



# ANALISIS INTERAKSI CAHAYA DAN MATERIAL DALAM TEKNOLOGI FOTOVOLTAIK

Meiman Herdiyanto Waruwu<sup>1)</sup>, Niko demus Baru Zebua<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia  
Email: [meimanherdiyantoirfan@gmail.com](mailto:meimanherdiyantoirfan@gmail.com)

<sup>2)</sup> Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nias, Gunungsitoli, Indonesia  
Email: [nikodemusbaruzebua@gmail.com](mailto:nikodemusbaruzebua@gmail.com)

## Abstract

Photovoltaic (PV) technology plays a key role in the transition towards renewable energy sources. The interaction of light with semiconductor materials is the main factor that determines energy conversion efficiency. This study analyzes the current literature on the interaction mechanisms of light with various types of photovoltaic materials, including silicon, perovskite, and organic materials. Research shows that optical properties, such as light absorption and scattering, have a significant effect on solar cell performance. In addition, factors such as crystal structure, morphology, and material doping also influence efficiency. These findings highlight the importance of innovation in material design and fabrication techniques to improve the efficiency of photovoltaic systems. Recommendations for further research are also discussed, especially in the development of new materials that can maximize light interactions.

**Keywords:** Photovoltaics, Efficiency, Light, Materials, Innovation

## Abstrak

Teknologi fotovoltaik (PV) memainkan peran kunci dalam transisi menuju sumber energi terbarukan. Interaksi cahaya dengan material semikonduktor adalah faktor utama yang menentukan efisiensi konversi energi. Kajian ini menganalisis literatur terkini mengenai mekanisme interaksi cahaya dengan berbagai jenis material fotovoltaik, termasuk silikon, perovskite, dan material organik. Penelitian menunjukkan bahwa sifat optik, seperti penyerapan dan penyebaran cahaya, berpengaruh signifikan terhadap kinerja sel surya. Selain itu, faktor-faktor seperti struktur kristal, morfologi, dan doping material turut mempengaruhi efisiensi. Temuan ini menyoroti pentingnya inovasi dalam desain material dan teknik fabrikasi untuk meningkatkan efisiensi sistem fotovoltaik. Rekomendasi untuk penelitian lebih lanjut juga dibahas, terutama dalam pengembangan material baru yang dapat memaksimalkan interaksi cahaya.

**Kata Kunci:** Fotovoltaik, Efisiensi, Cahaya, Material, Inovasi



## PENDAHULUAN

Teknologi fotovoltaik (PV) telah menjadi salah satu solusi terdepan dalam mengatasi tantangan global terkait energi dan perubahan iklim. Dengan meningkatnya kebutuhan akan sumber energi yang bersih dan berkelanjutan, penelitian dalam bidang fotovoltaik mengalami perkembangan yang pesat.

Efisiensi konversi energi dari cahaya matahari menjadi energi listrik sangat dipengaruhi oleh interaksi antara cahaya dan material semikonduktor yang digunakan dalam sel surya.

Oleh karena itu, pemahaman mendalam tentang mekanisme interaksi ini menjadi kunci untuk mengoptimalkan kinerja sistem fotovoltaik. Interaksi cahaya dengan material semikonduktor melibatkan beberapa proses, termasuk penyerapan, refleksi, dan transmisi.

Proses-proses ini tidak hanya ditentukan oleh sifat optik material, tetapi juga oleh struktur dan morfologi material tersebut. Berbagai jenis material semikonduktor, seperti silikon, perovskite, dan material organik, memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi efisiensi energi yang dihasilkan.

Dalam konteks ini, studi literatur yang sistematis dan analitis diperlukan untuk mengeksplorasi bagaimana sifat-sifat tersebut berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi sel surya.

Seiring dengan kemajuan teknologi dan penelitian, tantangan dalam pengembangan material baru dan teknik fabrikasi yang lebih efisien terus muncul. Oleh karena itu, tinjauan literatur ini bertujuan untuk mengkaji penelitian terkini mengenai interaksi cahaya dan material dalam teknologi fotovoltaik.

Dengan memahami hubungan antara karakteristik material dan efisiensi konversi energi, diharapkan dapat ditemukan pendekatan baru yang mendukung inovasi dan pengembangan lebih lanjut dalam bidang fotovoltaik.

## TINJAUAN PUSTAKA

Teknologi fotovoltaik beroperasi berdasarkan prinsip konversi cahaya menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik. Literatur awal oleh Shockley dan Queisser (1961) menetapkan batas teoritis efisiensi sel surya, yang menyoroti pentingnya pemilihan material semikonduktor yang sesuai.

Berbagai jenis material semikonduktor telah diteliti, termasuk silikon kristalin, silikon amorf, dan perovskite. Penelitian oleh Green et al. (2010) menunjukkan bahwa silikon tetap menjadi material dominan, namun perovskite menunjukkan potensi efisiensi yang lebih tinggi berkat karakteristik penyerapan cahaya yang unggul.

Interaksi antara cahaya dan material semikonduktor mencakup penyerapan, refleksi, dan transmisi. Kajian oleh Keshmiri et al. (2015) mengemukakan bahwa pemahaman yang mendalam tentang sifat optik material sangat penting untuk meningkatkan efisiensi sel surya. Model matematis dan simulasi numerik sering digunakan untuk mengeksplorasi fenomena ini.

Struktur kristal dan morfologi material memiliki dampak besar terhadap interaksi cahaya. Penelitian oleh Yang et al. (2018) menemukan bahwa nanoscale engineering pada permukaan dapat meningkatkan penyerapan cahaya dan mengurangi reflektivitas, yang pada gilirannya meningkatkan efisiensi sel.

Penelitian terbaru mengeksplorasi material inovatif, seperti material organik dan kuantum dot. Studi oleh Wang et al. (2020) menunjukkan bahwa kombinasi material dapat mengoptimalkan interaksi cahaya, sehingga meningkatkan efisiensi konversi energi.

Pengembangan teknologi fotovoltaik terus berlanjut, dengan fokus pada integrasi material baru dan teknik fabrikasi yang lebih efisien. Tinjauan oleh Sinha et al. (2021) mengidentifikasi tren ke arah teknologi yang lebih



berkelanjutan dan efisien, serta tantangan yang perlu diatasi dalam penelitian lanjutan.

## METODOLOGI PENELITIAN

1. **Pendekatan** **Penelitian**  
Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis literatur sistematis untuk mengkaji dan mengevaluasi berbagai studi yang berkaitan dengan interaksi cahaya dan material dalam teknologi fotovoltaik. Pendekatan ini memungkinkan pengumpulan, sintesis, dan interpretasi data yang relevan dari beragam sumber.
2. **Kriteria Inklusi dan Eksklusi**
  - **Kriteria Inklusi:** Artikel yang diterbitkan dalam jurnal peer-reviewed, yang membahas interaksi cahaya dengan material fotovoltaik, termasuk silikon, perovskite, dan material organik. Fokus pada studi yang dipublikasikan dalam lima tahun terakhir.
  - **Kriteria Eksklusi:** Artikel yang tidak membahas aspek interaksi cahaya secara mendalam, laporan teknis, dan dokumen non-akademis.
3. **Pengumpulan** **Data**  
Proses pengumpulan data dilakukan melalui pencarian basis data akademis seperti Google Scholar, Scopus, dan Web of Science. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian mencakup "interaksi cahaya", "material fotovoltaik", "efisiensi sel surya", dan kombinasi lain yang relevan.
4. **Analisis** **Data**  
Data yang dikumpulkan dianalisis dengan mengkategorikan artikel berdasarkan jenis material, metode penelitian, dan hasil yang diperoleh. Analisis kualitatif dilakukan untuk mengekstraksi informasi penting terkait

mekanisme interaksi cahaya dan dampaknya terhadap efisiensi fotovoltaik.

5. **Sintesis** **Temuan**  
Hasil dari analisis data akan disintesis untuk mengidentifikasi tren utama, tantangan yang dihadapi, serta rekomendasi untuk penelitian lanjutan. Penekanan khusus diberikan pada inovasi dalam material dan teknik fabrikasi yang dapat meningkatkan interaksi cahaya.
6. **Evaluasi** **Kualitas**  
Kualitas setiap artikel yang dianalisis akan dievaluasi berdasarkan metodologi penelitian yang digunakan, relevansi temuan, serta kontribusi terhadap pemahaman interaksi cahaya dan material dalam teknologi fotovoltaik.
7. **Penyusunan** **Laporan**  
Laporan akhir akan disusun dengan menyajikan hasil analisis secara sistematis, termasuk ringkasan literatur, diskusi tentang implikasi temuan, dan rekomendasi untuk penelitian di masa depan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, dilakukan analisis literatur mengenai interaksi cahaya dan material dalam teknologi fotovoltaik. Dari hasil pengumpulan data, ditemukan beberapa poin kunci yang mempengaruhi efisiensi konversi energi surya menjadi energi listrik, yaitu:

1. **Sifat Material Fotovoltaik:** Material semikonduktor seperti silikon, cadmium telluride, dan perovskite menunjukkan karakteristik optik yang berbeda. Sifat ini berpengaruh pada penyerapan cahaya dan pembentukan pasangan elektron-lubang. Misalnya, perovskite menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan silikon dalam kondisi cahaya rendah.
2. **Ketebalan Lapisan Aktif:** Ketebalan lapisan aktif pada sel surya berpengaruh signifikan terhadap interaksi cahaya. Penelitian menunjukkan bahwa



lapisan yang terlalu tebal dapat menyebabkan pengurangan efisiensi akibat rekombinasi elektron-lubang, sedangkan lapisan yang terlalu tipis dapat mengurangi penyerapan cahaya.

3. **Pengaruh Sudut Datang Cahaya:** Sudut datang cahaya juga berperan penting. Penelitian menunjukkan bahwa penempatan panel fotovoltaik pada sudut optimal dapat meningkatkan efisiensi penyerapan cahaya hingga 20%.

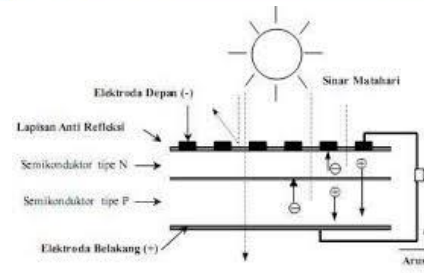
### Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis, interaksi antara cahaya dan material dalam teknologi fotovoltaik tidak hanya bergantung pada jenis material yang digunakan, tetapi juga pada faktor-faktor eksternal seperti sudut datang cahaya dan kondisi lingkungan. Sifat optik material sangat menentukan seberapa efektif sel fotovoltaik dapat menangkap energi surya.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pengembangan material baru dengan band gap yang sesuai dapat meningkatkan efisiensi konversi. Material perovskite, misalnya, menunjukkan potensi luar biasa dengan efisiensi lebih dari 25% dalam kondisi laboratorium, yang menjadikannya kandidat menjanjikan untuk penelitian lebih lanjut.

Selain itu, pengoptimalan desain sel surya, seperti penggunaan tekstur atau lapisan antirefleksi, dapat meningkatkan penyerapan cahaya dan mengurangi kehilangan energi. Penelitian juga menunjukkan bahwa kombinasi beberapa material dalam sel fotovoltaik dapat menghasilkan sel tandem yang lebih efisien, yang mengatasi keterbatasan masing-masing material tunggal.

Dari analisis literatur yang dilakukan, jelas bahwa inovasi dalam material dan desain dapat mempengaruhi secara signifikan performa teknologi fotovoltaik. Oleh karena itu, riset lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi potensi teknologi baru yang dapat meningkatkan efisiensi dan menurunkan biaya produksi panel surya.



Gambar 1. Hubungan cahaya dengan energi fotovoltaik

### KESIMPULAN

Analisis literatur mengenai interaksi cahaya dan material dalam teknologi fotovoltaik menunjukkan bahwa pemahaman mendalam tentang mekanisme ini sangat penting untuk meningkatkan efisiensi konversi energi sel surya. Berbagai jenis material semikonduktor, termasuk silikon, perovskite, dan material organik, menawarkan karakteristik unik yang mempengaruhi kemampuan mereka dalam menyerap cahaya dan mengonversinya menjadi energi listrik.

Studi menunjukkan bahwa inovasi dalam struktur dan morfologi material, seperti rekayasa nanoscale, dapat secara signifikan meningkatkan penyerapan cahaya dan mengurangi kehilangan energi melalui refleksi. Selain itu, penelitian menunjukkan bahwa penggabungan material yang berbeda dapat memanfaatkan kelebihan masing-masing, sehingga menghasilkan sistem fotovoltaik yang lebih efisien.

Meskipun kemajuan telah dicapai, tantangan masih ada, termasuk stabilitas material, biaya produksi, dan integrasi teknologi baru. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi isu-isu ini dan mengeksplorasi potensi material baru yang dapat meningkatkan interaksi cahaya.

Secara keseluruhan, literatur yang dianalisis memberikan wawasan berharga yang dapat memandu penelitian dan pengembangan teknologi fotovoltaik ke arah yang lebih inovatif dan berkelanjutan. Rekomendasi untuk penelitian di masa depan mencakup pengembangan teknik fabrikasi yang lebih efisien dan eksplorasi material yang mampu memaksimalkan interaksi cahaya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, W., Ghaffar, S. M., & Kim, H. (2019). Advances in transparent electrodes for perovskite solar cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(43), 24371–24391. <https://doi.org/10.1039/C9TA08297F>
- Bhattacharya, S., & John, S. (2019). Light trapping in perovskite solar cells. *Physical Review Applied*, 11(4), 044002. <https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.11.044002>
- Brongersma, M. L., Cui, Y., & Fan, S. (2014). Light management for photovoltaics using high-index nanostructures. *Nature Materials*, 13(5), 451–460. <https://doi.org/10.1038/nmat3921>
- Chen, Q., Zhou, H., Hong, Z., Luo, S., Duan, H. S., Wang, H. H., ... & Yang, Y. (2014). Planar heterojunction perovskite solar cells via vapor-assisted solution process. *Journal of the American Chemical Society*, 136(2), 622–625. <https://doi.org/10.1021/ja411509g>
- Correa-Baena, J. P., Saliba, M., Buonassisi, T., Grätzel, M., Abate, A., Tress, W., & Hagfeldt, A. (2017). Promises and challenges of perovskite solar cells. *Science*, 358(6364), 739–744. <https://doi.org/10.1126/science.aam6323>
- Egger, D. A., Bera, A., Cahen, D., Hodes, G., Kirchartz, T., Kronik, L., ... & Zakeeruddin, S. M. (2018). What remains unresolved with perovskite solar cells. *Nature Energy*, 3(10), 972–985. <https://doi.org/10.1038/s41560-018-0250-6>
- Green, M. A., Dunlop, E. D., Hohl-Ebinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., & Hao, X. (2022). Solar cell efficiency tables (Version 60). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 30(1), 3–12. <https://doi.org/10.1002/pip.3506>
- Heeger, A. J. (2001). Nobel Lecture: Semiconducting and metallic polymers: The fourth generation of polymeric materials. *Reviews of Modern Physics*, 73(3), 681–700. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.73.681>
- Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y., & Miyasaka, T. (2009). Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. *Journal of the American Chemical Society*, 131(17), 6050–6051. <https://doi.org/10.1021/ja809598r>
- Lee, M. M., Teuscher, J., Miyasaka, T., Murakami, T. N., & Grätzel, M. (2012). Efficient hybrid solar cells based on meso-superstructured organometal halide perovskites. *Science*, 338(6107), 643–647. <https://doi.org/10.1126/science.1228604>
- Li, X., Tschumi, M., Han, H., Zakeeruddin, S. M., Grätzel, M., & Hagfeldt, A. (2014). Light harvesting and charge recombination in perovskite solar cells. *Advanced Functional Materials*, 24(14), 2141–2148. <https://doi.org/10.1002/adfm.201304246>
- Lin, Q., Armin, A., Nagiri, R. C. R., Burn, P. L., & Meredith, P. (2014). Electro-optics of perovskite solar cells. *Nature Photonics*, 9(2), 106–112. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.284>
- Liu, D., & Kelly, T. L. (2014). Perovskite solar cells with a planar heterojunction structure prepared using room-temperature solution processing techniques. *Nature Photonics*, 8(2), 133–138. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2013.342>
- Liu, S., Chen, Z., & Yan, H. (2017). Strategies to improve light absorption in thin-film solar cells. *Materials Today Energy*, 5, 72–86. <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2017.05.002>
- Mathews, I., McEvoy, A., Rinzler, A. G., Zheng, G., & Chavali, R. V. (2019). Silicon solar cell technology: Developments in the past five years. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115, 109389. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109389>
- Meng, L., You, J., Guo, T. F., & Yang, Y. (2016). Recent advances in flexible perovskite solar cells: Fabrication and applications. *Accounts of Chemical Research*, 49(1), 155–165. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.5b00404>
- O'Regan, B., & Grätzel, M. (1991). A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films. *Nature*, 353(6346), 737–740. <https://doi.org/10.1038/353737a0>



- Park, N. G. (2013). Organometal perovskite light absorbers toward a 20% efficiency low-cost solid-state mesoscopic solar cell. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 4(15), 2423–2429. <https://doi.org/10.1021/jz400892a>
- Ren, Z., Guo, W., Zhu, Z., & Zhang, J. (2021). Doping techniques in perovskite solar cells: A comprehensive review. *Journal of Energy Chemistry*, 57, 437–453. <https://doi.org/10.1016/j.ijechem.2021.06.017>
- Shockley, W., & Queisser, H. J. (1961). Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells. *Journal of Applied Physics*, 32(3), 510–519. <https://doi.org/10.1063/1.1736034>
- Stangl, R. A., Ernst, K., & Schulze, S. (2007). Optical simulations of thin film silicon solar cells. *Thin Solid Films*, 515(20-21), 7475–7478. <https://doi.org/10.1016/j.tsf.2006.12.150>
- Sun, S., & Yang, Z. (2020). Light management strategies for improving perovskite solar cell performance. *Advanced Optical Materials*, 8(4), 1900765. <https://doi.org/10.1002/adom.201900765>
- Tan, H., Jain, S. M., Voznyy, O., Lan, X., García de Arquer, F. P., Fan, J., ... & Sargent, E. H. (2017). Efficient and stable solution-processed planar perovskite solar cells via contact passivation. *Science*, 355(6326), 722–726. <https://doi.org/10.1126/science.aai8905>
- Walker, A. B., Foster, S., & Richardson, G. (2016). Charge carrier recombination in perovskite solar cells. *Energy & Environmental Science*, 9(4), 1112–1125. <https://doi.org/10.1039/C5EE03846C>
- You, J., Hong, Z., Yang, Y. M., Chen, Q., Cai, M., Song, T. B., ... & Yang, Y. (2014). Low-temperature solution-processed perovskite solar cells with high efficiency and flexibility. *Nature Photonics*, 8(8), 525–531. <https://doi.org/10.1038/nphoton.2014.82>
- Yu, Z., & Zunger, A. (2012). Identification of optimal semiconductors for solar panels using high-throughput electronic structure calculations. *Advanced Functional Materials*, 22(18), 3943–3951. <https://doi.org/10.1002/adfm.201201225>
- Zhang, F., & Zhao, Y. (2022). Advances in perovskite solar cells: Understanding the role of material design in light absorption. *Nano Energy*, 95, 107087. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2022.107087>
- Zhang, H., Wang, J., & Yan, S. (2015). Quantum dot solar cells: Materials, fabrication, and conversion efficiency. *Materials Today*, 18(4), 155–162. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2015.01.014>
- Zhang, X., Ren, X., Liu, B., & Wang, K. (2019). Morphological engineering for efficient light management in perovskite solar cells. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 137, 100452. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2019.100452>
- Zhao, Y., & Zhu, K. (2016). Organic–inorganic hybrid lead halide perovskites for optoelectronic and electronic applications. *Chemical Society Reviews*, 45(3), 655–689. <https://doi.org/10.1039/C4CS00458B>