



KARYA ILMIAH

SMA KOLESE DE BRITTO



Inovasi Pengelolaan Limbah Kantin Sekolah Menggunakan *Microbial Fuel Cell*

Gregorius Emmanuel Aryo Menoreh Tobing^{a,1*}, Bumi Sinatria^{a,2}, Abednego Wiraredya^{a,3}, Robertus Arifin

Nugroho^a SMA Kolese De Britto, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

¹ 17805@student.debritto.sch.id*; ² 17831@student.debritto.sch.id; ³ 17824@student.debritto.sch.id

*korespondensi penulis

Informasi artikel

Kata kunci:

Microbial Fuel Cell (MFC)

limbah organik

energi alternatif

pengelolaan limbah

sampah makanan

ABSTRAK

Kota Yogyakarta menghasilkan 360 ton limbah setiap hari yang dibuang ke TPA Piyungan yang membuat penuh dan harus ditutup. Hal ini menyebabkan limbah berserakan di kota dan mengganggu kesehatan masyarakat. Persentase limbah organik mencapai 53,51%. limbah organik tersebut sebenarnya masih memiliki potensi untuk diolah sebagai sumber energi alternatif, yakni salah satu metodenya menggunakan *Microbial Fuel Cell* (MFC). Teknologi MFC ramah lingkungan karena bisa menyelesaikan masalah limbah organik sekaligus menghasilkan energi. Lokasi penelitian dipilih di SMA Kolese De Britto, mengingat limbah makanan dari kantin sekolah belum dikelola secara optimal, sehingga menciptakan peluang untuk penerapan solusi inovatif berbasis bioteknologi. Penelitian dilakukan menggunakan desain eksperimental dengan perlakuan variasi komposisi limbah sayur dan nasi, yaitu 3:2 (96 gram sayur, 64 gram nasi) dan 2:3 (64 gram sayur, 96 gram nasi). Data diperoleh melalui wawancara, observasi dan eksperimen. Analisis data menggunakan uji-t. Hasil menunjukkan bahwa perlakuan 3:2 menghasilkan daya listrik tertinggi sebesar 68.750 mWatt, dibandingkan dengan perlakuan 2:3 yang hanya mencapai 9.129 mWatt. Hasil uji-t menunjukkan kedua perlakuan tersebut berbeda secara signifikan ($t = 3,48$, $p = 0,013$). Komposisi pada perlakuan 3:2 menyatakan bahwa teknologi MFC memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai sumber energi alternatif. Hasil ini berpotensi untuk diaplikasikan sebagai sumber energi pada lampu LED 5 Watt dan 10 Watt di SMA Kolese De Britto. Residu dari MFC ini dapat diolah menjadi pupuk cair. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi MFC memiliki potensi untuk dikembangkan ke skala yang lebih luas, untuk menyelesaikan masalah limbah organik di Kota Yogyakarta.

ABSTRACT

Keywords:

Microbial Fuel Cell (MFC)

organic waste

alternative energy

waste management

food waste

Yogyakarta generates 360 tons of waste daily, which is disposed of at the Piyungan landfill that is now overburdened and must be closed. This situation has led to scattered waste in the city, negatively impacting public health. Organic waste constitutes 53.51% of the total and still holds potential to be processed as an alternative energy source, one method being *Microbial Fuel Cell* (MFC) technology. MFC technology is environmentally friendly as it addresses organic waste issues while generating energy. The study was conducted at SMA Kolese De Britto, where food waste from the school canteen remains underutilized, creating opportunities for innovative biotechnology-based solutions. The research employed an experimental design with variations in vegetable and rice waste composition, specifically 3:2 (96 grams of vegetables, 64 grams of rice) and 2:3 (64 grams of vegetables, 96 grams of rice). Data were collected through interviews, observations, and experiments, and analyzed using a t-test. Results showed that the 3:2

treatment produced the highest electrical power of 68.750 mWatt, compared to the 2:3 treatment, which only generated 9.129 mWatt. The t-test results revealed a significant difference between the two treatments ($t = 3.48$, $p = 0.013$). The 3:2 composition indicates that MFC technology has potential for development as an alternative energy source. These findings suggest applicability as a power source for 5-Watt and 10-Watt LED lamps at SMA Kolese De Britto. The residuals from the MFC can be processed into liquid fertilizer. This study demonstrates that MFC technology holds promise for broader applications to address organic waste problems in Yogyakarta.

© 2023 (Nama Penulis). All Right Reserved

Pendahuluan

Saat ini, negara-negara anggota PBB berkomitmen untuk mencapai kehidupan berkelanjutan melalui program Sustainable Development Goals (SDGs) (Fonseca dkk., 2020). Indonesia turut mendukung dengan menetapkan Perpres Nomor 59 Tahun 2017 yang menunjukkan komitmen dalam pembangunan berkelanjutan (Kemitraan Multi Pihak, 2019). SDGs memiliki lima prinsip utama: People, Planet, Prosperity, Peace, dan Partnership (Amirya & Gugus, 2023).

Namun, pencapaian SDGs di Indonesia masih menghadapi tantangan signifikan (Amirya & Gugus, 2023). Penelitian ini mendukung SDGs ke-7, "Affordable and Clean Energy," dan SDGs ke-12, "Responsible Consumption and Production," melalui pemanfaatan limbah makanan sebagai sumber energi terbarukan menggunakan teknologi Microbial Fuel Cell (MFC) (Cahyani dkk., 2022).

Hingga saat ini, kesenjangan akses energi bersih masih menjadi tantangan global. Di sisi lain, konsumsi sumber daya yang berlebihan dan kurangnya kesadaran tentang konsumsi bertanggung jawab memperparah persoalan limbah makanan. Di DIY, 53,51% limbah merupakan sisa makanan (Sunartono, 2024). Limbah ini, jika tidak dikelola, dapat mencemari lingkungan dan membahayakan kesehatan masyarakat (Hamidah dkk., 2023).

Pengelolaan limbah konvensional, seperti pengomposan, membutuhkan waktu lama dan dapat menghasilkan gas metana. Sementara itu, pembakaran limbah menghasilkan polutan berbahaya seperti dioksin (Zebua dkk., 2023). Oleh karena itu, teknologi MFC menawarkan solusi inovatif dengan memanfaatkan mikroba untuk menguraikan limbah organik dan menghasilkan arus listrik (Christwardana dkk., 2020).

MFC tidak hanya mendukung pengelolaan limbah, tetapi juga menghasilkan energi terbarukan yang ramah lingkungan (Polontalo dkk., 2021). Dengan memanfaatkan limbah makanan yang kaya karbohidrat, lemak, dan protein, MFC mampu mengurangi emisi karbon dioksida dan mengatasi tantangan energi global ((Laily & Juliastuti, 2022). Pengembangan integrasi MFC dengan energi terbarukan lain, seperti solar dan angin, dapat meningkatkan keandalan sistem energi (Laily & Juliastuti, 2022).

SMA Kolese De Britto menjadi lokasi ideal untuk penelitian ini karena kantin sekolah mencerminkan kebiasaan konsumsi siswa sekaligus menghadirkan peluang untuk pengelolaan limbah makanan secara berkelanjutan. Selain itu, MFC melengkapi pengelolaan maggot yang sudah ada dengan menghasilkan energi terbarukan. Komposisi limbah makanan menjadi variabel penting yang memengaruhi efisiensi MFC, di mana kandungan karbohidrat menyediakan sumber energi utama, sedangkan protein dan lemak memerlukan penguraian lebih kompleks.

Pengembangan dan penerapan MFC membutuhkan pendekatan multidisiplin, melibatkan bioteknologi, rekayasa material, dan ilmu lingkungan (Achmad dkk., 2023). Dukungan pemerintah dan kolaborasi antar sektor penting untuk mempercepat adopsi teknologi ini (Sahid dkk., 2021). Dengan memahami komposisi limbah makanan, penelitian ini dapat memaksimalkan potensi MFC sebagai solusi berbasis sains yang aplikatif dalam mengatasi krisis energi dan limbah.

Penelitian ini menegaskan pentingnya langkah-langkah berkelanjutan untuk menciptakan sistem energi terbarukan di komunitas pendidikan, yang tidak hanya mengurangi dampak lingkungan tetapi juga

mendukung upaya mitigasi perubahan iklim (Mulyo dkk., 2022).

Rumusan masalah dalam penelitian ini mencakup empat poin utama. Pertama, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jenis sampah makanan yang dominan ditemukan berdasarkan rata-rata massa sampah selama lima hari pengamatan. Kedua, penelitian ini ingin mengkaji apakah terdapat perbedaan signifikan pada rata-rata daya listrik yang dihasilkan oleh dua kelompok Microbial Fuel Cell (MFC) dengan variasi kombinasi substrat, yaitu perlakuan 1 dengan komposisi 3:2 (96 gram sayur dan 64 gram nasi) dan perlakuan 2 dengan komposisi 2:3 (64 gram sayur dan 96 gram nasi), melalui uji t. Ketiga, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan hari di mana sistem MFC menghasilkan rata-rata daya listrik tertinggi selama penelitian berlangsung. Keempat, penelitian ini berusaha mengimplementasikan hasil temuan dari MFC dengan substrat kombinasi tersebut sebagai alternatif pengelolaan sampah organik di SMA Kolese De Britto.

Sejalan dengan rumusan masalah tersebut, penelitian ini memiliki beberapa tujuan. Pertama, untuk mengidentifikasi jenis sampah makanan yang paling dominan ditemukan berdasarkan rata-rata massa sampah selama lima hari pengamatan. Kedua, untuk menganalisis perbedaan rata-rata daya listrik yang dihasilkan antara dua kelompok MFC dengan variasi substrat yang telah disebutkan melalui uji t. Ketiga, untuk menganalisis hari optimal di mana sistem MFC menghasilkan daya listrik tertinggi selama penelitian. Terakhir, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan hasil temuan MFC tersebut sebagai alternatif yang aplikatif dalam pengelolaan sampah organik di lingkungan sekolah.

Kajian Literatur

A. Sampah

Food waste, atau sisa makanan, sering kali terjadi akibat pola konsumsi berlebihan di masyarakat perkotaan, di mana makanan disajikan dalam jumlah lebih banyak dari yang dapat dikonsumsi. Hal ini menyebabkan pemborosan sumber daya dan penambahan volume sampah yang sulit dikelola. Pengelolaan food waste menjadi penting karena limbah makanan dapat menimbulkan masalah sosial, ekonomi, dan lingkungan. Solusi

pengelolaan yang diterapkan meliputi pengurangan konsumsi makanan dan daur ulang limbah untuk diubah menjadi produk yang berguna, seperti pupuk atau energi listrik (Nasir dkk., 2023). Salah satu metode untuk mengonversi limbah makanan menjadi energi adalah dengan pembakaran, yang disebut biomassa, meskipun metode ini menghasilkan emisi beracun yang tidak diinginkan di beberapa negara. Metode lain adalah pencernaan anaerobik, yang menghasilkan biogas seperti metana dan karbon dioksida untuk energi, namun membutuhkan waktu dua minggu. Sebagai alternatif yang lebih cepat, teknologi sel bahan bakar mikroba (MFC) dapat mengubah limbah makanan menjadi energi listrik dalam waktu hanya dua hari. Meskipun demikian, pengelolaan limbah makanan ini tetap menghadapi tantangan, seperti komposisi limbah yang beragam, kadar kelembaban tinggi, dan nilai kalorifik yang rendah, yang memengaruhi konsistensi hasil energi yang diperoleh (Nasir dkk., 2023).

B. Mikroorganisme

Mikroorganisme memiliki empat fase utama:

Fase Lag : Pada tahap awal ini, mikroorganisme beradaptasi dengan lingkungan baru tanpa membelah. Aktivitas metabolik seperti sintesis enzim, protein, dan RNA meningkat untuk mempersiapkan pertumbuhan sel.

Fase Eksponensial : Mikroorganisme membelah secara aktif dan berkembang secara eksponensial. Laju pertumbuhan maksimum terjadi, ditandai dengan sintesis DNA, protein, dan energi yang optimal.

Fase Stasioner : Jumlah sel hidup stabil karena laju pembelahan seimbang dengan laju kematian. Nutrisi mulai habis, dan produk metabolit toksik menumpuk, menyebabkan pertumbuhan terhenti.

Fase Kematian : Sel mulai mati lebih cepat daripada pembelahan karena habisnya nutrisi, akumulasi limbah, dan perubahan lingkungan seperti pH ekstrem. Struktur sel rusak, menyebabkan kebocoran dan kematian sel (Saraswati, 2020)

C. Microbial Fuel Cell

Microbial Fuel Cell (MFC) adalah alat yang menghasilkan listrik dari bahan organik yang dapat terdegradasi dengan bantuan mikroorganisme. MFC bekerja dengan mengoksidasi bahan organik secara anaerob melalui aktivitas mikroba yang menghasilkan elektron, yang kemudian ditransfer untuk menghasilkan arus listrik. Proses ini melibatkan substrat seperti glukosa, pati, asam lemak, dan limbah organik lainnya. Di anoda, bakteri mengoksidasi substrat menghasilkan elektron dan proton, yang elektron-nya ditransfer melalui sirkuit eksternal menuju katoda, di mana reaksi dengan oksigen menghasilkan air (Zahar, 2022)

MFC menawarkan solusi untuk dua masalah besar: pengelolaan limbah organik dan kebutuhan energi. Dengan mengolah limbah organik, khususnya limbah makanan, menjadi listrik, MFC mengurangi polusi dan menyediakan sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan. Prinsip kerja MFC melibatkan proses yang efisien dalam menghasilkan energi dengan memanfaatkan metabolisme mikroba, tanpa memerlukan bahan bakar eksternal, sehingga menjadi alternatif yang berkelanjutan dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Darmawan, 2022)

Metode

Subjek Penelitian

Subjek penelitian ini adalah mikroorganisme yang digunakan dalam sel bahan bakar mikroba (MFC). Mikroorganisme tersebut berperan memecah biomolekul dalam limbah makanan secara anaerobik, menghasilkan elektron yang dapat dikonversi menjadi energi listrik.

Objek Penelitian

Objek penelitian meliputi volume dan komposisi limbah makanan yang digunakan sebagai bahan baku dalam MFC. Penelitian ini menilai pengaruh variasi komposisi nutrisi, terutama perbandingan kandungan karbohidrat dan serat (3:2 dan 2:3), terhadap efisiensi serta hasil energi listrik yang dihasilkan melalui proses bioelektrokimia.

Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat eksperimental

dengan desain dual-chamber MFC yang dimodifikasi berdasarkan jurnal Rashid et al., 2023.

A. Desain penelitian

Beberapa modifikasi meliputi:

1. Penggunaan larutan EM4 sebanyak 500 mL sebagai media di anode chamber.
2. Sampah makanan sebanyak 160 gram sebagai substrat utama.
3. Cathode chamber diisi air sebanyak 500 mL sebagai media penerima elektron.
4. Elektroda berbahan carbon rod dengan ukuran 1,7 cm × 0,8 cm.

Pengamatan dilakukan pada variabel bebas (komposisi limbah makanan), variabel terikat (tegangan, arus, dan daya listrik), serta variabel terkontrol (volume substrat dan waktu pengukuran). Semua pengukuran dilakukan secara konsisten, dengan setiap perlakuan diulang sebanyak tiga kali untuk memastikan hasil yang valid.

A. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan metode observasi dan wawancara:

Observasi dilakukan dengan memantau kinerja reaktor MFC, mencatat tegangan (voltase), arus listrik, kondisi limbah makanan, serta perubahan lingkungan seperti suhu dan warna larutan. Selain itu, pengamatan aktivitas pengelolaan limbah di SMA Kolese De Britto, termasuk pengumpulan dan pengolahan limbah, dicatat secara sistematis.

Wawancara semi-terstruktur dilakukan dengan tiga narasumber: pengurus Laudato Si', mekanik kelistrikan, dan pengelola maggot, membahas pengelolaan limbah makanan dan penerapan teknologi MFC di sekolah.

Data yang dikumpulkan terdiri dari:

1. **Kuantitatif:** Pengukuran tegangan, arus, dan daya listrik bioreaktor.

Pengambilan data dilakukan menggunakan dua parameter menggunakan multimeter analog yang diukur 36 kali dalam

sehari dan diambil rata-rata nya dengan rincian tabel dibawah ini

Tabel 1. Rincian parameter

Parameter	Unit	Alat Ukur
Tegangan	Volt	<i>Sunwa SP-15D</i>
Arus	Ampere	<i>Sunwa SP-15D</i>

Data rata-rata Voltase dan Ampere dihitung menggunakan rumus sebagai berikut

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

P = Daya Listrik (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

F. Rancangan Tabel

2. Kualitatif: Informasi dari wawancara terkait implementasi MFC.

C. Teknik Analisis Data

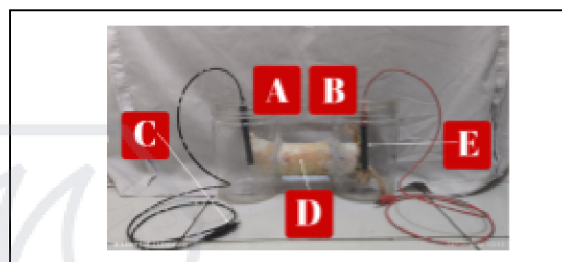
Data dianalisis menggunakan metode deskriptif dan inferensial:

- Kuantitatif Deskriptif:** Data voltase, arus, dan daya listrik disajikan dalam grafik dan tabel untuk menunjukkan pola kinerja bioreaktor.
- Kualitatif Deskriptif:** Analisis wawancara memberikan wawasan mendalam tentang implementasi teknologi MFC.
- Inferensial:** Uji statistik menggunakan MiniTab meliputi:
 - Uji normalitas:** Menentukan distribusi data ($P\text{-Value} \geq 0,05$: normal; $P\text{-Value} < 0,05$: tidak normal).
 - Uji t atau Mann-Whitney U:** Menguji perbedaan signifikan antara kelompok data ($P\text{-Value} < 0,05$: signifikan; $P\text{-Value} \geq 0,05$: tidak signifikan).

D. Pembuatan *Microbial Fuel Cell*

Pembuatan MFC merujuk pada Rashid ., dkk 2023 dengan rancangan Anoda

berisi substrat dengan volume 650 ml dan dan Cathoda berisi air keran dengan volume 500 ml.



Gambar 1. Desain MFC

Keterangan gambar diatas dijelaskan melalui deskripsi berikut ini

Bagian A : Anoda Chamber

Ruang tempat berlangsungnya proses oksidasi substrat oleh bakteri anaerob.

Bagian B : Katoda Chamber

Ruang tempat berlangsungnya proses reduksi oksigen dengan bantuan elektroda.

Bagian C : Capit Buaya

Penghubung antara elektroda dan alat ukur daya

Bagian D : Salt Bridge

Jembatan garam yang berfungsi untuk menyeimbangkan ion antara anoda dan katoda.

Bagian E : Karbon Rod

Elektroda berbahan karbon yang berperan sebagai penghantar listrik dalam sistem MFC.

Hasil dan pembahasan

A. Sampah makanan yang dominan

Limbah makanan yang dikumpulkan dari SMA Kolese De Britto dalam penelitian ini digunakan sebagai substrat utama dalam sistem Microbial Fuel Cell (MFC). Pengumpulan limbah dilakukan secara sistematis selama lima hari untuk memperoleh sampel yang representatif dari segi kuantitas dan variasi jenis limbah makanan yang dihasilkan oleh kantin sekolah. Jenis limbah yang dikumpulkan meliputi sayur, daging, nasi, dan buah, dengan massa total masing-masing jenis limbah tercatat setiap harinya.

Tabel 1. Massa Limbah Makanan

Jenis Sampah Makanan	Hari Pengamatan (Massa - Gram)					Total (Gram)
	1	2	3	4	5	
Buah	170	300	1004,9	1389	693,9	3.557,6
Daging	800	706	1066,6	2189,1	940	5.711,7
Sayur	3639,3	1065	6817,8	1376,2	476,2	19.514,5
Nasi	2900	2553	4029	5053	1540	16.275

Data menunjukkan bahwa sampah sayur mendominasi total limbah, dengan massa mencapai 19.514,5 gram, jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sampah nasi yang hanya 16.275 gram. Hal ini mencerminkan tingginya konsumsi sayuran dalam menu harian, serta sifat sayuran yang mudah rusak yang menyebabkan banyak limbah sayuran dibuang. Nasi, meskipun merupakan makanan pokok, juga menghasilkan banyak limbah, yang mengindikasikan kebiasaan masyarakat untuk membuang nasi yang tidak habis.

Massa limbah per hari bervariasi, dengan sayuran mendominasi pada hari pertama, diikuti oleh nasi, daging, dan buah. Pada hari kedua, sampah nasi melebihi sampah sayur, dan pada hari ketiga, limbah sayur kembali meningkat. Namun, pada hari keempat dan kelima, sampah nasi dan daging mendominasi. Total limbah tertinggi tercatat pada hari ketiga dengan massa 13.118,3 gram, sementara terendah pada hari kelima dengan 3.850,1 gram.

Penelitian ini menyimpulkan bahwa sampah sayur dan nasi merupakan jenis limbah yang paling dominan, sejalan dengan temuan penelitian lain seperti yang dilakukan oleh Setyaningtyas dkk. (2022) di Surabaya dan

Kasavan dkk. (2021) di Malaysia. Penelitian yang dilakukan oleh Setyaningtyas dkk. (2022) di Surabaya dan Arbianti dkk. (2018) di Malaysia menunjukkan hasil yang sejalan dengan penelitian ini, di mana sampah sayur dan nasi menjadi jenis limbah yang paling dominan. Setyaningtyas dkk. (2022) menemukan bahwa di Surabaya, sampah sayur mendominasi limbah yang dihasilkan di sekolah-sekolah, mirip dengan temuan dalam penelitian ini di SMA Kolese De Britto. Begitu pula, Arbianti dkk. (2021) di Malaysia melaporkan bahwa sampah nasi merupakan limbah yang paling banyak ditemukan di lokasi penelitian mereka, dikarenakan nasi merupakan makanan pokok.

Hanya sampah sayur dan nasi yang digunakan dalam sistem MFC karena kandungan organik yang tinggi pada kedua limbah tersebut, yang mendukung aktivitas mikroba dalam menghasilkan energi listrik. Pendekatan ini juga memberikan solusi ramah lingkungan untuk mengelola limbah organik sambil menghasilkan energi terbarukan, meskipun biaya operasional membatasi penggunaan semua jenis limbah (Domingues dkk., 2020)

B. Perbedaan Daya Listrik dari 2 kelompok perlakuan

Dalam penelitian ini, daya listrik rata-rata digunakan sebagai parameter untuk menentukan komposisi perlakuan yang lebih optimal antara Perlakuan 1 (P1) dan Perlakuan 2 (P2). Data daya listrik dihitung dari perkalian voltase dan arus listrik yang diukur setiap hari selama tujuh hari pengamatan, yang ditampilkan dalam tabel.

Tabel 2. Rata-Rata Daya Listrik

Perlakuan	Hari Pengamatan - Daya Listrik (mWatt)						
	1	2	3	4	5	6	7
P1	9.708	21.234	67.331,67	68.750	50.216,67	32.808,33	19.118
P2	7.078	8.261,33	9.072,67	9.129	7.920,44	4.556	2.156

Hasil analisis menunjukkan bahwa Perlakuan 1 menghasilkan daya listrik yang lebih tinggi dibandingkan Perlakuan 2 pada setiap hari pengamatan. Puncak daya listrik untuk Perlakuan 1 terjadi pada hari keempat, yaitu 68.750 mWatt,

sementara Perlakuan 2 hanya mencapai puncaknya pada hari ketiga sebesar 9.072,67 mWatt. Untuk memastikan apakah perbedaan tersebut signifikan, dilakukan uji-t.

Tabel 3. Hasil Uji-t

Tabel 4.3 Hasil Uji t	
Parameter	Nilai
t-Value	3.48
df (Degrees of Freedom)	6
p-Value (2-tailed)	0.013
Mean Difference (mWatt)	31.570

Hasil uji-t menunjukkan p-value sebesar 0,013. P-value ini lebih kecil dari tingkat signifikansi yang biasanya digunakan, yaitu 0,05. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perbedaan daya listrik yang dihasilkan oleh kedua perlakuan adalah signifikan secara statistik.

Berdasarkan hasil penelitian, limbah sayur lebih efisien dalam menghasilkan energi listrik dibandingkan dengan nasi. Hal ini dapat dijelaskan melalui penelitian Imaduddin pada 2016, yang meneliti pengaruh sampah sayur pada MFC. Beberapa faktor yang memengaruhi hal ini antara lain kandungan kimia limbah, aktivitas mikroorganisme, dan proses bioelektrokimia dalam sistem MFC. Limbah sayur mengandung senyawa organik kompleks seperti selulosa yang dapat terdegradasi oleh mikroorganisme menjadi gula sederhana, yang berfungsi sebagai substrat utama dalam proses elektrogenesis.

Pada sistem MFC, limbah sayur menghasilkan lebih banyak elektron karena substrat yang lebih kompleks dan mendukung pertumbuhan mikroorganisme lebih baik. Selain itu, proses bioelektrokimia dalam MFC juga lebih efisien pada limbah sayur karena adanya dukungan lingkungan pH yang optimal untuk mikroorganisme elektrogenik.

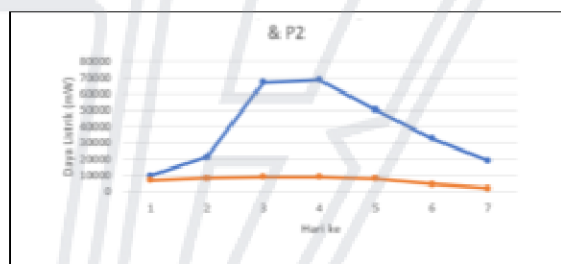
Meskipun demikian, penelitian lain oleh Rashid dkk. menunjukkan bahwa substrat nasi murni menghasilkan tegangan dan arus listrik yang lebih tinggi. Faktor perbedaan antara penelitian ini dan penelitian Rashid termasuk jumlah substrat yang digunakan, serta penggunaan mediator seperti kalium permanganat yang meningkatkan efisiensi

transfer elektron. Penelitian Rashid juga menggunakan chamber yang lebih besar, yang memungkinkan pengembangan biofilm mikroorganisme lebih optimal.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah sayur memiliki potensi yang lebih baik dalam menghasilkan energi listrik, dan hal ini perlu diperhatikan dalam implementasi teknologi MFC untuk pengelolaan limbah organik.

C. Daya Listrik Tertinggi dalam Siklus Operasi MFC

Berdasarkan grafik rata-rata daya listrik yang dihasilkan oleh Microbial Fuel Cell (MFC) pada Perlakuan 1 (P1) dan Perlakuan 2 (P2), terlihat perbedaan signifikan dalam puncak daya listrik antara kedua perlakuan.



Gambar 2. Kurva Mikroorganisme

Pada Perlakuan 1, daya listrik tertinggi tercatat pada hari ke-4 dengan rata-rata 68.750 mW. Setelah itu, daya mulai menurun, kemungkinan akibat penurunan jumlah substrat, akumulasi produk metabolit toksik, atau faktor lingkungan seperti pH atau oksigen. Penurunan daya ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan penurunan daya setelah hari ke-4 akibat konsumsi substrat oleh mikroorganisme.

Sebaliknya, pada Perlakuan 2, daya listrik relatif stabil dan lebih rendah, dengan puncak daya mencapai 9.129 mW pada hari ke-4. Rasio substrat yang digunakan dalam P2 (sayur dan nasi 2:3) tampaknya kurang mendukung aktivitas mikroorganisme secara optimal dibandingkan P1, sehingga daya listrik yang dihasilkan lebih rendah.

Pola pada P1 mirip dengan fase pertumbuhan mikroorganisme, dengan peningkatan daya pada hari ke-3 hingga ke-4 (fase eksponensial), diikuti oleh stabilitas pada

puncaknya dan penurunan setelah hari ke-4 (fase penurunan). Di P2, daya listrik tetap stabil rendah, mengindikasikan bahwa mikroorganisme tidak mengalami pertumbuhan optimal.

Secara keseluruhan, hari ke-4 dapat dianggap sebagai waktu optimal bagi mikroorganisme dalam MFC untuk menghasilkan daya listrik tertinggi pada kedua perlakuan.

D. Penerapan MFC Sebagai Alternatif Pengelolaan Sampah di SMA Kolese De Britto

Alternatif Pengelolaan Sampah Organik Pak Irawan menjelaskan proses pembuatan maggot dari sampah organik dengan fermentasi untuk mengurangi bau menggunakan EM4 dan Molase. Setelah fermentasi, lalat tentara hitam bertelur, dan dalam 7 hari, telur menetas menjadi maggot yang mengurai sampah. Namun, faktor cuaca, kelembaban, dan sinar matahari sangat mempengaruhi produksi telur dan maggot, dan kelembaban berlebih dapat mengganggu. Meskipun maggot menghasilkan pupuk cair dan pakan ternak, sistem ini kurang stabil dibandingkan teknologi Microbial Fuel Cells (MFC), yang dapat menguraikan sampah organik secara lebih konsisten tanpa bergantung pada cuaca. MFC juga menghasilkan energi listrik sebagai manfaat tambahan, membuatnya lebih efisien dan berkelanjutan. MFC dapat melengkapi sistem maggot dalam pengelolaan sampah organik dan energi terbarukan.

Alternatif Sumber Daya Listrik SMA Kolese De Britto menghadapi masalah kapasitas daya listrik yang terbatas, terutama saat AC Aula dan Kapel dioperasikan bersamaan. Untuk mengatasi hal ini, sekolah mengembangkan Bioreaktor Berbasis Limbah Organik menggunakan teknologi MFC, yang dapat menghasilkan listrik untuk kebutuhan sekolah. Perlakuan 1 menghasilkan daya maksimum 68 Watt, yang bisa digunakan untuk kelas dan perpustakaan, sementara Perlakuan 2 menghasilkan daya 9,1 Watt, cukup untuk ruang konsultasi guru dan charging area. MFC menawarkan solusi berkelanjutan untuk mengurangi ketergantungan pada sumber energi konvensional.

Pembuatan Pupuk dari Residu MFC Limbah dari proses MFC dapat digunakan sebagai pupuk cair dan padat. Dengan bantuan

EM4, mikroorganisme dalam MFC mengurai bahan organik menjadi senyawa yang berguna untuk tanaman, seperti amonia, fosfat, dan kalium. Limbah ini dapat digunakan sebagai pupuk cair untuk tanaman atau dikeringkan menjadi pupuk padat. Proses degradasi organik oleh mikroorganisme menghasilkan senyawa seperti humus dan asam humat yang memperbaiki struktur tanah, meningkatkan retensi air, dan membantu penyerapan nutrisi oleh tanaman. Limbah ini mendukung pengelolaan limbah yang berkelanjutan di SMA Kolese De Britto.

Simpulan

Penelitian mengenai pemanfaatan limbah organik dalam Sel Bahan Bakar Mikrobial (MFC) di Kolese De Britto menunjukkan potensi limbah sayur dan nasi sebagai substrat yang efektif untuk menghasilkan listrik. Temuan penelitian ini mengungkapkan bahwa perbandingan 3:2 antara sayur dan nasi (96:64 gram) menghasilkan daya listrik tertinggi, yang menunjukkan bahwa variasi komposisi substrat mempengaruhi secara signifikan produksi energi. Puncak produksi energi tercatat pada hari ke-4, yang berkaitan dengan fase eksponensial aktivitas mikroorganisme. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi MFC dapat diterapkan untuk mengelola limbah organik secara efisien, mengurangi volume sampah, dan menghasilkan listrik ramah lingkungan. Penelitian lanjutan perlu difokuskan pada optimasi jumlah substrat, eksplorasi efek dari berbagai jenis limbah makanan, pemantauan stabilitas output listrik dalam 24 jam, serta pengendalian populasi mikroorganisme untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem ini.

Ucapan terima kasih

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan bimbingan selama proses penelitian dan penyusunan artikel ini. Terima kasih khusus kami sampaikan kepada Bapak F.X. Catur Supatmono, M.Pd., selaku Kepala Sekolah SMA Kolese De Britto, Bapak R. Arifin Nugroho, S.Si., M.Pd., sebagai pembimbing yang senantiasa memberi arahan, serta kepada Ibu F. Ratna Dwi Astuti, M.Pd., sebagai penguji karya ilmiah ini. Kami juga mengapresiasi bantuan dan kerjasama dari seluruh staf dan guru di SMA Kolese De Britto,

orang tua yang telah memberikan dukungan, serta pihak-pihak lainnya yang telah berkontribusi dalam penelitian ini. Tanpa bantuan mereka, penelitian ini tidak akan dapat terselesaikan dengan baik. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan membuka peluang untuk penelitian lebih lanjut di masa depan.

Referensi

- Achmad, F., Prambudia, Y., & Rumanti, A. (2023). Sustainable Tourism Industry Development: A Collaborative Model of Open Innovation, Stakeholders, and Support System Facilities. *IEEE Access*, 11, 83343-83363. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3301574>.
- Amirya, M., & Gugus, I. (2023). TANTANGAN IMPLEMENTASI SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS(SGDS)DI INDONESIA. *Jurnal Ilmiah Akutansi Peradaban*, 9, 1.
- Arbianti, Rita; Utami, Tania Surya; Hermansyah, Heri; Novitasari, Deni; Kristin, Ester; and Trisnawati, Ira (2018) "Performance Optimization of Microbial Fuel Cell (MFC) Using *Lactobacillus bulgaricus*," *Makara Journal of Technology*: Vol. 17: Iss. 1, Article 7. DOI: 10.7454/mst.v17i1.1925.
- Cahyani, F., Wulpeneliti, P., & Putri, N. (2022). Food waste management regulation in Indonesia to achieve sustainable development goals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 978. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/978/1/012022>.
- Christwardana, M., Hpenelitiyani, A., Yudianti, R., & J. (2020). Cellulose – Carrageenan coated carbon felt as potential anode structure for yeast microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.05.265>.
- Darmawan, R., Juliastuti, S. R., Hendrianie, N., Saragih, V., Melaca, K. M., Sopian, S., & Tominaga, M. (2022). Production of Bio-Electricity from Sidoarjo Mud and Molasses Using Microbial Fuel Cells (MFC) Assisted External Resistance Technology. *Trends in Sciences*, 19(23), 1521. <https://doi.org/10.48048/tis.2022.1521>.
- Domingues, J., Fonseca, L., & Dima, A. (2020). Mapping the Sustainable Development Goals Relationships. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12083359>.
- Hamidah, N., Sinthia, C. F., & Anshori, M. I. (2022). PENGAPLIKASIAN KOMPOSTER SAMPAH ORGANIK UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN PUPUK DI DESA PALENGAAN DAJAH KECAMATAN PALENGAAN KABUPATEN PAMEKASAN. *Communnity Development Journal*, 4(2721–4990), 4.
- Imaduddin, Hermawan, dan Hadiyanto. (2016). Pemanfaatan sampah sayur pasar dalam produksi listrik melalui microbial fuel cell, *Jurnal Sains Dasar*, vol. 3, No. 2, pp. 196-204.
- Kemitraan Multi-Pihak sebagai strategi percepatan pencapaian SDGs di daerah. (2021, July). Sdgcenter. <https://sdgcenter.unila.ac.id/kemitraan-multi-pihak-sebagai-strategi-percepatan-pencapaian-sdgs-di-daerah/>.
- Laily, F., & Juliastuti, S. (2022). Effect of micronutrient addition and development on microbial fuel cells (MFC) from food waste with the help of hydrolytic fungi. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1108/1/012005>.
- Mulyo, J., Widada, A., Perwitasari, H., S., & Rohmah, F. (2022). The Effect of Food Consumption Management on the Reduction of Food Waste in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1005. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1005/1/012025>.

- Nasir, I., & Al-Talib, G. (2023). Waste Classification Using Artificial Intelligence Techniques: Literature Review. *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology*.
<https://doi.org/10.47577/technium.v5i.8345>
- Polontalo, N., Joelyna, F., Filardli, A., Hadiyanto, H., & Zakaria, Z. (2021). Microalgae Microbial Fuel Cell (MMFC) using *Chlorella vulgaris* and “Batik” Wastewater as Bioelectricity. *E3S Web of Conferences*.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202122600032>.
- Rashid, A., Naim, M., Nasir, M., Bohari, Z., Sharil, M. Y., Sulaiman, M., & Nazmy, A. (2023). Electricity Generation through Microbial Fuel Cells Utilizing Leftover Rice as Food Waste. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*.
<https://doi.org/10.37934/araset.31.3.299316>.
- Sahid, S., Sumiyati, Y., & Purisari, R. (2021). Strengthening green building policies in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 780.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/780/1/012050>.
- Saraswati, H. (2020). Kinetika pertumbuhan bakteri (Modul sesi ke-3). Universitas Esa Unggul.
- Setyaningtyas, S. W., Arimbi, A. N., & Diana, R. (2022). Exploration of school meal food service management: a case study of a full-day school. *International Journal of Public Health Science (IJPHS)*, 11(3), 903-910.
<https://doi.org/10.11591/ijphs.v11i3.21331>
- Sunartono. (2024, June 21). Komposisi sampah DIY didominasi sisa makanan capai 53,51 persen. *Harianjogja.com*.
<https://jogiapolitan.harianjogja.com/read/2024/06/21/510/1178684/komposisi-sampah-diy-didominasi-sisa-makanan-capai-5351-persen>.
- Zafar, H., Peleato, N., & Roberts, D. (2022). A review of the role of pre-treatment on the treatment of food waste using microbial fuel cells. *Environmental Technology Reviews*, 11, 72-90.
<https://doi.org/10.1080/21622515.2022.2058426>.
- Zebua, D., Meitiniarti, I., & Simamora, L. (2023). Efficient Solutions for Food Waste in Salatiga City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1275.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/1275/1/012036>.