

A Review: Proses Konversi Energi, Tantangan dan Peluang Pemanfaatan Energi Matahari Sebagai Alternatif Energi Terbarukan

I Gede Aris Gunadi¹, Dewi Oktofa Rachmawati¹, Sonia Dewi Parna.T¹, Bella Eka Wahyuningtias¹, Ni Ketut Lisa Maheni¹

¹Prodi S1 Fisika FMIPA Undiksha

*corresponding author email: igedearisgunadi@undiksha.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi dari masa ke masa pada kehidupan manusia adalah merupakan keniscayaan selalu meningkat. Hal ini linear dengan pertumbuhan penduduk. Pada bagian lain sumber energi semakin terbatas. Dalam beberapa waktu kedepan dipastikan akan terjadi krisis energi, karena sumber daya alam yang menyediakan energi akan habis. Sangat penting untuk mengembangkan sumber energi terbarukan. Salah satu sumber energi tersebut adalah energi matahari. Salah satu keunggulan energi matahari adalah yang tidak akan habis. Bagi Negara yang berada di daerah katulistiwa sepanjang tahun akan dapat memanfaatkan energi matahari. Tulisan ini mereview tentang hal yang terkait dengan pemanfaatan energi matahari terutama sekali terkait teknologi fotovoltaik dan implementasinya. Hal yang terkait dengan pemanfaatan energi matahari adalah proses konversi energi matahari, tantangan serta peluang pengembangan. Energi Matahari adalah salah satu sumber energi yang potensial, namun saat ini secara biaya masih tinggi dan efisiensi masih sangat rendah. Hal ini menjadi tantangan pengembangan kedepannya.

Kata Kunci : konversi energi, energi matahari, efisiensi, sel surya

Abstract

Energy needs from time to time in human life are inevitably always increasing. This is linear with population growth. On the other hand, energy sources are increasingly limited. In the future, it is certain that there will be an energy crisis, because the natural resources that provide energy will run out. It is very important to develop renewable energy sources. One of these energy sources is solar energy. One of the advantages of solar energy is that it will not run out. Countries located in the equatorial region will be able to utilize solar energy all year round. This article reviews matters related to the use of solar energy. Things related to the use of solar energy are the solar energy conversion process, challenges, and development opportunities. Solar energy is a potential energy source, but currently the cost is still high and the efficiency is still very low. This is a challenge for future development. Solar energy is one of the potential energy sources, but currently the cost is still high and the efficiency is still very low. This is a challenge for future development.

Keywords : energy conversion, solar energy, efficiency, solar cell

1. PENDAHULUAN

Pengembangan energi terbarukan menjadi isu penting di tengah meningkatnya kebutuhan energi global, perubahan iklim, dan terbatasnya sumber daya energi fosil. Energi terbarukan menawarkan solusi berkelanjutan untuk berbagai tantangan energi dan lingkungan saat ini. Pengembangan sel surya untuk pemenuhan energi pada masa mendatang akan sangat penting dan mendesak dilakukan. Peran sel surya sangat penting dalam konteks energi terbarukan dan keberlanjutan lingkungan. Kondisi kebutuhan energi pada saat ini seperti dibahas pada laporan kinerja dewan energi nasional menunjukkan komposisi pemakaian energi berdasarkan sumber energi pada tahun 2020 ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 . Kebutuhan Energi di Indonesia Pada Tahun 2020

Sumber Energi	TOE (Primary Energi Supplay)	Total (%)
Batu Bara	77.5 million	38.5%
Minyak Bumi	66.2 million	32.8%
Gas	35.2 million	17.4%
Sumber Energi Terbarukan : matahari, angin,biogas, biofuel	22.7 million	11.3%

Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa secara dominan energi yang dimanfaatkan secara khusus di Indonesia adalah energi yang berasal dari sumber yang tidak dapat diperbahurui. Terdapat 88.7% energi dari sumber yang tidak bisa diperbaharui. Tentu kondisi tersebut sangat tidak menguntungkan. Penggunaan energi dari sumber yang tidak dapat diperbahurui sering kali menimbulkan krisis. Hal ini terkait sumber energi yang sangat terbatas, namun kebutuhan yang meningkat setiap tahunnya. Pada publikasi yang oleh (Lubis, 2007), (Rikadi, 2007) disebutkan beberapa krisis dimana terjadi lonjakan harga minyak mentah bumi sampai tembus 100 US dolar/ barel, dimana harga awalnya sekitar 20 dolar US/barel. Kondisi ini tentu sangat berimbas pada banyak sektor kehidupan. Gambar 1 menunjukkan bagaimana fluktuatifnya harga minyak bumi sebagai salah satu sumber energi dunia.



Sumber : International Monetary Fund (IMF, 2006)

Gambar 1. Fluktuasi Harga Minyak Bumi

Kondisi ini tentu tidak menguntungkan, dan sangat tidak bijaksana jika tidak segera ada perencanaan serta tindakan nyata untuk beralih kesumber energi yang dapat diperbaharui. Menurut (Ariefianto & Aprilianto, 2021), (Utami *et al.*, 2022) potensi energi yang dapat diperbaharui sebenarnya sangat potensial. Tabel 2 menunjukkan potensi energi terbarukan.

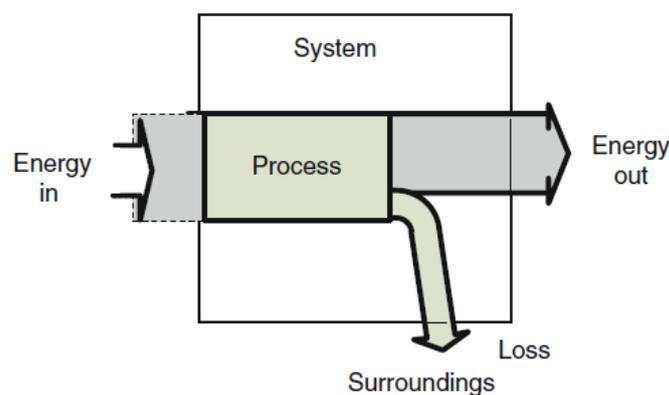
Tabel 2 . Potensi Energi Terbarukan di Indonesia

Jenis Energi	Potensi (GW)
Hydro Energi	75
Geotermal	23.7
Bio Energi	32.6
Matahari	207.8
Angin	60.6
Micro Hydro	19.3
Total	419

Berdarkan Tabel 2 Potensi mengembangkan energi bersumber pada tenaga matahari sangatlah besar. Energi ini tidak akan pernah habis sampai akhir jaman. Apabila energi dapat dimaksimalkan pemanfaatannya maka tidak akan ada krisis energi di dunia. Terutama untuk negara seperti Indonesia yang berada di garis katulistiwa sepanjang tahun akan mendapatkan sinar matahari.

1.1. Konversi Energi Matahari

Sinar matahari di ubah menjadi energi lain yang dapat dimanfaatkan (seperti energi Listrik), melalui sebuah proses konversi energi. Konsep konversi energi adalah mengubah energi dari suatu bentuk ke bentuk lain. Secara konsep konversi energi digambarkan seperti pada Gambar 2 (Demirel, 2016).



Gambar 2. Konsep Konversi Energi

Proses dalam konversi energi ada banyak metode yang dikenal, tergantung pada energi input atau energi asal yang mau diubah menjadi energi output. Tabel 3 menunjukkan berbagai metode proses konversi energi.

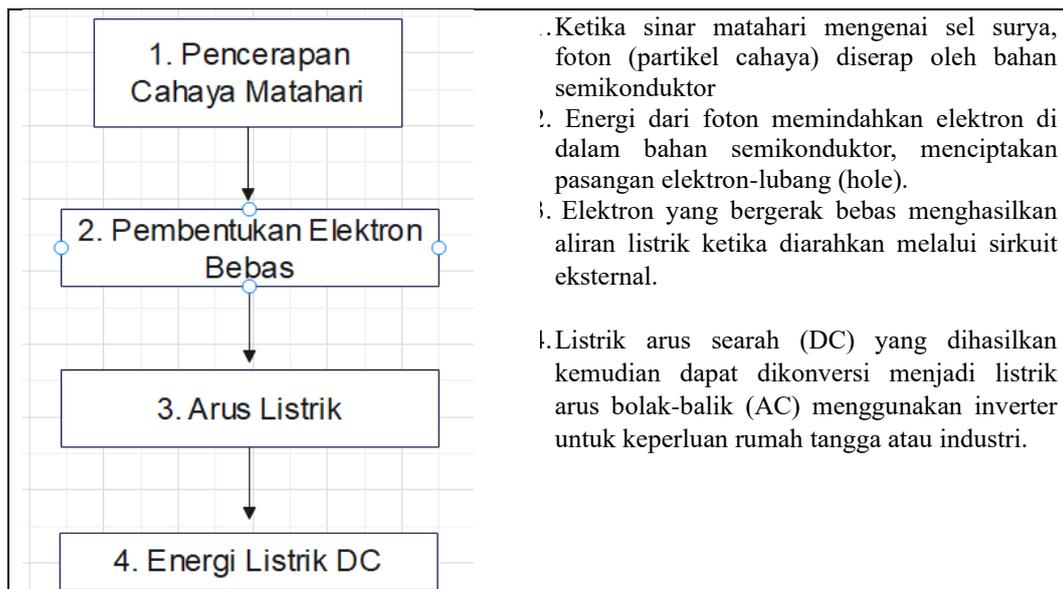
Tabel 3. Konversi Energi

Process and device	Energy input	Useful energy output
Steam engine	Heat	Mechanical energy
Photosynthesis	Solar energy	Chemical energy
Hydroelectric dams	Gravitational potential energy	Electric energy
Windmills	Mechanical energy	Electric energy
Electric generator	Mechanical energy	Electric energy
Diesel or petrol engine	Chemical energy	Mechanical energy
Electric motor	Electric energy	Mechanical energy
Fuel cells	Chemical energy	Electric energy
Battery	Chemical energy	Electric energy
Electric bulb	Electric energy	Heat and light
Resistance heater	Electric energy	Heat
Ocean thermal power	Heat	Electric energy
Bioluminescence	Chemical energy	Light energy
Nerve impulse	Chemical energy	Electrical energy
Muscular activity	Chemical energy	Mechanical energy
Geothermal power	Heat	Electric energy
Wave power	Mechanical energy	Electric energy
Friction	Kinetic energy	Heat
Thermoelectric	Heat	Electric energy
Piezoelectrics	Strain	Electric energy

Terkait dengan energi matahari dapat dikonversi dengan berbagai bentuk energi lain, diantaranya metode Fotovoltaik (FV), Termal Sel Surya, dan Photosintesis.

1.2 Konversi Energi Fotovoltaik

FotoVoltaik menggunakan **sel surya** (solar cells) yang terbuat dari bahan semikonduktor, seperti silikon, untuk mengubah energi cahaya menjadi listrik. Menurut (Safitri *et al.*, 2020) proses fotovoltaik diuraikan sebagai berikut :

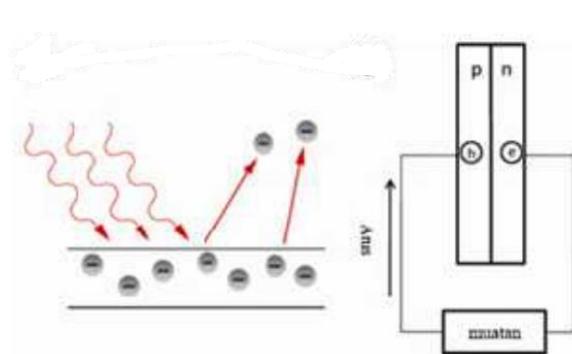


Gambar 3. Proses Fotovoltaik

Pengamatan tentang fenomena Fotovoltaic dilakukan pertama kali tahun 1839 oleh Becquerel. Sebuah sel elektroda elektrolitik dikenakan sinar matahari. Efek *Solar Photovoltaic* pertama kali diamati oleh Becquerel pada tahun 1839

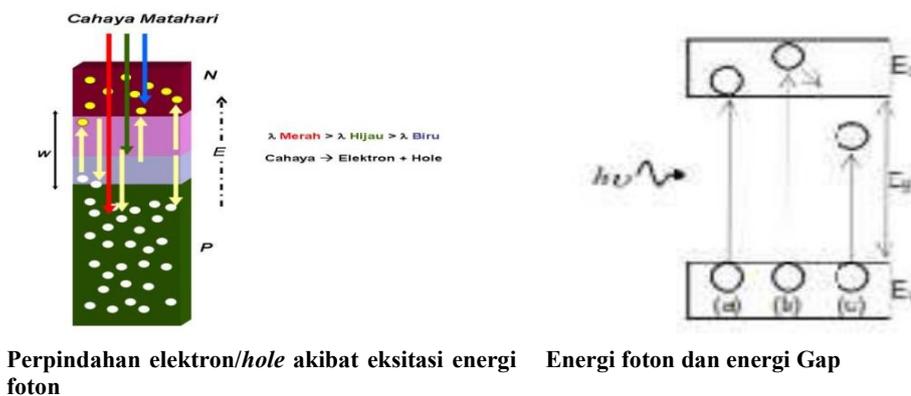
ketika ia mengarahkan sinar matahari pada salah satu elektroda dari sel Elektrolitik (Salihat, 2015). Dalam percobaan tersebut ditemukan bahwa pada electrode dengan material tertentu dapat menghasilkan arus Listrik. Penelitian tentang fotovoltaik memasuki tahapan serius pada saat Fuller dan kawan berasil membuat electrode yang selanjutnya disebut sel silicon kristalin dan mampu menghasilkan energi Listrik dengan efisiensi 6% (Safitri *et al.*, 2020).

Proses yang terjadi pada elektroda tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut, sebuah material logam tertentu dikenai sinar foton UV dari matahari. Akibat penyerapan foton tersebut maka akan terjadi eksitasi energi dan terdapat pelepasan electron dari material tersebut, ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Eksitasi Energi pada Material

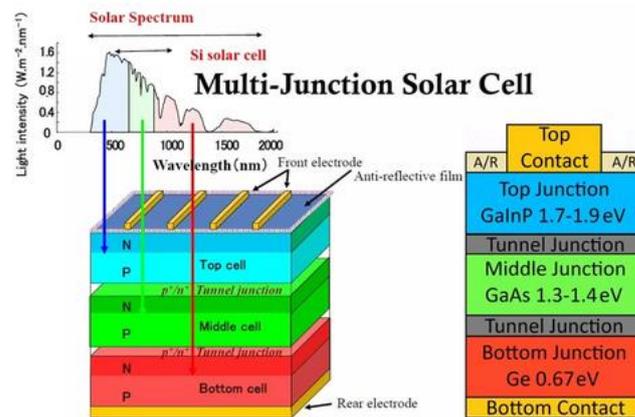
Apabila material tersebut merupakan sebuah semikonduktor, dengan sambungan pn , seperti yang kita ketahui pembawa mayoritas untuk semi konduktor tipe n adalah electron sedangkan untuk semikonduktor tipe p adalah hole. Pada daerah sambungan deflesi antara electron dan hole saling berhadap namun belum terjadi eksitasi electron /hole. Selanjutnya setelah dikenai sinar matahari maka electron dari semikonduktor tipe n akan berpindah dari semikonduktor tipe n ke tipe p, demikian pula sebaliknya pada hole.



Gambar 5. Terjadinya arus listrik akibat eksitasi energi akibat energi foton matahari.

Terjadinya arus Listrik, akibat perpindahan electron dan hole , akan terpenuhi jika Energi Foton > Energi Gap. Keterbatasan teknologi fotovoltaik adalah efisiensi yang masih sangat rendah, sejauh ini maksimum dilaporkan efisiensi 22%. Sebenarnya terdapat satu modifikasi teknologi fotovoltaik untuk meningkatkan efisiensi namun masih

dalam tahap pengembangan. Teknologi tersebut adalah teknologi Multi-junction solar cells (MJSC). Teknologi MJSC adalah sel surya yang terdiri dari beberapa lapisan semikonduktor dengan material berbeda, di mana masing-masing lapisan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Teknologi ini memungkinkan peningkatan efisiensi dengan menangkap lebih banyak energi dari spektrum matahari. Ilustrasi teknologi MJSC ditunjukkan pada Gambar 6.

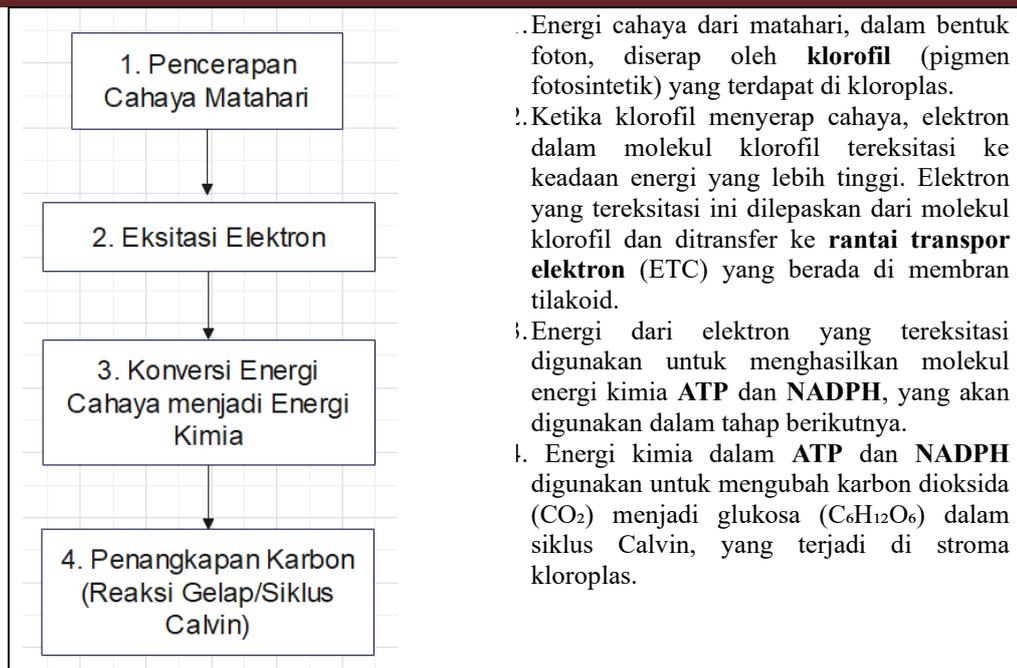


Gambar 6. Model Teknologi Multi-junction Solar Cells (MJSC)

Adapun cara kerja teknologi ini adalah Multi-junction solar cells (MJSC) bekerja dengan cara menggunakan beberapa lapisan semikonduktor dengan bandgap energi berbeda, sehingga mampu menangkap cahaya matahari dari berbagai panjang gelombang secara lebih efisien dibandingkan sel surya konvensional berbasis silikon. Setiap lapisan dalam MJSC dirancang untuk menyerap bagian tertentu dari spektrum cahaya matahari, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi. Mengacu pada Gambar 6, lapisan yang paling atas (Top Cell) akan menyerap cahaya matahari untuk bagian cahaya ultraviolet dan biru (cahaya dengan energi tinggi), Lapisan yang Tengah akan menyerap cahaya kuning dan hijau, sedangkan lapisan yang paling bawah khusus menyerap energi rendah (cahaya merah dan inframerah). Prinsipnya setiap diskrit energi matahari akan terserap oleh satu lapisan fotovoltaiik, sehingga energi yang terbuang dapat diminimalkan.

1.3. Konversi Energi Matahari Fotosintesis

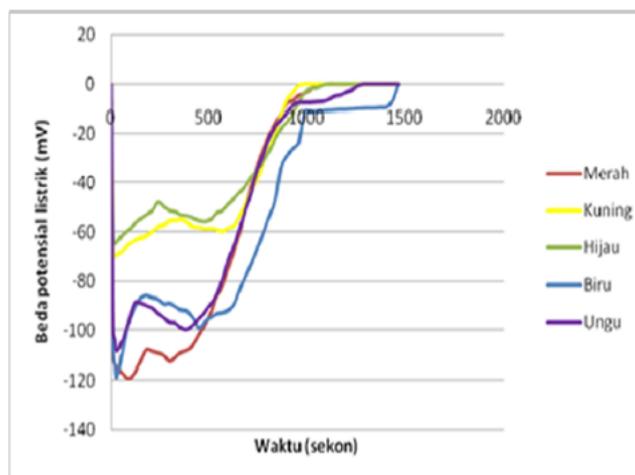
Konversi energi matahari dalam fotosintesis adalah proses biologis di mana energi cahaya dari matahari diubah menjadi energi kimia yang tersimpan dalam molekul organik seperti glukosa. Proses ini dilakukan oleh tumbuhan, alga, dan beberapa bakteri melalui mekanisme kompleks yang melibatkan klorofil, membran tilakoid, dan enzim-enzim tertentu. Prinsipnya adalah meniru mekanisme tanaman dalam mengubah energi matahari menjadi energi kimia. Pada penelitian (Maftukhah *et al.*, 2023), (Suryanto *et al.*, 2005) menyatakan bagaimana proses konversi energi fotosintesa. Dapat dirangkum tahapan konversi energi Fotosintesa seperti pada Gambar 7.



- 1. Energi cahaya dari matahari, dalam bentuk foton, diserap oleh **klorofil** (pigmen fotosintetik) yang terdapat di kloroplas.
- 2. Ketika klorofil menyerap cahaya, elektron dalam molekul klorofil tereksitasi ke keadaan energi yang lebih tinggi. Elektron yang tereksitasi ini dilepaskan dari molekul klorofil dan ditransfer ke **rantai transpor elektron** (ETC) yang berada di membran tilakoid.
- 3. Energi dari elektron yang tereksitasi digunakan untuk menghasilkan molekul energi kimia **ATP** dan **NADPH**, yang akan digunakan dalam tahap berikutnya.
- 4. Energi kimia dalam **ATP** dan **NADPH** digunakan untuk mengubah karbon dioksida (CO_2) menjadi glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) dalam siklus Calvin, yang terjadi di stroma kloroplas.

Gambar 7. Proses fotosintesis

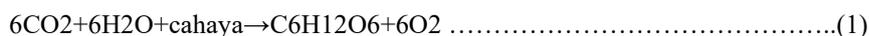
Pada publikasi (Nurmaeli & Taifur, 2015) dinyatakan energi foton matahari dengan panjang gelombang 390 nm sampai 760 nm, merupakan cahaya tampak. Cahaya foton menegai bagian klorofil dan akan menyebabkan esistensi electron. Cahaya matahari pada panjang gelombang tertentu memiliki pengaruh pada kuantitas electron yang dilepaskan oleh klorofil. Pada penelitian (Wahyuni *et al.*, 2012) dinyatakan perbedan kuantitas electron pada berbagai panjang gelombang Cahaya matahari.



Gambar 8. Respon Beda Potensial pada Kecambah dengan Variasi Panjang Gelombang Cahaya Matahari.

Elektron yang tereksitasi oleh energi cahaya bergerak melalui serangkaian protein, menghasilkan gradien energi yang digunakan untuk mensintesis ATP dan NADPH. Selanjutnya Energi kimia dalam **ATP** dan **NADPH** digunakan untuk mengubah karbon dioksida (CO_2) menjadi glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$) dalam siklus Calvin, yang terjadi di stroma kloroplas.

Secara keseluruhan persamaan konversi energi pada fotosintesa dinyatakan dengan Persamaan 1.



Glukosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$): Bentuk energi kimia yang dapat disimpan dan digunakan oleh tumbuhan.

Implementasi konversi energi fotosintesa diantaranya

(1). Fotosintesa Buatan.

Teknologi yang meniru proses fotosintesis alami untuk menghasilkan energi kimia dari cahaya matahari. Fokusnya adalah menghasilkan bahan bakar bersih seperti hidrogen atau metanol. Terdapat dua teknologi yang digunakan yaitu pertama **Fotokatalis**, Material semikonduktor seperti TiO_2 atau perovskit digunakan untuk menyerap cahaya matahari dan memecah air menjadi hidrogen dan oksigen. Hidrogen yang dihasilkan dapat digunakan sebagai bahan bakar hidrogen. Teknologi kedua yang digunakan teknologi pemisahan CO_2 , eknologi ini memanfaatkan cahaya matahari untuk mengubah karbon dioksida (CO_2) menjadi bahan bakar kimia seperti metanol atau hidrokarbon (Raharjo *et al.*, 2018; Kathpalia & Verma, 2023).

(2). Bioreaktor Alga

Alga adalah mikroorganisme yang mampu melakukan fotosintesis dengan sangat efisien. Teknologi bioreaktor alga memanfaatkan kemampuan alga untuk menghasilkan bahan kimia bernilai tinggi atau bioenergi (Rusdiani *et al.*, 2016).

(3). Sel Surya Biohibrida

Sel surya biohibrida menggunakan komponen biologis (misalnya, klorofil atau protein fotosintetik) yang diekstraksi dari organisme hidup dan digabungkan dengan material semikonduktor untuk menghasilkan listrik. Klorofil digunakan untuk menyerap cahaya matahari, lalu energinya ditransfer ke material semikonduktor yang menghasilkan aliran elektron (listrik) (Dhear, 2016).

2. PEMBAHASAN

Terdapat setidaknya 4 isu penting terkait permasalahan dan peluang pengembangan energi terbarukan yang bersumber pada Matahari.

2.1. Efisiensi Energi

Efisiensi energi sel surya adalah persentase cahaya matahari yang dapat diubah menjadi listrik oleh panel surya. Efisiensi ini dihitung dengan membandingkan energi listrik yang dihasilkan dengan jumlah energi matahari yang diterima oleh permukaan panel. Teknologi panel surya fotovoltaik (PV) standar memiliki efisiensi konversi cahaya

matahari ke listrik berkisar antara 15-22%. Sebagian besar energi matahari tidak dimanfaatkan karena keterbatasan teknologi dalam menangkap spektrum cahaya yang lebih luas. Efisiensi sel surya sering kali dianggap rendah karena beberapa faktor mendasar yang berkaitan dengan keterbatasan teknologi, sifat material, dan kondisi lingkungan. Terdapat beberapa alasan yang menyebabkan rendahnya efisiensi sel Surya.

- Spektrum Cahaya yang Tidak Efektif: Material semikonduktor hanya dapat menyerap energi dari sebagian spektrum cahaya (misalnya, silikon hanya efektif pada spektrum cahaya tampak). Foton dengan energi terlalu rendah (inframerah) atau terlalu tinggi (ultraviolet) tidak dimanfaatkan dengan baik.
- Tidak semua foton (partikel cahaya) dari matahari memiliki energi yang cukup untuk menghasilkan pasangan elektron-hole di material semikonduktor.
- Energi berlebih dari foton dengan energi lebih tinggi dari "bandgap" material hilang dalam bentuk panas.

A. Biaya Pengembangan Awal

Instalasi sistem energi matahari, seperti pembelian panel surya, inverter, baterai penyimpanan, dan pemasangan, memerlukan investasi awal yang signifikan.

B. Ketergantungan pada Kondisi Cuaca

Energi matahari sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari, yang dipengaruhi oleh kondisi cuaca (misalnya, awan atau hujan) dan lokasi geografis. Tabel 4 menunjukkan beberapa indikator cuaca dan pengaruhnya pada sel surya. Beberapa indikator yang dikaitkan antara lain : Suhu, cuaca, angin , kabut, kondisi pagi siang sore

C. Penyimpanan Energi

Tantangan lain adalah tentang penyimpanan energi, Penyimpanan energi pada sistem sel surya menghadapi berbagai permasalahan yang berkaitan dengan teknologi, biaya, dan efisiensi. Sel surya hanya menghasilkan listrik ketika ada sinar matahari (siang hari). Tanpa penyimpanan energi, sistem tidak dapat menyediakan listrik pada malam hari atau saat cuaca buruk. Teknologi baterai yang digunakan untuk menyimpan energi surya, seperti baterai lithium-ion, memiliki biaya awal yang tinggi. Biaya baterai dapat mencapai 30–50% dari total biaya sistem energi surya. □ Umur pakai baterai terbatas oleh jumlah siklus pengisian dan pengosongan (charge/discharge cycle). Setelah mencapai siklus tertentu, kapasitas baterai menurun. Sebagai contoh Baterai lithium-ion: Umur pakai sekitar 5–10 tahun (2.000–5.000 siklus). Pada Baterai lead-acid: Umur pakai lebih pendek (sekitar 500–1.500 siklus).

Tabel 4. Pengaruh Cuaca Pada Sel Surya

Indikator Cuaca	Dampak	Deskripsi
------------------------	---------------	------------------

Indikator Cuaca	Dampak	Deskripsi
cerah	Positif	Sinar matahari langsung (dengan intensitas tinggi) meningkatkan jumlah foton yang mencapai permukaan panel surya, sehingga menghasilkan energi listrik yang maksimal.
Berawan	Negatif	Awan menghalangi sebagian besar sinar matahari yang masuk ke panel surya, sehingga produksi energi berkurang.
Hujan	Negatif	Intensitas cahaya matahari berkurang karena tertutup awan tebal
Suhu Tinggi	Negatif	Panel surya bekerja optimal pada suhu sekitar 25°C. Ketika suhu lingkungan meningkat, efisiensi panel surya cenderung menurun.
Suhu Dingin	Positif	Suhu rendah meningkatkan efisiensi material semikonduktor karena tegangan listrik yang dihasilkan menjadi lebih stabil.
Angin Kencang	Negatif	Angin kencang dapat menyebabkan kerusakan fisik pada panel surya atau struktur pemasangannya jika tidak dirancang untuk menahan beban angin tinggi.
Asap & Kabut	Negatif	Intensitas tidak maksimal terhalang asap atau kabut
Pagi	Negatif	Intensitas Cahaya matahari tidak maksimal
Siang	Positif	Intensitas Cahaya matahari maksimal
Sore	Negatif	Intensitas Cahaya matahari tidak maksimal

3. KESIMPULAN

Energi matahari adalah salah satu solusi paling potensial dalam menghadapi kebutuhan energi global dan tantangan lingkungan. Pengembangan teknologi yang berbasis energi matahari memiliki berbagai keuntungan, namun juga menghadapi tantangan yang perlu diatasi. Berikut adalah kesimpulan utama terkait pengembangan energi baru dari matahari:

- (1). Energi matahari adalah sumber energi terbarukan yang melimpah dan tidak menghasilkan emisi karbon saat digunakan. Energi ini kedepan sangat cocok dikembangkan dinegara tropis seperti Indonesia. Energi matahari dapat menjadi alternatif utama untuk menggantikan bahan bakar fosil, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan ketergantungan pada sumber daya yang semakin langka.
- (2). Namun Demikian beberapa tantangan yang saat ini masih menjadi kendala pengembangan energi matahari antara lain, Efisiensi sel surya konvensional (silicon-based) umumnya berkisar antara 15–22%, sehingga pengembangan teknologi baru seperti perovskite dan sel tandem diperlukan untuk meningkatkan kinerja. Hal kedua biaya instalasi awal yang mahal , serta biaya penyimpanan energi (batrai) yang juga sangat mahal.
- (3). Peluang pengembangan yang mungkin dilakukan adalah pertama Pengembangan sel surya generasi baru seperti thin-film, perovskite, dan organic photovoltaic (OPV) untuk meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya. Kedua Peningkatan kapasitas baterai dan pengembangan sistem penyimpanan alternatif seperti hidrogen atau compressed air energi storage (CAES). Ketiga Instalasi sistem energi surya di wilayah terpencil untuk meningkatkan elektrifikasi dan mengurangi ketimpangan akses energi. Dan Keempat adanya dukungan kebijakan Subsidi, insentif pajak, dan regulasi yang mendukung investasi energi matahari akan mempercepat adopsi dan pengembangan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariefianto, R. M., & Aprilianto, R. A. (2021). Peluang Dan Tantangan Menuju Net Zero Emission (NZE) Menggunakan Variable Renewable Energi (VRE) Pada Sistem Ketenagalistrikan Di Indonesia. *Jurnal Paradigma*, 2(2), 1–13. <https://www.researchgate.net/publication/357448042>
- Demirel, Y. (2016). Energi: Production, Conversion, Storage, Conservation, and Coupling. In *Green Energi and Technology* (Vol. 69, Issue January 2012). <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2372-9>
- Kathpalia, R., & A.K. (2023). *Artificial Photosynthesis as an Alternative Source of Renewable Energi: Potential and Limitations*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.111501>
- Lubis, A. (2007). Energi Terbarukan Dalam Pembangunan Berkelanjutan. *J. Tek. Ling*, 8(2), 155–162.
- Maftukhah, M., Turrohmah, U. U., Sholikhah, N. I., & Fawaida, U. U. (2023). Pengaruh Cahaya Terhadap Proses Fotosintesis pada Tanaman Naungan Dan Tanaman Terpapar Cahaya Langsung. *Jurnal Pengabdian Masyarakat MIPA Dan Pendidikan MIPA*, 7(1), 51–55. <https://doi.org/10.21831/jpmmp.v7i1.51510>
- Nurmaeli, R. E., & Taifur, M. (2015). Analisis Penentuan Kandungan Gas Oksigen (O₂) Fotosintesis Tanaman Gelombang Cinta (Anthuriumsp) Pada Variasi Daya Lampu. *Taman Vokasi*, 1(1), 490–499. <https://doi.org/10.30738/jtvok.v3i1.265>
- Dhear, P. (2016). 19318-43775-1-Pb. *Jurnal Teknik Its*, 5(2), 394–399. 10.12962/J23373539.V5I2.19318
- Raharjo, S., Kurniawan, E., & Nurcahya, E. D. (2018). Sistem Otomatisasi Fotosintesis Buatan Pada Aquascape Berbasis Arduino. *Komputek*, 2(1), 39. <https://doi.org/10.24269/jkt.v2i1.66>
- Rikadi, N. (2007). Mendeteksi Pengaruh Pasar Minyak Bumi Dunia Terhadap Krisis Harga. *Business Management Journal*, 3(2), 1–17. <https://doi.org/10.30813/bmj.v3i2.341>
- Rusdiani, R. R., Boedisantoso, R., & Hanif, M. (2016). Optimalisasi Teknologi Fotobioreaktor Mikroalga sebagai Dasar Perencanaan Strategi Mitigasi Gas CO₂. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 188–192. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16942>
- Safitri, N., Lhokseumawe, P. N., Rihayat, T., & Lhokseumawe, P. N. (2020). *BUKU TEKNOLOGI PHOTOVOLTAIC* (Issue June).
- Salihat, R.A. (2015). Pengaruh Modifikasi Sel Fotovoltaik Terhadap Kinerjanya dalam Menghasilkan Arus dan

Tegangan dengan Sistem Larutan Elektrolit KI/KI₃. In *Universitas Andalas* (Vol. 151).

Suryanto, A., Guritno, B., Sugito, Y., & Koesmaryono, Y. (2005). Efisiensi Konversi Energi Surya pada Tanaman Kentang (*Solanum tuberosum* L.). *Agromet*, 19(1), 39. <https://doi.org/10.29244/j.agromet.19.1.39-48>

Utami, I., Riski, M. A., & Hartanto, D. R. (2022). Nuclear Power Plants Technology to Realize Net Zero Emission 2060. *The International Journal of Business Management and Technology*, 6(1), 158–162. www.theijbmt.com

Wahyuni, F., Juswono, U. P., & Kusharto, K. (2012). Efek Spektrum Cahaya Tampak terhadap Respon Beda Potensial Listrik pada Kecambah Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) saat Fotosintesis. *Natural B*, 1(3), 207–213.