

**STUDI POTENSI PRODUKSI ENERGI LISTRIK SEL TUNAM
MIKROBA DENGAN SUBSTRAT KULIT PISANG
STUDY OF ELECTRICAL ENERGY POTENTIAL ON
MICROBIAL FUEL CELL WITH BANANA SKINS SUBSTRATE**

Eka Vonia N¹, M. Ramdhan Kirom², Asep Suhendi³

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

¹voniakaniya@gmail.com, ²mramdhanlankirom@telkomuniversity.ac.id,

³asep@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Sel Tunam Mikroba (STM) merupakan metode untuk menghasilkan energi listrik dari oksidasi substrat sebagai bahan bakar dan bakteri sebagai katalisator. STM yang digunakan ialah ruang ganda yang terdiri ruang anoda diisi oleh substrat dan mikroorganisme, dan bagian katoda berisi akuades kemudian dihubungkan oleh jembatan garam. Empat buah reaktor yang digunakan untuk penelitian adalah R7L4P1, R3L4P1, R7L1P4, dan R3L1P1 (R = waktu pendiaman substrat, 3 dan 7 hari; L = volume lumpur, 100 ml dan 400 ml; P = volume substrat, 100 ml dan 400 ml), untuk menyelidiki pengaruh volume substrat limbah kulit pisang yang dibiarkan dalam tabung anaerob dengan perbedaan waktu tiga dan tujuh hari. Metode ini dilakukan dengan membandingkan variasi komposisi lumpur dan substrat masing-masing 100 ml dan 400 ml. Daya, tegangan, dan arus maksimum yang dihasilkan adalah 0,8 mW reaktor R7L4P1, 2681,4 mV reaktor R3L4P1, dan 287,1 μ A reaktor R3L4P1. Arus listrik yang stabil diperoleh setelah 2 hari pada reaktor dengan pendiaman substrat selama tiga hari serta volume lumpur 400 ml dan substrat 100 ml. Hal ini dikarenakan bakteri mengalami fase *lag* dan eksponensial. Hari ke-2 sampai ke-10 adalah fase stasioner, dimana bakteri tidak mengalami pembelahan lagi. Setelah hari ke-10 adalah fase kematian dimana sel bakteri mengalami kematian.

Kata kunci: sel tunam mikroba, kulit pisang, bakteri.

Abstract

Microbial Tuning Cells (STM) is a method to generate electrical energy from oxidizing substrates as fuel and bacteria as a catalyst. The STM used is a double chamber consisting of an anode chamber filled with substrate and microorganism, and the cathode portion containing the aquades is then connected by a bridge of salt. The four reactors used for the study were R7L4P1, R3L4P1, R7L1P4, and R3L1P1 (R = substrate, 3 and 7 days, L = volume of mud, 100 ml and 400 ml, P = substrate volume, 100 ml and 400 ml), to investigate the effect of the volume of banana peel waste substrates left in an anaerobic tube with a time difference of three and seven days. This method is done by comparing the variations of the composition of the sludge and the substrate respectively 100 ml and 400 ml. The maximum power, voltage and current generated are 0.8 mW R7L4P1 reactor, 2681.4 mV R3L4P1 reactor, and 287.1 μ A R3L4P1 reactor. A stable electrical current is obtained after 2 days at the reactor with substrate substration for three days as well as 400 ml sludge and 100 ml substrate. This is because bacteria have lag phase and exponential. The 2nd day until the 10th is the stationary phase, where the bacteria do not experience division anymore. After the 10th day is the phase of death where bacterial cells die.

Keyword: Microbial Fuel Cell, banana peels, bacteria.

1. Pendahuluan

Secara umum, sektor penggunaan energi di Indonesia meliputi industri, transportasi dan komersial. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) memproyeksikan penggunaan energi listrik dari beberapa sektor tersebut pada tahun 2014 masih dominan untuk keperluan konsumtif yaitu sektor rumah tangga 42%, industri 33%, komersial 24%, transportasi 0,1%. Sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan penduduk, kebutuhan listrik diproyeksikan meningkat 6 kali menjadi 1.205 TWh pada tahun 2050 untuk skenario dasar [2]. Tahun 2010, sudah banyak negara yang menyadari bahwa perlunya memanfaatkan sumber energi terbarukan untuk menggantikan energi tidak terbarukan (minyak bumi, batu bara, dan gas) yang semakin menipis dan dampaknya yang dapat merusak lingkungan [4]. Salah satu metode menghasilkan energi listrik dari sumber energi adalah sel tunam mikroba (STM), metode ini sangat penting dilakukan untuk menunjang pemanfaatan energi terbarukan.

STM adalah perangkat yang memanfaatkan bakteri dari alam sebagai katalis untuk menghasilkan energi listrik. Dalam perkembangannya telah dilakukan berbagai studi untuk memaksimalkan sistem pada STM, salah satu dengan memakai beberapa jenis material elektroda. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan modifikasi khususnya untuk meningkatkan energi dan untuk meningkatkan kinerja sistem untuk memaksimalkan produksi energi listrik [1]. STM ini dijalankan pada reaktor anaerob yang mempunyai sisi anoda dan katoda dan berisi substrat limbah organik dan bakteri yang kemudian menghasilkan energi listrik.

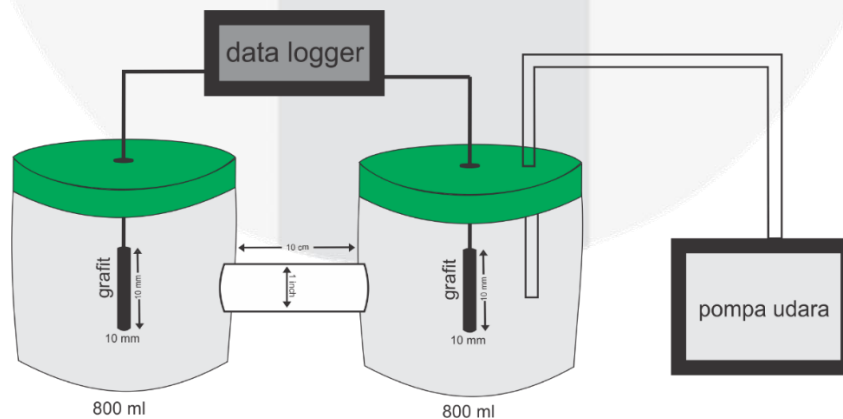
Berdasarkan senyawanya, limbah terbagi menjadi dua macam yaitu limbah anorganik dan limbah organik. Limbah anorganik adalah limbah yang tidak dapat diuraikan kembali oleh dekomposer sedangkan limbah organik adalah limbah yang berasal dari aktivitas manusia atau hewan yang dapat terurai. Contoh dari limbah organik diantaranya adalah kulit pisang. Limbah kulit pisang banyak didapatkan dari penjual pisang coklat, es pisang ijo, dan pada penjual gorengan akan tetapi limbah ini tidak dimanfaatkan dan langsung dibuang padahal limbah kulit pisang memiliki kandungan untuk menghasilkan energi listrik sehingga sangat disayangkan jika dibuang.

Oleh karena itu, dalam penelitian tugas akhir ini, penulis ingin melakukan pengamatan limbah kulit pisang sebagai substrat pada pengembangan STM. Pencampuran variasi komposisi lumpur dan kulit pisang dilakukan untuk mendapatkan besaran arus dan tegangan listrik yang optimal. Diharapkan limbah kulit pisang ini dapat bermanfaat sebagai bahan alternatif untuk sumber energi listrik.

2. Metode Penelitian

2.1. Pembuatan Reaktor STM

Pada proses pembuatan reaktor ini ialah berdasarkan jenis reaktor ruang ganda, dimana terdapat kompartemen anoda, kompartemen katoda dan pemisah antar ruang tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Desain rancangan reaktor STM ruang ganda.

2.1. Jembatan garam

Pada persiapan jembatan garam ini dibuat dengan menggunakan sumbu kompor yang dipilin, kemudian panjang yang akan dipakai ialah 10 cm. Pada proses ini dilakukan dengan cara merendam sumbu kompor pada larutan garam yang dibuat dengan melarutkan NaCl dengan air yang sudah dipanaskan sampai meresap, setelah itu pilinan sumbu kompor tersebut di jemur dan di masukkan ke dalam pipa PVC untuk menghindari proses kebocoran. Kemudian ujung pilinan dibiarkan terbuka untuk digunakan sebagai penghubung antar kompartemen.

Pengaruh dari mobilitas ionik dalam jembatan garam ialah pada R larutan dimana saat nilainya kecil maka kuat arus yang dihasilkan semakin besar. Untuk menghitung Molaritas NaCl dengan konsentrasi 1M maka didefinisikan dengan persamaan berikut [1].

$$M = \frac{n}{V} \quad (1)$$

M = molaritas (M)

n = mol zat terlarut (mol)

V = liter larutan (L)

dengan

$$n = \frac{x}{m} \quad (2)$$

n = jumlah mol (mol)

x = massa (gram)

m = massa molar (g/mol)

Ruang anoda pada sistem sel tunam ganda diisi dengan 400 mL dan 100 ml substrat yang dicampur 100 ml dan 400 ml lumpur danau. Dalam lumpur danau terdapat mikroorganisme yang akan membantu proses metabolisme sistem sel tunam mikroba. Sumber bakteri yang digunakan dari lumpur danau, karena pada dasarnya lumpur ialah campuran air dengan tanah. Pada tanah mengandung bakteri yang dapat membantu proses penghasil listrik atau disebut bakteri *electricigens* (elektrogenik), contoh dari bakteri elektrogenik ialah *shewanella* species yang ditemukan hampir pada semua tanah dan *geobacter* species yaitu biasa hidup di lapisan tanah bagian dalam atau bahkan di bawah lautan. Jenis bakteri ini memakan komponen-komponen yang berada pada tanah seperti nutrien-nutrien mikroskopik, glukosa yang kemudian dapat memproduksi elektron yang dikeluarkan dan dikembalikan lagi ke tanah [7].

Pada proses metabolisme ruang anoda terjadi transfer elektron dari mikroorganisme ke elektroda, kemudian terjadi oksidasi molekul yang dapat terurai (*biodegradable*) terhadap mikroba untuk menghasilkan elektron, proton, dan CO₂. kandungan kulit pisang terdapat kandungan karbohidrat yang mengandung glukosa, dan glukosa ini jika difermentasikan dan dioksidasi akan menjadi asam etanoat atau asam asetat yang dapat dijadikan substrat pada STM. Substrat diuraikan oleh bakteri dalam sistem STM untuk menghasilkan listrik. Mikroorganisme ini dibutuhkan untuk substrat dalam konversi senyawa sederhana dari limbah kulit pisang. Contoh dari substrat ialah glukosa, asam asetat atau limbah cair menjadi CO₂, protein dan asam amino melalui proses oksidasi sehingga menghasilkan elektron dan proton pada anoda. Elektron yang dihasilkan akan ditransfer melalui sirkuit eksternal dan proton didifusikan melalui jembatan garam menuju katoda. Di dalam katoda reaksi elektron dan proton dengan oksigen akan menghasilkan air.

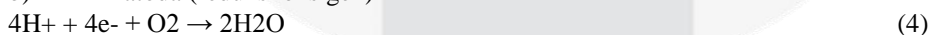
Reaksi dari substrat asam asetat pada STM:

a) Anoda (oksidasi asetat)



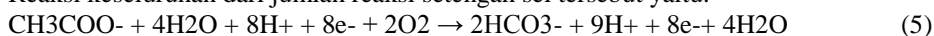
Dalam reaksi ini terjadi proses digestive bakteri pada ruang anoda. Dimana substrat menghasilkan elektron (e⁻) dan ion positif (H⁺) dari proses oksidasi.

b) Katoda (reduksi oksigen)



Dalam kompartemen katoda terjadi reaksi reduksi dimana ion positif berkombinasi dengan elektron dan oksigen sehingga menghasilkan air.

Reaksi keseluruhan dari jumlah reaksi setengah sel tersebut yaitu:



jembatan garam yang digunakan adalah pipa yang memiliki panjang 10 cm kemudian menggunakan pilinan sumbu kompor yang direndam dalam larutan NaCl 1 M. Fungsi dari jembatan garam sama dengan membran yaitu sebagai pertukaran proton. Sehingga jembatan garam harus permeable atau tidak dapat ditembus. Fungsi lain dari jembatan garam pemisah dua ruang ini ialah

sebagai penghalang agar tidak terjadi transfer jenis lainnya. Contohnya terjadi aliran substrat yang tidak diinginkan dari anoda ke katoda sehingga terjadi pengurangan aliran substrat, dan juga perpindahan oksigen dari katoda ke anoda [1]. Prinsip kerja dari jembatan garam yaitu sebagai mediator penukar proton dari ruang anoda ke ruang katoda sehingga menetralkan kelebihan atau kekurangan muatan dari ion-ion pada larutan dalam dua ruang tersebut. Pada jembatan garam terjadi pertemuan dari larutan elektrolit yaitu ion positif dan ion negatif dari larutan elektrolit yang dapat diukur arus listrik [3]. Proton yang sudah dihasilkan pada ruangan anoda tidak dapat berpindah lagi ke ruangan katoda. Proses metabolisme oleh bakteri pada ruang anoda menghasilkan proton yaitu berupa H^+ , elektron, dan CO_2 . Proton menuju katoda akan berdifusi melalui jembatan garam. Listrik dapat dihasilkan ketika larutan elektrolit dengan perbedaan komposisi yang dipisah oleh suatu hambatan contoh diantaranya membran atau salt bridge yaitu sebuah pipa yang berisi jel yang mengandung elektrolit dan menggabungkan kedua sel sebagai tempat pertukaran ion supaya tetap netral [6].

2.2. Daya

Pengambilan data dilakukan setiap dua jam selama 14 hari, sehingga mendapatkan hasil arus dan tegangan yang kemudian dihasilkan daya dari perhitungan:

$$P = \text{daya} = \text{tegangan (V)} \times \text{arus (A)} \quad (5)$$

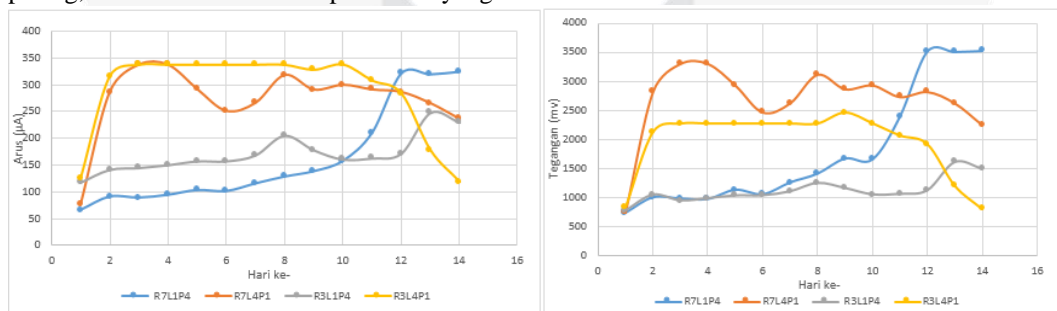
Keterangan:

- P = Daya (W)
- V = Tegangan (V)
- I = Arus (A)
- E = Energi (J)
- T = waktu fermentasi (detik)

3. Hasil dan Pembahasan

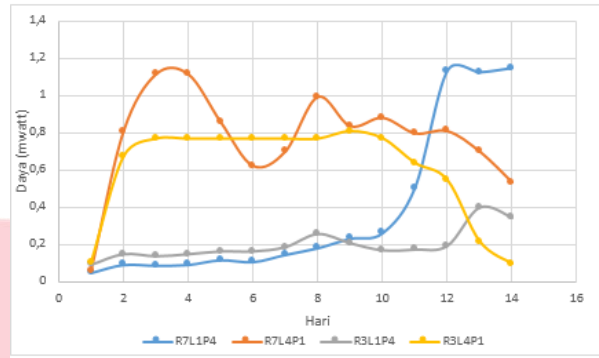
3.1. Tegangan dan Kuat Arus

Pengukuran akan direkam oleh data logger untuk menyimpan data yang dilakukan selama 14 hari. Proses penelitian yang dilakukan menggunakan empat reaktor. Reaktor ini dibedakan berdasarkan waktu fermentasi dan campuran volume pada tabung anoda. Dua reaktor pertama pada percobaan dilakukan pada waktu pendiaman substrat 7 hari dengan membedakan volume pada ruang anoda yaitu melakukan pencampuran lumpur 400 ml atau 100 ml terhadap substrat, kemudian dua reaktor kedua pada percobaan dilakukan pada waktu pendiaman substrat 3 hari dengan membedakan volume pada ruang anoda yaitu juga melakukan pencampuran lumpur 400 ml atau 100 ml terhadap substrat. Sebelum difermentasikan kulit pisang ini diblender dengan menambah air 1:1 dengan kulit pisang, berikut hasil data dari penelitian yang dilakukan.



(a)

(b)



(c)

Gambar 2 (a) pengukuran arus (b) pengukuran tegangan (c) hasil pengukuran daya

Jika dilihat dari perbedaan waktu pendiaman substrat pada Gambar a, bahwa pada waktu pendiaman substrat 3 hari memiliki nilai produksi arus rata-rata yang lebih besar dibandingkan dengan waktu pendiaman 7 hari dari segi campuran volume lumpur 400 ml maupun 100 ml. Substrat ini memiliki peranan sebagai sumber makanan untuk bakteri dalam proses metabolisme, arus terbesar yang mampu dihasilkan ialah 287,1 μA atau 0,28 mA. Pada penelitian sebelumnya (Nuzul Akbar, 2017) yaitu telah dilakukan penelitian dengan melakukan perbedaan elektroda dalam setiap percobaan, dan menghasilkan arus maksimal 0,13 mA pada elektroda Cu/Zn pada pengukuran pertama, dan 0,14 mA pada pengukuran kedua dengan elektroda Zn/Cu proses penelitian dilakukan 150 menit dan dengan substrat air limbah cucian beras dan urin kambing [1]. Hal ini menunjukkan bahwa adanya perbedaan elektroda, substrat yang digunakan serta perbedaan waktu pengukuran akan menghasilkan arus maksimum yang berbeda juga.

Jika dilihat dari hasil pencampuran volume lumpur 400 ml atau volume lumpur yang 100 ml. Dapat disimpulkan bahwa hasil produksi nilai arus rata-rata yang paling besar dihasilkan dari pencampuran lumpur 400 ml dengan substrat 100 ml (L4P1), hal ini diindikasikan karena memiliki sumber mikroba yang besar dalam melakukan proses metabolisme. Arus maksimum tidaknya yang dihasilkan dalam sel tunam mikroba tergantung pada tingkat aktual yang terjadi pada biodegradasi substrat [7].

Peranan bakteri ialah untuk memakan substrat atau nutrisi yang nantinya berinteraksi dengan elektroda sehingga menghasilkan elektron. Elektron merupakan partikel subatomik yang bermuatan negatif dimana elektron ini akan digunakan untuk menghasilkan listrik, elektron yang dihasilkan merupakan hasil natural dari proses metabolisme oleh mikroorganisme sehingga dihasilkan arus listrik melalui oksidasi bahan organik [7]. Elektron dari proses yang dihasilkan akan diterima oleh anoda grafit untuk oksidasi mikroba anaerobik dari senyawa organik yang dipisahkan oleh jembatan garam yaitu untuk difusi proton dari grafit katoda aerobik. Oksigen melalui proses reduksi pada katoda akan dikombinasikan dengan elektron dan proton pada katoda sehingga menghasilkan air [7].

Jika dilihat dari hasil grafik yang fluktuatif dapat disimpulkan bahwa hasil produksi arus dari penelitian STM ialah R3L1P4 merupakan data yang memiliki fluktuatif yang lebih kecil dibandingkan data R7L1P4, R7L4P1, R3L4P1, karena pada R3L1P4 sel masih dalam tahap adaptasi dimana belum terjadi pembelahan sel dan nilai standar deviasi lebih kecil yaitu 34,9. Menurut Deni Novitasari (2011) terdapat empat fase pertumbuhan mikroorganisme [6], fase pertama adalah fase lag yaitu bakteri lebih banyak melakukan proses adaptasi, fase kedua adalah eksponensial yaitu bakteri melakukan pembelahan secara maksimal, fase ketiga adalah fase stasioner yaitu bakteri sudah tidak melakukan pembelahan, dan terakhir fase kematian yaitu bakteri jumlah sel mengalami kematian. Sehingga fluktuatif tidaknya grafik dapat disimpulkan dari proses terjadinya pertumbuhan sel dalam mikroba. Pada R7L4P1 yang memiliki grafik tidak stabil karena pada R7L4P1 terjadi fase eksponensial yaitu fase dimana jumlah mikroba optimal sehingga hasil arus produksi maksimal setelah itu langsung terjadi penurunan yaitu dimana terjadi fase stasioner pada mikroba. Fase stasioner merupakan fase jumlah sel mati meningkat karena kekurangan ruang gerak dan kekurangan nutrisi setelah itu terjadi kenaikan lagi disebabkan karena tidak-rataan proses metabolisme pada sumber bakteri sehingga masih ada beberapa sel hidup karena memiliki cadangan makanan di dalam sel sehingga mengalami pembelahan. Setelah itu terjadi fase kematian, pada fase

ini jumlah sel hidup mengalami pengurangan karena jumlah nutrisi atau bahan bakar menipis, dan cadangan makanan di dalam sel juga habis akibatnya terjadi tingkat kematian pada sel hidup.

Pada pengukuran tegangan, tahap awal dilakukan pengukuran hambatan dalam reaktor dengan multimeter yaitu $R_{7L4P1} = 10970 \Omega$; $R_{7L1P4} = 9790 \Omega$; $R_{3L4P1} = 7620 \text{ K } \Omega$; $R_{3L1P4} = 6480 \text{ K}.\Omega$. Sehingga dapat diketahui dalam reaktor dengan waktu pendiaman substrat 3 hari memiliki hambatan dalam yang besar, oleh karena itu hasil tegangan maksimal terjadi pada R_{7L4P1} , dengan hambatan paling kecil. Pada tabel 4.2 yaitu nilai rata-rata terbesar tegangan mampu menghasilkan 2681,4 mV.

Pada pengukuran arus dan tegangan akan diolah dengan persamaan rumus 5 sehingga didapatkan hasil daya dari perhitungan arus dengan tegangan. Hasil data yang didapatkan dari daya dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Hasil Data Perhitungan Daya pada STM

Reaktor	Rata-rata nilai daya (mW)
R7L1P4	0,4
R7L4P1	0,8
R3L1P4	0,2
R3L4P1	0,6

Hasil daya pada Gambar c bahwa hasil nilai perhitungan daya lebih besar pada waktu 7 hari dibandingkan dengan waktu pendiaman substrat 3 hari. dari segi campuran volume lumpur 400 mV maupun 100 mV. Proses perbandingan waktu pendiaman substrat sebelumnya sudah dilakukan penelitian oleh Ester (2012) dimana pada penelitian ini dihasilkan bahwa pada waktu inkubasi 1 minggu menghasilkan produksi listrik lebih tinggi dibandingkan dengan waktu inkubasi 1 hari dan 1 bulan pada substrat tempe [5]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada substrat yang berbeda akan menghasilkan produksi maksimum pada waktu inkubasi yang berbeda juga.

Hasil daya terbesar ialah pada R_{7L4P1} yaitu 0,8 mW dengan standar deviasi 0,3. Hal ini disebabkan karena tegangan pada R_{7L4P1} juga besar dan daya berbanding lurus dengan tegangan sehingga diperoleh data seperti pada Tabel 4.3. Hasil grafik yang dihasilkan pada Gambar c memiliki fluktuatif yang hampir sama halnya dengan arus dan tegangan, dapat disimpulkan pada R_{3L1P4} memiliki fluktuatif kecil dengan nilai standar deviasi kecil 0,9. Pada grafik ini sel dalam bakteri masih tahap fase lag dimana masih terjadi adaptasi sehingga memiliki fluktuatif kecil. Terjadinya grafik yang memiliki fluktuatif tinggi disebabkan karena adanya perebutan substrat pada mikroba dalam proses metabolisme.

4. Kesimpulan

- Pada limbah kulit pisang sistem STM ruang ganda menghasilkan daya terbesar 0,8 mW pada reaktor R_{7L4P1} yaitu waktu pendiaman substrat 7 hari dengan volume lumpur 400 ml dan substrat kulit pisang 100 ml.
- Bahwa proses kinerja sel tunam ganda dari variasi pencampuran volume kulit pisang dengan volume lumpur akan menghasilkan daya besar jika sudah memiliki sumber mikroba lebih banyak daripada substrat.
- Data produksi arus dapat disimpulkan bahwa yang memiliki nilai produksi arus terbesar yaitu R_{3L4P1} adalah 287,1 μA dan hasil yang memiliki arus fluktuatif yang paling stabil ialah pada R_{3L1P4} .
- Data produksi tegangan dapat disimpulkan bahwa yang memiliki nilai produksi tegangan terbesar yaitu R_{7L4P1} adalah 2681,4 mV dan hasil yang memiliki tegangan fluktuatif yang paling kecil pada R_{3L1P4} .

Daftar Pustaka:

- [1] Akbar, Nuzul. 2017. Analisis Pengaruh Material Logam Sebagai Elektroda Microbial Fuel Cell Terhadap Produksi Energi Listrik. Bandung:Universitas Telkom.
- [2] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. 2016. Outlook Energi Indonesia 2016. Jakarta: Pusat Teknologi Pengembangan Sumberdaya Energi BPPT.

- [3] Dwi, Nareswati Utari, Titik Istirokhatun, Mochtar Hadiwidodo.2014. Pemanfaatan Limbah Buah-buahan sebagai Penghasil Energi Listrik dengan Teknologi Microbial Fuel Cell (Variasi Penambahan Ragi dan Asetat). Volume 3, Semarang: Universitas Diponegoro.
- [4] Energy Contaned Indonesia. Buku Panduan Energi yang terbarukan, 15.
- [5] Kristin, Ester. 2012. Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe. Depok:Universitas Indonesia.
- [6] Novitasari, Deni. 2011. Optimasi Kinerja Microbial Fuel Cell (MFC) Untuk Produksi Energy Listrik Menggunakan Bakteri Lactobacilus bulgaricus. Depok: Universitas Indonesia.
- [7] Rosita, Dessy. 2017. Study Pemanfaatan Lumpur Sebagai Sumber Alternatif Energi Dengan Menggunakan Microbial Fuel Cells (MFCs). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [8] Yasni, Novi, Gusnedi dan Ratnawulan. 2015. Pengaruh Jenis Kulit Pisang Dan Variasi Waktu Fermentasi Terhadap Kelistrikan Dari Sel Accu Dengan Menggunakan Larutan Kulit Pisang. Padang: Universitas Negeri Padang.

