

Eksplorasi Limbah Tulang Sapi Sebagai Sumber Biomaterial Hidroksiapatit

^{1*}Alimuddin, ²Susi Rahayu

¹Prodi Ilmu Peternakan, Fakultas Peternakan, Universitas Nahdlatul Wathan, Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

²Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Email Korespondensi: alimuddin@unwmataram.ac.id

Article Info	Abstract
<p>Article History Received: 31 Oct 2022 Revised: 25 Dec 2022 Published: 30 Dec 2022</p> <p>Keywords Waste Exploration; Cow bone; Hydroxyapatite biomaterial</p>	<p>Exploration of Cow Bone Waste as a Source of Hydroxyapatite Biomaterials. The abundance of cow bone waste in West Nusa Tenggara has not been in line with proper treatment. Cow bones contain a lot of apatites that can be modified into raw materials for the fabrication of hydroxyapatite. The need for hydroxyapatite as bone graft biomaterials increase in Indonesia continuously. The study aims to identify the appropriate preparation method for extracting hydroxyapatite from cow bone. Mechanical and thermal techniques are used to extract the cow bone. The method utilizes heat energy and mechanical energy to achieve hydroxyapatite. The extracted powder from cow bone was identified the ratio of Ca/P using EDX, calculated the yield of the fabricated product, measured its bulk density, and placed its functional group by FTIR. The results reveal that the best preparation method to acquire hydroxyapatite is by extracting the compact bone of bovine. The compact bone is macerated with alcohol for 12 hours and calcined at a temperature of 9500C for three hours. The apatite has a Ca/P ratio of 2.25, yielding 66.53%, and a bulk density of 1.18 g/cm³. Typical hydroxyapatite groups that emerge from apatite powder are the presence of functional groups OH, PO₄³⁻, and CO₃²⁻. This preparation method also has powders with unidentified C-H functional groups. The fact of this variety indicates the powder does not contain organic elements that can be at risk of rejection by the human body. Therefore, the apatite extracted from cow bone can be used as a safe biomaterial for the human body.</p>
Informasi Artikel	Abstrak
<p>Sejarah Artikel Diterima: 31 Okt 2022 Direvisi: 25 Des 2022 Dipublikasi: 30 Des 2022</p> <p>Kata kunci Eksplorasi Limbah; Tulang sapi; Biomaterial hidroksiapatit</p>	<p>Kelimpahan limbah tulang sapi di Nusa Tenggara Barat belum sejalan dengan pengolahan yang tepat sasaran. Padahal di dalam tulang sapi sangat banyak mengandung senyawa apatit yang dapat dimodifikasi menjadi bahan baku fabrikasi biomaterial Hidroksiapatit. Kebutuhan biomaterial hidroksiapatit sebagai biomaterial bone graft terus meningkat di Indonesia. Sehingga tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengidentifikasi metode preparasi yang tepat dalam mengekstraksi hidroksiapatit dari limbah tulang sapi. Adapun metode ekstraksi limbah tulang sapi yang digunakan yaitu metode termal mekanik. Metode ini memanfaatkan energi panas dan energi mekanik untuk memperoleh senyawa hidroksiapatit. Serbuk hasil pengolahan limbah tulang sapi yang telah di ekstrak diidentifikasi rasio Ca/P menggunakan EDX, dihitung rendemen hasil fabrikasi, diukur bulk density, dan diidentifikasi gugus fungsinya dengan FTIR. Hasil ekstraksi menunjukkan bahwa metode preparasi yang paling baik dalam memperoleh senyawa hidroksiapatit yaitu dengan mengekstraksi tulang sapi jenis tulang kompak. Dimana tulang kompak di maserasi dengan alkohol selama 12 jam dan di kalsinasi pada suhu 950°C selama 3 jam. Senyawa apatit yang diperoleh memiliki rasio Ca/P 2,25 dengan rendemen 66, 53 % dan bulk density 1,18 g/cm³. Adapun serbuk apatit yang dihasilkan menunjukkan munculnya gugus khas hidroksiapatit yaitu adanya gugus fungsi OH, PO₄³⁻ dan CO₃²⁻. Metode preparasi ini juga menghasilkan serbuk dengan gugus fungsi C-H yang tidak teridentifikasi. Keberadaan gugus ini mengindikasikan serbuk tidak</p>

	mengandung unsur organik yang dapat beresiko pada penolakan oleh tubuh manusia. Oleh karena itu, senyawa apatit hasil ekstraksi dari limbah tulang sapi dapat digunakan sebagai bahan baku biomaterial yang aman bagi tubuh manusia.
--	--

Sitasi: Alimudin. A., & Rahayu, S. (2022), Eksplorasi Limbah Tulang Sapi Sebagai Sumber Biomaterial Hidroksiapatit, <i>Kappa Journal</i> . 6(2), 357-365.
--

PENDAHULUAN

Pemerintah Nusa Tenggara Barat pada tahun 2021 telah meresmikan program 1.000 desa sapi. Program tersebut bertujuan untuk menekan jumlah impor sapi (Troboslivestock.com, 2021). Besarnya jumlah sapi yang ditargetkan pemerintah akan seiring dengan peningkatan jumlah pemotongan sapi. Saat ini di pulau Lombok seluruh bagian tubuh sapi sudah dapat diolah dengan baik oleh warga. Namun, bagian tulang terutama tulang kaki sapi belum dapat di kelola dengan baik limbahnya. Kelimpahan limbah ini menjadi suatu tantangan tersendiri bagi peneliti lokal. Padahal di dalam tulang sapi terkandung banyak unsur kalsium dan fosfor. Kedua unsur ini merupakan unsur utama dalam pembentukan senyawa apatit. Salah satu senyawa apatit yang dapat di ekstraksi dari tulang sapi yaitu biomaterial hidroksiapatit (HAp) (Ikhsan et al., 2018).

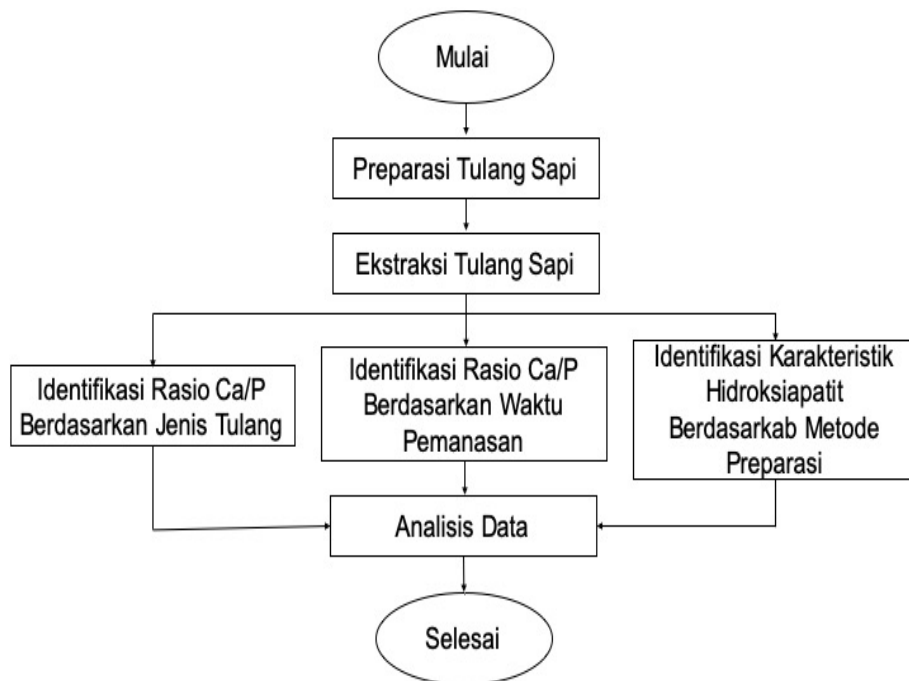
Senyawa HAp merupakan salah satu biomaterial yang sering digunakan sebagai bahan baku graft tulang. Karakteristik hidroksiapatit yang biokompatibel, bioaktif, tidak toksik, osteokonduktif, dan tidak menyebabkan reaksi penolakan oleh tubuh menjadi daya tarik tersendiri bagi para peneliti (Budiatin et al., 2020). Dalam eksperimen, berbagai proses penting dilakukan mulai dari preparasi hingga karakterisasi serta analisis hasil. Karakterisasi biomaterial HAp biasanya dilakukan untuk memperoleh berbagai informasi penting dari hasil eksperimen. Beberapa karakteristik standar yang dibutuhkan seperti rendemen, gugus fungsi, morfologi, dan kandungan unsur-unsur yang terdapat pada biomaterial HAp (Sari et al., 2022).

Karakterisasi dari biomaterial sendiri dibagi menjadi karakterisasi kimia dan karakterisasi fisika. Karakterisasi kimia dapat diidentifikasi dengan EDX dan FTIR. Melalui data EDX akan diperoleh informasi rasio Ca/P yang merupakan kemurnian dari HAp, sedangkan dengan menggunakan instrumen FTIR akan diperoleh informasi berupa gugus fungsi yang terdapat pada bahan biomaterial. Karakterisasi fisika dapat diidentifikasi melalui rendemen, bulk density dan struktur kristal. Struktur kristal dilakukan dengan menggunakan analisis XRD, sehingga akan diperoleh informasi berupa struktur kristal, fasa dan derajat kristalinitas dari bahan biomaterial HAp tersebut. Selain itu untuk memperoleh informasi berupa morfologi dan kadar unsur-unsur yang terdapat pada bahan biomaterial dapat dilakukan karakterisasi dengan instrumen SEM-EDX (Suci & Ngapa, 2020).

Disamping itu, kebutuhan akan biomaterial HAp saat ini semakin meningkat. HAp sendiri dapat dimanfaatkan sebagai implan tulang maupun gigi. Hal ini disebabkan karena HAp memiliki karakterisasi kimia dan kristalinitas yang sama dengan tulang dan gigi manusia (Marta et al., 2017). Salah satu alternatif untuk memperoleh biomaterial hidroksiapatit yaitu dengan memanfaatkan limbah tulang sapi sebagai salah satu sumber kalsium dan posfor. Oleh karena itu berdasarkan paparan di atas dilakukan penelitian ini yaitu eksplorasi limbah tulang sapi sebagai sumber biomaterial hidroksiapatit.

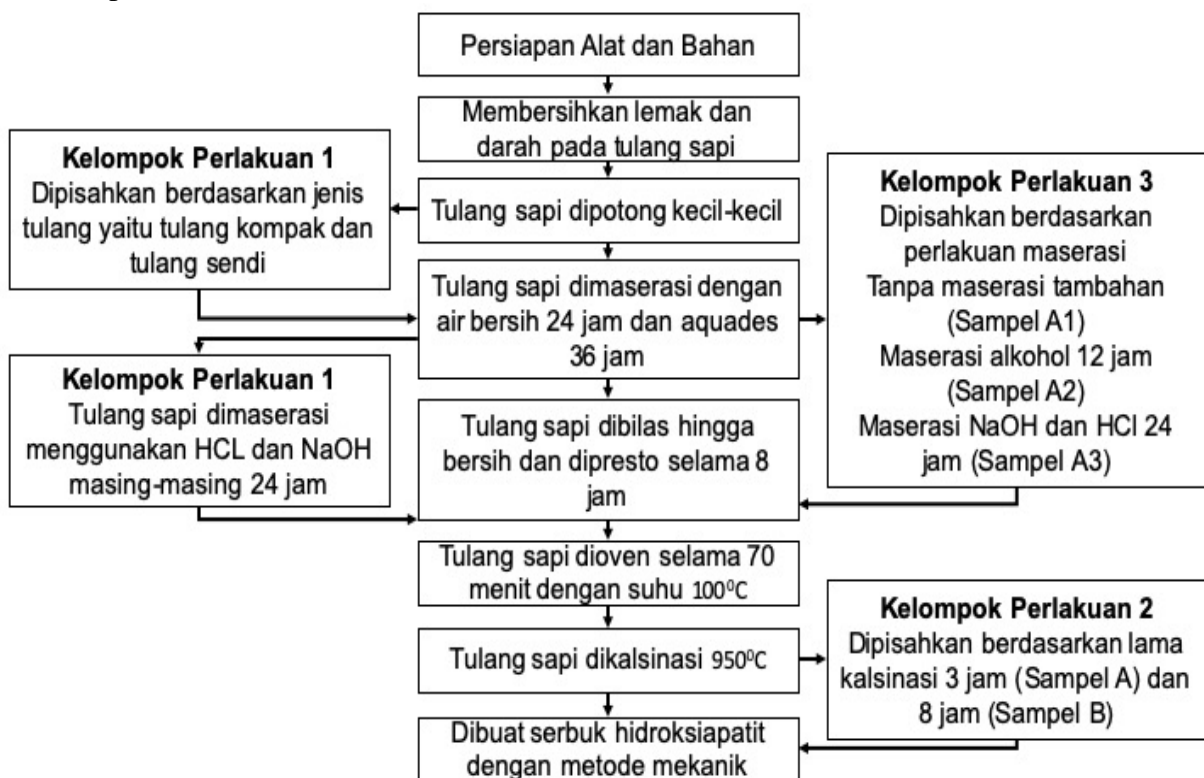
METODE

Eksplorasi limbah tulang sapi sebagai biomaterial hidroksiapatit dilakukan dengan metode ekstraksi. Adapun beberapa bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya tulang sapi, aquades, alkohol, NaOH 1 N, dan HCl 1 N. Pembuatan hidroksiapatit metode ekstraksi dilakukan menggunakan teknik pemanasan dan teknik mekanik. Secara singkat tahapan pembuatan hidroksiapatit dari tulang sapi dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian Ekstraksi Limbah Tulang Sapi Sebagai Hidroksiapatit

Secara umum, ekstraksi tulang sapi menjadi biomaterial hidroksiapatit dimulai dari proses pembersihan tulang sapi dari lemak, pengecilan ukuran, maserasi, kalsinasi, dan pembuatan serbuk hidroksiapatit. Dalam penelitian ini sampel dibagi dalam tiga kelompok perlakuan yaitu kelompok berdasarkan jenis tulang sapi yang digunakan, kelompok sampel berdasarkan suhu kalsinasi tulang sapi, dan terakhir kelompok tulang sapi berdasarkan jenis maserasi yang digunakan. Eksperimen ketiga kelompok ini merupakan hasil modifikasi metode yang dilakukan penelitian sebelumnya (Budiatin et al., 2020), (Ikhsan et al., 2018) dan (Adi Puspa & Asmi, 2014)

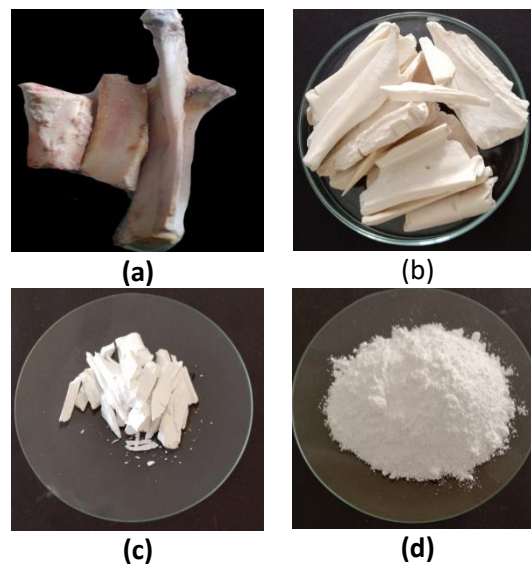


Gambar 2. Tahapan ekstraksi serbuk hidroksiapatit dari tulang sapi

Serbuk hidroksiapatit yang diperoleh dari proses ekstraksi tersebut diidentifikasi kandungan unsur dengan EDX, dihitung rendemennya, dan diukur bulk density nya, serta identifikasi gugus fungsi khas hidroksiapatit dengan FTIR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Preparasi merupakan tahapan awal yang harus dilakukan sebelum dilakukannya ekstrak hidroksiapatit dari tulang sapi. Proses preparasi sendiri bertujuan untuk menghilangkan pengotor dan zat organik yang tidak diperlukan untuk memperoleh serbuk hidroksiapatit dari tulang sapi. Proses ekstraksi hidroksiapatit dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Proses ekstraksi hidroksiapatit (a) Tulang sapi sebelum preparasi (b) Tulang sapi setelah preparasi (c) Tulang sapi setelah kalsinasi (d) Serbuk hidroksiapatit

Pada gambar 3 menunjukkan proses ekstrak hidroksiapatit dari tulang sapi menjadi serbuk hidroksiapatit. Gambar 3 (a) menunjukkan tulang sapi yang masih terdapat pengotor dan zat-zat organik lainnya dan pada gambar (b) dapat dilihat bahwa pengotor yang terdapat pada tulang telah menghilang. Selanjutnya untuk menghilangkan zat-zat organik yang terkandung di dalam tulang sapi dilakukan proses kalsinasi dengan menggunakan *furnace* pada suhu 950°C selama 3 jam. Pada gambar (c dan d) menunjukkan bahwa tulang sapi setelah di kalsinasi berubah warna menjadi putih. Hal ini menunjukkan bahwa zat-zat organik yang terkandung pada tulang sapi telah hilang. Analisa ini diperkuat oleh penelitian sebelumnya bahwa warna serbuk tulang sebelum kalsinasi berwarna kekuningan dan setelah diberikan perlakuan pemanasan pada suhu 700°C dan 1000°C warna tulang berubah menjadi putih.. perubahan warna ini mengindikasikan bahwa zat-zat organik yang terkandung pada tulang seperti protein telah menghilang secara sempurna (Shabani & Faraji, 2020).

1. Analisis Rasio Ca/P Hasil Ekstraksi Limbah Tulang Sapi

Identifikasi rasio Ca/P melalui analisis EDX dilakukan berdasarkan variable perbedaan jenis tulang kaki yang digunakan. Dari hasil uji EDX dapat dilihat bahwa jenis tulang memberikan pengaruh terhadap kadar Ca/P pada serbuk hidroksiapatit yang dihasilkan. Perbandingan kadar Ca/P berdasarkan jenis tulang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan kadar Ca/P berdasarkan jenis tulang yang di preparasi

Jenis Tulang	% Massa		Perbandingan Ca/P
	Unsur Ca	Unsur P	
Tulang Kompak	70,04	27,60	2,54
Tulang Sendi	71,87	26,54	2,71

Pada tabel 1 menunjukkan bahwa jenis tulang memberikan pengaruh terhadap nilai kadar Ca/P yang terdapat pada serbuk hidroksiapatit. Nilai kadar Ca/P pada tulang kompak sebesar 2,54 sedangkan pada tulang sendi kadar Ca/P sebesar 2,71. Kadar Ca/P pada tulang kompak lebih kecil dibandingkan dengan tulang sendi. Namun nilai kadar Ca/P pada tulang kompak lebih besar jika di bandingkan dengan kadar Ca/P secara stoikiometri. Kadar Ca/P yang ideal untuk senyawa hidroksiapatit yaitu sebesar 1,67 (Sari et al., 2022).

2. Analisis Lama Kalsinasi Ekstraksi Tulang Sapi

Eksplorasi tulang sapi sebagai sumber biomaterial juga dianalisis melalui lamanya pemanasan pada proses ekstraksi. Pengaruh lama kalsinasi terhadap rasio Ca/P (Tabel 2) akan mempengaruhi pada proses preparasi selanjutnya. Data hasil uji rasi Ca/P dapat dilihat pada tabel 2. Kedua sampel yang diuji merupakan tulang kompak dari limbah tulang sapi.

Tabel 2. Pengaruh lama kalsinasi terhadap kadar Ca/P ekstraksi tulang sapi

Sampel	Waktu Kalsinasi (jam)	Ca/P
A	3	2,44
B	8	2,44

Hasil pengujian rasio Ca/P dengan variable lamanya kalsinasi tidak mempengaruhi kemurnian dari HAp yang dihasilkan. Hal tersebut berbanding terbalik dengan penelitian yang telah dilakukan yaitu terjadi perubahan rasio Ca/P seiring dengan perubahan suhu kalsinasi yang digunakan (Shabani & Faraji, 2020). Perbedaan hasil tersebut terjadi akibat perbedaan teknik preparasi yang digunakan dengan penelitian sebelumnya.

3. Analisis Karakteristik Hidroksiapatit dari Limbah Tulang

Telah dilakukan variasi metode preparasi untuk mengetahui persentase komponen komponen unsur utama yang terdapat pada serbuk hidroksiapatit dari tulang sapi. Pada proses preparasi dilakukan variasi maserasi pada tulang sapi yaitu dengan metode tanpa maserasi, maserasi dengan alkohol, dan maserasi dengan HCl dan NaOH. Untuk mengetahui pengaruh variasi maserasi terhadap kadar unsur-unsur yang terdapat pada serbuk hidroksiapatit dilakukan uji EDX yang dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh metode preparasi terhadap kadar masing-masing unsur dalam serbuk hidroksiapatit

Sampel	Metode Preparasi	% Massa Unsur			
		Na	Mg	P	Ca
A1	Tanpa Maserasi	1,32	1,08	27,70	64,15
A2	Maserasi Alkohol	1,51	1,37	29,88	67,25
A3	Maserasi HCL dan NaOH	1,40	0,71	27,91	69,98

Pada tabel 3 menunjukkan bahwa di dalam serbuk hidroksiapatit terdapat komponen unsur-unsur mineral diantaranya yaitu unsur Natrium (Na), Magnesium (Mg), Posfor (P) dan Kalsium (Ca). Unsur Ca dan unsur P merupakan salah satu unsur yang diperlukan dalam pembuatan serbuk hidroksiapatit. Pada gambar 3 diperoleh bahwa persentase massa dari unsur Na, Mg, P dan Ca ketika di maserasi dengan alkohol lebih besar di bandingkan dengan ketika tanpa maserasi. Hal ini menunjukkan bahwa tulang yang di maserasi dengan alkohol dapat meningkatkan persentase massa dari komponen unsur-unsur utama yang terdapat pada serbuk hidroksiapatit. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya diperoleh kadar Ca dan P pada tulang dengan melakukan maserasi alkohol selama 3 jam sebesar 44,77% dan 20,14% (Budiati et al., 2020). Pada maserasi dengan alkohol unsur-unsur yang mendominasi yaitu unsur Ca dan unsur P yaitu sebesar 67,25% dan 29,88%. Pada maserasi dengan HCl dan NaOH persentase dari unsur-unsur seperti Na, Mg, dan P lebih rendah dibandingkan dengan maserasi dengan alkohol. Namun hanya unsur Ca yang mengalami kenaikan dimana persentase Ca sebesar 69,89%. Dari hasil tersebut dapat diketahui bahwa proses maserasi dengan HCl dan NaOH hanya dapat meningkatkan persentase dari unsur Ca. Kenaikan persentase kadar Ca disebabkan akibat protein yang larut selama proses ekstraksi dengan larutan NaOH. Larutan NaOH merupakan larutan yang bersifat basa sehingga dapat membuat kalsium mengendap dan meningkatkan persentase kadar kalsium (Sufiani, 2022). Oleh karena itu, dapat dilihat bahwa proses maserasi memberikan pengaruh terhadap besarnya persentase massa dari unsur-unsur yang terkandung di dalam serbuk hidroksiapatit. Unsur-unsur mineral dengan persentase optimal diperoleh pada maserasi dengan menggunakan alkohol selama 12 jam.

Serbuk hidroksiapatit yang telah di peroleh dari hasil ekstraksi dilakukan beberapa pengujian. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan informasi berupa karakteristik dari serbuk hidroksiapatit. Karakteristik dari serbuk hidroksiapatit meliputi kadar Ca/P, rendemen dan bulk density yang dapat dilihat pada tabel 4.

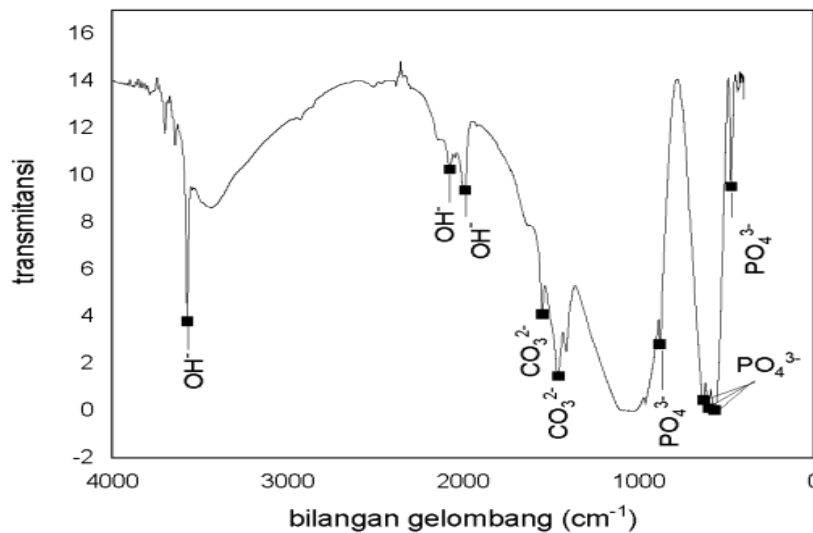
Tabel 4. Karakteristik hidroksiapatit dari hasil ekstraksi tulang sapi

Sampel	Kadar Ca/P	Rendemen (%)	Bulk Density (g/cm ³)
A1	2,32	62,83	1,00
A2	2,25	66,53	1,184
A3	2,51	75,67	1,282

Pada tabel 4 diperoleh bahwa dengan menggunakan metode preparasi yang berbeda memberikan pengaruh terhadap karakteristik dari hidroksiapatit. kadar Ca/P terkecil diperoleh pada sampel A2 yang diberi perlakuan maserasi dengan alkohol selama 12 jam yaitu sebesar 2,25. Namun nilai Ca/P yang diperoleh pada A2 lebih besar dibandingkan dengan kadar Ca/P secara stoikiometri yaitu sebesar 1,67 (Sari et al., 2022). Perbedaan metode preparasi memberikan pengaruh terhadap persentase rendemen pada serbuk hidroksiapatit. Persentase rendemen terbesar diperoleh pada sampel A3 yaitu metode maserasi dengan menggunakan pelarut HCl dan NaOH selama 24 jam yaitu sebesar 75,67%. Lama ekstraksi memberikan pengaruh terhadap kenaikan rendemen. Analisa ini diperkuat oleh penelitian yang dilakukan sebelumnya yaitu pada waktu ekstraksi 3 jam diperoleh rendemen tertinggi sebesar 43,32% sedangkan pada waktu ekstraksi 1 jam diperoleh rendemen sebesar 34,71% (Sufiani, 2022). Oleh karena itu perlakuan dengan metode ekstraksi dengan maserasi pada larutan HCl dan NaOH selama 24 jam memberikan rendemen yang lebih optimal. Selain itu, metode preparasi juga memberikan pengaruh terhadap nilai bulk density pada serbuk hidroksiapatit. Nilai bulk density terkecil di peroleh pada sampel A1 yaitu dengan perlakuan tanpa maserasi sebesar 1,00

g/cm^3 sedangkan nilai bulk density tertinggi diperoleh pada maserasi dengan HCl dan NaOH sebesar $1,282 \text{ g/cm}^3$.

Telah dilakukan uji FTIR untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada sampel hidroksiapatit sampel A2 dengan perlakuan maserasi alkohol. Dari hasil uji FTIR yang telah dilakukan dengan menggunakan radiasi inframerah dengan bilangan gelombang dari 400 cm^{-1} sampai 4000 cm^{-1} diperoleh grafik hubungan bilangan gelombang dengan transmitansi yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik FTIR serbuk hidroksiapatit dari tulang sapi dengan maserasi alkohol selama 12 jam

Pada gambar 4 menunjukkan bahwa pada perlakuan dengan maserasi tulang pada pelarut alkohol selama 12 jam, diperoleh puncak-puncak serapan yang mengindikasikan telah terbentuknya fasa hidroksiapatit. Gugus khas hidroksiapatit yakni adanya gugus fungsi OH^- , PO_4^{3-} dan CO_3^{2-} . Selain itu, pada maserasi dengan alkohol selama 12 jam gugus fungsi C-H tidak teridentifikasi, dimana gugus fungsi C-H teridentifikasi pada bilangan gelombang 2854 cm^{-1} (Shabani & Faraji, 2020). Hal ini menunjukkan bahwa zat-zat organik yang terdapat pada tulang telah menghilang. Puncak-puncak pita serapan gugus fungsi OH^- , PO_4^{3-} dan CO_3^{2-} dapat di lihat pada tabel 5.

Tabel 5. Gugus fungsi hidroksiapatit dari tulang sapi

Gugus fungsi	referensi	Eksperimen
OH^-	3400-3600	3572,78
OH^-	3000-1700	2077,27 dan 1988,58
CO_3^{2-}	1550-1400	1550,49 ; 1413; 1458
PO_4^{3-}	1100-460	632,17; 601,86; 568,5; 473,53

Pada tabel 5 menunjukkan bahwa pada bilangan gelombang 3572 cm^{-1} , $2077,27 \text{ cm}^{-1}$; dan $1988,58 \text{ cm}^{-1}$ telah terbentuk gugus fungsi OH^- . Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu pada bilangan gelombang 3572 cm^{-1} telah terbentuk gugus fungsi OH^- (Khoo et al., 2015) selain itu, berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya

pada bilangan gelombang 3000 cm^{-1} sampai 1700 cm^{-1} telah terbentuk gugus fungsi OH (Mangkuasih & Rohmawati, 2021). Adanya gugus fungsi OH pada bilangan gelombang 3572 cm^{-1} mengindikasikan telah terbentuknya fasa hidroksiapatit (Khoo et al., 2015). Gugus CO_3^{2-} terbentuk pada bilangan gelombang 1550,49 cm^{-1} , 1413 cm^{-1} dan 1458 cm^{-1} . Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya diperoleh pada bilangan gelombang 1550 cm^{-1} - 1400 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus karbonat (Guo et al., 2013). Gugus fosfat (PO_4^{3-}) bending terbentuk pada rentang bilangan gelombang 560 cm^{-1} - 610 cm^{-1} (Afifah & Cahyaningrum, 2020). Gugus fungsi fosfat bending terbentuk pada bilangan gelombang 601,86 cm^{-1} , 568,5 cm^{-1} , 473,53 cm^{-1} dan 632,17 cm^{-1} . Berdasarkan perbandingan gugus fungsi, telah terbentuk gugus fungsi OH, PO_4^{3-} dan CO_3^{2-} yang merupakan ciri khas dari hidroksiapatit.

KESIMPULAN

Eksplorasi limbah tulang sapi menjadi biomaterial hidroksiapatit telah berhasil dilakukan. Tulang sapi pada bagian tulang kompak menghasilkan rasio Ca/P yang lebih baik dibandingkan tulang sendi. Adapun perlakuan lama waktu kalsinasi pada proses ekstraksi tidak mempengaruhi rasio Ca/P serbuk hidroksiapatit. Namun, metode maserasi pada proses ekstraksi mempengaruhi rasio Ca/P. Dimana maserasi dengan alkohol selama 12 jam menghasilkan rasio Ca/P terbaik. Serbuk hasil ekstraksi dari tulang sapi telah membentuk biomaterial hidroksiapatit dengan kemunculan gugus fungsi OH, PO_4^{3-} dan CO_3^{2-} yang merupakan ciri khas dari hidroksiapatit. Sehingga metode preparasi yang disarankan berdasarkan penelitian yaitu tulang sapi yang digunakan jenis tulang kompak dengan lama waktu kalsinasi 3 jam dan proses maserasi menggunakan alkohol.

SARAN

Hasil penelitian ini kemurnian hidroksiapatit masi jauh dari standar rasio Ca/P 1,67. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk memperoleh kemurnian tinggi. Berbagai macam metode sintesis dapat dilakukan untuk meningkatkan kemurnian seperti metode sol gel, hidrotermal, maupun presipitasi. Oleh karena itu, penelitian ini dapat dijadikan sebagai acuan dalam metode preparasi tulang sapi sebagai biomaterial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian merupakan kerjasama antara penelitian dasar antara prodi ilmu peternakan fakultas peternakan Universitas Nahdlatul Wathan dengan prodi fisika FMIPA Universitas Mataram. Ucapan terimakasih diberikan kepada tim-tim terkait dalam penelitian diantaranya tim kelompok peneliti bidang material dan asisten laboratorium fisika lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi Puspa, K., & Asmi, D. (2014). Sintesis dan Karakterisasi Biokeramik Hidroksiapatit Bahan Tulang Sapi pada Suhu 800-1100. *Teori Dan Aplikasi Fisika*, 02(02), 125–130.
- Afifah, F., & Cahyaningrum, S. E. (2020). Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi (Bos Taurus) Menggunakan Teknik Kalsinasi Synthesis And Characterization Of Hydroxyapatite From Cow Bones (Bos Taurus) Using Calcination Techniques. *UNESA Journal of Chemistry*, 9(3), 189–196.
- Budiatin, A. S., Hikmawati, D., Putra, A. P., Siswanto, Samirah, Aryani, T., Wenny, P. N., & Novitasari. (2020). Exploration of bovine bone waste as source of bovine hydroxyapatite synthesis and its composite with gelatin-hydroxypropylmethyl cellulose as injectable bone substitute. *Ecology, Environment and Conservation*, 26, S135–S140.

- Guo, X., Yan, H., Zhao, S., Li, Z., Li, Y., & Liang, X. (2013). Effect of calcining temperature on particle size of hydroxyapatite synthesized by solid-state reaction at room temperature. *Advanced Powder Technology*, 24(6), 1034–1038. <https://doi.org/10.1016/j.appt.2013.03.002>
- Ikhsan, I., Gunawarman, G., & Yetri, Y. (2018). Karakteristik Hidroksiapatit (HA) Dari Limbah Tulang Sapi dengan Metode Mekanik-Termal. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 13(2), 43. <https://doi.org/10.30630/jipr.13.2.89>
- Khoo, W., Nor, F. M., Ardhyanta, H., & Kurniawan, D. (2015). Preparation of Natural Hydroxyapatite from Bovine Femur Bones Using Calcination at Various Temperatures. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.034>
- Mangkuasih, S. M., & Rohmawati, L. (2021). Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Ikan Sapu-Sapu (*Hypostomus plecostomus*) dengan Metode Presipitasi. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 9(2), 229. <https://doi.org/10.23960/jtaf.v9i2.2818>
- Marta, H., Tensiska, & Riyanti, L. (2017). Chimica et Natura Acta. *Chimica et Natura Acta*, 5(3), 124–131.
- Sari, R. N., Fransiska, D., Dewi, F. R., & Sinurat, E. (2022). Karakteristik Sediaan Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Simpson (*Amusium pleuronectes*) dengan Perlakuan Suhu dan Waktu Sintesis. *Jurnal Pascapanen Dan Bioteknologi Kelautan Dan Perikanan*, 17(1), 31. <https://doi.org/10.15578/jpbkp.v17i1.797>
- Shabani, M., & Faraji, G. (2020). Processing and Characterization of Natural Hydroxyapatite Powder from Bovine Bone a. *Journal of Ultrafine Grained and Nanostructured Materials*, 53(2), 204–209. <https://doi.org/10.22059/jufgsm.2020.02.12>
- Suci, I. A., & Ngapa, Y. D. (2020). Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit dari Cangkang Kerang Ale-Ale Menggunakan Metode Presipitasi Double Stirring. *Cakra Kimia*, 8(2), 73–81.
- Sufiani, N. (2022). Pengaruh Lama Ekstraksi Menggunakan Naoh Terhadap Karakteristik Nanokalsium Dari Tulang Sotong (*Sepia Sp.*). *JFMR-Journal of Fisheries and Marine Research*, 6(1). <https://doi.org/10.21776/ub.jfmr.2022.006.01.15>
- Troboslivestock.com. (2021). *Pemerintah NTB Resmikan Program 1.000 Desa Sapi*. Troboslivestock.Com.