

RANCANG BANGUN TUBULAR *MICROBIAL FUEL CELL* DENGAN JEMBATAN GARAM BERBAHAN SEMEN

(*DESIGN OF MICROBIAL FUEL CELL TUBULAR WITH A CEMEN SALT BRIDGE*)

Abi Taslim.¹, Muhamad Ramdhan Kirom², Rahmat Awaludin Salam³

^{1,2,3} Universitas Telkom, Bandung

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

³awaludinsalam@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Microbial Fuel Cell merupakan salah satu sumber untuk energi terbarukan yang menjanjikan, juga merupakan pemanfaatan energi dari biomassa yang menjadi solusi pada pemanfaatan energi biomassa. MFC menggunakan mikroorganisme sebagai sumber menghasilkan arus listriknya dengan proses reduksi oksidasi. Dalam penelitian, Tubular MFC bertujuan membuktikan sistem MFC mampu bekerja dengan bentuk tubular, serta melakukan optimasi durabilitas MFC, juga menghasilkan energi listrik yang optimal dengan melakukan variasi pada ukuran campuran jembatan garam. Dilakukan variasi ukuran campuran jembatan garam bertujuan membangun solusi perpindahan proton dapat terjadi secara optimal sehingga beda potensial dapat mempengaruhi optimalnya keluaran daya. Pembangunan Tubular MFC terdiri dari kompartemen substrat yang memiliki anoda yang terbuat dari seng lalu dilapisi oleh silinder jembatan garam yang terbuat dari semen campuran NaCl. Jembatan garam diintegrasikan pada sistem dengan permanen sehingga dalam pengambilan data variasi jembatan garam, peneliti membuat 3 reaktor identik dengan ukuran bahan jembatan garam yang berbeda. Setelah sistem selesai dirancang, maka data keluaran akan dibaca oleh sensor atau menggunakan multimeter. Hasil dari Tubular MFC adalah durabilitas sistem lebih terjaga dibanding dengan sistem yang memiliki bentuk plat, sehingga kebocoran sistem dapat diminimalisasi. Daya yang dikeluarkan sistem selama tujuh hari mencapai 1.39 mW untuk reaktor I, 0.3 mW untuk reaktor II, dan 0.12 mW untuk reaktor III.

Kata Kunci : *Microbial Fuel Cell*, Tubular, Jembatan Garam, Lumpur Sedimen

Abstract

Microbial Fuel Cell is one of the promised sources for renewable energy, it is also the use of energy from biomass which is a solution to the utilization of biomass energy. MFC uses microorganisms as a source to generate electric current by an oxidation-reduction process. In the research, Tubular MFC aims to prove that the MFC system is able to work with a tubular shape, as well as optimizing the durability of the MFC, as well as producing optimal electrical energy by varying the size of the salt bridge mixture. Perform variations in the size of the salt mixture aimed at awakening the proton solution to occur optimally so that the potential difference can affect the optimal power output. The Tubular MFC construction consists of a substrate compartment having an anode made of zinc covered by a salt bridge cylinder made of cement mixed with NaCl. The salt bridge is permanently integrated in the system so that in collecting salt bridge variation data, it makes 3 identical reactors with different salt bridge materials. After the system has been designed, the output data will be read by the sensor or using a multimeter. The result of the Tubular MFC is that the durability of the system is better maintained than the system that has a plate shape, so that system leakage can be minimized. The power released by the system for seven days reached 1.39 mW for reactor I, 0.3 mW for reactor II, and 0.12 mW for reactor III.

Keyword : *Microbial Fuel Cell*, Tubular, Salt Bridge, Sediment Sludge.

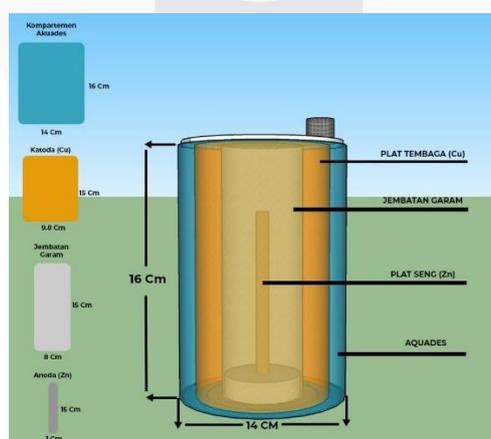
1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, konsumsi energi di dunia memiliki tren yang makmur. Sumber energi diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok: bahan bakar fosil, sumber terbarukan, dan sumber nuklir, di mana sumber energi tak terbarukan, yang mencakup sebagian besar konsumsi energi, dapat dikelompokkan menjadi dua klasifikasi utama: energi nuklir dan energi fosil. Bahan bakar fosil mempengaruhi lingkungan secara negatif karena adanya emisi karbon dioksida[1]. Sumber energi ini ternyata lebih cepat habis ketimbang terbentuk yang baru, sumber energi fosil juga memberikan dampak buruk pada lingkungan sehingga dapat berpengaruh pada kelangsungan hidup manusia. Salah satu parameter keberhasilan pembangunan berkelanjutan (SDGs) adalah akses terhadap energi yang bersih, terjangkau dan berkelanjutan. Energi merupakan penyumbang utama perubahan iklim yang menghasilkan gas rumah kaca sekitar 60% dari total emisi. Pengembangan energi terbarukan ditujukan dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan kemandirian energi di setiap negara. Sel bahan bakar mikroba merupakan salah satu teknologi pengolahan air limbah dengan efisiensi energi yang tinggi. MFC dapat menjadi salah satu sumber energi alternatif untuk dapat terwujudnya kemandirian energi [2].

MFC merupakan bidang yang menarik minat peneliti karena merupakan bidang yang menggabungkan energi terbarukan dan limbah, sehingga MFC dapat memanfaatkan bahan organik disekitar. Karena hal ini, penulis tertarik untuk menganalisis reaktor MFC dan peneliti memiliki ketertarikan terkait reaktor MFC yang memiliki konstruksi berbentuk tubular. Pada penelitian ini juga berpengaruh pada material yang digunakan pada reaktor diperhatikan, saat menggunakan reaktor MFC, ada baiknya reaktor berbahan kaca digunakan untuk dapat meminimalisasi kebocoran reaktor [3] Peneliti ingin melakukan penelitian terhadap pengaruh jembatan garam yang menggunakan bahan semen dengan campuran NaCl yang berfungsi sebagai jembatan garam untuk diketahui pengaruhnya terhadap daya keluaran sistem MFC dan diharapkan bisa menjadi satu metode untuk melakukan optimasi terhadap sistem. Pada penelitian yang berjudul Pengaruh desain perakitan elektroda pemisah (SEA) dan mode operasi pada kinerja Tubular MFC kontinu, menggunakan J-Cloth dengan arus maksimum 1414.43 mA dengan daya maksimum 281.30 mW, keluaran ini yang akan menjadi acuan peneliti untuk keluaran reaktor MFC yang memiliki material jembatan garam yang berbeda[3]. Diharapkan dengan penelitian menggunakan jembatan garam dengan material semen dengan campuran NaCl dengan tujuan keluaran yang dihasilkan lebih besar dan optimal karena luas kontak antara kompartemen anoda dan katoda lebih besar sehingga perpindahan proton diharapkan menjadi lebih besar.

2. Metodologi dan Perancangan Sistem

2.1 Desain Tubular Microbial Fuel Cell

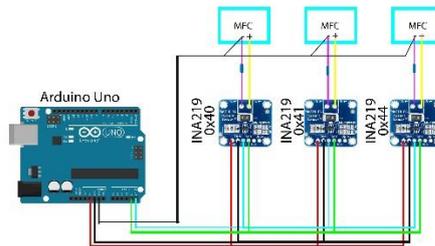


Gambar 1 Desain Tubular Microbial Fuel Cell

Pada penelitian ini, reaktor MFC berjenis tubular dengan ukuran tinggi alat 15 cm dan diameter 11,2 cm. Reaktor ini terdiri dari dua ruang, ruang pertama yang berada pada posisi dalam berfungsi sebagai wadah substrat dan pada bagian tengahnya terdapat anoda, ruang ini memiliki kulit yang terbuat dari campuran semen dan NaCl sehingga sekaligus menjadi jembatan garam. Lalu ruangan kedua yang

berposisi terluar adalah wadah untuk air atau aquades yang terdapat katoda, ruangan ini memiliki bahan dari PVC sehingga meminimalisasi terjadi kebocoran pada sistem reaktor.

2.2 Desain Sistem Pengukuran Daya Keluaran Reaktor



Gambar 2 Skema Pengukuran Daya Keluaran Reaktor

Pengukuran pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan multimeter, sensor tegangan, dan sensor arus. Data yang terukur akan direkam oleh data logger yang terhubung dengan mikrokontroler. Pada tahapan ini, pengolahan data dilakukan dengan membuat grafik berdasarkan daya keluaran reaktor MFC terhadap waktu dan rapat daya terhadap waktu.

3. Pembahasan

3.1 Pengujian Sensor Tegangan dan Arus INA219

Data tegangan dan arus yang diukur didapatkan dengan menggunakan sensor tegangan dan arus INA219. Sensor dikalibrasi dengan cara membandingkan nilai arus dan tegangan yang terbaca oleh kalibrator dengan sensor INA219, kalibrator yang digunakan adalah multimeter. Sumber yang digunakan dalam proses kalibrasi INA219 adalah Variabel DC, hal ini dimaksudkan agar mempermudah dalam melakukan variasi pada nilai tegangan dan arus masukan. Pada kalibrasi sensor INA219, *Error* dan presentase *error* dapat dicari menggunakan persamaan berikut:

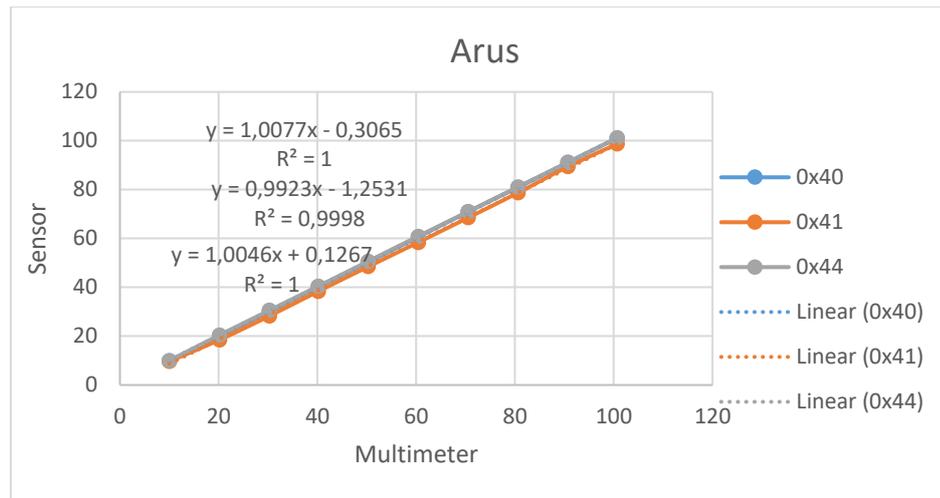
$$\text{Selisih} = |\text{Nilai Perkiraan} - \text{Nilai Riil}|$$

$$\text{Presentase kesalahan} = \frac{|\text{Selisih}|}{|\text{Nilai Riil}|} \times 100$$

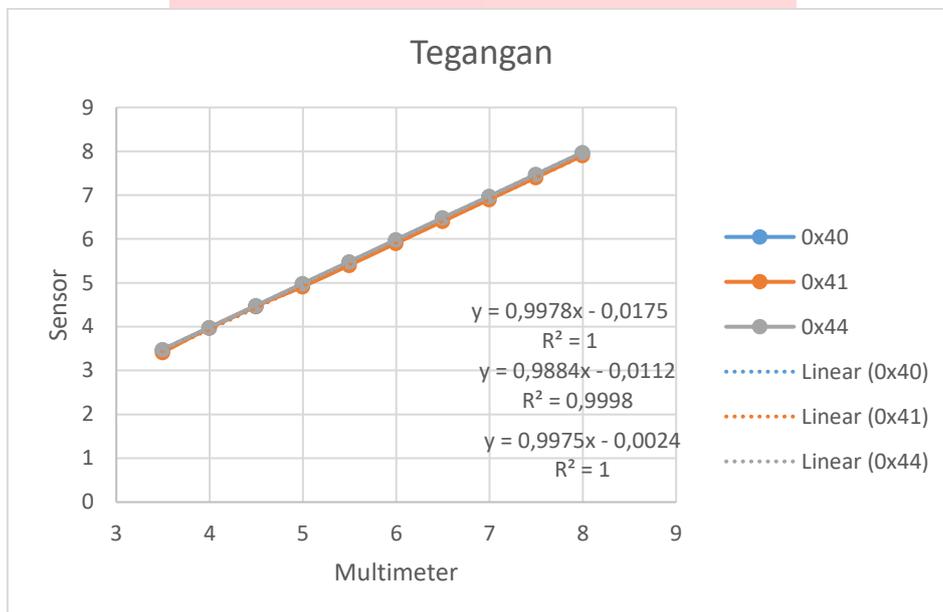
Sehingga dari persamaan diatas ditemukan rata-rata *error* pada setiap sensor INA219 yaitu sebesar:

Adress Sensor	Rata-rata error arus (%)	Rata-rata error tegangan (%)
0x40	0.53	0.54
0x41	3.80	1.37
0x44	0.72	0.30

Dengan demikian nilai pembacaan INA219 dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3 Grafik Pembacaan Arus



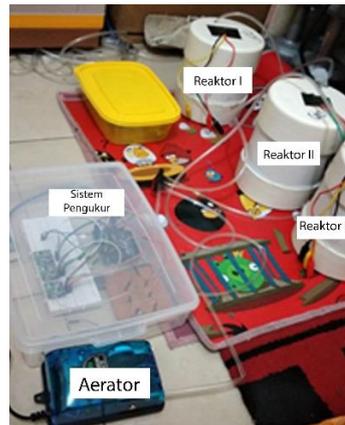
Gambar 4 Grafik Pembacaan Tegangan

Dari persamaan diatas menunjukkan perbandingan data INA219 dengan multimeter, dari nilai error dapat diindikasikan bahwa pembacaan yang diterima oleh sensor dan dibandingkan dengan multimeter memiliki selisih yang kecil. Hal ini menandakan bahwa sensor yang digunakan layak dan data yang diperoleh valid berdasarkan hasil kalibrasi sehingga sensor layak digunakan dalam pengukuran pada penelitian ini.

3.2 Konstruksi Tubular *Microbial Fuel Cell* (MFC)

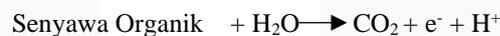
Konstruksi pada Sistem MFC ini menggunakan bentuk silinder atau tubular, pada desain ini MFC terdiri dari satu kompartemen yang dipisahkan oleh jembatan garam berbahan semen dimana kompartemen yang dipisahkan merupakan kompartemen air dengan kompartemen substrat. Kompartemen substrat dapat memuat substrat sebanyak 300 mL lalu pada kompartemen air dapat memuat sebanyak 1250 mL. Pada kompartemen substrat terdapat elektroda yang berupa lempengan seng (Zn) yang memiliki ukuran diameter dalam 1 cm dan tinggi 10 cm, kemudian pada kompartemen air terdapat katoda yang berupa lempengan tembaga (Cu) dengan diameter dalam 10 cm dengan tinggi 15 cm dengan ketebalan 0.2 mm. Elektroda masing-masing diampelas terlebih dahulu untuk mengurangi resistansi internalnya [4]. Setelah melalui tahap preparasi elektroda, elektroda kemudian dihubungkan dengan sirkuit listrik eksternal yang

merupakan alat ukur. Lalu pada bagian kompartemen air dimasukan pipa yang mengalirkan udara yang berasal dari aerator.

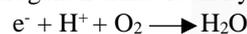


Gambar 5 Sistem Tubular Microbial Fuel Cell

Kompartemen substrat sebanyak 300 mL berupa lumpur kolam yang berasal dari sedimen kolam daerah kawasan Universitas Telkom. Peneliti memilih lumpur kolam ini karena lumpur air tawar diindikasikan mengandung sangat banyak mikroba serta senyawa organik, karena pada dasarnya tanah yang mengandung dalam air tawar memiliki sifat asam organik yang terbentuk dari dekomposisi protein dan karbohidrat, proses dekomposisi ini terjadi pada tanah yang kurang mendapatkan oksigen[5]. Kemudian pada substrat ditambahkan nutrisi substrat yang berupa nasi segar, hal ini dimaksudkan agar tidak terjadi degradasi pada produksi daya karena bila menggunakan nasi basi akan terjadi proses asam fermentasi pada nasi karena kadar glukosa yang terkandung pada nasi digunakan bakteri dalam melakukan aktivitas metabolisme yang menghasilkan asam [6]. Kemudian pada kompartemen air dimasukkan akuades yang merupakan air murni, sehingga tidak ada kandungan mineral yang dapat mempengaruhi sistem MFC[7]. Adapun persamaan reaksi kimia yang berlangsung pada anoda sebagai berikut:



Kemudian elektron dan proton berpindah ke kompartemen katoda dan bereaksi dengan oksigen yang berasal dari aerator lalu membentuk Hidrogen. Berikut reaksi yang terjadi pada katoda:

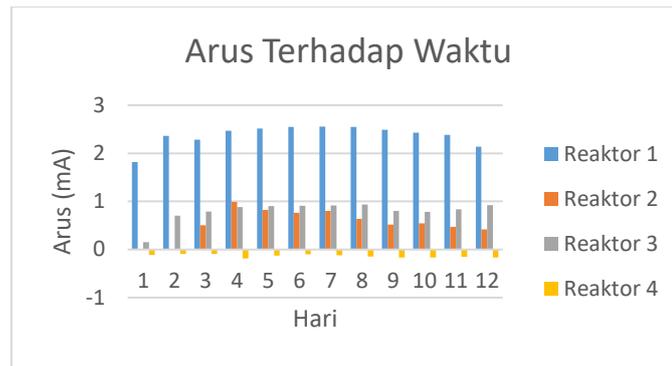


Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pengujian pada reaktor MFC yang memiliki variasi pada komposisi jembatan garam seperti pada tabel berikut ini:

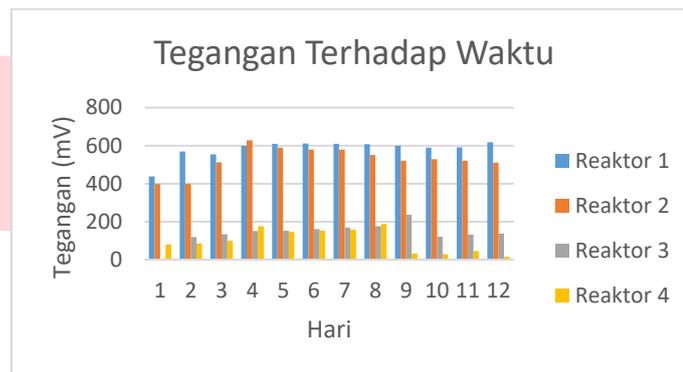
Reaktor	Lumpur	Akuades	Semen	NaCl
I	300 mL	1250 mL	600 g	100 g
II	300 mL	1250 mL	600 g	150 g
III	300 mL	1250 mL	600 g	200 g
IV	300 mL	1250 mL	600 g	0

3.3 Hasil Pengukuran Tegangan, Arus, dan Power Density pada Variasi Komposisi Jembatan Garam

Pengukuran arus dan tegangan dilakukan dengan cara menggunakan sensor INA219 yang dihubungkan pada elektroda. Anoda dihubungkan pada kutub negatif sensor dan ground lalu katoda dihubungkan pada kutub positif sensor. Pengukuran Tubular MFC dilakukan selama tiga jam selama 7 hari. Adapun data yang diperoleh berupa arus, tegangan, dan daya perharinya dapat dilihat pada Gambar 6

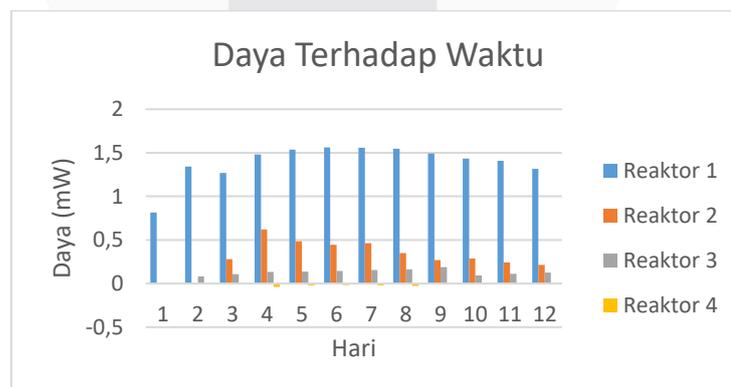


Gambar 6 Grafik Arus Terhadap Waktu



Gambar 7 Grafik Tegangan Terhadap Waktu

Dari gambar 6 dan 7 dapat dilihat hasil pengukuran data tegangan dan arus yang dihasilkan oleh reaktor dengan variasi komposisi jembatan garam yang berbeda. Pada reaktor I perolehan pertama tegangan sebesar 437.47mV dan menghasilkan arus sebesar 1.82mA, kemudian perolehan pertama pada reaktor II yaitu tegangan sebesar 397.03mA dengan arus, kemudian reaktor III perolehan pertama yang dihasilkan adalah tegangan sebesar 118.33 mV dengan arus 0.7 mA. Sedangkan pada reaktor IV tidak menghasilkan arus dan menghasilkan tegangan sebesar 79.2 mV yang cenderung kecil. Kemudian data rata-rata tegangan dan rata-rata arus perharinya dikalikan untuk mendapatkan perolehan daya seperti pada gambar 8.



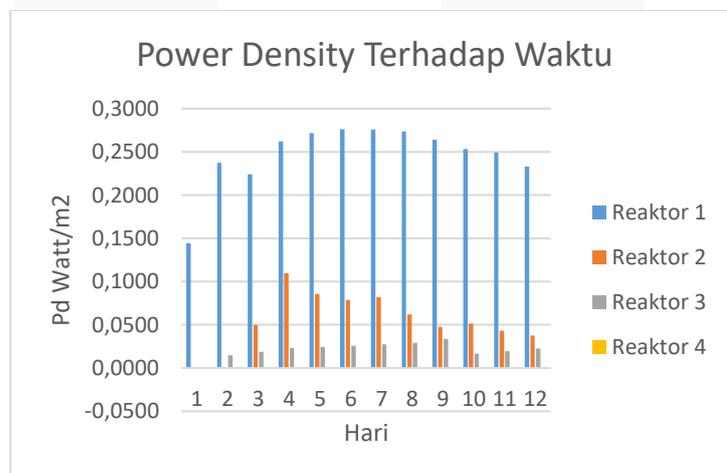
Gambar 8 Grafik Daya Terhadap Waktu

Kemudian pada gambar 8 merupakan data daya yang dihasilkan terhadap waktu. Data daya diperoleh dengan melakukan perkalian antara data rata-rata tegangan perhari dengan data rata-rata arus perhari. Perolehan pertama pada reaktor I menghasilkan daya sebesar 0.815mW didapat pada hari ke 1, lalu perolehan daya pada reaktor II sebesar 0.28mW yang didapat pada hari ke 3, kemudian perolehan daya

pertama pada reaktor III didapatkan sebesar 0.083 mW pada hari ke 2. Pada reaktor 4 tidak dihasilkan daya dan cenderung data yang didapatkan bernilai 0, hal ini disebabkan oleh tidak adanya kandungan NaCl pada jembatan garam sehingga tidak ada pertukaran proton pada reaktor. Puncak perolehan daya yang dihasilkan oleh reaktor I berada pada nilai 1.56 mW pada hari ke 6, kemudian perolehan tertinggi pada reaktor II sebesar 0.62 mW pada hari ke 4, selanjutnya untuk reaktor III memperoleh daya tertinggi sebesar 0.0188 mW.

Pada reaktor I aktivitas bakteri dimulai sejak hari ke-1 dan mengalami peningkatan hingga hari ke-7 dan mulai menurun pada hari ke-8 sampai hari ke-12. Aktivitas bakteri pada reaktor II dimulai sejak hari ke-3 dan mengalami peningkatan signifikan pada hari ke-4 dan menurun perlahan secara linear sampai hari ke-12. Reaktor III ada aktivitas bakteri sejak hari ke-2 dan mengalami peningkatan hingga hari ke-9 dan mulai mengalami penurunan pada hari ke-10. Pada reaktor IV daya yang dihasilkan cenderung stabil pada titik terendah dari hari ke-1 sampai hari ke-12.. Kenaikan produksi daya pada ketiga reaktor ini dipengaruhi oleh nutrisi substrat yang digunakan, substrat yang digunakan adalah nasi segar yang memiliki retention time lebih lama dibanding nasi basi karena bila terlalu lama basi maka kadar glukosa yang menjadi sumber nutrisi bakteri dapat menghasilkan asam yang akan mengakibatkan penurunan pH, pada dasarnya penurunan pH pada substrat yang akan berpengaruh pada penurunan energi listrik[6]. Menurut penelitian Zhang 2012 bahwa pH dapat berpengaruh pada sistem MFC, ketika pH menurun maka daya yang dihasilkan akan rendah[8]. Kenaikan produksi daya seiring bertambahnya waktu fermentasi maka produksi daya juga semakin tinggi, namun waktu yang semakin lama juga mempengaruhi produksi daya yang menurun karena dipengaruhi oleh menurunnya juga aktivitas mikroba. Elektroda juga berpengaruh pada penurunan produksi daya dimana elektroda mengalami pengurangan kontak yang dipengaruhi oleh karat pada elektroda[9]

Power Density atau kerapatan daya merupakan hasil kali antara arus dan tegangan yang dihasilkan, kemudian dibagi dengan luas permukaan luas elektroda yang digunakan, pada penelitian ini luas yang digunakan adalah luas anoda karena ukuran anoda yang digunakan lebih kecil dibanding dengan ukuran katoda, dimana pada kondisi ini elektron pada dari anoda sama dengan elektron yang diterima oleh katoda. Berikut data hasil pengukuran rapat daya rata-rata selama tujuh hari.



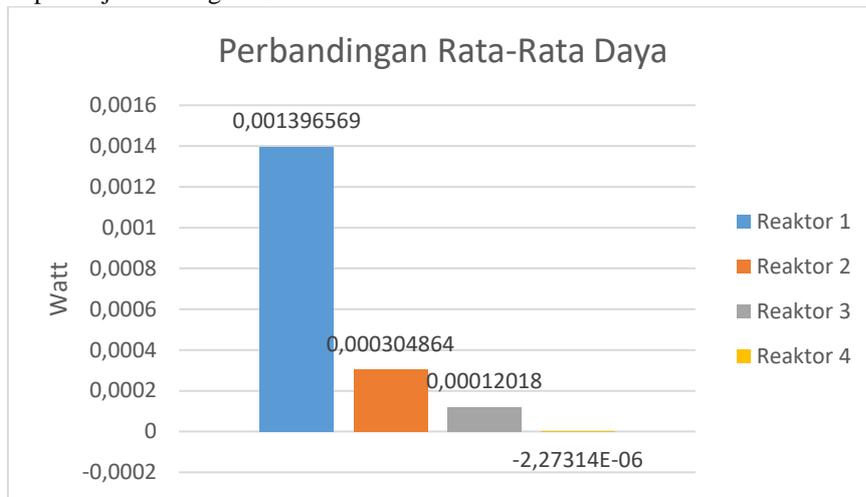
Gambar 9 Grafik Power Density Terhadap Waktu

Dari Gambar 9 dapat dilihat bahwa hasil yang diperoleh tidak beda jauh dengan hasil pengukuran arus, tegangan, dan daya, hal ini terjadi karena kerapatan daya berbanding lurus dengan permukaan elektroda, arus, dan tegangan yang dihasilkan.

3.4 Pengaruh Komposisi Jembatan Garam Terhadap Produksi Daya

Komposisi Jembatan Garam yang digunakan pada penelitian ini memiliki 3 variasi komposisi yang terletak pada komposisi NaCl yang digunakan. Pada setiap reaktor menggunakan jembatan garam dengan kadar NaCl yang berbeda, pada reaktor I menggunakan jembatan garam dengan NaCl sebanyak 100 g, kemudian pada reaktor II menggunakan jembatan garam dengan NaCl sebanyak 150 g, lalu pada

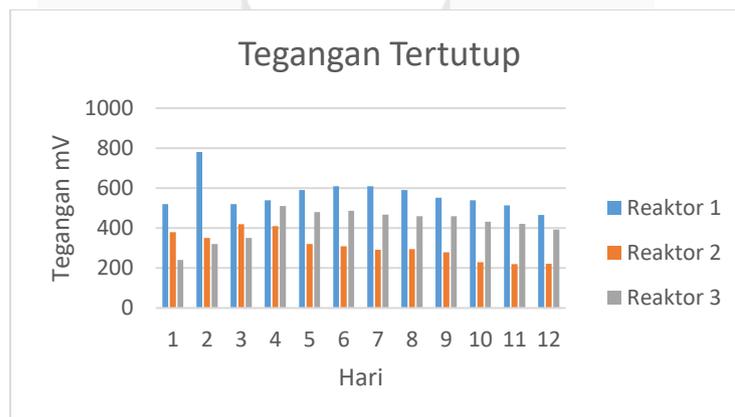
reaktor III sebanyak 200 g. Dari data yang diperoleh dari pengukuran, didapatkan bahwa komposisi jembatan garam berpengaruh pada daya yang dihasilkan. Berikut perbandingan perolehan daya terbesar terhadap komposisi jembatan garam.



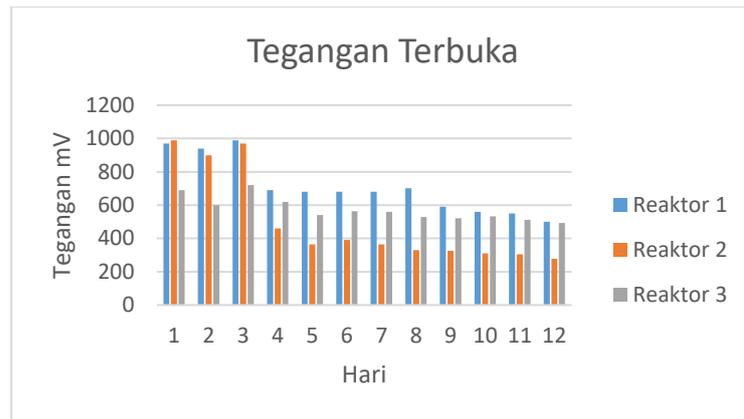
Gambar 10 Grafik Perbandingan Rata-Rata Daya

Berdasarkan Gambar 10 diatas, daya terbesar dihasilkan oleh reaktor dengan jembatan garam yang memiliki kandungan NaCl paling rendah yaitu 100 g, kemudian produksi daya paling rendah adalah reaktor III dengan kandungan NaCl sebanyak 200 g. Hal ini dipengaruhi oleh resistansi larutan yang digunakan pada campuran jembatan garam yang mempengaruhi resistansi jembatan garam yang akan berpengaruh pada mobilitas ionik sehingga dapat mempengaruhi produksi arus listrik. Berikut perbandingan produksi daya rata-rata ketiga reaktor dengan komposisi NaCl yang berbeda.

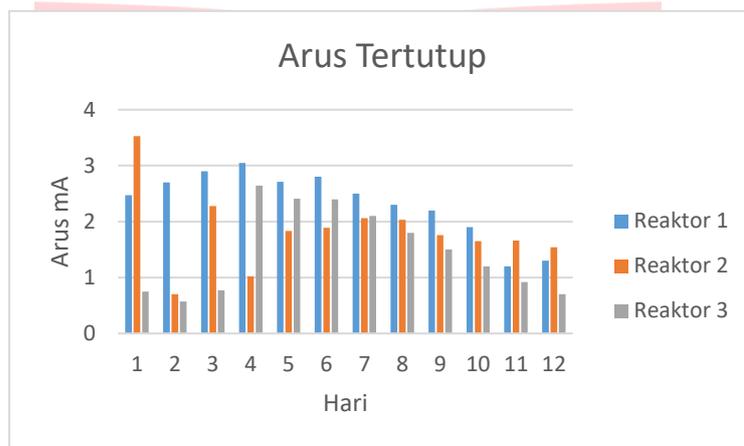
Dapat dilihat perbandingan rata-rata daya ketiga reaktor dimana reaktor I yang mengandung 100 g NaCl menghasilkan rata-rata daya selama 12 hari sebesar 1.39 mW yang merupakan nilai terbesar, lalu reaktor II yang mengandung NaCl sebanyak 150 g menghasilkan rata-rata daya sebesar 0.3 mW, lalu reaktor III dengan hasil rata-rata daya terendah dengan nilai daya 0.12 mW selama 12 hari. Semakin sedikit kandungan NaCl pada jembatan garam, maka daya yang dihasilkan lebih besar, hal ini disebabkan oleh adanya resistivitas pada jembatan garam yang dipengaruhi oleh banyaknya kandungan NaCl, semakin banyak kandungan NaCl maka semakin tinggi resistivitasnya[10].



Gambar 4.10 Grafik Tegangan Tertutup



Gambar 4.11 Grafik Tegangan Terbuka



Gambar 4.12 Grafik Arus Tertutup

Dari grafik diatas didapatkan data rata-rata tegangan rangkaian tertutup yaitu 569.16 mV untuk reaktor I, 310.33 mV untuk reaktor II, dan 416.25 mV untuk reaktor III. Untuk tegangan rangkaian terbuka didapatkan rata-rata nilai 711 mV untuk reaktor I, 499.25 mV untuk reaktor II, 573.33 mV untuk reaktor III. Kemudian untuk arus tertutup didapati nilai rata-rata 2.3 mA untuk reaktor I, 1.82 mA untuk reaktor II lalu 1.48 mA untuk reaktor III. Hambatan dalam rata-rata pada setiap reaktor yaitu pada reaktor I didapatkan rata-rata hambatan dalam sebesar 56.08 mOhm kemudian untuk reaktor II didapatkan rata-rata hambatan dalam sebesar 176.57 mOhm, lalu untuk reaktor III didapatkan bahwa rata-rata hambatan dalam sebesar 127.87 mOhm.

4. Kesimpulan

Produksi daya sistem Tubular Microbial Fuel Cell tertinggi dihasilkan oleh reaktor I dengan hasil pengukuran tegangan sebesar 611.64mV lalu hasil pengukuran arus sebesar 2.55 mA dan dihasilkan daya sebesar 1.56 mW dengan kerapatan daya tertinggi dengan nilai 0.276 Watt/m² pada hari ke-6. 3.

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan dengan rangkaian tertutup dan terbuka, lalu arus rangkaian tertutup didapatkan hambatan dalam sebesar 56.08 mOhm pada reaktor I, 176.57 mOhm untuk reaktor II, dan 127.87 mOhm untuk reaktor III.

NaCl pada jembatan garam memiliki pengaruh pada daya keluaran reaktor Tubular MFC. Penggunaan semen pada jembatan garam terbukti dapat digunakan pada sistem MFC karena dapat mengikat NaCl dan dapat melakukan pertukaran proton dengan kandungan NaCl didalam.

REFERENSI

- [1] M. Rahimnejad, A. Adhami, S. Darvari, A. Zirepour, and S. E. Oh, "Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review," *Alexandria Engineering Journal*. 2015, doi: 10.1016/j.aej.2015.03.031.
- [2] B. Surya Ramadan and Purwono, "Challenges and opportunities of microbial fuel cells (MFCs) technology development in Indonesia," 2017, doi: 10.1051/mateconf/201710102018.
- [3] B. Yuniarti, "No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title," *Pengukuran Tingkat Kekeruhan Air Menggunakan Turbid. Berdasarkan Prinsip Hamburan Cahaya*, vol. 46, no. 3, pp. 171–174, 2007, doi: 10.2320/materia.46.171.
- [4] Y. P. Pamungkas *et al.*, "SISTEM SEMI KONTINYU MICROBIAL FUEL CELL MICROBIAL FUEL CELL SEMI CONTINUOUS SYSTEM," vol. 7, no. 1, pp. 1375–1381, 2020.
- [5] G. Gusnidar, N. Hakim, and T. B. Prasetyo, "Inkubasi Titonia Pada Tanah Sawah Terhadap Asam-Asam Organik," *J. Solum*, vol. 7, no. 1, p. 7, 2010, doi: 10.25077/js.7.1.7-18.2010.
- [6] N. Fadhila, M. R. Kirom, N. Fitriyanti, F. T. Elektro, and U. Telkom, "FUEL CELL ANALYSIS ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION USING FISH POOL AND RICE WASTE SUBSTRATE BY USING SEDIMENT MICROBIAL FUEL CELL."
- [7] H. Khotimah, E. W. Anggraeni, and A. Setianingsih, "Karakterisasi Hasil Pengolahan Air Menggunakan Alat Destilasi," *J. Chemurg.*, vol. 1, no. 2, p. 34, 2018, doi: 10.30872/cmg.v1i2.1143.
- [8] E. Zhang, L. Liu, and Y. Cui, "Effect of pH on the performance of the anode in microbial fuel cells," *Adv. Mater. Res.*, vol. 608–609, pp. 884–888, 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.608-609.884.
- [9] Y. K. Adi, M. R. Kirom, and A. R. I. Utami, "Analisis Pengaruh Rasio Volume Lumpur Sawah dan Limbah Kulit Pisang Sebagai Substrat Terhadap Produksi Energi Listrik Pada MFC," *11th Univ. Res. Colloquium 2020*, pp. 133–139, 2020.
- [10] U. Nurul, S. Sumiyati, and G. Samudro, "PENGARUH KONSENTRASI CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD) DAN LARUTAN GARAM DALAM JEMBATAN GARAM TERHADAP KINERJA DUAL CHAMBER MICROBIAL FUEL CELLS (DCMFCs) Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Jl . Prof Sudharto SH Tembalang," *Tek. Lingkung.*, pp. 1–7, 2015.