

SIFAT FISIS DAN MEKANIS KOMPOSIT *HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) – HYDROXYAPATITE (HAp)* DENGAN TEKNIK IRADIASI GAMMA

(*PHYSICO AND MECHANICAL PROPERTIES OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE)-HYDROXYAPATITE (HAp) COMPOSITES USING GAMMA IRRADIATION TECHNIQUES*)

Sulistioso Giat S¹, Sudirman¹, Devi Indah Anwar², F.Lukitowati³, dan Basril Abbas³

¹) Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) – BATAN, Serpong

²) Universitas Muhammadiyah, Sukabumi

³) Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR)-BATAN

E-mail : sulistioso@gmail.com

Received : 5 Januari 2015; *revised* : 23 Januari 2015; *accepted* : 29 Januari 2015

ABSTRAK

High Density Polyethylene (HDPE) sebagai polimer sintesis dengan kerapatan komposit yang tinggi dan *hydroxyapatite (HAp)* merupakan komponen tulang yang penting. Komposit *HDPE* yang berfungsi sebagai matriks dengan *HAp* selanjutnya dapat membentuk tulang sintetik. Komposit *HDPE-HAp* dengan rasio 2/1 : 3/1 : 4/1 (b/b,%) dikompaksi dan dipanaskan pada suhu 180 °C, selanjutnya diuji efektivitas radiasi gamma pada dosis 25 kGy dan 50 kGy. Komposit hasil iradiasi diukur kekerasan, perubahan struktur kimia, morfologi, sifat termal, dan kristalinitas menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*, dan *X-Ray Diffraction (XRD)*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kekerasan komposit meningkat dari nilai 65 *shore A* hingga 69,5 *shore A* dengan waktu pemanasan 1 jam, 2 jam, dan 86 *shore A* dengan dosis radiasi 50 kGy untuk sampel komposit *HDPE-HAp* (2:1). Berdasarkan pengamatan dengan *SEM* menunjukkan permukaan komposit yang kompak dan *HAp* terikat secara fisik berdasarkan pengukuran dengan *XRD* dan *DSC*. Pengukuran *FTIR* menunjukkan tidak terjadinya perubahan spektrum komposit hasil iradiasi. Iradiasi gamma dapat meningkatkan sifat mekanis komposit *HDPE-HAp*.

Kata kunci : *HDPE*, *HAp*, Iradiasi gamma, Tulang sintetik

ABSTRACT

High Density Polyethylene (HDPE) is high density of synthetic polymer and *hydroxyapatite (HAp)* as important bone component, the composite of them will made a synthetic bone, with *HDPE* as matrix and *HAp* as filler. *HDPE/HAp* composite with composition variation as follows 2/1 : 3/1 : 4/1 (b/b,%) compacted and heating at temperature 180 °C, and then gamma irradiated at dose 25 kGy and 50 kGy. Characterized of these composite sample, was covering of hardness, chemical structure, morphology, thermal property, and degree of crystallinity, using *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*, *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*, dan *X-Ray Diffraction (XRD)*. The result shows increasing hardness from 65 *shore A* to 69,5 *Shore A* by heating 1 hours, 2 hours, and 86 *Shore A* after irradiated by 50 kGy, for sample at composition *HDPE:HAp* (2:1). By *SEM* investigated, appear *HAp* physically bundle with matrix. Analysis by *XRD* revealed phase of *HAp* and from *DSC* analysis the melting point of the sample increase. From *FTIR* analysis, shows there is no change of composite spectrum after irradiated. The conclusion is gamma irradiation can increase of mechanical property without change of chemical structure.

Keywords : *HDPE*, *HAp*, Gamma irradiation, Synthetic bone

PENDAHULUAN

Penelitian dengan topik mengenai pengembangan material implan berbasis polimer sebagai biomaterial untuk prostetik, berkembang sejalan dengan semakin meningkatnya penelitian dan pengembangan biomaterial. Aplikasi komposit polimer di bidang medis salah satunya digunakan sebagai *bone plate* dan *screw*, untuk fiksasi tulang yang retak dan meregenerasi tulang yang patah kembali pada kondisi semula dengan mempertahankan bentuknya selama penyembuhan (Kohoe S 2008; Darmawati *et al.* 2008).

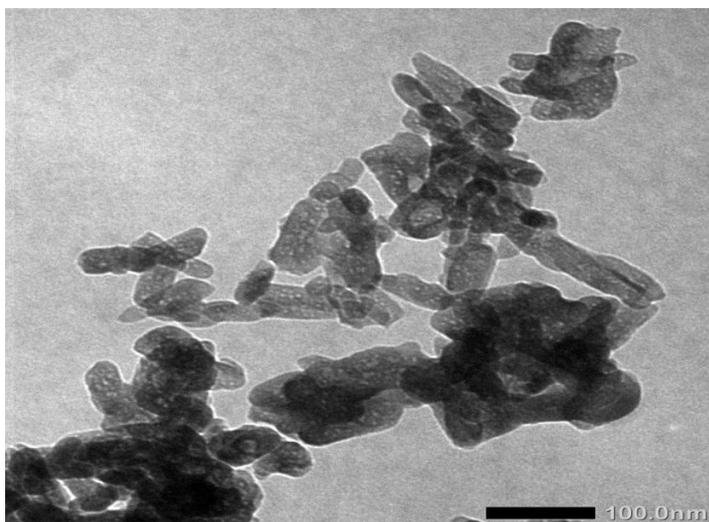
Hydroxyapatite (HAp) dengan rumus molekul $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ yang digunakan pada penelitian ini, disintesis dari sisik ikan dan memiliki dimensi panjang dengan kisaran 20 nm hingga 40 nm, lebar 20 nm dan tebal 1,5 nm hingga 5 nm, berbentuk jarum (*needle like*). *HAp* merupakan komponen mineral yang berperan penting pada tulang dan gigi. *HAp* dapat dibuat dari bahan organik atau bahan alam, mempunyai kemiripan sifat kimia dengan tulang. *HAp* berbasis bahan alam telah terbukti bersifat *biocompatible*, bioaktif, dan osteokonduktif serta ketersediaan bahan bakunya melimpah (Wang 2004).

HDPE (High Density Polyethylene) merupakan salah satu jenis polimer dengan kerapatan tinggi bersifat fleksibel, tahan benturan, tahan suhu rendah, bahkan tahan suhu air beku yang potensial sebagai kandidat matriks pada pembuatan komposit pengganti tulang. Selain itu, *HDPE* tahan terhadap bahan kimia dan harganya yang ekonomis. Oleh karena itu, gabungan (*blend*) *HAp* dengan

HDPE diharapkan dapat membentuk tulang sintetik (Sulistioso *et al.* 2012; Janaki *et al.* 2008).

Sintesis komposit *HDPE-HAp* dilakukan dengan metode kompaksi dan pemanasan yang selanjutnya diradiasi sinar gamma pada dosis tertentu, dengan tujuan meningkatkan kekerasan dari komposit. Radiasi berfungsi sebagai pemecah rantai polimer dan penghasil radikal bebas yang dapat menyebabkan pembentukan ikatan silang (*cross linking*) antara molekul polietilen. Oleh karena itu dengan meningkatnya dosis iradiasi, sifat mekanik komposit diharapkan meningkat (Sulistioso *et al.* 2012). Demikian juga dengan penambahan *hydroxyapatite* diharapkan kekerasan komposit *HDPE/HAp* akan naik, selain itu penambahan *HAp* juga ditujukan untuk menaikkan sifat biokompatibilitas.

Pada penelitian ini dilakukan iradiasi pada komposit *HDPE-HAp* menggunakan sinar gamma dengan dosis 25 kGy dan 50 kGy. Gambar morfologi dari *HAp* yang digunakan pada penelitian ini, yang difoto dengan *Transmission Electron Microscopy (TEM)*, ditampilkan pada Gambar 1. Karakterisasi komposit *HDPE-HAp* hasil sintesis, analisis fase dengan *XRD*, dan identifikasi gugus fungsi yang terbentuk pada sampel dengan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*, untuk analisis sifat termal komposit digunakan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*, serta analisis sifat mekanik dilakukan dengan uji kekerasan dengan *shore* skala A.



Gambar 1. Foto *hydroxyapatite* nano partikel menggunakan *TEM*

BAHAN DAN METODE

Bahan

High Density Polyethylene (HDPE) dan *hydroxyapatite* berukuran nanometer.

Metode

Sintesis Komposit *HDPE-HAp* Metode Kompaksi dan Pemanasan

HDPE dan *HAp* dibuat dengan komposisi 2:1; 3:1; 4:1 (% w/w) dan dimasukkan ke dalam cetakan berbentuk silinder dengan diameter 15 mm masing-masing 5 g. Kemudian sampel tersebut dikompaksi dengan tekanan 4000 kg/cm², setelah itu dipanaskan dalam *furnace* pada suhu 180 °C dengan waktu pemanasan 60 menit dan 120 menit.

Iradiasi Gamma Komposit *HDPE-HAp*

Sampel *HDPE-HAp* diradiasi dengan radiasi sinar gamma (γ) dengan sumber yang berasal dari radioisotop Co₆₀. Iradiasi dilakukan dengan alat Iradiator Karet Alam (IRKA) dengan dosis 25 kGy dan 50 kGy pada laju dosis 7,5 kGy/jam.

Uji Kekerasan

Sampel komposit *HDPE-HAp* diletakan di atas meja atau tempat yang rata kemudian alat uji kekerasan *shore A* diletakan di atas sampel. Beban seberat 1 kg diletakkan di atas alat tersebut selama 15 detik, nilai kekerasannya ditunjukkan pada skala, jika jarum jam penunjuk sudah mencapai posisi stabil.

Analisis Fase dengan *XRD*

Analisis fase dari sampel komposit *HDPE/HAp* menggunakan *XRD* pada rentang sudut difraksi (2θ) dari 10° sd 70°.

Karakterisasi Termal dengan *DSC*

Sifat termal sampel komposit *HDPE-HAp* dianalisis dengan *Differential Scanning Calorimetry (DSC)*. Sampel di *scanning* dari suhu ruang hingga suhu 250 °C dengan *heating rate* 20°C/menit.

Analisa Gugus Fungsi dengan *FTIR*

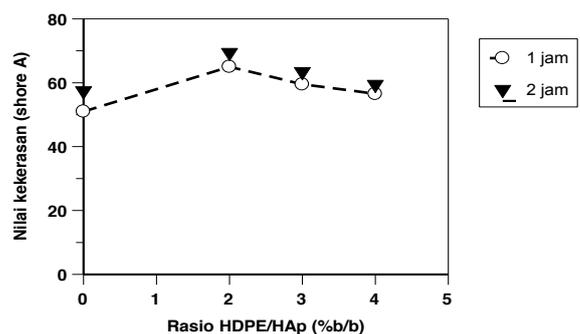
Bahan dasar *HDPE*, *HAp*, dan komposit *HDPE-HAp* sebelum dan setelah iradiasi di karakterisasi menggunakan *FTIR*. Pengujian dilakukan pada bilangan gelombang 4000 cm⁻¹ sampai dengan 400 cm⁻¹.

HASIL DAN PEMBAHASAN

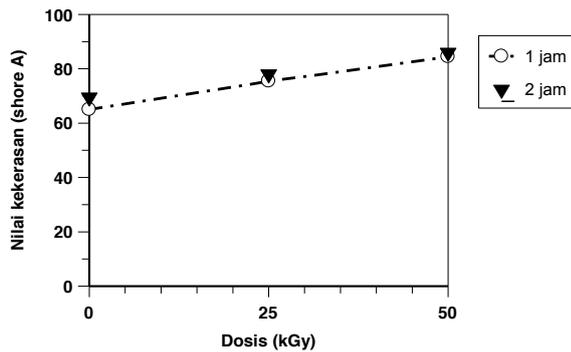
Uji Kekerasan Shore A

Sifat mekanik komposit *HDPE-HAp* menentukan kualitas dari aplikasi komposit tersebut. Pada penelitian ini dilakukan studi pengaruh waktu pemanasan, rasio *HDPE : HAp* dan radiasi sinar gamma terhadap sifat mekanik komposit. Analisis sifat mekanik sampel ekuivalen dengan hasil kekerasan, yang diperoleh dari uji kekerasan menggunakan alat *Zwick shore A*, nilai kekerasan ditampilkan pada Gambar 2. Terlihat bahwa dengan meningkatnya rasio *HAp* terhadap *HDPE* disertai meningkatnya waktu pemanasan, kekerasan komposit *HDPE-HAp* meningkat. Nilai kekerasan pada pemanasan selama 2 jam, memberikan nilai kekerasan sampel komposit lebih besar, pada semua rasio komposit dibandingkan pemanasan 1 jam. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya ikatan antar molekul *HDPE* dan *HAp* sebagai *filler* terikat di antara molekul-molekul *HDPE*, sehingga mengakibatkan berkurangnya porositas bahan dan menyebabkan komposit menjadi lebih kompak.

Iradiasi sinar gamma terhadap sampel komposit *HDPE-HAp*, dilakukan pada rasio komposisi *HDPE : HAp* (2:1), karena pada rasio ini menunjukkan kekerasan yang paling tinggi. Grafik perbandingan nilai kekerasan dengan dosis radiasi ditampilkan pada Gambar 3. Terlihat bahwa dengan meningkatnya dosis iradiasi dari 0 kGy hingga 50 kGy, kekerasan komposit *HDPE-HAp* (2:1) meningkat dari 78 *shore A* hingga 86 *shore A*.



Gambar 2. Nilai kekerasan komposit terhadap rasio *HDPE-HAp* pada pemanasan 1 jam dan 2 jam



Gambar 3. Pengaruh dosis iradiasi terhadap nilai kekerasan komposit HDPE-HAp (2:1) pada pemanasan 1 jam dan 2 jam

Hal ini diasumsikan terjadi akibat terbentuknya ikatan taut silang (*cross linking*) antar alkil radikal polimer dengan meningkatnya dosis iradiasi hingga 50 kGy, sehingga ikatan rantai HDPE menjadi lebih kuat dan kekerasan komposit meningkat. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan Silvo *et al.* (2002) yang menyatakan bahwa kekerasan permukaan polimer polietilena meningkat dengan meningkatnya dosis radiasi.

Analisis Fase dengan XRD

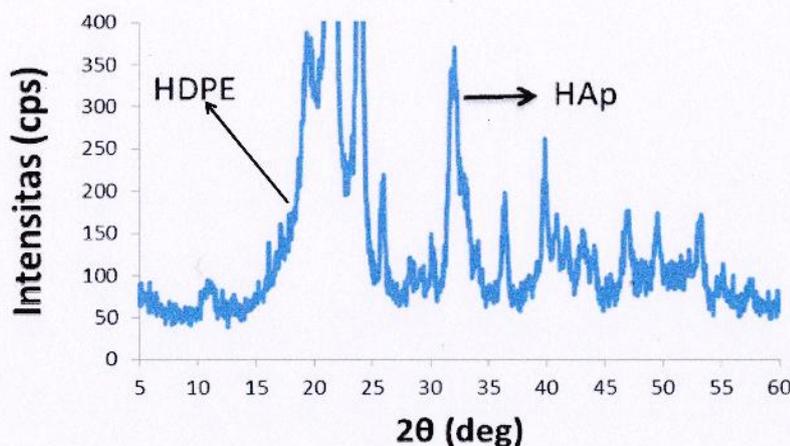
Karakterisasi XRD digunakan untuk menganalisis fase dan derajat kristalinitas komposit HDPE-HAp sebelum dan setelah iradiasi gamma. Berdasarkan pola difraktogram pada Gambar 4 menunjukkan fase spesifik untuk polimer HDPE pada sudut $2\theta = 21.5^\circ$, 23.95° , dan 26.05° . Hal ini sesuai dengan penelitian Kim *et al.* (2010) bahwa fase HDPE spesifik pada

$2\theta = 21.44^\circ$, 23.83° , serta Jaggi *et al.* (2012) pada $2\theta = 26, 44^\circ$ dan 21.39° , 23.56° , dan $36,13^\circ$.

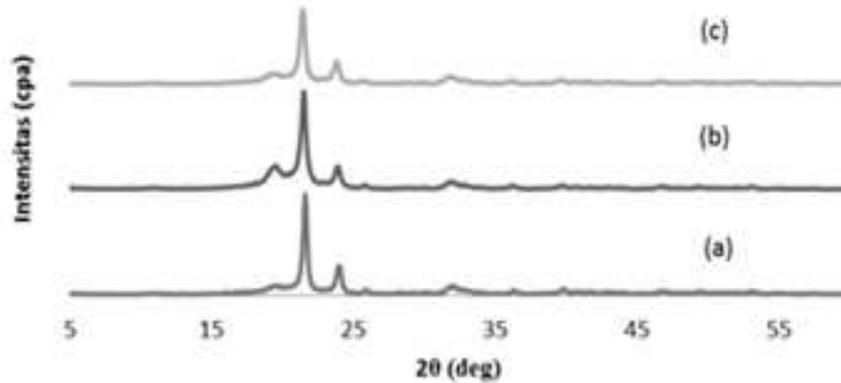
Pola XRD dari fase HAp (Gambar 4) adalah pada sudut $2\theta = 25.85^\circ$, 26.22° , 32.1° , 36.4° , dan $39,85^\circ$. Data ini sesuai dengan database *Joint Committee Powder Diffraction Standards (JCPDS)* nomor 50-0584. Pola difraksi komposit HDPE-HAp (2:1) setelah iradiasi sinar gamma pola difraksi dari sampel ditunjukkan pada Gambar 5. Fase HDPE menunjukkan penurunan intensitas seiring dengan meningkatnya dosis radiasi. Penurunan intensitas pola difraksi HDPE pada 3850 cps, 3773 cps, dan 2892 cps disebabkan oleh terjadinya ikatan silang (*cross linking*) pada rantai polimer HDPE sehingga mengalami perubahan fase dan fase kristalin menjadi fase amorf.

Pada pola difraksi sampel setelah iradiasi tampak bahwa fase kristalin dari HDPE intensitasnya menurun, hal disebabkan karena fase amorfnya meningkat. Sedangkan pada fase HAp tidak mengalami perubahan pola difraksi. Hal ini disebabkan karena HAp merupakan senyawa biokeramik yang stabil.

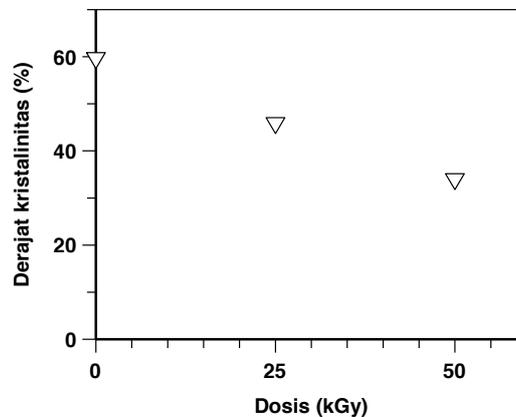
Penentuan derajat kristalinitas menggunakan metode gunting timbang yang ditampilkan pada Gambar 6, menunjukkan bahwa terjadi penurunan derajat kristalinitas komposit HDPE-HAp. Penurunan derajat kristalinitas tersebut disebabkan oleh terjadinya *cross linking* pada HDPE yang menyebabkan terjadinya perubahan fase HDPE dari fase kristalin ke fase amorf.



Gambar 4. Pola difraksi sinar - X sampel HDPE/HAp (2:1)



Gambar 5. Pola difraksi komposit *HDPE-HAp* setelah diradiasi (a) 0 kGy; (b) 25 kGy; (c) 50 kGy



Gambar 6. Derajat kristalinitas terhadap dosis radiasi

Analisis Termal dengan DSC

Karakterisasi DSC dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan *HAp* dan dosis radiasi terhadap titik leleh dan entalpi peleburan polimer *HDPE*. Analisis termal sampel komposit dilakukan dengan alat DSC pada rentang suhu 25 °C sampai 180 °C. Grafik yang dihasilkan oleh DSC dari sampel komposit *HDPE-HAp*, memberikan data nilai titik leleh dan entalpi peleburan ditampilkan pada Gambar 7a, Gambar 7b, Gambar 7c, Gambar 7d, dan Tabel 1. Terlihat bahwa penambahan *filler HAp* dan iradiasi sinar gamma pada sampel komposit *HDPE-HAp* tidak menghasilkan perubahan pada titik leleh, hal ini disebabkan karena *filler HAp* tidak berinteraksi secara kimia dengan *HDPE*, maka keberadaan *HAp* tidak berkontribusi pada sifat termal dari *HDPE*. Sehingga titik lebur yang terukur hanya titik lebur *HDPE* (Tabel 1). Demikian juga dengan entalpi peleburan, perubahan pada nilai entalpi peleburan dipengaruhi oleh sifat kristalinitas dari *HDPE*, setelah sampel komposit *HDPE-HAp* diiradiasi, maka terjadi ikatan silang (*cross linking*) yang

menyebabkan struktur *HDPE* menjadi semikristalin. Struktur semikristalin akibat iradiasi menjadikan nilai kekerasan *HDPE* naik (Tabel 2). Karena ikatan rantai *HDPE* menjadi semakin pendek sehingga terjadi *interlock* (saling mengunci) maka partikel-partikel *HDPE* semakin sulit untuk bergulir, maka kekerasannya menjadi naik. Keberadaan *filler HAp*, walaupun tidak berinteraksi secara kimia dengan *HDPE*, namun berkontribusi pada kenaikan nilai kekerasan komposit *HDPE-HAp* karena butir butir *HAp* akan menyusup diantara rantai polimer, menjadikan penghalang untuk rantai polimer dapat bergerak dengan bebas. Keberadaan pencampuran *HAp* juga meningkatkan biokompatibilitas sampel komposit *HDPE-HAp*.

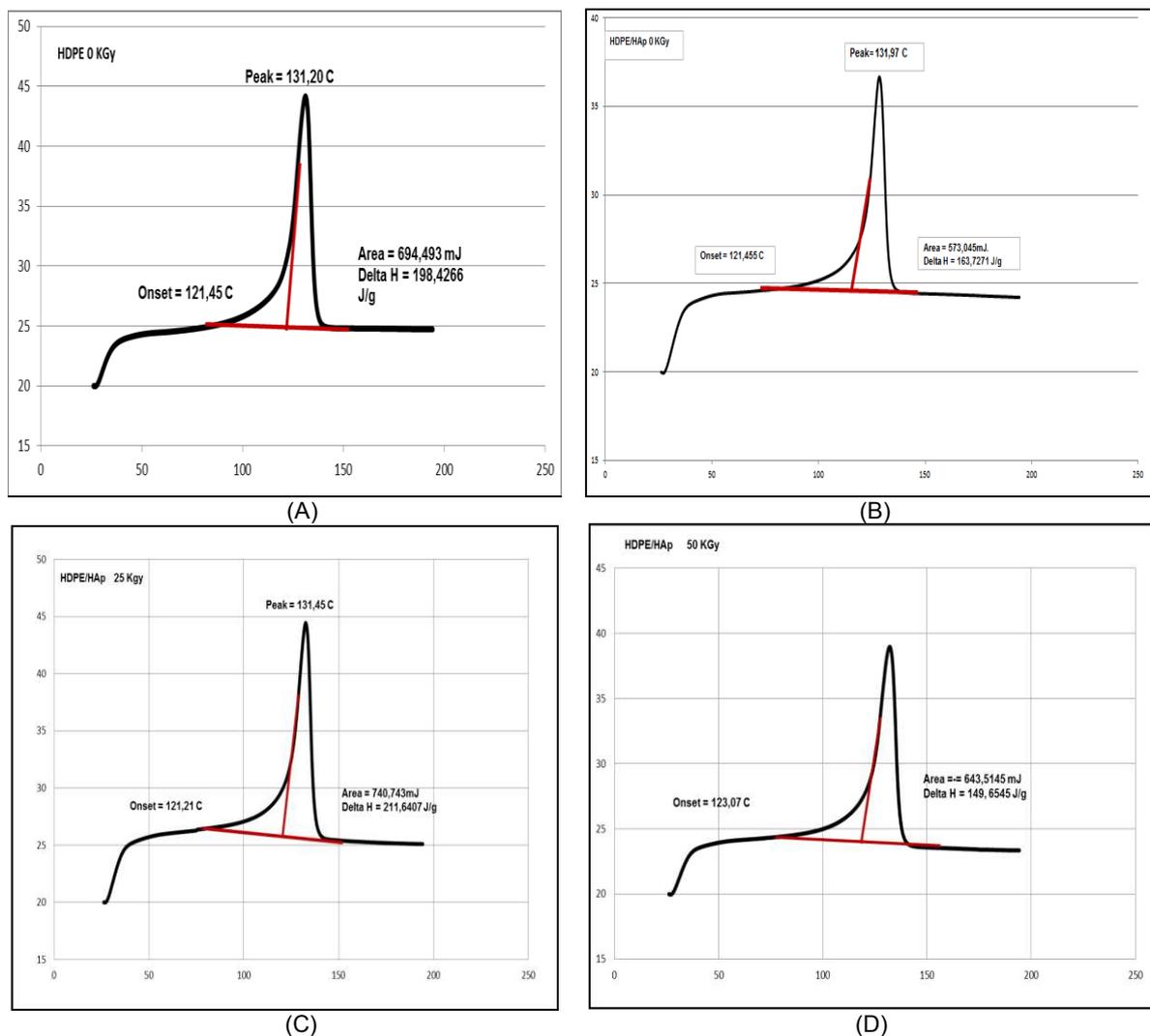
Entalpi peleburan menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan untuk mengubah fase suatu zat dari wujud padat ke wujud cair. Entalpi peleburan (ΔH) mengalami penurunan dengan berkurangnya derajat kristalinitas. Entalpi peleburan (ΔH) dari komposit *HDPE/HAp* setelah diiradiasi mengalami penurunan, hal ini

disebabkan oleh fase kristalinitas *HDPE* berkurang akibat adanya ikatan silang (*cross linking*). Energi yang digunakan untuk merusak susunan partikel dengan fase kristalin lebih tinggi daripada energi yang dibutuhkan untuk merusak fase amorf. Susunan partikel berhubungan dengan ikatan antar partikel. Ikatan antar partikel kristal lebih kuat daripada ikatan partikel amorf sehingga memerlukan energi yang lebih tinggi untuk memutuskan ikatannya. Semakin tinggi derajat kristalinitasnya, maka semakin besar energi yang dibutuhkan untuk mengubah bahan tersebut dari padat menjadi cair (Jaggi *et al.* 2012; Yulindo 2008). Ekuivalen dengan proses iradiasi yang menyebabkan terjadinya ikatan silang, sehingga kekerasan *HDPE* naik, maka nilai entalpi peleburan dari sampel komposit setelah diiradiasi yang menurun, menunjukkan derajat kristalinitas yang menurun (Gambar 7c,

Gambar 7d), diikuti dengan kenaikan nilai kekerasan.

Karakterisasi Gugus Fungsi dengan FTIR

Karakterisasi *FTIR* bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi pada komposit *HDPE-HAp* yang terbentuk dengan adanya radiasi sinar gamma. Molekul *HDPE* memiliki vibrasi yang spesifik yaitu pada bilangan gelombang 2915 cm^{-1} , 2850 cm^{-1} , 1467 cm^{-1} , dan 720 cm^{-1} (Yulindo 2008; Ayidin 2010) sedangkan gugus fungsi yang teridentifikasi pada *HAp* diantaranya adalah gugus fosfat (PO_4^{3-}) pada bilangan gelombang 1024 cm^{-1} sampai 1092 cm^{-1} , gugus karbonat (CO_3^{2-}) pada bilangan gelombang 1420 cm^{-1} dan 1456 cm^{-1} , dan gugus hidroksil (OH^-) pada bilangan gelombang sekitar 3576 cm^{-1} dan 632 cm^{-1} (Aruneshan *et al.* 2013; Maisara *et al.* 2011). Pita vibrasi komposit *HDPE-HAp* ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 7. Termogram hasil pengukuran menggunakan *DSC* (A) *HDPE*; (B) *HDPE-HAp* dosis radiasi 0 kGy; (C) *HDPE-HAp* dosis radiasi 25 kGy; (D) *HDPE-HAp* dosis radiasi 50 kGy

Ikatan silang (*cross linking*) rantai *HDPE* dapat diamati pada spektrum *FTIR* (Gambar 8). Spektrum *FTIR* vibrasi ulur simetri C-H pada panjang gelombang 2924.60 cm dan vibrasi asimetri C-H pada panjang gelombang 2846.9947 cm berubah menjadi 2913.5142 cm dan 2849.7663 cm. Selain pengaruh radiasi Gamma, spektrum *FTIR* juga memberikan

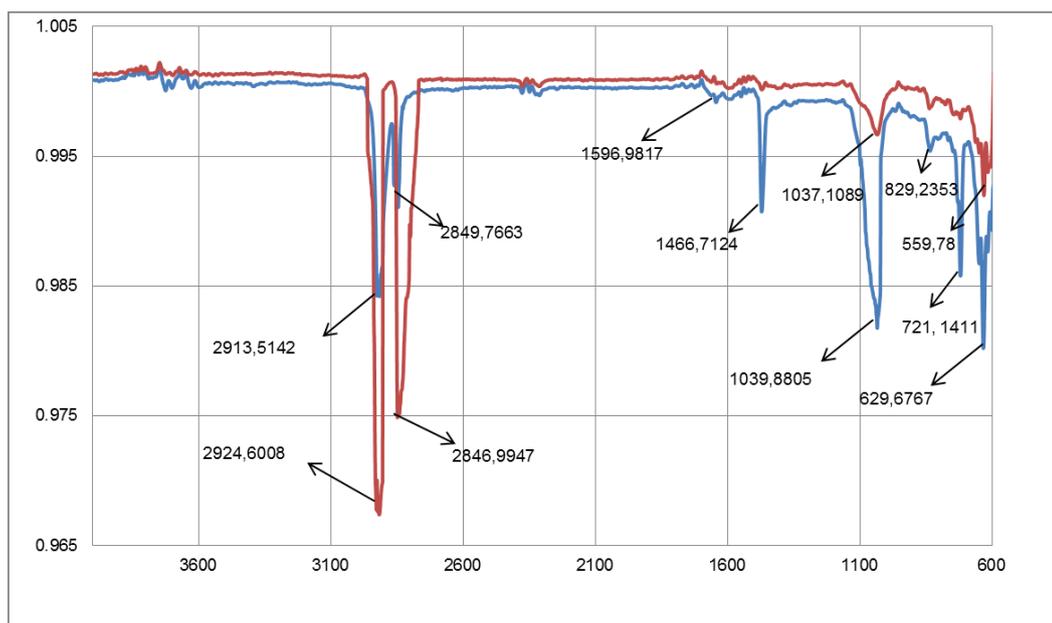
informasi sifat reaksi antara komposit *HDPE-HAp*. Spektrum *FTIR* menyatakan bahwa filler *HAp* terikat oleh matrik *HDPE* secara fisika. Hal ini dapat terlihat pada puncak khas masing-masing spektrum *HAp* dan *HDPE* dan tidak ditemukan pita serapan baru sebagai molekul baru yang terbentuk.

Tabel 1. Hasil analisis termal komposit *HDPE* pemberian radiasi pada dosis 0 kGy sampai 50 kGy

Rasio <i>HDPE/HAp</i> (5 b/b)	Dosis iradiasi (kGy)	Titik leleh (°C)	Entalpi peleburan (ΔH , kJ/g)
<i>HDPE</i>	0	131,20	198.4266
2:1	0	131.54	163.7271
2:1	25	131.97	160.3506
2:1	50	131.97	149.6546

Tabel 2. Pita-pita vibrasi pada komposit *HDPE/HAp*

Bilangan gelombang (cm^{-1})	Dosis Radiasi (kGy)	Vibrasi	Molekul
2924.60	0	Ulur simetri C-H	<i>HDPE</i>
2913.5	50	Ulur simetri C-H	<i>HDPE</i>
2846.99	0	Ulur asimetri C-H	<i>HDPE</i>
2844.22	50	Ulur asimetri C-H	<i>HDPE</i>
1596.98	50	Ulur asimetri CO_3^{2-}	<i>HAp</i>
1475.03	0	Ulur C=C	<i>HDPE</i>
1466.71	50	Ulur C=C	<i>HDPE</i>
1037.11	0	Ulur asimetri PO_4^{3-}	<i>HAp</i>
1039.88	50	Ulur asimetri PO_4^{3-}	<i>HAp</i>
829.24	0	Tekuk simetri CO_3^{2-}	<i>HAp</i>
837.55	50	Tekuk simetri CO_3^{2-}	<i>HAp</i>
715.59	0	Goyang $(\text{CH}_2)_n$	<i>HDPE</i>
721.14	50	Goyang $(\text{CH}_2)_n$	<i>HDPE</i>
632.45	0	OH luar bidang	<i>HAp</i>
629.68	50	OH luar bidang	<i>HAp</i>



Gambar 8. Spektrum *FTIR* 0 kGy dan 50 kGy

KESIMPULAN

Sintesis komposit *HDPE-HAp* dilakukan dengan metode kompaksi *cold compressing* dan pemanasan. Rasio komposit *HDPE-HAp* adalah 2:1; 3:1; dan 4:1 (% w/w). Rasio *HDPE-HAp* 2:1 memiliki sifat bahan yang lebih keras dengan dosis radiasi 50 kGy. Pola difraktogram *XRD HDPE* pada sudut $2\theta = 21.5^\circ$, 23.95° , dan 26.05° dan *HAp* 25.85° , 26.22° , 32.1° , 36.4° , dan 39.85° . Adanya *filler HAp* dan radiasi gamma tidak memberikan pengaruh secara signifikan pada titik leleh *HDPE*, karena interaksi *filler HAp* dengan matriks *HDPE* bersifat reaksi fisika, tetapi entalpi mengalami penurunan dari 198.4266 J/g menjadi 149.6546 J/g. Penurunan entalpi sampel sesuai dengan penurunan derajat kristalinitas *HDPE* akibat sampel mengalami *cross linking*, sehingga mengalami perubahan fase dari fase kristal menjadi fase semi kristalin. Dari hasil data *XRD* dan *FTIR* menunjukkan ikatan *filler HAp* dengan matriks *HDPE* hanya bersifat ikatan fisik saja.

DAFTAR PUSTAKA

- Arunseshan, C., S. Suresh, and D. M. Arivuoli. 2013. Synthesis and characterization of nano-hydroxyapatite (n-HAp) using the wet chemical technique. *International Journal of Physical Sciences* 8(32): 1639-1645.
- Ayidin, E. 2010. *Biodegradable polymer-hydroxyapatite nanocomposites for bone plate applications*. Middle East Technical University: Doctor of Philosophy in Biotechnology Department.
- Darmawati M.Y., O. Bretcanu, and A.R. Boccaccini. 2008. Polymer-bioceramic composite for tissue engineering scaffold. *Journal Material Sciences*. 43: 4433-4442.
- Jaggi H.S., Y. Kumar, B. Satapathy, A.R. Ray, and A. Patnaik. 2012. Analytical interpretations of structural and mechanical response of high density polyethylene/hydroxyapatite biocomposites. *Journal Materials and Design*. (36): 757-766.
- Janaki, K., S. Elamathi, and D. Sangeetha. 2008. Development and characterization of polymer ceramics composites for orthopedics applications. *Trends Biomaterial Artif.Organs* : 169-178.
- Kehoe, S. 2008. *Optimisation of hydroxyapatite (HAp) for orthopaedic application via the chemical precipitation technique*. School of Mechanical and Manufacturing Engineering Dublin City University.
- Maisara, S.M., Arsad, P.M. Lee, and L.K. Hung. 2011. Synthesis and characterization of hydroxyapatite nanoparticles and β -TCP particles. 2nd *International Conference on Biotechnology and food science IPCBEE*.
- Silvo, L.D., M.J. Dalby, and W. Bonfield. 2002. Osteoblast behaviour on HA/PE surface with different HA volumes. *Biomaterials*. 23: 101-107.
- Sulistioso G. S., D. Ramadhani, M. Christina, N. Marnada. 2012. Pengaruh Radiasi Gamma terhadap sifat *HDPE* untuk Tibial tray. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi*. 8 (2):
- Yulindo, Y. 2008. *Migrasi Dioktil Ftalat dan Etilen Glikol ke dalam Struktur Poliuretan dengan Memanjang Rantai Diamina Aromatik dan Pengaruhnya Terhadap Kinerja Material*. Jakarta (ID): Universitas Indonesia.
- Wang, M. 2004. *Bioactive Ceramic-Polimer Composites for Tissue Replacement*. Biomaterials Engineering and processing. School of Mechanical and Production Engineering. Nanyang Tech. University Singapore.