

MEI 2026 / BIL. 15 / 2026

EON

Epitome of Nature

BIODIVERSITI LESTARI, MASA DEPAN GENERASI



MAJALAH PP BIOLOGI
UITMCS

ISSN 2773-5869



0 2773 586005

BIOFOTOVOLTA (BPV) BERASASKAN MIKROALGA: REVOLUSI TENAGA HIJAU MASA DEPAN

Amin Aadenan

Jabatan Fizik dan Bahan, UiTM Cawangan Negeri Sembilan, Kampus Kuala Pilah, Pekan Parit Tinggi, 72000 Kuala Pilah, Negeri Sembilan

amin7606@uitm.edu.my

EDITOR: DR. NURLIYANA MOHAMAD

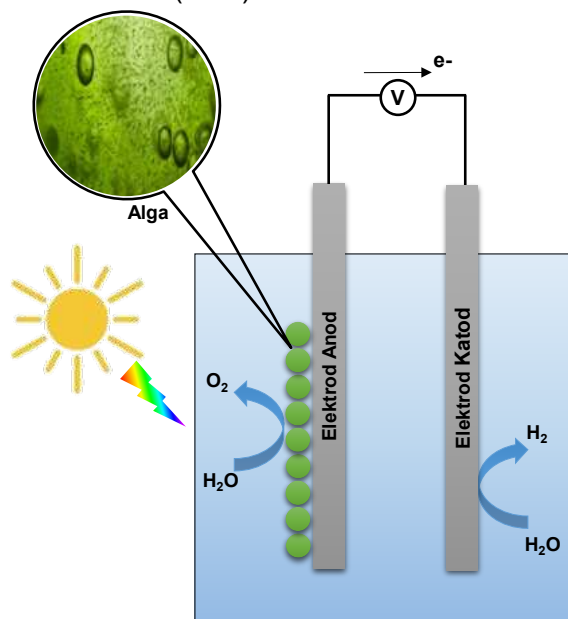
Biodiversiti lestari merupakan asas penting bagi menjamin kesejahteraan generasi masa hadapan. Kebelakangan ini, dunia berdepan pelbagai krisis iklim, pencemaran dan kemusnahan biodiversiti yang boleh mengganggu gugat keseimbangan ekosistem hidupan. Pembebasan gas rumah hijau yang berpunca daripada aktiviti manusia, terutamanya pembakaran bahan api fosil (arang batu, minyak, gas asli) untuk menjana tenaga elektrik dan pengangkutan adalah faktor utama dalam menyumbang kepada pemanasan global dan perubahan iklim ini. Justeru itu, peralihan kepada penggunaan sumber tenaga keterbaharuan adalah usaha yang amat penting bagi menjamin kelestarian masa depan generasi.

Tenaga keterbaharuan yang dihasilkan melalui mikroorganisma fotosintesis menawarkan alternatif yang lebih mampan bagi

mengurangkan kebertanggungjawaban terhadap bahan api fosil. Antara mikroorganisma tersebut, mikroalga adalah agen yang berpotensi tinggi dalam menangani cabaran tenaga ini. Mikroalga dapat menukarkan sumber tenaga suria kepada arus elektrik secara langsung menerusi sistem yang dinamakan sebagai biofotovolta (BPV).

Penggunaan mikroalga dalam sistem BPV semakin mendapat perhatian kerana kosnya yang rendah dan kebolehan menjana tenaga elektrik melalui proses fotosintesis. Selain itu, mikroalga mempunyai mekanisme pelindung cahaya (*photoprotective*) yang membolehkan sel memperbaiki diri sendiri.

Sistem BPV menggunakan mikroorganisma fotosintesis hidup seperti mikroalga atau cyanobacteria yang bersentuhan dengan elektrod. Semasa fotosintesis, elektron yang dihasilkan boleh dipindahkan keluar daripada sel secara langsung atau melalui bahan perantara. Elektron ini dikumpulkan oleh elektrod anod, seterusnya mengalir melalui litar luar dengan menghasilkan arus elektrik seperti dalam Gambar 1.



Gambar 1: Sistem biofotovolta (BPV)

(Sumber: FH Saifuddin et al., 2022)

Komponen utama sistem BPV biasanya merangkumi:

1. Mikroorganisma fotosintetik (cth. Mikroalga dan cyanobacteria) sebagai sumber tenaga biologi.
2. Elektrod anod untuk mengumpul elektron.
3. Elektrod katod bagi melengkapkan litar elektrik.
4. Litar elektrik luaran untuk menghasilkan/mengalirkan arus elektrik.

Tidak seperti sel panel suria konvensional, sistem BPV menggunakan organisma hidup yang mampu memperbaharui diri secara semula jadi. Sistem ini juga boleh berfungsi dalam keadaan keamatan cahaya rendah dan masih menghasilkan arus elektrik tanpa pancaran cahaya menerusi tenaga metabolik yang tersimpan terutamanya pada waktu malam.

Antara spesies mikroalga yang biasa digunakan dalam aplikasi BPV adalah dari kumpulan alga hijau. Selain itu, cyanobacteria juga diaplikasikan dalam system BPV kerana sifat mereka adalah serupa seperti alga dan tumbuhan kerana menggunakan cahaya matahari untuk menghasilkan makanan. *Chlamydomonas reinhardtii* dan *Chlorella spp.* adalah antara spesies dalam kumpulan alga hijau yang biasanya dikaji.

Ini kerana mereka mudah tumbuh, tahan lasak, mudah dikultur dan mempunyai kecekapan fotosintesis yang tinggi. Bagi kumpulan cyanobacteria pula, *Synechocystis spp.* lebih mudah diubah suai secara

(Elsevier), Scopus, Web of Science dan Google Scholar, di antara tahun 2015-2025. Antara penekanan utama dalam kajian diterbitkan adalah pemilihan dan pengoptimuman genetik mikroalga, pembangunan bahan elektrod

Jadual 1: Kadar pertumbuhan dan prestasi ketumpatan arus bagi alga hijau dan cyanobacteria

Kumpulan	Spesies	Kadar pertumbuhan	Ketumpatan arus elektrik ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	Rujukan
Alga hijau	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i>	0.284 hari ⁻¹ (~0.012 j ⁻¹)	40.3 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Torres et al., 2020 Sharma & Chhabra, 2021
	<i>Chlorella vulgaris</i>	0.66 hari ⁻¹ (~0.027 j ⁻¹)	~0.68 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	N.Z. Petrova et al., 2024 FL Ng et al., 2017
Cyano-bacteria	<i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	~0.0725 j ⁻¹	~30 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$	Kusama et al., 2022 Touloupakis et al., 2015

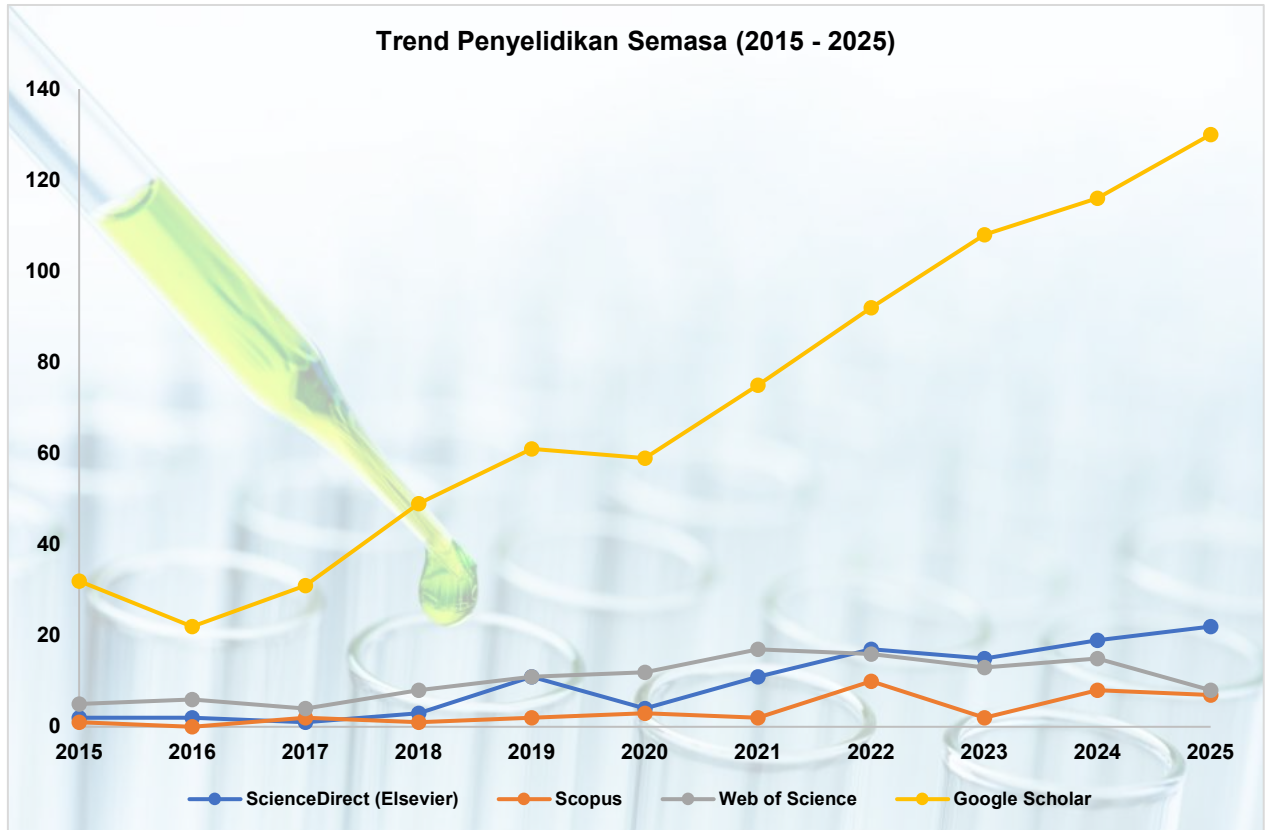
genetik, tetapi ianya menghasilkan arus elektrik lebih rendah berbanding alga hijau. Jadual 1 meringkaskan kumpulan mikroalga dan cyanobacteria serta kadar pertumbuhan dan prestasi ketumpatan arus elektrik.

Penyelidikan terhadap sistem BPV semakin meningkat dalam beberapa tahun kebelakangan ini, dengan pelbagai usaha dilakukan untuk meningkatkan kecekapan dan kebolehskalaan teknologi ini.

Ianya boleh ditunjukkan dalam trend penyelidikan semasa (Gambar 2) yang diperolehi menerusi pangkalan data akademik *Science Direct*

termaju berasaskan karbon bagi meningkatkan kecekapan pemindahan elektron serta lekatan mikroorganisma pada elektrod, penggabungan sistem BPV dengan loji rawatan air sisa, dan penghasilan sistem hibrid yang menggabungkan sel bahan api mikrob, panel solar, dan teknologi bio-tenaga.

Walaupun penggunaan sistem BPV berasaskan mikroorganisma berpotensi besar, beberapa cabaran masih perlu diatasi. Antara isu utama yang dihadapi adalah penghasilan kuasa output yang jauh lebih rendah berbanding teknologi fotovoltaiik



Gambar 2: Trend penyelidikan berkenaan sistem BPV berdasarkan kata kunci “*biophotovoltaic*” dan “*microalgae*”

konvensional. Hal ini akan menjejaskan penghasilan sistem berskala besar.

Selain daripada itu, penyelenggaraan kultur mikroalga yang stabil untuk tempoh panjang adalah amat mencabar. Ini disebabkan oleh sistem hidupan lebih sukar dikawal berbanding peranti elektronik biasa.

Dari segi penerimaannya pula, teknologi BPV masih kurang dikenali di luar komuniti akademik dan memerlukan sokongan dasar serta kerjasama industri supaya ianya mendapatkan kesedaran

masyarakat serta sokongan bahan elektrod bersesuaian dalam penghasilan polisi dankerjasama industri tenaga hijau ini.

Kesimpulannya, sistem biofotovolta (BPV) berasaskan mikroalga dan cyanobacteria menawarkan penyelesaian inovatif dan mampan terhadap kebergantungan bahan api fosil.

Walaupun kajian berkenaan BPV semakin meningkat, cabaran seperti kuasa output yang rendah, penyelenggaraan kultur stabil dan penerimaan pasaran masih perlu diatasi melalui pengoptimuman genetik,

Dengan sokongan dasar tenaga hijau, BPV berpotensi menjamin biodiversiti lestari dan kesejahteraan generasi masa depan, seterusnya menyumbang kepada peralihan tenaga global yang mesra alam.

Rujukan

