



Potential of Cow Bone as a Basic Material for Hydroxyapatite-High Density Polyethylene Composites (HAp-HDPE)



Kurnia Ramadani^a, Rismawaty^a, Ismail^a dan Titik Andriani

^a Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar, Indonesia.

* Corresponding Author: kurnia.ramadani@uin-alauddin.ac.id

ABSTRACT

Cow bone has the potential to be used as a basic ingredient in the synthesis of hydroxyapatite because it contains calcium. The addition of High-Density Polyethylene (HDPE) to hydroxyapatite aims to produce biocomposites that have better properties compared to the previous properties. The purpose of this study is to determine the characteristics of biocomposites with the HDPE: HAp in the ratio of 1: 2, 2: 1, and 3: 2 (%w / w). The method used is the sol-gel method characterized by FTIR to see the bonding of functional groups and an electron microscope to see the morphology of biocomposites. The biocomposites that have the best mechanical properties in this study are biocomposites with a ratio (HDPE: HAp) of 3: 2 with compressive and tensile strength values of 0.66 and 0.1290 N /mm², density and water absorption values of 0.505 g/cm³ and 6,828% respectively and heat resistance with a temperature of 110°C experiencing a mass decrease of 0,675 g.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Article History

Received 2024-02-20

Revised 2024-10-28

Accepted 2024-10-30

Publish 2024-11-31

Keywords

Cow Bone

Biocomposite

Hydroxyapatite

Polyethylene

1. Pendahuluan

This Produksi daging sapi tahun 2021 di Indonesia tercatat sebesar 436.704 ton [1]. Konsumsi daging ternak tidak luput dari masalah tulang yang dihasilkan. Sisa hasil masakan tulang tidak dapat dimanfaatkan karena tidak memiliki nilai ekonomis dan bahkan dapat menjadi limbah organik serta dapat mencemari bahkan merusak lingkungan apabila tidak diproses lebih lanjut. Limbah tulang sapi tersusun atas senyawa organik dan anorganik sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai sumber biomaterial [2].

Tulang sapi mengandung kalsium (Ca) sebesar 37% yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan hidroksiapatit (HAp) [3]. Penelitian yang telah dilakukan oleh [4] yang mensintesis hidroksiapatit dari tulang sapi menghasilkan hidroksiapatit sebesar 0,8 gram. Penelitian [5] yaitu sintesis hidroksiapatit dari tulang sapi menghasilkan rendemen hidroksiapatit sebesar 0,42 gram. Penelitian lain dilakukan oleh [6] yang mensintesis hidroksiapatit dari tulang sapi memperoleh rendemen hidroksiapatit sebesar 47,2 %.

Hidroksiapatit (HAp) memiliki sifat yang mudah rapuh, sehingga memiliki kekuatan mekanik yang lemah, untuk meningkatkan kekuatan mekanik hidroksiapatit dalam pengaplikasiannya perlu penambahan bahan. Salah satu bahan yang dapat digunakan adalah polimer polietilen jenis High Density Polyethylene (HDPE). Polimer ini bersifat elastis, tidak beracun dan dapat terdegradasi secara biokimia. Campuran hidroksiapatit-polietilen disebut sebagai biokomposit. Hidroksiapatit yang berasal dari makhluk hidup disebut sebagai filler dan polimer polietilen berfungsi sebagai matriks untuk meningkatkan sifat mekanik biokomposit [7]. Campuran hidroksiapatit dan polimer polietilen dapat digunakan sebagai bahan biokomposit [8].



Pembuatan biokomposit telah dilakukan oleh Sunyoto [9] yang melakukan penelitian pembuatan biokomposit Hidroksiapatit dengan gelatin hasil biokomposit dengan penambahan gelatin 1% dapat berikatan dengan hidroksiapatit dengan baik. Penelitian lain telah dilakukan oleh Hatajulu (2017) [10] yaitu biokomposit yang dibuat berasal dari campuran hidroksiapatit dengan polylactic acid, hasil yang diperoleh menunjukkan nilai kekerasan bertambah seiring bertambahnya jumlah serbuk hidroksiapatit.

Biokomposit sering digunakan dalam dunia kesehatan yang dapat berinteraksi dengan sistem biologi. Biomaterial hidroksiapatit dapat diaplikasikan pada dunia ortopedi. Hidroksiapatit (HAp) digunakan sebagai bahan perancah tulang [11], selain itu biomaterial hidroksiapatit dapat digunakan sebagai bahan tambahan pembuatan gigi tiruan yang dicampur dengan resin akrilik sebagai bahan dasar dari pembuatan gigi [12].

Penggunaan biokomposit pada bidang medis harus memiliki sifat mekanik yang baik atau memenuhi standar sifat mekanik tulang atau gigi. Karakterisasi biokomposit untuk mendapatkan sifat mekanik terbaik telah banyak dipelajari salah satunya dengan memvariasikan massa filler dan matriks seperti yang dilakukan oleh S, S. G., Anwar [13] yaitu memvariasikan HDPE:HAp (2:1) yang memiliki sifat mekanik terbaik dengan kekerasan komposit sebesar 78 Shore A, dalam peningkatan mekaniknya maka dalam penelitian ini dilakukan perbandingan massa HDPE:HAp 1:2, 2:1 dan 3:2 (%b/b).

2. Metodologi

2.1. Alat dan Bahan

Fourier Transform Infrared (FTIR), AND MCT-2150, *Spectroscopy* JEOL JDX-3530, neraca analitik ABJ 220- 4M (Kern, Jerman), *Furnace Thermo Scientific Heraeus*, *Stirring Hot Plate Thermo Scientific Cimarec*, ayakan Retsch Sieve and Shaker AS 200 Basic, oven dan *memmert hot plate*, alat-alat gelas laboratorium, termometer 110°C, statif dan klem, batang pengaduk, spatula dan bulp

Tulang sapi, asam Nitrat (HNO₃) 2 dan 0,5 M, amonium hidroksida (NH₄OH) pekat, gas CO₂, larutan Xilan, larutan diammonium fosfat ((NH₄)₂HPO₄) 0,13 M, larutan natrium hidroksida (NaOH) 2 M, larutan HCl 2 M, larutan, larutan buffer pH 10, *Ethylen Diamine Tetra Acetic Acid* (EDTA) 0,1 M, polietilena jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) SF5007-02.

2.2. Prosedur Penelitian

Preparasi Sampel

Tulang sapi diperoleh dari penjual tulang daerah Kelurahan Romang polong Kabupaten Gowa. Tulang sapi dicuci dengan air mengalir hingga bersih dan dipotong kecil-kecil, kemudian dirubus selama 2 jam, lalu dibersihkan dari daging yang masih menempel dan dibilas dengan air bersih, kemudian tulang sapi dikeringkan di bawah sinar matahari. Tulang sapi yang sudah kering kemudian dihancurkan hingga menjadi serpihan-serpihan, lalu serpihan tulang sapi direndam dengan NaOH 2 M selama 4 jam untuk menghilangkan sisa-sisa lemak. Serpihan tulang kemudian dikeringkan ke dalam oven selama 4 jam dengan suhu 110°C. Setelah itu serpihan tulang yang telah kering dikalsinasi dengan suhu 900°C selama 3 jam sampai berubah bentuk menjadi bubuk kalsium oksida (CaO). Kemudian menganalisis kadar kalsium bubuk CaO menggunakan titrasi kompleksometri.

Analisis Kadar Kalsium (Ca)

Bubuk kalsium karbonat (CaCO₃) ditimbang sebanyak 0,5056 g kemudian sampel dilarutkan menggunakan 100 mL HCl 2 M, selanjutnya 10 mL lalu dimasukkan ke dalam erlenmeyer, dan ditambahkan dengan larutan buffer 10 beberapa tetes, dan tambahkan sedikit indikator murexide, selanjutnya dititrasi dengan larutan EDTA 0,1 M hingga larutan menjadi biru ungu. Persamaan penentuan kadar kalsium:

$$\% \text{ massa } Ca^{2+} = \frac{\text{Massa } Ca^{2+}}{\text{Massa Sampel}} \times 100\% \quad (1)$$

Sintesis Hidroksiapatit [14]

Bubuk CaO ditimbang sebanyak 20 g, kemudian bubuk CaO dicampur dengan 200 mL HNO₃ 2 M ke dalam gelas kimia. Setelah itu larutan diaduk menggunakan magnetik stirer sambil dipanaskan selama 30 menit. Kemudian larutan disaring, lalu filtrat yang diperoleh ditambahkan larutan NH₄OH sampai pH larutan 12. Kemudian larutan dikarbonasi sampai terbentuk endapan berwarna putih, lalu endapan yang dihasilkan disaring sehingga menghasilkan endapan kalsium karbonat. Selanjutnya endapan kalsium karbonat dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 115°C selama 2 jam, selanjutnya kalsium karbonat dikalsinasi selama 3 jam dengan suhu 900°C. Kemudian bubuk kalsium karbonat sebanyak 1,6 g dilarutkan ke dalam 100 mL HNO₃ 0,5 M, lalu larutan direaksikan dengan pelarut NH₄OH sampai pH larutan menjadi 13. Setelah itu larutan ditambahkan dengan diammonium fosfat ((NH₄)₂HPO₄) 0,13 M setetes demi setetes sebanyak 250 ml menggunakan corong pisah, sambil diaduk menggunakan pengaduk (stirrer) selama 5 jam hingga terbentuk sol hidroksiapatit (sol- HAp). Lalu Sol HAp didamkan selama 24 jam sampai terbentuk gel. Gel yang terbentuk kemudian disaring, lalu dikeringkan selama 2 jam menggunakan oven pada suhu 110°C, setelah itu dikalsinasi selama 2 jam pada suhu 600°C.

Pembuatan Biokomposit Hidroksiapatit Polietilen (HDPE) [15] [16]

Prosedur ini diadaptasi dari penelitian nurhidayah [15] dan Svandi,dkk [16]. Polimer jenis *high density polyethylene* (HDPE) dan HAp ditimbang dengan perbandingan 1:2, 2:1 dan 3:2, kemudian sampel ditambahkan 5 ml pelarut xilan pada masing-masing perbandingan, lalu sampel dilelehkan menggunakan oven pada suhu 100°C, setelah itu sampel diaduk secara perlahan kemudian tuangkan ke dalam cetakan, kemudian sampel biokomposit dikeringkan pada suhu ruang selama 24 jam. pembuatan biokomposit dilakukan sebanyak dua kali. Biokomposit yang telah terbentuk kemudian diuji sifat termal dan sifat mekanik, densitas dan kapasitas serapan kelembaban.

a. Karakterisasi dengan FTIR

Seperangkat alat *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dihidupkan, kemudian mengatur program pada monitor, setelah itu diletakkan sampel di atas *attenuated total reflection* (ATR), kemudian menekan sampel sampai rapat, lalu klik *measure* kemudian pilih sampel, setelah itu klik kanan, lalu klik *object properties*, kemudian isi kolom deskripsi untuk memberikan keterangan pada alat spektrum, simpan file atau data.

b. Uji Tekan

Produk biokomposit yang telah terbentuk diuji kekerasannya menggunakan *AND MCT-2150*. Pengujian biokomposit dilakukan dengan cara mengukur volume sampel, hidupkan *universal testing* dan komputer, meletakkan sampel pada penampang alat sejajar dengan alat pembeban, lalu mengatur program pada komputer. Menekan tombol TEST pada komputer sampai benda uji retak, kemudian monitor akan menampilkan hasil pengukuran dan mesin akan berhenti otomatis, menekan tombol print untuk mencetak data.

c. Uji Kuat Tarik

Kekuatan tarik diuji menggunakan alat *AND MCT-2150*, pertama-tama menyiapkan alat dan bahan, kemudian melakukan pengukuran volume sampel, kemudian menghidupkan komputer dan *universal testing*, memasang benda uji dalam cekam mesin sesuai tanda dengan menekan up atau down, menyalakan program pada uji tarik, lalu menekan tombol TEST pada komputer sampai sampel patah dan hasil pengukuran akan muncul pada monitor, ketika benda uji patah mesin akan berhenti otomatis, menekan tombol print untuk mencetak hasil pengujian. Kekuatan tarik dihitung menggunakan persamaan 2.1

d. Uji ketahanan panas [17]

Bobot awal biokomposit HAp-HDPE ditimbang menggunakan neraca, kemudian masukkan biokomposit ke dalam oven, panaskan dengan suhu 100°C dengan waktu 30 menit, setelah itu mendinginkan sampel ke dalam desikator, lalu timbang bobot akhir setelah pemanasan.

e. Uji densitas [18]

Biokomposit ditimbang untuk mengetahui bobot awal. Kemudian mengukur volume sampel menggunakan penggaris dan jangka sorong.

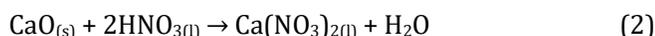
f. Uji daya serap [19]

Biokomposit dikeringkan menggunakan oven dengan suhu 100°C selama 24 jam. Didinginkan ke dalam desikator, setelah dingin ditimbang bobot awal biokomposit (W_i). Kemudian rendam biokomposit selama 24 jam, setelah 24 jam dikeringkan menggunakan tisu lalu ditimbang bobot setelah perendaman (W_c).

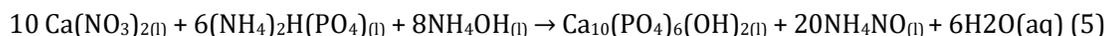
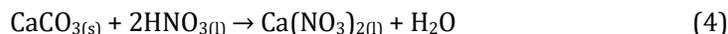
3. Hasil dan Diskusi

3.1. Sintesis Hidrosiapatit

Sintesis hidrosiapatit dari tulang sapi yang dikalsinasi menghasilkan kalsium oksida sebesar (CaO) 9,45%. Kalsium oksida dengan ukuran 100 mesh direaksikan dengan asam nitrat (HNO_3) membentuk senyawa $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$. Setelah itu dilakukan penambahan amonium hidroksida (NH_4OH) untuk meningkatkan pH larutan agar terbentuk endapan CaCO_3 .



Endapan CaCO_3 yang terbentuk kemudian direaksikan dengan $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ sebagai sumber fosfat pada Hap. Penambahan $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ dilakukan secara perlahan-lahan sambil diaduk menggunakan 26tirrerr26 26tirrerr agar gel terbentuk secara sempurna. Larutan yang telah bereaksi secara sempurna kemudian didiamkan selama 24 jam. Semakin lama didiamkan kualitas gel yang dihasilkan semakin bagus [20]. Reaksi pembentukan hidrosiapatit adalah sebagai berikut:



Gel yang terbentuk kemudian dikalsinasi menggunakan suhu 600°C karena pada suhu ini kalsium fosfat mengalami perubahan fasa menjadi hidrosiapatit dan kristalinitasnya meningkat. Bubuk HAp stabil sampai suhu kalsinasi 600°C, di atas suhu ini HAp akan terdisosiasi menjadi fasa lain tergantung pada stoikiometrinya. Hasil sintesis HAp yang diperoleh berwarna putih. Gambar HAp dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Bubuk Hidrosiapatit

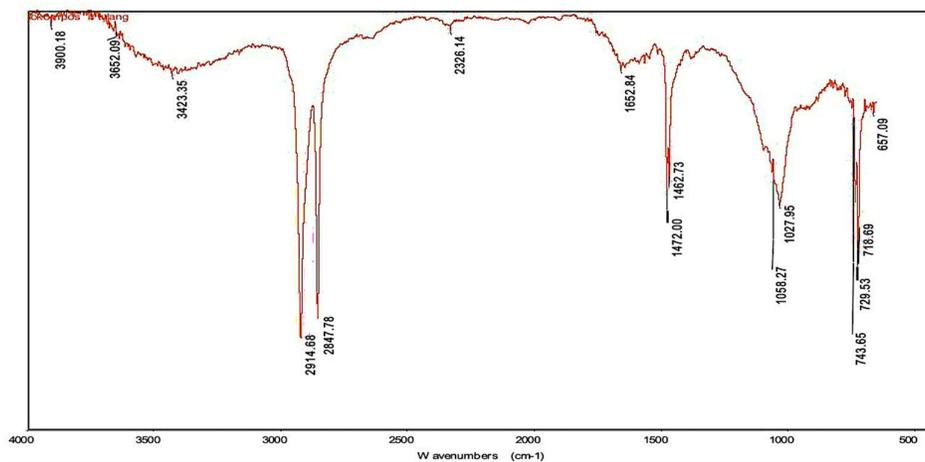
Bubuk HAp dicampurkan dengan HDPE kemudian dicetak berdasarkan perbandingan yang telah ditentukan, dengan adanya *Xilan* sebagai pelarut maka sistem polimer menjadi lebih homogen dan kemungkinan terjadi ikatan silang dan reaksi antar keduanya semakin besar. *Xilan* bersifat nonreaktif dan tidak memiliki gugus aktif yang dapat bereaksi dengan gugus aktif HDPE maupun HAp. Pelarut *Xilan* akan menguap seiring dengan pengerasan biokomposit [21]

3.2. Hasil Karakteristik Biokomposit menggunakan FTIR

Karakterisasi menggunakan FTIR berfungsi untuk melihat gugus fungsi dan ikatan yang terbentuk pada biokomposit berdasarkan puncak-puncak grafik yang ditampilkan monitor.

Hasil analisis yang telah dilakukan diperoleh informasi terdapat gugus fungsi OH dari panjang gelombang 3900,1; 3652,09 dan 3423,35 cm^{-1} yang berasal dari vibrasi H-bending. Hal yang sama dilaporkan oleh [2] bilangan gelombang 3572,68 cm^{-1} merupakan panjang gelombang gugus OH. Bilangan gelombang 2914,68 dan 2847,78 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan C-H dari vibrasi ulur C-H simetri dan asimetri dari senyawa HDPE [13].

Bilangan gelombang 1472, 1462, 743,65, 729,53, dan 718,69 cm^{-1} merupakan bilangan gelombang gugus CH_2 yang berasal dari gugus HDPE. Pergeseran bilangan bilangan gelombang dari 1476 menjadi 1462 cm^{-1} hal ini terjadi akibat molekul mengalami vibrasi ke intensitas yang lebih rendah. Bilangan gelombang 657,09, 1027,95, dan 1058,27 cm^{-1} merupakan bilangan gelombang gugus PO_4^{3-} salah satu gugus yang paling menonjol pada HAp yang memiliki spektrum tajam yang menandakan ikatan yang cukup kuat. Penelitian yang dilaporkan oleh [13] gugus PO_4^{3-} muncul pada bilangan gelombang 1037,11, 1039,88 dan 1045 cm^{-1} .



Gambar 2. Spektrum FTIR Biokomposit

3.3. Hasil Karakteristik Biokomposit menggunakan SEM

Permukaan biokomposit dapat diamati menggunakan SEM. Biokomposit dengan perbandingan 3:2 dapat dilihat permukaannya pada gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut permukaan biokomposit tidak rata atau terdapat gumpalan-gumpalan ini menandakan HAp dan HDPE tidak berikatan secara sempurna yang berdampak pada sifat mekanik komposit. Penyebab terjadinya penggumpalan karena pada proses pencetakan biokomposit tidak diberikan gaya tekan karena tidak adanya alat yang memadai, tujuan pemberian tekanan untuk mendistribusikan penyebaran partikel HAp secara merata sehingga dapat berikatan dengan polimer HDPE secara sempurna dan dapat meningkatkan kekuatan mekanik, selain itu penggumpalan terjadi karena pengadukan pada saat proses pencetakan sehingga biokomposit kurang homogen. Suatu material agar berfungsi dengan baik tergantung pada sifat-sifat yang dimilikinya. Salah satu sifat yang dapat mempengaruhi fungsi material adalah homogenitas suatu campuran material yang dapat mempengaruhi fungsi mekanik seperti kekuatan tekan dan tarik.



Gambar 3. Hasil analisis menggunakan SEM

3.4. Karakteristik sifat mekanik dan Termal Biokomposit

Positioning Figures Biokomposit yang dihasilkan dilakukan pengujian sifat mekanik dan termalnya untuk mengetahui kelayakan produk biokomposit yang telah memenuhi standar yang ditetapkan. Adapun Hasil pengujian Kuat tarik, kuat tekan, ketahanan panas, daya serap air dan densitas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian kuat tarik, kuat tekan, ketahanan panas, daya serap air dan densitas

Biokomposit (HDPE:HAp)	Kuat Tarik N/mm ²	Kuat Tekan N/mm ²	Ketahanan Panas (gr)	Daya Serap Air (gr)	Densitas (gr/cm ³)
1:2	0,0616	0,54	2,935	15,131	0,499
2:1	0,0498	0,62	2,195	3,673	0,515
3:2	0,1290	0,66	0,675	6,828	0,505

Tabel 1 menunjukkan kekuatan tarik tertinggi pada biokomposit dengan perbandingan 3:2 yaitu sebesar 0,1290 N/mm². HDPE memiliki sifat plastik. Biokomposit dengan perbandingan 2:1 dan 3:2 memiliki fraksi volume HDPE lebih banyak 67% dan 60% dibandingkan dengan fraksi volume HAp, sehingga HDPE dapat terdistribusi secara sempurna untuk mengikat partikel HAp. sehingga sifat mekanik yang dihasilkan dapat optimal berbeda dengan perbandingan 1:2 yang memiliki kekuatan paling rendah dengan fraksi volume HDPE paling rendah sebesar 33% yang mengakibatkan partikel plastik HDPE tidak terdistribusi secara sempurna sampai kebagian dalam filler sehingga pada bagian biokomposit terjadi banyak rongga, rongga ini yang mengakibatkan kekuatan tarik menurun [22]. Hal yang sama dilaporkan oleh [19] kekuatan tarik dan modulus elastisitas meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya hidroksiapatit dalam matriks HDPE. Kekuatan tarik yang diperoleh masih di bawah kekuatan tarik tulang konselulus yaitu 7.4 Mpa atau 7.4 N/mm² [23].

Kekuatan tarik yang dipeoleh masih cukup rendah, Hal ini karena matriks HDPE tidak dapat menjangkau seluruh ruang pori-pori HAp sehingga filler hidroksiapatit memiliki gugus bebas antara lain gugus fosfat (-PO³⁻) dan gugus karbonil (-CO₃) yang membentuk ikatan kovalen untuk tercapainya ikatan antar permukaan matriks HDPE dan filler HAp yang belum sempurna [24].

Biokomposit dengan perbandingan 3:2 memiliki nilai kuat tekan paling tinggi sehingga mempengaruhi sifat mekanik. Penurunan kekuatan tekan pada penambahan massa HAp 67% terjadi karena massa HAp yang digunakan terlalu banyak sehingga HDPE tidak dapat menjangkau seluruh pori-pori HAp. Selain massa HAp penurunan nilai kekuatan tekan dipengaruhi oleh proses kompaksi atau pencetakan tidak dilakukan penekanan, besarnya tekanan pada saat pencetakan sangat mempengaruhi distribusi ikatan antar partikel hidroksiapatit dan polimer HDPE. Namun nilai yang diperoleh tidak sesuai dengan kekuatan tekan tulang kortikal dan konselus sebesar 100-230 dan 2-12 MPa [23].

Uji densitas bertujuan untuk melihat kerapatan biokomposit. Nilai uji densitas dapat berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik dan tekan bikomposit. Tabel 1 menunjukkan nilai denistas biokomposit berkurang seiring dengan bertambahnya massa HAp. Hal ini terjadi akibat filler dan matriks biokomposit yang tidak berikatan secara sempurna, sejalan dengan hasil karakterisasi mikroskop elektron yang memperlihatkan terdapat gumpalan-gumpalan yang menandakan sebaran HAp tidak merata. Nilai densitas yang diperoleh tdak sesuai dengan densitas tulang kortikal yaitu sebesar 1,8-2,0 g/cm³, tetapi sesuai dengan densitas tulang kanselus dengan nilai sebesar 0,1-1,0 g/cm³ [23]. Rendahnya nilai densitas dipengaruhi oleh kurangnya kontak antara filler HAp dan matriks HDPE. Matriks HDPE tidak dapat mengisi seluruh pori-pori filler HAp secara sempurna. Selain itu pengaruh filler HAp yang tidak terdistribusi secara merata yang dibuktikan dengan adanya gumpalan pada hasil karakterisasi menggunakan mikroskop elektron. penggumpalan diakibatkan karena tidak dilakukan proses

penekanan pada saat proses pencetakan biokomposit HDPE-HAp sehingga kontak antar kedua senyawa partikel berkurang [25].

Ketahanan panas biokomposit dapat dilihat dari seberapa besar biokomposit kehilangan berat awal selama proses pemanasan. Penyusutan massa pada biokomposit terjadi karena lepasnya atom-atom hidrogen dari ikatan hidrokarbon polimer. Terlepasnya atom hidrogen ini disebabkan karena adanya energi panas yang masuk. Terlepasnya hidrogen dari ikatan hidrokarbon akan semakin meningkat dengan kenaikan temperatur sehingga massa polimer semakin lama akan semakin berkurang [26].

Tabel 1 menunjukkan bahwa biokomposit mengalami penurunan massa seiring dengan bertambahnya waktu pemanasan. Biokomposit dengan perbandingan 1:2 dengan penambahan HAp 33% mengalami penurunan massa sebesar 2,195 gram, perbandingan 3:2 dengan massa HAp 40% mengalami penurunan sebesar 0,0675 gram dan 2:1 dengan penambahan massa HAp 67% mengalami penurunan massa 2,935 gram, jika di presentasikan masing-masing perbandingan kehilangan berat sebesar 2,44, 0,40 dan 2,70%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan massa HAp 40% memiliki ketahanan termal yang lebih baik dibandingkan dengan penambahan massa 33 dan 67% HAp. Hal ini berbanding lurus dengan nilai kerapatan masing-masing biokomposit, semakin tinggi kerapatannya semakin sedikit bobot yang hilang akibat pemanasan, karena kemampuan filler dan matriks dapat mengikat secara sempurna. Penambahan hidroksiapatit juga membuat ketahanan termal biokomposit semakin baik. Suatu stabilitas termal dikatakan tinggi apabila pengurangan berat terjadi pada temperatur yang lebih tinggi. Stabilitas termal biokomposit dipengaruhi oleh 5 atau 10% pengurangan berat awal. Semakin tinggi temperatur untuk kehilangan berat 5 atau 10% maka semakin baik suatu biokomposit.

Hidrolisitas sangat penting untuk biokomposit yang diaplikasikan dalam biomedis, karena hidrofilik tinggi akan mengakomodasi perlekatan sel dan meningkatkan viabilitas dan proliferasinya [27]. Pada Tabel 1 menunjukkan bahwa daya serap air yang optimum terdapat pada perbandingan 2:1 dengan nilai rata-rata daya serap air sebesar 3,673% sedangkan daya serap yang kurang baik terdapat pada perbandingan 1:2 dengan nilai rata-rata daya serap air sebesar 15,131%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar penambahan HAp pada biokomposit semakin besar pula penyerapan air biokomposit HDPE-HAp. Nilai yang diperoleh tidak sesuai dengan yang disampaikan oleh Oladele, Siaka [28] yang menyatakan bahwa setelah penambahan HAp nilai daya serap Biokomposit sebesar 1,43%. Hal ini dikarenakan komposisi filler yang sangat banyak sehingga ikatan komposit oleh matriks tidak dapat menjangkau semua permukaan biokomposit sehingga ikatannya menjadi tidak sempurna yang mengakibatkan pada saat proses pencampuran partikel-partikel yang menyusun biokomposit berikatan sangat lemah akibatnya molekul-molekul oksigen masuk dan membentuk rongga- rongga [24]. Selain itu sifat HAp yang hidrofilik atau mudah menyerap air. Berbanding terbalik dengan banyaknya filler, semakin banyak HDPE yang digunakan mengakibatkan penurunan nilai kadar air pada biokomposit. Hal ini terjadi karena sifat dari HDPE itu sendiri yang hidrofobik atau tidak dapat menyerap air. Daya serap yang diperolehpun tidak memenuhi standar daya serap veneer gigi konvensional dengan daya serap air sebesar 1.2-1.5%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan biokomposit 3:2 yang memiliki hasil terbaik jika dibandingkan dengan standar maka dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil penelitian dengan standar tulang konselur, kortikal dan gigi

No.	Parameter Pengujian	Hasil Penelitian	Standar Tulang		
			Kanselus *	Kortikal *	Gigi **
1.	Kuat tekan	0,66	2-12	100-230	-
2.	Kuat tarik	0,1290	7,4	-	40-275
3.	Densitas	0,505	0,1-1,0	1,8-2,0	1,9
4.	Ketahan Panas 110°C (g)	0,675	Belum ditentukan	Belum ditentukan	Belum ditentukan
5.	Daya serap air (%)	6,828	Belum ditentukan	Belum ditentukan	Belum ditentukan

Tabel 2 menunjukkan bahwa kekuatan tekan dan tarik belum memenuhi standar tulang kanselus, kortikal dan tulang gigi. Parameter uji yang memenuhi standar hanyalah densitas yang memenuhi standar densitas tulang kanselus. Sedangkan ketahanan panas dan daya serap air belum ditetapkan standarnya

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan biokomposit perbandingan 3:2 (HDPE:HAp) dengan penambahan massa HAp sebesar 0,4 g atau 40% yang memiliki nilai terbaik pada penelitian ini dengan karakteristik kekuatan tekan, tarik, densitas, ketahanan panas dan daya serap air dengan nilai berturut-turut adalah 0,66 N/mm², 0,1290 N/mm², 0,505 g/cm³, 0,675 g dan 6,828%.application prospects of further studies into the next (based on results and discussion).

References

- [1] Badan Pusat Statistik, "Peternakan dalam Angka 2021," Jakarta : BPS, 2021. [Online]. Available : www.bps.go.id/publikasi
- [2] F. Afifah and S. E. Cahyaningrum, "Sintesis Dan Karakterisasi Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi (Bos taurus) Menggunakan Teknik Kalsinasi," *Unesa Journal of Chemistry*, vol. 9, no. 3, pp. 189–196, Nov. 2020, doi: 10.26740/ujc.v9n3.p189-196.
- [3] B. E. Keene *et al.*, "Measures of bone mineral content in mature dairy cows," *Journal of Dairy Science*, vol. 87, no. 11, pp. 3816–3825, Nov. 2004, doi: 10.3168/jds.s0022-0302(04)73521-3.
- [4] M. Y. Wardana, "Pembuatan Hidroxyapatite dari Limbah Tulang Sapi menggunakan Metode Sol-Gel," *Jurnal Sains Dan Teknologi Reaksi*, vol. 15, no. 1, Jan. 2018, doi: 10.30811/jstr.v15i1.510.
- [5] A. C. Pinangsih, S. Wardhani, and Darjito, "Sintesis Biokeramik Hidroksiapatit (Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂) dari Limbah Tulang Sapi Menggunakan Metode Sol-Gel," *Kimia Student Jurnal*, vol. 1, no. 2, pp. 203–209, 2014.
- [6] R. Yuliana, E. A. Rahim, and J. Hardi, "Sintesis Hidroksiapatit Dari Tulang Sapi Dengan Metode Basah Pada Berbagai Waktu Pengadukan Dan Suhu Sintering," *KOVALEN: Jurnal Riset Kimia*, vol. 3, no. 3, pp. 201–210, 2017. <https://bestjournal.untad.ac.id/index.php/kovalen/article/view/9329>
- [7] B. A. Harsojuwono, dan I. W. Arnata, "Teknologi Polimer Industri Pertanian 1 edisi," Jakarta : Cita Intrans Selaras, 2015.
- [8] T. Liu *et al.*, "High-performance high-density polyethylene/hydroxyapatite nanocomposites for load-bearing bone substitute: fabrication, in vitro and in vivo biocompatibility evaluation," *Composites Science and Technology*, vol. 175, pp. 100–110, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.compscitech.2019.03.012.
- [9] Sunyoto, A. E. Tontowi, W. Siswomihardjo, dan Rochmadi, "Karakterisasi Biokomposit Gelatin-Hidroksiapatit Dengan Deposisi Menggunakan Inkjet Printer," Proc. Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XII (SNTTM XII), hal. 1–5, 2013. <https://www.researchgate.net/publication/332094499%0AKarakterisasi>
- [10] A. Hutajulu, "Sintesis dan Karakterisasi Material Biokomposit Polylactic Acid (PLA) Berpenguat Serbuk Tulang Sapi Sebagai Kandidat Bahan Tulang Buatan," *Skripsi Sarjana*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia, 2017. [Online]. Available: <https://repository.its.ac.id/44263>
- [11] A. Anjarsari, K. Dahlan, P. Suptijah, and T. Kemala, "Synthesis and characterization of biocomposite BCP/Collagen for bone material scaffold," *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, vol. 19, no. 3, p. 356, Feb. 2017, doi: [10.17844/jphpi.v19i3.15113](https://doi.org/10.17844/jphpi.v19i3.15113).
- [12] A. Afrizal, "Analisa Struktur Mikro Material Substitusi Hidroksiapatit Cangkang Kerang Darah dan Resin Akrilik Bahan Pembuat Gigi untuk Aplikasi Gigi Tiruan," *Jurnal Surya Teknika*, vol. 2, no. 04, pp. 1–9, Dec. 2016, doi: [10.37859/jst.v2i04.17](https://doi.org/10.37859/jst.v2i04.17).
- [13] S. G. S. Giat, S. Sudirman, D. I. Anwar, F. Lukitowati, and B. Abbas, "Sifat fisis dan mekanis komposit High Density Polyethylene (HDPE) – hydroxyapatite (HAP) dengan teknik iradiasi gamma," *Jurnal Kimia Dan Kemasan*, vol. 37, no. 1, p. 53, Apr. 2015, doi: [10.24817/jkk.v37i1.1812](https://doi.org/10.24817/jkk.v37i1.1812).

-
- [14] S. Mardani, "Sintesis dan Karakterisasi Biokomposit Hidroksiapatit- Polipropilen Karbonat (HAP-PPC) Sebagai Bahan Gigi Tiruan," Skripsi, Jur. Kimia, FMIPA, Univ. Andalas, Indonesia, 2019. [Online]. Available: <http://scholar.unand.ac.id/48260/>
- [15] R. B. N. Hidayah, "Pembuatan Komposit Hidroksiapatit-Polietilen (HA-PE) untuk Implan Tulang: Efek Ukuran Partikel Keramik dan Morfologi." Skripsi, Univ. Airlangga, Indonesia, 2018. [Online]. Available: <https://repository.unair.ac.id/78129/>
- [16] A. Shavandi, A. E.-D. A. Bekhit, Z. F. Sun, and A. Ali, "A review of synthesis methods, properties and use of hydroxyapatite as a substitute of bone," *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, vol. 25, pp. 98–117, Oct. 2015, doi: 10.4028/www.scientific.net/jbbbe.25.98.
- [17] A. Prasetio, "Analisis Sifat Termal Komposit HDPE Murni dan HDPE Daur Ulang dengan Penguat Serat Bambu," *Skripsi*, Pend. Teknik Mesin, Univ. Sebelas Maret, 2019.
- [18] M. Jekson, "Analisis Pengaruh Arah Serat Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Serat Eceng Gondok Bermatrik Resin Polyester dengan Metode Vacuum Bag," Skripsi, Univ. Sriwijaya, 2018. [Online]. Available: <http://repository.unsri.ac.id/9012/>
- [19] D. Hermawan, "Analisa Sifat Mekanik Serat Kelapa Pada Material Komposit," Skripsi, Univ. Muhammadiyah Pontianak, Indonesia, 2017. [Online]. Available: [repository UMP](https://repository.ump.ac.id/)
- [20] G. K. Luckita, Y. Azis, dan F. Akbar, "Sintesis Hidroksiapatit dari Precipitated Calcium Carbonat (PCC) cangkang telur itik melalui proses Sol-Gel dengan Variasi Rasio Reaktan Ca/P dan waktu Aging," *Jom F. teknik*, vol. 5, No. 2, pp. 1–6, 2018.
- [21] Mujamilah, Sudryanto, E. Yulianti, Y.P, E., Sudirman, dan Ridwan, Pengaruh Penambahan Pengencer Pada Proses Sintesis dan Karakteristik Magnet Bonded Berbasis Serbuk Magnet Nd2Fe14B dan Polimer Epoksi," *Jurnal Ilmiah*, pp. 269–274, 2004.
- [22] Margono, B., Widodo, L., Studi, P., Mesin, T., Tinggi, S., Warga, T., Studi, P., Tekstil, K., Tinggi, S., & Warga, T. 2020. Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Plastik HDPE. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 6(6), 55–61. B. Margono, H. Haikal, and L. Widodo, "Analisis Sifat Mekanik Material Komposit Plastik Hdpe Berpenguat Serat Ampas Tebu Ditinjau dari Kekuatan Tarik dan Bending," *AME (Aplikasi Mekanika Dan Energi) Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 55-61, Sep. 2020, doi: [10.32832/ame.v6i2.3069](https://doi.org/10.32832/ame.v6i2.3069).
- [23] A. Ficai, E. Andronescu, G. Voicu, and D. Ficai, "Advances in Collagen/Hydroxyapatite composite materials," in *InTech eBooks*, 2011. doi: 10.5772/13707.
- [24] E. M. Mungkur, "Pembuatan dan Pengujian Sifat Fisis dan Mekanik Bioveener Komposit Cangkang Kerang Darah," *Master Thesis*, Jur. Fisika. FMIPA, Univ. Sumatera Utara, Indonesia, 2019.
- [25] A. Octavia, dan Gunawan, "Studi Pengaruh Temperatur Kompaksi Pada Pembuatan Keramik Hidroksiapatit Melalui Proses Sintering Dingin." Skripsi, Universitas Sriwijaya, 2021.
- [26] C. L. Beyler, J. Hughes, dan M. Hirschler, "Thermal decomposition of polymers. In SFPE Handbook of Fire Protection Engineering 4th Ed., hal. 34, Available: [ResearchGate](https://www.researchgate.net/publication/312222222).
- [27] K. Azzaoui *et al.*, "Synthesis and characterization of composite based on cellulose acetate and hydroxyapatite application to the absorption of harmful substances," *Carbohydrate Polymers*, vol. 111, pp. 41–46, Apr. 2014, doi: [10.1016/j.carbpol.2014.04.058](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.04.058).
- [28] I. O. Oladele, O. G. Agbabiaka, A. A. Adediran, A. D. Akinwekomi, and A. O. Balogun, "Structural performance of poultry eggshell derived hydroxyapatite based high-density polyethylene bio-composites," *Heliyon*, vol. 5, no. 10, p. e02552, Oct. 2019, doi: [10.1016/j.heliyon.2019.e02552](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02552).