



Sintesis dan Karakterisasi β -Tricalcium Phosphate dari Cangkang Kerang Hijau dengan Metode Hidrotermal

Synthesis and Characterization of β -Tricalcium Phosphate from Green Mussel Shells by Hydrothermal Method

Camilla Alifia^{1*}, Kamila Az-Zahra¹, Ely Kurniati¹

¹Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik & Sains, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Jalan Rungkut Madya No. 1, Gunung Anyar, Surabaya, Indonesia 60294

*Corresponding Author: 21031010166@student.upnjatim.ac.id

Received: 20th April 2025; Revised: 10th July 2025; Accepted: 16th July 2025

ABSTRAK

Cangkang kerang hijau memiliki kandungan kalsium oksida yang sangat tinggi. Potensi kandungan kalsium oksida pada cangkang kerang hijau dapat dimanfaatkan sebagai sumber pembuatan biomaterial seperti β -Tricalcium Phosphate (β -TCP). β -TCP merupakan biomaterial yang umum digunakan dalam teknologi perbaikan tulang, semen, dan gigi. Proses sintesis β -Tricalcium Phosphate dilakukan dengan mereaksikan larutan kalsium hidroksida dengan asam fosfat. Salah satu metode sintesis β -TCP adalah metode hidrotermal karena mampu menghasilkan material dengan kristalinitas tinggi. Dalam penelitian ini, dilakukan analisa pengaruh suhu *sintering* dan pH sintesis terhadap produk β -TCP dengan variasi suhu *sintering* (°C) 780, 810, 840, 870, 900 serta pH sintesis 6, 7, 8, 9, 10. Produk β -TCP dilakukan analisa XRD (*X-ray diffractometer*) untuk mengetahui kristalinitas β -TCP. Suhu *sintering* yang digunakan masih berada di bawah titik transisi pembentukan α -TCP, sehingga fasa yang terbentuk diduga kuat merupakan β -Tricalcium Phosphate. Hasil penelitian diperoleh nilai *yield* tertinggi pada suhu *sintering* 840°C dengan pH sintesis 8 sebesar 59,37%. Analisis XRD menunjukkan kristalinitas tertinggi berada pada suhu *sintering* 900°C dengan pH sintesis 8 yaitu sebesar 95,78%.

Kata kunci: Cangkang Kerang Hijau, β -Tricalcium Phosphate, Hidrotermal, X-ray Diffractometer, Kristalinitas

ABSTRACT

Green mussel shells are rich in calcium oxide and can be utilized as a raw material to synthesize β -Tricalcium Phosphate (β -TCP), a bioceramic widely used in bone, dental, and cement applications. In this study, β -TCP was synthesized via the hydrothermal method by reacting calcium hydroxide with phosphoric acid. The effects of sintering temperature (780–900°C) and pH (6–10) on crystallinity and yield were investigated. XRD analysis was performed to evaluate the crystallinity of the product. The sintering temperatures applied remained below the phase transition point of α -TCP ($\geq 1125^\circ\text{C}$), indicating that the dominant phase formed was β -TCP. The highest yield was obtained at 840°C and pH 8 (59.37%), while the highest crystallinity, 95.78%, was achieved at 900°C and pH 8. These findings confirm the successful synthesis of highly crystalline β -TCP from biogenic waste using a simple hydrothermal approach, meeting ISO 13175-3:2012 standards for biomedical calcium phosphate materials.

Keywords: Green Mussel Shells, β -Tricalcium Phosphate, Hydrothermal, X-ray Diffractometer, Crystallinity

Copyright © 2025 by Authors, Published by JITK. This is an open-access article under the CC BY-SA License (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>).

How to cite: Alifia, C., Az-Zahra, K., & Kurniati, E. (2025). Sintesis dan Karakterisasi β -Tricalcium Phosphate dari Cangkang Kerang Hijau dengan Metode Hidrotermal. Jurnal Ilmiah Teknik Kimia, 9(2).

Permalink/DOI: 10.32493/jitk.v9i2.48664



PENDAHULUAN

Indonesia menghasilkan banyak sampah organik dari hasil konsumsi masyarakat, termasuk limbah cangkang kerang hijau. Kerang hijau mempunyai populasi cukup besar di perairan Indonesia. Jumlah produksi budidaya kerang hijau di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2021 sendiri menghasilkan sebesar 11.240,7 ton (Dinas Kelautan dan Perikanan Jawa Timur, 2021). Sebagian besar masyarakat hanya memanfaatkan daging kerang dan membuang cangkangnya yang berpotensi mencemari lingkungan. Pemanfaatan cangkang kerang masih belum optimal karena proses pengolahannya belum memberikan nilai ekonomi signifikan. Cangkang kerang hijau memiliki kandungan di dalamnya berupa kalsium oksida (CaO) sebanyak 98,36%, difosfor pentaoksida (P_2O_5) 0,16%, natrium oksida (Na_2O) 0,94%, sulfur trioksida (SO_3) 0,29%, stronsium oksida (SrO) 0,16%, zirkonium dioksida (ZrO_2) 0,05%, dan klorida (Cl) 0,04% (Yusuf, 2019). Kandungan CaO yang tinggi pada cangkang kerang hijau digunakan sebagai sumber kalsium dalam pembuatan kalsium fosfat.

Kalsium fosfat merupakan golongan mineral dengan kandungan berupa ion kalsium (Ca^{2+}), ortofosfat (PO_4^{3-}), pirofosfat ($P_2O_7^{4-}$), hidrogen (H^+), dan hidroksida (OH^-) (Windarti, 2012). Secara umum, kalsium fosfat dapat ditemukan dalam bentuk amorf maupun berbagai struktur kristal. Kalsium fosfat dalam bentuk kristalin terdapat dalam empat fase, yaitu dikalsium fosfat, okta kalsium fosfat, trikalsium fosfat, dan hidroksiapatit (Noviyanti, 2017). Trikalsium Fosfat (TCP) merupakan salah satu bahan kalsium fosfat yang paling banyak dipelajari, mengandung dua fase kristal (α -TCP dan β -TCP). Istilah TCP di sini digunakan untuk fasa dengan komposisi kimia $Ca_3(PO_4)_2$ dan rasio Ca/P sebesar 1,5. β -TCP berubah menjadi α -TCP pada suhu yang lebih tinggi (di atas 1125°C), sehingga α -TCP dapat dianggap sebagai fase suhu tinggi dari β -TCP. β -TCP memiliki tingkat resorpsi yang relatif lebih rendah dibandingkan α -TCP, dan memiliki prospek yang baik untuk diterapkan dalam regenerasi tulang (Chen, 2022).

Salah satu fase dari kalsium fosfat yaitu β -TCP yang diperoleh pada rentang suhu antara 750 hingga 1.125 °C (Konishi, 2022). β -TCP memiliki densitas 3,07 g/cm³ pada suhu ruang dan rasio Ca/P sebesar 1,5. β -TCP merupakan biomaterial yang umum digunakan dalam teknologi perbaikan tulang, semen, dan gigi. Keunggulan resorpsi β -TCP membuatnya sangat sesuai sebagai bahan substitusi tulang (Ratnasari, 2021). β -*Tricalcium Phosphate* berpotensi dalam implan tulang karena memiliki sifat biokompatibel, dapat diserap (*bioresorbable*), dan osteokonduktif. Material ini juga memiliki porositas tinggi serta dapat mengalami degradasi biologis dengan cepat. β -TCP disintesis melalui reaksi antara senyawa kalsium dan fosfat. (Hardiyanti, 2012). Fase β -TCP dapat dihasilkan melalui berbagai metode, salah satunya metode hidrotermal.

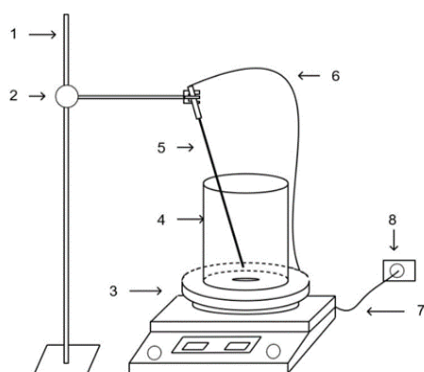
Sintesis hidrotermal adalah teknik pengkristalan yang memanfaatkan suhu tinggi dalam larutan berair dengan tekanan tinggi. Metode ini dapat dipahami sebagai teknik sintesis kristal tunggal yang bergantung pada kelarutan mineral dalam air panas di bawah tekanan tinggi. Pertumbuhan kristal berlangsung di dalam alat yang disebut autoklaf, yaitu wadah tekanan baja yang secara kontinyu menerima suplai nutrisi bersama air (Waludjojati, 2008). Metode hidrotermal memiliki keunggulan yaitu mampu menghasilkan material dengan tingkat kristalinitas yang tinggi (Sembiring, 2023). β -*Tricalcium Phosphate* harus memiliki kristalinitas tidak kurang dari 45% agar dapat dinyatakan layak untuk bahan biomedis (ISO 13175-3: 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan β -*Tricalcium Phosphate* serta mengetahui kristalinitas β -*Tricalcium Phosphate* yang didapat dari cangkang kerang hijau menggunakan XRD dengan variasi suhu *sintering* (°C) 780, 810, 840, 870, 900 serta pH sintesis 6, 7, 8, 9, 10.



BAHAN DAN METODE

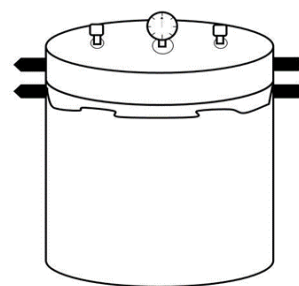
Alat yang digunakan dalam penelitian yaitu serangkaian alat proses pencampuran kalsium dan fosfat pada Gambar 1 yang terdiri dari statif, klem, *magnetic stirrer*, *beaker glass*, *thermometer*, tali. Alat proses sintesis hidrotermal pada Gambar 2 yaitu autoklaf. Alat proses kalsinasi dan *sintering* pada Gambar 3 yaitu *furnace*. Selain itu juga terdapat alat lain seperti oven, erlenmeyer, batang pengaduk, corong kaca, pipet, labu ukur, gelas ukur, *aluminium foil*, loyang, neraca analitik, ayakan 100 *mesh*, kertas saring, kertas pH, mortar dan alu. Bahan baku utama yang digunakan yaitu cangkang kerang hijau yang diperoleh dari Pasar di Surabaya Jawa Timur. Sementara itu, bahan pembantu yang digunakan terdiri dari *aquadest*, natrium hidroksida (NaOH), dan asam fosfat (H₃PO₄) yang diperoleh dari UD. Nirwana Abadi.



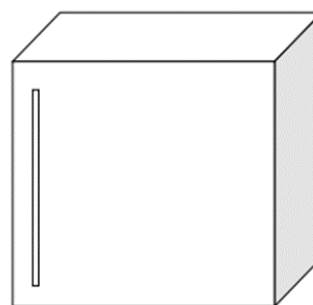
Gambar 1. Rangkaian Alat Proses Pencampuran Kalsium dan Fosfat

Keterangan:

1. Statif
2. Klem
3. *Magnetic Stirrer*
4. *Beaker Glass*
5. *Thermometer*
6. Tali
7. Kabel *Magnetic Stirrer*
8. Stop Kontak

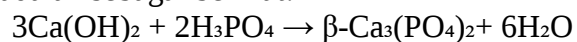


Gambar 2. Alat Autoklaf



Gambar 3. Alat *Furnace*

Metode dalam penelitian ini yaitu proses hidrotermal untuk memproduksi β -TCP. Proses awal dalam penelitian ini dimulai dengan kalsinasi serbuk cangkang kerang hijau pada suhu 900°C. Pemanasan pada suhu tinggi di atas 500°C melalui proses kalsinasi dapat mengubah struktur dan komposisi senyawa kalsium karbonat (CaCO₃) menjadi kalsium oksida (CaO) (Usman, 2020). β -TCP disintesis menggunakan prekursor kalsium dan prekursor fosfat. Prekursor kalsium berupa Ca(OH)₂ dapat diperoleh dengan mereaksikan kalsium oksida dan air (Puspita, 2017). Hasil kalsinasi berupa CaO direaksikan dengan 100 ml aquades untuk membentuk Ca(OH)₂. Prekursor Ca(OH)₂ ditambahkan asam fosfat (H₃PO₄) 1,78 M dan diaduk pada suhu 60°C, 300 rpm selama 1 jam. pH diatur dengan NaOH dengan variasi pH 6, 7, 8, 9, 10, lalu disintesis hidrotermal dalam autoklaf pada 100°C selama 2 jam. Reaksi yang terjadi pada sintesis β -TCP adalah sebagai berikut:



(Rachman, 2019)



Selanjutnya campuran disaring dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 2 jam. Kemudian dilakukan proses *sintering* dalam *furnace* dengan variabel suhu *sintering* (780°C, 810°C, 840°C, 870°C, 900°C) selama 3 jam.

Analisa XRF (*X-Ray Fluorescence*)

Spektrometer XRF bekerja dengan memancarkan sinar-X primer pada sampel, yang mengakibatkan elektron dalam bahan tereksitasi dan memancarkan sinar-X karakteristik. Sinar-X tersebut kemudian dideteksi, diubah menjadi sinyal listrik, diperkuat, dan diproses untuk menghasilkan data analisis unsur dalam bahan (Jamaludin, 2014).

Analisa XRD

XRD adalah metode analisa yang dipakai untuk mengidentifikasi material kristalin, susunan atom suatu kristal, keberadaan cacat, orientasi, serta ketidaksempurnaan kristal. Prinsip dasar XRD yaitu difraksi cahaya yang melewati celah kristal. Radiasi yang digunakan yaitu mencakup sinar-X, elektron, dan neutron. Saat sinar-X bertemu dengan material, sebagian berkas akan diserap dan sebagian lainnya akan terdifraksi kemudian terdeteksi oleh XRD untuk menganalisis struktur materialnya (Hakim, 2019).

Analisa Yield

Persen *yield* produk dihitung dari perbandingan massa produk dengan massa awal bahan. Massa awal diperoleh dari penimbangan serbuk cangkang kerang hijau setelah kalsinasi, sedangkan massa produk didapat dari padatan hasil *sintering* proses hidrotermal yang dipanaskan pada suhu bervariasi (780°C, 810°C, 840°C, 870°C, 900°C) menggunakan *furnace*, kemudian ditimbang sebagai massa produk. Persen *yield* dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Yield (\%)} = \frac{\text{Massa Produk}}{\text{Massa Awal Bahan}} \times 100\% \quad (1)$$

Analisa Kristalinitas

Persentase kristalinitas berperan dalam menentukan sifat mekanis dari β -Tricalcium

Phosphate yang dihasilkan. Semakin tinggi kristalinitas, semakin baik sifat mekanisnya. Nilai kristalinitas diperoleh melalui analisa data hasil uji XRD (Setiawan, 2023). Persentase kristalinitas dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Kristalinitas} = \frac{\text{Luas Fraksi Kristal}}{\text{Luas Difaktogram}} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa Bahan Baku

Dilakukan analisis XRF untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang terkandung pada serbuk cangkang kerang hijau. Hasil analisa awal bahan baku disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil Analisa Kandungan Cangkang Kerang Hijau

Unsur	Kadar (%)
CaO	97,89
So ₃	0,53
MnO	0,043
Fe ₂ O ₃	0,42
CuO	0,032
Br	0,063
SrO	0,85
Lu ₂ O ₃	0,13

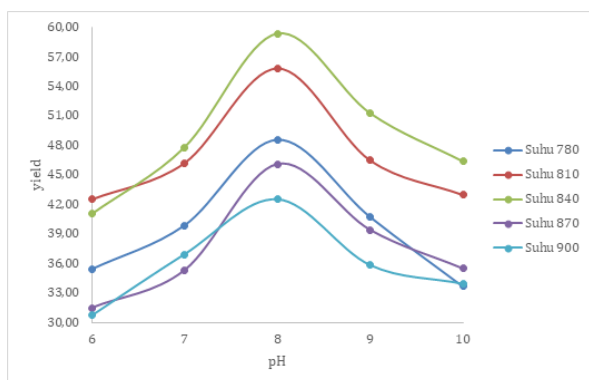
Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa serbuk cangkang kerang hijau memiliki kandungan utama berupa kalsium oksida (CaO) sebesar 97,89%, sehingga berpotensi digunakan sebagai sumber kalsium dalam sintesis β -Tricalcium Phosphate. Selain itu, hasil analisis XRF juga menunjukkan adanya unsur logam minor seperti stronsium oksida (SrO) sebesar 0,85%, besi(III) oksida (Fe₂O₃) sebesar 0,42%, dan tembaga(II) oksida (CuO) sebesar 0,032%. Kandungan unsur-unsur tersebut tergolong rendah dan tidak membentuk fasa kristal baru yang signifikan, sehingga tidak mengganggu jalannya proses sintesis β -Tricalcium Phosphate. Bahkan, menurut Chen (2022), keberadaan stronsium dalam jumlah kecil justru dapat meningkatkan sifat osteokonduktif dari β -TCP.

Hasil Analisa Yield β -Tricalcium Phosphate

Hasil sintesis β -Tricalcium Phosphate menggunakan metode hidrotermal pada berbagai variabel yang dijalankan dilakukan



analisa *yield* seperti yang disajikan pada Gambar 4. *Yield* merupakan perbandingan antara massa produk sintesis β -Tricalcium Phosphate (gr) dengan massa awal bahan kalsium oksida (gr). Nilai *yield* menunjukkan efisiensi dalam proses pembuatan β -Tricalcium Phosphate.



Gambar 4. Hubungan pH Sintesis dan Suhu *Sintering* dengan *Yield* Produk

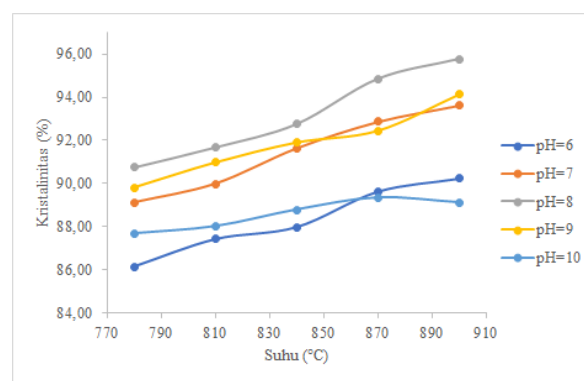
Pada Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin basa pH sintesis, *yield* produk yang dihasilkan cenderung meningkat. Peningkatan pH menyebabkan mobilitas ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} meningkat sehingga turut meningkatkan interaksi antar molekulnya (Palanivelu, 2014). Tingginya interaksi ion Ca^{2+} dan PO_4^{3-} menyebabkan *yield* yang diperoleh semakin tinggi. Namun, setelah mencapai pH optimum 8, *yield* produk mulai cenderung menurun. Penurunan hasil *yield* setelah mencapai kondisi optimum dapat terjadi disebabkan oleh suasana basa yang terlalu tinggi sehingga dapat membentuk senyawa lain (Haruda, 2016). Fase β -Tricalcium Phosphate cenderung terbentuk pada pH 6 hingga 7 dan pH 7 hingga 8 (Rachman, 2019).

Selain itu, Gambar 4 juga menunjukkan bahwa pada rentang suhu *sintering* 780°C hingga 840°C nilai *yield* mengalami kenaikan. Semakin naik suhu, maka akan semakin bereaksi antara CaO dengan campuran sehingga akan semakin meningkat nilai persentase terbentuknya produk (Wijanarko, 2023). Namun, setelah mencapai suhu optimum, *yield* produk mengalami penurunan. Penurunan *yield* saat proses *sintering* dapat terjadi karena menguapnya

kandungan air dan bahan organik yang terdapat dalam bahan (Yuliana, 2017).

Hasil Analisa XRD β -Tricalcium Phosphate

Hasil sintesis β -Tricalcium Phosphate menggunakan metode hidrotermal pada berbagai variabel yang dijalankan dilakukan uji XRD untuk diperoleh persentase kristalinitasnya seperti yang disajikan pada Gambar 5. Rentang suhu *sintering* yang digunakan dalam penelitian ini berkisar antara 780°C hingga 900°C, yang masih berada di bawah suhu transisi pembentukan α -TCP, yaitu $\geq 1.125^\circ\text{C}$ (Konishi, 2022). Oleh karena itu, besar kemungkinan bahwa fase utama yang terbentuk adalah β -TCP, bukan α -TCP. Hal ini juga didukung oleh kemiripan pola puncak XRD dengan referensi JCPDS No. 09-0169 untuk β -TCP.

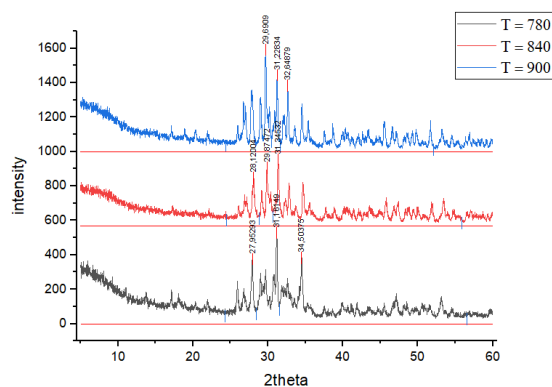


Gambar 5. Hubungan Suhu *Sintering* dan pH Sintesis dengan Kristalinitas Produk

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan adanya peningkatan persentase kristalinitas seiring dengan meningkatnya suhu *sintering*. Suhu selama proses sintesis berperan penting dalam menentukan struktur dan bentuk kristal yang terbentuk (Wijanarko, 2023). Semakin tinggi suhu yang digunakan, semakin baik struktur dan bentuk kristal yang dihasilkan. Namun, terdapat keadaan pada titik tertentu dimana kristalinitas mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena pengaruh optimalisasi suhu ketika *sintering*, di mana persentase kristalinitas akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu pada saat pemanasan. Namun, apabila suhu pemanasan melebihi batas optimal, derajat kristalinitas justru akan menurun (Hadiwinata, 2023).



Selain faktor suhu, persentase kristalinitas juga dipengaruhi oleh pH sintesis. Berdasarkan Gambar 5 terlihat bahwa pada suhu 900°C, pH 10 menghasilkan kristalinitas yang lebih rendah dibandingkan dengan pH 6, 7, 8 dan 9. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pH yang terlalu tinggi, yang dapat memicu terbentuknya senyawa kalsium fosfat lain yang tidak diinginkan. Kenaikan pH hingga tingkat tertentu akan membuat susunan atom dalam sampel akan semakin beraturan, sehingga lebih banyak fase kristal yang terbentuk (Harahap, 2015). Meski demikian, jika pH terlalu tinggi, kristalinitas justru mengalami penurunan akibat terganggunya stabilitas struktur kristal.



Gambar 6. Hasil Analisis XRD β -Tricalcium Phosphate pada pH 8 dengan Variasi Suhu *Sintering*

Berdasarkan Gambar 6 hasil analisis XRD menunjukkan bahwa pola difraksi yang diperoleh memiliki kemiripan dengan standar JCPDS No. 09-0169 untuk β -Tricalcium Phosphate (β -TCP), dengan puncak utama yang muncul pada rentang sudut 2θ yang mendekati 29,99°, 31,41°, dan 32,96°. Pada kondisi optimum, yaitu pH 8 dan suhu *sintering* 900°C, diperoleh tiga puncak tertinggi masing-masing pada 29,69°, 31,22°, dan 32,64°, yang menguatkan indikasi terbentuknya fase β -TCP. Pola puncak yang semakin tajam dan sempit seiring peningkatan suhu menunjukkan peningkatan kristalinitas produk (Restianingsih, 2024). Kristalinitas tertinggi dicapai pada kondisi tersebut dengan nilai sebesar 95,78%, yang telah melampaui standar ISO 13175-3:2012 yang mensyaratkan kristalinitas minimum 45%

untuk aplikasi biomaterial.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa, hasil analisis menunjukkan pada pH sintesis 8, reaksi kalsium dan fosfat berjalan pada kondisi yang optimal. Nilai *yield* tertinggi didapatkan pada suhu *sintering* 840°C dengan pH 8, yaitu sebesar 59,37%. Hasil analisis XRD menunjukkan kristalinitas tertinggi pada variasi pH 8 dengan suhu *sintering* 900°C yaitu sebesar 95,78% dan memenuhi standar ISO 13175-3: 2012. Berdasarkan kedua parameter tersebut, kondisi optimum secara keseluruhan ditetapkan pada pH 8 dengan suhu *sintering* 900 °C, karena menghasilkan kristalinitas tinggi yang menjadi parameter kunci dalam penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Ely Kurniati, M.T. selaku dosen pembimbing penelitian atas bimbingan, dukungan, dan arahan yang telah diberikan selama proses penelitian. Segala saran dan kritik yang konstruktif telah banyak membantu penulis dalam mengembangkan kualitas penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, F & Zheng, L. (2022). Calcium Phosphate-Based Biomaterials for Bone Repair. *Journal of Functional Biomaterials*, 13(187): 1-39. <https://doi.org/10.3390/jfb13040187>
- Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Timur. (2021). *Laporan Data Statistik Bidang Budidaya*. Dinas Kelautan dan Perikanan Provinsi Jawa Timur, Indonesia. <https://www.dkp.jatimprov.go.id/rb/view/21>
- Hadiwinata, B., dkk. (2023). Pengaruh Suhu *Sintering* pada Sintesis Hidroksiapatit dari Tepung Cao Cangkang Rajungan (*Portunus Sp.*). *Jurnal MARINADE*, 06(02): 108–117. <https://10.31629/marinade.v6i02.6249>
- Hakim, L. (2019). Karakterisasi Struktur



- Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 1(1), 44-51. <https://10.36873/jjms.v1i1.136>
- Harahap, A. W. (2015). Sintesis Hidroksiapatit melalui Precipitated Calcium Carbonate (PCC) Cangkang Kerang Darah dengan Metode Hidrotermal pada Variasi pH dan Waktu Reaksi. *Jurnal Jom FTEKNIK*, 2(2): 1-7.
- Hardiyanti, & Dahlan, K. (2012). Sintesis Dan Karakterisasi B-Tricalcium Phosphate dari Cangkang Telur Ayam dengan Variasi Suhu Sintering. *Jurnal Biofisika*. 8,(2): 42-48.
- Haruda, M. S., Fadli A., & Yenti, S. R. (2016). Pengaruh Ph dan Waktu Reaksi pada Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Presipitasi. *JOM FTEKNIK*, 3(1): 4.
- International Standard. (2012). *Implants for surgery-Calcium phosphates Part 3: Hydroxyapatite and beta-tricalcium phosphate bone substitutes* (ISO 13175-3). Switzerland.
- Jamaludin, A., & Adiantoro, D. (2014). Analisis Kerusakan X-Ray Fluorescence (XRF). *Jurnal Batan*, 10: 19-28.
- Konishi, T. (2022). Revisiting Wet-Chemically Synthesized B-Tricalcium Phosphate: Solid-State Nmr Study Of Local Structure. *Phosphorus Research Bulletin*, 38: 5. <https://doi.org/10.3363/prb.38.5>
- Noviyanti, A.R. & Haryono. (2017). Cangkang Telur Ayam sebagai Sumber Kalsium dalam Pembuatan Hidroksiapatit untuk Aplikasi Graft Tulang. *Jurnal Chimica et Natura Acta*, 5(3): 107-111. <https://doi.org/10.24198/cna.v5.n3.16057>
- Palanivelu, R., Saral, A.M. & Kumar, A.R. (2014). Nanocrystalline Hydroxyapatite prepared under various pH conditions. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.04.014>
- Puspita, F. W. & Cahyaningrum, S. E (2017). Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Cangkang Telur Ayam Ras (Gallus Gallus) Menggunakan Metode Pengendapan Basah. *Unesa Journal of Chemistry*, 6(2) : 100-106. <https://doi.org/10.26740/UJC.V6N3.P14>
- Rachman, A., Sofiyarningsih, N., & Wahyudi, K. (2019). Karakteristik Mineralogi Material Biokeramik Jenis Kalsium Fosfat dari Cangkang Kerang Simpson (Amusium pleuronectes). *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 27(2): 77-93. <https://10.32537/jkgi.v27i2.3952>
- Ratnasari, A. (2021). Sintesis β -TCP Dengan Metode Presipitasi Basah Dari Bahan Kapur Alam. *Jurnal Keramik dan Gelas Indonesia*, 29(2): 101-108. <https://10.24114/eins.v11i3.32176>
- Sembiring, S. & Sirait, M. (2022). Sintesis Dan Karakterisasi B-Tcp (Tricalcium Phosphate) dari Batu Kapur Dengan Metode Hidrotermal. *Jurnal Hasil Penelitian Bidang Fisika*, 11(3): 152-159. <https://10.24114/eins.v11i3.32176>
- Setiawan, A. F & Irfa'i, M. A. (2023). Pengaruh Natrium Hidroksida Pada Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Hidrotermal Untuk Aplikasi Biomaterial. *Jurnal Teknik Mesin*, 11(2):141-148. <https://doi.org/10.26740/jtm.v11n02>
- Usman, M. R., Nabila, R. & Hakiki, L. N (2020). Ekstraksi Kalsium dari Cangkang Kerang Hijau (*Perna viridis* L.) dan Kerang Batik (*Paphia undulata* B.) dengan Metode Kalsinasi sebagai Sediaan Effervescent. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 8(2) : 101-107. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2020.8-mru>
- Waludjojati, A. (2008). Sintesis Hidrotermal dari Serbuk Oksida Keramik. *Jurnal Momentum*, 4(2): 33-37. <https://doi.org/10.36499/jim.v4i2.613>
- Wijanarko, A.B. (2023). Studi Temperatur Hidrotermal Pada Sintesis



- Hidroksiapatit yang Berasal dari Tulang Sapi Untuk Aplikasi Biomaterial. *Jurnal Teknik Mesin*, 12(1): 1-6. <https://doi.org/10.26740/jtm.v12n01.p1-6>
- Windarti, T. & Sinambela, F. (2012). Pengaruh Waktu pada Pembentukan Kalsium Fosfat dengan Sistem Membran Selulosa Bakterial. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 15(3): 105-111. <https://doi.org/10.14710/jksa.15.3.105-110>
- Yuliana, R., Rahim, E.A. & Hardi, J. (2017). Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Basah pada Berbagai Waktu Pengadukan dan Suhu Sintering. *KOVALEN*, 3(3): 7. <https://doi.org/10.22487/j24775398.2017.v3.i3.9329>
- Yusuf, Y. (2019). *Hidroksiapatit Berbahan Dasar Biogenik*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. pp. 22