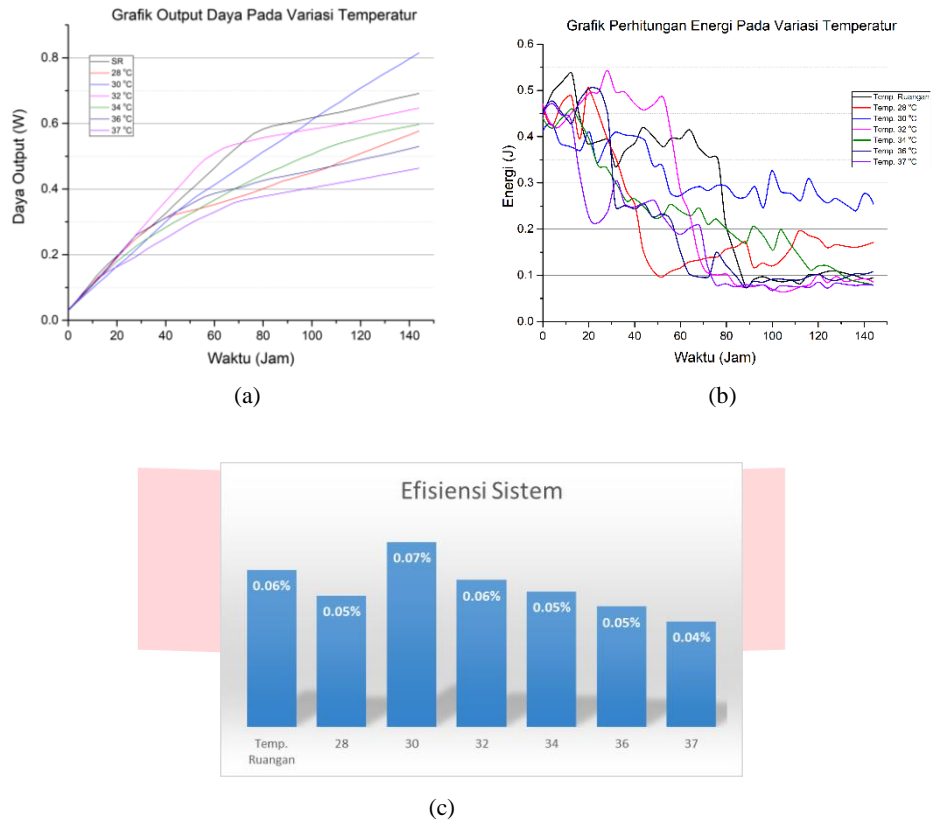
Gambar 3 (a) Grafik Pengukuran Tegangan Pada Variasi Temperatur, (b) Grafik Pengukuran Kuat Arus

Pada gambar 3(a) dapat dilihat grafik tegangan pada masing-masing parameter temperatur, pengukuran dimulai dengan pengkondisian temperatur ruangan, lalu dinaikkan sebesar 2°C untuk rentang $28^{\circ}\text{C} - 37^{\circ}\text{C}$. Sedangkan gambar 3(b) menunjukkan grafik kuat arus pada rentang temperatur kerja.

Tegangan yang diperoleh pada tiap percobaan menunjukkan hasil yang berbeda, pada percobaan pertama pada temperatur ruangan tegangan rata-rata mencapai 0,94 volt, sedangkan tegangan rata-rata tertinggi dicapai pada temperatur 30°C dan tegangan rata-rata terendah dicapai pada temperatur 37°C sebesar 0,63 volt. Berbeda dengan tegangan, arus tertinggi pada percobaan sistem STM *dual chamber* dengan variasi temperatur didapatkan pada temperatur 37°C sebesar 0,026 mA.

3.3 Total Daya dan Energi

Selanjutnya data hasil pengukuran berupa tegangan dan kuat arus diolah menggunakan persamaan (3) dan (4) untuk mendapatkan nilai daya dan energi. Besarnya total daya yang dihasilkan dari sistem STM tertera pada Gambar 4a.



Gambar 4(a) Grafik Output Daya, (b) Grafik Energi Pada Variasi Temperatur dan (c) Efisiensi Sistem

Gambar 4a menunjukkan daya yang dihasilkan pada masing-masing parameter temperatur selama 7 hari pengambilan data. Dari hasil percobaan didapatkan total daya yang dihasilkan sebesar 0,69 W pada temperatur ruangan, 0,58 W pada temperatur 28° C, 0,82 W (30° C), 0,65 W (32° C), 0,60 W (34° C), 0,53 W (36° C) dan 0,46 W (37° C).

Dengan membandingkan daya masukan dari sistem kontrol, sistem pemanas dan reaktor STM yang digunakan untuk menghasilkan daya keluaran, didapatkan nilai efisiensi pada masing-masing parameter temperatur pada gambar 4c. Efisiensi menunjukkan seberapa baik sistem menghasilkan keluaran dari input yang digunakan. Hasil perhitungan menunjukkan efisiensi tertinggi ada pada temperatur 30° C sebesar 0,07%, diikuti temperatur ruangan dan temperatur 32° C sebesar 0,06%, sedangkan efisiensi terendah ada pada temperatur 37° C sebesar 0,04 %.

Melalui energi bebas Gibbs, mikroba melepaskan energi selama proses metabolisme dan pertumbuhan. Energi yang dihasilkan sistem MFC dapat dihitung menggunakan persamaan (4), dimana energi tersebut ditentukan oleh besarnya daya listrik terhadap waktu. Gambar 4b menunjukkan grafik energi yang dihasilkan oleh sistem STM, semakin lamanya waktu *running* sistem, energi yang dihasilkan sistem akan turun disebabkan turunnya tegangan yang dihasilkan akibat bakteri yang ada pada proses metabolisme semakin habis. Selama 7 hari percobaan, energi terbesar yang dihasilkan sebesar 0,54 Joule pada jam ke-28 temperatur 32° C.

4. Kesimpulan

1. Sistem STM dual *chamber* dengan elektrolit KMnO_4 , kombinasi elektroda seng dan tembaga dengan substrat limbah ruminansia yang dicampur dengan lumpur mampu menghasilkan energi listrik maksimum sebesar 0,54 J pada jam ke-28 temperatur 30° C.
2. Temperatur pada reaktor STM berpengaruh terhadap keluaran dari sistem berupa tegangan dengan nilai maksimal 1,67 volt pada 36° C dan arus sebesar 0,026 mA pada 37° C.
3. Dari hasil pengujian didapatkan rentang temperatur kerja untuk menghasilkan tegangan keluaran paling stabil ada pada temperatur 30° C.
4. Total daya maksimum yang dihasilkan sistem STM mencapai 0,82 W pada temperatur 30° C.
5. Efisiensi tertinggi yang dicapai sistem ada pada temperatur 30° C sebesar 0,07%.

Daftar Pustaka

- [1] B. P. Statistik, "Populasi Ternak yang Diusahaan oleh Rumah Tangga Usaha Peternakan Menurut Kota Bandung dan Jenis Ternak," *Badan Pusat Statistik*, 2013.
- [2] A. Rahmawati, "Limbah Peternakan Sapi dan Penanggulangan," *Jurnal Pencemaran Lingkungan*, vol. 4, pp. 1-19, 2013.
- [3] Adityawarman. A. C., Salundik dan L. C, "Pengolahan Limbah Ternak Sapi Secara Sederhana di Desa Pattalassang Kabupaten Sinjai Sulawesi Selatan," *Jurnal Ilmu Produksi dan Teknologi Hasil Peternakan*, vol. 03, pp. 171-177, 2015.
- [4] I. Bustami, S. Pipih dan N. A. Zhalindri, "Kinerja Microbial Fuel Cell Penghasil Biolistrik Dengan Perbedaan Jenis Elektroda Pada Limbah Cair Industri Perikanan," *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, vol. 20, no. 2, pp. 296-304, 2017.
- [5] G. Zhao et al., "Electricity generation from cattle dung using microbial fuel cell technology during anaerobic acidogenesis and the development of microbial populations," *Journal of Waste Management*, no. 32, pp. 1651 - 1658, 2012.
- [6] Alwahab, *Profil Energi Listrik Terbarukan Melalui Teknologi Microbial Fuel Cell Dari Beberapa Substrat Potensial*, Kendari: Universitas Halu Oleo, 2017.
- [7] T. N. Akbar, *Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Mikrobial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik*, Bandung: Universitas Telkom, 2017.
- [8] A. N. Edwards, J. M. Suárez and S. M. McBride, "Culturing and Maintaining Clostridium difficile in an Anaerobic Environment," *Journal of Visualized Experiments*, 2013.
- [9] R. Chang, *Chemistry 10th Editions*, New York: McGraw-Hill, 2010.
- [10] B. E. Logan et al., *Microbial Fuel Cell*, New Jersey: John & Wiley Inc., 2008.
- [11] B. E. Logan, "Microbial Fuel Cell : Methodology and Technology," *Journal of Environmental Science & Technology*, vol. 40, no. 17, pp. 5181-5192, 2006.
- [12] D. Lovley, "The Microbe Electric : Conversion of Organic Matter to Electricity," pp. 564-571, 2008.
- [13] "Membranes International," Membrane International Inc., [Online]. Available: <http://www.membranesinternational.com>. [Accessed 12 April 2018].
- [14] Y. Anzai, Y. Kudo dan H. Oyaizu, "The Phylogeny of The Genera Chryseomonas, Flavimonas and Pseudomonas Support Synonymy of These Three Genera," *Journal of Systematic Bacteriology*, pp. 249-51, 1997.
- [15] H. Shiratori et al., "Isolation and Characterization of a New Clostridium sp. That Performs Effective Cellulosic Waste Digestion in a Thermophilic Methanogenic Bioreactor," *Journal of Applied And Environmental Microbiology*, 2006.
- [16] "Arduino Uno Technical Specification," [Online]. Available: <http://arduino.cc>. [Accessed 05 Januari 2018].
- [17] "DS18B20 Datasheet," Maxim Integrated Products, Inc, 2015. [Online]. Available: <http://maximintegrated.com>. [Diakses 05 Januari 2018].
- [18] R. Chang, 2005, Jakarta: Erlangga, *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti* (3rd Ed.).
- [19] Park, H.S., Kim, H.S. and et.al., " A novel electrochemically active and Fe(iii)-reducing bacterium phylogenetically related to Clostridium butyricum isolated from a microbial fuel cell," pp. 297 - 306, 2001.
- [20] R. Sugi, P. Dyah, Pujiyanto, "Pemanfaatan kotoran ternak sapi sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan beserta aspek sosio kulturalnya," *Inotek*, vol. 13, no. 2, 2009.