

Kalsium Karbonat Presipitat dari Cangkang Telur dengan Menggunakan Metode *Indirect Carbonation*

Satryo Arya Prakoso¹, Therarinda Athayya Novalia Putri Irwansyah², Ely Kurniati³,
Suprihatin⁴, Nurul Widji Triana⁵

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: 22031010204@student.upnjatim.ac.id, 22031010221@student.upnjatim.ac.id

Diterima: 16 Juli 2026

Disetujui: 21 Juli 2026

Abstract

This study aimed to synthesize and characterize *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) derived from chicken eggshell waste using the indirect carbonation method. Eggshells were calcined at 900°C for 3 hours to produce CaO, which was subsequently dissolved in 2M HNO₃ as a calcium source. Carbonation was carried out using NH₄HCO₃ as the precipitating agent with concentrations ranging from 1.0 to 3.0M and pH values of 8 - 12 to determine the optimum synthesis conditions. X-ray fluorescence (XRF) analysis revealed that the raw material contained 98.95% calcium, indicating its suitability as an alternative calcium source. The highest PCC yield of 69.8415% was obtained at pH 12 with an NH₄HCO₃ concentration of 1.5M. X-ray diffraction (XRD) confirmed the formation of the dominant calcite phase, characterized by a major diffraction peak at approximately $2\theta = 29.4^\circ$. Scanning electron microscopy (SEM) analysis showed rhombohedral particles typical of calcite crystals. These findings demonstrate that chicken eggshell waste is a promising, environmentally friendly raw material for producing high-quality PCC suitable for various industrial applications.

Keywords: *calcite, eggshell, indirect carbonation, pcc, yield*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis dan mengkarakterisasi *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) dari limbah cangkang telur ayam menggunakan metode *indirect carbonation*. Cangkang telur dikalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam untuk menghasilkan CaO, kemudian dilarutkan dalam larutan HNO₃ 2M sebagai sumber ion kalsium. Proses karbonasi dilakukan menggunakan NH₄HCO₃ sebagai agen presipitasi dengan variasi konsentrasi 1,0 - 3,0M dan pH 8 - 12 untuk memperoleh kondisi optimum pembentukan PCC. Hasil analisis XRF menunjukkan bahwa bahan baku memiliki kandungan kalsium sebesar 98,95%, sehingga berpotensi sebagai sumber kalsium alternatif. Yield PCC tertinggi sebesar 69,8415% diperoleh pada kondisi pH 12 dan konsentrasi NH₄HCO₃ 1,5M. Karakterisasi XRD mengonfirmasi terbentuknya fase kalsit yang dominan dengan puncak difraksi utama pada sudut 2θ sekitar 29,4°, sedangkan hasil SEM menunjukkan morfologi partikel berbentuk rhombohedral yang khas untuk kalsit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah cangkang telur berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku ramah lingkungan dalam produksi PCC berkualitas tinggi untuk berbagai aplikasi industri.

Kata Kunci: *cangkang telur, indirect carbonation, kalsit, pcc, yield*

1. Pendahuluan

Cangkang telur merupakan salah satu limbah domestik yang ketersediaannya melimpah dan belum dimanfaatkan secara optimal. Limbah ini umumnya dihasilkan dari aktivitas konsumsi rumah tangga maupun industri pangan, sehingga berpotensi menimbulkan permasalahan lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Di sisi lain, cangkang telur memiliki kandungan kalsium karbonat (CaCO₃) yang sangat tinggi, yaitu sekitar 98%, sehingga berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber kalsium alternatif dalam sintesis material anorganik bernilai tambah [1]. Pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai bahan baku juga sejalan dengan konsep keberlanjutan, karena dapat mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya alam tak terbarukan seperti batu kapur [2].

Salah satu produk turunan CaCO₃ yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah precipitated calcium carbonate (PCC). PCC merupakan kalsium karbonat sintetis yang dihasilkan melalui proses kimia terkontrol sehingga memiliki tingkat kemurnian tinggi, distribusi ukuran partikel yang sempit, serta morfologi yang dapat direkayasa sesuai kebutuhan aplikasi industri [3]. Dibandingkan dengan ground calcium carbonate (GCC) yang diperoleh melalui proses mekanik, PCC menawarkan keunggulan dalam hal homogenitas dan sifat fungsional [4]. Oleh karena itu, PCC banyak dimanfaatkan dalam berbagai sektor

industri, seperti kertas, plastik, karet, farmasi, dan pangan, terutama sebagai bahan pengisi (filler) yang mampu meningkatkan sifat mekanik dan optik produk [5].

Dalam industri kertas, penggunaan PCC diketahui mampu meningkatkan kecerahan, opasitas, serta kehalusan permukaan kertas, sekaligus mengurangi penggunaan serat kayu dan meningkatkan efisiensi proses produksi [6]. Dengan meningkatnya kebutuhan PCC di berbagai sektor, diperlukan metode sintesis yang efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan. Salah satu pendekatan yang dapat dilakukan adalah melalui pemanfaatan limbah cangkang telur sebagai bahan baku dalam proses sintesis PCC.

Metode sintesis PCC yang umum digunakan adalah metode karbonasi, yang terbagi menjadi karbonasi langsung dan karbonasi tidak langsung (indirect carbonation). Metode karbonasi tidak langsung memiliki keunggulan dalam menghasilkan produk dengan kemurnian lebih tinggi karena memungkinkan tahap pemisahan pengotor sebelum proses presipitasi [7]. Proses ini umumnya melibatkan beberapa tahapan, yaitu kalsinasi CaCO_3 menjadi CaO , pelarutan CaO menggunakan larutan asam untuk menghasilkan ion Ca^{2+} , serta reaksi presipitasi dengan sumber karbonat untuk membentuk kembali CaCO_3 dalam bentuk presipitat [8].

Kondisi operasi dalam proses sintesis PCC memiliki peranan penting dalam menentukan karakteristik produk yang dihasilkan. Parameter seperti pH, suhu, serta jenis dan konsentrasi bahan presipitat berpengaruh terhadap laju reaksi, tingkat supersaturasi, serta mekanisme nukleasi dan pertumbuhan kristal. Nilai pH yang bersifat basa ($\text{pH} > 7$) diketahui meningkatkan konsentrasi ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam larutan, sehingga mempercepat proses presipitasi kalsium karbonat [9]. Selain itu, kondisi pH juga mempengaruhi jenis fase kristal yang terbentuk, di mana kondisi basa cenderung menghasilkan fase kalsit yang lebih stabil secara termodinamika.

Di samping itu, jenis dan konsentrasi bahan presipitat juga berpengaruh terhadap morfologi dan ukuran partikel PCC. Penggunaan bahan presipitat seperti NH_4HCO_3 , Na_2CO_3 , maupun NaHCO_3 dapat menghasilkan karakteristik partikel yang berbeda karena perbedaan ketersediaan ion karbonat dalam larutan [10]. Konsentrasi bahan presipitat yang tidak optimal dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara laju nukleasi dan pertumbuhan kristal, sehingga mempengaruhi yield dan kualitas produk akhir. Oleh karena itu, diperlukan pengendalian parameter proses secara tepat untuk memperoleh PCC dengan karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi industri.

Selain itu, kalsium karbonat memiliki tiga bentuk polimorf utama, yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit, yang masing-masing memiliki struktur kristal dan sifat yang berbeda. Kalsit merupakan fase yang paling stabil, sedangkan vaterit merupakan fase metastabil yang mudah berubah menjadi kalsit. Pembentukan fase-fase tersebut dipengaruhi oleh kondisi proses seperti suhu, pH, dan komposisi larutan [11]. Dengan demikian, pengendalian kondisi sintesis menjadi faktor kunci dalam menentukan karakteristik PCC yang dihasilkan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mensintesis precipitated calcium carbonate (PCC) dari limbah cangkang telur menggunakan metode indirect carbonation serta menganalisis pengaruh variasi konsentrasi bahan presipitat dan pH terhadap yield dan karakteristik produk yang dihasilkan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan material berbasis limbah yang bernilai tambah tinggi, serta mendukung penerapan teknologi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dalam industri kimia.

2. Metode Penelitian

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari cangkang telur ayam, asam nitrat dari Nirwana Abadi UD, natrium hidroksida dari Nirwana Abadi UD, amonium bikarbonat dari CV Chemindo Multi Sentosa, dan aquadest dari Nirwana Abadi UD. Sementara alat yang digunakan pada penelitian ini adalah beaker glass, gelas ukur, batang pengaduk, neraca analitik, corong kaca, labu ukur, magnetic stirrer, ayakan 100 mesh, kertas saring, thermometer, pipet tetes, dan oven.

Pembuatan Kalsium Karbonat Presipitat

Cangkang telur ayam dicuci hingga bersih, kemudian cangkang telur ditumbuk hingga halus dan diayak menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Selanjutnya, cangkang telur yang sudah diayak dipanaskan dengan menggunakan suhu 900°C selama 3 jam menggunakan furnace. Pengcilan ukuran pada cangkang telur dilakukan karena kelarutan akan meningkat seiring dengan bertambahnya luas permukaan partikel [12]. Pemilihan suhu kalsinasi dilakukan berdasarkan peneliti terdahulu yang menyatakan bahwa pada suhu 900°C [13].

Sintesis Kalsium Karbonat Presipitat

Cangkang telur yang telah dikalsinasi diambil sebanyak 14 gram kemudian dilarutkan dengan HNO_3 2M dengan menggunakan alat pengaduk magnetik dengan kecepatan 350 rpm pada suhu 30°C . Kemudian hasil pengadukan disaring dengan menggunakan kertas saring dan endapan yang dihasilkan dikeringkan. Selanjutnya, filtrat yang didapatkan dicampurkan dengan NaOH 2M hingga mencapai variabel pH yang diinginkan yaitu pH 8, 9, 10, 11 dan 12. Kemudian dilakukan proses karbonadi dengan ditambahkan NH_4HCO_3 dengan variasi konsentrasi yang diinginkan yaitu 1M, 1.5M, 2M, 2.5M, dan 3M selama 60 menit. Kemudian, larutan dipisahkan dengan menggunakan kertas saring, endapan putih yang dihasilkan dicuci dengan menggunakan aquadest lalu dikeringkan dengan menggunakan oven.

Karakterisasi

Perhitungan Rendemen Kalsium Karbonat Presipitat

Kalsium karbonat presipitat yang dihasilkan ditentukan berdasarkan rendemen tertinggi untuk dilakukan analisis morfologi dari kristal yang terbentuk. Persamaan rendemen ditulis sebagai berikut :

$$\% \text{ yield} = \frac{\text{berat endapan PCC}}{(\text{berat bahan baku} + \text{berat NaHCO}_3)} \times 100\% \quad (1)$$

Analisis Morfologi

Analisa morfologi kristal kalsium karbonat presipitat dilakukan dengan menggunakan alat Scanning Electron Microscope (SEM). Uji SEM dilakukan dengan variasi perbesaran yang berbeda untuk memperjelas fasa kristal kalsium karbonat presipitat yang terbentuk.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa Bahan Baku

Dalam penelitian ini, sintesis kalsium karbonat presipitat (CaCO_3) dilakukan dengan memanfaatkan CaO yang diperoleh dari cangkang telur sebagai bahan awal. Cangkang telur terlebih dahulu dihancurkan hingga menjadi serbuk halus, kemudian disaring menggunakan ayakan berukuran 100 mesh. Serbuk yang dihasilkan selanjutnya dipanaskan pada suhu 900°C melalui proses kalsinasi. Produk hasil kalsinasi kemudian dianalisis menggunakan metode XRF untuk mengidentifikasi senyawa yang terkandung di dalam bahan tersebut.

Tabel 1. Analisa Komponen Senyawa Cangkang Telur Menggunakan XRF

Komponen	Konsentrasi
Ca	98,95%
Fe	0,085%
Cu	0,03%
Mo	0,34%
Yb	0,47%
Lu	0,12%

Cangkang telur memiliki kandungan kalsium (Ca) yang sangat dominan sebesar 98,95%, sehingga berpotensi tinggi sebagai bahan baku dalam sintesis kalsium karbonat presipitat (CaCO_3).

Analisa Rendemen Produk Kalsium Karbonat Presipitat

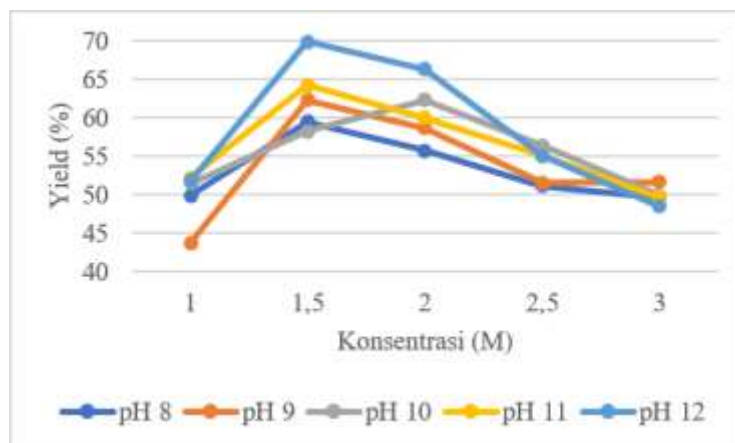
Berdasarkan penelitian yang dilakukan, didapatkan hasil yield kalsium karbonat presipitat sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Yield Kalsium Karbonat Presipitat

Konsentrasi pH	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
8	49.889	59.460	55.681	51.096	49.624
9	43.701	62.291	58.597	51.554	51.642
10	51.436	58.201	62.309	56.365	49.826
11	52.209	64.179	59.923	54.991	49.624
12	51.822	69.842	66.287	54.991	48.414

Pengaruh Konsentrasi NH_4HCO_3 terhadap Rendemen Kalsium Karbonat Presipitat

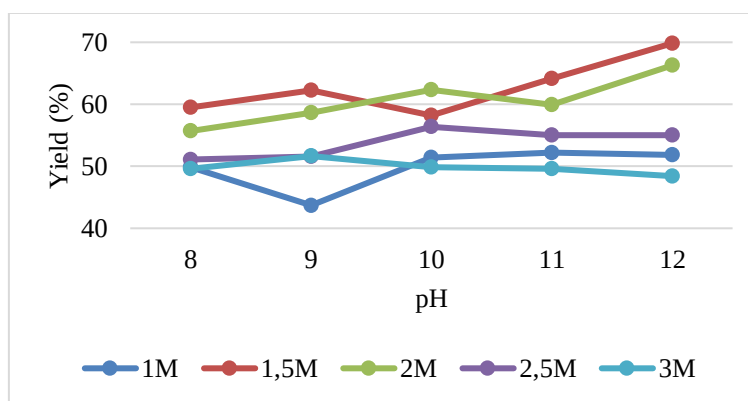
Berdasarkan hasil penelitian, hubungan antara konsentrasi bahan presipitat dan yield kalsium karbonat presipitat (PCC) menunjukkan pola kurva parabola, di mana yield meningkat hingga mencapai nilai maksimum pada konsentrasi optimum, kemudian menurun pada konsentrasi yang lebih tinggi. Yield tertinggi diperoleh pada konsentrasi 1,5M dan pH 12 sebesar 69,8415%, yang menunjukkan kondisi optimum pembentukan CaCO_3 akibat keseimbangan jumlah ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} . Peningkatan yield pada konsentrasi rendah hingga menengah terjadi karena bertambahnya jumlah ion karbonat yang bereaksi dengan ion kalsium. Namun, pada konsentrasi tinggi, terjadi penurunan yield yang disebabkan oleh kondisi supersaturasi berlebih yang memicu nukleasi cepat, pembentukan partikel sangat halus atau fase metastabil, serta keterbatasan difusi dan kemungkinan pelarutan kembali, sehingga mengurangi jumlah endapan yang terukur. Pengaruh konsentrasi NH_4HCO_3 terhadap hasil rendemen kalsium karbonat presipitat disajikan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pengaruh Konsentrasi NH_4HCO_3 terhadap Rendemen Kalsium Karbonat Presipitat

Pengaruh pH dengan Penambahan NaOH terhadap Rendemen Kalsium Karbonat Presipitat

Berdasarkan hasil penelitian, variasi pH berpengaruh signifikan terhadap yield precipitated calcium carbonate (PCC). Yield tertinggi diperoleh pada kondisi pH 12 dengan konsentrasi 1,5M sebesar 69,8415%. Peningkatan yield pada kondisi basa disebabkan oleh meningkatnya ketersediaan ion karbonat (CO_3^{2-}) dalam larutan, sehingga reaksi presipitasi dengan ion kalsium (Ca^{2+}) berlangsung lebih optimal. Dengan demikian, semakin tinggi pH, semakin besar peluang terbentuknya CaCO_3 , yang berkontribusi pada peningkatan yield PCC. Pengaruh pH dengan penambahan NaOH terhadap hasil rendemen kalsium karbonat presipitat disajikan pada **Gambar 2**.

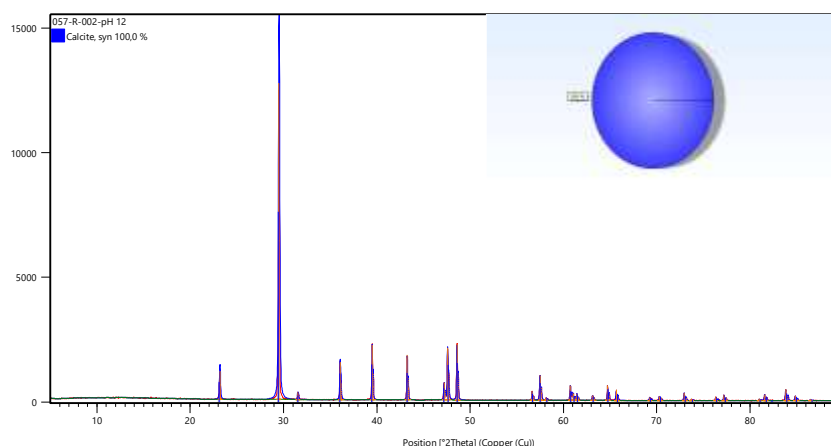


Gambar 2. Pengaruh pH terhadap Yield PCC

Karakterisasi Kalsium Karbonat Presipitat dari Hasil X-Ray Diffraction

Uji XRD dilakukan bertujuan untuk menentukan tipe fase kristal yang muncul pada produk sintesis. Pada kalsium karbonat, terdapat tiga bentuk kristal utama yang dikenal sebagai polimorf, yaitu kalsit, aragonit, dan vaterit. Masing-masing kristal memiliki sudut difraksi yang berbeda-beda. Sampel yang digunakan untuk uji XRD diambil dari sampel dengan perolehan yield tertinggi yaitu pada konsentrasi NH_4HCO_3 1,5M dan pH 12. Berdasarkan pola difraksi yang diperoleh, terlihat bahwa puncak-puncak

tersebut menandakan adanya senyawa kalsium karbonat presipitat dengan didominasi oleh fasa kalsit. Pola XRD menunjukkan kalsium karbonat presipitat terdapat pada puncak-puncak dengan fase kalsit pada sudut difraksi (2θ) sekitar $29,4^\circ$, $39,4^\circ$, $47,5^\circ$, dan $48,5^\circ$. Puncak-puncak mengindikasikan bahwa kalsium karbonat presipitat dengan fase kalsit merupakan fasa kristal yang terbentuk secara dominan. Hal ini diperkuat oleh nilai puncak difraksi yang diperoleh, yang menunjukkan kesesuaian dan tidak berbeda jauh jika dibandingkan terhadap data referensi ICDD 01-078-4615 untuk fase kalsit [14]. Hasil uji XRD pada konsentrasi NH_4HCO_3 1,5M dan pH 12 disajikan pada **Gambar 3**.

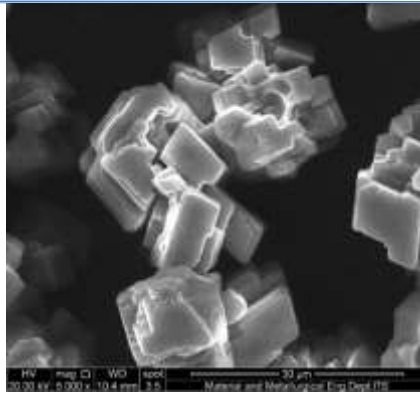


Gambar 3. Pola Difraksi XRD pada Konsentrasi NH_4HCO_3 1,5M dan pH 12.

Karakterisasi Kalsium Karbonat Presipitat

Pengujian menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengamati morfologi kalsium karbonat presipitat yang dihasilkan. Analisis dilakukan menggunakan sampel dengan konsentrasi 1,5M pada pH 12, serta perbesaran 5000 kali. Berdasarkan hasil SEM terlihat bahwa partikel yang terbentuk memiliki bentuk kristal menyerupai persegi, dengan permukaan yang cukup rata dan sudut yang tampak tegas. Partikel tersebut berbentuk rhombohedral yang merupakan morfologi khas dari kalsium karbonat dengan fase kalsit [15]. Berdasarkan skala pada hasil uji yaitu 30 μm dapat diketahui bahwa ukuran partikel yang terbentuk memiliki ukuran yang tidak seragam. Ukuran partikel diamati dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ dan diperoleh ukuran partikel berukuran 4-13 μm . Terlihat adanya beberapa partikel yang berukuran lebih besar dibandingkan yang lain, yang kemungkinan terjadi akibat proses pertumbuhan kristal yang berlangsung tidak seragam selama reaksi. Morfologi partikel yang diperoleh dari hasil SEM menunjukkan karakteristik kristal rhombohedral khas kalsit, sehingga hasil pengamatan dengan menggunakan SEM mendukung hasil analisa dari uji XRD yang menunjukkan bahwa fase yang terbentuk pada sampel berupa kalsium karbonat dengan fase kalsit [14].

Pengujian menggunakan SEM dilakukan untuk mengamati morfologi kalsium karbonat presipitat yang dihasilkan. Analisis dilakukan menggunakan sampel dengan konsentrasi 1,5M pada pH 12, serta perbesaran 5000 kali. Berdasarkan hasil SEM terlihat bahwa partikel yang terbentuk memiliki bentuk kristal menyerupai persegi, dengan permukaan yang cukup rata dan sudut yang tampak tegas. Partikel tersebut berbentuk rhombohedral yang merupakan morfologi khas dari kalsium karbonat dengan fase kalsit. Berdasarkan skala pada hasil uji yaitu 30 μm dapat diketahui bahwa ukuran partikel yang terbentuk memiliki ukuran yang tidak seragam. Ukuran partikel diamati dengan menggunakan perangkat lunak ImageJ dan diperoleh ukuran partikel berukuran 4-13 μm . Terlihat adanya beberapa partikel yang berukuran lebih besar dibandingkan yang lain, yang kemungkinan terjadi akibat proses pertumbuhan kristal yang berlangsung tidak seragam selama reaksi. Morfologi partikel yang diperoleh dari hasil SEM menunjukkan karakteristik kristal rhombohedral khas kalsit, sehingga hasil pengamatan dengan menggunakan SEM mendukung hasil analisa dari uji XRD yang menunjukkan bahwa fase yang terbentuk pada sampel berupa kalsium karbonat dengan fase kalsit. Hasil uji SEM pada menggunakan sampel dengan konsentrasi 1,5M pada pH 12 disajikan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Hasil Karakterisasi SEM Kalsium Karbonat Presipitat dengan Perbesaran 5000 Kali.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, *Precipitated Calcium Carbonate* (PCC) berhasil disintesis dari limbah cangkang telur melalui metode indirect carbonation. Hasil analisis menunjukkan bahwa cangkang telur memiliki kandungan kalsium yang tinggi, yaitu sebesar 98,95%, sehingga berpotensi sebagai sumber bahan baku alternatif dalam produksi PCC. Variasi kondisi proses, khususnya pH dan konsentrasi bahan presipitat, memberikan pengaruh signifikan terhadap yield PCC yang dihasilkan. Yield tertinggi diperoleh pada kondisi pH 12 dengan konsentrasi NH_4HCO_3 sebesar 1,5M, yaitu sebesar 69,8415%, yang menunjukkan bahwa kondisi basa dan konsentrasi optimum mendukung terbentuknya presipitasi CaCO_3 secara maksimal. Karakterisasi produk menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) menunjukkan bahwa fase kristal yang dominan terbentuk adalah kalsit, ditandai dengan puncak difraksi khas pada sudut 2θ sekitar $29,4^\circ$. Hasil analisis *Scanning Electron Microscopy* (SEM) memperlihatkan morfologi partikel berbentuk rhombohedral yang merupakan karakteristik dari fase kalsit. Dengan demikian, limbah cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai sumber kalsium yang efektif dan ramah lingkungan untuk sintesis PCC dengan karakteristik yang sesuai untuk aplikasi industri.

5. Referensi

- [1] Putr, Fillian Lathifah Nurhadi, and Rizal Pratama Nugroho. *Analisa Kandungan Kalsium Pada Serbuk Cangkang Telur Ayam Hasil Pengeringan Dan Kalsinasi*. Diss. Akademi Farmasi Putera Indonesia Malang, 2017.
- [2] Supriyanto, "Synthesis and characterization of CaO/CaCO_3 from quail eggshell waste by solid state reaction process," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2120, no. 1, 2019.
- [3] L. Xiang, "Influence of chemical additives on the formation of super-fine calcium carbonate," *Powder Technol.*, vol. 126, pp. 129–133, 2002, [Online]. Available: www.elsevier.com/locate/powtec
- [4] R. Sekaringgalih, "Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Karbonat Presipitat dari Limbah Cangkang Telur melalui Metode Karbonasi," *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, vol. 8, no. 2, 2025, doi: 10.30596/rmme.v8i2.24583.
- [5] Octaviany, D., and A. Amri. *Sintesa Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari Kulit Kerang Darah (Anadara Granosa dengan Variasi Konsentrasi Asam dan Rasio CaO/HNO_3)*. Diss. Riau University, 2015.
- [6] Togethoff F.W, *Calcium Carbonate From the Cretaceous Period into the 21st Century*. Basel: Birkhäuser Basel, 2001. doi: 10.1007/978-3-0348-8245-3.
- [7] Ji L. and Yu H., *Carbon Dioxide Sequestration in Cementitious Construction Materials*. 2018.
- [8] Jamarun, "Pembuatan Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Dari Batu Kapur Dengan Metoda Kaustik Soda," *J. Ris. Kim*, vol. 1, no. 1, pp. 20–4, 2007.
- [9] Soemargono and Billah M., "Pembuatan Kalsium Karbonat Dari Bittern Dan Gas Karbon Dioksida Secara Kontinyu," 2007.
- [10] V. Arkhypova, "Influence of synthesis conditions on the calcium carbonate microparticle properties obtained by homogeneous and heterogeneous precipitation," *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 37, no. 3, pp. 525–531, Sep. 2020, doi: 10.1007/s43153-020-00053-7.
- [11] Aprillia, "Sintesis Kalsium Karbonat (PCC) dengan morfologi bervariasi dari batu kapur menggunakan metode pencampuran larutan (solution route)," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.

- [12] M. Y. Ryu, "Resources Processing Effect of the pH and Basic Additives on the Precipitation of Calcium Carbonate during Carbonation Reaction," *Resources Processing*, vol. 54, pp. 14–18, 2007.
- [13] S. Oko and M. Feri, "Pengembangan Katalis CaO Dari Cangkang Telur Ayam Dengan Impregnasi KOH Dan Aplikasinya Terhadap Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jarak," *J. Teknol.*, vol. 11, no. 2, 2019, doi: 10.24853/jurtek.11.2.103-110.
- [14] Zikri, A., and A. Amri. *Sintesa Precipitated Calcium Carbonate (PCC) dari cangkang kerang darah (anadara granosa) dengan variasi jenis asam dan waktu karbonasi*. Diss. Riau University, 2015.
- [15] L. Yuliatun, E. S. Kunarti, W. Widjijono, and N. Nuryono, "Preparation of Precipitated Calcium Carbonate (PCC) from Shells through Dissolution, Carbonation, and Sonication," *Journal of Aceh Physics Society*, vol. 12, no. 1, pp. 27–31, Jan. 2023, doi: 10.24815/jacps.v12i1.29095.