

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Hasil Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ )

Hidroksiapatit disintesis dari cangkang telur ayam merah petelur sebagai sumber kalsium dan asam fosfat sebagai sumber fosfat. Kalsium pada cangkang telur ayam berada dalam bentuk kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), sehingga perlu dilakukan kalsinasi untuk mengubah  $\text{CaCO}_3$  menjadi  $\text{CaO}$ . Adanya senyawa karbonat dapat mengganggu proses pembentukan kristal hidroksiapatit maka diperlukan proses kalsinasi (Dahlan, 2013 & Nurlaela dkk, 2014). Selain itu, kalsinasi juga berfungsi untuk menghilangkan komponen-komponen organik dalam serbuk cangkang telur dan pelepasan  $\text{CO}_2$ .



Gambar 3. Serbuk (a) Cangkang telur ayam, (b)  $\text{CaO}$

Serbuk cangkang telur ayam setelah dikalsinasi  $\text{CaO}$  (Gambar 3b) berwarna lebih putih dan memiliki tekstur yang lebih halus dari serbuk cangkang telur ayam sebelum dikalsinasi. Proses kalsinasi menyebabkan massa cangkang telur ayam berkurang dan diperoleh 53,08% (b/b) serbuk hasil kalsinasi (Lampiran 2). Hasil ini tidak jauh berbeda dengan yang diperoleh Saleha dkk (2015) yaitu sebesar 53,69%. Berkurangnya massa sebelum dan sesudah kalsinasi dikarenakan hilangnya senyawa-senyawa yang berikatan secara kimia dengan materi akibat panas yang tinggi (Ruksudjarit *et al*, 2008).

Serbuk  $\text{CaO}$  hasil kalsinasi digunakan sebagai sumber kalsium dalam mensintesis hidroksiapatit. Hidroksiapatit hasil sintesis dengan metode sol-gel berupa serbuk berwarna putih yang homogen (Gambar 4). Thamaraiselvi *et al*,

(2006) melaporkan bahwa hidroksiapatit yang disintesis dengan metode sol-gel memiliki ukuran butir yang relatif homogen dan kemurnian yang baik.



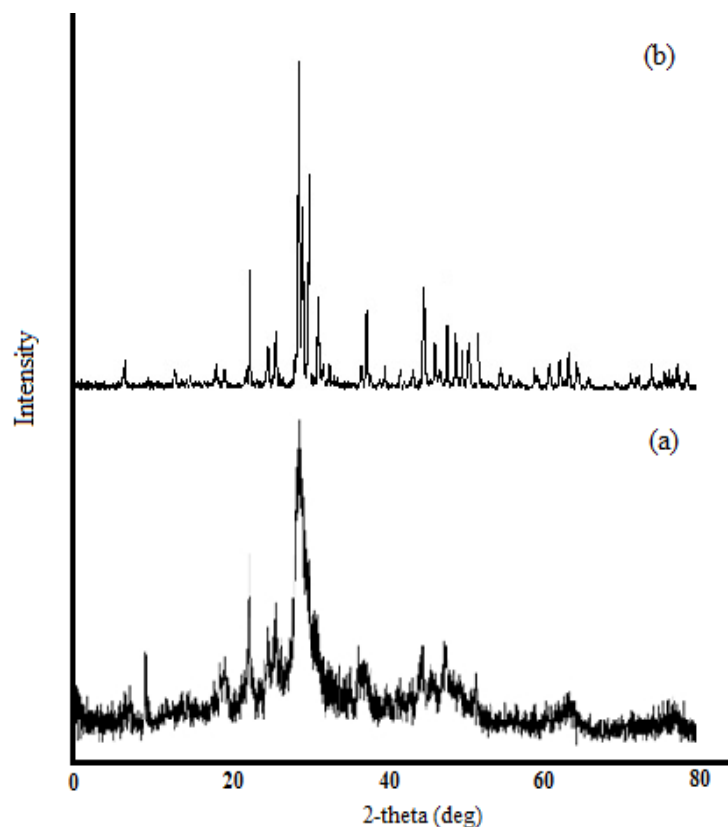
Gambar 4. Serbuk Hidroksiapatit

Rendemen yang diperoleh dari sintesis hidroksiapatit dengan metode sol-gel ini berkisar 87,57% (b/b) (Lampiran 4). Rendemen yang diperoleh dari penelitian ini jauh lebih banyak dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Puspita & Cahyaningrum (2017) yang memperoleh rendemen sebesar 32,4830%. Hal ini dikarenakan metode sintesis yang digunakan berbeda, dimana Puspita & Cahyaningrum (2017) menggunakan metode sintesis pengendapan basah. Pada proses pemanasan hidroksiapatit mengalami penyusutan massa akibat penguapan zat-zat yang mudah menguap. Rendemen yang berkurang ini dapat dikarenakan adanya pemanasan pada suhu tinggi. Pemanasan tersebut menguraikan zat organik dan air sehingga menyebabkan massa hidroksiapatit berkurang (Bao and Pang, 2003).

Serbuk hidroksiapatit hasil sintesis dikarakterisasi menggunakan XRD dan membandingkannya dengan XRD hidroksiapatit standar. Difraktogram hidroksiapatit hasil sintesis (Gambar 5b) menunjukkan puncak yang tajam pada nilai  $2\theta$  sebesar 25,946; 31,856; 32,274 dan 32,976 (Lampiran 7). Nilai  $2\theta$  dari difraktogram hidroksiapatit hasil sintesis dicocokkan dengan data JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*) dengan No. 09-0432. Berdasarkan data JCPDS No. 09-0432, fasa HAp dicirikan intensitas utama pada nilai  $2\theta$  sebesar 25,879; 31,773; 32,196 dan 32,902 (Lampiran 6).

Pola difraksi sinar-X yang terbentuk (Gambar 5b) menunjukkan bahwa proses sintesis yang dilakukan telah berhasil mendapatkan hidroksiapatit. Pola

difraksi sinar-X tersebut telah menunjukkan karakteristik puncak-puncak yang dimiliki oleh hidroksiapatit, dengan intensitas puncak yang tinggi. Intensitas tertinggi dari difraktogram hidroksiapatit hasil sintesis sebesar 479 pada sudut  $2\theta$  31,856 (Lampiran 7). Sementara pada hidroksiapatit standar memiliki intensitas 131 pada sudut  $2\theta$  31,83 (Lampiran 8).



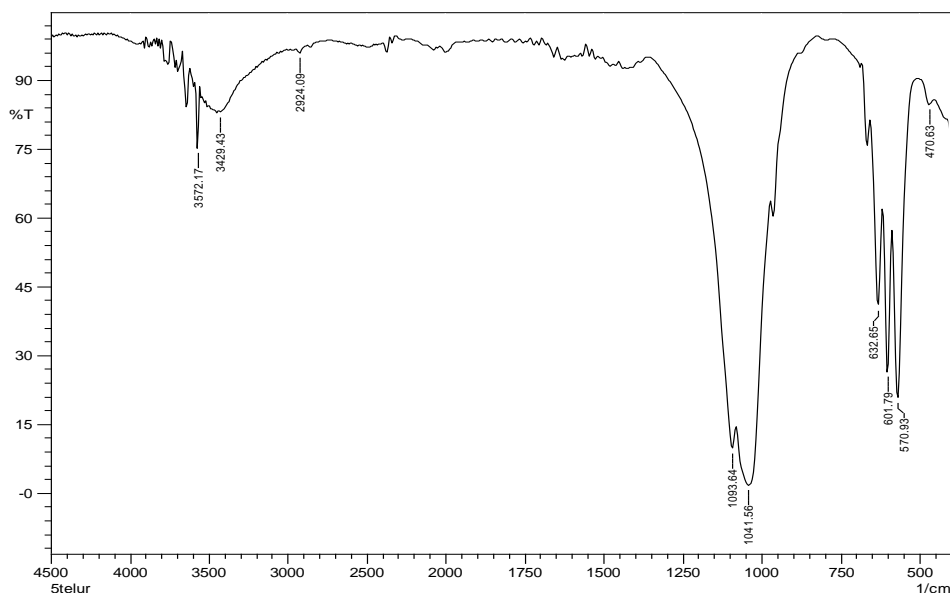
Gambar 5. Difraktogram sinar-X (a) Hidroksiapatit standar, (b) Hidroksiapatit hasil sintesis

Hidroksiapatit hasil sintesis memiliki intensitas yang lebih tinggi dibandingkan hidroksiapatit standar, karena hidroksiapatit standar bersifat lebih amorf. Menurut Suryadi (2011), material yang kristalinitasnya tinggi akan memiliki puncak difraktogram yang tinggi. Hal ini menandakan bahwa penelitian ini telah berhasil memperoleh hidroksiapatit dengan kristalinitas yang lebih baik dari hidroksiapatit standar. Hidroksiapatit yang disintesis dengan metode sol-gel dapat menghasilkan serbuk dengan kristalinitas tinggi (Thamaraiselvi *et al*, 2006).

Gambar 5a menunjukkan bahwa puncak tertinggi dari hidroksiapatit standar lebih lebar dibandingkan dengan puncak dari hidroksiapatit hasil sintesis. Lebar

puncak memberikan informasi mengenai ukuran kristal. Semakin kecil ukuran kristal maka semakin lebar puncak difraksi yang dihasilkan (Abdullah dan Khairurrijal, 2009). Ukuran kristal hidroksiapatit standar yang diperoleh melalui persamaan Debye-Scherrer berdasarkan nilai FWHM sebesar 5,35 nm. Ukuran tersebut jauh lebih kecil dibandingkan hidroksiapatit hasil sintesis yaitu 43,77 nm (Lampiran 11). Ukuran kristal hidroksiapatit yang didapatkan berbanding terbalik dengan FWHM atau nilai lebar setengah puncak tertingginya. Jika nilai FWHM kecil maka ukuran kristal semakin besar (Balgies dkk, 2011).

FTIR berfungsi mengidentifikasi gugus fungsi dalam sampel. Spektrum FTIR hidroksiapatit hasil sintesis pada Gambar 6 menunjukkan pita serapan O-H dari gugus  $\text{OH}^-$  (hidroksil) pada bilangan gelombang 632,65; 3429,43; dan 3572,17  $\text{cm}^{-1}$ . Gugus  $\text{PO}_4^{3-}$  (posfat) ditunjukkan oleh adanya vibrasi P-O yang terdeteksi pada bilangan gelombang 470,63; 570,93; 601,79; dan 1041,56  $\text{cm}^{-1}$  (Purwasasmita, 2008).

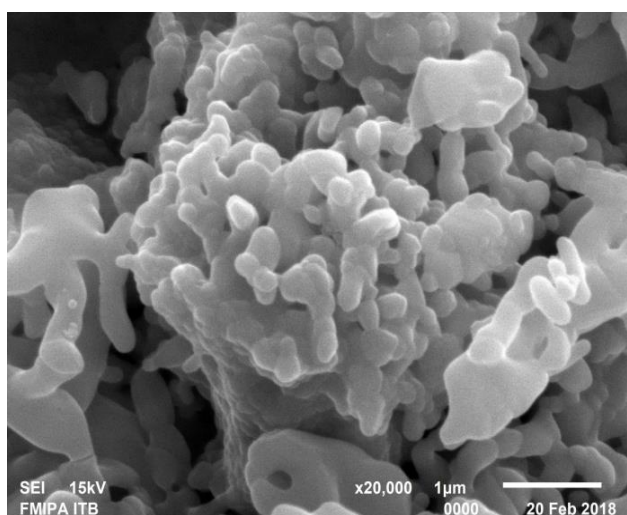


Gambar 6. Spektrum FTIR hidroksiapatit hasil sintesis

Munculnya pita serapan gugus  $\text{OH}^-$  dan  $\text{PO}_4^{3-}$  menunjukkan bahwa telah terbentuk kristal hidroksiapatit. Hal ini didukung dengan data hasil karakterisasi XRD sebelumnya bahwa sudut dengan puncak tertinggi pada difraktogram mengidentifikasi adanya fasa hidroksiapatit. Bilangan gelombang yang diperoleh dari penelitian ini tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian oleh

Iwasaki *et al* (2013) mengkarakterisasi hidroksiapatit menggunakan FTIR memperoleh pita serapan gugus  $\text{PO}_4^{3-}$  pada bilangan gelombang 471; 569; 580; 607;  $1047\text{ cm}^{-1}$  dan 3450 dan  $3560\text{ cm}^{-1}$  untuk gugus  $\text{OH}^-$ . Pada penelitiannya, Iwasaki juga mendapati adanya gugus  $\text{CO}_3^{2-}$  pada bilangan gelombang 875; 1419; dan  $1457\text{ cm}^{-1}$ . Pada spektrum FTIR hidroksiapatit hasil sintesis (Gambar 6) tidak terlihat adanya pita serapan gugus karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) yang merupakan inhibitor pertumbuhan kristal hidroksiapatit, sehingga menandakan kristal hidroksiapatit yang disintesis sudah terbentuk dengan baik. Tidak ditemukannya gugus karbonat menunjukkan bahwa  $\text{CaCO}_3$  telah terdekomposisi menjadi  $\text{CaO}$ .

Morfologi permukaan sampel hidroksiapatit dan kandungan unsur-unsur yang terdapat di dalam sampel hidroksiapatit dikarakterisasi menggunakan SEM-EDS. Hasil Karakterisasi menggunakan SEM hidroksiapatit dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Hasil karakterisasi SEM hidroksiapatit perbesaran 20.000x

Tabel 1. Data unsur-unsur penyusun hidroksiapatit

Unsur	% Massa
Ca	28,58
P	17,30
O	54,13

Morfologi permukaan sampel hidroksiapatit yang ditunjukkan pada Gambar 7 terlihat bahwa hidroksiapatit berbentuk butir-butir granular dengan ukuran partikel yang cukup merata dan tidak terlalu besar. Tabel 1 menampilkan persen

massa unsur-unsur penyusun hidroksiapatit, diantaranya elemen Ca, P, dan O. Kandungan Ca (kalsium) sebesar 28,58% dan P (posfat) sebesar 17,30%, sehingga didapatkan rasio perbandingan Ca/P sebesar 1,28 (Lampiran 15). Rasio perbandingan Ca/P yang diperoleh oleh Mahreni dkk (2012) yang juga mensintesis hidroksiapatit dari cangkang telur sebesar 1,60. Rasio Ca/P pada hidroksiapatit murni yaitu 1,67, sementara rasio Ca/P yang diperoleh pada penelitian ini lebih kecil disebabkan karena pada proses sintesis tidak semua kandungan Ca dan P bereaksi atau ada yang hilang ketika dipanaskan pada temperatur tinggi.

#### 4.2. Hasil Sintesis dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

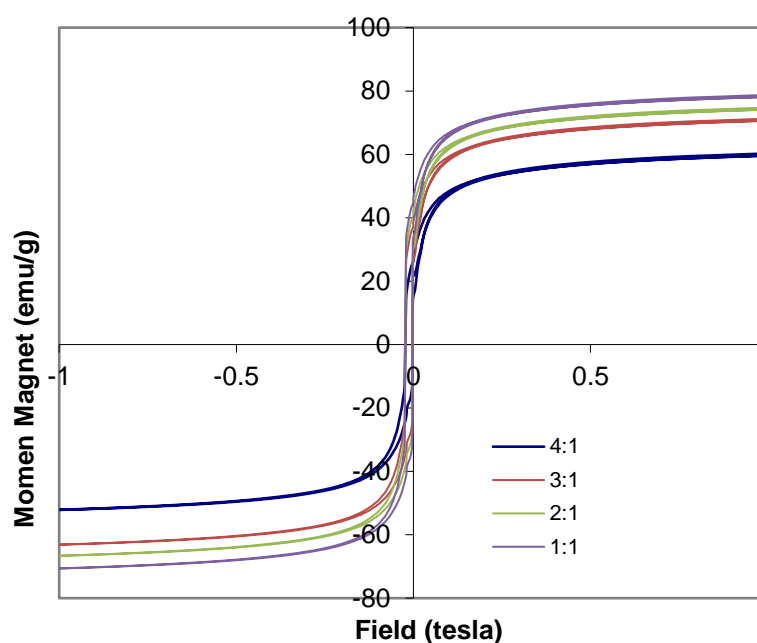
Pada penelitian ini,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  terbentuk dari reaksi antara  $\text{FeCl}_3$  dan  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . Hasil sintesis komposit dengan variasi perbandingan hidroksiapatit dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang berbeda-beda dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil sintesis komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$   
(a) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1, (b) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  2:1,  
(c) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  3:1, (d) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  4:1

Jika dilihat dari warna yang dihasilkan, perbandingan hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 (Gambar 8 a) memiliki warna yang lebih hitam dan lebih mudah ditarik dengan

magnet daripada perbandingan yang lainnya. Hal ini dikarenakan persentase kandungan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada perbandingan 1:1 lebih banyak. Jumlah elemen serbuk magnet didalam komposit sangat menentukan kekuatan medan magnet dari komposit yang dihasilkan (Lih-Jiun *et al*, 2012). Nilai magnetik dari serbuk komposit hidroksiapatit-  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dengan variasi perbandingan 1:1; 2:1; 3:1; dan 4:1 diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Data yang diperoleh dari pengujian VSM berupa kurva histeresis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Kurva histeresis komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

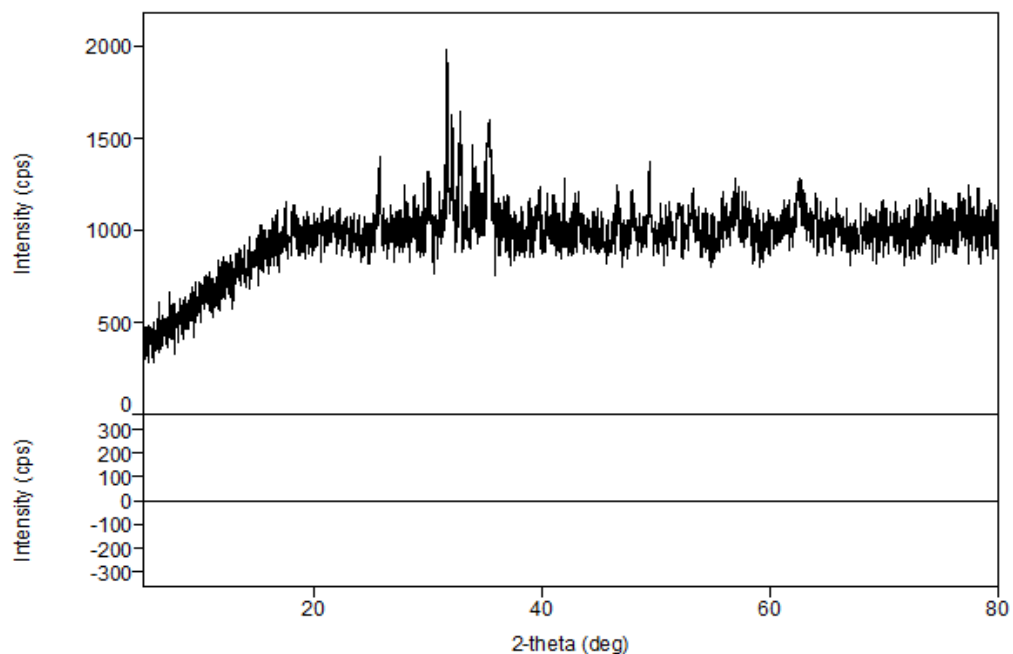
Tabel 2. Nilai magnetisasi saturasi (Ms) untuk komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Perbandingan Hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$	Ms (emu/g)
1:1	78,76
2:1	74,76
3:1	71,26
4:1	60,27

Berdasarkan kurva histeresis tersebut komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 memiliki momen magnet yang lebih tinggi dibandingkan dengan perbandingan lainnya. Momen magnet yang lebih tinggi menunjukkan bahwa bahan tersebut mempunyai nilai magnetisasi saturasi yang lebih besar. Nilai magnetisasi saturasi (Ms) untuk komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ditunjukkan pada Tabel 2, dapat dilihat

bahwa komposit dengan perbandingan hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 mempunyai sifat magnet lebih besar yang ditandai dengan nilai magnetisasi saturasi lebih besar dibandingkan perbandingan lainnya, yakni 78,76 emu/g. Sifat magnet pada komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  disebabkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  merupakan bahan yang bersifat feromagnetik atau yang memiliki sifat magnet sangat kuat (Sholihah, 2010).

Perbandingan hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 dengan nilai magnetik terbaik dari uji VSM dikarakterisasi dengan XRD untuk menganalisis struktur kristal dari sampel komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Puncak pada difraktogram sinar-X yang diperoleh dicocokkan dengan puncak karakteristik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang ditunjukkan pada data JCPDS No. 19-629 yakni puncak pada sudut 30,10; 35,42; 37,05; 43,05; 53,39; 57,30 dan 63,10, serta JCPDS No. 09-0432 untuk hidroksiapatit. Hasil difraksi sinar-X komposit hidroksiapatit-  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat dilihat pada Gambar 10 berikut.

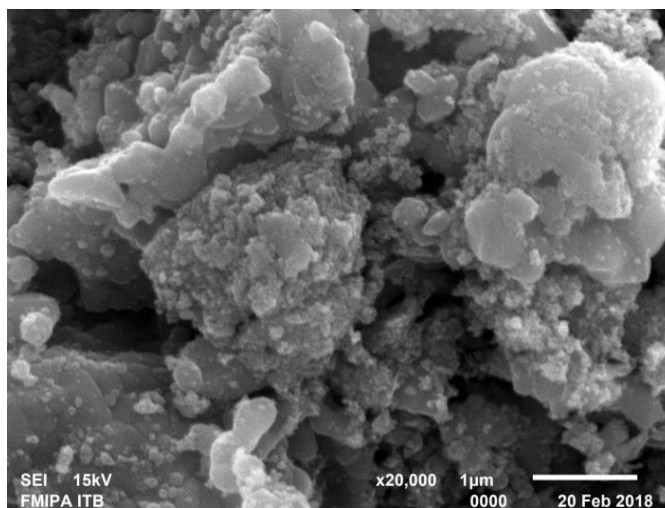


Gambar 10. Difraktogram Sinar-X Komposit Hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1

Berdasarkan pola difraksi sinar-X dapat diamati adanya fasa hidroksiapatit dan fasa  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada sampel komposit. Setelah dilakukan identifikasi puncak-puncak difraktogram, terdapat lima puncak milik hidroksiapatit ( $2\theta = 31,755$ ; 32,185; 32,942; 46,704; dan 49,524) dan dua puncak milik  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  ( $2\theta = 35,420$  dan 62,570) (Lampiran 8). Karakterisasi yang serupa juga dilakukan oleh Pistone *et al* (2014) memperoleh pola difraksi sinar-X dengan puncak untuk hidroksiapatit



pada  $2\theta = 21$ ; 26; 30-34; dan 40, serta puncak  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  pada  $2\theta = 35,5$  dan 57,1. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan persamaan Debye-Scherrer didapatkan ukuran kristal untuk sampel komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 sebesar 64,26 nm (Lampiran 11). Ukuran kristal hidroksiapatit setelah dikompositkan dengan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  lebih besar dibandingkan dengan ukuran kristal hidroksiapatit hasil sintesis. Hal ini dikarenakan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang masuk ke dalam pori-pori hidroksiapatit menyebabkan ukuran partikelnya menjadi lebih besar.



Gambar 11. Hasil karakterisasi SEM hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 perbesaran 20.000x

Tabel 3. Data unsur-unsur penyusun hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1

Unsur	% Massa
Ca	23,55
P	13,46
O	48,95
Fe	14,04

Morfologi permukaan hidroksiapatit-  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 dikarakterisasi menggunakan SEM dapat dilihat pada Gambar 11, pada gambar tersebut terlihat permukaan yang berbentuk granular dengan bentuk bulatan yang halus yang berukuran lebih besar jika dibandingkan dengan morfologi hidroksiapatit sebelum dikompositkan (Gambar 7). Penelitian yang dilakukan oleh Iwasaki *et al* (2013), menunjukkan morfologi hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  tidak membentuk agregat yang besar dan tersebar homogen. Sintesis dengan metode kopresipitasi dapat memperoleh hasil yang memiliki sifat monodispersif, artinya partikel pada bahan terdistribusi secara

merata atau seragam (Perdana dkk, 2013). Berdasarkan karakterisasi VSM pada pembahasan sebelumnya telah didapatkan bahwa komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 memiliki sifat magnet. Hal tersebut didukung juga dengan data hasil EDS pada Tabel 3 yang menunjukkan bahwa telah ditemukan unsur Fe sebagai salah satu unsur penyusun bahan komposit yaitu sebesar 14,04%. Unsur-unsur penyusun lainnya diantaranya Ca sebesar 23,55% dan P sebesar 13,46%, sehingga dari massa tersebut didapatkan rasio perbandingan Ca/P sebesar 1,36 (Lampiran 15). Rasio Ca/P komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 tersebut lebih besar dibandingkan dengan rasio Ca/P hidroksiapatit hasil sintesis. Hal ini menandakan bahwa kandungan Ca dan P pada fase hidroksiapatit setelah dikompositkan lebih baik dan lebih murni.

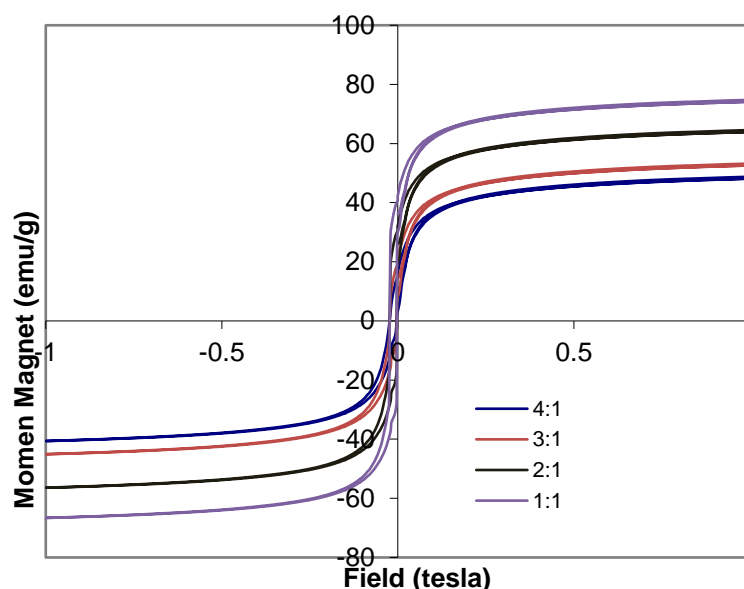
#### 4.3. Hasil Sintesis dan Karakterisasi Komposit Hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Pada komposit hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  juga dilakukan penambahan PEG-4000 sebagai *template*. Hasil sintesis komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  dapat dilihat pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Hasil sintesis komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  
(a) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1, (b) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  2:1,  
(c) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  3:1, (d) Hidroksiapatit :  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  4:1

Serbuk komposit yang dihasilkan memiliki struktur yang halus dan memiliki warna dari hitam sampai coklat terang bergantung pada perbandingan hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Hasil sintesis komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  seperti yang dapat dilihat pada Gambar 12, bahwa komposit dengan perbandingan hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 memiliki warna yang lebih hitam dibandingkan lainnya. Pada perbandingan hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1, 2:1, 3:1, dan 4:1 berturut-turut memiliki warna yang semakin kecoklatan terang, karena komposisi  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  yang menyusun komposit semakin sedikit. Serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  memiliki warna hitam, sehingga komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 yang berwarna lebih hitam daripada perbandingan komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  lainnya memiliki kandungan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  lebih tinggi.



Gambar 13. Kurva histeresis komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

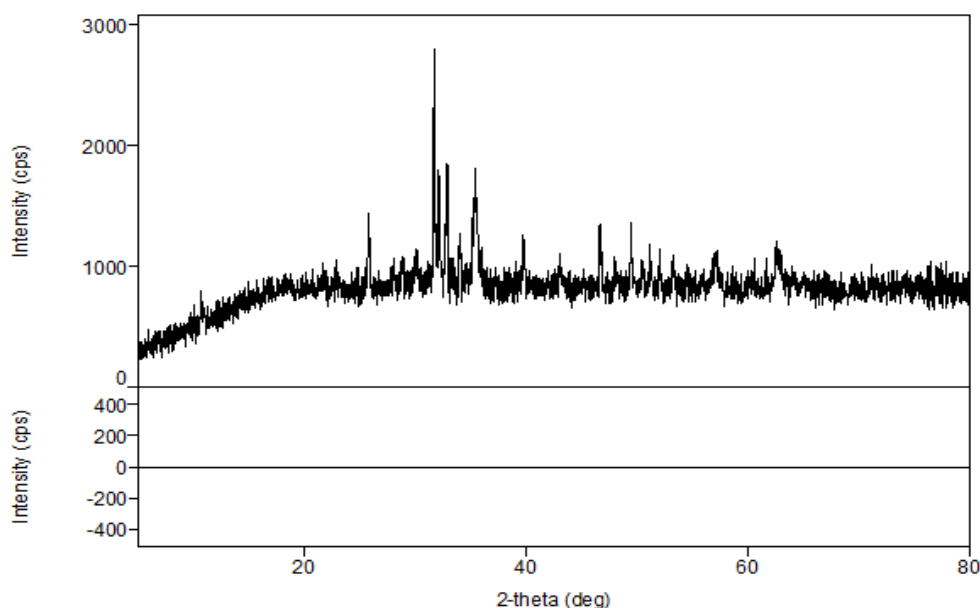
Tabel 4. Nilai magnetisasi saturasi ( $M_s$ ) untuk komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Perbandingan Hidroksiapatit- $\text{Fe}_3\text{O}_4$	$M_s$ (emu/g)
1:1	74,76
2:1	64,55
3:1	53,21
4:1	48,76

Berdasarkan kurva histeresis (Gambar 13) dapat dilihat pada kurva tersebut komposit hidroksiapatit-PEG- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  1:1 memiliki momen magnet paling besar

daripada perbandingan yang lainnya. Data pada Tabel 4 menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sampel dengan terbesar adalah hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1, yaitu 74,76 emu/g. Nilai magnetisasi saturasi tersebut lebih kecil dari nilai magnetisasi saturasi hidroksiapatit- Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1. Hal ini dikarenakan ukuran kristal yang dimiliki oleh komposit dengan penambahan PEG memiliki ukuran kristal yang lebih kecil dibandingkan tanpa penambahan PEG. Ukuran kristal yang semakin kecil maka kemungkinan besar bahan tersebut mempunyai domain magnetik yang semakin sedikit, akibatnya jumlah momen magnetiknya juga semakin sedikit sehingga memiliki nilai magnetisasi saturasi lebih kecil. Semakin besar ukuran kristalnya, maka bahan tersebut cenderung mempunyai domain magnetik jamak (Perdana dkk, 2013).

Penelitian yang serupa dilakukan oleh Nuzully, dkk (2013) dan melaporkan bahwa dengan adanya penambahan PEG nilai magnetisasi saturasi dari nanopartikel magnetik menurun dikarenakan penambahan material ke dalam material yang bersifat magnet dapat mempengaruhi sifat magnetnya bergantung pada sifat material yang ditambahkan tersebut, dimana PEG merupakan material yang bersifat paramagnetik yang akan menurunkan nilai magnetisasi saturasinya.



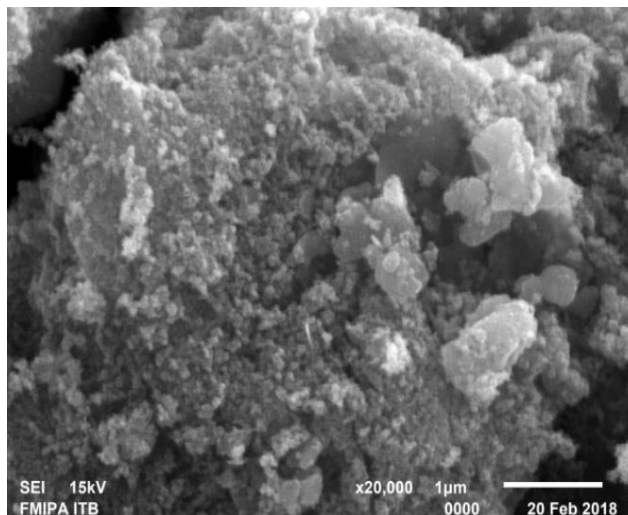
Gambar 14. Difraktogram Sinar-X Komposit Hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1

Komposit dengan nilai megnetik tertinggi dari karakterisasi VSM yakni hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1 selanjutnya diidentifikasi menggunakan XRD.

Gambar 14 menunjukkan pola difraksi sinar-X dari sampel komposit hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan perbandingan hidroksiapatit dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1. Fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> diperoleh pada sudut  $2\theta$  36,36 dan 62,55 serta hidroksiapatit pada sudut  $2\theta$  31,68 dan 32,86. Difraktogram sinar-X menunjukkan bahwa sampel mengandung fasa hidroksiapatit dan fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, dan tidak ditemukannya fasa lain. Hal ini berarti tidak adanya fasa PEG dalam sampel, karena PEG-4000 tidak ikut bereaksi dan hanya berperan sebagai *template* saja.

Difraktogram Sinar-X (Gambar 14) memiliki intensitas yang tinggi yang menunjukkan bahwa komposit hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1 hasil sintesis memiliki kristalinitas yang baik. Intensitas yang tinggi menunjukkan bahwa suatu bahan memiliki keteraturan kristal yang baik atau semakin banyak atom-atom yang tersusun teratur (Puryanti dan Andani, 2015). Pada difraktogram dapat dilihat bahwa puncak yang terbentuk lebih lebar dibandingkan dengan sampel komposit tanpa penambahan PEG-4000. Puncak yang lebih lebar mengindikasikan bahwa ukuran partikel yang terbentuk lebih kecil (Perdana dkk, 2013). Ukuran partikel komposit hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1 yang dihasilkan adalah 41,70 nm (Lampiran 11), lebih kecil dibandingkan ukuran partikel hidroksiapatit-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tanpa PEG-4000. Hal ini dikarenakan PEG-4000 akan melapisi partikel yang dapat menghambat pertumbuhan dari partikel dan dapat mencegah terjadinya aglomerasi sehingga dihasilkan distribusi ukuran partikel yang lebih kecil (Astuti dan Hasanah, 2012).

Hasil SEM pada Gambar 15 menunjukkan morfologi dari komposit hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, dapat dilihat bahwa dengan adanya penambahan PEG-4000 menyebabkan penyebaran ukuran partikel lebih merata. PEG-4000 berfungsi membungkus partikel sehingga tidak terbentuk agregat, dikarenakan PEG-4000 menempel pada permukaan partikel dan menutupi ion positif yang bersangkutan untuk bergabung dan membesar, sehingga pada akhirnya akan diperoleh partikel dengan ukuran yang seragam (Siswanto dan Suharyadi, 2014).



Gambar 15. Hasil karakterisasi SEM hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1 perbesaran 20.000x

Tabel 5. Data unsur-unsur penyusun hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1

Unsur	% Massa
Ca	9,13
P	4,74
O	42,33
Fe	31,97
C	11,83

Berdasarkan data hasil EDS (Tabel 5) dapat dilihat bahwa kandungan elemen Fe dengan penambahan PEG-4000 lebih besar, yakni 31,97%. Penambahan PEG-4000 sebagai *template* antara hidroksiapatit dengan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dapat meningkatkan kandungan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> di dalam komposit serta Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> lebih kuat menempel pada hidroksiapatit. Pada tabel 5 juga dapat dilihat massa unsur Ca yang menyusun komposit hidroksiapatit-PEG-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 1:1 sebesar 9,13% dan unsur P sebesar 4,74%. Rasio perbandingan Ca/P yang diperoleh dari data EDS tersebut yaitu sebesar 1,49 (Lampiran 15).