

Fani Aldilah Rosyadi <sup>\*)</sup>, Elvin Noer Laily, Santi Sitoresmi, Yushardi: pemanfaatan alga hijau sebagai biokatoda pada pmfc (*photosynthetic microbial fuel cell*)

## PEMANFAATAN ALGA HIJAU SEBAGAI BIOKATODA PADA PMFC (*PHOTOSYNTHETIC MICROBIAL FUEL CELL*)

Fani Aldilah Rosyadi <sup>\*)</sup>, Elvin Noer Laily, Santi Sitoresmi, Yushardi

Jurusan Pendidikan MIPA, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember  
Jl. Kalimantan Kampus Bumi Tegalboto No.37 Jember  
Kode Pos. 159; Telp. (0331) 330224; Fax. (0331) 339029; <sup>\*)</sup>email: aldilarosyadi@gmail.com

### Abstrak

*Di Indonesia, penggunaan energi terus mengalami lonjakan hebat. Kebutuhan energi listrik Indonesia diperkirakan terus bertambah sebesar 4,6% setiap tahunnya, dan akan mengalami tiga kali lipat pada tahun 2030. Sehingga diperlukan usaha untuk menghasilkan energi listrik alternatif berkelanjutan (sustainable technology). PMFC (Photosynthesis Microbial Fuel Cell) merupakan sebuah teknologi hijau penghasil listrik dengan memanfaatkan organisme fotosintetik. Pemanfaatan makhluk hidup dalam sistem PMFC di kompartemen katoda disebut dengan biokatoda. Biokatoda berfungsi sebagai substrat asektor elektron yang dihasilkan oleh mikroba di ruang anoda. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar alga hijau air tawar terhadap tegangan dan kuat arus yang dihasilkan. Telah dilakukan penelitian pada sistem PMFC dengan menggunakan perlakuan variasi kadar alga hijau yaitu 30 gram, 40 gram, 50 gram dan 60 gram sebagai biokatoda dan limbah cair tempe sebagai substrat pertumbuhan mikroba pada ruang anoda. Penelitian ini menghasilkan tegangan 320 mV, kuat arus 5,9  $\mu$ A dan power density 1293,151  $\mu$ W/m<sup>2</sup>.*

**Kata kunci:** alga hijau, biokatoda, listrik, PMFC

## UTILIZATION OF GREEN ALGAE AS BIOCATHODE ON PMFC (*PHOTOSYNTHETIC MICROBIAL FUEL CELL*)

### Abstract

*Energy usage in Indonesia continues to increase greatly. Indonesia's electricity demand is expected to grow by 4.6% annually, and will triple in 2030. So it needs an effort to produce sustainable alternative electric energy (sustainable technology). PMFC (Photosynthesis Microbial Fuel Cell) is a green technology that generates electricity by utilizing photosynthetic organisms. The utilization of organisms in the PMFC system in the cathode compartment is called the biocathode. The biocathode acts as an electron acceptor substrate that produced by microbes in the anode chamber. This study aims to determine the effect of variations of green freshwater algae levels on the voltage and strength of the resulting current. Research on the PMFC system has been implemented by using variations of green algae content of 30 grams, 40 grams, 50 grams and 60 grams as biocathode and tempe liquid waste as substrates of microbial growth in the anode chamber. This study produces a voltage of 320 mV, a strong current of 5.9  $\mu$ A and a power density of 1293.151  $\mu$ W / m<sup>2</sup>.*

**Keywords:** biocathode, electricity, green algae, PMFC

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik Indonesia diperkirakan terus bertambah sebesar 4,6% setiap tahunnya, dan

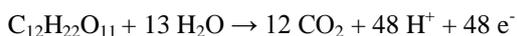
akan mengalami tiga kali lipat pada tahun 2030 (Sutrisna, 2011). Apabila hal ini tidak diiringi oleh usaha peningkatan produksi energi, dikhawatirkan Indonesia mengalami krisis energi. Faktanya,

pemanfaatan minyak bumi sebagai bahan bakar fosil penghasil energi masih mendominasi, yaitu sebesar 50,66% (Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, 2010). Sedangkan cadangan minyak bumi di Indonesia diperkirakan habis dalam waktu 24 tahun (*Handbook of Energy and Economy Statistic of Indonesian*, 2008). Sehingga diperlukan usaha untuk menghasilkan energi listrik alternatif berkelanjutan (*sustainable technology*).

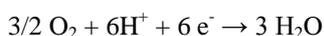
*Microbial Fuel Cell* (MFC) merupakan teknologi yang prospektif untuk dikembangkan. MFC merupakan sistem yang dapat menghasilkan energi listrik melalui metabolisme mikroorganisme. Tetapi dalam penggunaannya, MFC memiliki kelemahan pada kompartemen katoda yang masih menggunakan bahan kimia yaitu kalium ferisianida (Novitasari, 2011). Sehingga perlu sebuah solusi agar teknologi ini menjadi benar-benar organik. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Tanaka (1985) yaitu dengan menggunakan organisme fotosintetik seperti *Anabaena* sebagai biokatoda. Biokatoda adalah penggunaan makhluk hidup sebagai substrat asektor elektron pada kompartemen katoda (ITB News, 2011). Penggunaan organisme fotosintetik dalam MFC disebut dengan istilah PMFC.

PMFC mengkonversi sinar matahari menjadi listrik dalam reaksi metabolisme sel bahan bakar mikroba (MFC), di mana mikroorganisme elektroaktif digunakan sebagai akseptor elektron untuk mikroba dalam respirasi anaerobik bahan organik (Yagishita, 1993). PMFC memiliki komponen yang sama seperti *fuel cell* biasa, meliputi badan katodik dan anodik. Bahan yang teroksidasi oleh mikroorganisme dan menghasilkan elektron dan proton (Aulenta, 2007). Elektron ditransfer ke tubuh katodik melalui sirkuit eksternal dan proton ditransfer melewati membran. Elektron dan proton digabungkan dengan oksigen pada tubuh katodik untuk membentuk air (Amos, 2008).

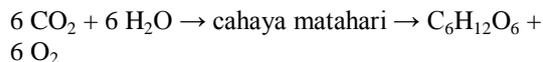
Reaksi dasar berlangsung di anoda, dimana karbohidrat berperan penting dalam menyediakan bahan bakar untuk metabolisme mikroorganisme. Pada bagian anoda, mikroorganisme melakukan serangkaian proses metabolisme pada kondisi anaerob yang dapat memproduksi elektron (Gregor, 2002).



Kemudian, proton dilepaskan berdifusi ke bagian katoda melalui membran penukar proton/kation, sedangkan elektron ditransfer ke bagian katoda melalui elektroda. Pada katoda, terjadi reaksi pembentukan air.



Oksigen dari proses fotosintesis organisme fotosintetik sebagai akseptor elektron aktif, serta oksigen terlarut untuk *Oxygen Reduction Reaction* (ORR) (Gajda, 2015).



Pada penelitian ini, menggunakan limbah cair tempe sebagai substrat pertumbuhan mikroba dan alga hijau air tawar sebagai organisme fotosintetik. Limbah cair tempe yang terbuat dari kedelai mengandung protein (34,9 %), karbohidrat (34,8 %), lemak (18,2 %) dan bahan-bahan nutrisi lainnya, maka limbah yang dihasilkan dapat mengandung bahan organik yang tinggi dan merupakan media yang baik untuk pertumbuhan mikroba (Sudaryati *et al.*, 2007). Penggunaan alga hijau air tawar sebagai bahan penelitian karena jumlahnya sangat banyak di alam dan prospektif digunakan sebagai biokatoda.

Alga hijau (*Chlorophyta*) adalah ganggang yang berwarna hijau karena memiliki pigmen dominan klorofil a dan klorofil b. Sebagian besar alga hijau hidup secara fotoautotrof di air tawar, beberapa jenis lainnya hidup di laut sebagai fitoplankton (Ahmad, 2016). Alga yang hidup di air dapat menghasilkan oksigen berupa gelembung udara yang diindikasikan dapat digunakan sebagai asektor elektron untuk katoda pada PMFC. Alasan ini didukung oleh hasil penelitian Khusni (2016) yang menyatakan bahwa tingkat produksi oksigen oleh alga yaitu sebesar 1,65 mg/L dalam kepadatan alga 300 g/100L. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Abdurrachman (2013) menyatakan bahwa alga merupakan organisme fotosintetik yang menghasilkan 50% oksigen di atmosfer bumi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar alga hijau air tawar terhadap tegangan dan kuat arus yang dihasilkan. Variasi tersebut dilakukan untuk menentukan daerah kerja maksimum PMFC sehingga dapat menghasilkan daya listrik terbesar.

## METODE PENELITIAN

**Alat dan Bahan.** Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu toples plastik berbentuk persegi, gelas beaker, multimeter digital, kabel dan penjepit buaya, neraca digital, gelas ukur dan tabung PVC diameter 0,5 inch, panjang 10 cm, cawan, tabung reaksi, pipet, botol kaca, termometer, lem tembak. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu alga hijau air tawar, bubuk agar-agar, limbah cair industri tempe, lem plastik, glukosa 1 M, elektroda grafit, NaOH 1 M, NaCl, HCl 1 M, MnSO<sub>4</sub>, KOH, KI, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,0125 N, amilum, aquades dan *aluminium foil*.

Fani Aldilah Rosyadi <sup>\*)</sup>, Elvin Noer Laily, Santi Sitoresmi, Yushardi: pemanfaatan alga hijau sebagai biokatoda pada pmfc (*photosynthetic microbial fuel cell*)

**Persiapan Substrat.** Substrat yang harus disiapkan dalam penelitian ini terdiri dari limbah cair industri tempe dan alga hijau air tawar.

**Substrat Limbah Cair Industri Tempe.** Limbah cair tempe diambil dari industri tempe rumahan di daerah Kabupaten Lumajang. Limbah tempe yang digunakan sebanyak 400 ml, kemudian disimpan dalam botol kaca steril dan ditutup dengan *aluminium foil*. Limbah cair tempe diinkubasi secara anaerob selama 7 hari.

Untuk mengetahui dan menghitung jumlah mikroba pada limbah cair industri tempe yaitu dengan menggunakan metode hitungan cawan (*Total Plate Count*). Pertama mengambil sampel sebanyak 1 ml kemudian diencerkan dari  $10^{-1}$  sampai  $10^{-6}$ . Setelah itu tuang 1 ml sampel dari pengenceran  $10^{-1}$  sampai  $10^{-6}$  ke dalam cawan steril, kemudian tambahkan medium agar. Kemudian inkubasi dengan posisi terbalik pada suhu ruangan selama 2 hari.

**Substrat Alga Hijau.** Alga hijau berasal dari sungai di Kabupaten Lumajang yaitu makroalga dari jenis *Cladophora*. Alga hijau yang digunakan sebanyak 180 gram, kemudian dibagi menjadi empat ukuran yaitu 30 gram, 40 gram, 50 gram dan 60 gram, yang diletakan pada botol air mineral. Kemudian ditambahkan 1 liter aquades pada masing-masing botol. Setelah itu, meletakkan sampel di tempat yang terkena cahaya matahari selama 3 minggu.

Mengukur oksigen terlarut pada masing-masing kadar alga yaitu dengan mengambil sampel air media pertumbuhan alga sebanyak 50 ml, kemudian diuji menggunakan metode Winkler.

**Preparasi Elektroda.** Sebelum digunakan dalam sistem PMFC, elektroda terlebih dahulu di rendam dalam HCl 1 M selama 1 hari, kemudian dibilas dengan menggunakan aquades. Setelah itu elektoda direndam lagi dalam larutan NaOH 1 M selama 1 hari, kemudian dibilas dengan aquades. Elektroda yang telah melalui proses perendaman disimpan di dalam aquades sampai akan digunakan. Hal ini bertujuan untuk meregenerasi elektroda dan menghilangkan kontaminasi logam dan bahan organik.

**Membran Penukar Kation.** Membran penukar kation dibuat dari bahan agar-agar dan NaCl 1 M. Langkah pertama, menambahkan bubuk agar-agar sebanyak 6 gram ke larutan NaCl 1M yang sedang dipanaskan untuk membuat 250 ml larutan seragam. Setelah itu larutan dituangkan dalam tabung PVC dan biarkan sampai larutan dingin.

**Reaktor PMFC dual-chamber.** Pada penelitian ini menggunakan reaktor *dual-chamber* yang terbuat

dari toples plastik bening berbentuk persegi dengan volume 700 mL untuk masing-masing kompartemen anoda dan katoda. Di kedua kompartemen terdapat lubang dengan diameter 2,2 cm. Kemudian memasang elektroda dan membran penukar kation pada masing-masing reaktor. Ujung-ujung membran dimasukan ke dalam lubang dan direkatkan menggunakan lem plastik agar tidak terjadi kebocoran pada reaktor. Sedangkan elektroda dipasang pada bagian tengah di kompartemen anoda dan bagian pinggir di kompartemen katoda yang pada masing-masing elektroda dihubungkan oleh kabel buaya. Setelah semua komponen-komponen dipasang, maka reaktor siap untuk digunakan.

**Eksperimen PMFC.** Pada tahap eksperimen PMFC yaitu menggunakan kadar alga hijau 30 gram. Kompartemen anoda diisi dengan substrat limbah tempe 400 ml dengan penambahan glukosa 1 M sebanyak 200 ml. Kompartemen katoda diisi substrat alga hijau 30 gram dengan penambahan aquades 600 ml. Pada kompartemen anoda dipasang penutup untuk mencegah oksigen masuk, sedangkan kompartemen katoda dibiarkan tetap terbuka. Hal yang sama dilakukan pada eksperimen berikutnya, namun dengan mengganti kadar alga hijau dengan massa 40 gram, 50 gram dan 60 gram.

**Pengambilan Data.** Kuat arus dan tegangan listrik diukur menggunakan multimeter digital. Sebelum pengukuran dilakukan multimeter dikalibrasi terlebih dahulu. Pengambilan data dilakukan setiap 30 menit selama 5 jam pada semua kadar alga hijau air tawar.

**Analisis Data.** Data berupa kuat arus (I) dan tegangan (V) akan diolah menjadi *power density* ( $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ), yaitu daya persatuan luas elektroda dengan menggunakan persamaan,

$$(P = \frac{VI}{A}) \quad (1)$$

Luas permukaan elektroda (A) yang digunakan sebesar  $1,46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$  dengan diameter 0,3 inch dan panjang 2,25 inch.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

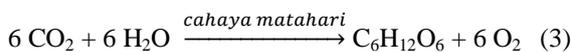
Pada penelitian ini sistem PMFC (*Photosynthetic Microbial Fuel Cell*) yang digunakan terdiri dari kompartemen anoda (-), kompartemen katoda (+), membran penukar kation dan elektroda grafit. Kompartemen anoda menggunakan limbah cair tempe sebanyak 400 ml dengan penambahan glukosa 1 M sebanyak 200 ml. Kompartemen katoda menggunakan alga hijau air tawar dengan variasi kadar 30 gram, 40 gram, 50

gram dan 60 gram dengan penambahan 600 ml aquades tiap variasi. Alga hijau yang digunakan termasuk makroalga dari jenis *Cladophora*. Makroalga ini hidup menempel pada batu di tepi sungai yang aliran airnya deras.

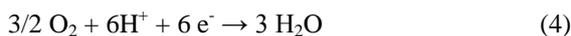
Reaksi dasar berlangsung di anoda, dimana glukosa berperan penting dalam menyediakan bahan bakar untuk metabolisme mikroba yang hidup dalam limbah cair tempe. Telah diketahui jumlah mikroba pada limbah cair tempe yang telah diinkubasi selama 7 hari dengan metode hitungan cawan (*Total Plate Count*) adalah sebanyak  $7,2 \times 10^6$  sel/ml. Pada bagian anoda, mikroba melakukan serangkaian proses metabolisme pada kondisi anaerob yang dapat memproduksi proton dan elektron. Kemudian, proton dilepaskan berdifusi ke bagian katoda melalui membran penukar kation, sedangkan electron ditransfer ke bagian katoda melalui elektroda grafit pada sirkuit eksternal.



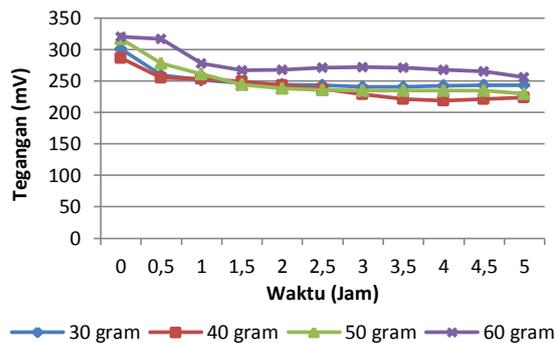
Pada katoda terjadi pembentukan oksigen dari proses fotosintesis alga hijau *Cladophora* yang berguna menyediakan oksigen terlarut.



Oksigen terlarut yang dihasilkan alga *Cladophora* pada jam ke 0 dengan kepadatan alga 30 gram/L, 40 gram/L, 50 gram/L dan 60 gram/L adalah 13,60 mg/L, 13,68 mg/L, 14,48 mg/L, 14,80 mg/L. Berdasarkan data dapat diketahui bahwa semakin besar kadar alga maka akan semakin besar pula kandungan oksigen terlarut yang diperoleh. Oksigen terlarut digunakan sebagai *Oxygen Reduction Reaction* (ORR) untuk mengikat proton serta elektron dalam pembentukan air di kompartemen katoda. Elektron yang berpindah dari kompartemen anoda ke kompartemen katoda pada sirkuit eksternal dapat menimbulkan tegangan dan kuat arus.

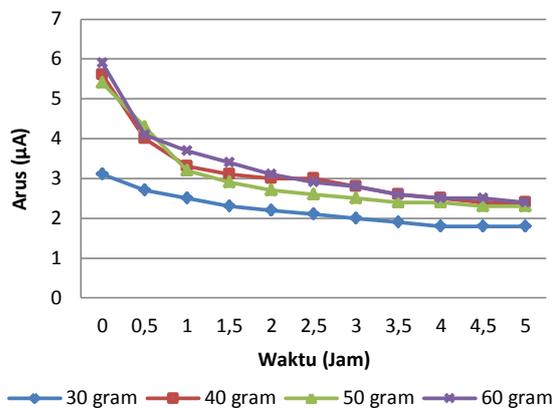


Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, telah didapatkan hasil pengaruh variasi kadar alga hijau air tawar terhadap besar tegangan, kuat arus dan *power density* yang disajikan dalam Gambar 1-3 sebagai berikut,



Gambar 1. Hasil pengukuran tegangan pada variasi kadar alga

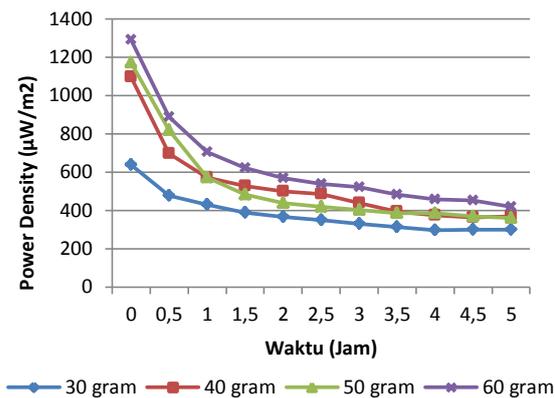
Tegangan maksimum yang terukur adalah sebesar 320 mV pada kadar alga 60 gram. Pada jam ke 0 nilai tegangan pada semua kadar bernilai maksimum, tetapi terus menurun pada jam ke 1 dan jam ke 1,5 hal ini dikarenakan kadar oksigen terlarut yang terus berkurang. Setelah itu pada jam ke 1,5 sampai jam ke 5 nilai tegangan memiliki nilai yang kurang stabil dengan sedikit perubahan



Gambar 2. Hasil pengukuran kuat arus pada variasi kadar alga

Kuat arus maksimum yang terukur adalah sebesar 5,9 µA pada kadar alga 60 gram. Pada jam ke 0 nilai tegangan dan kuat arus bernilai maksimum, tetapi terus menurun pada jam ke 1 sampai jam ke 4, setelah itu pada jam ke 4 sampai jam ke 5 nilai kuat arus memiliki nilai yang stabil pada kadar alga 30 gram sedangkan kadar yang lain kurang stabil dengan sedikit perubahan.

Fani Aldilah Rosyadi<sup>\*)</sup>, Elvin Noer Laily, Santi Sitoresmi, Yushardi: pemanfaatan alga hijau sebagai biokatoda pada pmfc (*photosynthetic microbial fuel cell*)



Gambar 3. Hasil perhitungan *Power Density* pada variasi kadar alga

Berdasarkan nilai tegangan dan kuat arus yang terukur dapat diperoleh *Power Density* ( $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) pada masing-masing variasi kadar alga. *Power Density* dipengaruhi oleh luas penampang elektroda grafit yaitu sebesar  $1,46 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ . *Power Density* maksimum yang terhitung adalah sebesar  $1293,151 \mu\text{W}/\text{m}^2$  pada kadar alga 60 gram.

### SIMPULAN

Berdasar pada penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan massa alga hijau air tawar dapat meningkatkan nilai tegangan dan kuat arus yang terukur. Pada penelitian ini kondisi optimum terjadi pada kadar alga hijau air tawar 60 gram yaitu menghasilkan tegangan dan kuat arus sebesar 320 mV dan  $5,9 \mu\text{A}$  serta *Power Density* yang terhitung adalah sebesar  $1293,151 \mu\text{W}/\text{m}^2$ .

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kemristekdikti yang telah membiayai penelitian kami dan kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan sehingga penelitian yang kami lakukan dapat berhasil.

### DAFTAR PUSTAKA

Abdurrachman, Okryreza, M. Mutiara, dan L. Buchori. (2013). Pengikatan Karbon Dioksida dengan Mikroalga (*Chlorella Vulganis*, *Chlamydomonas* sp., *Spirulla* sp.) Dalam Upaya Untuk Meningkatkan Kemurnian Biogas. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*. 2 (4): 212- 216.

- Ahmad, Dadan. (2016). Ciri-ciri *Chlorophyta* Alga Hijau. <http://www.srdianti.com/>. Diakses 25 Agustus 2016
- Amos, B., E.J. Suchomel, K.D. Pennell and F.E. Loffler. (2008). *Water Res.* 42: 5718-5726.
- Aulenta, F., *et al.*. (2007). *Environ. Science Technology*. 41: 2554-2559.
- ESDM. (2008). *Handbook of Energy and Economy Statistic of Indonesian*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta
- (2010). *Buku Energi dan Sumber Daya Mineral Tahun 2010*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta
- Gajda, J. Greenman, C. Melhuish, I. Ieropoulos. (2015). Self-sustainable electricity production from algae grown in a microbial fuel cell. *Biomass and Bioenergy*. 82: 87-93.
- Gregor, Hoogers. (2002). *Fuel Cell Technology Handbook*. Second Edition (Handbook Series for Mechanical Engineering). CRC Press.
- ITB News. (2011). *Microbial Fuel Cell*, Energi Listrik Alternatif dari Bakteri. Bandung. ITB
- Khusni, Muhammad. (2016). Produksi dan Konsumsi Oksigen serta Pertumbuhan *Ceratophyllum demersum* L. pada Kerapatan yang Berbeda dalam Mendukung Potensinya sebagai Bioerator. <http://ejournal.undip.ac.id>. Diakses 25 Agustus 2016
- Novitasari, Deni. (2011). Optimasi Kinerja *Microbial Fuel Cell* (MFC) Untuk Produksi Energi Listrik Menggunakan Bakteri *Lactobacillus bulgaricus*. Skripsi. Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Sudaryanti, N. L. G., I. W. Karsa. (2007). Pemanfaatan Sendimen Perairan Tercemar Sebagai Bahan Lumpur Aktif dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu. *Ecotrophic*.
- Sutrisna, Kadek Fendy. (2016). Indonesia Alami Lonjakan dalam Konsumsi Energi. <http://www.alpensteel.com/article>. Diakses 15 Agustus 2016
- Tanaka, K., Tamamushi, R., Ogawa. (1985). Bio electrochemical fuel cells operated by the cyanobacterium. *Anabaena variabilis*. *Journal Chem. Tech. Biotechnology*. 35: 191-197.
- Yagishita, T. Horigome, K. Tanaka. (1993). Effects of light CO<sub>2</sub> and Inhibitors on the current output of biofuel cells containing the photosynthetic organism *Synechococcus* sp. *Journal Chem. Technol. Biotechnol.* 56: 393-399.