

## ANALISIS OPTIK PEROVSKIT KERANG TEBALAN SEBAGAI BIO-MATERIAL SEL SURYA

<sup>1)</sup>Roihatur Rohmah\*, <sup>2)</sup>Pelangi Eka Yuwita, <sup>3)</sup>Allif Rosyidy Hilmi, <sup>4)</sup>Ainun Nurul Farikhah

<sup>1)</sup> Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri,  
email: [roiha.rohmah@unugiri.ac.id](mailto:roiha.rohmah@unugiri.ac.id)

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri,  
email: [pelangi.ardata@gmail.com](mailto:pelangi.ardata@gmail.com)

<sup>3)</sup> Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, UPN Veteran Jawa Timur,  
email: [allif\\_rosyidy.fisika@upnjatim.ac.id](mailto:allif_rosyidy.fisika@upnjatim.ac.id)

<sup>4)</sup> Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri,  
email: [ainunfarikhah98@gmail.com](mailto:ainunfarikhah98@gmail.com)

### Abstrak

Semikonduktor merupakan material yang terus dikembangkan, termasuk melalui pemanfaatan bahan alam sebagai kandidat bio-material sel surya. Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan kalsium karbonat alami dari cangkang kerang tebalan Pantai Tuban sebagai bahan baku perovskit  $\text{CaTiO}_3$  untuk material bio-sel surya, yang masih jarang diteliti. Proses sintesis dilakukan melalui tahapan pembersihan, pemanasan, dan pencampuran dalam reaksi padatan antara kalsium karbonat dan titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ). Analisis dilakukan menggunakan metode Tauc plot untuk menentukan celah energi serta difraksi sinar-X (XRD) guna mengidentifikasi struktur kristal. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa material yang terbentuk memiliki struktur kristal perovskit dengan fasa ortorombik, ditunjukkan oleh parameter kisi  $a = 5,388 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,432 \text{ \AA}$ ,  $c = 7,639 \text{ \AA}$ , dan volume sel sebesar  $223,567 \text{ \AA}^3$ . Selain itu, diperoleh nilai energi gap dengan transisi direct allowed ( $n = 1/2$ ) sebesar  $3,94 \text{ eV}$  dan transisi indirect allowed ( $n = 2$ ) sebesar  $3,67 \text{ eV}$ . Temuan ini menegaskan bahwa  $\text{CaTiO}_3$  hasil sintesis dari cangkang kerang tebalan memiliki karakter semikonduktor yang potensial untuk diaplikasikan sebagai bio-material sel surya, khususnya sebagai aditif dalam lapisan penyangga maupun lapisan transport elektron.

**Kata Kunci:** Cangkang kerang tebalan, celah energi, perovskite, sel surya

### Abstract

Semiconductors are materials that continue to be widely developed, including through the utilization of natural resources as potential bio-materials for solar cells. This study focuses on the use of natural calcium carbonate derived from Tebalan seashells collected from Tuban Beach as a precursor for  $\text{CaTiO}_3$  perovskite, which remains rarely investigated. The synthesis process was carried out through several stages, namely cleaning, heating, and solid-state reaction between calcium carbonate and titanium dioxide ( $\text{TiO}_2$ ). Characterization was performed using the Tauc plot method to determine the energy band gap and X-ray diffraction (XRD) to identify the crystal structure. The results show that the synthesized material possesses a perovskite crystal structure with an orthorhombic phase, indicated by lattice parameters  $a = 5.388 \text{ \AA}$ ,  $b = 5.432 \text{ \AA}$ ,  $c = 7.639 \text{ \AA}$ , and a unit cell volume of  $223.567 \text{ \AA}^3$ . Furthermore, the band gap energy values were found to be  $3.94 \text{ eV}$  for the direct allowed transition ( $n = 1/2$ ) and  $3.67 \text{ eV}$  for the indirect allowed transition ( $n = 2$ ). These findings confirm that  $\text{CaTiO}_3$  synthesized from Tebalan seashells exhibits semiconductor characteristics with promising potential for application as a bio-material in solar cells, particularly as an additive in buffer layers or electron transport layers.

**Keywords:** Energy gap, perovskite, solar cells, thickness of Tebalan shells

## I. PENDAHULUAN

Zat penghantar listrik yang lebih baik dari isolator tetapi dibawah konduktor biasanya disebut bahan semikonduktor. Konduktor adalah benda seperti logam, sedangkan isolator adalah benda seperti keramik. Karena berada di antara keduanya, semikonduktor sangat berguna dalam pembuatan perangkat elektronik. Semikonduktor dapat dibuat dari unsur murni seperti silikon dan germanium, atau dari senyawa seperti galium arsenida (Lathe and Palve, 2024). Kemampuannya untuk menghantarkan listrik dapat berubah berdasarkan suhu, penambahan pengotor, atau pengaruh luar lainnya yang memungkinkan menjadi semikonduktor murni atau semikonduktor yang telah diolah dengan pengotor (Somano, 2022). Material semikonduktor berkualitas tinggi terbuat dari zat yang sangat murni, struktur kristal yang jernih, dan memiliki sifat kelistrikan yang baik seperti pergerakan elektron yang cepat dan resistansi yang sangat rendah. Sifat-sifat ini membantu perangkat elektronik bekerja dengan baik dengan kehilangan energi dan panas yang sangat minimal. Semikonduktor digunakan dalam komponen elektronik penting seperti transistor, dioda, sel surya, dan chip komputer. Semikonduktor membantu mengendalikan listrik secara presisi, yang dibutuhkan untuk perangkat seperti komputer biasa, internet cepat, dan perangkat yang menggunakan cahaya (Telaumbanua and Telaumbanua, 2025).

Semikonduktor alami terbuat dari bahan-bahan seperti silikon dan germanium yang banyak ditemukan di kerak bumi. Silikon terutama ditemukan di pasir dan kuarsa, dan merupakan semikonduktor alami yang paling sering digunakan karena sifat listriknya yang baik serta ketersediaannya yang tinggi. Silikon digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat chip komputer, mikroprosesor, dan sirkuit terpadu. Germanium, yang juga merupakan bahan alami, pernah penting dalam pengembangan perangkat semikonduktor awal dan masih digunakan dalam beberapa aplikasi spesifik seperti detektor inframerah dan transistor dengan frekuensi tinggi. Keunggulan dari bahan-bahan ini terletak pada struktur kristalnya yang memungkinkan kontrol terhadap kemampuan menghantarkan listrik dengan cara menambahkan bahan pengotor, sehingga meningkatkan kinerja perangkat elektroniknya (Mustamin and Djam'an, 2024). Selain bahan semikonduktor unsur, ada beberapa semikonduktor senyawa alami seperti kadmium sulfida ( $\text{CdS}$ ), kadmium telurida ( $\text{CdTe}$ ), dan merkuri kadmium telurida (MCT). Senyawa-senyawa ini diambil atau dibuat dari sumber mineral alami dan digunakan secara utama pada fotodetektor, sel surya, serta perangkat pencitraan inframerah. Bahan semikonduktor alami lainnya yang memiliki sifat elektronik menjanjikan adalah intan (yang merupakan bentuk karbon) dan silikon karbida ( $\text{SiC}$ ), keduanya terkenal akan ketangguhannya dan kemampuan bekerja pada suhu tinggi. Material semikonduktor alami ini sangat penting untuk berbagai perangkat elektronik dan optoelektronik yang canggih serta berkinerja tinggi (Wijesekara, 2021).

Perovskit merupakan material alami untuk semikonduktor baru yang telah menjadi sangat populer dalam beberapa tahun terakhir untuk material sel surya. Tidak seperti semikonduktor tradisional yang terbuat dari unsur atau mineral murni, perovskit memiliki struktur kristal khusus yang dapat dirancang untuk memiliki sifat optik dan elektronik yang sangat baik (Syahara, 2024). Sifat-sifat ini meliputi penyerapan cahaya yang kuat, kemampuan untuk menyesuaikan tingkat energinya, dan pergerakan muatan listrik yang baik (Lihawa et al., 2025). Karena kualitas-kualitas ini, semikonduktor perovskit sangat berguna untuk teknologi baru seperti panel surya yang lebih efisien, dioda pemancar cahaya yang lebih terang, dan sensor cahaya yang lebih baik (Ai et al., 2022). Meskipun sebagian besar material perovskit dibuat di laboratorium, strukturnya yang fleksibel memungkinkannya untuk memasukkan unsur-unsur umum yang ditemukan di alam. Hal ini menjadikannya pilihan yang baik dan terjangkau untuk perangkat semikonduktor berkualitas tinggi yang dapat bekerja sama atau meningkatkan material tradisional seperti silikon, berlian, dan silikon karbida.

Eksplorasi biomaterial dalam perovskite solar cells (PSC) sudah mulai berkembang, terutama dengan menggunakan selulosa sebagai bahan substrat fleksibel yang memiliki efisiensi konversi daya (PCE) masih terbatas. Senyawa alami seperti resveratrol yang digunakan sebagai agen passivasi dan mampu meningkatkan efisiensi hingga mencapai 23,44% (Wu et al., 2025). Meskipun penggunaan biomaterial alami sebagai prekursor struktural aktif dalam perovskit masih sangat sedikit diteliti terutama studi yang memanfaatkan biomaterial lokal, seperti kalsium karbonat dari cangkang kerang untuk membentuk perovskit  $\text{CaTiO}_3$  hampir tidak ditemukan dalam literatur lima tahun terakhir. Namun, pendekatan ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan stabilitas sel surya, serta membantu mengatasi isu keberlanjutan dan ramah lingkungan yang menjadi tantangan utama dalam mengeksplorasi PSC secara komersial. Meski sebagian besar penelitian saat ini masih fokus pada material sintetis dan skala laboratorium, penelitian yang

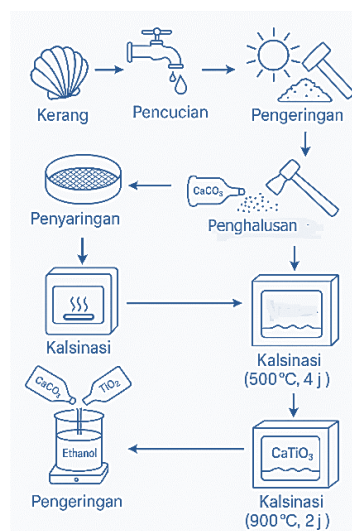
menggunakan biomaterial lokal tetap menjadi area yang menjanjikan dan layak untuk dikembangkan lebih lanjut.

Pembuatan material semikonduktor material sel surya perovskit dapat diperoleh dari kalsium karbonat alami yang ada di dalam cangkang, seperti cangkang tebalan, dan dicampur dengan titanium dioksida untuk menghasilkan senyawa seperti kalsium titanat perovskit ( $\text{CaTiO}_3$ ) (Rohmah et al., 2024). Perovskit yang berasal dari bahan alam ini memiliki sifat semikonduktor yang baik, khususnya terkait dengan energi celah pita yang menjadi satu parameter penting dalam menentukan kemampuan material menyerap cahaya dan kemampuan elektroniknya bekerja. Celah pita pada perovskit ini bisa diatur dengan mengubah komposisi dan struktur kristalnya, sehingga memungkinkan material menyerap cahaya matahari secara efisien untuk digunakan dalam sel surya (Syahara, 2024). Penggunaan cangkang sebagai bahan baku alami dan berkelanjutan tidak hanya mendukung produksi yang ramah lingkungan, tetapi juga membantu dalam pengembangan semikonduktor perovskit dengan celah energi yang tepat untuk memperoleh energi terbarukan. Dengan demikian, pendekatan ini menggabungkan penggunaan biomaterial dengan teknologi semikonduktor modern. Penelitian menunjukkan bahwa metode ini mampu menghasilkan perovskit dengan kualitas kristal dan celah pita yang sesuai, yang diperlukan untuk memastikan kinerja optoelektronik yang baik dalam perangkat seperti sel surya.

## II. METODE

### A. Rancangan Penelitian

Material kalsium titanat ( $\text{CaTiO}_3$ ) dengan struktur perovskit dibuat dengan memulai dari kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) yang didapatkan dari serbuk cangkang kerang tebalan pantai Tuban. Cangkang kerang dicuci menggunakan air mengalir dan kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari. Setelah itu, cangkang dihaluskan hingga menjadi partikel yang lebih halus dan kemudian diayak menggunakan ayakan berukuran 200 mesh untuk memperoleh butiran kecil yang seragam. Selanjutnya, serbuk cangkang dikalsinasi pada suhu  $500^\circ\text{C}$  selama 4 jam guna membentuk senyawa  $\text{CaCO}_3$ . Produk hasil kalsinasi ini dianalisis menggunakan karakterisasi XRD. Kalsium titanat ( $\text{CaTiO}_3$ ) disintesis melalui proses kalsinasi campuran kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) dari cangkang kerang tebalan dan titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ) dengan perbandingan komposisi 48,3%  $\text{CaCO}_3$  dan 51,7%  $\text{TiO}_2$ . Campuran serbuk  $\text{CaCO}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  dilarutkan dalam etanol dan diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 2 jam pada suhu ruang. Selanjutnya, suspensi tersebut dikeringkan dalam oven pada suhu  $100^\circ\text{C}$  selama 1 jam. Setelah kering, campuran serbuk dihaluskan kemudian dikalsinasi dalam tungku pada suhu  $900^\circ\text{C}$  selama 2 jam untuk menghasilkan serbuk halus kalsium titanat ( $\text{CaTiO}_3$ ) (Rohmah et al., 2024). Alur sintesis kalsium titanat secara singkat ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Alur sintesis  $\text{CaTiO}_3$

### B. Karakterisasi material

Sampel perovskite yang diperoleh dalam penelitian dikarakterisasi dengan Difraksi Sinar-X (XRD) dan Uv-Visible. Karakterisasi Difraksi sinar-X digunakan untuk mengetahui struktur yang terbentuk. Sedangkan karakterisasi Uv-Visible digunakan untuk mengetahui absorbansi (serapan cahaya).

### C. Pengolahan data

Data hasil pengujian XRD diolah dengan menggunakan software Match! dan software Rietica. Data pola difraksi diolah dengan software untuk mengetahui struktur yang terbentuk dan software Rietica digunakan untuk analisis fasa. Sedangkan hasil pengujian Uv-Visible berupa data absorbansi pada panjang gelombang tertentu digunakan untuk mengetahui kemampuan menyerap cahaya. Dari data absorbansi dilakukan perhitungan celah energi dengan metode Tauc dengan persamaan (1) berikut:

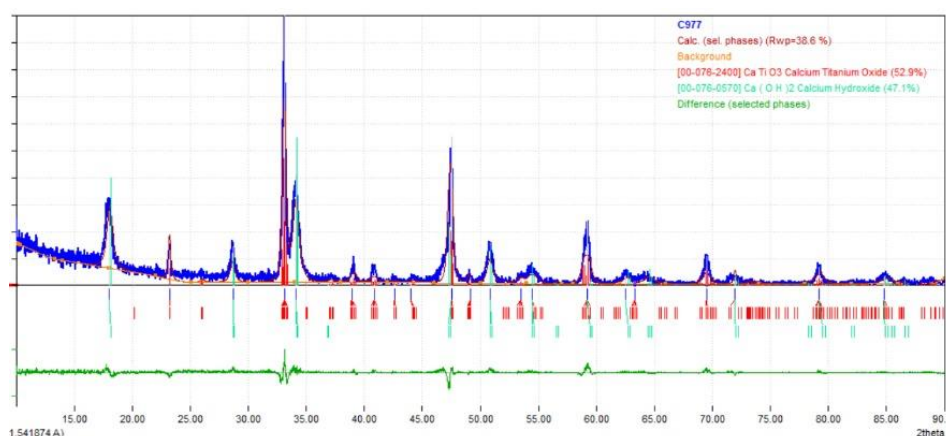
$$(h\nu\alpha)^{1/n} = C (h\nu - E_g) \quad (1)$$

dengan  $h$  adalah konstanta Planck,  $\nu$  adalah frekuensi foton,  $E_g$  adalah energi celah pita,  $C$  adalah konstanta, dan  $\alpha$  adalah koefisien serapan. Nilai  $n$  bergantung pada jenis transisi elektron dan sama dengan  $1/2$ ,  $3/2$ ,  $2$ , atau  $3$  untuk transisi langsung yang diizinkan, langsung yang dilarang, tidak langsung yang diizinkan, atau tidak langsung yang dilarang. Nilai  $n$  yang digunakan dalam penelitian ini 2 jenis yaitu 2 dan  $1/2$  karena material  $\text{CaTiO}_3$  dapat berpeluang memiliki jenis transisi elektron tidak langsung dan langsung (Aziz et al., 2021).

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Hasil

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serbuk  $\text{CaTiO}_3$  yang diperoleh memiliki struktur kristal perovskite yang khas. Identifikasi struktur tersebut dilakukan melalui serangkaian tahapan pengolahan data dan analisis pola difraksi sinar-X (XRD). Analisis ini memanfaatkan perangkat lunak Match! untuk pencocokan pola difraksi serta Rietica untuk proses penyempurnaan struktur kristal. Dari hasil pengolahan tersebut diperoleh informasi yang lebih rinci mengenai fasa perovskite yang terbentuk, termasuk parameter kisi yang relevan. Hasil lengkap dari analisis ini secara berurutan ditampilkan pada Gambar 1 sebagai ilustrasi visual pola difraksi dan dirangkum secara numerik dalam Tabel 1.

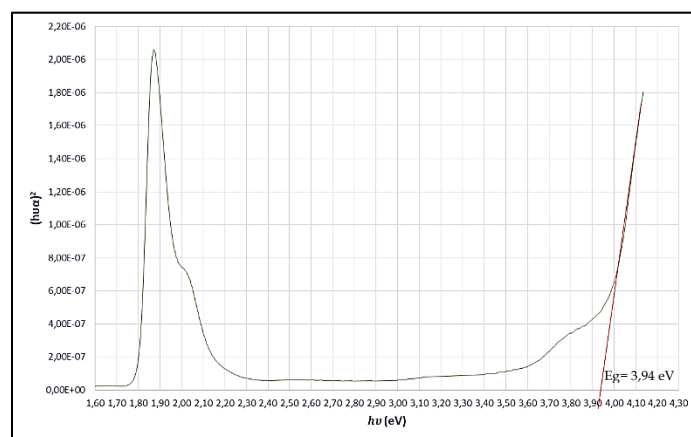


**Gambar 2.** Hasil pengolahan pola difraksi serbuk  $\text{CaTiO}_3$  dengan software Match!

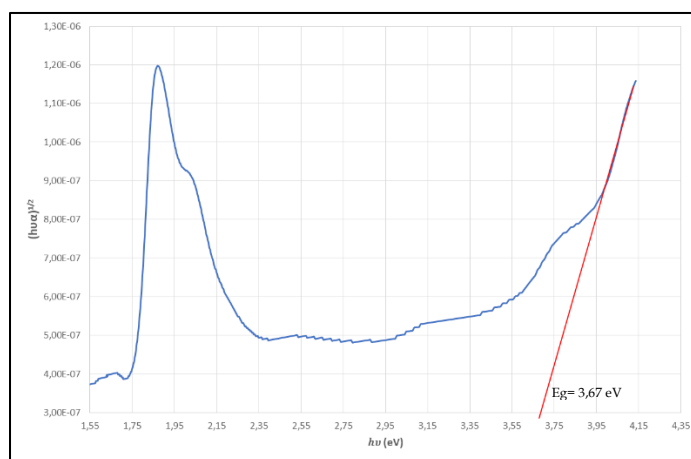
**Tabel 1.** Hasil refinement pola difraksi  $\text{CaTiO}_3$  dengan software Rietica

| Komponen                      | Struktur                      |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                               | $\text{CaTiO}_3$              | $\text{Ca(OH)}_2$             |
| Parameter Kisi (Å)            | a=5,388<br>b=5,432<br>c=7,639 | a=3,589<br>b=3,589<br>c=4,912 |
| Volume sel (Å <sup>3</sup> )  | 223,567 ± 0,0712              | 54,808 ± 0,0251               |
| Densitas (g/cm <sup>3</sup> ) | 4,038                         | 2,244                         |
| GoF                           | 1,29                          |                               |
| R-Bragg                       | 4,01                          | 6,16                          |

Sedangkan hasil pengolahan data Uv-visible diperoleh grafik pada gambar 3 dan gambar 4 berikut:



Gambar 3. Spektrum optik UV-vis Tauc Plot dengan transisi direct allowed



Gambar 4. Spektrum optik UV-vis Tauc Plot dengan transisi indirect allowed

## B. Pembahasan

Hasil pengolahan menggunakan software Match! ditunjukkan pada gambar 2. Pola difraksi dari serbuk hasil kalsinasi 900°C masih memiliki 2 fasa yaitu kalsium titanat (52,9%) dan kalsium hidroksida (47,1%). Persentase kalsium titanat belum mendekati 100% disebabkan oleh proses pemurnian yang belum optimal. Proses pemurnian dapat optimal dengan dilakukan melakukan variasi pada saat proses kopresipitasi dengan HCl atau dengan penambahan waktu saat kalsinasi 500°C (Hayati et al., 2024).

Hasil pengolahan dengan software Rietica diperoleh data pada tabel 1. Hasil serbuk  $\text{CaTiO}_3$  yang diperoleh dalam penelitian ini memiliki struktur Kristal perovskite sebagai fase utama serbuk. Adanya fasa yang kedua yaitu  $\text{Ca(OH)}_2$  dalam serbuk kalsium titanat disebabkan oleh sisa atau hasil hidrasi dalam proses kalsinasi yang tidak sempurna (Feng et al., 2023). Dalam penelitian ini, tidak dilakukan metode pemurnian lanjut untuk menghilangkan fasa  $\text{Ca(OH)}_2$  yang terdeteksi setelah proses sintesis. Keputusan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu fokus penelitian yang mengutamakan penggunaan metode sederhana dan kolaboratif, sehingga pemahaman konsep kinematika yang abstrak tetap dapat dicapai. Selain itu,  $\text{Ca(OH)}_2$  yang muncul sebagian besar berperan sebagai fasa perantara yang pada tahap kalsinasi akan terkonversi menjadi  $\text{CaO}$ , kemudian bereaksi dengan  $\text{TiO}_2$  membentuk  $\text{CaTiO}_3$ . Kehadiran  $\text{Ca(OH)}_2$  pasca sintesis umumnya berasal dari reaksi permukaan dengan kelembapan udara dan hanya membentuk fasa minor yang tidak berpengaruh signifikan terhadap sifat optik dan struktur perovskit yang dikaji (Shamsi et al., 2019). Langkah ini juga sejalan dengan prinsip keberlanjutan, karena menghindari penggunaan bahan kimia tambahan yang berpotensi meningkatkan limbah serta kompleksitas proses.

Struktur Kristal fasa perovskite yang terbentuk memiliki struktur ortorombik dengan nilai parameter kisi  $a = 5,388 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,432 \text{ \AA}$ , dan  $c = 7,639 \text{ \AA}$ , serta volume sel sebesar  $223,567 \text{ \AA}^3$ . Struktur ortorombik yang terbentuk memiliki kecocokan dengan data refinement yang ditunjukkan oleh nilai GoF 1,29 yang berada pada rentan 1,0-2,0 yang mengindikasikan fitting sangat baik dan kualitas refinement yang tinggi (Nath and Bandyopadhyay, 2025). Parameter kisi yang diperoleh juga sesuai dengan data referensi dari JCPDS 22-0153 untuk  $\text{CaTiO}_3$  dan JCPDS 44-1481 untuk  $\text{Ca(OH)}_2$ , sehingga memperkuat kebenaran struktur yang telah

diperoleh. Sedangkan nilai R-Bragg kedua fase tersebut memiliki nilai di bawah 10% ( $\text{CaTiO}_3 = 4,01\%$ ,  $\text{Ca(OH)}_2 = 6,16\%$ ) yang menunjukkan bahwa hasil penyempurnaan akurat dalam menggambarkan struktur kristalnya.

Celah pita optik dan celah pita listrik (atau elektronik) merupakan celah energi yang berkaitan dalam semikonduktor, tetapi keduanya memiliki konsep yang sedikit berbeda. Celah pita optik mengacu pada energi minimum foton yang dapat diserap oleh suatu material, sehingga menghasilkan pasangan elektron-lubang. Sedangkan celah pita listrik (atau celah transpor) adalah energi minimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan pasangan elektron dan lubang bebas yang tidak terikat (Fahanani and Kamajaya, 2023). Pada sebagian besar semikonduktor anorganik, nilai celah ini sangat mendekati, tetapi pada beberapa material, seperti semikonduktor organik tertentu, perbedaannya bisa signifikan.

Hasil analisis spektrum serapan cahaya menggunakan spektroskopi UV-Vis menunjukkan sifat optik  $\text{CaTiO}_3$ . Sifat-sifat ini dipelajari menggunakan metode plot Tauc, yang mengamati dua jenis transisi elektron: langsung dan tidak langsung. Untuk transisi langsung, eksponen yang digunakan adalah  $n = 1/2$ , dan untuk transisi tidak langsung,  $n = 2$ . Gambar 3 dan 4 menunjukkan kurva plot Tauc untuk setiap jenis transisi dengan hasil energi gap untuk transisi langsung adalah 3,94 eV dan transisi tidak langsung adalah 3,67 eV. Nilai energi gap dari perhitungan transisi langsung berada di antara 3,8 dan 4,0 eV. Hal ini sesuai dengan temuan peneliti lain, seperti Yan dkk. (2015), yang juga melaporkan celah pita langsung  $\text{CaTiO}_3$  dalam rentang ini (Yan et al., 2015). Hal ini menunjukkan bahwa transisi langsung dapat terjadi pada  $\text{CaTiO}_3$ , tetapi bukan merupakan jenis transisi utama. Sedangkan untuk transisi tidak langsung, energy gap berada di nilai  $\sim 3,57$  eV (Smera et al., 2025). Hasil ini menunjukkan bahwa  $\text{CaTiO}_3$  biasanya dianggap sebagai semikonduktor dengan celah pita tidak langsung. Adapun nilai yang diperoleh dalam penelitian ini (3,67 eV) sedikit lebih tinggi tetapi masih dapat diterima. Hal ini dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti bentuk material, cara pembuatannya, dan bagaimana plot Tauc dianalisis (Klein et al., 2023). Penting untuk diingat bahwa energi gap dari uji UV-Visible adalah energy gap optik yang merupakan energi terkecil yang dibutuhkan untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi ketika material terpapar cahaya. Karena penelitian ini membahas penggunaan  $\text{CaTiO}_3$  dalam sel surya, energy gap optik menjadi pengukuran kunci. Celah pita ideal untuk material sel surya adalah antara 1,1 dan 2,0 eV untuk penyerapan cahaya terbaik (Husna and Armansyah, 2023). Meskipun  $\text{CaTiO}_3$  memiliki celah pita yang lebih besar, material ini tetap berguna dalam sel surya sebagai aditif, seperti lapisan penyangga atau lapisan transpor elektron, karena ketahanan panas dan sifat listriknya. Analisis plot Tauc membantu dalam memahami perilaku optik  $\text{CaTiO}_3$  dan mendukung perannya dalam penelitian optoelektronik. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan penggunaannya sebagai material penyerap cahaya utama dalam sel surya.

#### IV. PENUTUP

##### A. Simpulan

Dari hasil penelitian ini diketahui bahwa struktur Kristal fasa perovskite yang terbentuk memiliki struktur ortorombik dengan nilai parameter kisi  $a = 5,388 \text{ \AA}$ ,  $b = 5,432 \text{ \AA}$ , dan  $c = 7,639 \text{ \AA}$ , serta volume sel sebesar  $223,567 \text{ \AA}^3$ . Struktur ortorombik yang terbentuk memiliki kecocokan dengan data refinement yang ditunjukkan oleh nilai GoF 1,29 yang berada pada rentan 1,0-2,0 yang mengindikasikan fitting sangat baik dan kualitas refinement yang tinggi. Sedangkan dari perhitungan pada grafik metode Tauc plot diperoleh nilai energi gap dengan nilai transisi direct allowed ( $n=1/2$ ) diketahui sebesar 3,94 eV dan nilai energi gap dengan nilai transisi indirect allowed ( $n=2$ ) diketahui sebesar 3,67 eV. Meskipun nilai energi gapnya cukup besar, sifat ini justru memberi kesempatan bagi material ini untuk digunakan dalam aplikasi optoelektronik tertentu seperti lapisan penyangga, lapisan pemindah elektron dalam sel surya, fotodetektor ultraviolet, atau perangkat optik yang membutuhkan respons hanya terhadap panjang gelombang tertentu.

##### B. Saran

Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan pengembangan aplikasi praktis seperti lapisan transport elektron (electron transport layer) atau lapisan penyangga (buffer layer) pada sel surya, serta fotodetektor ultraviolet yang memanfaatkan bandgap besar dari  $\text{CaTiO}_3$ . Keaktifan siswa melalui praktik langsung, kolaborasi, dan integrasi seni mendukung pemahaman konsep yang abstrak tentang  $\text{Ca(OH)}_2$ . Pendekatan ini relevan dengan pengujian kinerja berdasarkan protokol standar (IV, EQE, atau EIS) serta evaluasi stabilitas jangka panjang sesuai standar ISOS. Pendekatan ini tetap mengutamakan prinsip ramah lingkungan, biaya rendah, dan penggunaan biomaterial lokal, sehingga berpotensi menghasilkan komponen optoelektronik yang kompetitif sekaligus berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ai, B., Fan, Z., Wong, Z.J., 2022. Plasmonic-perovskite solar cells, light emitters, and sensors. *Microsyst. Nanoeng.* 8, 5.
- Aziz, S.B., Nofal, M.M., Brza, M.A., Hussein, S.A., Mahmoud, K.H., El-Bahy, Z.M., Dannoun, E.M., Kareem, W.O., Hussein, A.M., 2021. Characteristics of PEO incorporated with CaTiO<sub>3</sub> nanoparticles: structural and optical properties. *Polymers* 13, 3484.
- Fahanani, A.F., Kamajaya, L., 2023. *Panduan Praktis Teknologi Nano: Konsep dan Implementasi*. Universitas Brawijaya Press.
- Feng, Y., Li, X., Wu, H., Li, C., Zhang, M., Yang, H., 2023. Critical review of Ca (OH) 2/CaO thermochemical energy storage materials. *Energies* 16, 3019.
- Husna, J., Armansyah, Z.P., 2023. Generasi Sel Fotovoltaik Dan Arah Penelitian Saat Iniber Basis Bahan Dasar Silicon Tinjauan. *J. Electr. Technol.* 8, 128.
- Klein, J., Kampermann, L., Mockenhaupt, B., Behrens, M., Strunk, J., Bacher, G., 2023. Limitations of the Tauc plot method. *Adv. Funct. Mater.* 33, 2304523.
- Lathe, A., Palve, A.M., 2024. Types and properties of semiconductors, in: *Handbook of Semiconductors*. CRC Press, pp. 26–39.
- Lihawa, N., Ahmad, A., Hidayat, I., 2025. Evaluasi Kinerja Silikon dan Perovskite sebagai Bahan Semikonduktor dalam Teknologi Sel Surya Fotovoltaik. *J. Renew. Energy Eng.* 3, 16–21.
- Mustamin, A.I., Djam'an, N., 2024. Analisis Unsur Logam pada sampel ORE dengan Metode X-ray fluorescence (XRF) di PT. Huayue Nickel Cobalt (PhD Thesis). Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- Nath, M., Bandyopadhyay, A., 2025. Rietveld Analysis: An Essential Tool for Structural Analysis, in: *Contemporary Advancements in Materials Technology*. Apple Academic Press, pp. 105–119.
- Rohmah, R., Yuwita, P.E., Pangestu, P.D., Vibianto, E.D.A., 2024. Potential of Tebalan Shells from Tuban Beach as Active Material in Perovskite Solar Cells. *J. Pendidik. Fis. Dan Teknol.* 10, 437–444.
- Shamsi, J., Urban, A.S., Imran, M., De Trizio, L., Manna, L., 2019. Metal Halide Perovskite Nanocrystals: Synthesis, Post-Synthesis Modifications, and Their Optical Properties. *Chem. Rev.* 119, 3296–3348. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00644>
- Smera, S., Biju, K.P., Binitha, M.P., 2025. Unveiling the role of defects in optimizing photocatalytic CaTiO<sub>3</sub> nanoparticles. *Surf. Interfaces* 58, 105853.
- Somano, T.T., 2022. Characteristics of Semiconductor Diode and Its Application. *Int. J. Eng.* 6, 20–29.
- Syahara, M.M., 2024. Analisis struktur kristal hasil simulasi material Perovskite Cs<sub>2</sub>SnCl<sub>6</sub> dalam pengaplikasian solar cell (B.S. thesis). Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah Jakarta, jakarta.
- Telaumbanua, S.A.A., Telaumbanua, J., 2025. Analisis Literatur Tentang Fisika Zat Padat Dalam Pengembangan Teknologi Semikonduktor. *J. Ilmu Ekon. Pendidik. Dan Tek.* 2, 1–7.
- Wijesekara, A., 2021. *Electrode and interface materials for tin perovskite photovoltaics* (PhD Thesis). University of Warwick.
- Wu, X., Bi, J., Cui, G., Liu, N., Xia, G., Sun, J., Jiang, J., Lu, N., Li, P., Zhao, C., Zuo, Z., Gu, M., 2025. An Eco-Friendly Passivation Strategy of Resveratrol for Highly Efficient and Antioxidative Perovskite Solar Cells. *Small* 21, 2406127. <https://doi.org/10.1002/smll.202406127>
- Yan, M., Yao, Y., Wen, J., Fu, W., Long, L., Wang, M., Liao, X., Yin, G., Huang, Z., Chen, X., 2015. A facile method to synthesize Fe<sub>x</sub>Cy/C composite as negative electrode with high capacitance for supercapacitor. *J. Alloys Compd.* 641, 170–175.