

**STUDI PENGARUH WAKTU INKUBASI SUBSTRAT TOMAT BUSUK PADA
MICROBIAL FUEL CELL TERHADAP PRODUKSI ENERGI LISTRIK PADA
REAKTOR DUAL CHAMBER**

**STUDY OF THE TIME INCUBATION TOMATO WASTE SUBSTRATE
EFFECT IN MICROBIAL FUEL CELL TO THE ELECTRICAL ENERGY
PRODUCTION ON REACTOR DUAL CHAMBER**

Nirwana P. Sipayung¹, M. Ramdhan Kirom, S.Si, M.Si², Reza Fauzi Iskandar, S.Pd, M.T.³

^{1,3}Prodi S1 Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

²Prodi S1 Desain Komunikasi Visual, Fakultas Industri Kreatif, Universitas Telkom

³Prodi D3 Manajemen Pemasaran, Fakultas Ilmu Terapan, Universitas Telkom

Sipayungwana96@gmail.com¹, jakasantang@gmail.com², rezafauzii@gmail.com³

Abstrak

Microbial Fuel Cell (MFC) merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai penghasil listrik. Penggunaan MFC dapat membantu pengolahan limbah yang ada dengan penambahan unsur kimia yang dapat membantu terjadinya proses pembentukan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengaruh substrat tomat busuk yang ditambah dengan lumpur sawah untuk menghasilkan listrik. Reaktor yang digunakan dengan sistem *dual-chamber*. Penelitian yang dilakukan selama 1 minggu dengan pengambilan data per dua jam dimana menghasilkan tegangan dan arus yang bervariasi tetapi perbedaannya tidak secara signifikan. Arus rata – rata yang dihasilkan pada setiap substrat yakni hari ke-3,7,dan 11 yakni 0,17 mA; 0,15mA; 0,18 mA dan tegangan rata-rata yang dihasilkan 552,05 mV, 456,17 mV, 439,31 mV. Elektron yang dihasilkan oleh bakteri dari substrat pada kompartemen anoda ditransfer menuju kompartemen katoda melalui jembatan garam. Tomat busuk digunakan sebagai substrat pada kompartemen anoda, akuades pada kompartemenkatoda,serta jembatan garam (NaCl 1M) sebagai media transfer proton. Dengan adanya penambahan tembaga (Cu) dan seng (Zn) yang bersifat elektrolit yang mampu menghasilkan energi listrik yang baik.

Kata kunci : *microbial Fuel Cell*, tomat busuk ,elektroda

Abstract

Microbial Fuel Cell (MFC) is one of the type of renewable energy to produce electricity. The use of MFC can help manage existing waste without chemicals that can help make electricity. This study aims to determine the magnitude of the effect of rotten tomato substrate coupled with rice mud to produce electricity. The reactor used with a dual-chamber system. The study was conducted for 1 week with data collection per two hours which produced varying voltages and currents but the differences were not significant. The average flow produced on each substrate is 3.7, and 11 days, which are 0.17 mA; 0.15 mA; 0.18 mA and the resulting average voltage is 552,05 mV, 456,17 mV, 439,31 mV. The electrons produced by bacteria from the substrate in the anode compartment are transferred to the cathode compartment via the salt bridge. Rotten tomatoes are used as substrate in the anode compartment, distilled in the compartment, and salt bridges (1M NaCl) as proton transfer media. With the addition of electrolyte tembaga (Cu) and zinc (Zn) which are capable of producing good electrical energy.

Keywords: *Microbial Fuel Cells*, rotten tomatoes, electrodes

1. Pendahuluan

Indonesia adalah salah satu Negara agraris didunia, sehingga menghasilkan berbagai jenis tanaman dan juga tumbuhan yang dapat dimanfaatkan dalam pertumbuhan dan perkembangan kehidupan manusia Tomat (*Solanum lycopersicum* syn. *Lycopersicum esculentum*) yang secara tekstur lembek dan karakteristiknya mudah rusak tidak jarang dijadikan sebagai sampah organik, produksi tomat menghasilkan limbah hingga 20-50%^[1]. Energi listrik dapat dihasilkan dari berbagai jenis buah yang bersifat asam, sedangkan tingkat keasaman buah berbeda – beda antara buah yang satu dengan yang lainnya. Dimana tingkat keasaman dengan PH yang dimiliki, semakin tinggi tingkat keasaman maka PH akan semakin rendah dan sebaliknya^[2].

Menurut data yang dikeluarkan dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dalam Outlook Energi Indonesia 2015 Konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) pada tahun 2015 bensin (45,5%), minyak solar (45,2%), avtur (6,3%), dan minyak tanah serta minyak bakar masing-masing sebesar 1,5% untuk rata-rata pertumbuhan tahunan konsumsi energi yang paling rendah adalah sektor lainnya yaitu sebesar 2,62% per tahun dan diikuti oleh sektor rumah tangga sebesar 1,59% per tahun^[3]. Lumpur sawah diyakini memiliki kandungan kaya akan organik yang menghasilkan bakteri sehingga ketika digabungkan dengan tomat busuk dapat membrikan dikonsumsi oleh *exoelectrogens* dan secara langsung mengangkut elektron luar sel. Sehingga dalam pemanfaatnya dengan campuran tomat busuk menimbulkan adanya bakteri pembusuk dalam katoda^[4]. Bakteri dapat digunakan dalam MFC untuk menghasilkan energi listrik dengan membiodegradasi senyawa organik atau limbah. Hal ini terjadi dengan cara memisahkan bakteri dari oksigen dan ketika bakteri melepaskan elektron akan menghasilkan perbedaan potensial antara kedua elektroda yang memproduksi arus listrik^[5]. Pada umumnya kandungan sendimen organik karbon sebesar 0,4–2,2% berat dengan demikian kandungan sendimen karbon terdapat sumber listrik di beberapa lokasi. Bahan-

bahan ini bisa dikonsumsi oleh *exoelectrogens* (microorganisme yang mampu mentransfer elektron) dan secara langsung mengangkut elektron luar sel. Sehingga dalam pemanfaatannya dengan campuran tomat busuk menimbulkan adanya bakteri pembusuk dalam katoda ^[6].

Sistem dengan menggunakan kombinasi logam, aluminium, Seng sebagai elektroda mampu mengkonversi senyawa organik menjadi energi listrik dengan nilai antara 0,048 mJ hingga 585,9 mJ dan sistem MFC dengan menggunakan kombinasi Cu/Zn dan Zn/Cu sebagai elektroda menghasilkan produksi energi listrik yang lebih besar dibandingkan pada kombinasi elektroda lainnya. Kerapatan daya maksimum yang dapat dihasilkan dari sistem MFC untuk dua kali pengukuran mencapai 32,62 mW/m² dengan menggunakan kombinasi elektroda Zn/Cu ^[5]. Banyak factor yang harus diperhatikan dalam pembuatan MF yakni metabolisme, membran atau jembatan garam sebagai pembawa proton, jenis material elektroda, dan suplai oksigen dalam proses pengikatan ion hidrogen.

2. Dasar Teori

2.1 Tomat atau *Solanum lycopersicum*

Tomat atau *Solanum Lycopersicum syn. Lycopersicum esculentum* merupakan tumbuhan dari keluarga *solanaceae*. Tomat merupakan salah satu tumbuhan asli Amerika Tengah dan Selatan serta Meksiko hingga Peru. Tanaman ini memiliki siklus hidup singkat dan dapat tumbuh setinggi 1 sampai 3 meter. Pemanfaatan buah tomat sebagai salah satu cara alternatif yang berguna sebagai energi pembangkit listrik karena tanaman ini mudah didapat dan dibudidayakan ^[7]. Penelitian menunjukkan bahwa tomat salah satu produk hortikultura yang berpotensi, tomat segar maupun olahan, memiliki komposisi zat gizi yang cukup lengkap terdiri dari 5 - 10 % berat kering tanpa air dan 1 % kulit dan biji dan pemilihan tomat apel sebagai substrat karena memiliki tekstur yang bulat dan memiliki kualitas daging yang tebal disbanding dengan tomat jenis lainnya ^[2]. Kandungan pada tomat yakni protein 3%, lipida 1%, solanin 0,07%, asam sitrat, asam malat, asam suksinat, asam furmanat dan asam galak turonat ^[8].

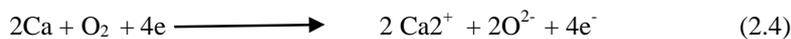
2.2 Reaksi Redoks – Reduksi

Transfer-elektron atau yang lebih dikenal sebagai reaksi oksidasi-reduksi (redoks) berperan banyak hal dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, sebagian besar unsur logam dan nonlogam diperoleh dari bijihnya melalui proses oksidasi dan reduksi [8]. Berikut contoh reaksi pembentukan kalsium oksida (CaO) dari kalsium dan oksigen: $2Ca(s) + O_2(g) \rightarrow 2CaO(s)$ (2.1)

Proses ini dibuat dalam dua langkah terpisah, langkah pertama melibatkan hilangnya empat electron dari atom Ca dan langkah kedua melibatkan penangkapan empat elektron oleh molekul O₂.



Setiap langkah diatas disebut sebagai reaksi setengah sel (half-reaction). Reaksi keseluruhan dari jumlah reaksi setengah sel tersebut yaitu:



Reaksi setengah sel yang melibatkan hilangnya elektron disebut reaksi **oksidasi** (*oxidate reaction*), sedangkan reaksi setengah sel yang melibatkan penangkapan elektron disebut reaksi **reduksi** (*reduction reaction*). Dalam proses diatas, kalsium teroksidasi atau berperan sebagai zat pereduksi sedangkan oksigen tereduksi atau berperan sebagai zat pengoksidasi. Hal yang harus diperhatikan dalam reaksi redoks adalah tingkat oksidasi harus sama dengan tingkat reduksi, yaitu jumlah elektron yang hilang oleh zat pereduksi harus sama dengan jumlah elektron yang diterima oleh zat pengoksidasi.

2.2.1 elektroda

Kompartemen anoda berisikan bakteri dan material organik. Material yang digunakan adalah glukosa. Material yang digunakan adalah glukosa. Menurut Rabaey, penggunaan glukosa sebagai sumber karbon dapat meningkatkan elektrisitas hingga 89% (Rabaey, 2003). Selanjutnya secara enzimatik glukosa akan terurai untuk menghasilkan dua molekul piruvat yang memiliki tiga atom karbon. Proses ini dikenal dengan glikolisis. Selama reaksi-reaksi glikolisis yang berurutan terjadi, banyak energi bebas yang diberikan oleh glukosa yang disimpan dalam bentuk ATP (Zahara, 2011). Material anoda yang digunakan harus bersifat *biocompatible* (sesuai dengan makhluk hidup), konduktif, dan stabil secara kimia di dalam reaktor ^[9]. Perancangan katoda merupakan tantangan utama yang sangat mempengaruhi MFC bekerja dengan baik atau tidak. Reaksi kimia yang terjadi pada katoda sulit untuk mengorganisir elektron, proton, dan oksigen agar bertemu pada katalis dalam reaksi fase katalis padat, udara dan cair. Katalis harus berada pada permukaan yang konduktif, dan juga harus terpapar air dan udara sehingga proton dan elektron yang berada pada fase yang berbeda berada pada titik yang sama ^[11].

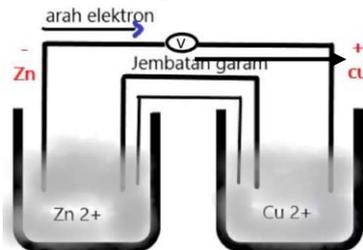
2.2.2 Elektrolit

Salah satu energi terbarukan yang menjadi perhatian beberapa Negara maju adalah Hidrogen. Hidrogen bukanlah sumber energi (*energy source*) melainkan pembawa energi (*energy carrier*), artinya Hidrogen tidak tersedia bebas di alam atau dapat ditambang layaknya sumber energi fosil, Hidrogen harus diproduksi. Pada prinsipnya, Hidrogen bisa diperoleh dengan memecah senyawa yang paling banyak mengandung unsur Hidrogen. Sampai saat ini, produksi Hidrogen dengan bahan baku air yang sudah komersial adalah dengan proses elektrolisis. Brown's Gas merupakan gas hasil dari proses pemecahan air murni (H₂O) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas Hidrogen dan

Oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen (O₂). Elektrolisis adalah suatu proses penguraian molekul air (H₂O) menjadi Hidrogen (H₂) dan Oksigen (O₂) dengan energi pemicu reaksi berupa energi listrik. Proses ini dapat berlangsung ketika dua buah elektroda ditempatkan dalam air dan arus searah dilewatkan diantara dua elektroda tersebut. Hidrogen terbentuk pada katoda, sementara Oksigen pada anoda. Selama ini elektrolisis dikenal sebagai proses produksi Hidrogen dari air yang paling efektif dengan tingkat kemurnian tinggi, tapi terbatas untuk skala kecil [10].

2.2.3. Sel Volta

Sel volta pertama kali dikembangkan oleh Alessandro Volta (1745-1827) dan Luigi Galvani (1737-1798). Dalam sel Volta, reaksi redoks akan menghasilkan arus listrik. Dimana energi kimia diubah menjadi energi listrik. Reaksi redoks pada sel Volta berlangsung secara spontan dan tidak membutuhkan energi listrik dari luar [15].



Melarutnya logam seng, larutan tabung kiri akan bermuatan positif, hal ini akan menghambat pelarutan logam seng selanjutnya. Sementara, larutan dalam tabung sebelah kanan akan bermuatan negatif seiring dengan mengendapnya ion Cu²⁺, hal ini akan menahan pengendapan ion Cu²⁺. Akibatnya aliran elektron tidak akan berkelanjutan. Untuk dapat menetralkan muatan listriknya, kedua larutan dihubungkan dengan jembatan garam, yaitu larutan garam. Ion – ion negatif dari jembatan garam akan bergerak kekiri untuk menetralkan kelebihan ion Zn²⁺, sedangkan ion – ion positif akan bergerak ke tabung kanan untuk menetralkan kelebihan SO₄²⁻. Jembatan garam melengkapi rangkaian tersebut sehingga menjadi rangkaian tertutup, tanpa kehadiran jembatan garam tidak ada arus listrik yang dapat diukur [16].

2.2.4 Potensial Elektroda

Standar Pada sel volta yang tersusun dari elektroda Zn dan Cu, elektroda Zn cenderung lebih mudah mengalami oksidasi dibandingkan logam Cu. Perbedaan kecenderungan teroksidasi mengakibatkan adanya perbedaan kerapatan muatan antara elektroda Zn dan elektroda Cu. Perbedaan kerapatan itu menyebabkan terjadinya beda potensial antara Zn dan Cu yang mendorong elektron mengalir. Untuk membandingkan kecenderungan logam-logam mengalami oksidasi digunakan elektroda hidrogen sebagai pembanding yang potensial elektrodanya adalah 0 volt. Potensial sel yang dihasilkan oleh elektroda logam dan elektroda hidrogen pada kondisi standar dan diukur pada suhu 250 °C dengan konsentrasi ion-ion 1 M dan tekanan gas 1 atm diberi lambing E₀. Jadi, dapat disimpulkan bahwa potensial elektroda standar menunjukkan urutan kecenderungan untuk mengalami reduksi, sehingga dikenal dengan potensial reduksi standar [14]. Persamaan potensial elektroda standar dapat ditulis dengan : E₀ Oksidasi = - E₀ Reduksi (2.6)

2.2.5 Potensial Sel

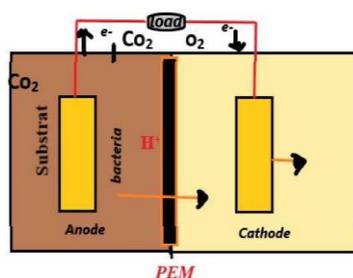
Perbedaan potensial dari kedua elektroda (anoda dan katoda) disebut beda potensial atau potensial sel standar yang diberi lambing E₀sel [14]. Potensial sel dapat dihitung dengan persamaan:

$$E_0 \text{ Sel} = E_0 \text{ Katoda} - E_0 \text{ Anoda} \quad (2.7)$$

Katoda merupakan tempat terjadinya reaksi reduksi sehingga memiliki E₀ yang lebih besar, sedangkan anoda mempunyai E₀ yang lebih kecil karena merupakan tempat terjadinya reaksi oksidasi. Potensial sel dapat digunakan untuk memperkirakan spontan tidaknya suatu reaksi redoks. Reaksi redoks berlangsung spontan bila E₀sel > 0 (positif) dan reaksi redoks bila E₀sel < 0 (negatif).

2.3. Microbial Fuel cell (MFC)

Microbial fuel cell (MFC) salah satu merupakan salah satu cara untuk memproduksi energi secara berkesinambungan dalam bentuk listrik dari bahan-bahan yang dapat didegradasi. Microbial fuel cell adalah alat untuk mengonversi energi kimia menjadi energi listrik dengan bantuan reaksi katalitik dari mikroorganisme (Allan dan Benneto 1993). Microbial fuel cell membangkitkan listrik dengan mengoksidasi bahan organik secara anaerob melalui bantuan bakteri. Aktivitas katalitik dan transfer proton dilakukan dengan menggunakan enzim atau tambahan mediator [17]. Skema MFC seperti pada Gambar:



Sebuah bahan konduktif yang mengandung resistor atau dioperasikan dibawah beban. Pada katoda, reaksi proton dan elektron terhadap oksigen akan menghasilkan air. Sebagai bagian dari proses digestive bakteri, pada kompartemen anoda CH₃COO⁻ + 4H₂O → 2HCO₃⁻ + 9H⁺ + 8e⁻ (2.11)

bahan bakar atau substrat dioksidasi dan menghasilkan ion positif (H⁺) dan elektron (e⁻). Pada kompartemen katoda akan terjadi reaksi reduksi yaitu kombinasi ion positif, elektron dan oksigen yang kemudian membentuk air. 4H⁺ + 4e⁻ + O₂ → 2H₂O (2.12)

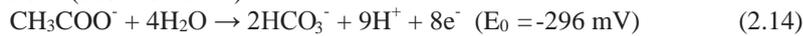
Reaksi keseluruhan dari jumlah reaksi setengah sel tersebut yaitu:



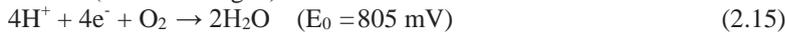
Persamaan reaksi tersebut menunjukkan proses degradasi asetat oleh mikroorganisme yang terjadi pada kondisi aerobik (oksigen digunakan sebagai akseptor elektron). Tegangan yang dihasilkan oleh MFC dapat disimpulkan

secara klasik dari energi bebas Gibbs terhadap reaksi redoks utama (dengan kondisi $\text{PH} = 7$, $T = 298 \text{ K}$):

Anoda (oksidasi asetat)



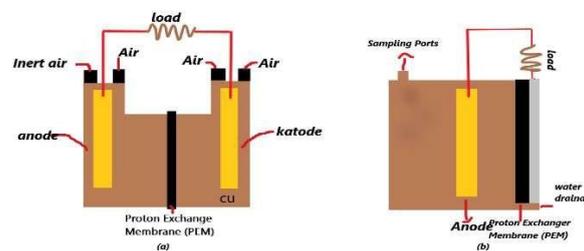
Katoda (reduksi oksigen)



Sementara nilai gaya gerak listrik secara teoritis adalah 1,1 volt, nilai yang sebenarnya selalu kurang dari teoritis. Kerugian atau kehilangan daya yang terjadi dipengaruhi oleh metabolisme bakteri dan arsitektur biofilm. Namun demikian, tegangan sebenarnya dari MFC umumnya berkisar 0,6 sampai 0,8 volt [18].

2.4. Dual chamber

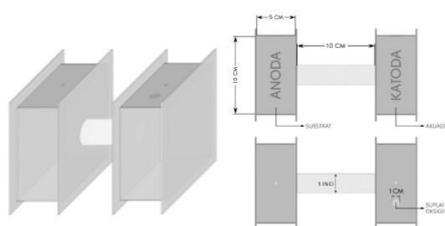
MFC memiliki dua ruang yang dipisahkan oleh membran penukar kation (PEM) atau jembatan garam. *Single Chamber* MFC hanya memiliki satu ruang sehingga substrat dan elektrolit bercampur. Disain ini bisa menggunakan PEM ataupun tanpa PEM. Dapat dilihat pada Gambar 2.4. dimana ruang anoda berisi substrat bakteri alami yakni tomat busuk dan lumpur sawah, sementara ruang katoda berisi larutan elektrolit yakni akuades. Pada setiap ruang akan di isi oleh substrat dan elektroda yakni Cu dan Zn yang dimana digunakan sebagai penghantar elektron dari katoda ke anoda yang dimana posisi dari elektroda yakni Zn dan Cu diletakkan secara sejajar dengan ruang anoda dan katoda yang dimana hal itu dilakukan agar arus yang terbentuk elektron yang tegak lurus dengan jembatan garam sehingga menghasilkan energi listrik. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kapasitas daya yang bisa diproduksi [19].



Pada prinsip kerja dengan dual-chamber dimana substrat pada anoda dioksidasi oleh bakteri yang menghasilkan elektron dan proton. Elektron di transfer ke anoda lalu di alirkan ke katoda melalui kabel jamper, sedangkan proton didifusikan memelalui jembatan garam menuju katoda. Proton dan elektron pada katoda selanjutnya akan bereaksi dengan oksigen menghasilkan air (H_2O). Prinsip kerja dengan single chamber dimana substrat berada dalam satu reaktor yang dimana bakteri juga mengalami oksidasi oleh bakteri yang menghasilkan elektron dan proton. Elektron di transfer ke anoda dan langsung menuju kabel jamper, sedangkan proton di difusikan melalui PEM dengan oksigen sehingga menghasilkan listrik. Dapat dilihat bagaimana perbedaan antara sistem MFC dengan *dual-chamber* dan *single chamber* yang dimana pada *single chamber* tanpa adanya penambahan air dalam proses pembentukan listrik yang dimana dalam pembentukan listrik dibutuhkan ion negatif. PEM yang digunakan pada *single chamber* memiliki resiko cepat pecah karena adanya kontak langsung dengan udara. Elektroda yang digunakan pada *dual-chamber* membran penghubung anantara katoda dan anoda dengan jembatan garam yang dibentuk pilinan sumbu kompor yang dimasukkan kedalam pipa. Sehingga kontak langsung dengan udara tidak ada.

3. Perancangan

3.1. Pembuatan Reaktor



Gambar 3. 1. Rancangan Reaktor MFC *dual-chambers*

3.2. Preparasi Jembatan Garam

Jembatan garam yang digunakan adalah dengan menggunakan sumbu kompor yang telah dipilin dan kertas saring. Sumbu kompor yang telah dipilin dijadikan sebagai jembatan garam yang menghubungkan antara anoda dan katoda yang dipotong sepanjang 10 cm, kemudian direndam dalam larutan garam yang dibuat dengan cara melarutkan senyawa NaCl kedalam air yang telah dipanaskan. Setelah larutan meresap, sumbu kompor yang telah dipilin tersebut dijemur dan dimasukkan ke dalam pipa PVC untuk mencegah terjadinya kebocoran, dengan tiap-tiap ujung pilinan dibiarkan terbuka sebagai penghubung antar kompartemen. Mobalitas ionik dalam jembatan garam berpengaruh terhadap Rlarutan, dimana semakin kecil nilai R larutan maka nilai kuat arus yang dihasilkan akan maksimal,sesuai dengan hukum Ohm yang mengatakan bahwa hambatan berbanding terbalik dengan kuat arus [5]. Berdasarkan jurnal penelitian Muralidharan et al. (2011), dilakukan variasi konsentrasi larutan NaCl mulai dari 1,3,5,7 dan 9 M. hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa nilai kerapatan daya (*power density*) terbesar dihasilkan oleh konsentrasu 1 M. oleh karena itu maka dalam penelitian ini menggunakan NaCl dengan konsentrasi 1M sebagai larutan garam. Molaritas didefenisikan oleh persamaan[11].

$$M = \frac{gr}{Mr \cdot V} \tag{3.1}$$

Dimana
 M = molaritas suatu zat (mol/L)
 gr = massa suatu zat (gram)
 Mr = massa molekul relatif suatu zat (g/mol)
 V = volume larutan (ml)

Dengan

$$n = \frac{gr}{Mr} \tag{3.2}$$

Dimana
 n = mol suatu zat (mol)
 gr = massa suatu zat (gr)
 Mr = massa molekul relatif suatu zat (gr/mol)

3.3. Preparasi Elektroda

Pada kompartemen anoda dan katoda, elektroda yang digunakan adalah grafit parameter dalam penelitian. Elektroda yang digunakan dalam bentuk plat 5 cm ,lebar 2 cm ,dan tebalnya 0,5 mm. Seng dan tembaga dipilih sebagai elektroda karena harganya yang relatif murah. Material seng dipilih sebagai pengisi kompartemen anoda karena seng lebih mudah mengalami oksidasi, selain itu seng mempunyai sifat nonkorosif sehingga dapat dimanfaatkan sebagai anoda.

Table 3.3. Material yang digunakan sebagai Elektroda^[15]

Material	Nomor Atom	Konfigurasi Elektron	Resistivitas (Ωm) Pada suhu 200 C	Potensial Elektroda Standar (V)
Seng	30	[Ar] 3d10 4s2	6,0 x 10-8	-0,76
Tembaga	29	[Ar] 3d10 4s1	1,72 x 10-8	+0,34

Setelah itu elektroda direndam lagi ke dalam larutan NaOH 1M selama 1 hari kemudian dibilas dengan menggunakan aquades. Elektroda direndam dalam larutan aquades hingga saat akan digunakan^[14].

3.4. Eksperimen MFC

Pada eksperimen dengan substrat limbah tomat busuk, kompartemen diisi dengan limbah tomat busuk ditambah dengan lumpur sawah dengan sebanyak 500mL dan kompartemen katoda diisi dengan larutan elektrolit aquades sebanyak 500mL. Dalam proses ini variasi dari jumlah waktu untuk inkubasi dari substrat tomat busuk dengan jangka waktu 4 hari untuk setiap pergantian substrat dengan kadar substrat tomat busuk 60 % (300mL) dan lumpur 40 % (150 mL) akan dilakukan secara berulang dengan cara menambah jumlah hari dalam proses inkubasi. Proses mencampurkan antara substrat tomat dan lumpur dilakukan pada suatu wadah yang telah disediakan lalu diaduk sampai merata. Table 3.2. akan menjelaskan variasi lamanya waktu proses inkubasi.

Table 3.2. Variasi Hari dalam Pengukuran substrat

No	Jumlah Substrat (mL)	Tomat busuk (mL)	Lumpur sawah (mL)	Jumlah Hari
1	450	300	150	3
2	450	300	150	7
3	450	300	150	11

3.5. Pengukuran Kuat Arus dan Tegangan

Data logger (perekam data) adalah sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen didalamnya maupun eksternal sensor dan instrumen. Secara singkat data logger adalah alat untuk melakukan data logging. Data tersebut dihubungkan pada Arduino ATmega38 yang dimana akan deprogram pada aplikasi Arduino sesuai dengan yang diinginkan yakni merekam data arus yang dihasilkan, arus dan juga tegangan yang dihasilkan^[21]. Masukin rumus juga^[5].

$$P = \text{Daya} = \text{Tegangan (V)} \times \text{Arus (A)} \tag{3.3}$$

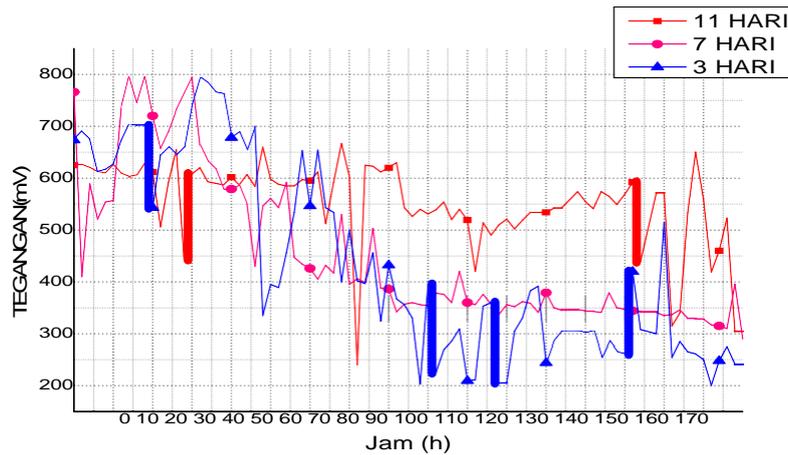
$$Pd = \text{Kerapatan daya} = \frac{p(\text{watt})}{\text{Luas Permukaan (cm}^2\text{)}} \tag{3.4}$$

$$E = \text{energi} \tag{3.5}$$

4. Hasil dan Pembahasan

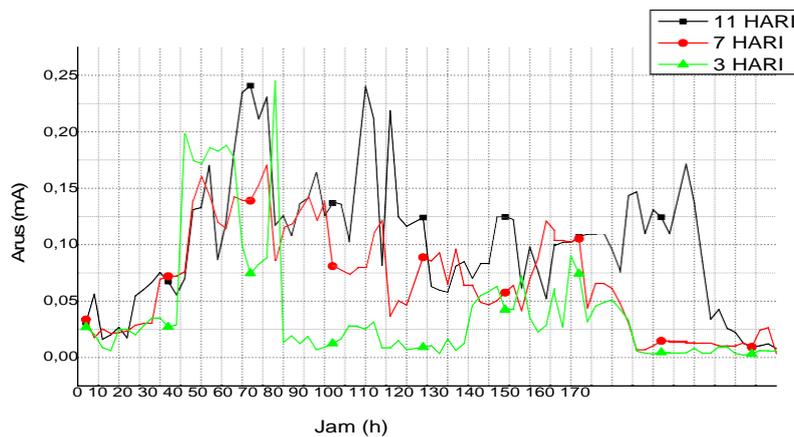
4.1. Hasil Pengukuran Tegangan dan Kuat Arus Listrik Pada Variasi Pembusukan Tomat

Tegangan diukur menggunakan data logger sedangkan kuat arus diukur menggunakan multimeter yang dihubungkan pada kedua elektroda pada sistem MFC. Kuat arus yang terukur diakibatkan adanya pergerakan ion-ion dan perbedaan potensial redoks di kompartemen anoda dan katoda, serta perbedaan reaksi kimia yang terjadi di kompartemen anoda dan katoda.



Gambar 4.1 Grafik Pengukuran Tegangan Sistem MFC pada Tanggal 3 november – 10 november 2018

Pada Gambar 4.2 diperlihatkan grafik hasil pengukuran tegangan pada sistem MFC selama 7 hari. Pengukuran pada sistem ini tidak menggunakan hambatan atau beban listrik eksternal seperti resistor, sehingga bisa disebut Tegangan Sirkuit Terbuka. Sedangkan untuk data hasil pengukuran kuat arus dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah ini:



Gambar 4.2 Grafik Arus terhadap Waktu Grafik Sistem MFC pada Tanggal 3 november – 10 november 2018

Tabel 4.1 Tabel Pengukuran Tegangan dan Arus

Pembusukan tomat dilakukan secara bertahap dari tanggal 3 november s/d 3 november 2018 dengan waktu pembusukan yakni 3 hari , 7 hari dan 11 hari. Pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 dapat diambil kesimpulan bahwa waktu pembusukan berpengaruh terhadap tegangan dan arus yang dihasilkan tetapi tidak secara signifikan karena berkurangnya senyawa organik akibat terus terdegradasi oleh mikroba pada substrat dan ketika tegangan yang dihasilkan tinggi maka arus yang dihasilkan kecil karena adanya pengaruh PH asam pada substrat yang mempengaruhi bakteri untuk berkembang.

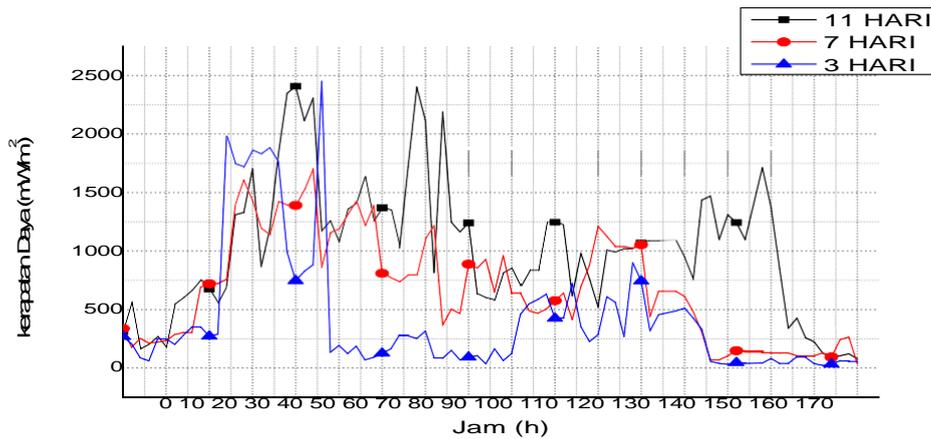
Pengambilan lumpur dilakukan secara bersamaan untuk setiap pengukuran. Pengukuran dengan sistem MFC ini dengan substrat tomat busuk menghasilkan 3 jenis data yang berbeda dimana tegangan yang dihasilkan adalah pada setiap pembusukan yang tidak jauh berbeda yakni terlihat pada tabel pengukuran dibawah ini :

Tabel 4.1 Tabel Pengukuran Tegangan dan Arus

Waktu	Arus Tertinggi	Tegangan Tertinggi	Arus rata-rata	Tegangan Rata- rata
3 hari	0,35 mA	794 mV	0,173156 mA	552,05 mV
7 hari	0,34 mA	796 mV	0,150586 mA	456,17mV
11 hari	0,38 mA	660 m V	0,182560 mA	439,31 mV

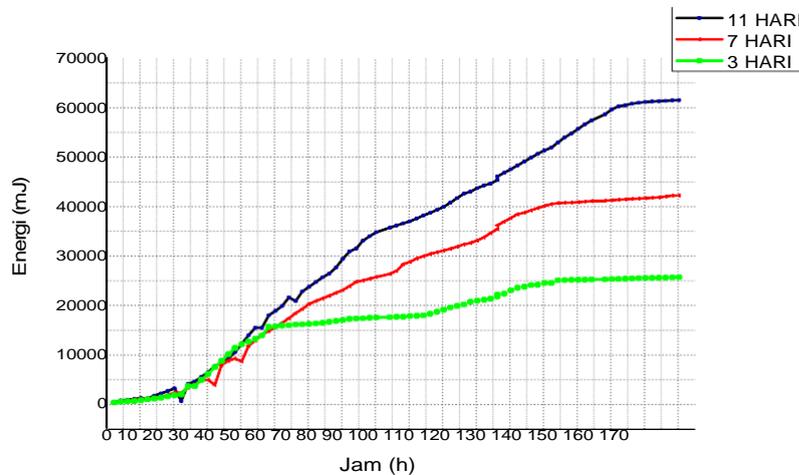
Pada tabel Tabel 4.1 menjelaskan bagaimana arus dan tegangan yang dihasilkan pada setiap hasil pengukuran memiliki arus dan tegangan yang berbeda karena adanya pengaruh dari variasi waktu pembusukan substrat. Pada table 4.1. dapat dilihat jumlah arus Ma dan tegangan mV. Hambatan internal pada sistem MFC sangat berpengaruh terhadap produksi energi listrik. You et al. (2006) mengatakan bahwa, pada umumnya sistem

MFC *dual-chambers* terbatas oleh besarnya nilai hambatan internal yang dapat mencapai 1000 Ω. Pada penelitian dengan menggunakan substrat jerami oleh Octavia Lita Sianturi, secara keseluruhan, tegangan maksimal yang dihasilkan oleh sistem MFC ini adalah 1293 mV dan arus maksimal 0,126 mA dengan waktu pembusukan jerami selama 5 hari^[24] dan pada penelitian T.Nuzul menjelaskan kuat arus yang dihasilkan oleh MFC ini sebesar 0,13 mA dengan elektoda Cu/Zn dan Zn/Cu pada pengukuran pertama dan pengukuran kedua dengan elektroda Zn/Cu^[5]. Dapat terlihat bagaimana perbandingan arus dan tegangan yang dihasilkan dari substrat yang berbeda dengan acuan pada waktu pembusukan. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi yang menyebabkan terjadinya kenaikan harga hambatan internal seperti terbentuknya lapisan sel bakteri (biofilm) pada permukaan anoda yang dapat menutupi luas permukaan anoda aktif, sehingga dapat menghambat proses transfer elektron menuju katoda dan menyebabkan penurunan nilai kerapatan^[25]. Selain itu, kandungan nitrat didalam substrat lumpur sawah dapat menjadi akseptor elektron dalam kompartemen anoda dan menyebabkan rendahnya nilai produksi listrik yang dihasilkan sistem MFC sebagai akibat proses denitrifikasi. Proses ini biasanya pada sawah yang tergenang, dimana bakteri menggunakan nitrat penerima elektron terakhir untuk memperoleh energi pada kondisi oksigen terbatas atau aerob^[26].



Gambar 4.4 Grafik Pengukuran Kerapatan Daya terhadap Waktu Grafik Sistem MFC pada Tanggal 3 november – 10 november 2018

Kerapatan Daya yang dihasilkan pada perhitungan dengan elektroda yang digunakan pada percobaan ini berbentuk pelat dengan luas permukaan 10 cm² untuk tiap sisi-sisinya. Kerapatan Daya yang dihasilkan pada setiap pembusukan dari 3 ,7, dan 11 hari yakni 1013,98mW/m², 684,14 mW/m², 427,08 mW/m². Dapat terlihat bagaimana pengaruh dari Penurunan nilai kerapatan daya dengan waktu pembusukan yang bervariasi yang disebabkan karena adanya kestabilan mikroba yang mendegradasi senyawa organik sebagai substrat. Apabila waktu terlalu lama maka senyawa organik yang terdapat di anoda akan terus terdegradasi dikarenakan tidak ada senyawa organik yang tersisa untuk dioksidasi.



Gambar 4.5 Grafik Pengukuran Energi terhadap Waktu Sistem MFC pada Tanggal 3 november – 10 november 2018

Energi yang dihasilkan oleh sistem MFC dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5, dimana besarnya nilai energi tersebut ditentukan oleh besarnya daya listrik dibagi dengan waktu. Gambar 4.5 menunjukkan grafik energi terhadap waktu yang dihasilkan oleh sistem MFC ini, dimana seiring lamanya waktu fermentasi maka energi yang dihasilkan pada sistem juga semakin besar. Namun ketika mikroba di dalam reaktor sudah mulai habis maka energi yang dihasilkan sistem juga semakin menurun.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Substrat lumpur sawah yang dicampur dengan tomat yang sudah dibusukkan dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk memproduksi listrik dengan sistem *Microbial Fuel Cell*.
2. Pada variasi pembusukan tomat sebagai substrat yang dicampur dengan lumpur sawah, kerapatan daya yang dihasilkan pada setiap pembusukan dari 3, 7, dan 11 hari yakni 1013,98 mW/m², 684,14 mW/m², 427,08 mW/m².

6. SARAN

Beberapa saran yang dapat diberikan sebagai penunjang dalam pengembangan *Microbial Fuel Cell* untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut :

1. Perlu dilakukannya penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan performa dari sistem MFC sehingga dapat menghasilkan produksi listrik yang lebih baik lagi.
2. Dilakukan pengujian dengan menggunakan jenis tomat busuk yang berbeda karena dapat mempengaruhi PH dari setiap tomat untuk dapat menghasilkan energi listrik dengan menggunakan sistem MFC.
3. Perlu dilakukan dengan menggunakan 2 yang berada pada satu reaktor yang terhubung untuk mengetahui seberapa resistif suatu elektroda untuk dapat mengalirkan H⁺.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. D. Ani, I. Apriani, and Y. Fitrianiingsih, "Pemanfaatan Limbah Tomat Sebagai Agen Dekomposer Pembuatan Kompos Sampah Organik," pp. 1–11, 2004.
- [2] Atina, "Tegangan Dan Kuat Arus Listrik Dari Sifat Asam Buah," *Sainmatika*, vol. 12, no. 2, pp. 28–42, 2015.
- [3] Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, *Indonesia Energy Outlook 2015*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [4] A. Bose and D. Bose, "Electricity Generation & Other Applications using Microbial Fuel Cell," vol. 37, pp. 320–333, 2016.
- [5] T. N. Akbar, "ANALISIS PENGARUH MATERIAL LOGAM SEBAGAI ELEKTRODA MICROBIAL FUEL CELL TERHADAP PRODUKSI ENERGI LISTRIK," 2017.
- [6] M. Rahimejad, A. Adhami, S. Darvari, A. Zirepour, and S. E. Oh, "Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review," *Alexandria Eng. J.*, vol. 54, no. 3, pp. 745–756, 2015.
- [7] Mappiratu, Nurhaeni, and I. Israwaty, "Pemanfaatan tomat afkir untuk produksi likopen," *Media Litbang Sulteng*, vol. 3, no. 1, pp. 64–69, 2010.
- [8] Hasri, "Kandungan Likopen Buah Tomat (*lycopersicum esculentum* L.) terhadap Waktu dan Suhu Pemanasan," pp. 28–35.
- [9] S. Energyclean and E. Food, "Turning deamaged tomatoes into electricity."
- [10] Koran Jakarta. "Pembangkit Listrik dari Limbah Tomat," 01 Desember 2016. Diakses pada <http://www.koran-jakarta.com/pembangkit-listrik-dari-limbah-tomat/> pada 24 juni 2018.
- [11] R. Chang, *Koleksi Buku 2008 Chang, Raymond " Kimia dasar : konsep-konsep inti jilid 2 / Raymond Chang ; Alih bahasa : Suminar Setiati Achmadi ; Editor : Lemeda Simarmata " 2008*. 2008.
- [12] T. N. Akbar, "ANALISIS PENGARUH PENGONTROLAN TEKANAN TERHADAP PRODUKSI GAS HIDROGEN PADA REAKTOR TEMPERATURE PHASED ANAEROBIC DIGESTER (TPAD) FASE ASIDOGENESIS ANALYSIS," 2016.
- [13] F. Rhozman, M. Pd, and A. Akbar, "JURNAL PENGARUH PANJANG ELEKTRODA PADA PROSES ELEKTROLISIS DENGAN KATALIS NaHCO₃ Oleh: HELMY IMAMI KHUSNA Dibimbing oleh: UNIVERSITAS NUSANTARA PGRI KEDIRI SURAT PERNYATAAN ARTIKEL SKRIPSI TAHUN 2017," vol. 01, no. 02, pp. 0–8, 2017.
- [14] <https://id.wikipedia.org/wiki/Elektrolit>, "elektrolit," 2016.
- [15] FATKHURROHMAN and AMIN, "Aplikasi teknik kombinasi adsorpsi-elektrolisis untuk menurunkan COD dalam limbah industri bahan kimia sanitasi PT. Protekindo Sanita Jakarta," p. 29, 2010.
- [16] R. Chang, "Chemistry 10th ed," *Chemistry (Easton)*, pp. 1062–1084, 2010.
- [17] B. Ibrahim, P. Suptijah, and Z. N. Adjani, "Kinerja Microbial Fuel Cell Penghasil Biolistrik Dengan Perbedaan Jenis Elektroda Pada Limbah Cair Industri Perikanan," *Jphpi 2017*, vol. 20, no. 2, 2017.
- [18] A. de Juan, *Microbial Fuel Cell - Literature review*. 2014.
- [19] U. Indonesia, E. Kristin, F. Teknik, P. Studi, and T. Bioproses, "Produksi Energi Listrik Melalui Microbial Fuel Cell Menggunakan Limbah Industri Tempe," 2012.
- [20] E. Widjajanti, "Elektrokimia 1," vol. 2, 2005.
- [21] N. L. Marpaung and E. Ervianto, "Data Logger Sensor Suhu Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535 dengan PC sebagai Tampilan," *Ilm. Elit. Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 37–42, 2012.
- [22] S. Vol and V. I. I. No, "Inkubasi Titonia Pada Tanah Sawah (Gusnidar, et al.): 7-18 ISSN : 1829-7994," vol. VII, no. 1, pp. 7–18, 2010.
- [23] Y. Zhang, *Energy recovery from waste streams with microbial fuel cell (MFC)-based technologies*. 2012.
- [24] O. L. Sianturi, *ANALISA PENGARUH PEMBUSUKAN JERAMI TERHADAP POTENSI ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN MICROBIAL FUEL CELL*. 2018.
- [25] D. Permana, H. R. Haryadi, H. E. Putra, W. Juniaty, S. D. Rachman, and S. Ishmayana, "Evaluasi Penggunaan Metilen Biru Sebagai Mediator Elektron Pada Microbial Fuel Cell Dengan Biokatalis Acetobacter Aceti," *Molekul*, vol. 8, no. 1, p. 78, 2017.
- [26] J. Barat, "Oleh :Nirliani," *Akt. BAKTERI DENITRIFIKASI ASAL SAWAH DIBOGOR, JAWA BARA*, 2007.