

EVALUASI PENGGUNAAN METILEN BIRU SEBAGAI MEDIATOR ELEKTRON PADA *MICROBIAL FUEL CELL* DENGAN BIOCATALIS *ACETOBACTER ACETI*

**Dani Permana^{1,*}, Hari R. Haryadi¹, Herlian E. Putra¹, Westy Juniaty²,
Saadah D. Rachman², Safri Ishmayana²**

¹Pusat Penelitian Kimia, LIPI, Jln. Cisitu-Sangkuriang Bandung 40135

²Jurusian Kimia, FMIPA, Universitas Padjadjaran,
Jln. Raya Bandung-Sumedang km. 21 Jatinangor 45363

*e-mail: dani.permana07@gmail.com

ABSTRAK

Microbial fuel cell (MFC) merupakan salah satu teknologi sel bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui. MFC memanfaatkan proses oksidasi senyawa kimia oleh biokatalis untuk menghasilkan energi listrik daya rendah. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kinerja MFC dengan dan tanpa mediator elektron metilen biru (MB) menggunakan biokatalis *Acetobacter aceti* dan substrat glukosa agar diperoleh energi listrik. Metode yang dilakukan adalah peremajaan kultur *A. aceti*, persiapan inokulum, persiapan reaktor MFC, persiapan media MFC dengan substrat glukosa 2% dengan dan tanpa mediator MB, pencuplikan secara periodik, penentuan kurva pertumbuhan, arus, potensial, kerapatan daya, energi, kadar glukosa dan tingkat keasaman (pH). Hasil penelitian menunjukkan bahwa MFC dengan mediator menghasilkan kuat arus sebesar 0,040 mA, potensial 878 mV, kerapatan daya 0,395 mW/cm², energi maksimum 3,685 kJ, pemanfaatan glukosa 93,02% dan pH akhir 3,33, sedangkan MFC tanpa mediator menghasilkan kuat arus 0,035 mA, potensial 773 mV, kerapatan daya 0,290 mW/cm², energi maksimum 2,434 kJ, pemanfaatan glukosa 90,16% dan pH akhir 3,24. Perolehan kerapatan daya pada kedua jenis MFC masih tergolong kecil dan tidak berbeda secara signifikan. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan mediator MB hanya berpengaruh terhadap perolehan potensial pada MFC dengan kondisi perlakuan yang diterapkan dalam penelitian ini.

Kata kunci: *Microbial fuel cell*, *Acetobacter aceti*, metilen biru, mediator elektron

THE EVALUATION OF METHYLENE BLUE AS ELECTRON MEDIATOR IN MICROBIAL FUEL CELL WITH *ACETOBACTER ACETI* BIOCATALYST

ABSTRACT

Microbial fuel cell (MFC) is one of alternative renewable fuel cell technologies. MFC utilizes oxidation processes of chemical compounds by biocatalyst to produce low power electrical energy. The objective of the present study was to investigate the performance of MFC with and without methylene blue (MB) as electron mediator utilizing *Acetobacter aceti* as biocatalyst and glucose as substrate to generate electrical energy. Methods performed comprise of the *A. aceti* bacterial culture rejuvenation, preparation of the inoculum, preparation of the MFC reactor, preparation of MFC media 2% of glucose with

and without MB mediator, periodical sampling, determination of growth curve, current, potential, power density, energy, glucose consumption and acidity level (pH). The result showed that MFC with mediator generated 0.040 mA of current, 878 mV of potential, 0.395 mW/cm² of power density, 3.685 kJ of maximum energy, 93.02% of glucose consumption and 3.33 of final pH, while MFC without mediator generated 0.035 mA of current, 773 mV of potential, 0.290 mW/cm² of power density, 2.434 kJ of maximum energy, 90.16% of glucose consumption and 3.24 of final pH. Power density yield from both type of MFC are still too low and not differ significantly. From the present study, it can be concluded that MB mediator only gave effect on potential yield in MFC using the condition applied in this study.

Keywords: Microbial fuel cell, *Acetobacter aceti*, methylene blue, electron mediator

PENDAHULUAN

Microbial fuel cell (MFC) atau sel bahan bakar mikrobial, merupakan salah satu teknologi sel bahan bakar hayati yang memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang dapat mengubah secara langsung senyawa biokimia menjadi energi listrik (Katz *et al.*, 2003), sehingga cocok untuk digunakan pada kondisi ekstrim, seperti dalam pengolahan limbah (Schröder, 2007). Selain itu, sel bahan bakar hayati menggunakan biokatalis yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan dibandingkan katalis logam pada sel bahan bakar hidrogen (Shukla *et al.*, 2004).

Teknologi MFC telah dikembangkan pada aplikasi bioremediasi, pengolahan limbah cair dan bioenergi. Modifikasi sistem MFC telah banyak dilakukan untuk meningkatkan kinerja MFC. Efisiensi dan kerapatan daya yang dihasilkan pada MFC dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya proses transfer elektron dari membran sel mikroorganisme ke permukaan elektrode (Schröder, 2007). Beberapa bakteri diketahui dapat mentransfer elektron secara langsung, seperti *Rhodoferax ferrireducens* (Chauduri dan Lovley, 2003). Adapun jenis ragi *Saccharomyces cerevisiae* dan bakteri *Escherichia coli* memerlukan senyawa tambahan berupa senyawa berwarna yang berfungsi sebagai mediator elektron untuk memediasi proses transfer

elektron, seperti metilen biru (MB) (Gunawardena *et al.*, 2008; Ieropoulos *et al.*, 2005).

Acetobacter aceti merupakan bakteri asam asetat yang umum digunakan pada pembuatan asam cuka, mudah didapat dan ekonomis. Karthikeyan *et al.* (2009) menemukan bahwa *A. aceti* dapat menghasilkan energi listrik pada MFC tanpa mediator elektron dengan menggunakan glukosa sebagai sumber karbon (substrat). Potensial listrik yang dihasilkan dalam penelitian tersebut adalah sebesar ~500 mV selama delapan hari percobaan dengan konsentrasi glukosa pada awal percobaan sebesar ~0,5% (b/v). Penggunaan mediator pada sistem elektrokimia dapat meningkatkan arus yang terukur seperti yang ditemukan oleh Ikeda *et al.* (1997) yang menggunakan *A. aceti* dengan mediator 2-metil-5,6-dimetoksi benzokuinon pada biosensor dan mendeteksi arus terukur sebesar ~3, ~8 dan ~16 μ A, masing-masing dengan menggunakan mediator elektron sebanyak 1, 3 dan 10%. Walker dan Walker Jr. (2006) menggunakan MB sebagai mediator elektron pada sistem MFC yang dikembangkannya, sehingga pada penelitian ini akan diselidiki bagaimana peranan MB sebagai mediator elektron pada sistem MFC dengan biokatalis *A. aceti* dengan harapan dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan modifikasi sistem MFC menggunakan *A. aceti*, substrat glukosa dan mediator MB untuk meningkatkan produktivitas energi listrik daya rendah. Susunan alat dan kondisi larutan katolit yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan You *et al.* (2006), sedangkan MB yang ditambahkan pada larutan anolit disesuaikan dengan konsentrasi yang disarankan oleh Walker dan Walker Jr. (2006). Dengan penambahan MB sebagai mediator elektron, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi listrik yang dihasilkan pada MFC ini.

METODE PENELITIAN

Pemeliharaan Kultur

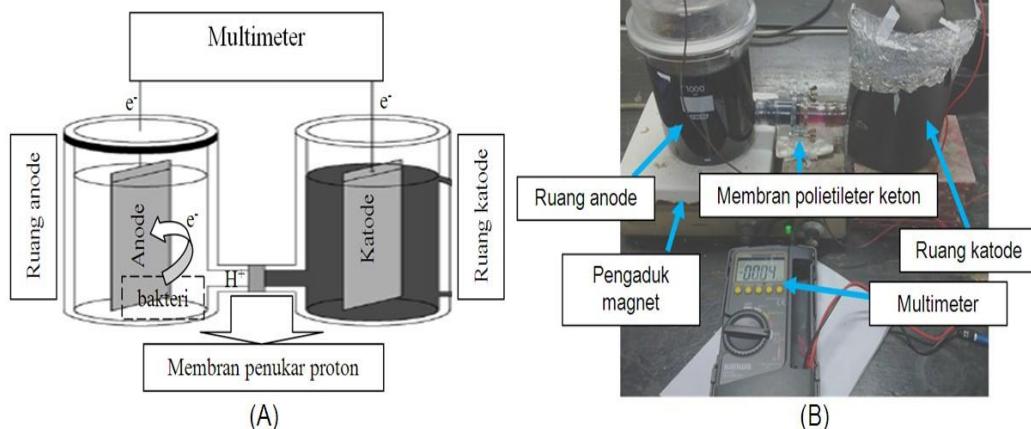
A. aceti ditumbuhkan pada agar miring dengan media steril YEP yang mengandung ekstrak ragi 0,5% (b/v), pepton bakteriologis 0,5% (b/v), ammonium sulfat 0,3% (b/v), kalium dihidrogen fosfat 0,3% (b/v), glukosa 2% (b/v) dan agar 1,5% (b/v). Media disimpan dalam inkubator pada suhu 37 °C selama 48 jam,

kemudian ditumbuhkan kembali setiap 6 bulan sekali.

Media Tumbuh Dan Kondisi Kultur

Media yang digunakan untuk menumbuhkan *A. aceti* adalah media YEP cair yang mengandung komposisi yang sama seperti media agar miring, namun tanpa penambahan agar. Media cair dimasukkan ke dalam Erlenmeyer kemudian ditutup dengan kapas dan aluminium foil, selanjutnya disterilisasi pada suhu 121 °C dan tekanan 15 psi selama 15 menit dengan autoklaf.

Pembuatan kultur dilakukan dengan cara mengambil satu ose kultur dari agar miring, kemudian diinokulasikan ke dalam media inokulum steril. Media diinkubasi selama 18 jam pada suhu 30 °C dan dikocok dengan kecepatan 150 rpm. Media inokulum yang digunakan adalah media YEP cair sebanyak 25 mL. Rasio ukuran Erlenmeyer terhadap volume kultur dijaga pada 4:1 untuk menjaga ketersediaan oksigen terlarut. Seluruh media inokulum dipindahkan pada media MFC, sehingga media inokulum yang ditambahkan sejumlah 2,5% (v/v) dari media produksi 1.000 mL.



Gambar 1 (A) Diagram susunan alat yang digunakan pada penelitian ini berdasarkan bagan yang di sarankan oleh You *et al.* (2006) (B) Susunan alat yang digunakan pada penelitian ini.

Konstruksi Reaktor MFC, Kondisi Eksperimen Dan Pencuplikan

Reaktor MFC disusun dan dioperasikan seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Reaktor MFC terbuat dari bahan gelas dua ruang yang masing-masing berkapasitas 1.000 mL dan dipisahkan oleh polietileter keton sebagai membran penukar proton, serta dijaga dalam kondisi statis selama percobaan (deaerasi) dan disterilisasi dengan etanol sebelum digunakan agar terhindar dari kontaminasi. Anoda dan katoda terbuat dari lembaran tembaga dengan luas permukaan 80 cm^2 ($4 \text{ cm} \times 10 \text{ cm} \times 2$ sisi permukaan). Anoda dihubungkan dengan kutub negatif dan katoda dihubungkan dengan kutub positif pada alat multimeter. Larutan anolit terdiri dari kultur starter *A. aceti* dalam 1.000 mL media YEP cair yang diaduk dengan pengaduk magnetik pada suhu 30 °C. Dilakukan dua jenis sistem MFC, yakni MFC dengan dan tanpa penambahan mediator 5 mM MB ke dalam larutan anolit (Walker dan Walker Jr, 2006). Larutan kalium permanganat 200 ppm pada pH 3,6-3,8 digunakan sebagai larutan katolit (You *et al.*, 2006).

Fermentasi dilakukan selama 48 jam dan pengambilan sampel dari reaktor MFC menggunakan mikropipet (Eppendorf) aseptik setiap 4 jam. Parameter yang diukur pada setiap pengambilan sampel adalah kurva pertumbuhan dengan cara mengukur kerapatan optis pada panjang gelombang 600 nm dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis Jenway 6305 (untuk pengukuran OD, blanko yang digunakan adalah media tanpa sel yang disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 5 menit), kuat arus dan potensial menggunakan alat multimeter (Sanwa CD800A), kerapatan daya melalui perolehan daya per luas permukaan elektroda, energi melalui perolehan daya terhadap waktu fermentasi, konsentrasi residu glukosa dengan metode kalium ferisianida basa (Walker dan Harmon,

1996) dan tingkat keasaman (pH) menggunakan pH meter (Mettler Toledo MP220).

Kerapatan Daya dan Energi

Daya yang dihasilkan dihitung berdasarkan data potensial dan kuat arus yang dibaca dengan multimeter dengan persamaan (1), kerapatan daya dihitung melalui persamaan (2), sedangkan energi yang dihasilkan dihitung dengan persamaan (3) (Rabaey *et al.*, 2003).

$$P = V \times I \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$Pd = P \div A \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

$$E = P \times t \times 10^{-6} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Dengan:

P = Daya (mW)

V = Potensial (mV)

I = kuat arus (mA)

Pd = Kerapatan daya (mW/cm^2)

E = Energi (kJ)

t = waktu fermentasi (detik)

A = luas permukaan anoda (cm^2)

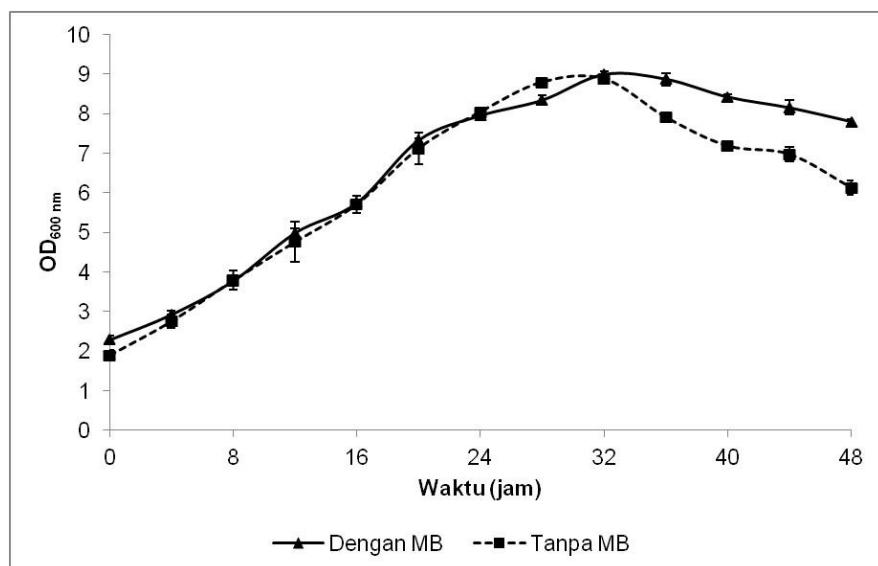
HASIL DAN PEMBAHASAN

Kurva Pertumbuhan

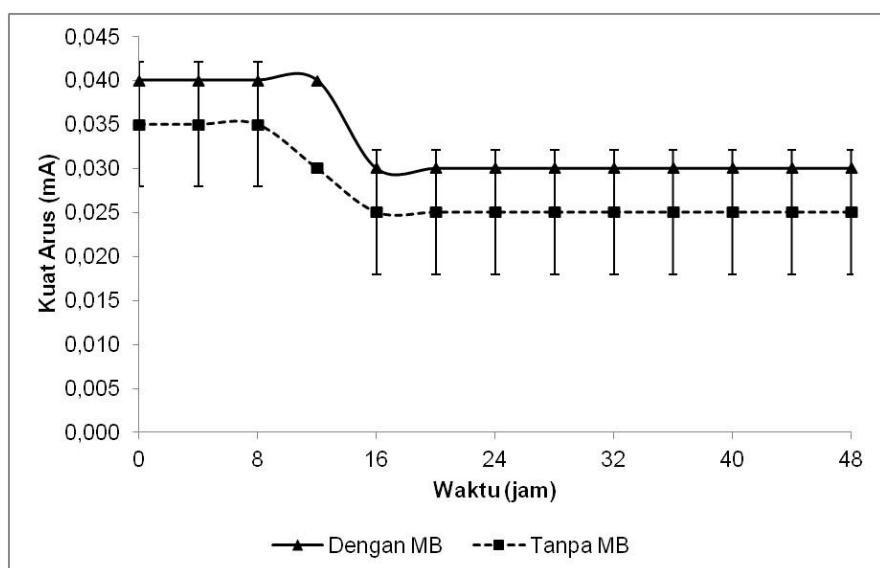
Kurva pertumbuhan ditentukan dengan mengukur turbiditas pada panjang gelombang 600 nm dengan menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Gambar 2 menunjukkan kurva pertumbuhan *A. aceti* dalam media YEP dengan konsentrasi glukosa 2% dengan dan tanpa mediator MB. Fase lag *A. aceti* terjadi pada jam ke-0 sampai jam ke-4, kemudian memasuki fase eksponensial pada jam ke-8 yang ditandai dengan peningkatan nilai serapan secara signifikan ($P < 0,05$). Pada fase eksponensial, *A. aceti* secara aktif memproduksi elektron melalui proses metabolisme dengan memanfaatkan nutrien yang tersedia. Selain itu, *A. aceti* juga menghasilkan metabolit primer berupa asam asetat yang diamati melalui pengukuran pH. Pada MFC dengan

mediator, *A. aceti* memasuki fase stasioner pada jam ke-32 sampai jam ke-48 tanpa menunjukkan fase kematian. Adapun pada MFC tanpa mediator, *A. aceti* memasuki fase stasioner pada jam ke-28 sampai jam ke-32, diikuti fase kematian sampai jam ke-48 yang ditandai dengan penurunan nilai densitas optik secara signifikan ($P < 0,05$).

Kurva pertumbuhan dengan mediator MB menunjukkan penurunan OD yang tidak setajam pada kurva pertumbuhan tanpa mediator MB. Hal ini dapat disebabkan karena adanya MB dalam media yang menyebabkan adanya serapan yang masih terukur meskipun spektrofotometer telah dikalibrasi dengan menggunakan larutan supernatan media yang mengandung MB tanpa sel.



Gambar 2 Kurva pertumbuhan *A. aceti* pada media YEP dengan dan tanpa penambahan MB.



Gambar 3. Kuat arus yang dihasilkan pada MFC dengan dan tanpa penambahan MB

Kuat Arus dan Potensial

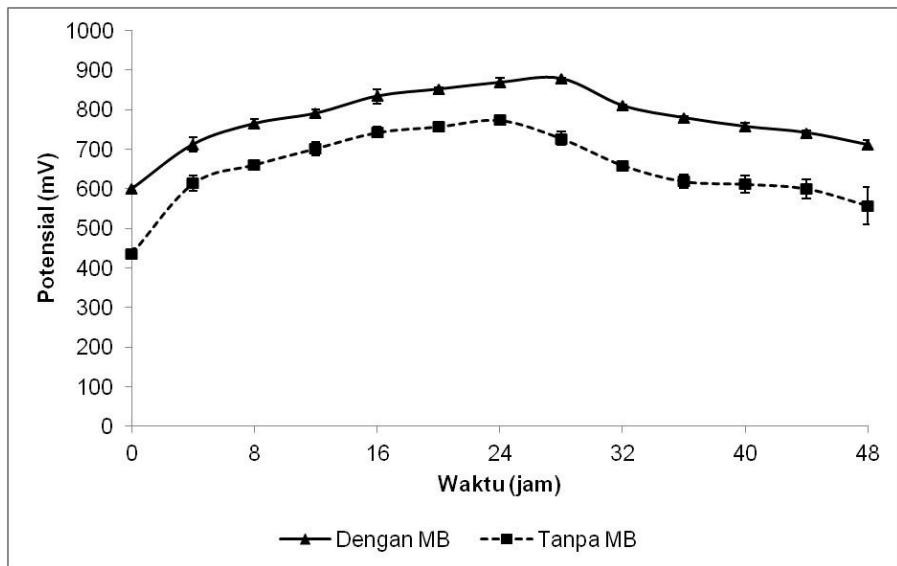
Kuat arus dan potensial ditentukan menggunakan multimeter yang dihubungkan dengan kedua elektrode pada reaktor MFC. Anoda dihubungkan dengan kutub negatif pada multimeter dan katoda dihubungkan dengan kutub positif. Arus listrik dihasilkan akibat adanya pergerakan muatan-muatan dalam sistem, perbedaan potensial redoks pada anoda dan katoda dan perbedaan komposisi serta reaksi kimia dalam larutan anolit dan katolit di dalam sistem MFC.

Gambar 3 menunjukkan kurva kuat arus yang diperoleh. Secara keseluruhan, kuat arus yang dihasilkan pada MFC dengan dan tanpa mediator MB tidak berbeda secara signifikan ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa MB tidak berpengaruh terhadap proses transfer elektron, sehingga tidak dapat meningkatkan kuat arus yang dihasilkan. Kuat arus maksimum yang dihasilkan MFC dengan mediator sebesar 0,040 mA pada jam ke-0 sampai jam ke-12, turun pada jam ke-16 dan konstan sampai jam ke-48. Adapun pada MFC tanpa mediator menghasilkan kuat arus maksimum sebesar 0,035 mA pada jam ke-0 sampai jam ke-8, kemudian turun pada jam ke-12 dan ke-16 yang selanjutnya bernilai konstan sampai jam ke-48.

Potensial yang diperoleh dari MFC dengan dan tanpa mediator MB menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P < 0,05$), yang ditunjukkan pada Gambar 4. Potensial terus meningkat dari jam ke-0 sampai jam ke-28 pada MFC dengan mediator (878 mV). Sedangkan kenaikan potensial pada MFC tanpa mediator terjadi dari jam ke-0 sampai jam ke-24 (773 mV). Pada jam berikutnya, potensial yang dihasilkan dari kedua jenis MFC turun seiring dengan berkurangnya jumlah glukosa yang tersedia. Hal ini sesuai dengan kesimpulan Chaudhuri dan Lovley

(2003) bahwa potensial dan kuat arus berbanding lurus dengan konsentrasi substrat yang tersedia untuk dioksidasi oleh biokatalis.

Kuat arus yang diperoleh tergolong kecil dibandingkan hasil yang diperoleh Walker dan Walker Jr. (2006) yang memperoleh kuat arus lebih dari ~0,5 mA. Meskipun demikian potensial yang diperoleh cukup besar. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh harga hambatan internal yang besar pada kedua jenis MFC. Berdasarkan hukum Ohm, $V = I \times R$ (dengan V , potensial; I , kuat arus dan R , hambatan) (Rabaey *et al.*, 2003), hambatan internal kedua jenis MFC ini sangat besar melebihi 11.000Ω . Besarnya hambatan internal dapat disebabkan beberapa faktor, diantaranya karena adanya oksigen pada sistem aerobik yang dapat mereduksi elektron sebelum dapat ditransfer ke permukaan anoda. Oksigen berperan penting dalam respirasi sel *A. aceti*, namun dapat menghambat proses transfer anion dan kation. Selain itu, asam asetat dan gas karbon dioksida hasil fermentasi dapat menghambat pergerakan proton yang akan terdifusi menuju ruang katoda untuk bereaksi dengan kalium permanganat. Terbentuknya lapisan bakteri (biofilm) pada permukaan anoda juga menghambat proses transfer elektron karena dapat memperkecil luas permukaan anoda yang dapat mengalirkan elektron menuju katoda. Hal ini sesuai dengan pendapat You *et al.* (2006) bahwa pada umumnya sistem MFC dua ruang memiliki hambatan internal yang besar, hingga 1.000Ω dan *A. aceti* cenderung membentuk lapisan pada permukaan anoda (Karthikeyan *et al.*, 2009). Hambatan internal yang besar dari kedua jenis MFC berlangsung pada jam ke-12 sampai jam ke-28 yang sejalan dengan harga pH yang semakin rendah.



Gambar 4. Potensial listrik yang dihasilkan pada MFC dengan dan tanpa penambahan MB

Kerapatan Daya dan Energi

Kerapatan daya diperoleh melalui perbandingan arus dan potensial per luas permukaan elektrode. Elektrode yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran tembaga berukuran 80 cm^2 . Kerapatan daya menunjukkan kinerja anoda yang mengalirkan elektron ke katoda. Gambar 5 menunjukkan kerapatan daya yang dihasilkan. Kerapatan daya di antara kedua jenis MFC secara keseluruhan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P > 0,05$), perbedaan nyata hanya terjadi pada jam ke-12 ($P = 0,002$) ketika perolehan kuat arus berbeda nyata. Kerapatan daya terbesar yang dihasilkan dari MFC dengan mediator mencapai $0,395 \text{ mW/cm}^2$ pada jam ke-12, sedangkan pada MFC tanpa mediator MB hanya $0,290 \text{ mW/cm}^2$ pada jam ke-8. Perolehan kerapatan daya sebanding dengan besar kuat arus dan potensial yang dipengaruhi luas permukaan anoda. Harga kerapatan daya masih tergolong kecil karena produksi arus listrik yang kecil dan berkurangnya luas permukaan anoda akibat tertutup lapisan *A. acetii*.

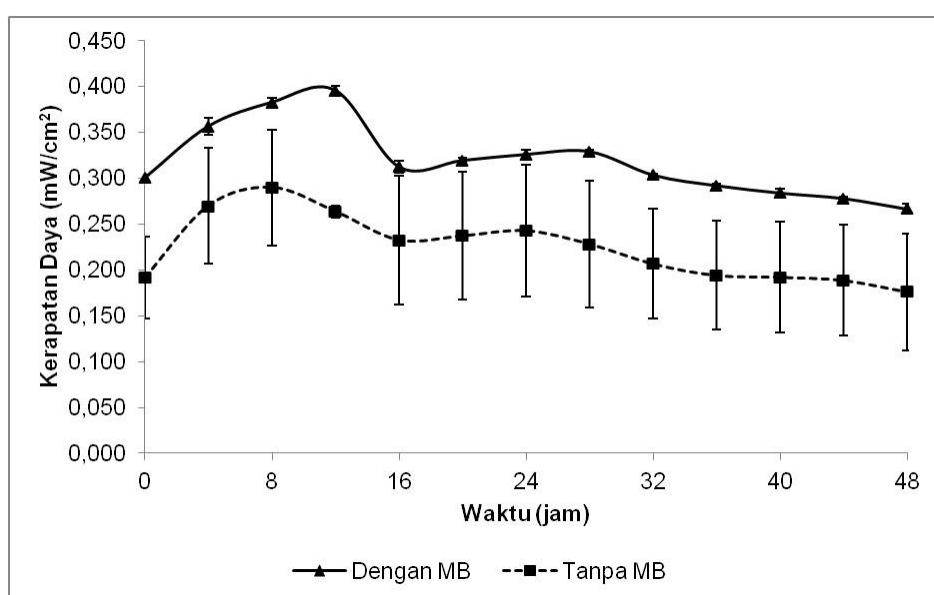
Kerapatan daya jam ke-0 sampai jam ke-12 terus meningkat pada MFC dengan

mediator, sedangkan pada MFC tanpa mediator MB hingga jam ke-8. Hasil tersebut dipengaruhi oleh kuat arus maksimum dan potensial yang terus meningkat. Pada jam ke-12 dan ke-16, kerapatan daya yang diperoleh kedua jenis MFC menurun karena kuat arus yang dihasilkan minimum. Empat jam berikutnya sampai jam ke-28, kerapatan daya meningkat seiring kenaikan potensial dan kuat arus yang cenderung stabil. Pada jam ke-32 sampai jam ke-48, kerapatan daya kembali menurun karena potensial yang diperoleh semakin kecil dari kedua jenis MFC. Hal ini menunjukkan bahwa potensial dan kuat arus berpengaruh terhadap perolehan kerapatan daya pada MFC. Selain itu, jumlah sel bakteri hidup maupun mati yang dapat membentuk lapisan pada permukaan anoda semakin bertambah, sehingga luas permukaan anoda yang dapat mengalirkan elektron akan semakin berkurang.

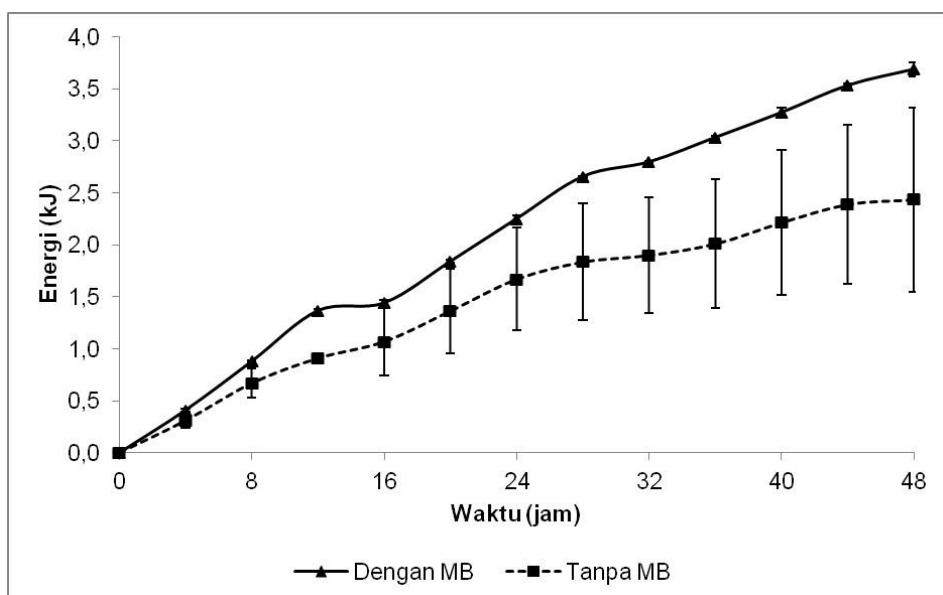
Selama proses metabolisme dan pertumbuhan, *A. acetii* melepaskan energi melalui energi bebas Gibbs, ΔG_{oks} . Energi dihasilkan MFC ditentukan melalui perolehan daya listrik terhadap waktu. Pada Gambar 6, energi yang dihasilkan oleh *A. acetii* pada kedua jenis MFC

semakin tinggi, seiring lamanya waktu fermentasi yang berlangsung dan secara keseluruhan energi yang dihasilkan pada kedua MFC tidak berbeda signifikan ($P > 0,05$), perbedaan nyata terjadi pada jam ke-12 ketika perolehan daya di antara kedua jenis MFC berbeda secara signifikan. Energi maksimum yang dapat dihasilkan *A. aceti* pada MFC dengan mediator sebesar 3,685 kJ, sedangkan

pada MFC tanpa mediator MB sebesar 2,434 kJ selama 48 jam waktu fermentasi. Energi yang digunakan untuk memproduksi elektron masih tergolong kecil karena sebagian energi digunakan untuk pertumbuhan sel. Hal ini dibuktikan oleh Park dan Zeikus (2000) bahwa sel rehat bakteri dapat memproduksi elektron lebih baik dibandingkan sel tumbuh bakteri.



Gambar 5. Kerapatan daya yang dihasilkan pada MFC dengan dan tanpa penambahan MB



Gambar 6. Energi yang dihasilkan pada MFC dengan dan tanpa penambahan MB

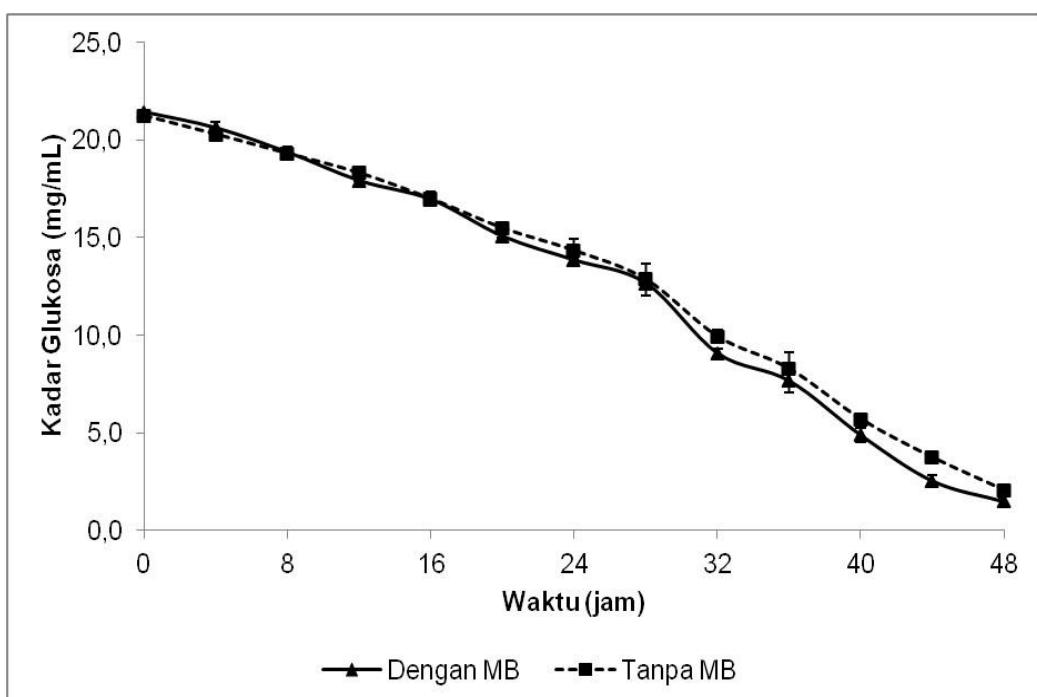
Kadar Glukosa dan Tingkat Keasaman (pH)

Konsumsi glukosa oleh *A. aceti* dalam media YEP ditunjukkan pada Gambar 7. *A. aceti* memanfaatkan glukosa sebagai sumber energi untuk pertumbuhan sel dan produksi elektron. Pemanfaatan glukosa secara cepat pada MFC dengan mediator terjadi pada jam ke-28 sebanyak 16,91%, sedangkan pada MFC tanpa mediator sebanyak 13,69%. Pada jam ke-48, kadar glukosa yang masih tersisa dalam media MFC dengan mediator sebanyak 1,50 mg/mL, sedangkan pada MFC tanpa mediator sebanyak 2,90 mg/mL.

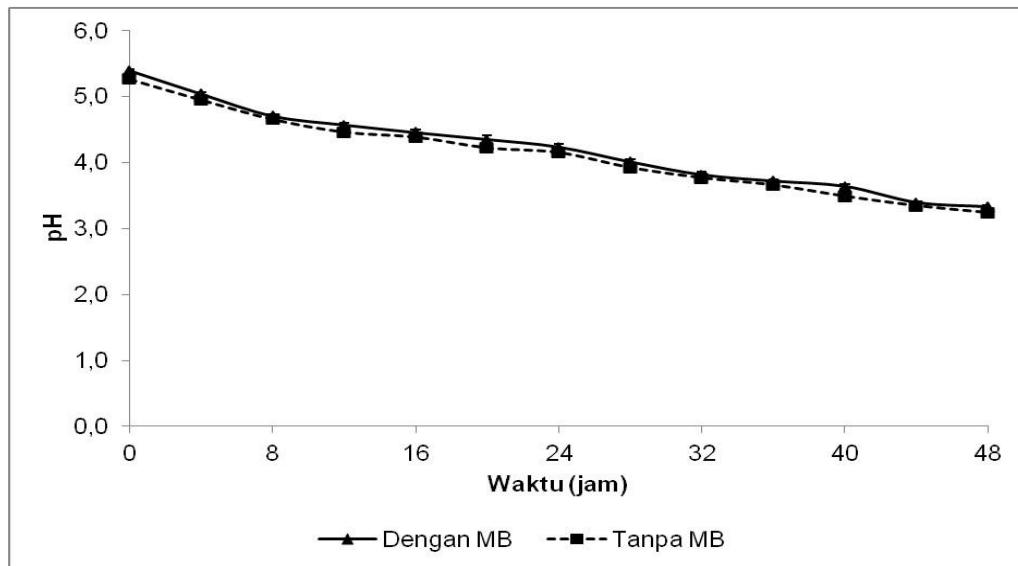
Pemanfaatan glukosa selama proses fermentasi ditunjukkan secara baik oleh *A. aceti* pada MFC dengan mediator sebesar 93,02% dan pada MFC tanpa mediator MB sebesar 90,16%. Hal ini sesuai dengan yang dibuktikan oleh Karthikeyan *et al.* (2009) bahwa pemanfaatan glukosa 0,5% oleh *A. aceti*

dapat melebihi 90%. Kadar dan persentase residu glukosa pada MFC dengan dan tanpa mediator secara keseluruhan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa mediator hanya berperan pada proses transfer elektron dan tidak mempengaruhi konsumsi glukosa.

Oksidasi glukosa 2% yang dilakukan oleh *A. aceti* melalui proses fermentasi asam asetat akan menghasilkan etanol, kemudian diubah menjadi asam asetat. Diproduksinya asam asetat selama proses fermentasi akan menurunkan tingkat keasaman yang ditandai dengan harga pH. Harga pH dapat menunjukkan meningkatnya kadar asam asetat. Meskipun ada kemungkinan asam organik lain juga dihasilkan, karena kedua jenis MFC menggunakan sistem aerobik, namun nilai pH dapat dianggap sebagai indikator konsentrasi total produk asam.



Gambar 7. Konsumsi glukosa selama proses fermentasi pada MFC dengan dan tanpa penambahan MB



Gambar 8. Perubahan pH selama proses fermentasi pada MFC dengan dan tanpa penambahan MB

Gambar 8 menunjukkan perubahan pH pada MFC dengan dan tanpa mediator MB. Secara keseluruhan, harga pH pada kedua jenis MFC tidak berbeda secara signifikan ($P > 0,05$). Harga pH menurun secara cepat pada jam ke-4 sampai jam ke-28 karena *A. aceti* memasuki fase eksponensial yang secara aktif mengoksidasi glukosa dan memproduksi metabolit primer berupa asam asetat.

Produksi asam asetat yang cepat mengakibatkan akumulasi asam pada larutan anolit yang dapat menghambat pergerakan kation untuk terdifusi ke ruang katolit melalui membran polietileter keton. Hal ini berdampak pada menurunnya perolehan kuat arus pada saat produksi asam asetat meningkat yang ditunjukkan pada Gambar 3. MFC dengan mediator menunjukkan harga pH akhir sebesar 3,33, sedangkan MFC tanpa mediator MB sebesar 3,24.

KESIMPULAN

1. Kinerja pada kedua jenis MFC masih tergolong rendah disebabkan oleh hambatan internal yang besar dan polarisasi.

2. MFC dengan mediator menghasilkan kuat arus 0,040 mA, potensial 878 mV, kerapatan daya 0,395 mW/cm² dan energi maksimum 3,685 kJ, sedangkan MFC tanpa mediator menghasilkan kuat arus 0,035 mA, potensial 773 mV, kerapatan daya 0,290 mW/cm² dan energi maksimum 2,434 kJ. Mediator MB hanya menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap perolehan potensial.

SARAN

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai modifikasi sistem MFC agar diperoleh kinerja MFC yang lebih baik, seperti variasi konsentrasi substrat, jenis elektrode, jenis mediator, dan jenis sumber biokatalis. *A. aceti* dapat dikombinasikan dengan bakteri lain sebagai sumber biokatalis kultur campuran. Selain itu, perlu dilakukan upaya untuk mengurangi hambatan internal dan pembentukan biofilm pada elektrode sehingga dapat meningkatkan energi listrik yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPA LIPI tahun 2012 oleh karena itu kami mengucapkan terima kasih atas pendanaan yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Chaudhuri, S.K. dan D.R. Lovely, 2003, Electricity generation by direct oxidation of glucose in mediator-less microbial fuel cells, *Nature Biotechnology*, Vol. 21, 1229–1232.
- Gunawardena, A., S. Fernando dan F. To, 2008, Performance of a yeast-mediated biological fuel cell, *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 9, 1893 – 1907.
- Ieropoulos, I.A., J. Greenman, C. Melhuish dan J. Hart, 2005, Comparative study of three types of microbial fuel cell, *Enzyme and Microbial Technology*, Vol. 37, 238 – 245.
- Ikeda, T., K. Kato, M. Maeda, H. Tatsumi, K. Kano dan K. Matsushita, 1997, Electrocatalytic properties of *Acetobacter aceti* cells immobilized on electrodes for the quinone-mediated oxidation of ethanol, *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol. 430, 197 – 204.
- Karthikeyan, R., K.S. Kumar, M. Murugesan, S. Berchmans dan V. Yegnaraman, 2009, Bioelectrocatalysis of *Acetobacter aceti* and *Gluconobacter roseus* for current generation, *Environmental Science dan Technology*, Vol. 43, 8684 – 8689
- Katz, E., A.N. Shipway dan I. Willner, 2003, Biochemical fuel cell. In *Handbook of Fuel Cells-Fundamental, Technology and Applications, Vol.I: Fundamental and Survey of Systems*. W. Vielstich, H. A. Gasteiger and A. Lamm. Wiley and Sons, Ltd. New York.
- Park, D.Y. dan J.G. Zeikus, 2000, Electricity generation in microbial fuel cells using neutral red as an electronophore, *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 66, 1292 – 1297.
- Rabaey, K., G. Lissens, S.D. Siciliano dan W. Verstraete, 2003, A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency, *Biotechnology Letters*, Vol. 25, 1531–1535.
- Schröder, U., 2007, Anodic electron transfer mechanisms in microbial fuel cell and their energy efficiency, *Physical Chemistry Chemical Physics*, Vol. 9, 2619 – 2629.
- Shukla, A.K., P. Suresh, S. Berchmans dan A. Rajendran, 2004, Biological fuel cells and their applications, *Current Science*, Vol. 87, 455 – 468.
- Walker, A.L. dan C.W. Walker Jr., 2006, Biological fuel cell and an application as a reserve power source, *Journal of Power Sources*, Vol. 160, 123 – 129.
- Walker, J.A. dan D.L. Harmon, 1996, Technical note: a simple, rapid assay for alpha-amylase in bovine pancreatic juice, *Journal of Animal Sciences*, Vol. 74, 658 – 662.
- You, S., Q. Zhao, J. Zhang, J. Jiang dan S. Zhao, 2006, A microbial fuel cell using permanganate as the cathodic electron acceptor, *Journal of Power Sources*, Vol. 162, 1409 - 1415.