SINTESIS PEROVSKITE ($CaTiO_3$) DARI LIMBAH CANGKANG KERANG MUTIARA *(Pinctada maxima)*: SOLUSI RAMAH LINGKUNGAN UNTUK TEKNOLOGI SEMIKONDUKTOR

SYNTHESIS OF PEROVSKITE ($CaTiO_3$) FROM PEARL SHELL WASTE (Pinctada maxima): AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SOLUTION FOR SEMICONDUCTOR TECHNOLOGY

Arif Budianto[1], Siti Rubi'ah[1], Dian Wijaya Kurniawidi [1], Alfina Taurida Alaydrus[1], dan Susi Rahayu[1*]

[1]Program Studi Fisika, Universitas Mataram, Jl. Majapahit No.62, Mataram
E-mail: susirahayu@unram.ac.id

ABSTRAK

Pengelolaan limbah Cangkang Kerang Mutiara (Pinctada maxima) sebagai bahan baku ramah lingkungan dalam pengembangan teknologi semikonduktor perovskite $CaTiO_3$. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sifat listrik $CaTiO_3$ berdasarkan parameter konduktivitas listrik dan band gap. Sintesis dilakukan menggunakan metode kopresipitasi dengan variasi suhu kalsinasi. Karakterisasi material $CaTiO_3$ menggunakan FTIR, Spektrofotometer UV-Vis, dan Zeta Potential Analyzer. Karakteristik gugus fungsi menunjukkan telah terbentuk fase perovskite pada rentang puncak yang sama. Nilai konduktivitas listrik tertinggi dan band gap terkecil diperoleh pada suhu 1100°C, yaitu $2{,}96\times10^{-2}$ S/m dan 2,96 eV. Berdasarkan parameter tersebut, $CaTiO_3$ yang dihasilkan tergolong dalam kategori semikonduktor. Dengan demikian, material ini memiliki potensi untuk aplikasi dalam bidang elektronik dan energi. Hasil ini memperkuat urgensi pemanfaatan material berbasis limbah Pinctada maxima sebagai bahan baku ramah lingkungan dalam pengembangan teknologi, terutama yang berhubungan dengan teknologi semikonduktor.

Kata kunci: *Band Gap*, Konduktivitas Listrik, Perovskite $CaTiO_3$

ABSTRACT

Management of Pearl Shell Waste (Pinctada maxima) as an environmentally friendly raw material in the development of $CaTiO_3$ perovskite semiconductor technology. This study aims to identify the electrical properties of $CaTiO_3$ based on electrical conductivity parameters and band gaps. Synthesis was carried out using the coprecipitation method with a variation in calcination temperature. $CaTiO_3$ material characterization using FTIR, UV-Vis Spectrophotometer, and Zeta Potential Analyzer. The characteristics of the functional group indicate that a perovskite phase has formed in the same peak range. The highest electrical conductivity values and the smallest band gap were obtained at 1100°C, which was 2.96×10^{-2} S/m and 2.96 eV. Based on these parameters, the resulting $CaTiO_3$ is classified as a semiconductor. Thus, this material has the potential for applications in the fields of electronics and energy. This result strengthens the urgency of using Pinctada maxima waste-based materials as environmentally friendly raw materials in technology development, especially those related to semiconductor technology.

Keywords: *Band Gap*, Electrical Conductivity, Perovskite $CaTiO_3$

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di era modern tidak dapat dipisahkan dengan kebutuhan energi yang semakin meningkat. Sumber utama energi yang dikonsumsi di seluruh dunia berasal dari bahan bakar fosil. Akan tetapi sumber daya yang digunakan sangat terbatas sehingga dibutuhkan sumber daya terbarukan yang lebih baik (Tyagi dkk., 2018). Salah satu teknologi yang menjadi perhatian adalah teknologi semikonduktor yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai industri, mulai dari perangkat elektronik hingga energi terbarukan. Namun, material semikonduktor konvensional yang banyak digunakan saat ini memiliki keterbatasan dan dampak terhadap lingkungan, seperti silikon dan gallium arsenide. Proses produksi material ini sering kali melibatkan konsumsi energi yang tinggi, sehingga diperlukan alternatif material semikonduktor yang lebih ramah lingkungan tanpa mengorbankan kinerja dan efisiensinya. Oleh karena itu, material perovskite kalsium titanat ($CaTiO_3$) hadir menjadi alternatif pengganti silikon yang lebih efisien dan menjanjikan (Hossen dkk., 2022).

Perovskite merupakan salah satu struktur yang menarik dipelajari dalam ilmu material. Ahli kimia dan mineralogi Jerman, Gustav Rose menemukan mineral $CaTiO_3$ pada tahun 1839 dan dinamai dengan perovskite yang diambil dari nama seorang ahli mineral Rusia, Lev Perovsky. Senyawa perovskite mencakup beberapa jenis oksida, halida, karbida, dan hidrida tergantung pada sifat atom X dalam rumus ABX_3. Perovskite dapat direpresentasikan sebagai kation atom atau molekul besar (bermuatan positif) tipe A di tengah kubus. Sudut-sudut kubus ditempati oleh atom B (juga kation bermuatan positif) dan muka kubus ditempati oleh atom X yang lebih kecil dengan muatan negatif (anion) (Bagawan & Ghiwari, 2017). Material ini banyak dieksplorasi untuk sifat menarik yang ditunjukkan oleh oksida perovskite yaitu sifat fotokatalitik, konduktivitas elektronik, dan struktur aktif listrik. Keragaman sifat tersebut berasal dari fakta bahwa sebagian besar unsur logam dari tabel periodik stabil dalam struktur perovskite, dan dimungkinkan untuk mengadopsi berbagai komposisi yang berbeda (Kurian dkk., 2023).

Perovskite biasanya terdiri dari kalsium (Ca^{2+}), titanium (Ti^{4+}), dan oksigen dalam bentuk $CaTiO_3$. Kalsium titanat ($CaTiO_3$) adalah semikonduktor yang stabil secara kimiawi tipe-n dengan celah pita lebar 3-3,5 eV. $CaTiO_3$ banyak dipelajari sebagai bahan elektro-keramik, karena sifat listriknya diterapkan pada perangkat elektronik seperti kapasitor dan termistor. $CaTiO_3$ juga dikembangkan sebagai bahan implan dalam komposit dengan hidroksiapatit untuk aplikasi biomedis. Selain itu, $CaTiO_3$ digunakan sebagai alternatif yang baik untuk berbagai aplikasi fotokatalitik. Hal ini karena struktur kristal $CaTiO_3$ merupakan tipe perovskite eksklusif yang dapat menampung sekumpulan kation untuk menghasilkan cacat atau kelebihan oksigen, sehingga meningkatkan kemampuan katalitik $CaTiO_3$ (Passi & Pal, 2021). Struktur perovskite juga terbukti sebagai inang keramik yang paling serbaguna. Karakteristik fisik, biokimia dan formulasi nano-nya telah digunakan sebagai katalis karena memiliki sensitivitas dan stabilitas jangka panjang (Assirey, 2019).

Secara khusus, $CaTiO_3$ memainkan peran penting dalam produksi *Synroc,* bahan batuan sintetis yang digunakan untuk menyimpan limbah nuklir. Senyawa ini dianggap sebagai bagian dari kelompok zat yang signifikan dengan struktur kristal tipe perovskite, yang membuatnya menjadi subjek yang sangat menarik bagi para peneliti dan praktisi (Aaouita dkk., 2025). $CaTiO_3$ dapat dijadikan sebagai sumber daya terbarukan untuk kemajuan teknologi. Perovskite juga menunjukkan kemampuan pesat dalam efisiensi konversi daya sebagai bahan penyerap cahaya yang dapat diaplikasikan pada sel surya atau *perovskite solar cell* (PSC) (Damayanthi, 2019). Hal tersebut selaras dengan tingginya intensitas radiasi matahari di Indonesia yaitu rata-rata 4,5 kWh energi listrik/hari. Tingginya radiasi matahari mengarah pada potensi Indonesia memiliki energi mandiri untuk memenuhi kebutuhan listrik

(Torimtubun dkk., 2018). Energi matahari dapat dimanfaatkan pada sel surya perovskite sebagai kandidat fotovoltaik generasi berikutnya yang mampu mengubah energi matahari menjadi tenaga listrik (Benami, 2019).

Perovskite $CaTiO_3$ dapat disintesis dari limbah alam. Limbah merupakan produk samping dari aktivitas makhluk hidup yang dapat digunakan sebagai sumber $CaCO_3$ alami, seperti limbah cangkang kerang, cangkang hewan moluska, cangkang telur, dan tulang (Kurniawan dkk., 2019). Dalam penelitian ini, serbuk kalsium karbonat ($CaCO_3$) diperoleh dari limbah cangkang kerang mutiara *(Pinctada maxima)* sebagaimana diketahui bahwa Nusa Tenggara Barat merupakan pusat budi daya kerang laut untuk produksi biji mutiara. Hasil samping dari kegiatan industri ini berupa limbah cangkang kerang *(Pinctada maxima)* yang banyak mengandung mineral alami, yang paling dominan adalah senyawa kalsium karbonat (Wahyuningsih dkk., 2018). Kerang memiliki karakteristik 98 % $CaCO_3$, 0,79 % $MgCO_3$, dan 0,15 % $SrCO_3$. Salah satu faktor yang mempengaruhi sifat material $CaTiO_3$ adalah suhu kalsinasi. Suhu dan waktu kalsinasi berperan penting dalam karakteristik senyawa yang dihasilkan (Dampang dkk., 2021).

Penelitian oleh Torimtubun dkk. (2018) terkait sintesis $CaTiO_3$ melalui sintering $CaCO_3$ dengan TiO_2. Terbentuknya struktur kristal $CaTiO_3$ ortorombik dalam kondisi terbaik berada pada suhu 900°C. Mustika (2022) juga melakukan sintesis $CaTiO_3$ dengan variasi suhu kalsinasi 700℃, 800℃ dan 900℃. Penelitian tersebut melaporkan bahwa kristalinitas yang paling baik terbentuk pada suhu yang lebih tinggi, yaitu suhu 900℃. Septiani (2022) melakukan penelitian yang sama pada suhu 900℃ yang berfokus pada variasi komposisi bahan $CaCO_3$ dan TiO_2, yaitu perbandingan molar 1:1, 1:5 dan 1:7. Dalam penelitian tersebut variasi molar 1:7 menunjukkan terbentuknya $CaTiO_3$ yang paling baik. Penelitian yang dilakukan Mustika (2022) dan Septiani (2022) terbatas pada suhu 900℃, sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut.

Berdasarkan pemaparan di atas, penelitian perovskite ($CaTiO_3$) menggunakan $CaCO_3$ yang bersumber dari limbah *P. maxima* dilakukan dengan memodifikasi suhu yang belum pernah dilakukan. Dalam penelitian ini sintesis $CaTiO_3$ dilakukan dengan variasi suhu kalsinasi 900°C, 1000°C dan 1100°C. Pentingnya penelitian ini untuk mendapatkan kondisi optimal aplikasi perovskite yang banyak digunakan pada teknologi semikonduktor, seperti dalam bidang elektronik, sel surya, dan fotokatalitik. Sehingga tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat listrik $CaTiO_3$ berdasarkan parameter konduktivitas listrik dan *band gap*. Dengan nilai *band gap* dan konduktivitas listriknya, material ini memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi konversi energi dan mendukung pengembangan perangkat elektronik hemat energi. Dengan demikian, $CaTiO_3$ dapat menjadi solusi bagi teknologi semikonduktor yang lebih ramah lingkungan.

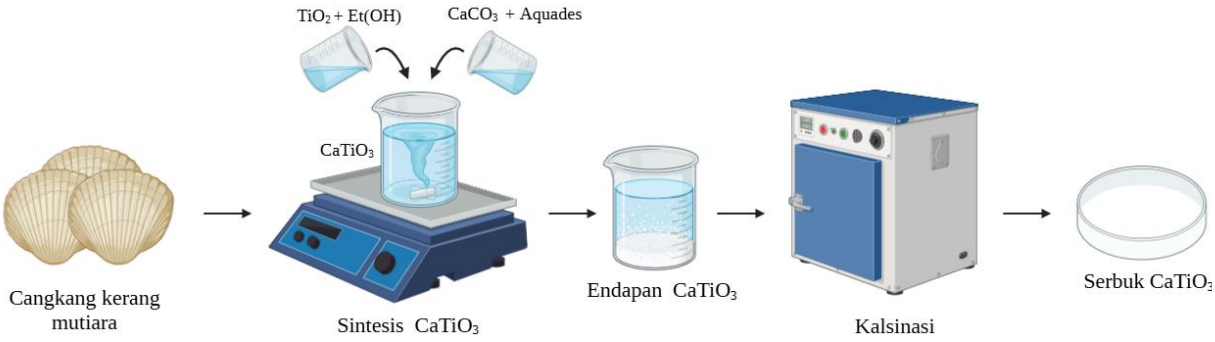
2. METODE PENELLITIAN

2.1 Preparasi Sampel

Penelitian ini menggunakan limbah cangkang kerang mutiara *(Pinctada maxima*) sebagai sumber $CaCO_3$. Cangkang kerang dibersihkan dan dikeringkan dalam oven 70°C selama 2 jam. Kemudian cangkang kerang dihancurkan dengan palu hingga berbentuk lebih kecil, lalu digiling menggunakan grinder dan dihaluskan menggunakan *miller machine* untuk menghasilkan serbuk cangkang kerang yang halus. Serbuk dikalsinasi pada suhu 500°C selama 2 jam dan dilakukan uji titrasi asam basa untuk mengidentifikasi Kandungan serbuk $CaCO_3$.

2.2 Sintesis Kalsium Titanat

Sintesis $CaTiO_3$ dilakukan menggunakan serbuk $CaCO_3$ dari limbah *Pinctada maxima*, serbuk TiO_2 MERCK, *aquades*, dan EtOH 99 %. Serbuk $CaCO_3$ dilarutkan dalam 100 mL *aquadest*, sedangkan serbuk TiO_2 dilarutkan dalam 100 mL etanol 99%. Kedua larutan yang telah dipersiapkan dicampur dan diaduk menggunakan *hot plate* selama 2 jam hingga terbentuk larutan $CaTiO_3$. Larutan dibiarkan mengendap dan dibilas aquadest sebanyak 3 kali pencucian. Hasil pada tahapan ini diperoleh endapan $CaTiO_3$. Endapan dikeringkan pada suhu 100°C. Sampel yang sudah kering digerus kemudian dikalsinasi selama 3 jam dengan variasi suhu 900°C, 1000°C dan 1100°C. Serbuk $CaTiO_3$ diberi label sampel A untuk suhu 900°C, sampel B untuk suhu 1000°C, dan sampel C untuk suhu 1100°C. Serbuk $CaTiO_3$ hasil kalsinasi digerus dan diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Sampel $CaTiO_3$ siap dikarakterisasi.



Gambar 1. Proses sintesis untuk menghasilkan serbuk $CaTiO_3$

2.3 Karakterisasi Sampel

Karakterisasi gugus fungsi $CaTiO_3$ dianalisis dengan FTIR *(Fourier-transform infrared)*. Spektrum FTIR menampilkan puncak-puncak penyerapan yang terkait dengan transisi vibrasional spesifik dalam molekul. Puncak-puncak ini dianalisis untuk mengidentifikasi gugus fungsional dan struktur kimia $CaTiO_3$. Karakterisasi dengan Spektrofotometer UV-Vis untuk menentukan *band gap* menggunakan metode *Tauc Plot*. Data yang dihasilkan berupa spektrum absorbansi yang akan diplot sebagai absorbansi (A) versus panjang gelombang (λ). Karakterisasi menggunakan *Zeta Potential Analyzer* untuk mengetahui nilai potensial zeta dan konduktivitas listrik pada sampel.

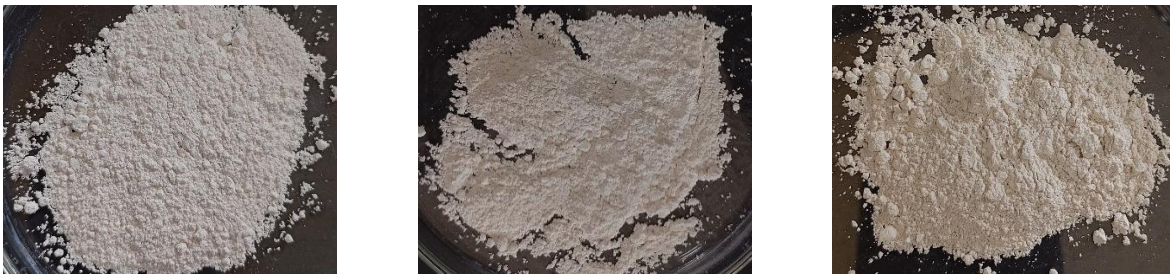
Analisis gugus fungsi dan *band gap* dilakukan menggunakan *software* OriginPro 2024. Data spektrum IR mengidentifikasi adanya puncak penyerapan yang menentukan karakteristik terbentuknya gugus fungsi $CaTiO_3$. Puncak khas yang mengindikasikan telah terbentuknya $CaTiO_3$ berada pada puncak penyerapan di bawah 800 cm^{-1}. Nilai *band gap* ditentukan menggunakan metode *Tauc Plot* dengan cara membuat plot dari data spektrum. Adapun persamaan untuk menentukan *band gap*:

$$(h\nu\alpha)^n = A(h\nu - E_g) \quad (1)$$

Dengan h adalah konstanta Planck, ν frekuensi dengan $\nu = c/\lambda$, E_g adalah energi gap dan A adalah konstanta proporsional. Nilai n menunjukkan sifat dan transisi sampel. Kemudian dibuat grafik hubungan antara $h\nu$ dan $(h\nu\alpha)^n$ lalu ditarik garis yang bersinggungan dengan titik belok kurva. Nilai $h\nu$ dari sumbu horizontal menunjukkan besar energi *gap* (Harsono, 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

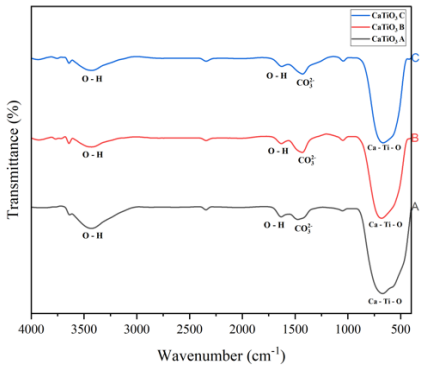
Perovskite telah berhasil disintesis dari limbah cangkang kerang mutiara *(Pinctada maxima)* sebagai sumber $CaCO_3$. Hasil uji titrasi serbuk cangkang kerang mutiara mengandung 97,39 % $CaCO_3$. Selanjutnya, hasil sintesis $CaTiO_3$ menghasilkan serbuk berwarna putih dengan sedikit perbedaan warna seiring dengan meningkatnya suhu kalsinasi (Gambar 2).



(a) (b) (c)

Gambar 2. Serbuk hasil sintesis perovskite $CaTiO_3$ (a) 900°C, (b) 1000°C, dan (c) 1100°C.

Warna serbuk menunjukkan bahwa variasi suhu kalsinasi memberikan sedikit perbedaan warna pada serbuk $CaTiO_3$ yang terbentuk. Serbuk $CaTiO_3$ (Gambar 2) pada suhu 900°C berwarna putih. Sedangkan serbuk $CaTiO_3$ pada suhu 1000˚C dan 1100˚C terlihat berwarna putih sedikit kekuningan. Perubahan warna yang terjadi menunjukkan tingginya suhu kalsinasi menghasilkan warna serbuk menjadi lebih putih kekuningan/krem. Warna serbuk $CaTiO_3$ yang diketahui berdasarkan CAS: 12049-50-2 adalah *beige* (putih krem) (LTS Research Laboratories, 2015). Selain karakteristik warna, gugus fungsi $CaTiO_3$ teridentifikasi menggunakan analisis IR. Analisis spektrum IR memberikan informasi mengenai hubungan antara suhu kalsinasi, pembentukan fase $CaTiO_3$, dan struktur ikatan kimia yang terbentuk. Hasil analisis gugus fungsi $CaTiO_3$ ditampilkan dalam bentuk grafik (Gambar 3).



Gambar 3. Spektrum IR material $CaTiO_3$ variasi suhu (A) 900°C, (B) 1000°C, dan (C) 1100°C.

Variasi suhu kalsinasi memberikan perubahan signifikan terhadap 3 spektrum IR (Gambar 3). Hal ini teridentifikasi dengan terbentuknya gugus fungsi utama pada rentang yang sama meskipun suhu kalsinasi dinaikkan. Keseragaman ini ditandai oleh fase perovskite yang telah terbentuk pada suhu kalsinasi awal dan tidak mengalami perubahan besar pada suhu yang lebih tinggi. Ketajaman puncak pada grafik IR memberikan informasi mengenai kristalinitas sampel (Mustika, 2022). Grafik IR menunjukkan puncak serapan yang tajam pada bilangan gelombang 1000 cm^{-1} hingga 400 cm^{-1}.

Puncak-puncak ini memberikan informasi mengenai mode getaran oksida yang menarik. Pita di bawah 1000 cm^{-1} berhubungan dengan gugus fungsi yang ditemukan dalam $CaTiO_3$ yang disintesis memiliki ikatan Ca-Ti-O. Bilangan gelombang ini merupakan pembentukan struktur perovskite dari $CaTiO_3$ dan keberadaan TiO_6 oktahedra (Mishra dkk., 2024). Hasil analisis gugus fungsi senyawa $CaTiO_3$ dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil analisis gugus fungsi material $CaTiO_3$

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang (cm^{-1})			
	Literatur*	Material $CaTiO_3$		
		A	B	C
O – H *(stretching)*	3500-3300	3431,40	3429,09	3429,46
O – H *(bending)*	1640-1625	1632,02	1628,72	1625,72
CO_3^{2-} *(stretching)*	1500-1400	1474,12	1431,58	1428,31
Ca – Ti – O *(stretching)*	< 800	671,33	681,98	665,89

Keterangan: *(Cerón-Urbano dkk., 2023)

Fase $CaTiO_3$ telah terbentuk pada semua variasi suhu kalsinasi (Tabel 1). $CaTiO_3$ yang terindikasi ditandai dengan munculnya gugus fungsi Ca-Ti-O pada puncak 671,33 cm^{-1}, 681,98 cm^{-1}, dan 665,89 cm^{-1}. Puncak-puncak tersebut berada di bawah 800 cm^{-1} yang berhubungan dengan gugus fungsi Ca-Ti-O yang terdapat pada senyawa yang disintesis (Cerón-Urbano dkk., 2023). Munculnya gugus fungsi ini didukung oleh penelitian Ernawati dkk. (2021) yang melaporkan bahwa serapan pada puncak 664 cm^{-1} mengindikasikan adanya vibrasi gugus Ca-Ti-O sebagai pembentukan fase perovskite. Gugus fungsi tersebut menunjukkan ciri khas dari senyawa $CaTiO_3$ karena terdapat pada rentang bilangan gelombang 700-400 cm^{-1}. Pita serapan yang muncul pada rentang 700-400 cm^{-1} disebabkan oleh vibrasi kisi dari kelompok Ti-O dan Ca-O. Kehadiran pita tersebut menegaskan pembentukan fase $CaTiO_3$ (Hannachi dkk., 2023).

Keberadaan gugus hidroksil yang muncul pada puncak 3431-3429 cm^{-1} dan 1632-1625 cm^{-1} mengonfirmasi adanya kelembapan atau prekursor yang belum sepenuhnya terdekomposisi (Fatimah dkk., 2018). Selain itu, dapat diamati puncak 1474-1428 cm^{-1} memberikan informasi keberadaan gugus karbonat dalam material yang berasal dari $CaCO_3$. Seiring dengan meningkatnya suhu kalsinasi, intensitas puncak ini cenderung menurun, mengindikasikan proses dekomposisi karbonat yang semakin baik (Cerón-Urbano dkk., 2023; Ernawati dkk., 2021). Berdasarkan analisis gugus fungsi pada ketiga suhu kalsinasi, suhu 1100°C memberikan hasil yang paling optimal untuk menghasilkan struktur $CaTiO_3$, di mana suhu tinggi (1100°C) dapat membantu meningkatkan kristalinitas dan kestabilan fase perovskite tanpa residu karbonat yang signifikan. Puncak yang ditampilkan memberikan informasi bahwa tidak terdapat pengaruh signifikan dari variasi suhu kalsinasi dalam terbentuknya senyawa $CaTiO_3$. Sampel pada suhu 1100°C memiliki intensitas puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel pada suhu 900°C dan 1000°C. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan fase $CaTiO_3$ yang terbentuk pada suhu 1100°C. Berdasarkan hasil karakteristik IR, material dapat diuji lebih lanjut untuk mengetahui efektivitasnya sebagai material listrik dengan analisis konduktivitas dan *band gap*.

Analisis konduktivitas dan *band gap* (Tabel 2) menampilkan nilai zeta potensial, konduktivitas listrik, dan *band gap* dari $CaTiO_3$ dengan variasi suhu kalsinasi 900℃ (A), 1000℃ (B), dan 1100℃ (C).

Hasil analisis (Tabel 2) memberikan informasi mengenai sifat listrik material berdasarkan nilai konduktivitas listrik dan *band gap*.

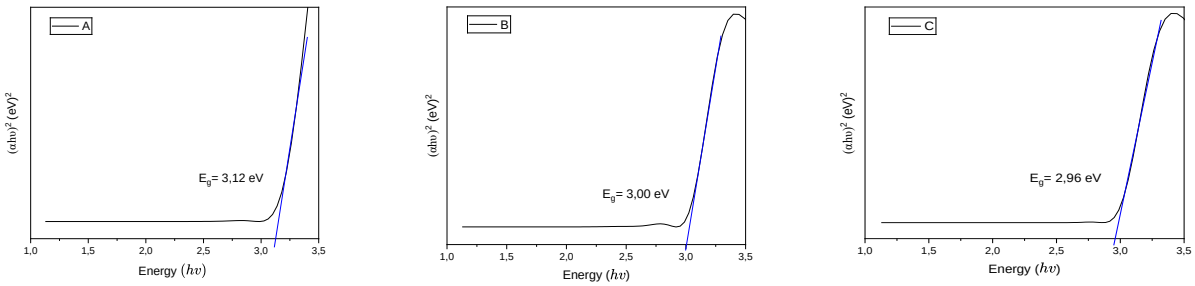
Tabel 2. Nilai konduktivitas listrik dan *band gap* $CaTiO_3$

Parameter	Material $CaTiO_3$		
	A	**B**	**C**
Zeta Potential (mV)	-38,8	-46,5	-23,3
Konduktivitas listrik (S/m)	$1{,}81 \times 10^{-2}$	$1{,}15 \times 10^{-2}$	$2{,}96 \times 10^{-2}$
Band gap (eV)	3,12	3,00	2,96

Nilai konduktivitas listrik tertinggi dan *band gap* terkecil dihasilkan oleh sampel C pada suhu kalsinasi 1100℃. Adapun nilai zeta potensial memberikan informasi penting mengenai stabilitas partikel dalam larutan. Dapat dilihat nilai zeta potensial pada sampel yang dihasilkan bernilai negatif yaitu -23,3 mV. Nilai ini menunjukkan bahwa partikel dalam sampel memiliki muatan negatif pada permukaannya. Dari hasil analisis zeta potensial yang diperoleh menunjukkan sampel memiliki kestabilan moderat (± 20 – 30 mV) (Faza dkk., 2017). Artinya partikel memiliki kecenderungan untuk beragregasi atau menggumpal, namun agregasi yang terjadi tidak terlalu cepat. Dalam hal ini, nilai zeta potensial yang cukup rendah dapat disebabkan oleh konduktivitas listrik pada sampel yang mengalami kenaikan, selain itu nilai pH yang tinggi juga berpengaruh dalam menghasilkan nilai zeta potensial rendah atau negatif (Handayani dkk., 2018).

Selain zeta potensial, terdapat pula nilai konduktivitas listrik dari sampel. Nilai konduktivitas listrik dari sampel C (1100℃) yang diperoleh sebesar $2{,}96 \times 10^{-2}$ S/m. Nilai konduktivitas listrik tersebut berada pada rentang khas untuk semikonduktor, yaitu sekitar 10^{-6} hingga 10^{3} S/m (Haynes, 2016). Hal tersebut mengindikasikan bahwa material $CaTiO_3$ memiliki kemampuan menghantarkan listrik yang relatif rendah karena berada di antara konduktor dan isolator. Selain itu, terlihat bahwa nilai konduktivitas listrik yang dihasilkan pada suhu kalsinasi yang tinggi mengalami kenaikan. Hasil penelitian ini bertentangan dengan penelitian oleh Rocha-Rangel dkk. (2018) melaporkan bahwa kalsinasi pada suhu tinggi (1000°C dan 1300°C) menghasilkan nilai konduktivitas listrik yang sangat rendah, yaitu $5{,}2 \times 10^{-11}$ S/m hingga $6{,}3 \times 10^{-11}$ S/m.

Selanjutnya, hasil analisis UV-Vis digunakan untuk menentukan *band gap* $CaTiO_3$ dengan metode *Tauc Plot* (Gambar 4). $CaTiO_3$ memiliki *band gap* lebar berkisar antara 3 – 3,5 eV (Passi & Pal, 2021). Berdasarkan Alzahrani & Samokhvalov. (2017), analisis *band gap* $CaTiO_3$ menggunakan *Tauc plot* diperoleh kondisi E_g tidak langsung (n = 2) lebih kecil dari E_g langsung, maka digunakan n = 2 untuk menentukan *band gap* kalsium titanat.



(a) (b) (c)

Gambar 4. Hubungan $(\alpha h\upsilon)^2$ versus $h\upsilon$ (a) 900℃, (b) 1000℃, (c) 1100℃ menggunakan metode *Tauc Plot*

Grafik $(\alpha h\upsilon)^2$ versus $h\upsilon$ (Gambar 4) menunjukkan linearitas pada bagian grafik sebelum titik potong. Ekstrapolasi garis lurus pada bagian linier ke sumbu energi $h\upsilon$ memberikan nilai *band gap* sebesar 2,96 eV. Nilai *band gap* yang diperoleh menunjukkan bahwa sampel merupakan material semikonduktor dengan *band gap* yang cukup lebar. Berdasarkan nilai tersebut, proses perpindahan elektron dari pita valensi ke pita konduksi membutuhkan energi yang cukup besar. Sedangkan, *band gap* yang lebih kecil membutuhkan energi lebih sedikit untuk proses perpindahan elektron untuk meningkatkan arus dan tegangan (Septiani, 2022). Dengan demikian, semakin tinggi suhu kalsinasi, nilai *band gap* $CaTiO_3$ semakin berkurang sehingga material ini memiliki potensi yang baik untuk aplikasi fotokatalitik (Mishra dkk., 2024). Ragab dkk. (2024) melaporkan bahwa nilai *band gap* yang lebih rendah meningkatkan kinerja fotokatalis untuk menyerap lebih banyak energi dalam bentuk cahaya tampak.

Berdasarkan analisis konduktivitas dan *band gap*, material $CaTiO_3$ yang dihasilkan merupakan bahan semikonduktor. Pada dasarnya, serbuk cangkang kerang memiliki sifat bahan konduktor. Akan tetapi setelah disintesis dengan TiO_2 menjadi $CaTiO_3$, sifat bahan cenderung berubah menjadi semikonduktor. Hasil analisis konduktivitas listrik dan *band gap* menunjukkan bahwa $CaTiO_3$ memiliki potensi yang baik untuk aplikasi dalam bidang semikonduktor. Hal ini menunjukkan bahwa $CaTiO_3$ memiliki potensi untuk digunakan dalam aplikasi elektronik seperti katalis, transistor, dioda, sensor dan sel surya. Oleh karena itu, suhu 1100°C merupakan suhu optimal karena menghasilkan *band gap* terkecil (2.96 eV) dan konduktivitas tertinggi (2.96×10^{-2} S/m) dengan nilai zeta potensial -23 mV. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sampel ini termasuk bahan semikonduktor dengan *band gap* yang lebar dan nilai zeta potensial cenderung stabil sehingga dapat digunakan dalam berbagai aplikasi. Namun, untuk menentukan aplikasi yang sesuai, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkarakterisasi material secara detail, termasuk struktur kristal, morfologi, dan sifat optiknya.

4. KESIMPULAN

Perovskite $CaTiO_3$ telah berhasil disintesis dari limbah *P. maxima* sebagai sumber $CaCO_3$ dan TiO_2 dengan 3 variasi suhu kalsinasi sehingga menghasilkan karakteristik gugus fungsi, konduktivitas, dan *band gap*. Karakteristik gugus fungsi menunjukkan terbentuknya fase $CaTiO_3$ pada rentang puncak yang sama. Nilai konduktivitas listrik tertinggi dan *band gap* terkecil yang dihasilkan senyawa $CaTiO_3$ terdapat pada suhu kalsinasi 1100°C dengan nilai konduktivitas sebesar $2{,}96 \times 10^{-2}$ S/m dan nilai *band gap* yang sebesar 2,96 eV. Berdasarkan nilai konduktivitas listrik dan *band gap*, material $CaTiO_3$ yang dihasilkan tergolong dalam kategori semikonduktor. Dengan demikian, material ini memiliki potensi untuk aplikasi dalam bidang elektronik dan energi seperti katalis, transistor, dioda,

sensor dan sel surya. Sehingga terbukti bahwa pemanfaatan limbah *Pinctada maxima* sebagai bahan baku ramah lingkungan telah berhasil dan dapat digunakan dalam pengembangan teknologi, terutama yang berhubungan dengan teknologi semikonduktor. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan karakteristiknya dan memastikan kompatibilitasnya dengan teknologi yang ada. Namun, potensinya sebagai material semikonduktor hijau yang efisien menjadikannya salah satu kandidat utama dalam upaya menuju teknologi yang lebih berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didukung dan dibiayai oleh Pendanaan PNBP Universitas Mataram Skema Penelitian Percepatan Lektor Kepala Tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

Aaouita, K. El, Mediane, N., Goumrhar, F., Drissi, L. B., & Laamara, R. A. (2025). Enhanced spintronic and thermoelectric performance in vanadium-doped CaTiO3: An ab-initio study. *Computational Condensed Matter*, *42*, e00999. https://doi.org/10.1016/j.cocom.2024.e00999

Alzahrani, A., & Samokhvalov, A. (2017). Porous calcium titanate and sorption and desorption of water under ambient conditions: a study by conventional and synchronous luminescence spectroscopy. *Journal of Porous Materials*, *24*(5), 1145–1154. https://doi.org/10.1007/s10934-016-0354-1

Assirey, E. A. R. (2019). Perovskite synthesis, properties and their related biochemical and industrial application. Dalam *Saudi Pharmaceutical Journal* (Vol. 27, Nomor 6, hlm. 817–829). Elsevier B.V. https://doi.org/10.1016/j.jsps.2019.05.003

Bagawan, A. M., & Ghiwari, K. S. (2017). Perovskite Solar Cells. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering (IJARSE)*, *6*(10), 1345–1353.

Benami, A. (2019). Effect of CZTS Parameters on Photovoltaic Solar Cell from Numerical Simulation. *Journal of Energy and Power Engineering*, *13*(1). https://doi.org/10.17265/1934-8975/2019.01.003

Cerón-Urbano, L., Aguilar, C. J., Diosa, J. E., & Mosquera-Vargas, E. (2023). Nanoparticles of the Perovskite-Structure CaTiO3 System: The Synthesis, Characterization, and Evaluation of Its Photocatalytic Capacity to Degrade Emerging Pollutants. *Nanomaterials*, *13*(22). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/nano13222967

Damayanthi, E. (2019). *Pengaruh Luas Permukaan Terhadap Performansi Perovskite Solar Cell* [Teknik Elektro]. Universitas Brawijaya.

Dampang, S., Purwanti, E., Destyorini, F., Kurniawan, S. B., Abdullah, S. R. S., & Imron, M. F. (2021). Analysis of Optimum Temperature and Calcination Time in the Production of CaO Using Seashells Waste as CaCO3 Source. *Journal of Ecological Engineering*, *22*(5), 221–228. https://doi.org/10.12911/22998993/135316

Ernawati, L., Yusariarta, A. W., Laksono, A. D., Wahyuono, R. A., Widiyandari, H., Rebeka, R., & Sitompul, V. (2021). Kinetic Studies of Methylene Blue Degradation using CaTiO3 Photocatalyst from Chicken Eggshells. *Journal of Physics: Conference Series*, *1726*(1). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1726/1/012017

Fatimah, I., Rahmadianti, Y., & Pudiasari, R. A. (2018). Photocatalyst of Perovskite CaTiO3 Nanopowder Synthesized from CaO derived from Snail Shell in Comparison with the Use of CaO and CaCO3. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *349*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/349/1/012026

Faza, Y., Djustiana, N., Cahyanto, A., Joni, I. M., & Usri, K. (2017). Nilai pH Hidrolisis pada Teknik Sol-gel terhadap Ukuran dan Zeta Potensial Partikel Keramik Mullite sebagai Bahan Pengisi Komposit Kedokteran Gigi. *Padjadjaran J Dent Res Student*, *2*(1), 90–94.

Handayani, F. S., Nugroho, B. H., & Munawiroh, S. Z. (2018). Optimization of low energy nanoemulsion of Grape seed oil formulation using D-Optimal Mixture Design (DMD) Optimasi Formulasi Nanoemulsi Minyak Biji Anggur Energi Rendah dengan D-Optimal Mixture Design (DMD). *Jurnal Ilmiah Farmasi*, *14*(1), 17–34. http://journal.uii.ac.id/index.php/JIF

Hannachi, E., Sayyed, M. I., Hashim, S., Mahmoud, K., & Slimani, Y. (2023). Theoretical Examination of the Radiation Protecting Properties of CaTiO3 Material Sintered at Different Temperatures. *Crystals*, *13*(1). https://doi.org/10.3390/cryst13010120

Harsono, H. (2022). *Sintesis Partikel Nano Seng Oksida (ZnO) Doping Mangan (Mn) Dengan Metode Kopresipitasi Dan Karakteristik Kekristalan Serta Sifat Magnetik*. Pascal Books.

Haynes, W. M. (2016). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (W. M. Haynes, D. R. Lide, & T. J. Bruno, Ed.). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315380476

Hossen, M. J., Bhuiyan, M. R., Datta, S., & Amin, A. (2022). Perovskite Material: A New Horizon in the Field of Renewable Energy Research; A Review. *IOSR Journal Of Applied Physics*, *4*(14), 18–26.

Kurian, M., Thankachan, S., & Nair, S. S. (2023). *Ceramic Catalysts* (R. G. Trombaco, Ed.; I). Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2020-0-01966-3

Kurniawan, E., Asril, A., Rahayu Ningsih, J., Studi Pend Kimia, P., Islam Kuantan Singingi Kuantan, U., & Singingi, K. (2019). Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Oksida dari Limbah Cangkang Bekicot (Achatina fulica). *Jamb.J.Chem*, *2*, 50–54.

LTS Research Laboratories, Inc. (2015). *Calcium Titanate Oxide*. https://www.ltschem.com/msds/CaTiO3

Mishra, S., Naini, P. K., & Sundaram, B. (2024). Effect of calcination temperature on structural, optical and photocatalytic properties of calcium titanate (CaTiO3) nanoparticle. *Results in Optics*, *16*. https://doi.org/10.1016/j.rio.2024.100676

Mustika. (2022). *Sintesis Dan Karakterisasi Material Perovskite Kalsium Titanat (CaTiO3) Dari Limbah Cangkang Kerang Mutiara (Pinctada maxima)*.

Passi, M., & Pal, B. (2021). A review on CaTiO3 photocatalyst: Activity enhancement methods and photocatalytic applications. *Powder Technology*, *388*, 274–304. https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.04.056

Ragab, S., Elkatory, M. R., Hassaan, M. A., & El Nemr, A. (2024). Experimental, predictive and RSM studies of H2 production using Ag-La-CaTiO3 for water-splitting under visible light. *Scientific Reports*, *14*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-024-51219-z

Rocha-Rangel, E., López-Hernández, J., Castillo-Martínez, J. A., Osorio-Ramos, J. J., Calles-Arriaga, C. A., Estrada-Guel, I., & Martínez-Sánchez, R. (2018). Structure, morphology and electrical properties of CaTiO 3 ceramics synthesized by the solid-state reaction method. *Archives of Metallurgy and Materials*, *63*(4), 1749–1753. https://doi.org/10.24425/amm.2018.125101

Septiani, N. (2022). *Identifikasi Sifat Optik Material Perovskite CaTiO3 Sebagai Material Pengganti DSSC Pada Sel Surya*.

Torimtubun, A. A. A., Augusty, A. C., Maulana, E., & Ernawati, L. (2018). Affordable and sustainable new generation of solar cells: Calcium titanate (CaTiO 3) - Based perovskite solar cells. *E3S Web of Conferences*, *67*. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186701010

Tyagi, H., Agarwal, A. K., Chakraborty, P. R., & Powar, S. (2018). *Applications of Solar Energy (Energy, Environment, and Sustainability)*. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-10-7206-2

Wahyuningsih, K., Jumeri, J., & Wagiman, W. (2018). Green Catalysts Activities of CaO Nanoparticles from Pinctada maxima Shell on Alcoholysis Reaction. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 121–136. https://doi.org/10.20885/eksakta.vol18.iss2.art4