



Volume 10, nomor 2, tahun 2025

Biogenerasi

Jurnal Pendidikan Biologi

<https://e-journal.my.id/biogenerasi>



INTERAKSI SINERGIS DALAM KONSORSIUM TERMOFILIK: MENYEIMBANGKAN RASIO KONSENTRASI MIKROBA DALAM PRODUKSI BIOELEKTRIK

Balkis Alfatihmah Azzahra¹, Irdawati*, Dezi Handayani², Dwi Hilda Putri³, Universitas Negeri Padang, Indonesia

*Corresponding author E-mail: irdawati.amor40@gmail.com

Abstract

The global urgency for sustainable energy solutions amid climate change and fossil fuel depletion has driven innovation in Microbial Fuel Cells (MFCs). This study investigates the synergistic interactions within a thermophilic microbial consortium (MS9 & MS12) to optimize energy efficiency in MFCs. By varying the inoculum ratios (1:1, 1:2, and 1:3), the research evaluates how microbial population balance impacts bioelectricity production. The MFCs were operated for 24 hours, with voltage measurements recorded every 2 hours. Results revealed that a 1:3 (MS9:MS12) ratio achieved the highest voltage output, peaking at 20 hours before declining, indicating metabolic synergy and efficient substrate utilization. Descriptive analysis highlighted the critical role of cross-feeding mechanisms and functional complementarity between species in enhancing electron transfer. The findings align with modular co-cultivation principles, emphasizing the importance of engineered microbial ratios for stable system performance. This study provides a protocol for designing balanced thermophilic consortia, advancing sustainable bioenergy strategies through optimized microbial interactions.

Keywords: *Microbial Fuel Cell; thermophilic consortium; inoculum ratio; bioelectricity; synergistic interaction.*

Abstrak

Urgensi global untuk solusi energi berkelanjutan di tengah perubahan iklim dan penipisan bahan bakar fosil telah mendorong inovasi dalam Sel Bahan Bakar Mikroba (MFC). Penelitian ini menyelidiki interaksi sinergis dalam konsorsium mikroba termofilik (MS9 & MS12) untuk mengoptimalkan efisiensi energi dalam MFC. Dengan memvariasikan rasio inokulum (1:1, 1:2, dan 1:3), penelitian ini mengevaluasi bagaimana keseimbangan populasi mikroba berdampak pada produksi bioenergi. MFC dioperasikan selama 24 jam, dengan pengukuran tegangan dicatat setiap 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rasio 1:3 (MS9:MS12) menghasilkan output tegangan tertinggi, mencapai puncaknya pada 20 jam sebelum menurun, yang mengindikasikan sinergi metabolisme dan pemanfaatan substrat yang efisien. Analisis deskriptif menyoroti peran penting dari mekanisme pemberian makan silang dan komplementaritas fungsional antar spesies dalam meningkatkan transfer elektron. Temuan ini sejalan dengan prinsip-prinsip ko-kultivasi modular, yang menekankan pentingnya rasio mikroba yang direkayasa untuk kinerja sistem yang stabil. Penelitian ini menyediakan protokol untuk merancang konsorsium termofilik yang seimbang, memajukan strategi bioenergi yang berkelanjutan melalui interaksi mikroba yang dioptimalkan.

Kata Kunci: *biolistrik, interaksi sinergis, konsorsium termofilik, sel bahan bakar mikroba, rasio inokulum*

© 2025 Universitas Cokroaminoto palopo

Correspondence Author :
Universitas Negeri Padang

p-ISSN 2573-5163

e-ISSN 2579-7085

PENDAHULUAN

Perubahan iklim, penipisan sumber energi fosil, dan degradasi lingkungan akibat polusi karbon telah meningkatkan urgensi transisi global menuju energi terbarukan yang berkelanjutan (Wetser *et al.*, 2015). Berdasarkan data Kementerian ESDM, kontribusi energi fosil terhadap bauran energi primer Indonesia mencapai 87,4% pada 2022 (Cendra, 2022). Secara rata-rata, persentase ini tetap tinggi pada kisaran 86% selama periode 2009-2020 (Lahope, 2024). Paradoks ini memaksa perlunya inovasi teknologi energi bersih yang mampu menjawab tantangan kompleks efisiensi konversi biomassa sekaligus minimisasi emisi karbon (Christwardana, 2023).

Sel bahan bakar mikroba (*Microbial Fuel Cell*/MFC) muncul sebagai solusi potensial dengan memanfaatkan mikroba termofilik untuk mengonversi substrat menjadi energi listrik melalui proses elektrogenesis (Christwardana, 2023). MFC menghasilkan energi bioelektrik melalui oksidasi senyawa organik oleh mikroba di anoda, yang mentransfer elektron ke katoda melalui sirkuit eksternal. Kemampuan mikroba dalam mengoksidasi substrat organik ini menjadi dasar pembangkitan daya dan produksi bahan bakar berkelanjutan seperti biohidrogen (Srivastava *et al.*, 2022).

Secara teoritis, konsorsium mikroba menawarkan keunggulan signifikan dibandingkan monokultur, seperti pembagian tugas metabolik yang mengurangi beban metabolik sel tunggal dan stabilitas sistem melalui diversifikasi jalur biodegradasi (Jawed *et al.*, 2019). Namun, implementasi monokultur dalam MFC terbukti tidak optimal karena keterbatasan kemampuan degradasi substrat kompleks dan kerentanan terhadap akumulasi senyawa penghambat (Ning *et al.*, 2024).

Studi terbaru pada sistem digesti anaerobik menunjukkan bahwa konsorsium dengan rasio inokulum 1:3 (*pit mud*: anaerobic digested sludge berdasarkan volatile solids) meningkatkan produksi biogas hingga 551.7% berkat sinergi fungsional antara bakteri pendegradasi selulosa (*unclassified f_Comamonadaceae*) dan archaea metanogen (*Methanobrevibacter*) (Ning *et al.*, 2024). Temuan ini selaras dengan konsep *modular*

co-cultivation yang diusulkan Jawed *et al.* (2019), di mana rekayasa rasio mikroba antarspesies dapat mengoptimalkan alokasi substrat dan efisiensi transfer elektron.

Namun, optimalisasi rasio inokulum sebagai faktor kritis penentu efisiensi konsorsium termofilik dalam MFC belum dieksplorasi secara sistematis. Penelitian ini bertujuan menjembatani celah tersebut dengan menganalisis interaksi sinergis antarspesies mikroba melalui variasi rasio inokulum, sehingga menghasilkan protokol rekayasa komunitas mikroba yang terukur untuk pemanfaatan energi berkelanjutan.

METODE

Penelitian dilaksanakan dari bulan Desember tahun 2024 sampai bulan Maret 2025 di Laboratorium Mikrobiologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari alat laboratorium standar (seperti gelas ukur, tabung reaksi, labu erlenmeyer, spatula, *vortex stirrer*, timbangan digital, pipet tetes, dan cawan petri), peralatan spesifik (autoklaf, *incubator shaker*, *multimeter digital*, elektroda plat seng-tembaga, kabel jepit buaya, tali sumbu, dan *hot plate*), serta alat pendukung (oven, mikropipet, pengaduk magnetik, lemari pendingin, lampu bunsen, dan rak tabung reaksi).

Untuk bahan penelitian, digunakan isolat bikultur bakteri termofilik MS9&MS12 (koleksi terbaik Dr. Irdawati, M.Si dari Laboratorium Mikrobiologi FMIPA UNP), medium pertumbuhan (bubuk NA dan medium TMM (*Thermophilic Minimum Media*) cair dengan komponen: MgSO₄·7H₂O, K₂HPO₄, (NH₄)₂SO₄, glukosa, *yeast extract*, pepton, NaCl), bahan kimia (NaOH 3N, alkohol 70%), serta bahan umum seperti akuades, *aluminium foil*, kapas, plastik kaca, toples, dan tisu.

Sterilisasi Alat dan Bahan dimulai dari Peralatan berbahan dasar kaca dan bahan seperti NA (*Nutrient Agar*) dan TMM terlebih dahulu disterilisasi menggunakan autoklaf dengan parameter suhu 121°C, tekanan 15 psi, dan waktu 15 menit.

Pembuatan Medium Nutrient Agar (NA) dan *Thermophilic Minimum Media* (TMM) disiapkan melalui serangkaian tahapan. Pertama, 5 gram NA ditimbang, dimasukkan ke dalam erlenmeyer, dan dilarutkan dengan

akuades hingga volume 250 ml sebelum dipanaskan menggunakan *hot plate* hingga mendidih. Larutan NA kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi sebanyak 5 ml menggunakan pipet volumetrik, lalu ditutup rapat dengan kapas dan *aluminium foil*. Sementara itu, medium TMM yang terdiri dari 0,01% $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, 0,1% K_2HPO_4 , 0,1% NaCl, 0,35% $(NH_4)_2SO_4$, 0,05% ekstrak kapang, 0,05% pepton, dan 6% glukosa (Zilda *et al.*, 2008) dilarutkan dalam aquades hingga volume 1000 ml, kemudian dipanaskan hingga *homogen*. Kedua medium selanjutnya disterilisasi dalam autoklaf pada suhu 121°C, tekanan 15 psi, selama 15 menit untuk mencegah kontaminasi.

Pembuatan Konsorsium bikultur bakteri termofilik MS (MS9&MS12) diformulasikan dalam tiga variasi rasio *Starter* (1:1, 1:2, dan 1:3) dengan tiga kali pengulangan. Isolat MS9&MS12 masing-masing direvitalisasi dalam 5 mL larutan garam fisiologis (NaCl 0,85%) dan distandarisasi menggunakan larutan *McFarland* 1. Suspensi bakteri kemudian diinokulasikan ke dalam 22,5 mL medium TMM cair dan diinkubasi pada 60°C selama 24

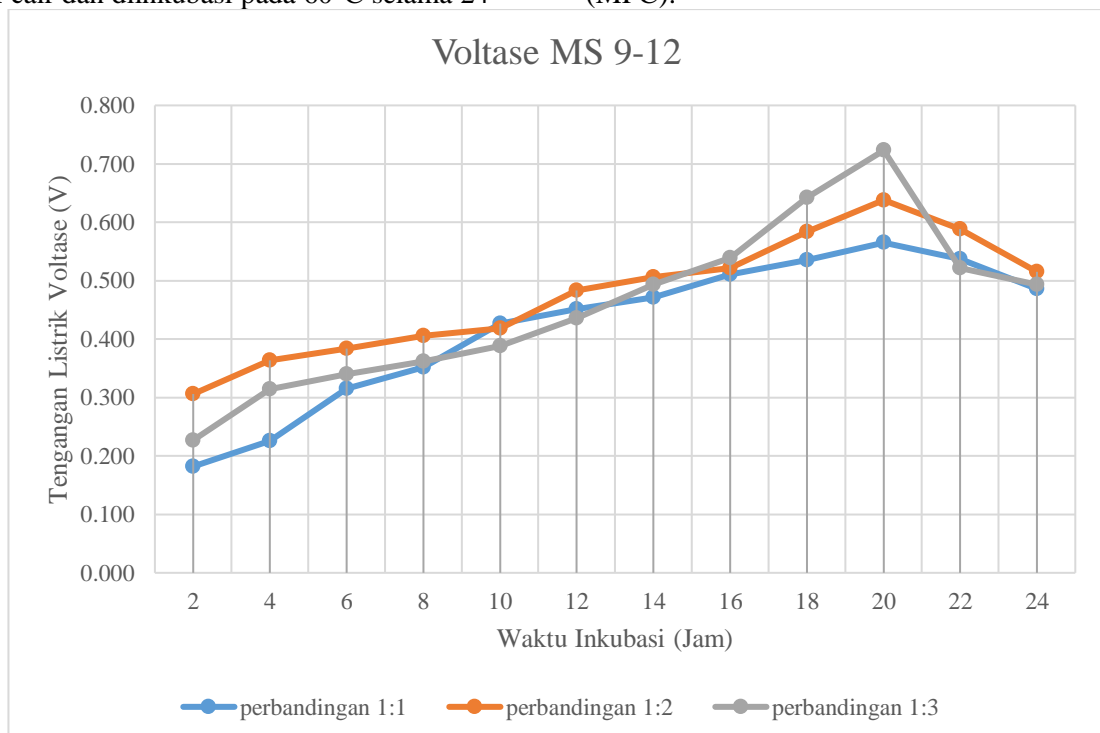
jam. *Starter* konsorsium 10% disiapkan dengan mencampur suspensi sesuai rasio yang ditentukan, lalu 200 mL campuran dimasukkan ke dalam tabung anoda berisi medium TMM cair.

Pengukuran Kinerja *Microbial Fuel Cell* (MFC) dievaluasi dengan memantau keluaran listrik menggunakan multimeter digital yang menampilkan hasil pengukuran dalam satuan *Volt* (V). Pengambilan data dilakukan setiap interval 2 jam selama periode 24 jam sesuai dengan protokol yang dikembangkan oleh Sulistiyawati *et al.* (2020).

Data energi listrik (V) yang dihasilkan dari konsorsium bikultur bakteri termofilik akan divisualisasikan dalam bentuk tabel dan grafik serta dianalisis menggunakan pendekatan deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil voltase berdasarkan variasi rasio konsorsium terhadap kinerja mfc Berdasarkan grafik yang ditunjukkan, rasio mikroba dalam konsorsium bikultur bakteri termofilik MS (MS9&MS12) berpengaruh terhadap hasil voltase pada sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC).



Gambar 1. Grafik Pola Tegangan Listrik MS9-MS12 dalam waktu 24 jam.

Grafik hasil penelitian menunjukkan pola kenaikan tegangan seiring berjalannya waktu hingga mencapai puncaknya sekitar jam ke-20, kemudian mengalami penurunan

kembali. Dari ketiga variasi rasio *Starter* yang diujicobakan (1:1, 1:2, dan 1:3), rasio 1:3 menghasilkan tegangan yang paling tinggi dibandingkan dengan rasio yang lain. Hal ini

mengindikasikan bahwa keseimbangan populasi mikroba dalam konsorsium memegang peranan penting dalam efisiensi pemanfaatan energi pada MFC.

Terdapat 4 fase hidup bakteri, diantaranya: fase *lag*, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase kematian. Fase pertama adalah fase *lag* merupakan periode adaptasi mikroorganisme untuk menyesuaikan diri dengan lingkungan baru. Durasi fase ini bervariasi tergantung pada beberapa faktor, seperti komposisi media pertumbuhan, ukuran inokulum awal, parameter lingkungan (pH dan suhu), serta kondisi fisiologis sel mikroba sebelum diinokulasi (Risna *et al.*, 2022).

Fase kedua adalah fase eksponensial (*exponential phase*) adalah fase pertumbuhan bakteri di mana pembelahan sel terjadi secara konstan dan maksimal. Fase ini ditandai dengan peningkatan jumlah sel secara logaritmik, dengan waktu penggandaan (*doubling time*) yang tetap (Rolfe *et al.*, 2012). Fase selanjutnya adalah fase stasioner yaitu, fase pertumbuhan bakteri di mana laju pertumbuhan sel baru seimbang dengan laju kematian sel. Pada fase ini, populasi bakteri tidak mengalami peningkatan signifikan karena kondisi lingkungan yang tidak lagi optimal, seperti keterbatasan nutrisi ataupun perubahan pH. Selama fase ini, bakteri fokus pada bertahan hidup dan mempertahankan viabilitas sel ketimbang membelah diri (Saraswati *et al.*, 2021). Fase terakhir merupakan fase kematian yaitu, tahap di mana aktivitas pertumbuhan berhenti, dan jumlah individu yang mati dalam koloni melebihi jumlah individu baru yang terbentuk (Purnama & Sanantang, 2023).

Data grafik yang mengukur parameter pertumbuhan bakteri pada tiga rasio perbandingan substrat (1:1, 1:2, dan 1:3) dari jam ke-2 hingga jam ke-24 memperlihatkan pola yang selaras dengan empat fase pertumbuhan bakteri: fase *lag*, eksponensial, stasioner, dan kematian. Pada jam awal (2–4 jam), nilai parameter untuk semua rasio masih rendah (0,182 V– 0,364 V), mengindikasikan fase *lag* atau adaptasi. Pada fase ini, bakteri menyesuaikan diri dengan lingkungan baru, di mana komposisi medium, ukuran inokulum, dan kondisi fisiologis sel memengaruhi kecepatan adaptasi. Rasio 1:2 menunjukkan nilai awal lebih tinggi (0,306 V pada jam 2) dibandingkan rasio 1:1 (0,182 V), menandakan

bahwa keseimbangan nutrisi dalam rasio 1:2 dapat mempercepat proses adaptasi.

Memasuki jam 6–20, fase eksponensial ditandai dengan peningkatan signifikan nilai parameter. Pada rasio 1:1, pertumbuhan meningkat secara bertahap hingga mencapai puncak 0,565 V pada jam 20. Sementara itu, rasio 1:3 menunjukkan pertumbuhan yang jauh lebih cepat, dengan nilai tertinggi 0,723 V di jam 20. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan substrat yang lebih banyak (rasio 1:3) menciptakan lingkungan optimal untuk pembelahan sel maksimal, didukung oleh nutrisi yang melimpah. Sebaliknya, rasio 1:2 meskipun memiliki pertumbuhan stabil, tidak mencapai puncak setinggi rasio 1:3, menandakan adanya batasan dalam ketersediaan nutrisi atau faktor lingkungan lainnya.

Setelah mencapai puncak di jam 20, ketiga rasio mengalami penurunan nilai parameter, menandai fase stasioner dan kematian. Pada rasio 1:1, penurunan dari 0,565 V menjadi 0,486 V di jam 24 mencerminkan fase stasioner, di mana pertumbuhan sel seimbang dengan kematian akibat keterbatasan nutrisi. Rasio 1:2 menunjukkan pola serupa dengan penurunan dari 0,638 V ke 0,515 V, sementara rasio 1:3 mengalami penurunan drastis dari 0,723 V ke 0,522 V. Penurunan tajam pada rasio 1:3 diduga disebabkan oleh penipisan nutrisi yang cepat akibat pertumbuhan eksponensial yang intensif.

Fase kematian terlihat jelas pada jam 24, di mana jumlah sel mati melebihi sel baru. Penurunan paling ekstrem terjadi pada rasio 1:3, menunjukkan bahwa pertumbuhan cepat yang dihasilkan pada fase eksponensial justru mempercepat penurunan viabilitas. Sebaliknya, rasio 1:1 dan 1:2 mengalami penurunan lebih gradual, mengindikasikan daya tahan bakteri yang lebih baik dalam kondisi substrat seimbang.

Hasil penelitian mengungkapkan bahwa variasi rasio inokulum dalam konsorsium bikultur bakteri termofilik MS9&MS12 secara signifikan memengaruhi kinerja *Microbial Fuel Cell* (MFC). Tegangan tertinggi tercapai pada rasio 1:3 (MS9:MS12), yang mengindikasikan bahwa keseimbangan populasi antarspesies mikroba menjadi faktor kritis dalam optimasi produksi energi listrik. Temuan ini sejalan dengan konsep *modular co-cultivation* (Jawed *et al.*, 2019), di mana rekayasa komposisi

mikroba bertujuan menciptakan sinergi fungsional untuk meningkatkan efisiensi sistem.

Asri & Zulaika (2016) menyatakan bahwa bakteri dalam suatu ekosistem sering menunjukkan interaksi saling menguntungkan dengan membentuk konsorsium. Melalui kolaborasi ini, mereka mampu menghasilkan senyawa atau metabolit yang dapat digunakan bersama, sehingga menciptakan hubungan simbiosis yang saling menunjang pertumbuhan antar anggota komunitas tersebut. Adapun menurut Deng dan Wang (2016) mengemukakan bahwa terdapat beberapa mekanisme yang diyakini mendorong pertumbuhan sinergis antar mikroba. Salah satunya adalah ketika beberapa spesies bakteri menghasilkan enzim yang saling melengkapi dan terlibat dalam pertukaran metabolit melalui mekanisme *cross-feeding* (Wintermute & Silver, 2010; Kostylev & Wilson, 2012).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa variasi rasio konsorsium bakteri termofilik MS (MS9&MS12) secara signifikan memengaruhi kinerja sistem *Microbial Fuel Cell* (MFC), dengan rasio 1:3 menghasilkan voltase tertinggi. Pencapaian puncak tegangan pada jam ke-20 dan penurunannya setelahnya mengindikasikan adanya fase aktif metabolik yang didorong oleh interaksi sinergis antarspesies. Fenomena ini sejalan dengan temuan Deng dan Wang (2016) yang menyatakan bahwa pertumbuhan sinergis antarmikroba dapat dioptimalkan melalui mekanisme komplementer seperti produksi enzim dan pertukaran metabolit (*cross-feeding*). Dalam konteks penelitian ini, bakteri MS9&MS12 kemungkinan saling melengkapi dalam memetabolisme substrat, di mana produk metabolisme satu isolat menjadi sumber nutrisi bagi isolat lainnya.

Keseimbangan populasi dalam rasio 1:3 juga menegaskan pentingnya komposisi konsorsium untuk mencapai efisiensi energi maksimal. Hal ini sesuai dengan teori Asri dan Zulaika (2016) yang menyatakan bahwa konsorsium mikroba membentuk hubungan kooperatif untuk memanfaatkan produk metabolisme kolektif, sehingga mendukung pertumbuhan dan aktivitas metabolik antaranggota komunitas. Pada rasio 1:3, dominasi MS12 berperan dalam menyediakan metabolit esensial atau menciptakan kondisi lingkungan (misalnya pH atau suhu) yang

mendukung aktivitas elektrogenik MS9, atau sebaliknya.

Penurunan voltase setelah jam ke-20 dapat dikaitkan dengan habisnya substrat atau akumulasi senyawa penghambat metabolisme. Namun, tren ini tetap memperlihatkan pola yang lebih stabil dibandingkan rasio lainnya, menguatkan hipotesis bahwa konsorsium dengan komposisi seimbang mampu mempertahankan interaksi sinergis dalam jangka waktu lebih lama. Data ini memperkuat konsep bahwa desain konsorsium berbasis rasio spesifik merupakan strategi kritis dalam pengembangan MFC berkelanjutan.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini membuktikan bahwa rekayasa rasio inokulum konsorsium bakteri termofilik MS9&MS12 berpengaruh signifikan terhadap efisiensi produksi energi listrik pada *Microbial Fuel Cell* (MFC). Tegangan listrik tertinggi dihasilkan pada rasio 1:3 (MS9:MS12) dengan nilai 0,723 V, mengindikasikan bahwa komposisi rasio ini optimal dalam meningkatkan kinerja sistem MFC.

Studi mendatang dapat memperluas eksplorasi rasio inokulum (seperti 1:4 atau dinamis), menguji substrat kompleks (limah organik/lignoselulosa), serta memperpanjang durasi operasi MFC untuk menilai stabilitas jangka panjang. Analisis metabolit (HPLC/spektrometri massa) diperlukan untuk mengungkap mekanisme *cross-feeding*, sementara optimasi parameter lingkungan (suhu, pH) dan integrasi dengan sistem bioenergi lain (biohidrogen/digesti anaerobik) dapat meningkatkan efisiensi. Penelitian skala-up, pemodelan matematis, dan penambahan spesies mikroba ketiga juga direkomendasikan untuk mengevaluasi kompleksitas komunitas dan aplikasi praktis, dilengkapi analisis ekonomi dan teknik pencitraan biofilm guna validasi ketahanan sistem dalam kondisi beragam.

DAFTAR RUJUKAN

- Cendra, A. S. (2022, December 22). *ESDM Ungkap Konsumsi Energi Fosil Masih Dominan, EBT Masih Jauh dari Target*. Retrieved from Detik Finance: <https://finance.detik.com/energi/d-6475412/esdm-ungkap-konsumsi-energi-fosil-masih-dominan-ebt-masih-jauh-dari-target>
- Christwardana, M., Joelianingsih, J., & Yoshi, L. A. (2023). Synergistic of yeast

- Saccharomyces cerevisiae and glucose oxidase enzyme as co-biocatalyst of enzymatic *Microbial Fuel Cell* (EMFC) in converting sugarcane bagasse extract into electricity. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, 13(2), 321–332. DOI: <https://doi.org/10.5599/jese.1559>
- Deng, Y. J., & Wang, S. Y. (2016). Synergistic growth in bacteria depends on substrate complexity. *Journal of Microbiology*, 54(1):23-30. DOI: [10.1007/s12275-016-5461-9](https://doi.org/10.1007/s12275-016-5461-9)
- Jawed, K., Yazdani, S. S., & Koffas, M. A. (2019). Advances in the development and application of microbial consortia for metabolic engineering. In *Metabolic Engineering Communications*, 9:1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mec.2019.e00095>
- Kostylev, M., & Wilson, D. (2012). Synergistic interactions in cellulose hydrolysis. *Biofuels*, 3(1) :61-70. DOI: [10.4155/bfs.11.150](https://doi.org/10.4155/bfs.11.150)
- Lahope, G. (2024). Implementasi Kebijakan Energi Nasional (KEN) Indonesia Menuju 23% Target Bauran Energi Baru Terbarukan (EBT) 2025. *Jurnal Darma Agung*, 32(1), 124-135. <https://jurnal.darmaagung.ac.id/index.php/jurnaluda/article/download/3945/3607>
- Ning, X., Huang, Y., Huang, P., Ou, X., Luo, H., Bai, Z., Chen, H., Ge, X., & Li, L. (2024). Effect of the inoculum mixing ratio on the anaerobic digestion of food waste: Reactor performance and microbial community. *Environmental Technology and Innovation*, 35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103680>
- Risna, Y. K., Sri-Harimurti, S. H., Wihandoyo, W., & Widodo, W. (2022). Kurva pertumbuhan isolat bakteri asam laktat dari saluran pencernaan itik lokal asal aceh. *Jurnal Peternakan Indonesia (Indonesian Journal of Animal Science)*, 24(1), 1-7. <https://jpi.faterna.unand.ac.id/index.php/jpi/article/download/718/446>
- Rolfe, M. D., Rice, C. J., Lucchini, S., Pin, C., Thompson, A., Cameron, A. D., ... & Hinton, J. C. (2012). Lag phase is a distinct growth phase that prepares bacteria for exponential growth and involves transient metal accumulation. *Journal of bacteriology*, 194(3):686-701. DOI: [10.1128/JB.06112-11](https://doi.org/10.1128/JB.06112-11)
- Purnama, T., & Sanantang. (2023). -UJI SKRINING FITOKIMIA EKSTRAK SUPERNATAN DARI BAKTERI ENDOFIT KULIT PISANG. *Bioma: Jurnal Biologi Makassar*, 8(1):44-50. <https://journal.unhas.ac.id/index.php/bioma/article/view/23545/8882>
- Saraswati, P. W., Nocianitri, K. A., & Arihantana, N. M. I. H. (2021). Pola Pertumbuhan Lactobacillus sp. F213 Selama Fermentasi Pada Sari Buah Terung Belanda (Solanum betaceum Cav.) Growth Pattern of Lactobacillus sp. F213 During Fermentation in Tamarillo Juice (Solanum betaceum Cav.). *Itepa: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pangan*, 10(4):621-633. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/itepa/article/download/82624/42896>
- Srivastava, R. K., Boddula, R., & Pothu, R. (2022). *Microbial Fuel Cells*: Technologically advanced devices and approach for sustainable/renewable energy development. *Energy Conversion and Management: X*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100160>
- Sulistiyawati, I., Laila Rahayu, N., & Septiana Purwitaningrum, F. (2020). Produksi Biolistrik menggunakan *Microbial Fuel Cell* (MFC) Lactobacillus bulgaricus dengan Substrat Limbah Tempe dan Tahu. *Majalah Ilmiah Biologi Biosfera : A Scientific Journal*, 37(2):112-117. DOI: <https://doi.org/10.20884/1.mib.2020.37.2.1147>
- Wetser K., Sudirjo E., Buisman C. J. N. & Strik D. P. B. T. B. (2015). Electricity generation by a plant *Microbial Fuel Cell* with an integrated oxygen reducing biocathode. *Applied Energy*, 137, 151–157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.006>
- Wintermute, E. H., & Silver, P. A. (2010). Emergent cooperation in microbial metabolism. *Molecular systems*

biology, 6(407): 1-7. DOI:
<https://doi.org/10.1038/msb.2010.66>