

Research Paper

Sintesis Kalsium Titanat (CaTiO_3) dari Cangkang Kerang Darah (*Anadara granosa* Linn) dengan Metode Hidrotermal

*Synthesis of Calcium from Calcium Titanate (CaTiO_3) from Blood Shells (*Anadara granosa* Linn) using The Hydrothermal Method*

Ardiansah^{*a}, Diana Eka Pratiwi^b, Muh. Azis Albar J^a, Hermin Hardyanti utami^b, Alexander Malau^a

^aPoliteknik Industri Logam Morowali, Jl. Trans Sulawesi, Morowali, Sulawesi Tengah, 94974, Indonesia

^bUniversitas Negeri Makassar, Jl. A.P. Pettarani, Makassar, Sulawesi Selatan, 90222, Indonesia

^bAkademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng, Nipa-nipa, Bantaeng, Sulawesi Selatan, 92461, Indonesia

Artikel Histori : Submitted 24 April 2024, Revised 4 Mei 2024, Accepted 18 May 2024, Online 31 May 2024

 <https://doi.org/10.33096/jcpe.v9i1.730>

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis kalsium titanat (CaTiO_3) sebagai nanomaterial dari cangkang kerang darah (*Anadara granosa* Linn.) dengan metode hidrotermal. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap: preparasi, kalsinasi, analisis kadar kalsium, dan sintesis. Hasil analisis menunjukkan bahwa kadar CaO yang terkandung dalam cangkang kerang darah pada sampel I, sampel II, sampel III dan sampel kontrol (sampel tanpa penghilangan kadar air) yaitu berturut-turut 77,46%, 81,69%, 81,13% dan 74,93%. Kristal CaTiO_3 yang disintesis berupa padatan halus berwarna putih bersih yang tidak larut dalam air. Hasil analisis difraksi sinar-X untuk kristal yang disintesis pada pH 12 menunjukkan puncak fase sudut 2θ pada $32,574^\circ$, $32,959^\circ$, $38,600^\circ$, dan $47,503^\circ$ dengan derajat kristalinitas sebesar 69,10% dengan ukuran kristal yang dominan yaitu 70,72 nm. Hasil Scanning electron microscopy (SEM) menunjukkan bahwa bentuk kristal kalsium titanat yang disintesis merupakan kristal dengan bentuk ortorombik. Hasil analisis EDX menunjukkan komposisi unsur-unsur penyusun CaTiO_3 yaitu 26,10% O, 27,45% Ca dan 33,32% Ti.

Kata Kunci: Kalsium titanat; Nanomaterial; *Anadara granosa* L; Hidrotermal; Cangkang kerang.

ABSTRACT: This study aimed to synthesize calcium titanate (CaTiO_3) a nanomaterial from a blood cockle shell (*Anadara granosa* Linn.) with the hydrothermal method. The study was conducted in several stages: preparation, calcination, analysis of calcium levels, and synthesis of CaTiO_3 . The analysis showed that the levels of CaO contained in the shells of blood in samples I, the sample II, the sample III, and a control sample (sample without removal of the water content) are 77,46%, 81,69%, 81,13%, and 7,93% respectively. The results showed the crystalline form was pure white fine solids that did not dissolve in water. The results of X-ray diffraction analysis of the crystals synthesized at pH 12 show a peak phase angle 2θ at $32,574^\circ$, $32,959^\circ$, $38,600^\circ$, and $47,503^\circ$ with a degree of crystallinity of 69.10% with a dominant crystal size is 70.72 nm. The results of Scanning electron microscopy (SEM) showed that the crystalline form of calcium titanate synthesized an orthorhombic crystalline. EDX analysis showed the composition of CaTiO_3 was 26,10% of O, 27,45% of Ca, and 33,32% of Ti.

Keywords: Calcium titanate; nanomaterial; *Anadara granosa* L; hydrothermal; clam shell.

1. PENDAHULUAN

Dua per tiga dari wilayah Indonesia adalah perairan sehingga menjadikan Indonesia sebagai negara yang sangat potensial di bidang perikanan disebabkan luas laut yang dimilikinya. Kerang merupakan salah satu komoditas yang sangat melimpah diantara komoditas lainnya. Dari tahun ke tahun produksi kerang di Indonesia terus mengalami peningkatan. Selama sepuluh tahun terakhir, Indonesia rata-rata menghasilkan 94.247 ton setiap tahunnya dengan senilai Rp. 565,48 miliar [1]. Seiring dengan terjadinya peningkatan produksi kerang tersebut menyebabkan terjadinya penumpukan limbah cangkang kerang darah yang tidak termanfaatkan secara maksimal sehingga berpotensi mencemari lingkungan sehingga dengan alasan tersebut, perlu adanya alternatif penggunaan cangkang kerang, termasuk kerang darah (*Anadara granosa* Linn).

Published by
Department of Chemical Engineering
Faculty of Industrial Technology
Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Address
Jalan Urip Sumohardjo km. 05 (Kampus 2 UMI) Makassar- Sulawesi Selatan
e-mail : jcpe@umi.ac.id

Corresponding Author *
ardiansah@pilm.ac.id



Cangkang kerang darah hasil dekomposisi dapat dimanfaatkan sebagai katalis untuk menghasilkan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi minyak bekas pakai [2].

Cangkang kerang didominasi oleh kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) yaitu sekitar 96% bersama dengan sejumlah kecil mineral lainnya [3]. Pada suhu di atas 800°C, kalsinasi dapat mengubah CaCO₃ menjadi CaO [4]. Beberapa kegunaan CaO yang diekstraksi dari cangkang kerang diantaranya dapat digunakan sebagai katalis pembuatan biodiesel sehingga dapat mengurangi biaya produksi [5]. Konsentrasi kalsium limbah cangkang yang tinggi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben potensial untuk penyerapan CO₂ [3]. Selain itu, CaO pada cangkang kerang juga dapat dimanfaatkan sebagai prekursor untuk sintesis hidroksiapatit [6]. Berdasarkan sifat kimianya yang unik, komponen cangkang ini memberikan prospek baru untuk pemanfaatan limbah cangkang yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian material fungsional diharapkan dapat mengembangkan pembuatan nanomaterial kalsium titanat dari limbah yang menghasilkan bahan material dengan performa yang baik sehingga dapat dimanfaatkan. Namun, bahan-bahan yang dijadikan sebagai prekursor harus diperhatikan sehingga menghasilkan produk material yang baik. Ini juga berlaku ketika memilih metode untuk menggunakan bahan sintetis.

Secara umum, ada dua kategori metode untuk sintesis nanopartikel yaitu metode fisika dan metode kimia. Namun perkembangan teknologi yang semakin maju dan upaya penelitian dengan mengikuti prinsip-prinsip sintesis hijau. Saat ini nanopartikel juga dapat disintesis dengan metode biologi [7]. Metode yang umum digunakan untuk sintesis nanopartikel yaitu metoda kopresipitasi, metoda sol-gel, metoda mikroemulsi, metoda hidrotermal/solvotermal, sintesis menggunakan cetakan (*templated synthesis*) dan semikonduktor organik [8]. Metode hidrotermal adalah metode yang relatif sederhana dan sering digunakan di antara metode sintesis yang lain, dan secara keseluruhan metode ini mengurangi biaya yang terkait dengan sintesis bahan. Selain itu, pembentukan nanomaterial dengan metode hidrotermal juga dapat dilakukan dengan penggunaan suhu sintesis yang rendah maupun pada suhu sintesis yang relatif tinggi. Metode hidrotermal juga menghasilkan nanomaterial dengan morfologi partikel yang terkontrol dan dengan kemurnian yang relatif tinggi [9][10].

Kalsium titanat (CaTiO₃) termasuk dalam senyawa logam titanat dengan struktur perovskite yang banyak diteliti dalam penelitian material fundamental dan terapan yang telah dikembangkan dan berkelanjutan. Kalsium titanat dikenal sebagai semikonduktor tipe-n yang tahan bahan kimia, keramik dielektrik dengan konstanta dielektrik tinggi, termasuk elemen resistif termal karena memiliki koefisien suhu negatif, struktur dan sifat-sifat optiknya. Kalsium titanat telah banyak diteliti secara luas terutama karena fleksibilitas dalam transformasi strukturalnya dan aplikasinya pada bahan keramik feroelektrik dan dielektrik, kapasitor kinerja tinggi, sensor, perangkat *electroluminescence*, limbah radioaktif dan sistem komunikasi gelombang mikro [11][12].

Dalam penggunaannya, ukuran material yang relatif besar akan menurunkan performa material tersebut. Berbeda dengan nanomaterial dengan sifat mekanik yang sangat baik karena volume, permukaan, dan efek kuantum dari nanopartikel. Nanopartikel biasanya ditambahkan pada material lain, sehingga membentuk struktur intragranular atau struktur intergranular sehingga terjadi peningkatan batas butir yang meningkatkan sifat mekanik bahan. Nanomaterial memiliki sifat mekanik yang sangat baik dan sifat unik yang tidak ditemukan dalam bahan makroskopis sehingga pengaplikasiannya sangat luas termasuk prospek di masa depan [13]. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut tentang nanomaterial khususnya dengan metode hidrotermal harus terus dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari berbagai nanomaterial dan pengaplikasiannya, termasuk nanomaterial kalsium titanat.

2. METODE PENELITIAN

Dalam eksperimen ini menggunakan bahan-bahan utama yaitu akuades, larutan TiCl₄ (Titanium tetraklorida) 99%, air bebas ion, HCl (Asam klorida) pekat (aq), HCl (Asam klorida) 1 M, dan NaOH

(Natrium hidroksida) 6 M dan cangkang kerang. Alat-alat yang digunakan adalah plat penangas, tanur, oven, pemutar magnetik, autoklaf, neraca analitik, difraksi sinar-X (XRD) Shimadzu 600, *Scanning electron microscopy- Energy dispersive X-Ray* (SEM/EDX) Jeol Seri JSM 5310LV, *ultra violet- visible spectroscopy* (UV-VIS) Shimadzu dan alat-alat gelas yang umum digunakan.

Metode hidrotermal digunakan untuk membentuk nanomaterial kalsium titanat. Cangkang kerang darah direndam selama dua jam. Setelah itu, membran dan bagian luar cangkang dilepaskan, dan cangkang dikeringkan. Untuk 5 jam, cangkang kerang yang telah kering dikalsinasi pada suhu 900°C [14]. Selanjutnya, kadar CaO ditentukan dengan metode volumetri.

Pada proses sintesis, sekitar 15 tetes larutan HCl pekat ditambahkan pada 50 mL aquades suhu 0°C. Larutan kemudian dihomogenkan selama 1–2 menit menggunakan magnetik stirrer. selanjutnya, larutan TiCl₄ ditambahkan secara perlahan, dan larutan menjadi putih. Selama 60 menit larutan diaduk, dan kemudian disimpan dalam lemari es selama 24 jam. TiOCl₂ telah terbentuk, seperti yang ditunjukkan oleh warna bening. Kalsium oksida (CaO) yang telah ditimbang direaksikan dengan HCl 1 M. Larutan ini kemudian ditambahkan ke dalam larutan TiOCl₂ dan diaduk dengan pemutar magnet [15]. Setelah itu, 6 M NaOH ditambahkan sampai pH 12 [16]. Sebanyak 40 mililiter larutan dimasukkan ke dalam autoklaf dan kemudian dipanaskan selama sepuluh jam pada suhu 120°C. Setelah dibersihkan dengan aquades, kristal disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 150°C hingga benar-benar kering.

Kristal yang diperoleh kemudian dikarakterisasi dengan Difraksi sinar-X untuk mengetahui fase kristalin, alat *Scanning electron microscopy- Energy dispersive X-Ray* (SEM/EDX) untuk mengetahui diameter dan morfologi kristal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum proses kalsinasi, terlebih dahulu dilakukan penentuan kadar air pada cangkang kerang secara triplo, dan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan kadar air cangkang kerang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kadar Air Cangkang Kerang Darah

Jenis Sampel	Kadar Air (%)
I	0,225
II	0,218
III	0,221

Tujuan kalsinasi adalah untuk melepaskan senyawa organik dengan melepaskan unsur kalsium dan oksida dalam bentuk gas CO₂ melalui dekomposisi CaCO₃ dalam cangkang, yang menghasilkan senyawa kalsium oksida [17]. Dekomposisi cangkang kerang darah pada temperatur 900°C selama 3 sampai 5 jam menghasilkan kalsium oksida yang mirip dengan kalsium oksida standar CaO [17][18][19]. Sebelum proses kalsinasi, terlebih dahulu dilakukan penentuan kadar air terhadap ketiga sampel. Penurunan suhu disebabkan oleh peningkatan kadar air dalam sampel. Akibat penggunaan panas untuk menguapkan air dalam sampel, ketersediaan panas untuk reaksi endotermik berkurang. Semakin tinggi kadar air dalam sampel menyebabkan kebutuhan panas yang lebih besar untuk penguapan, tetapi kadar air dalam sampel tidak menyebabkan abu meleleh atau kerusakan peralatan [20][21].

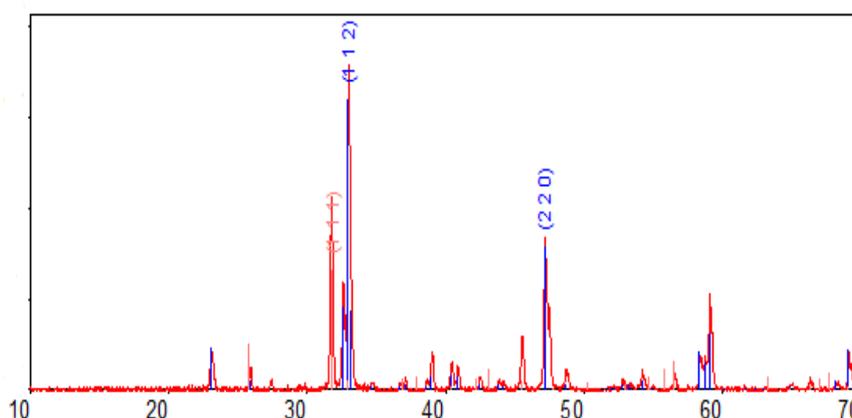
Setelah penentuan kadar air pada cangkang kerang, selanjutnya dilakukan analisis penentuan kadar kalsium oksida. Hasil analisis kadar kalsium oksida yang terkandung dalam cangkang kerang darah yang dilakukan secara triplo dan sampel kontrol (sampel tanpa penghilangan kadar air) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kadar Kalsium Oksida Sampel Cangkang Kerang

Jenis Sampel	Kadar CaO (%)
I	77,46
II	81,69
III	81,13

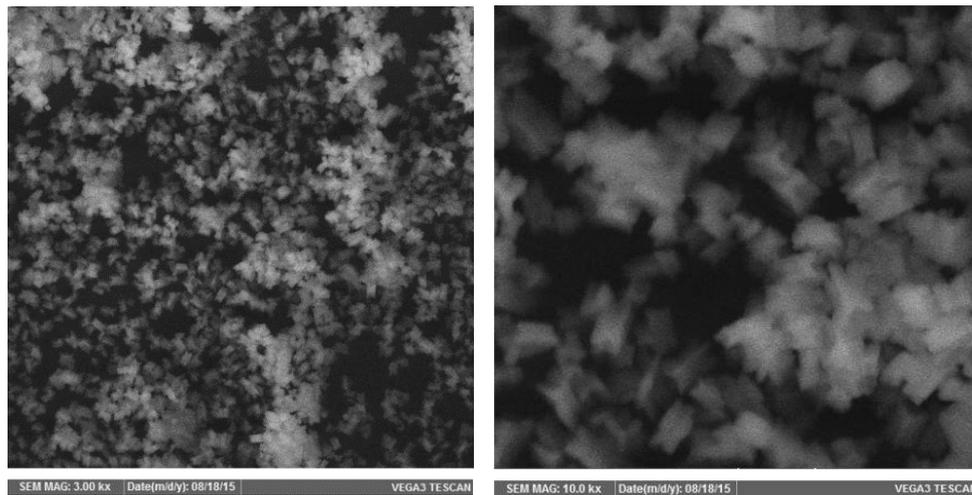
Preparasi awal sintesis dilakukan dengan mereaksikan TiCl_4 dengan HCl pekat yang akan menghasilkan senyawa TiOCl_2 . Karena ion titanil (TiO^{2+}) dari spesies Ti(IV) berada dalam media klorida, penambahan HCl mempercepat proses pembuatan TiOCl_2 [22]. Larutan yang terbentuk berwarna putih kemudian disimpan dalam lemari es selama 24 jam sampai berubah menjadi warna bening. Ini menunjukkan bahwa senyawa TiOCl_2 telah terbentuk, karena senyawa ini merupakan senyawa intermediet yang akan membentuk TiO_2 pada suhu 40°C atau suhu kamar [23]. Kemudian, TiOCl_2 yang terbentuk direaksikan dengan CaCl_2 diperoleh dari hasil reaksi antara CaO dan HCl.

Pengaturan pH dilakukan dengan penambahan NaOH karena pH mempengaruhi proses pembentukan kristal dan ukuran kristal yang akan terbentuk. pH mempengaruhi proses sintesis kristal kalsium titanat dan ukuran kristal yang terbentuk [16]. Pada penelitian ini, nilai pH yang digunakan adalah 12. pH 12 adalah pH yang optimum untuk pembentukan kristal kalsium titanat dengan ukuran yang relatif kecil. Sintesis kristal kalsium titanat dengan prekursor titanium tetraklorida (TiCl_4) dan kalsium klorida (CaCl_2) dengan metode hidrotermal menghasilkan serbuk halus yang tidak dapat larut dalam air dengan derajat kristalinitas sebesar 69,10%, derajat kristalinitas yang relatif rendah jika dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya, ini dapat disebabkan oleh tekanan pada alat reaktor hidrotermal sederhana yang relatif kecil dibandingkan dengan reaktor hidrotermal yang sering digunakan. Seiring dengan berjalannya waktu bahwa tekanan mempengaruhi pembentukan kristal kalsium titanat [24].

**Gambar 1.** Pola Difraksi Sinar-X Kalsium Titanat Hasil Sintesis

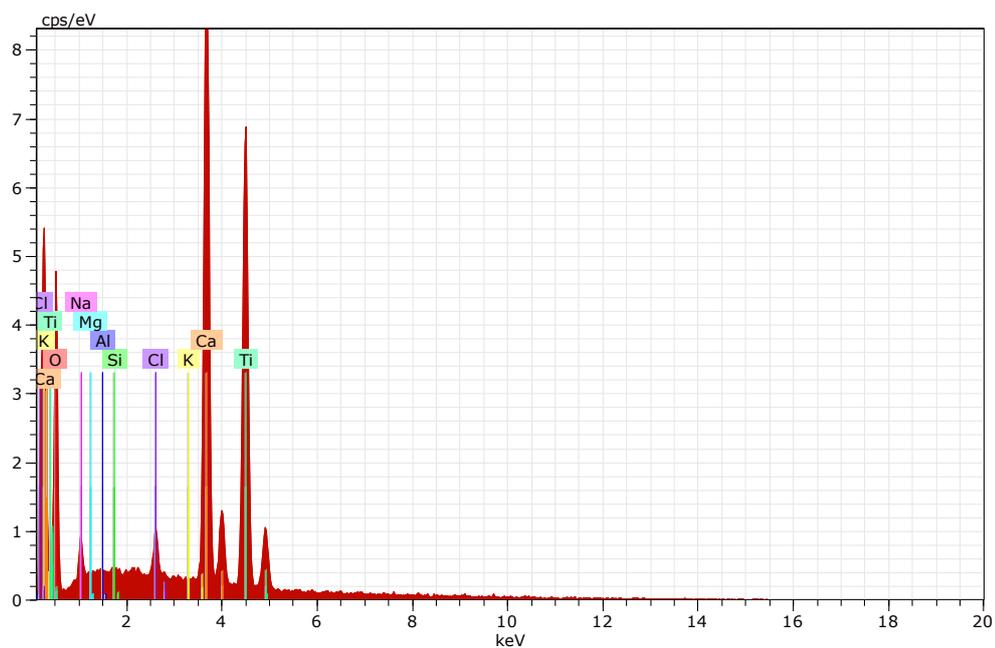
Hasil analisis difraksi sinar-X kristal yang disintesis pada pH 12 menunjukkan puncak fase sudut 2θ pada $32,574^\circ$, $32,959^\circ$, $38,600^\circ$, dan $47,503^\circ$ dengan derajat kristalinitas sebesar 69.10%. Hasil analisis difraksi sinar-X juga menunjukkan bahwa fase kristal kalsium titanat yang terbentuk selain didominasi oleh fase orthorombik terdapat juga fase tetragonal. Kristal dengan fase orthorombik memiliki nilai a,b dan c yaitu berturut-turut yaitu 4,46, 5,43 dan 4,87 dengan sudut β , α dan γ yaitu 90° , sedangkan kristal dengan fase tetragonal memiliki nilai a,b dan c berturut-turut yaitu 5,40, 5,49 dan 7,66 dengan sudut β , α dan γ yaitu 90° , nilai tersebut merupakan nilai parameter kisi untuk CaTiO_3 yang paling stabil pada suhu kamar [25].

Hasil *Scanning electron microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa bentuk kristal kalsium titanat yang dihasilkan merupakan kristal dengan bentuk ortorombik [16].



Gambar 2. Morfologi Kalsium Titanat dengan Pembesaran a) 3.000x b) 10.000x

Hasil analisis *Energy-dispersive X-ray spectroscopy* (EDS) dapat menunjukkan data secara kualitatif dan kuantitatif seperti pada Gambar 3 yang menunjukkan unsur yang terkandung dalam kristal yang telah disintesis.



Gambar 3. Spektrum EDS Kalsium Titanat

Tabel 3. Hasil Analisis EDS Kalsium Titanat

Unsur	Wt (%)	
	Teoritis	EDS
O	34,54	26,10
Ca	20,78	27,45
Ti	25,19	33,32
Si	0,03	0,02
Al	0,09	0,07
Mg	0,20	0,15
K	0,24	0,18
Na	2,84	2,17
Cl	1,24	0,94

Sifat permukaan material sangat mempengaruhi kemampuannya saat digunakan. Sifat permukaan material dipengaruhi oleh tingkat kristalinitas strukturnya, dengan tingkat kristalinitas struktur yang lebih tinggi akan sebanding dengan kualitas permukaannya. Sifat permukaan material juga dipengaruhi oleh luas dan morfologinya [21].

Pada Gambar 4.a dan 4.b menunjukkan bahwa material mempunyai pori di permukaan. Ini mungkin karena proses inversi fasa, di mana butiran serbuk perovskit difusi ke permukaan, yang meninggalkan ruang kosong di penampang lintang material. Material dengan ukuran partikel yang besar dapat memiliki membran yang memiliki tingkat kerapatan yang lebih rendah. Semakin kecil ukuran partikel, semakin besar porositas atau kerapatan yang dihasilkan [3].

Berdasarkan hasil EDS pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa unsur yang paling banyak yang terdapat dalam sampel adalah Oksigen, Kalsium dan Titanium dengan persentase masing-masing 26.10%, 27.45% dan 33.32%. Hal ini disebabkan karena unsur-unsur tersebut merupakan unsur utama penyusun kalsium titanat. Pengujian sifat optik dilakukan dengan alat spektroskopi UV-VIS. Panjang gelombang maksimum sampel diamati dalam uji spektroskopi optik, yang berkisar dari 200 nm hingga 900 nm. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa panjang gelombang maksimal untuk sampel I, sampel II dan sampel III adalah berturut-turut 225.30 nm, 222.20 nm dan 221.30 nm. Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa antara sampel I, sampel II, dan sampel III memiliki panjang gelombang atau sifat optik yang relatif sama. Nano kalsium memiliki panjang gelombang maksimum berkisar antara 200-350 nm [4]. Perbedaan panjang gelombang yang disebabkan oleh perubahan perlakuan pada sampel kalsium titanat adalah hasil dari proses pengembangan volume, pembentukan, dan perubahan orientasi kristal [22].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa kristal CaTiO_3 telah berhasil disintesis menggunakan CaO hasil proses kalsinasi cangkang kerang darah dan TiCl_4 dengan metode hidrotermal pada pH 12. Hasil analisis difraksi sinar-X menunjukkan bahwa ukuran kristal CaTiO_3 sudah berukuran nano karena ukurannya lebih kecil dari 100 nm, yaitu 70,72 nm dengan kemurnian 69,10% dan berdasarkan analisis SEM-EDS menunjukkan bahwa kristal yang dominan adalah dengan bentuk orthorombik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Kelautan dan Perikanan, “Statistik Perikanan Tangkap Perairan Laut. Sistem Informasi Diseminasi Data Statistik Kelautan dan Perikanan (SIDATIK),” Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- [2] Umei Latifah Azzahro and Wisnu Broto, “Pemanfaatan Limbah Cangkang Kerang Dara sebagai Katalis CaO pada Pembuatan Biodiesel Minyak Goreng Bekas,” *Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)*, vol. 1, no. 6, pp. 499–507, 2021, [Online]. Available: <https://greenvest.co.id/>
- [3] S. Dampang, E. Purwanti, F. Destyorini, S. B. Kurniawan, S. R. S. Abdullah, and M. F. Imron, “Analysis of Optimum Temperature and Calcination Time in the Production of CaO Using Seashells Waste as CaCO₃ Source,” *Journal of Ecological Engineering*, vol. 22, no. 5, pp. 221–228, 2021, doi: 10.12911/22998993/135316.
- [4] N. Suwannasingha, A. Kantavong, S. Tunkijjanukij, C. Aenglong, H. B. Liu, and W. Klaypradit, “Effect of Calcination Temperature on Structure and Characteristics of Calcium Oxide Powder Derived from Marine Shell Waste,” *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 26, no. 1, pp. 1–8, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.jscs.2022.101441.
- [5] Vivi Sisca and Jumriana Rahayuningsih, “Pembuatan Limbah Cangkang Telur Sebagai Katalis Heterogen untuk Produksi Biodiesel,” *Journal of Research and Education Chemistry*, vol. 4, no. 2, pp. 134–143, Dec. 2022, doi: 10.25299/jrec.2022.vol4(2).10862.
- [6] Pepi Helza Yanti and Yendro Gandi, “Pengaruh Waktu Kalsinasi Terhadap Sifat Fisika-Kimia Hidroksiapatit dari Cangkang Geloina Coaxans,” *Chemistry Progress*, vol. 13, no. 2, pp. 102–106, Nov. 2020, doi: 10.35799/cp.13.2.2020.31473.
- [7] R. Y. Asworo, W. Hanandayu Widwastuti, and E. Widayanti, “Sintesis Nanopartikel Perak menggunakan Ekstrak Kulit Sirsak sebagai Bioreduktor,” *Indonesian Journal of Pharmaceutical (e-Journal)*, vol. 3, no. 3, pp. 468–474, 2023, doi: 10.37311/ijpe.v3i3.22310.
- [8] N. Nurjanah *et al.*, “A Review: Nanoparticles NiFe₂O₄ Synthesis and Its Application as Hyperthermia Agents in Biomedicine,” *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 11, no. 2, 2022, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- [9] Y. X. Gan, A. H. Jayatissa, Z. Yu, X. Chen, and M. Li, “Hydrothermal Synthesis of Nanomaterials,” *Journal of Nanomaterials*, vol. 2020. Hindawi Limited, pp. 1–3, 2020. doi: 10.1155/2020/8917013.
- [10] F. R. Cesconeto, M. Borlaf, M. I. Nieto, A. P. N. De Oliveira, and R. Moreno, “Synthesis of CaTiO₃ and CaTiO₃/TiO₂ Nanoparticulate Compounds through Ca²⁺/TiO₂ Colloidal Sols: Structural and Photocatalytic Characterization,” *Ceram Int*, vol. 44, no. 1, pp. 301–309, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.ceramint.2017.09.173.
- [11] T. Krenek, T. Kov arík, J. Pola, T. Stich, and D. Docheva, “Nano and Micro-forms of Calcium Titanate: Synthesis, Properties and Application ,” *Open Ceramics*, vol. 8, no. 1, pp. 1–34, 2021.
- [12] Ester Damayanthi, Nurussa’adah, and Eka Maulana, “Pengaruh Luas Permukaan terhadap Performansi Perovskit Solar Cell,” *Jurnal Mahasiswa TEUB*, vol. 7, no. 5, pp. 176–185, 2019.
- [13] Q. Wu, W. S. Miao, Y. Du Zhang, H. J. Gao, and D. Hui, “Mechanical Properties of Nanomaterials: A Review,” *Nanotechnol Rev*, vol. 9, no. 1, pp. 259–273, Mar. 2020, doi: 10.1515/ntrev-2020-0021.

- [14] Rini Setiowati, Nurhayati, and Amilia Linggawati, "Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas menggunakan Katalis CaO Cangkang Kerang Darah Kalsinasi 900°C," *JOM FMIPA*, vol. 1, no. 2, pp. 383–388, 2014.
- [15] A. Julianto, I. H. Suparto, and A. Saputra, "Sintesis CaTiO₃ dengan Memanfaatkan Cangkang Telur sebagai Sumber CaO," IPB University, Bogor, 2012.
- [16] S. Lim, M. Cloke, K. Chiang Ng, J. Jin, and G. Z. Chen, "Hydrothermal Synthesis of Biocompatible CaTiO₃ Particles," in *Conference: 2008 AIChE Annual Meeting*, 2008, pp. 1778–1781.
- [17] E. Rohmiasih, S. Rezeki, and S. Khairi, "Pengaruh Konsentrasi Katalis Heterogen Kalsium Oksida (CaO) dari Cangkang Telur Bebek pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa," in *PIPT ke-6 Universitas Tanjungpura*, 2021, pp. 33–48. doi: 10.26418/pipt.2021.22.
- [18] B. Riyanto, W. Trilaksani, and N. Rahmaeni, "Kalsium Oksida Cangkang Kerang sebagai Material Reaksi Eksotermis Kemasan Pemanas Sendiri untuk Pangan Darurat Lokal," *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, vol. 14, no. 2, pp. 137–147, 2023.
- [19] A. Oktaviana Maisyarah, A. Shofiyani, and Rudiyanasyah, "Sintesis CaO dari Cangkang Kerang Ale-ale (*Meretrix meretrix*) pada Suhu Kalsinasi 900°C," *Jurnal Kimia Khatulistiwa*, vol. 8, no. 1, pp. 37–40, 2019.
- [20] Syamsuddin and Herri Susanto, "Simulasi Termodinamika Gasifikasi Sludge Pabrik Pulp Kraft untuk Penghematan Gas Alam Sebagai Bahan Bakar Lime kiln," in *Seminar Rekayasa Kimia dan Proses*, 2010, pp. 1–6.
- [21] H. Azhar, A. Awaluddin, A. Muchtar, and U. Tang, "Analisis Sifat-Sifat Permukaan Birnessite yang Dipreparasi Dari Dua Agen Pereduksi Berbeda," *JOM FMIPA*, vol. 1, no. 2, pp. 254–260, 2014.
- [22] Anitas Sari and Suprpto, "Studi Pengaruh Dekomposisi Pasir Besi Dengan NaOH Terhadap Pemisahan Titanium," *Jurnal Sains dan Seni POMITS*, vol. 1, no. 2, pp. 1–7, 2009.
- [23] Rezekiyani, "Pembuatan dan Karakterisasi Kalsium Titanat (CaTiO₃) dari Cangkang Keong Mas (*Pomacea canaliculata*) dengan Cara Hidrotermal," Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, Makassar, 2018.
- [24] S. K. Durrani, Y. Khan, N. Ahmed, M. Ahmad, and M. A. Hussain, "Hydrothermal Growth of Calcium Titanate Nanowires from Titania," *Journal of the Iranian Chemical Society*, vol. 8, no. 2, pp. 562–569, 2011, doi: 10.1007/BF03249091.
- [25] A. Krause, "Ultrathin CaTiO₃ Capacitors: Physics and Application," Technische Universität Dresden, Dresden, 2014.