

PELAPISAN PERMUKAAN *STAINLESS STEEL 316L* MENGUNAKAN HIDROKSIAPATIT DENGAN METODE DEPOSISI ELEKTROFORESIS

Muhamamad Rizki Zuriadi¹⁾, Ahmad Fadli²⁾, Amun Amri²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, ²⁾ Dosen Jurusan Teknik Kimia

Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293, Indonesia

E-mail : muhammad_rizki46@rocketmail.com

ABSTRACT

Hydroxyapatite (HA) is ceramic that can be used as bone implants and teeth. However hydroxyapatite has a weakness in terms of its weak physical properties so it need to be modified with hydroxyapatite coating on a metal surface. The purpose of this study is to determine the influence of pH and concentration of hydroxyapatite. Hydroxyapatite was coated on the surface of Stainless steel using electrophoretic deposition method. HA suspension with concentration 0,025 and 0,075M were made by mixing 0,0425 and 1,3575 gr with ethanol and then set to pH 3,4 and 10 by adding HNO₃ and NH₄OH. Subsequently, the coating process was carried out by dipping Stainless steel and carbon electrode into hydroxyapatite suspension. The hydroxyapatite suspension was electrified with a voltage of 60 V for 2 minutes. Then hydroxyapatite coating was calcined with temperature of 800° C for 2 hours. SEM analysis shown that the thickness of HA deposits was 32-52 μm at HA concentration of 0,025 M and it increased to 42-57 μm at HA concentration of 0,075 M. The thickness of HA deposits was 60-80 μm at pH 3 and it decreased to 40-50 μm at pH 10. corrosion rate analysis shown that HA coating can reduce corrosion rate of stainless steel. FTIR analysis showed PO₄³⁻, OH, and H₂O groups that indicates the content of hydroxyapatite from sample.

Keywords : coating, electrophoretic deposition, hydroxyapatite, stainless steel

1. PENDAHULUAN

Kerusakan pada tulang karena retak atau patah tulang sering terjadi pada manusia. Salah satu penyebabnya adalah kecelakaan dimana tingkat kecelakaan meningkat tiap tahunnya. Diantara kecelakaan tersebut tidak sedikit yang tergolong kecelakaan berat atau mengalami patah tulang (Bowo, 2009). Data dari Badan Intelijen Negara Dalam dua tahun terakhir ini, kecelakaan lalu lintas di Indonesia oleh Badan Kesehatan Dunia (WHO) dinilai menjadi pembunuh terbesar ketiga, di bawah penyakit jantung koroner dan *tuberculosis/TBC*. Data WHO menyebutkan pada tahun 2012 terjadi 109.038 kasus kecelakaan. Dari kasus-kasus kecelakaan ini tidak sedikit korban yang mengalami patah

tulang bahkan untuk kecelakaan dengan kondisi yang lebih parah korban mengalami kerusakan tulang yang permanen seperti tulang yang hancur. Kondisi ini menuntut dunia kedokteran mencari solusi akan masalah ini agar tidak menimbulkan cacat permanen pada korban kecelakaan.

Salah satu metode yang ada saat ini adalah dengan implantasi sebagai pengganti tulang yang rusak dan salah satu teknik yang bisa digunakan adalah *bone plate*. *Bone plate* ini merupakan komponen yang digunakan sebagai salah satu proses pemulihan tulang retak atau patah. Teknik ini menggunakan logam sebagai substrat implan yang terus dikembangkan sesuai dengan meningkatnya kebutuhan tulang buatan pada manusia. Logam

yang umum digunakan sebagai *bone plat* diantaranya adalah *stainless steel* (SS), paduan Cr-Co dan paduan Ti (Nurbainah, 2009).

Akan tetapi penggunaan logam menjadi kendala dalam hal biokompatibilitas terhadap antara lain korosi lokal, tidak dapat meregenerasikan tulang yang baru, membatasi fungsi organ, serta mempengaruhi bioaktivitas dalam tubuh. Salah satu usaha untuk meningkatkan biokompatibel, fiksasi dan life time material implan adalah dengan melapisi permukaan logam dengan menggunakan biomaterial tertentu. Pembentukan tulang dan perkembangan sel dapat dipicu oleh adanya modifikasi pelapisan dengan biomaterial atau biokramik diantaranya hidroksiapatit (Nurbainah, 2009).

Hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) kebanyakan digunakan sebagai biomaterial karena kelebihan dalam hal biokompatibilitas, bioactivity dan kecocokan secara kimia dengan tulang dan gigi alami (Wang & Fu, 2011). Hidroksiapatit sintetik dapat diperoleh tidak hanya melalui reaksi senyawa-senyawa sintetik seperti kalsium oksida dengan ammonium dihidrogen fosfat (Bezzi, et al., 2002), tetapi dapat juga dengan mereaksikan senyawa sintetik tersebut dengan bahan alami. Bahan alami yang sering digunakan antara lain kulit telur (Dahlan et al., 2009; Wu et al., 2013), batu kapur (Frederica, 2012) dan kulit kerang (Muntamah, 2011).

Terdapat berbagai macam metode yang bisa digunakan untuk pelapisan hidroksiapatit terhadap suatu logam atau substrat diantaranya proses termal *spraying* (Levingstone, 2006), metode *coating* (Bricker, et al, 1991; Yimisin & Mackley, 2006) dan metode deposisi elektroforesis (EPD) (Bowo, 2009 ; Corni et al, 2008).

Pada penganalisaan karakteristik lapisan hidroksiapatit yang dihasilkan digunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *X-ray diffractometer* (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dan Analisa laju korosi. Analisa ini digunakan untuk mengetahui karakteristik hidroksiapatit yang dihasilkan.

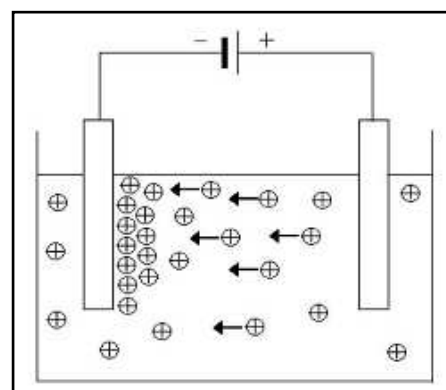
Scanning Electron Microscopy (SEM) digunakan untuk menentukan ketebalan dan morfologi permukaan lapisan yang dihasilkan.

Morfologi merupakan bentuk atau keadaan suatu material. *X-ray diffractometer* (XRD) digunakan untuk mengamati puncak-puncak terbentuknya hidroksiapatit. Analisa ini juga dapat digunakan untuk melihat struktur kimia dari lapisan hidroksiapatit yang dihasilkan (Amrina, 2008). Analisa *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi pada sampel seperti fosfor dan karbonat. Analisa laju korosi berguna untuk mengetahui nilai laju korosi dari sampel yang diuji.

Pada penelitian ini digunakan hidroksiapatit yang dicampur dengan etanol menggunakan metode pelapisan deposisi elektroforesis. Mekanisme EPD ini terdiri atas dua tahap.

Tahap pertama, aliran listrik antara dua elektroda positif dan negatif menyebabkan partikel dalam larutan yang mengandung HA yang bermuatan positif karena nisbah Ca yang bermuatan positif lebih besar dari P sehingga cenderung bermuatan positif bergerak ke arah yang elektroda berlawanan dengan muatannya oleh karena itu, dengan pengaruh medan listrik,

Hidroksiapatit akan bergerak ke arah logam yang diposisikan sebagai elektroda negatif atau dikenal dengan nama elektroforesis. Ilustrasi pergerakan partikel dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Pergerakan partikel ke arah elektroda (Corni et al, 2008)

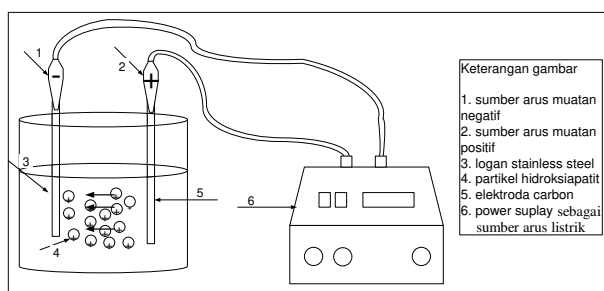
Tahap kedua, partikel HA akan mengalami deposisi pada permukaan logam yang dijadikan elektroda. Kemudian akan menutup rapat permukaan logam secara homogen dalam bentuk lapisan film. Lapisan ini dapat dikatakan sebagai hasil deposisi

partikel HA yang menempel pada logam SS (Corni *et al.*, 2008).

2. Bahan dan Metodologi

2.1 Bahan dan Alat

Bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini hidroksiapatit yang disintesis dari cangkang kerang dan dihidrogen fosfat, etanol, HNO_3 , NH_4OH . Sedangkan alat yang digunakan meliputi: *Furnace*, *stirrer*, plat *stainless steel* 316L, elektroda karbon dan *power supply*. Rangkaian alat yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian alat deposisi elektroforesis

2.2 Preparasi Bahan Baku

Proses ini meliputi pembersihan logam *stainless steel* dan pembuatan suspensi hidroksiapatit dengan penambahan etanol. Logam *stainless steel* sebelum pelapisan dibersihkan permukaannya menggunakan kertas amplas grid-500 dilanjutkan menggunakan grid-1000 sampai permukaan terlihat bersih, kemudian dibersihkan lagi menggunakan aquades. Hal ini dilakukan untuk membersihkan kotoran yang mungkin ada pada permukaan logam.

Suspensi dengan konsentrasi 0,025 M hidroksiapatit dibuat dengan mencampurkan 0,452 gr hidroksiapatit dan 25 mL etanol. Setelah itu, campuran diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 200 rpm selama 30 menit sehingga hidroksiapatit bisa terdispersi pada larutan etanol yang ditunjukkan dengan keruhnya suspensi oleh partikel Hidroksiapatit lakukan prosedur serupa untuk konsentrasi 0,075M.

Pada saat proses pengadukan suspensi hidroksiapatit diatur pH nya pada pH 3 dengan menambahkan sedikit HNO_3 3 M, lakukan

prosedur serupa untuk pH (4 dan 10) sesuai dengan kondisi pH dengan menambahkan sedikit 3 M HNO_3 dan 3 M NH_4OH .

2.3 Pelapisan Hidroksiapatit pada permukaan logam

Suspensi hidroksiapatit yang terbentuk di masukan ke gelas kimia. Kemudian larutan ini dihubungkan dengan kedua elektroda, satu elektroda adalah logam yang menjadi target pelapisan hidroksiapatit pada permukaannya (bermuatan negatif) dan satu elektroda lainnya adalah elektroda karbon yang (bermuatan positif). Dalam proses deposisi elektroforesis, serbuk hidroksiapatit yang terdispersi pada larutan akan digerakan arus listrik yang bermuatan secara elektroforesis. Hidroksiapatit yang terbawa akan menempel pada permukaan logam yang bermuatan negatif dengan membentuk deposisi pada permukaan logam (Corni *et al.*, 2008)

Setelah proses pelapisan selesai sampel di kalsinasi menggunakan *furnace* pada suhu 800oC selama 2 jam.

2.4 Karakterisasi Lapisan Hidroksiapatit

Karakterisasi lapisan hidroksiapatit yang dihasilkan dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) dilakukan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Andalas, *X-ray diffractometer* (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR) dilakukan di laboratorium FMIPA- biologi dan kimia Univeristas Negeri Padang dan Analisa laju korosi dilakukan di laboratorium Teknik Kimia Universitas Riau.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pelapisan Hidroksiapatit

Metode yang digunakan untuk melapisi permukaan logam *stainless steel* menggunakan hidroksiapatit adalah EPD. Untuk mencari kondisi yang terbaik, penelitian ini menggunakan variasi konsentrasi HA dan pH didalam suspensi. Perubahan kosentrasi digunakan 0,025 M dan 0,075 M, sedangkan perubahan pH yaitu 3, 4, dan 10. Besarnya konsentrasi HA yang digunakan berpengaruh terhadap massa HA yang terdeposisi pada permukaan *stainless steel* (Riccardis, 2012).

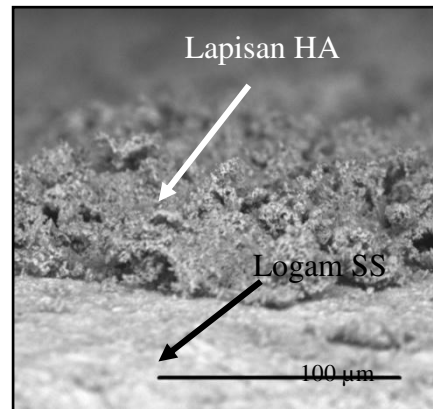
Sementara itu, pH suspensi berpengaruh terhadap nilai ζ potensial dimana dapat menunjukkan kestabilan daya tolak partikel (Sun, 2012). Selain itu, ζ potensial memiliki peran menentukan arah dan kecepatan migrasi selama proses EPD berlangsung (Basra & Liu, 2007).

Proses pelapisan terdiri atas 2 tahap, yaitu elektroforesis partikel HA dan deposisi HA pada permukaan logam *stainless steel*. Tahap pertama suspensi HA yang cenderung bermuatan positif karena nisbah Ca lebih besar dari P ini bergerak ke arah logam *stainless steel* 316L yang diposisikan sebagai elektroda negatif. Pergerakan HA ini dapat berlangsung karena adanya aliran listrik pada suspensi HA.

Setelah proses elektroforesis berlangsung tahap selanjutnya adalah deposisi atau penempelan partikel HA pada permukaan logam *stainless steel* 316L, kemudian di kalsinasi pada suhu 800°C selama 2 jam. Melalui proses kalsinasi ini diharapkan HA dapat melekat cukup kuat pada permukaan logam *stainless steel* 316L.

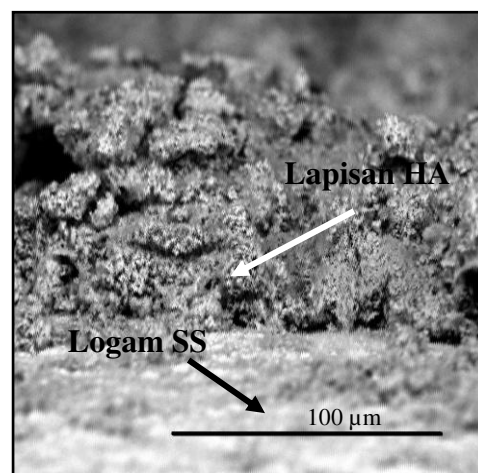
3.2 Analisa Ketebalan dan Morfologi Lapisan Hidroksiapatit

Ketebalan dan morfologi lapisan HA pada permukaan *stainless steel* dikarakterisasi menggunakan SEM. Dari hasil didapat bahwa ketebalan dari lapisan yang paling tinggi dengan kerapatan yang paling baik adalah pada konsentrasi HA 0,075 M pada pH 4 dengan ketebalan lapisan antara 42-57 μm seperti yang terlihat pada gambar 3 sedangkan pada konsentrasi HA 0,025 M pada pH 4 ketebalan lapisan antara 32-52 μm . Hasil ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Riccardis (2012) bahwa konsentrasi HA berbanding lurus dengan massa HA yang terdeposisi. Jadi semakin tinggi konsentrasi HA yang digunakan pada proses deposisi maka massa HA yang terdeposisi juga akan meningkat. Peningkatan massa yang terdeposisi inilah yang menyebabkan terjadinya peningkatan ketebalan lapisan pada saat konsentrasi HA ditingkatkan.



Gambar 3. Hasil SEM ketebalan lapisan HA pada konsentrasi 0,075 pada pH 4

Untuk pengaruh pH terhadap lapisan HA yang dihasilkan terlihat pada gambar 4 Hasil SEM ketebalan lapisan HA pada pH 3 konsentrasi 0,075 M antara 60-80 μm dan mengalami penurunan menjadi dengan ketebalan lapisan antara 40-50 μm pada pH 10. Hasil SEM menunjukkan bahwa pH juga berpengaruh terhadap ketebalan lapisan yang dihasilkan dimana menurut Rad (2014) bahwa pH optimum untuk proses Deposisi Elektroforesis HA adalah pada kondisi asam. Hal ini dapat terjadi karena penurunan pH dapat meningkatkan perbedaan muatan antara partikel HA dalam suspensi dan *stainless steel* yang digunakan sebagai target pelapisan sehingga mempengaruhi kecepatan migrasi partikel pada saat dialiri listrik.



Gambar 4. Hasil SEM ketebalan lapisan HA pada pH 3 dengan konsentrasi 0,075

Selain itu, pH suspensi berpengaruh terhadap nilai ζ potensial dimana dapat

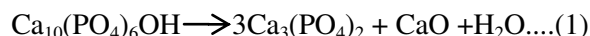
menunjukkan kestabilan daya tolak partikel (Sun, 2012).

3.3 Analisa Struktur Kimia Lapisan Hidroksiapatit

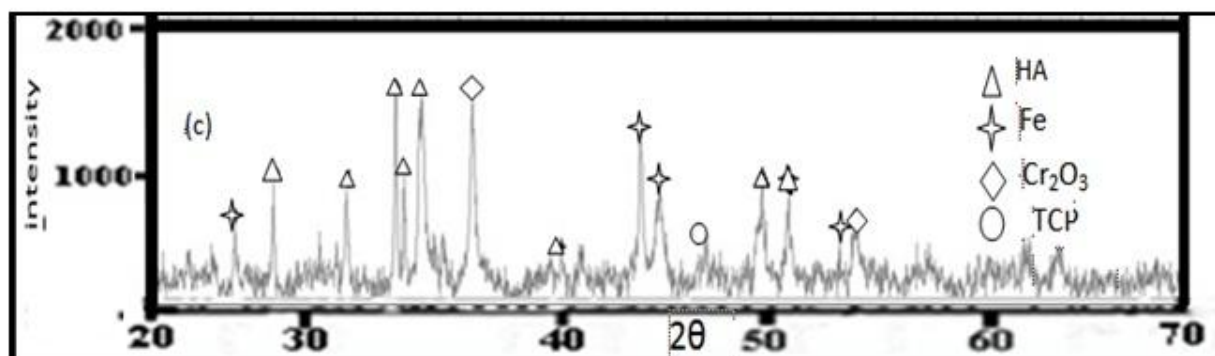
Struktur kimia dari lapisan HA yang dihasilkan dapat dianalisa menggunakan XRD. Gambar 5 memperlihatkan hasil difraktogram HA pada konsentrasi 0,075 M dengan pH suspensi 4 dengan puncak tertinggi hkl (002), (221), (112), dan (300) yakni sudut 2θ 26.035°; 31,917°; 32,337°; 33,017° hal ini membuktikan bahwa yang terlapisi pada permukaan *stainless steel* adalah HA. Karena memiliki nilai hkl yang mirip dengan pola karakteristik analisa XRD HA standar dari data JCPDS (*Joint Committeeon Powder Diffraction Standards*) dengan No. 09-432 yakni (002), (211), (112) dan (300) dengan sudut 2θ 25,879°; 31,773°; 32,196° dan 32,902°.

Selain itu terdeteksi juga puncak lain seperti TCP, Fe dan Cr_2O_3 dimana Fe dan Cr_2O_3 merupakan kandungan utama dari logam *stainless steel* yang digunakan. Pada lapisan ini

Pada lapisan ini terdapat TCP karena memang bahan baku yang digunakan mengandung sedikit TCP seperti yang terlihat pada gambar 4.4(a) selain itu dipengaruhi adanya faktor dekomposisi termal pada saat kalsinasi. Pada suhu 800°C, HA bisa terdekomposisi menjadi TCP sesuai dengan reaksi 1 (Nilen dan Richer, 2007).



Dari analisa XRD juga bisa diketahui bagaimana struktur lapisan HA yang dihasilkan dimana apabila puncak-puncak HA yang terbentuk lebih dominan maka lapisan yang terbentuk cenderung merata dan memiliki kerapatan lapisan yang baik. Gambar 2 terlihat tiga puncak HA dengan intensitas yang cukup tinggi menunjukkan jumlah HA yang terdeposisi lebih banyak dan cenderung merata namun terdapat puncak yang tinggi dari Cr_2O_3 hal ini menunjukkan ada bagian kecil dari lapisan HA yang belum terlapisi dengan baik.



Gambar 5. Difraktogram HA pada konsentrasi HA 0,075 M dengan pH suspensi 4

3.4 Analisa Gugus Anion PO_4^{3-} , OH^- dan H_2O

Analisa Gugus Anion PO_4^{3-} , OH^- dan H_2O ini menggunakan FTIR seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 memperlihatkan bahwa setelah membandingkan hasil pengujian FTIR dengan referensi yang membahas mengenai spektrum dari grafik FTIR untuk hidroksiapatit (HA) diperoleh beberapa spektrum yang cocok dan menunjukkan adanya gugus dari PO_4^{3-} , OH^- dan H_2O pada HA yang disintesis selain itu juga terdapat gugus Cr_2O_3 pada hasil analisa yang merupakan gugus yang

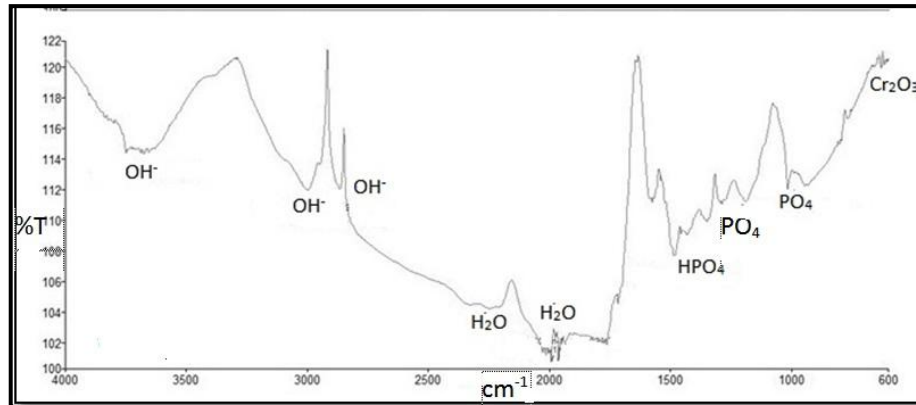
terkandung didalam *stainless steel* yang digunakan.

Hasil pengukuran lapisan HA pada konsentrasi HA 0,075 M dan pH 4 menggunakan FTIR seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 Gugus fosfat (PO_4^{3-}) vibrasi asimetri stretching hasil kalsinasi terdeteksi pada bilangan gelombang $1015,80 \text{ cm}^{-1}$ dan 1190 cm^{-1} yang menunjukkan bahwa terbentuk kristal pada hasil kalsinasi. Selain itu dalam spektrum HA terlihat pita serapan karakteristik OH^- disekitar $3676,72 \text{ cm}^{-1}$ $2997,85 \text{ cm}^{-1}$, dan $2866,59 \text{ cm}^{-1}$. Hal ini dapat terjadi karena

serbuk HA bersifat higroskopis sehingga memungkinkan terjadinya hidrasi dari udara. Gugus OH pada region $3676,72\text{ cm}^{-1}$ $2997,85\text{ cm}^{-1}$, dan $2866,59\text{ cm}^{-1}$ ini disebut air absorpsi.

Kemudian dalam spektrum HA terlihat pita serapan karakteristik H_2O disekitar

$1993,19\text{ cm}^{-1}$, dan 1952 cm^{-1} . Dalam analisa ini juga terlihat pita serapan Cr_2O_3 disekitar $676,19\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan kandungan dari *stainless steel* yang digunakan, dan terdapat pita HPO_4 pada $1481,08\text{ cm}^{-1}$.



Gambar 6. Spektrum FTIR Lapisan HA pada permukaan *stainless steel* dengan konsentrasi HA 0,075 M dan pH 4

4. Analisa Laju korosi

Analisa ini berfungsi untuk mengetahui laju korosi dari material *stainless steel* yang telah dilapisi oleh hidroksiapatit. Metode yang digunakan dalam analisa ini adalah metode kehilangan berat. Dari tabel 1 terlihat sampel yang diuji *stainless steel* yang dilapisi HA dengan variasi konsentrasi HA 0,025 pada pH 3 dan *stainless steel* tanpa pelapisan. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa pelapisan HA pada permukaan *stainless steel* mampu menurunkan nilai laju korosi dari 0,9159 mpy untuk *stainless steel* tanpa dilapisi HA menjadi 0,5611 mpy untuk *stainless steel* yang telah dilapisi HA.

Tabel 1. Analisa Laju Korosi *Stainless steel* yang Dilapisi dan Tidak Dilapisi Hidrosisiapatit

Sampel yang diuji	Laju korosi (mpy)
<i>Stainless steel</i> tanpa pelapisan HA	0,9159
<i>Stainless steel</i> yang dilapisi HA pada konsentrasi 0,025 M dan pH 3	0,5611

Hasil ini menunjukkan bahwa pelapisan HA pada permukaan *stainless steel* dapat

mengurangi laju korosi dari logam *stainless steel* yang digunakan karena lapisan HA dapat menghambat proses elektrokimia antara larutan elektrolit dan *stainless steel* karena lapisan HA memiliki kerapatan yang baik (Marist, 2011).

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Dari analisa XRD yang telah dilakukan komposisi dari lapisan yang terbentuk adalah hidroksiapatit.
2. Ketebalan lapisan HA meningkat dari 32-52 μm pada konsentrasi 0,025 M menjadi 42-57 μm pada konsentrasi 0,075 M
3. Penurunan pH dapat meningkatkan ketebalan dari lapisan hidroksiapatit yang dihasilkan. Ketebalan lapisan hidroksiapatit akan meningkat dari 40-50 μm pada pH 10 menjadi 60-80 μm pada pH 3.
4. Pelapisan HA dapat menurunkan nilai laju korosi *stainless steel*. Logam *stainless steel* tanpa pelapisan memiliki nilai laju korosi 0,9159 mpy dan menurun menjadi 0,5611 mpy pada *stainless steel* yang dilapisi HA.
5. Dari analisa FTIR, tiap sampel terdapat gugus PO_4^{3-} , OH^- dan H_2O yang

mengindikasikan adanya kandungan hidroksiapatit pada sampel.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Amrina, Q. H. (2008). Sintesa hidroksiapatit dengan memanfaatkan limbah cangkang telur: karakterisasi Difraksi sinar-x dan scanning electron microscopy (SEM). Skripsi sarjana. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Badan Intelijen Negara. (2013). Kecelakaan Lalu Lintas Menjadi Pembunuh Terbesar Ketiga. <http://www.bin.go.id/awas/detil/197/4/21/03/2013/kecelakaan-lalu-lintas-menjadi-pembunuh-terbesar-ketiga>. Diakses pada Rabu, 29 Oktober 2014.
- Basra, L., & Liu, M. (2007). A review on fundamentals and application of electrophoretic deposition (EPD). *Journal of Progress in Materials Science*, 52: 1-61
- Bezzi, G., Celotti, G., Landi, E., & La Torretta, T.M.G. (2002). A novel sol-gel technique for hydroxyapatite preparation. *Materials Chemistry and Physics* 78: 816-824.
- Bowo, H. (2009). Pelapisan Senyawa Apatit Pada Permukaan Baja Tahan Karat 316L Dengan Metode Deposisi Elektroforesis. Skripsi Sarjana. Institut Teknologi Bogor. Bogor.
- Brinker, C.J., Frye, G.C., Hurd, J. A., and Ashley, C.S., (1991). Fundamentals of Sol-Gel Dip Coating. *Journal of Thin Solid Films*, 201:97-108
- Corni, I., Ryan, M.P., & Boccaccini, A.R., (2008). Electrophoretic deposition: From traditional ceramics to nanotechnology. *Journal of the European Ceramic Society* 28 1353–1367.
- Dahlan, K., Prasetyanti, F., & Sari, Y.W. (2009). Sintesis hidroksiapatit dari cangkang telur menggunakan dry metode. *Jurnal Biofisika* 5(2): 71-78
- Frederica, T. (2012). Sintesis hidroksiapatit dari batu kapur alam secara mekanokimia dengan variasi waktu penggilingan. Skripsi Sarjana. Universitas Diponegoro: Semarang.
- Levingstone. T. J. (2006). Optimisation of Plasma Sprayed Hydroxyapatite Coatings. Thesis. Dublin City University, Ireland.
- Marist, A.I., (2011). Pelapisan Komposit Hidroksiapatit-Kitosan pada Logam Stainless Steel 316 Untuk Meningkatkan Ketahanan Korosi. Skripsi Sarjana. Institut Pertanian Bogor.
- Muntamah. (2011). Sintesis dan karakterisasi hidroksiapatit dari limbah cangkang kerang darah (Anadara Granosa, Sp). Skripsi Sarjana. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Nilen, R., & Richter, P. 2007. The thermal stability of hydroxyapatite in biphasic calcium phosphate ceramics. *Journal of Material Science*.
- Nurbainah, E. (2009). Pelapisan Hidroksiapatit (Hap) Pada Permukaan Logam Stainless Steel 316L Dengan Metode Deposisi Elektroforesis (EPD). Skripsi Sarjana. Institut Pertanian Bogor: Bogor.
- Rad, A. T, Hashjin, M. S, Osman, N. A. A, Faghihi, S. (2014). Improved bio-physical performance of hydroxyapatite coatings obtained by electrophoretic deposition at dynamic voltage. *Journal of Ceramics International* 40:12681–12691.
- Riccardis, M. F. D., Ceramic. 2012. Coatings Obtained by Electrophoretic Deposition: Fundamentals, Models, Post-Deposition Processes and Applications. ISBN 978-
- Wang, Y.Z, & Fu, Y., (2011). Microwave-Hydrothermal Synthesis And Characterization Of Hydroxyapatite Nanocrystallites. *Journal of Material Letters* 65: 3388–3390.
- Wu, S.-C., Tsou, H.-K., Hsu, H.-C., & Liou, S.-P. (2013). A hydrothermal synthesis of eggshell and fruit waste extract to produce nanosized hydroxyapatite. *Journal of Ceramics International* 39: 8183-8188.
- Yimsiri, P., & Mackley, M. R., 2006. Spin and dip coating of light-emitting polymer solutions: Matching experiment with modeling. *Chemical Engineering Science* 61: 3496 – 3505.