

KARAKTERISTISASI DAN PROFIL BIODEGRADASI MATERIAL BOKOMPOSIT BOVINE HIDROKSIAPATIT (BHA)/AMPAS KOPI/SHELLAC

Taufik Hidayat¹, Joko Triyono², Abu Masykur²

¹Teknik Mesin - Universitas Sebelas Maret

²Kimia - Universitas Sebelas Maret

e-mail address: Taufik_2904@yahoo.com (Taufik Hidayat), jokotri5528@gmail.com (Joko Triyono), abu.masykur@gmail.com (Abu Masykur)

Keywords:

Biodegradation, Bovine Hydroxyapatite, FTIR, Porosity, SEM, XRD.

Abstract:

The incidence of fractures in Indonesia is quite high so it needs biomaterials in the field of health that is economical and environmentally friendly. Bovine bone waste can be used for grafting, repairing, replenishing or replacing bones and restoring dental tissue. The purpose of this research is to determine whether the content of the coffee grounds and shellac will disappear after the sintering process, and how the effects of coffee grounds on the porosity and degradation rate of BHA biocomposite materials. This research uses heating method of calcination and sintering. Based on the analysis of test data conducted, it was concluded that SEM EDX observation shows the presence of inorganic elements of Ca and P with high intensity and Na, Mg, O and C with low intensity. Observation of XRD diffraction pattern shows 2θ values of the sample according to the standard diffraction pattern of HA JCPDS 9-432. FTIR functional group analysis showed no major peak points other than phosphate functional groups (PO_4^{3-}), carbonates (CO_3^{2-}) and hydroxyl (OH). From these three observations indicate that the content of coffee and shellac dregs has disappeared completely when the sintering process and leaving only the content of BHA and the more mixture of coffee dregs used will decrease the density value and increase the number of porus and accelerate the degradation rate.

PENDAHULUAN

Hydroxyapatite (HA) merupakan biomaterial dari komponen utama jaringan tulang dan gigi. HA dapat diperoleh dari tulang sapi (*bovine hydroxyapatite*) dan telah secara luas dipergunakan untuk mencangkok, memperbaiki, mengisi, atau mengganti tulang serta pemulihan jaringan gigi karena biokompabilitas yang sangat baik dengan jaringan keras, bioaktivitas merekonstruksi ulang jaringan tulang yang telah rusak dan juga di dalam jaringan yang lunak [1]. *Biocompatibility* berhubungan dengan beberapa karakteristik dari biomaterial yang menunjukkan apakah material tersebut dapat diterima di dalam tubuh manusia seperti tidak mengandung racun, tidak bersifat *carciogenic*, tidak menyebabkan alergi, dan tidak *immunogenic* [2]. Pengisi tulang (*bone filler*) juga harus bersifat *biodegradable* yaitu kemampuan material untuk terdegradasi seiring dengan tumbuhnya tulang manusia secara alami. Degradasi dari material adalah aspek yang sangat penting untuk dipertimbangkan ketika material tersebut dipakai untuk kepentingan medis, karena kemampuannya untuk difungsikan pada suatu aplikasi tergantung pada lamanya waktu yang dibutuhkan untuk menyimpannya di dalam tubuh. Proses biodegradasi

biomaterial dan kecepatan degradasi di dalam sebuah organisme berhubungan dengan karakteristik dari material dan tempat di dalam tubuh yang digunakan [3].

Berdasarkan latar belakang tersebut masih diperlukan penelitian mengenai hidroksiapatit tulang sapi (BHA) dengan metode serbuk yang dicampur ampas kopi dan dilapisi *shellac*. Penggunaan ampas kopi pada penelitian ini dikarenakan pada saat proses *sintering* ampas kopi akan bereaksi dengan oksigen O_2 dan berubah menjadi fasa gas yang menyebabkan serbuk dari ampas kopi akan menghilang dan membentuk struktur berpori pada *bone filler*. Struktur berpori tersebut berguna sebagai jalan sel-sel yang ada pada tulang agar dapat menyatu, dan memungkinkan dalam pertumbuhan tulang. Struktur berpori akan mengurangi kekuatan dari *bone filler* tetapi akan mempercepat laju degradasi.

Hasil dari penelitian diharapkan dapat digunakan untuk bahan pengisi tulang (*bone filler*) dan dapat diimplementasikan terhadap penderita penyakit tulang dan gigi.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah hidroksiapatit dari tulang sapi bagian *femur* (BHA), ampas kopi, dan larutan *shellac*. Ampas kopi digunakan sebagai material pembentuk porus dan larutan *shellac* digunakan sebagai pengikat antar serbuk BHA.

Proses Persiapan

BHA diperoleh dari serbuk tulang sapi bagian *femur* yang dijadikan serbuk dengan ukuran $250\mu\text{m}$ dan kemudian dikalsinasi dengan suhu 900°C . Ampas kopi yang digunakan adalah ampas kopi yang telah dibersihkan dari kotoran dan ketika dicuci sudah tidak memiliki warna. Larutan *shellac* didapatkan dari campuran antara sekresi kutu lak dan *ethanol* 97% dengan perbandingan 1:10. Selanjutnya, BHA dicampur ampas kopi dengan perbandingan *volume* BHA dan ampas kopi berturut-turut yaitu 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, dan 30/70, kemudian BHA/ampas kopi dicampur dengan 1 ml larutan *shellac* dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm. Serbuk yang sudah tercampur dikompaksi dengan beban 974 MPa dengan penahanan 5 menit agar menjadi bentuk tablet dengan ukuran diameter 13 mm dan tebal 3 mm. Spesimen tersebut kemudian disinter dengan suhu 1000°C untuk mengikat antar serbuk BHA dan menghilangkan kandungan dari ampas kopi dan *shellac*.

Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan pada spesimen BHA/ampas kopi/*shellac* adalah sebagai berikut:

a. Pengujian densitas dan porositas

Pengujian densitas dilakukan dengan mengacu pada hukum Archimedes. Pengujian dilakukan dengan menimbang berat sampel saat di udara dan berat sampel saat di dalam air. Pengujian porositas didapat dari perhitungan densitas aktual dan teoritis.

b. Pengamatan SEM

Pengamatan ini meliputi pengambilan foto SEM untuk mengetahui bentuk porus dan SEM EDX untuk mengetahui kandungan yang ada pada sampel uji BHA/ampas kopi/*shellac*.

c. Pengamatan biodegradasi

Pengamatan biodegradasi dilakukan dengan menghitung penurunan berat sampel berbentuk tablet selama 2 bulan di dalam botol kecil berisi 20 ml PBS dan diinkubasi pada 37°C dengan penggantian larutan dan pengambilan data setiap 7 hari sekali. Pengambilan data dilakukan dengan mengeringkan spesimen di dalam mesin *oven* dengan suhu 130°C dan penahanan temperatur selama 1 jam.

d. Pengamatan pola difraksi XRD

Pengamatan pola difraksi XRD ditunjukkan dengan 30 kV, 30 mA dengan target Cu. Pengujian ini meliputi pengambilan data spesimen dalam bentuk serbuk untuk mengetahui struktur kristal, fasa dan derajat kristalinitas.

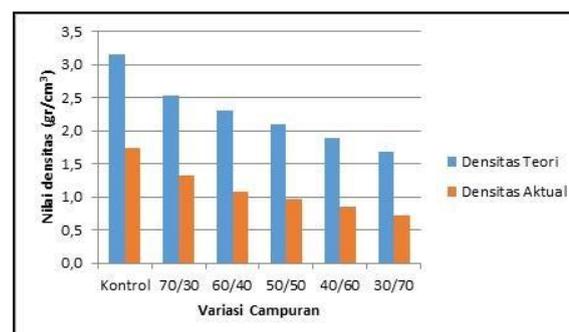
e. Pengamatan gugus fungsi dengan FTIR

Pengamatan ini meliputi pengambilan data spesimen dalam bentuk serbuk untuk mengetahui gugus fungsi yang terkandung dalam spesimen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengujian densitas

Hasil pengujian densitas menunjukkan perbandingan densitas aktual dan densitas teori. Nilai densitas diperoleh dari sampel BHA/ampas kopi/*shellac* setelah proses *sintering*. Hasil pengujian densitas dapat dilihat pada Gambar 1.



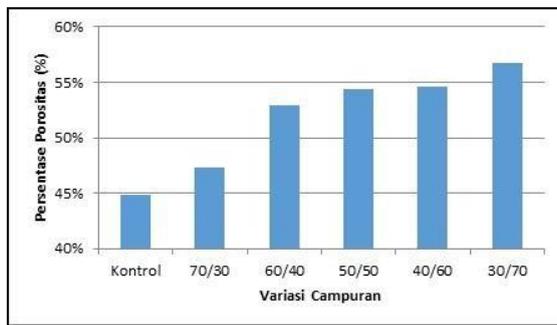
Gambar 1 Hasil pengujian densitas

Hasil pengujian densitas menunjukkan semakin banyak campuran ampas kopi yang digunakan maka nilai densitas semakin menurun. Nilai densitas dari yang paling tinggi ke yang paling rendah berturut-turut yaitu kontrol, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 dan 30/70 dengan nilai densitas teori sebesar 3.16, 2.53, 2.32, 2.11, 1.90 dan 1.69 serta densitas aktual sebesar 1.74, 1.33, 1.09, 0.96, 0.86, dan 0.73. Nilai densitas akan menurun seiring dengan meningkatnya kandungan ampas kopi yang ditambahkan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak ampas kopi yang digunakan maka semakin banyak porositas yang terbentuk dan menyebabkan kerapatan dari spesimen semakin berkurang.

Hasil penelitian dari Khalil [4] juga menyatakan bahwa nilai densitas akan menurun seiring dengan menurunnya kandungan hidroksiapatit yang ditambahkan.

Hasil pengujian porositas

Hasil pengujian densitas menunjukkan persentase porositas yang terkandung dalam sampel. persentase porositas diperoleh dari perhitungan densitas aktual dan densitas teoritis sampel BHA/ampas kopi/*shellac* setelah proses *sintering*. Persentase porositas dari tiap variasi campuran dapat dilihat pada Gambar 2.



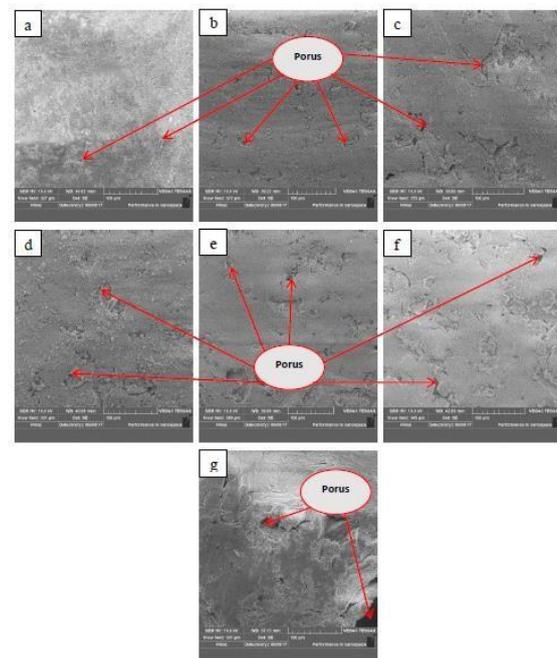
Gambar 2 Hasil pengujian porositas

Hasil pengujian porositas menunjukkan semakin banyak campuran ampas kopi yang digunakan maka persentase porositas semakin meningkat. Persentase porositas dari yang paling rendah ke yang paling tinggi berturut-turut yaitu kontrol, 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 dan 30/70 dengan persentase porositas sebesar 45%, 47%, 53%, 54%, 55% dan 57%. Terbentuknya porositas disebabkan oleh kandungan ampas kopi dan *shellac* yang bereaksi dengan oksigen ketika proses *sintering* sehingga berubah menjadi gas dan menguap.

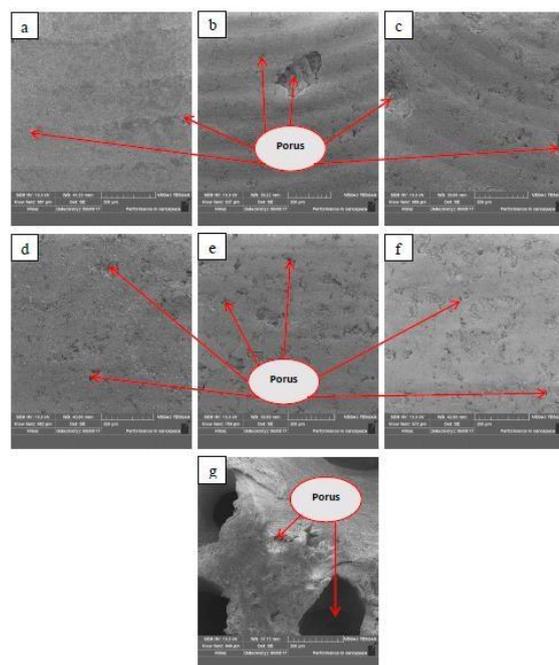
Hasil penelitian dari Wattanutchariya dan Changkowchai [5] juga menyatakan bahwa persentase porositas dari HA *scaffold* yang dicampur dengan chitosan dan gelatin (campuran pembentuk pori) akan meningkat dengan menurunnya konsentrasi dari HA *scaffold* serta meningkatnya konsentrasi dari chitosan dan gelatin.

Hasil pengamatan foto SEM

Hasil pengamatan foto SEM memperlihatkan bentuk porositas dari variasi sampel yang diperoleh dari sampel BHA/ampas kopi/*shellac* setelah proses *sintering*. Hasil foto SEM dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3 Foto SEM perbesaran 100x



Gambar 4 Foto SEM perbesaran 200x

Keterangan Gambar 3 dan Gambar 4 yaitu:

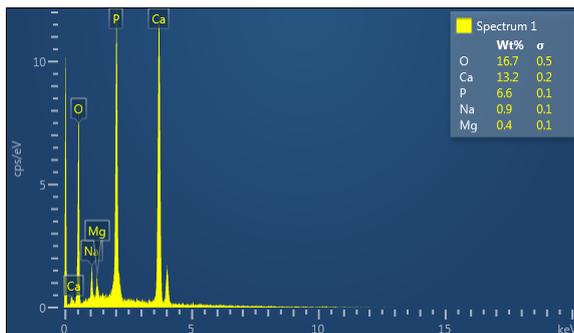
- BHA kontrol
- BHA/ampas kopi/*shellac* 70/30
- BHA/ampas kopi/*shellac* 60/40
- BHA/ampas kopi/*shellac* 50/50
- BHA/ampas kopi/*shellac* 40/60
- BHA/ampas kopi/*shellac* 30/70
- HA komersil

Hasil pengamatan foto SEM menunjukkan terbentuknya porositas pada BHA/ampas kopi/*shellac* dengan variasi 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 dan 30/70. Pada proses *sintering* terjadi pertumbuhan bulir yang disebabkan serbuk-serbuk BHA yang mencair sebagian dan saling mengikat ketika dipanaskan sampai suhu 1000°C kemudian menjadi keras ketika didinginkan sampai suhu ruangan (27°C). Pembentukan porus disebabkan oleh kandungan ampas kopi dan *shellac* yang bereaksi dengan oksigen ketika proses *sintering* sehingga berubah menjadi fasa gas dan menguap, hal ini menyebabkan terbentuknya rongga diantara serbuk BHA.

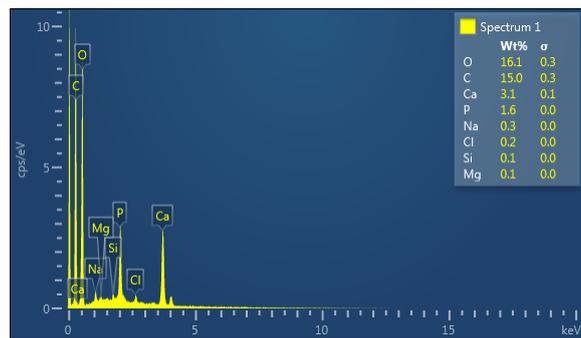
Hasil pengamatan foto SEM juga memperlihatkan porositas yang terbentuk tidak beraturan dan tidak merata serta semakin banyak campuran ampas kopi yang digunakan maka semakin banyak porositas yang terlihat. Pada BHA kontrol porus tidak terlalu terlihat hal ini disebabkan karena tidak adanya material pembentuk porus. Sedangkan bila dibandingkan dengan HA komersil, porus pada HA komersil terlihat sangat besar ini disebabkan karena pada HA komersil tulang sapi yang digunakan tidak dijadikan bentuk serbuk terlebih dahulu dan masih banyak terkandung unsur-unsur organik sehingga ketika dilakukan proses *sintering* bahan-bahan organik menghilang dan membentuk porus.

Hasil pengamatan SEM EDX

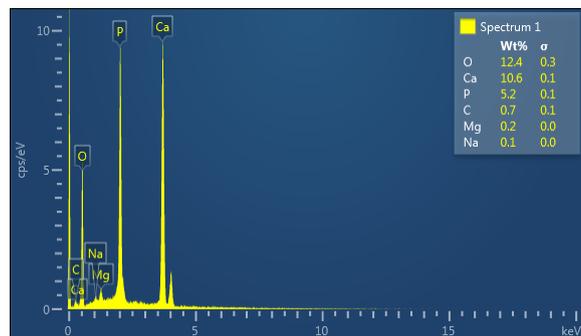
Hasil pengamatan SEM EDX menunjukkan unsur-unsur yang terkandung dalam sampel sampel BHA murni, BHA/ampas kopi/*shellac* sebelum proses *sintering* dan BHA/ampas kopi/*shellac* setelah proses *sintering*. Hasil SEM EDX dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. SEM EDX BHA murni



Gambar 6. SEM EDX BHA/ampas kopi/*shellac* sebelum disinter



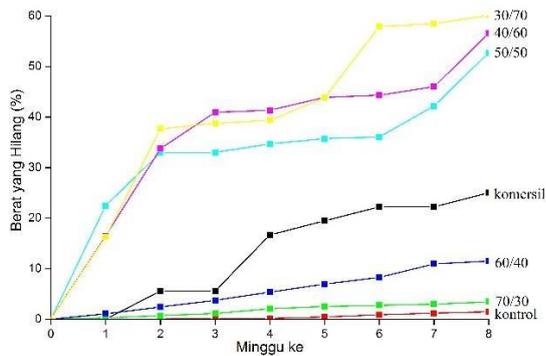
Gambar 7. SEM EDX BHA/ampas kopi/*shellac* sebelum disinter

Hasil spektrum EDX BHA murni (Gambar 5) menunjukkan adanya unsur-unsur anorganik pembentuk BHA yang terdiri dari Ca 13,2%; P 6,6%; dan O 16,7% sebagai unsur utama serta beberapa unsur dengan intensitas yang rendah yaitu Na 0,9% dan Mg 0,4%. Pada BHA/ampas kopi/*shellac* sebelum proses *sintering* (Gambar 6) menunjukkan unsur anorganik Ca 3,1%; P 1,6%; O 16,1% dan beberapa unsur dengan intensitas rendah yaitu Na 0,3%; Cl 0,2%; Si 0,1% dan Mg 0,1% serta adanya unsur C 15% yang menunjukkan adanya kandungan dari material pembentuk porus yaitu ampas kopi. Pada BHA/ampas kopi/*shellac* setelah proses *sintering* (Gambar 7) menunjukkan unsur anorganik Ca 10,6%; P 5,2% dan O 12,4% serta beberapa unsur dengan intensitas rendah yaitu C 0,7%; Mg 0,2% dan Na 0,1%. Hasil ini menunjukkan bahwa pada BHA murni tidak terdapat kandungan lain selain BHA (Ca, P, O, Na dan Mg) dan ketika dicampur dengan ampas kopi dan *shellac* menunjukkan adanya kandungan selain BHA yaitu C, Cl dan Si sedangkan ketika dilakukan proses *sintering* kandungan ampas kopi dan *shellac* (C, Cl dan Si) bereaksi dengan O₂ sehingga membentuk fasa gas dan menyebabkan kandungan ampas kopi dan *shellac* menguap dan menghilang.

Hasil penelitian dari Ooidkk [6] juga menyatakan bahwa spektrum EDX dari BHA yang dipanaskan sampai suhu 900°C menunjukkan adanya unsur anorganik berupa Ca dan P dengan intensitas tinggi serta Na, Mg, O dan C dengan intensitas rendah.

Hasil pengamatan laju degradasi

Hasil pengamatan laju degradasi menunjukkan penurunan berat sampel BHA/ampas kopi/shellac setelah proses *sintering* yang direndam pada larutan PBS (*Phospat Buffered Saline*) selama 8 minggu. Penurunan berat sampel dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Laju degradasi selama 8 minggu

Dari Gambar 8 dapat dilihat bahwa semua jenis sampel memiliki sifat *biodegradable* dan selama 8 minggu mengalami penurunan berat yang berbeda-beda. *Biodegradable* masing-masing dari yang paling lambat ke yang paling cepat berturut-turut yaitu 70/30, 60/40, 50/50, 40/60 dan 30/70. Dapat dilihat bahwa semakin banyak variasi campuran dari ampas kopi maka kemampuan degradasi dari material semakin cepat. Kemampuan degradasi ini dipengaruhi oleh semakin banyaknya variasi campuran maka persentase porositas semakin meningkat dan kerapatan semakin menurun sehingga menyebabkan semakin luasnya permukaan dari spesimen yang bersentuhan dengan larutan PBS.

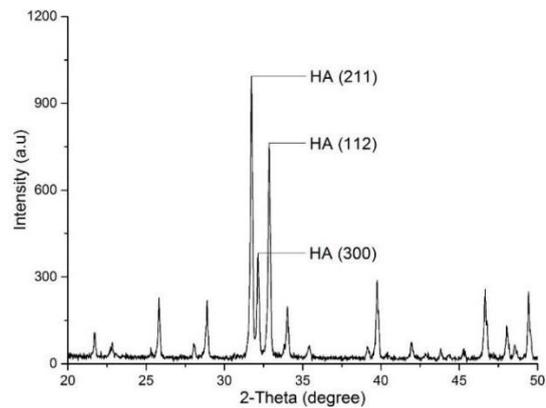
Variasi sampel dibandingkan dengan HA komersil dan BHA kontrol. Laju degradasi menunjukkan sampel 30/70, 40/60 dan 50/50 lebih cepat terdegradasi hal ini disebabkan ketika proses perendaman dan pengambilan berat sampel ada sebagian sampel yang mulai hancur sehingga berat yang hilang lebih banyak dari sampel 60/40 dan 70/30. Sedangkan pada sampel 60/40 dan 70/30 membutuhkan waktu lebih lama untuk terdegradasi. BHA kontrol memiliki waktu degradasi paling lama dari semua variasi sampel hal ini disebabkan karena pada BHA kontrol tidak terdapat campuran ampas kopi pembentuk porus sehingga larutan PBS yang bersentuhan dengan permukaan spesimen semakin sedikit, dan jika dibandingkan dengan HA komersil, BHA kontrol lebih lama untuk terdegradasi karena HA komersil memiliki persentase porositas yang lebih besar.

Hasil penelitian dari Wattanutchariya dan Changkowchai [5] juga menyatakan bahwa kemampuan degradasi dari HA *scaffold* yang dicampur dengan chitosan dan gelatin (campuran

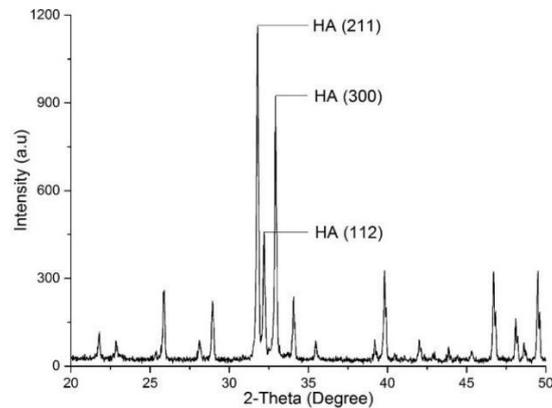
pembentuk pori) akan menurun dengan meningkatnya konsentrasi dari HA *scaffold* serta menurunnya konsentrasi dari chitosan dan gelatin.

Hasil pengamatan pola difraksi XRD

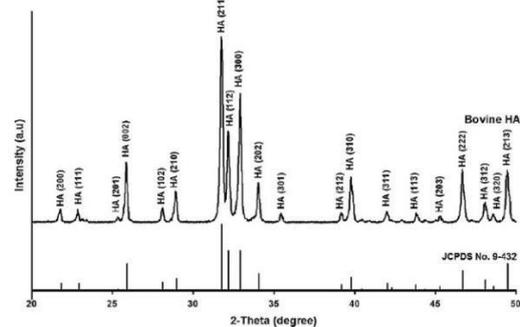
Hasil pengamatan pola difraksi XRD menunjukkan puncak-puncak dari fasa kristalin HA. Pola difraksi XRD diperoleh dari sampel BHA murni, BHA/ampas kopi/shellac setelah proses *sintering* yang dibandingkan dengan standard HA JCPDS 9-432. Pola difraksi dari masing-masing sampel dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.



Gambar 9 Pola difraksi XRD BHA murni



Gambar 10 Pola difraksi BHA/ampas kopi/shellac



Gambar 11 Pola difraksi XRD standard HA JCPDS 9-432

Pola difraksi dari BHA murni dan BHA/ampas kopi/*shellac* memiliki titik puncak dan intensitas yang hampir sama dengan standard HA JCPDS 9-432. Perbandingan titik puncak tertinggi dari BHA murni, BHA/ampas kopi/*shellac* dan HA JCPDS 9-432 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Perbandingan titik puncak tertinggi dari BHA murni, BHA/ampas kopi/*shellac* dan HA JCPDS 9-432

BHA murni		BHA/ampas kopi/ <i>shellac</i>		HA JCPDS 9-432		Peaks (bidang geser)
2θ (°)	d (Å)	2θ (°)	d (Å)	2θ (°)	d (Å)	
31,753	2,816	31,811	2,811	31,773	2,814	HA (211)
32,170	2,780	32,221	2,776	32,196	2,778	HA (112)
32,887	2,721	32,949	2,716	32,902	2,720	HA (300)

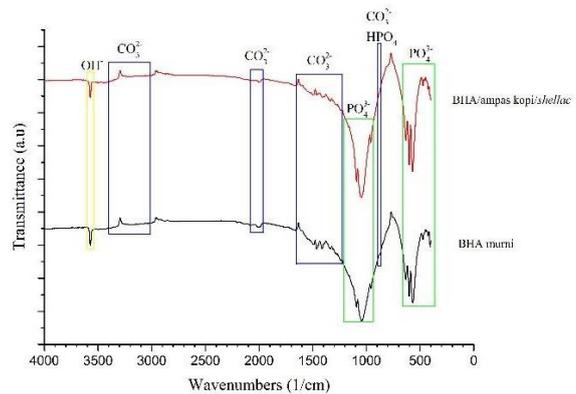
Pola difraksi BHA murni dikonfirmasi dengan pola difraksi standard HA JCPDS 9-432. Pola difraksi BHA murni menghasilkan intensitas tertinggi pada nilai 2θ: 31.753°, 32.170°, 32.887°. Jika dibandingkan dengan intensitas tertinggi dari standard HA JCPDS 9-432 yang mempunyai nilai 2θ: 31.773°, 32.196°, 32.902° maka bisa dikatakan BHA murni telah menjadi hidroksiapatit (HA).

Hasil penelitian Herliansyah dkk [7] juga menyatakan bahwa pola difraksi XRD dari serbuk BHA yang dipanaskan 900°C dengan kenaikan temperatur 5°C/menit dan penahanan temperatur selama 2 jam menunjukkan intensitas tertinggi pada nilai 2θ: 31.760°, 32.160°, 32.900°.

Pada Pola difraksi BHA/ampas kopi/*shellac* menghasilkan intensitas tertinggi pada nilai 2θ: 31.8111°, 32.9493°, 32.2207°. Jika dibandingkan dengan pola difraksi BHA murni, HA JCPDS 9-432 dan penelitian Herliansyah dkk [7] maka bisa dikatakan bahwa kandungan dari ampas kopi dan *shellac* telah mengalami penghilangan secara sempurna ketika BHA/ampas kopi/*shellac* disinter dengan suhu 1000°C.

Hasil pengamatan gugus fungsi FTIR

Hasil pengamatan gugus fungsi FTIR menunjukkan kandungan gugus fungsi yang terkandung dalam HA. Gugus fungsi FTIR diperoleh dari sampel BHA murni dan BHA/ampas kopi/*shellac* setelah proses *sintering*. Spektrum hasil uji FTIR dapat dilihat pada Gambar 12 dan ditabelkan pada Tabel 2.



Gambar 17. Spektrum gugus fungsi BHA murni dan BHA/ampas kopi/*shellac*.

Tabel 2. Spektrum hasil uji FTIR BHA murni dan BHA/ampas kopi/*shellac*

Gugus	Wavenumbers (1/cm)	
	BHA murni	BHA/ampas kopi/ <i>shellac</i>
v ₁ PO ₄ ³⁻	958.66	959.63
v ₂ PO ₄ ³⁻	473.54	473.54
v ₃ PO ₄ ³⁻	1091.76; 1044.5	1090.79; 1047.39
v ₄ PO ₄ ³⁻	632.68; 601.82; 568.06	632.68; 601.82; 569.99
v ₃ CO ₃ ²⁻	3427.65; 3002.65; 2077.42; 1989.66; 1654.03; 1601.95; 1546.01; 1492; 1463.07; 1412.92; 1333.83; 1239.32; 1288.5;	3436.33; 1494.9; 1410.99; 1333.83; 1239.32
v ₂ CO ₃ ²⁻	875.72	-
OH ⁻	3571.36	3572.32

Spektrum FTIR BHA murni menunjukkan adanya tiga titik puncak utama yang berupa gugus fungsi fosfat (PO₄³⁻), karbonat (CO₃²⁻) dan hidroksil (OH⁻).

Hasil penelitian Rehman dan Bonfield [8] yang meneliti tentang HA sintesis dan 5 HA komersil berbeda menunjukkan hasil dengan titik vibrasi yang sama yaitu:

1. Gugus fungsi PO₄³⁻ mempunyai empat titik vibrasi, yaitu vibrasi simetri *stretching* (v₁) dengan bilangan gelombang sekitar 961 cm⁻¹, vibrasi simetri *bending* (v₂) dengan bilangan gelombang sekitar 475-440 cm⁻¹, vibrasi asimetri *stretching* (v₃) dengan bilangan gelombang sekitar 1190-976 cm⁻¹ dan vibrasi asimetri *bending* (v₄) dengan bilangan gelombang sekitar 660-520 cm⁻¹.
2. Gugus fungsi CO₃²⁻ mempunyai dua titik vibrasi, yaitu sekitar 1650-1300 cm⁻¹, dan sekitar 875 cm⁻¹. Pada titik 875 cm⁻¹ selain menunjukkan gugus fungsi CO₃²⁻ juga menunjukkan gugus fungsi HPO₄²⁻.
3. Gugus fungsi OH⁻ terletak pada bilangan gelombang 3569 cm⁻¹.

Pada gugus fungsi spektrum FTIR BHA/ampas kopi/*shellac* menunjukkan gugus fungsi fosfat

tidak adanya puncak utama yang terlihat. Jika dibandingkan dengan gugus fungsi BHA murni dan penelitian Rehman dan Bonfield [8] maka bisa dikatakan bahwa kandungan dari *shellac* dan ampas kopi benar-benar menghilang secara sempurna ketika proses *sintering* dengan suhu 1000°C dan yang tersisa hanya hidroksiapatit.

KESIMPULAN

Berdasarkan proses pengujian, pengamatan serta hasil pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pengujian densitas dan porositas menunjukkan semakin banyak campuran ampas kopi yang digunakan maka nilai densitas semakin menurun dan persentase porositas semakin meningkat.
2. Pengamatan foto SEM memperlihatkan terbentuknya porus pada BHA/ampas kopi/*shellac* dengan variasi 70/30, 60/40, 50/50, 40/60, dan 30/70. Porus yang terbentuk tidak beraturan dan tidak merata serta semakin banyak campuran ampas kopi yang digunakan maka semakin banyak porositas yang terlihat. Pada pengamatan SEM EDX menunjukkan adanya unsur anorganik berupa Ca dan P dengan intensitas tinggi serta Na, Mg, O dan C dengan intensitas rendah.
3. Pengamatan laju degradasi menunjukkan bahwa semua jenis variasi sampel bersifat *biodegradable* dan semakin banyak campuran ampas kopi yang digunakan maka semakin cepat sampel untuk terdegradasi. Laju degradasi dari yang paling cepat ke yang paling lambat berturut-turut yaitu 30/70, 40/60, 50/50, 40/60 dan 70/30.
4. Pengamatan pola difraksi XRD menunjukkan BHA/ampas kopi/*shellac* sebagai fasa kemurnian dari hidroksiapatit (HA). Nilai 2θ untuk senyawa HA sesuai dengan pola difraksi standar HA JCPDS 9-432. Maka bisa dikatakan bahwa kandungan dari ampas kopi dan *shellac* telah menghilang secara sempurna setelah proses *sintering* sampai suhu 1000°C.
5. Analisa gugus fungsi dengan FTIR menunjukkan BHA/ampas kopi/*shellac* memiliki tiga titik puncak utama yang berupa gugus fungsi fosfat (PO_4^{3-}), karbonat (CO_3^{2-}) dan hidroksil (OH^-).

Tidak adanya puncak utama lain, menunjukkan bahwa kandungan dari *shellac* dan ampas kopi telah menghilang secara sempurna setelah proses *sintering* sampai suhu 1000°C dan yang tersisa hanya hidroksiapatit (HA).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Kusriani, M. Sontang, "Characterization of X-Ray Diffraction and Electron Spin Resonance: Effects of Sintering Time and Temperature on Bovine Hydroxyapatite," *Radiat. Phys. Chem.* vol. 81, pp. 118–125, 2012.
doi:10.1016/j.radphyschem.2011.10.006.

- [2] L. R. S. J. Park, "Biomaterials, Springer," New York, 2007. doi:10.1007/978-0-387-37880-0.
- [3] E. Tamariz, A. Rios-Ramrez, "Biodegradation of Medical Purpose Polymeric Materials and Their Impact on Biocompatibility," *Biodegrad. - Life Sci., InTech*, pp. 1–16, 2013. doi:10.5772/56220.
- [4] K.A. Khalil, "A New-Developed Nanostructured Mg / HAp Nanocomposite by High Frequency Induction Heat Sintering Process," *Int. J. Electrochem. Sci.* vol. 7, pp. 10698–10710, 2012.
- [5] W. Wattanuchariya, W. Changkowchai, "Characterization of Porous Scaffold from Chitosan - Gelatin / Hydroxyapatite for Bone Grafting," *Proc. Int. MultiConference Eng. Comput. Sci. II*, 2014.
- [6] C.Y. Ooi, M. Hamdi, S. Ramesh, "Properties of Hydroxyapatite Produced by Annealing of Bovine Bone," *Ceram. Int.* vol. 33, pp. 1171–1177, 2007. doi:10.1016/j.ceramint.2006.04.001.
- [7] M.K. Herliansyah, M. Hamdi, A. Ide-Ektessabi, M.W. Wildan, J.A. Toque, "The Influence of Sintering Temperature on the Properties of Compacted Bovine hydroxyapatite," *Mater. Sci. Eng. C* vol. 29, pp. 1674–1680, 2009. doi:10.1016/j.msec.2009.01.007.
- [8] I. Rehman, W. Bonfield, "Characterization of Hydroxyapatite and Carbonated Apatite by Photo Acoustic FTIR Spectroscopy," *J. Mater. Sci. Mater. Med.* vol. 8, pp. 1–4, 1997. doi:10.1023/A:1018570213546.