

Potensi *Syzygium oleina* Sebagai Penghasil Listrik Alternatif Dengan Metode *Plant-Microbial Fuel Cell*

Nurkholis Alfian¹, Mela Aurelia², Karina Berliana Mulyanto³, Umi Sholikah⁴

¹Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan 76127
E-mail : kholisalfian19@gmail.com

^{2,3}Program Teknik Studi Kimia, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan 76127
E-mail : melaaurelia@gmail.com², karinaberlianaa@gmail.com³

⁴Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan 76127
E-mail : umisholikah@itk.ac.id

ABSTRAK

Ketersediaan energi di dunia semakin menipis, seiring juga dengan ketidakseimbangan jumlah dan tingkat permintaan energi yang tinggi. Kebutuhan energi listrik Indonesia diperkirakan terus bertambah sebesar 4,6% setiap tahunnya. Krisis ini mendorong perlunya bahan bakar baru terbarukan yang dapat menyediakan sumber energi alternatif penghasil energi listrik yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan. Oleh karena itu diharapkan dunia dapat menerapkan energi terbarukan salah satunya berupa *Plant-Microbial Fuel Cell* (P-MFC) yang memanfaatkan bakteri alami tumbuhan dan tanah untuk menghasilkan listrik dengan bantuan elektroda. Sejauh ini P-MFC hanya berkuat pada tanaman berakar serabut, namun pada pengembangan penelitian kali ini menggunakan jenis tanaman berakar tunggang yang memiliki daya hidup yang lebih lama seperti tanaman pucuk merah (*Syzygium oleina*). Dengan daya hidup yang lama, listrik yang dihasilkan akan berlangsung lebih lama dan banyak. Elektroda yang digunakan ada dua jenis. Elektroda pertama yaitu karbon-karbon, diperoleh daya maksimum sebesar 0,202 mW dan minimum sebesar 0,0325 mW. Elektroda kedua yaitu karbon-seng, diperoleh daya maksimum sebesar 451,186 mW dan minimum sebesar 90,440 mW. Penelitian ini dilakukan selama 7 hari diukur setiap jam sekali dari pukul 06.00 hingga 11.00, disaat tanaman melakukan fotosintesis dengan maksimal.

Kata Kunci

Energi Alternatif, P-MFC, *Syzyguim oleina*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan dan permintaan energi primer dunia akan meningkat cukup tinggi seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan ekonomi dunia [1]. Hal ini mengakibatkan ketersediaan energi di dunia semakin menipis, seiring juga dengan ketidakseimbangan jumlah dan tingkat permintaan energi yang tinggi. Pada tahun 2011, kebutuhan energi fosil dunia tercatat sebesar 10.668 juta TOE atau 82% dari total kebutuhan, dan meningkat menjadi sebesar 14.898 juta TOE pada tahun 2035 [1]. Kebutuhan energi listrik Indonesia pun diperkirakan terus bertambah sebesar 4,6% setiap tahunnya, dan akan mengalami tiga kali lipat pada tahun 2030. Krisis ini mendorong perlunya bahan bakar baru terbarukan yang dapat menyediakan sumber energi alternatif penghasil energi listrik yang dapat diperbaharui dan ramah lingkungan [2]. Sumber energi baru yang dibutuhkan untuk menjawab kelangkaan dan masalah lingkungan yang memiliki efisiensi tinggi, dapat diperbaharui, tidak menghasilkan emisi gas berbahaya, dan tidak membahayakan.

Salah satu sumber energi alternatif terbarukan yaitu *Plant-Microbial Fuel Cell* (P-MFC) yang merupakan pengembangan dari *Microbial Fuel Cell* (MFC). MFC merupakan teknologi pengembangan bahan bakar berbasis hidrogen (*fuel cell*) yang didukung dengan hasil metabolisme bakteri elektrokimia sebagai materi utama yang digunakan dalam konversi elektron menjadi listrik [3]. Bakteri penghasil listrik biasanya berasal dari genus *Desulfobulbus* atau *Geobacteraceae* [4], atau yang berhubungan dekat dengan *Natronocella*, *Beijerinckiaceae*, *Rhizobiales* atau *Rhodobacte* [5]. Aplikasi MFC mampu diubah dan dikembangkan lagi dengan memanfaatkan mikroorganisme berupa tanaman yang aktif melakukan fotosintesis sebagai penghasil materi organik alami [6]. P-MFC inilah merupakan metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

P-MFC merupakan metode dengan memanfaatkan tanaman dan bakteri untuk menghasilkan listrik. P-MFC membuat proses yang terjadi secara alami pada sekitar akar tanaman secara langsung akan

mampu menghasilkan listrik [6]. P-MFC dapat menjadi teknologi yang akan menghasilkan energi ramah lingkungan. Tanaman dijadikan parameter untuk mendorong perkembangan mikroorganisme tanah untuk terus hidup dan menghasilkan elektron. Tanaman Pucuk Merah (*Syzgium oleina*) dipilih sebagai media penelitian sebab daya hidupnya yang cukup lama dan mudah ditemukan dimana saja. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tanaman pucuk merah, variasi dilakukan untuk menentukan tegangan dan kuat arus yang dihasilkan sehingga dapat menghasilkan daya listrik terbesar.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Fuel Cell

Fuel cell atau sel bahan bakar merupakan sebuah alat elektrokimia yang mengonversi energi kimia menjadi energi listrik melalui proses elektrokimia [2]. Macam-macam sel bahan bakar, yaitu *alkaline fuel cell* (AFC), *phosphoric acid fuel cell* (PAFC), *direct methanol fuel cell* (DMFC), *solid oxide fuel cell* (SOFC), *proton exchange membrane fuel cell* (PEMFC), dan ada pula sel bahan bakar yang pengaplikasiannya menggunakan bantuan mikroorganisme, yang dikenal *microbial fuel cell* (MFC), sehingga energinya tidak berasal dari hidrogen murni [2].

Sejak tahun 1970-an mulai bermunculan macam-macam *fuel cell* lainnya, seperti *Plant-MFC*, *Paddy Field-MFC* atau *Rice Paddy Field-MFC*, *Sediment-MFC* dan turunannya yaitu *Microbial Solar Cell* (MSC) yang menggunakan sianobakteria dan alga (Fototropik organisme) dalam produksi listrik dengan menggunakan energi matahari atau solar [7]. Pada MFC secara umum, bakteri ataupun mikroba prokariota pada sistem tersebut dapat memproduksi listrik [8]. Mayoritas sebuah mikroorganisme memiliki kecenderungan untuk melakukan perpindahan elektron yang dihasilkan dari metabolisme puing-puing organik ke anoda.

2.2 Plant-Microbial Fuel Cell (P-MFC)

Saat proses fotosintesis, tanaman akan mengeluarkan material yang tidak terpakai untuk proses fotosintesis. Material tersebut akan dilepaskan ke tanah dan ditangkap oleh bakteri tanah yang kemudian diurai lagi membentuk energi listrik. Proses penguraian (degradasi) tersebut menghasilkan elektron dalam tanah. Untuk menangkap elektron tersebut perlu menempatkan sebuah elektroda di dekat akar tanaman (bakteri tanah) sehingga dapat dihasilkan listrik. P-MFC membuat proses yang terjadi secara alami pada sekitar akar tanaman secara langsung akan mampu menghasilkan listrik. Tanaman dapat memproduksi

bahan organik dari sinar matahari dan CO₂ melalui fotosintesis. Sekitar 70% dari bahan organik ini berakhir di tanah sebagai bahan humus, akar mati, *lysates*, lendir dan *eksudat*. Bahan organik ini dapat dioksidasi oleh bakteri yang hidup di sekitar akar, melepaskan CO₂, proton dan elektron. Elektron dihasilkan oleh bakteri ke anoda dari sebuah *microbial fuel cell*. Anoda digabungkan, melalui beban eksternal ke katoda. Proton yang dikeluarkan di sisi anoda berjalan melalui membran atau spacer menuju katoda. Pada katoda idealnya oksigen berkurang bersama-sama dengan proton dan elektron untuk air [9]. Elektron ditransfer ke tubuh katodik melalui sirkuit eksternal dan proton ditransfer melewati membran.

Pada proses transfer elektron reaksi dasar akan berlangsung di anoda, dimana kompartemen anoda terisolasi berupa ruang lingkup anaerob. Karbohidrat berperan penting dalam menyediakan bahan bakar untuk metabolisme mikroorganisme. Pada kompartemen anoda, bakteri yang melakukan fermentasi bahan organik akan melepaskan bahan berupa hidrogen dan elektron [6].

Proton dilepaskan, kemudian berdifusi ke bagian katoda melalui membran penukar proton/kation, sedangkan elektron ditransfer ke bagian katoda melalui elektroda. Pada kompartemen katoda yang berupa lingkungan aerob, elektron negatif yang dialirkan melalui sirkuit eksternal dari anoda ke katoda mengalami proses reduksi di katoda dan bergabung dengan ion hidrogen menghasilkan H₂O. Kedua kompartemen tersebut dipisah oleh *Proton Electrolyte Membrane* (PEM) yang berfungsi sebagai membran pembatas yang hanya memberikan ion positif (proton) berupa ion hidrogen dari anoda melewatinya menuju katoda yang kemudian bergabung dengan elektron dan O₂ menjadi air atau hidrogen murni (H₂O) [10].

2.3 Tanah

Tanah menyediakan anaerobik substrat yang mengandung aerobik dan anaerobik mikroorganisme. Bakteri aerobik memfilter oksigen dan memfasilitasi bakteri anaerobik untuk menyumbangkan elektron pada anoda [11]. Tanah menjadi habitat mikroorganisme yang subur karena didukung langsung oleh hasil ekresi akar tanaman sebagai penyuplai makanan mikroorganisme. Telah diamati pada penelitian [12] bahwa *Deltaproteobacteria* adalah mikroba yang dominan di sebagian besar sistem *Soil-MFC* dan P-MFC. Hal ini dianggap sebagai akibat dari kondisi anaerobik di mana saat MFC beroperasi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Bond *et al.* [13], Holmes *et al.* [14] dan penelitian lain yang dilakukan di Tuckeron,

New Jersey, bakteri yang paling terlibat dalam banyak kasus adalah *Deltaproteobacteria* (rata-rata 75%), dengan sekitar 60% dari keluarga *Geobacteraceae*. Ketiga kasus tersebut juga memiliki persentase yang sangat tinggi (dalam kisaran 95%). Bakteri di dalam tanah lebih beragam daripada yang menempel pada anoda. Bakteri yang melekat pada anoda terutama *Escherichia coli*, *Deltaproteobacteria* dan *Geobacter* [12]. Menggunakan tanah dalam MFC adalah cara yang baik untuk menghasilkan listrik. Dengan bantuan tanaman sistem MFC akan menjadi lebih baik lagi serta akan menjadi sistem P-MFC, teknologi yang akan menghasilkan energi ramah lingkungan.

2.4 Penelitian Terdahulu P-MFC

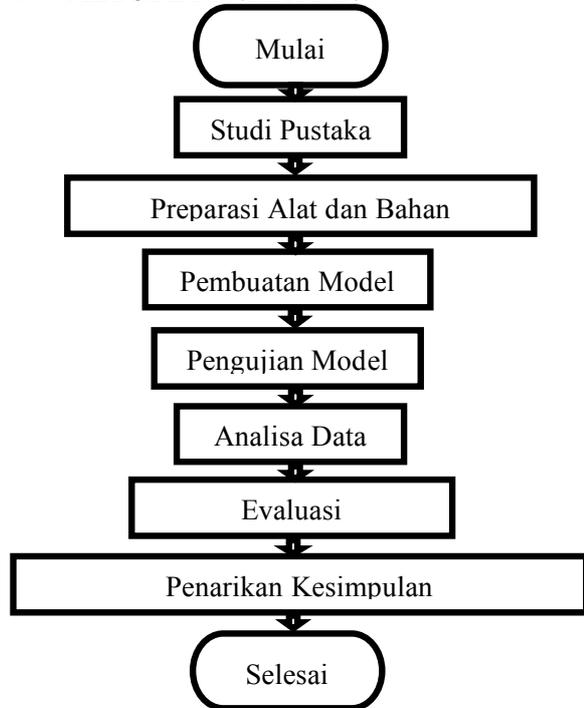
Perkembangan P-MFC di Eropa Barat menunjukkan hasil yang sangat baik, berawal dari penelitian Strike *et al.*, (2008) [6], hasil penelitian diperoleh bahwa output daya maksimumnya sebesar 0,067 W/m² pada tahun 2008 dan Timmers *et al.*, (2010) [15], mencapai 0,1 W/m² pada tahun 2010. Sementara di Asia, Nobou *et al.* (2008) [5] telah melakukan percobaan dengan menggunakan tanaman padi (berakar serabut) dan mendapatkan hasil bahwa akar padi menembus anoda pada *graphite felt* dan sesekali terjalin dengan serat grafit sehingga mendapatkan tinggi output energi listrik (setinggi 0,2-0,3 V). P-MFC kian berkembang pesat terlihat dari penelitian Helder *et al.*, (2012) [9]. Pada penelitian tersebut diperkirakan P-MFC dapat menghasilkan 3,2 W/m². Hal ini berdasarkan pada radiasi matahari sebesar 150 W/m², efisiensi fotosintesis 5%, Rhizodeposisi 70%, dan pemulihan energi pada MFC sebesar 60%. Sedangkan hasil dari percobaan sebelumnya menunjukkan bahwa output dayanya lebih jauh dari jangkauan. Pada penelitian selanjutnya yang dilakukan Helder *et al.*, (2012) [9], *Plant-Microbial Fuel Cell* (P-MFC) dengan menggunakan *Spartina anglica* dan *Arundinella anomala* secara bersamaan dimana dapat menghasilkan biomassa dan bio-listrik selama enam bulan berturut-turut. Produksi rata-rata P-MFC dengan *Spartina anglica* selama 13 minggu mencapai 16% dari daya maksimum teoritis dan 8% selama 7 minggu untuk *Arundinella anomala*. Kerapatan daya tertinggi yang diperoleh pada P-MFC adalah 2,22 W/m² membran permukaan dengan *Spartina anglica*, lebih dari dua kali kerapatan daya tertinggi yang diperoleh dari penelitian Timmer *et al.*, (2010) mengenai P-MFC.

Syzigium oleina

Spesies *Syzigium oleina* atau dikenal dengan tanaman pucuk merah ini sering ditemui dipinggir jalan, taman, pekarangan rumah, maupun tempat

terbuka hijau yang tersebar di seluruh Indonesia. Tanaman perdu berakar tunggang merupakan tanaman berciri khas memiliki daun yang berwarna merah dan hijau, batangnya sangat padat dan tidak mudah tumbang, serta bisa tumbuh ditempat teduh meskipun cenderung lambat. Spesies ini dipilih karena mudah ditemui di wilayah tropis, memiliki daya tahan terhadap hama dan penyakit, serta usia tanaman dapat mencapai puluhan tahun. Tanaman yang memiliki daun yang rimbun dan tumbuh cepat yang menandakan laju fotosintesisnya yang tinggi. Dengan laju fotosintesis yang tinggi inilah mampu menyerap CO₂ dalam jumlah lebih banyak dibanding tumbuhan dengan laju fotosintesis rendah [16].

3. METODE PENELITIAN



3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu pot plastik sebagai wadah *Syzygium oleina*, multimeter digital untuk mengukur arus dan tegangan, kabel dan penjepit buaya sebagai alat penghubung multimeter dan elektroda, *soil moisture meter digital* untuk mengukur kelembaban tanah, pH meter untuk mengukur pH tanah, termometer ruangan untuk mengukur suhu ruangan/lingkungan, lem tembak sebagai alat perekat. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu tanaman pucuk merah (*Syzygium oleina*) beserta tanahnya sebagai media tanaman pada metode P-MFC, elektroda karbon grafit dan seng sebagai media perantara dalam metode P-MFC,

dan aluminium foil sebagai pembungkus anoda agar tidak teroksidasi oleh akar.

3.2 Tanaman Penelitian

Tanaman yang digunakan yaitu tanaman dengan umur yang relatif sama dan cukup banyak daunnya. Umur suatu tanaman dapat dilihat dari diameter batangnya [17]. Memiliki tinggi berkisar 25-50 cm, diameter batang berkisar 0.2 cm - 0.8 cm.

3.3 Preparasi Elektroda

Dua jenis material digunakan sebagai elektroda, karbon grafit dan seng. Batang karbon grafit elektroda (5 cm × 0.8 cm) digunakan sebagai anoda dan katoda. Demikian pula, plat seng (10 cm × 4 cm) dengan ketebalan 1 mm digunakan sebagai katoda di tanaman lainnya.

3.4 Substrat

Substrat yang harus disiapkan dalam penelitian ini terdiri dari tanah dan tanaman percobaan. Tanah digunakan sebagai substrat dalam percobaan ini. Menjadi media yang kaya akan nutrisi, tanah memiliki berbagai macam mikroorganisme dan endapan pada akar seperti *lysates*, *eksudat*, puing organik mati, biomassa, lendir dan gas [18]. Di antara hal itu, asam amino dan karbohidrat rentan terhadap mikroorganisme dan menjadi penggerak penghasil elektron. Tanah yang digunakan ialah tanah humus yang takarannya disesuaikan dengan volume pot.

3.5 Perpindahan Elektron

Percobaan ini memodifikasi penempatan elektroda, sebelumnya dilakukan dalam penelitian De schampelaire [19]. Oksigen berpengaruh besar dalam posisi elektroda. Oksigen berfungsi sebagai penerima elektron dalam percobaan ini, karena katoda ditempatkan di atasnya permukaan tanah untuk memanfaatkan oksigen atmosfer [20]. Katoda terkena udara bebas, menghasilkan *power density* yang cukup tinggi karena ketersediaan oksigen yang melimpah. Hal ini tergantung langsung pada ketersediaan oksigen murni pada katoda yang mungkin diproduksi oleh biofilm fotosintesis dan menggunakan oksigen atmosfer [21]. Oksigen yang dihasilkan oleh fotosintesis bisa empat kali lebih besar dari oksigen yang diproduksi oleh metode aerasi konvensional.

3.6 Persiapan alat P-MFC

Pada penelitian ini menggunakan reaktor atau alat *Single Chamber* untuk meningkatkan efisiensi P-MFC. *Single Chamber* P-MFC sangatlah sederhana dengan memanfaatkan pot berdiameter berkisar 15 cm dan panjang 10 cm. Kemudian memasang

elektroda dan tanah serta tanaman. Elektroda sudah terhubung dengan kabel. Elektroda dipasang pada bagian tengah atau dalam tanah untuk anoda dan bagian permukaan tanah untuk katoda yang pada masing-masing elektroda dihubungkan oleh kabel dan caput buaya. Setelah semua komponen-komponen dipasang, maka alat P-MFC siap untuk digunakan dalam penelitian.

3.7 Eksperimen P-MFC

Pada tahap percobaan P-MFC yaitu menggunakan elektroda karbon grafit dengan karbon grafit dan elektroda karbon grafit dengan seng. Kompartemen katoda diisi substrat, letak katoda akan berada dipermukaan tanah. Pada kompartemen anoda dipasang penutup untuk mencegah oksigen masuk, dan berada di dalam tanah sedangkan kompartemen katoda dibiarkan tetap terbuka.

3.8 Pengambilan Data

Kuat arus dan tegangan listrik diukur menggunakan multimeter digital. Sebelum pengukuran dilakukan multimeter dikalibrasi terlebih dahulu. Multimeter diatur untuk pengukuran daya listrik pada skala terkecil terlebih dahulu kemudian nilai tegangan yang tertera pada layar multimeter diamati pada selang waktu tertentu. Pengambilan data dilakukan setiap 60 menit selama 5 jam pada semua variabel sampel percobaan. Data diambil pada pukul 06.00-11.00 karena waktu tersebut merupakan waktu proses fotosintesis berlangsung secara maksimal.

3.9 Analisis Data

Data berupa kuat arus (I) dan tegangan (V) akan diolah menjadi daya (mW) dan *power density* (mW/m²). Arus dihitung berdasarkan dari hukum Ohm seperti yang ditunjukkan pada Persamaan,

$$I = V/R_{\text{ext}} \quad (1)$$

Berdasarkan kurva polarisasi, kurva daya digambarkan untuk setiap sistem, dengan memplot daya per unit PGA atau *power density* (P) sebagai fungsi dari densitas arus [22]. Daya (P) dihitung seperti yang ditunjukkan pada Persamaan,

$$P = V \times I \quad (2)$$

Atau

$$P = V^2/R_{\text{ext}} \quad (3)$$

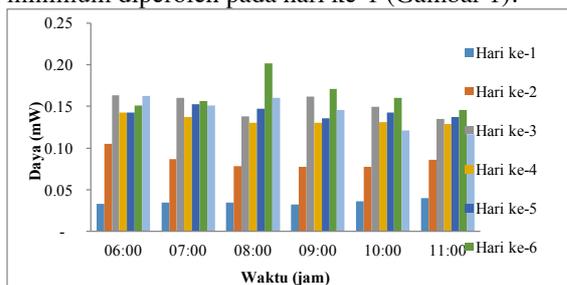
Luas permukaan elektroda (A) yang digunakan sebesar $1,36 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ dengan diameter 0,8 cm dan panjang 5 cm.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejauh ini P-MFC hanya berkuat pada jenis tanaman berakar serabut. Oleh karena itu dikembangkan pada penelitian jenis tanaman berakar tunggang. Tanaman yang digunakan yaitu tanaman *Syzygium oleina* (Pucuk Merah) yang merupakan tanaman perdu, memiliki umur yang panjang serta tahan terhadap hama dan penyakit. Dengan menggunakan *Syzygium oleina* listrik yang dihasilkan dapat berlangsung lama (jangka panjang).

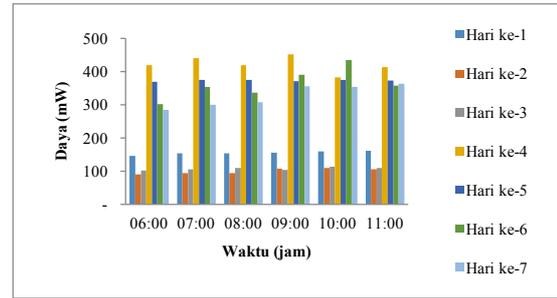
Pada penelitian ini sistem P-MFC (*Plant Microbial Fuel Cell*) yang digunakan terdiri dari dua jenis material elektroda yaitu karbon dan seng dimana pada salah satu elektroda karbon dan seng digunakan sebagai katoda, dan karbon utama sebagai anoda. Pemakaian elektroda pada P-MFC dipengaruhi oleh luas permukaan elektroda yang dijadikan sebagai anoda. Elektroda sebagai anoda berupa karbon, memiliki nilai luasan permukaan karbon sebesar $1,36 \times 10^{-3} \text{ m}^2$.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, telah diperoleh daya maksimum dari elektroda pertama, karbon-karbon sebesar 0,202 mW pada hari ke-6 dan minimum sebesar 0,0325 mW pada hari ke-1. Sedangkan elektroda kedua yaitu karbon-seng diperoleh daya maksimum sebesar 451,186 mW pada hari ke-4 dan minimum sebesar 90,440 mW pada hari ke-2. Daya elektroda pertama lebih rendah dibandingkan yang kedua dikarenakan katoda logam yang memiliki ketahanan logam yang tinggi. Daya dengan elektroda karbon-karbon diperoleh hasil maksimum pada hari ke-6 sedangkan hasil minimum diperoleh pada hari ke-1 (Gambar 1).



Gambar 1. Nilai daya selama seminggu dengan menggunakan elektroda karbon dan karbon.

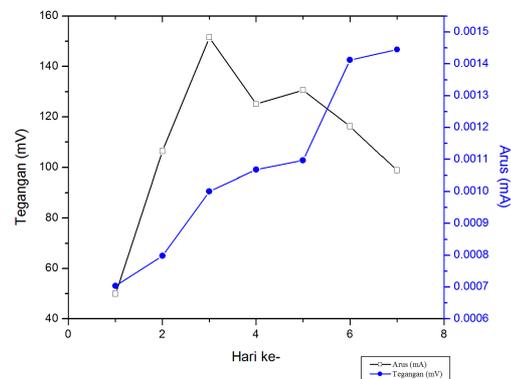
Daya dengan elektroda karbon-seng diperoleh hasil maksimum pada hari ke-4 sedangkan hasil minimum diperoleh pada hari ke-2 (Gambar 2).



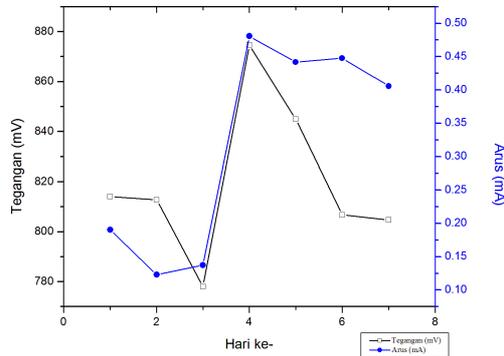
Gambar 2. Nilai daya selama seminggu dengan menggunakan elektroda karbon dan seng

Daya yang diperoleh merupakan hasil dari penelitian selama seminggu, diukur setiap sejam sekali dari jam 06.00 hingga 11.00. Kondisi cuaca dari hari ke-1 hingga hari ke-7 berbeda. Dengan rata-rata selama 5 jam berkisar hari ke-1 suhu 27,6 °C, kelembaban 86,83% dengan kondisi cuaca cerah. Hari ke-2 suhu 27,28 °C, kelembaban 95,5% dengan kondisi cuaca hujan. Hari ke-3 suhu 26,1°C, kelembaban 95,67% dengan kondisi cuaca hujan. Hari ke-4 suhu 26,03°C, kelembaban 97% dengan kondisi cuaca hujan. Hari ke-5 suhu 27,61°C, kelembaban 94,16% dengan kondisi cuaca hujan. Hari ke-6 suhu 25,78°C, kelembaban 96,5% dengan kondisi cuaca hujan. Hari ke-7 suhu 26,58°C, kelembaban 96,5% dengan kondisi cuaca hujan.

Pada elektroda karbon-karbon, tidak diperoleh kuat arus dan tegangan maksimum secara bersamaan. Kuat arus maksimum pada hari ke-7 0,001445 mA, dan tegangan maksimum pada hari ke-3 sebesar 151,61 mV (Gambar 3). Sedangkan pada elektroda karbon-seng diperoleh kuat arus dan tegangan maksimum secara bersamaan pada hari ke-4. Arus sebesar 0,48 mA dan tegangan sebesar 874,72 mV (Gambar 4).



Gambar 3. Hubungan tegangan dan arus rata-rata dengan menggunakan elektroda karbon dan karbon.



Gambar 4. Hubungan tegangan dan kuat arus rata-rata dengan menggunakan elektroda karbon dan seng

Dari hasil kuat arus dan tegangan yang diperoleh, suatu tanaman menghasilkan listrik optimum yang lebih besar dibanding penelitian sebelumnya oleh Helder *et al.*, (2010) kerapatan daya tertinggi sebesar $2,22 \text{ W/m}^2$, sedangkan hasil penelitian ini menghasilkan kerapatan daya tertinggi sebesar $310,2 \text{ W/m}^2$ dengan elektroda karbon-seng. Hasil ini sangat baik untuk dikembangkan menjadi energi alternatif di Indonesia karena memiliki kemampuan alam yang mumpuni untuk menjadi sumber energi alternatif. Jika penelitian ini dikembangkan lebih lanjut, teknologi P-MFC dapat digunakan sebagai sumber tenaga listrik alternatif untuk pencahayaan skala kecil (LED) dan alat-alat elektronik berdaya rendah (*charger smartphone*)

KESIMPULAN

Berdasar pada penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa metode P-MFC dengan menggunakan *Syzygium oleina*, jenis tanaman berakar tunggang yang mampu menghasilkan listrik dengan waktu jangka panjang dibandingkan tanaman berakar serabut. Pada penelitian ini diperoleh daya maksimum dari 2 variabel elektroda yaitu elektroda karbon-seng. Perbedaan terjadi karena katoda seng yang memiliki ketahanan logam yang tinggi dibandingkan katoda karbon. Dengan luasan elektroda anoda sebesar $1,36 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, diperoleh daya maksimum sebesar $451,186 \text{ mW}$ dan minimum sebesar $90,440 \text{ mW}$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kemristekdikti yang telah membiayai penelitian kami dalam program pekan kreativitas mahasiswa yang membantu kami dalam berinovasi dan mencari solusi atas permasalahan sekitar guna menghasilkan suatu karya dalam bentuk penelitian sehingga penelitian yang kami lakukan dapat tercapai dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewan Energi Nasional. Outlook Energi Indonesia 2014. Jakarta (ID): Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2014.
- [2] Dewi EL, Ismujanto T, Chandrasa GT. Pengembangan dan aplikasi fuel cell. Di dalam: Tjutjuk Ismujanto, editor. Prosiding Seminar Teknologi. pp. 51-54, 2008.
- [3] Sitorus B. "Diversifikasi sumber energi terbarukan melalui penggunaan air buangan dalam sel elektrokimia berbasis mikroba", Jurnal ELKHA, vol. 2, no. 1, pp. 10-15, Maret. 2010.
- [4] De Schamphelaire L., Cabezas A., Marzorati M., Friedrich M.W., Boon N., Verstraete W. *Microbial community analysis of anodes from sediment microbial fuel cells powered by rhizodeposits of living rice plants*. Applied and Environmental Microbiology, vol. 76, no.6, pp. 2002-2008, Maret. 2010.
- [5] Kaku N., Yonezawa N., Kodama Y., Watanabe K. *Plant/microbe cooperation for electricity generation in a rice paddy field*. Applied Microbiology and Biotechnology, vol.79, no. 1, pp. 43-49, Maret. 2008.
- [6] Strik, D.P.B.T.B.; Hamelers, H.V.M.; Snel, J.F.H. & Buisman, C.J.N. *Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell*. Int. J. Energy, vol. 32, pp. 870-876. Januari. 2008.
- [7] Rosenbaum M, He Z, Angenent LT. *Light energy to bioelectricity: photosynthetic microbial fuel cells*. Curr Opin Biotechnol, vol. 21, no.3, pp. 259-264. Juni. 2010.
- [8] Logan B.E, Hamelers H.W.M, Rozendal R, Schroder U, Keller J, Freguia S, Aelterman P, Verstraete W, Rabaey R. *Microbial fuel cells: methodology and technology*. Environmental Science and Technology, vol. 40, no.17, pp. 5181-5192. Juli. 2006.
- [9] Helder M, Strik D.P.B.T.B, Hamelers H.V.M, Kuijken R.C.P, Buisman C.J.N. *Microbial solar cells: Applying photosynthetic and electrochemically active organisms*. Trends in Biotechnology, vol. 29. No.1, pp. 41-49. Januari. 2012.
- [10] Lovley, D.R., *The microbe electric: conversion of organic matter to electricity*. Current Opinion in Biotechnology, vol. 19 no.6, pp. 564-571. Desember .2008.
- [11] B. E. Logan and J. M. Logan., *Electricity-Producing Bacterial Communities in Microbial Fuel Cells*. Trends Microbiol, vol. 14, pp. 512 Desember. 2006.

- [12] Logan, B. E., *Microbial Fuel Cells*. 1st ed. Wiley & Sons. New Jersey, ISBN: 978-0-470-23948-3. 2008.
- [13] Bond, D.R., Holmes, D.E., Tender, L.M. and Lovley, D.R. *Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments*. *Science*, vol. 295, no. 5554, pp. 483-485. Januari. 2002.
- [14] Holmes D.E., Bond D.R., Olneill R.A., *Microbial communities associated with electrodes harvesting electricity from a variety of aquatic sediments*. *Microbial Ecology*, vol. 48, no. 2, pp 178-190. Juni. 2004.
- [15] Timmers R.A, Strik D.P.B.T.B, Hamelers H.V.M, Buisman C.J.N. *Long-term performance of a plant microbial fuel cell with *Spartina anglica**. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 86, no. 3, pp 973-81. April. 2010.
- [16] Fitria M, Dauta I, Gomesha N, Irwantoa M, Irwana Y.M., *Dye Solar Cell using Syzigium Oleina Organic Dye*. *Energy Procedia*, vol. 36, pp. 341-348. Agustus. 2013.
- [17] Yudistina V, Santoso M, Aini N. Hubungan Antara Diameter Batang dengan Umur Tanaman Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kelapa Sawit. *Buana Sains*, Vol. 17, No. 1, pp 43 – 48. 2017.
- [18] F. Chun Chong and W. Wen Teng, *Electricity Generation by Photosynthetic Biomass*, ISBN 978-953-307-113-8, pp. 202, Agustus. 2010.
- [19] De Schampelaire L., Van Den Bossche L., Hai S.D., Höfte M., Boon N., Rabaey K., Verstraete W., *Microbial fuel cells generating electricity from rhizodeposits of rice plants*. *Environmental Science and Technology*, vol. 42 no. 8, pp. 3053-3058. Maret. 2008.
- [20] B. E. Logan and K. Rabaey., *Conversion of Wastes into Bioelectricity and Chemicals Using Microbial Electrochemical Technologies*, *Science*, vol. 337, no. 6095, pp. 686. Agustus. 2012.
- [21] H. Dend, Z. Chen and F. Zhao., *Energy from Plants and Microorganisms: Progress in Plant- Microbial Fuel Cells*. *ChemSusChem*, vol. 5, pp. 1006-1011. Juni. 2012.
- [22] Fosso-Kankeu E, Marx S, Waanders F, and Jacobs V., *Impact of soil type on electricity generation from a Microbial Fuel Cell*. *Latest Trends in Engineering & Technology*, pp. 26-27. November. 2015.