

# PENGARUH METODE *WORK HARDENING*, *SMAT*, SERTA *ELECTROLYTIC POLISHING* TERHADAP KARAKTERISASI STRUKTUR KRISTAL DAN LAJU KOROSI MATERIAL BIOMPLAN

Mirza Pramudia<sup>1\*</sup>, Khamdi Mubarok<sup>2\*</sup>

<sup>1,2)</sup> Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

<sup>1,2)</sup> Jl. Raya Telang, Kecamatan Kamal, Bangkalan, Madura 16912, Indonesia

<sup>1,2)</sup> Phone: 031-3011146, Fax: 031-3011506

E-mail : <sup>1)</sup> mpramudia@gmail.com, <sup>2)</sup> khamdi\_m@yahoo.com

## Abstrak

*Bioimplan merupakan material biomedis yang digunakan dengan tujuan untuk menggantikan fungsi organ tulang manusia yang mengalami kegagalan atau kerusakan. Sifat bioimplan yang digunakan diharuskan memiliki beberapa persyaratan antara lain tidak menimbulkan reaksi kimia yang bersifat racun/mampu menimbulkan reaksi alergi pada tubuh manusia. Salah satu bahan bioimplan yang memenuhi persyaratan di atas adalah material logam dengan jenis nickel-free austenitic stainless steel. Material ini memiliki kandungan nikel dengan persentase sangat rendah sehingga mampu meminimalisir resiko terjadinya alergi akibat reaksi ion Ni yang bersifat ion antigenik. Bioimplan nickel-free austenitic stainless steel pada penelitian ini ditingkatkan kualitas dan kekuatan mekaniknya dengan menggunakan beberapa kombinasi metode work hardening, SMAT, serta electrolytic polishing. Metode work hardening dilakukan dengan menekan spesimen uji dengan persentase penekanan 15%, 30%, 45%, dan 54%. Setelah proses work hardening, material diberi perlakuan SMAT dengan cara menumbukkan material abrasive berupa bola-bola baja dalam selama 10 menit. Hasil proses work hardening dan SMAT selanjutnya mendapat perlakuan electrolytic polishing dengan parameter tegangan 8 volt dan jarak elektroda 3 cm.*

**Kata kunci :** *bioimplan, nickel-free austenitic stainless steel, work hardening, SMAT, electrolytic polishing.*

## 1. PENDAHULUAN

Biomaterial merupakan material/bahan yang secara langsung berinteraksi dengan jaringan dan cairan biologis tubuh makhluk hidup untuk memperbaiki, atau mengganti bagian anatomi tubuh makhluk hidup yang rusak/mengalami *bone fracture* akibat kasus kecelakaan, cedera pada saat beraktivitas, terjatuh, berolah raga, osteoporosis, dan lain sebagainya. Biomaterial sebagai material implan diharuskan memiliki sifat mekanik yang baik meliputi kekerasan, tegangan tarik, ketahanan terhadap retak/patah, ketangguhan, komposisi kimia, dan ketahanan korosi. Biomaterial terbagi menjadi empat kategori utama meliputi *toxic*, *bioinert*, *bioactive*, dan *bioresorbable material*. Material pertama dapat dikategorikan sebagai *toxic material* dikarenakan material jenis ini akan ditolak oleh jaringan tubuh ketika material tersebut dipasang di dalam tubuh manusia dan berpengaruh buruk pada sekeliling jaringan tubuh. Kategori berikutnya adalah *bioinert material* yang menunjukkan material tersebut bersifat tidak beracun dan tidak aktif secara biologis sehingga akan menyebabkan sedikit atau tidak ada respon dari jaringan tubuh ketika material tersebut dipasang dalam tubuh manusia. Bahan implan berikutnya merupakan jenis *bioactive material* yaitu material dengan karakteristik tidak beracun dan secara biologis material ini akan mendukung ikatan implan dengan jaringan sekelilingnya. Kategori keempat merupakan *bioresorbable material* yang diartikan sebagai material yang bersifat tidak beracun dan tidak menggabungkan diri ke sekeliling jaringan serta dapat larut sepenuhnya setelah beberapa periode waktu tertentu.

*Nickel-free austenitic stainless steel* merupakan salah satu jenis *bioactive material* dengan kandungan komposisi kimia nikel yang sangat rendah di bawah 0.05 % wt. Unsur nikel merupakan salah satu unsur yang sangat berbahaya bagi tubuh manusia. Hal ini dikarenakan unsur nikel merupakan pemicu terjadinya reaksi yang bersifat alergi pada tubuh manusia. Ion Ni adalah ion yang memiliki karakteristik sebagai ion antigenik yang dapat mengakibatkan terjadinya peradangan pada kulit. Bentuk peradangan tersebut dapat berupa pembengkakan, timbulnya bercak-bercak merah, gatal-gatal, serta menimbulkan eksim pada kulit. Para ahli di bidang kedokteran

memperkirakan terdapat sekitar 4 % kasus alergi terjadi pada laki-laki serta 20 % kasus terjadi pada wanita di seluruh dunia akibat alergi terhadap material implan dan tidak menutup kemungkinan kasus tersebut semakin meningkat beberapa dekade terakhir. Salah satu cara untuk mengurangi resiko terjadinya kasus alergi akibat material implan adalah dengan menggunakan biomaterial dengan komposisi unsur nikel sangat rendah (*nickel-free austenitic stainless steel*).

Dalam dunia kedokteran, biomaterial implan yang digunakan harus memenuhi beberapa persyaratan khusus antara lain bersifat biokompatibel, tahan terhadap korosi, serta memiliki kekuatan mekanik yang sangat baik. Beberapa penelitian/riset telah dilakukan untuk menghasilkan biomaterial dengan spesifikasi yang sesuai dengan persyaratan medis. Salah satu penelitian yang dilakukan dengan meningkatkan kualitas material dengan menggunakan metode perlakuan mekanik permukaan, metode perlakuan mekanik secara total, serta metode *finishing/polishing* permukaan secara elektro kimia.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh kombinasi metode perlakuan mekanik total melalui *work hardening*, *SMAT* sebagai metode perlakuan mekanik secara permukaan, dan metode *electrolytic polishing* sebagai metode *finishing* terhadap karakterisasi struktur kristal dan laju korosi material biomplan.

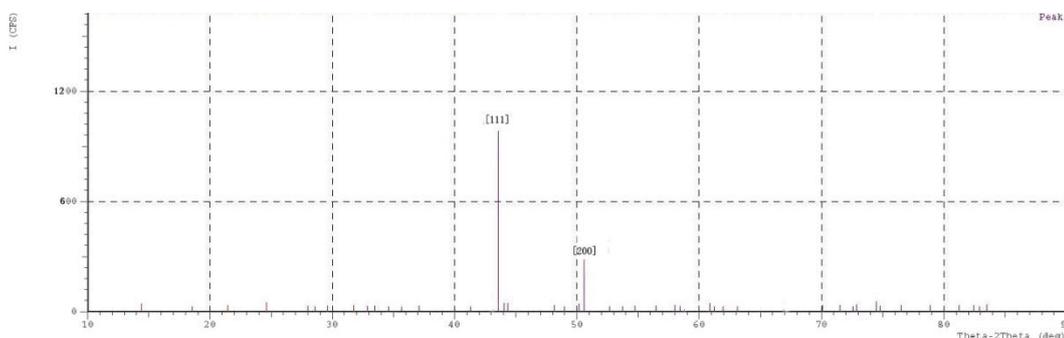
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

Spesimen uji yang digunakan pada penelitian ini merupakan *nickel-free austenitic stainless steel* dengan merk dagang BIODUR 108 dengan komposisi kimia (54.54 %Fe, 21.85 % Mn, 20.43 %Cr, 0.95 %N, 0.67 %Mo, dan 0.025 %Ni). Dimensi material yang digunakan pada pengujian karakterisasi struktur kristal memiliki ukuran panjang 15 mm, lebar 15 mm, dan tebal 3 mm sedangkan material yang digunakan pada pengujian korosi memiliki dimensi silinder berdiameter 14 mm dengan ketebalan 3 mm. Spesimen yang telah dibentuk selanjutnya diberi perlakuan *work hardening*, *SMAT*, serta *electrolytic polishing*. Metode *work hardening* dilakukan dengan menekan spesimen menggunakan mesin hidrolis dengan variasi derajat deformasi sebesar 15 %, 30 %, 45 %, dan 54%. Hasil proses *work hardening* selanjutnya diberi perlakuan *SMAT* selama 15 menit dengan putaran poros mesin sebesar 1400 rpm. Produk spesimen *SMAT* kemudian diuji *X-Ray Diffraction* untuk mengetahui struktur kristal dan fase material yang terbentuk pada material hasil proses *work hardening* dan *SMAT*. Material hasil pengujian *SMAT* selanjutnya diuji menggunakan metode *electrolytic polishing* dengan tujuan untuk meningkatkan *cleanability* permukaan serta meningkatkan sifat tahan korosi pada baja tahan karat. Proses *electrolytic polishing* dilakukan pada campuran larutan ( $H_2SO_4$ ) dan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ) dengan perbandingan 1:1. selama 10 menit. Hasil proses *electrolytic polishing* selanjutnya diuji korosi dengan metode Sel Tiga Elektroda dan menggunakan larutan *Phosphate Buffer Saline* (PBS) sebagai elektrolit.

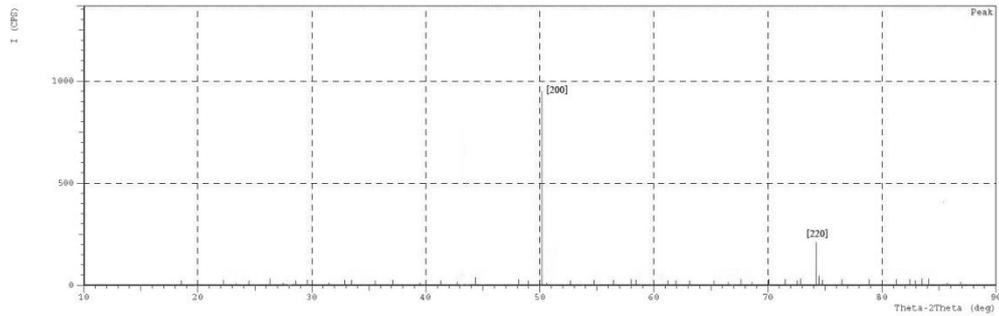
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*)

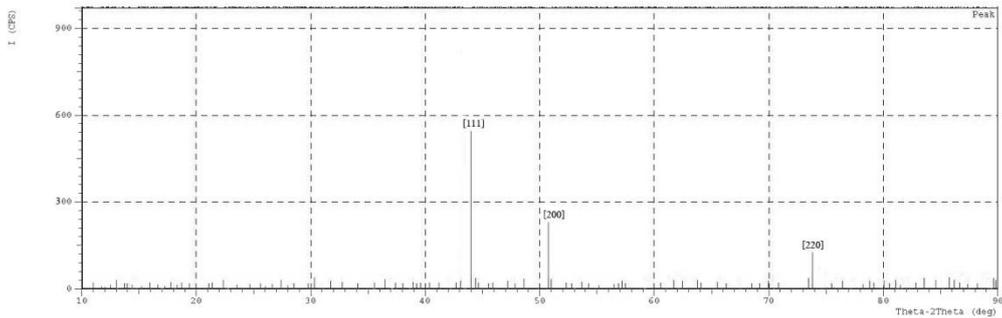
Hasil pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) terhadap *raw material* serta spesimen yang mendapat proses *work hardening* dan *SMAT* ditunjukkan pada Gambar 1-5 berikut :



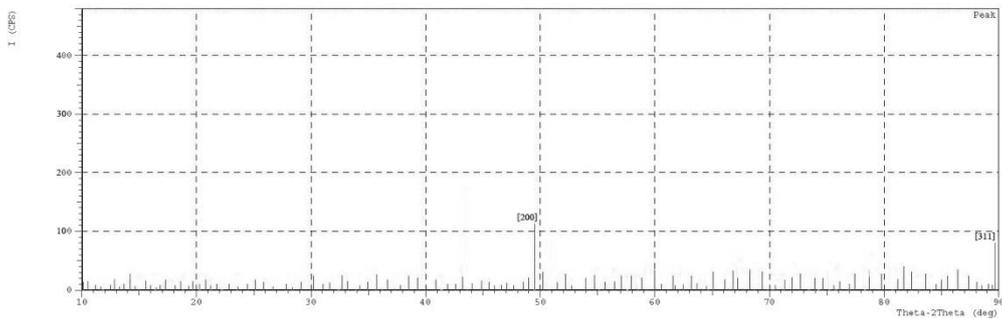
Gambar 1. Hasil Uji XRD *Raw Material*



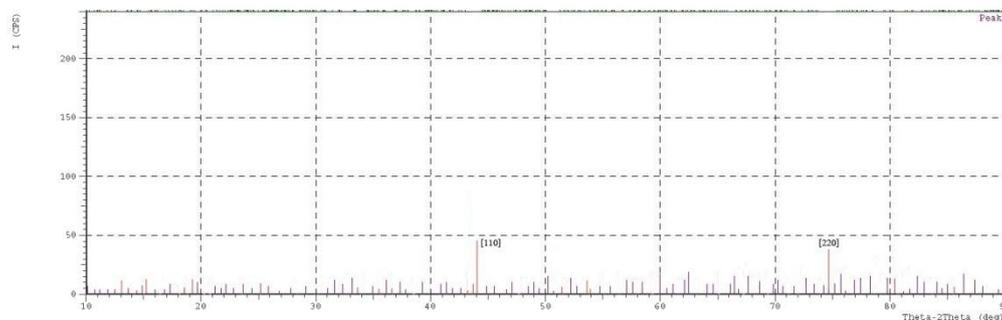
**Gambar 2. Hasil Uji XRD Raw Material + Work Hardening 15 % + SMAT**



**Gambar 3. Hasil Uji XRD Raw Material + Work Hardening 30 % + SMAT**



**Gambar 4. Hasil Uji XRD Raw Material + Work Hardening 45 % + SMAT**



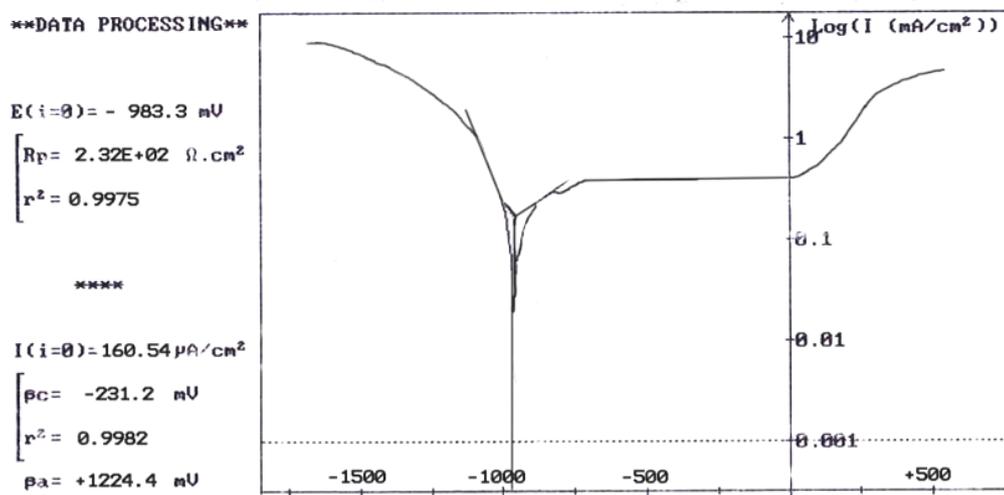
**Gambar 5. Hasil Uji XRD Raw Material + Work Hardening 54 % + SMAT**

Berdasarkan data pengujian *raw material* serta spesimen dengan perlakuan *work hardening* dan *SMAT* menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan berkaitan dengan pola puncak/*peak* intensitas difraksi hasil analisa XRD. Hasil uji terhadap *raw material* memperlihatkan bahwa

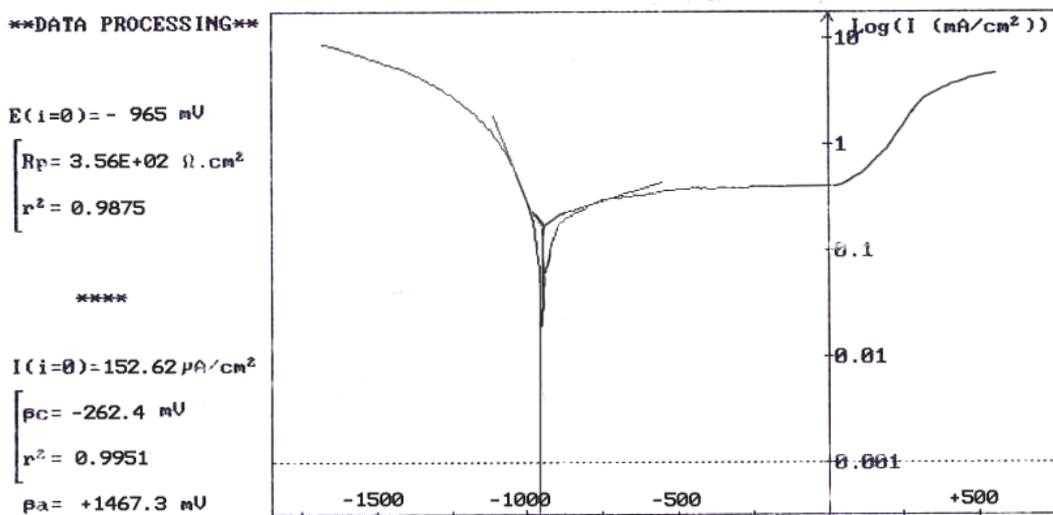
puncak intensitas difraksi menghasilkan pola kisi kristal [111] pada sudut  $2\theta$  sebesar  $43.68^\circ$  dan [200] pada sudut  $2\theta$  sebesar  $50.75^\circ$ . Berdasarkan data tersebut dapat disimpulkan bahwa pola kristal pada sudut  $2\theta$  menunjukkan pola difraksi pada fasa austenitik dengan struktur kristal fcc (*face centered cubic*). Sedangkan pola difraksi pada material perlakuan *work hardening* dengan variasi derajat deformasi yang dilanjutkan dengan proses *SMAT* pola kisi kristal yang terbentuk memiliki pola [111], [110], [220], [200], dan [311] pada variabel sudut  $2\theta$ . Pola tersebut juga merupakan pola kisi kristal pada fasa austenit dengan struktur kristal berbentuk fcc (*face centered cubic*). Hal ini dapat disimpulkan bahwa proses *work hardening* dan *SMAT* tidak menimbulkan perubahan pada fasa material. Proses *work hardening* dan *SMAT* hanya mengakibatkan terjadinya perubahan pada bentuk struktur butiran yang berakibat pada peningkatan kekuatan mekanik tanpa merubah fasa material.

### 3.2. Pengujian Korosi

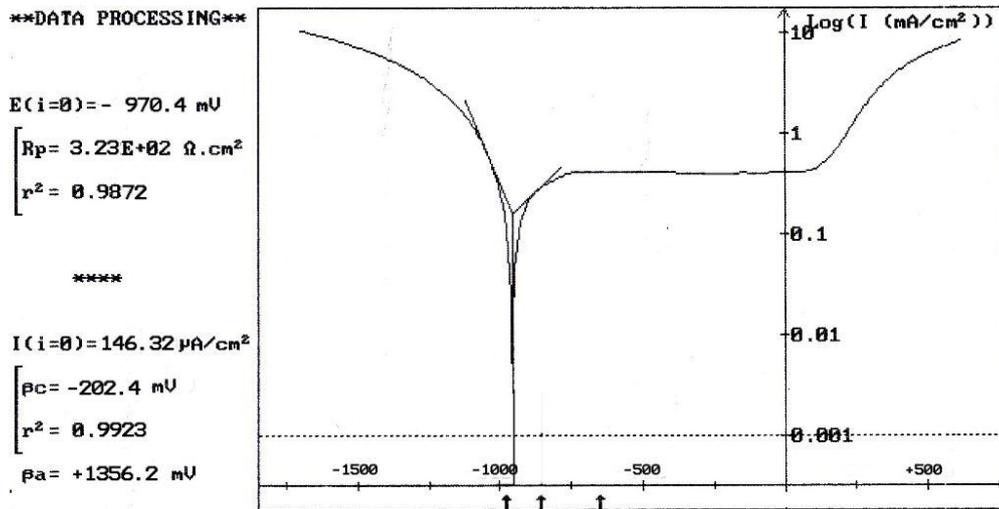
Hasil pengujian korosi dengan menggunakan prinsip sel tiga elektroda dalam larutan *phosphate buffer saline solution* (PBS) ditunjukkan pada Gambar 6-10 berikut ini :



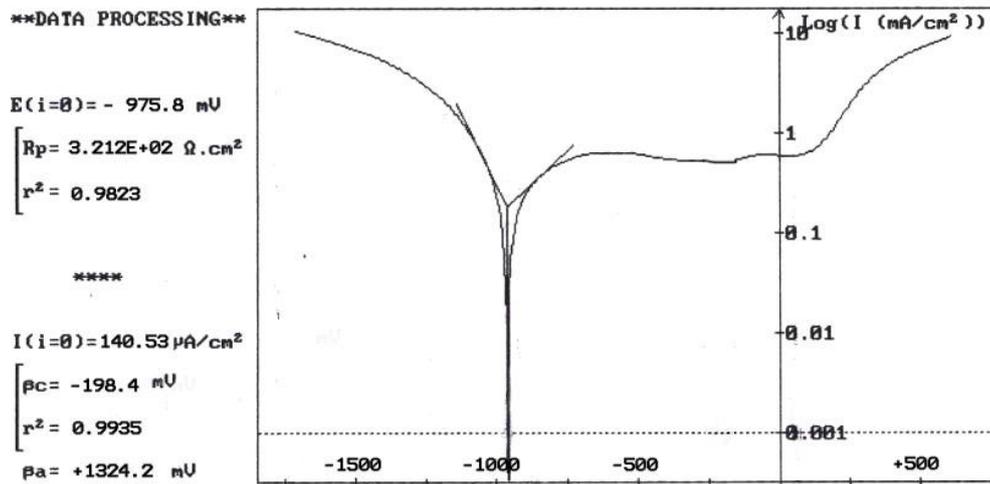
Gambar 6. Uji Korosi Raw Material



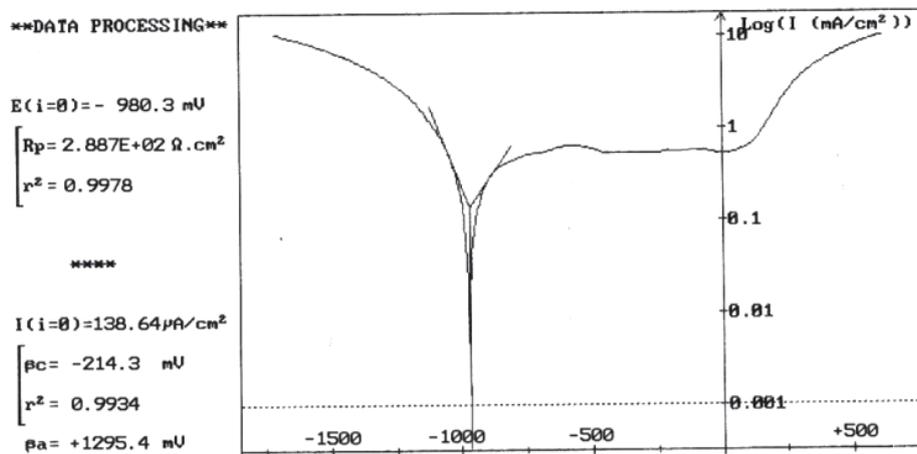
Gambar 7. Uji Korosi Spesimen Work Hardening 15% + SMAT + Electrolytic Polishing



Gambar 8. Uji Korosi Spesimen *Work Hardening 30% + SMAT + Electrolytic Polishing*



Gambar 9. Uji Korosi Spesimen *Work Hardening 45% + SMAT + Electrolytic Polishing*



Gambar 10. Uji Korosi Spesimen *Work Hardening 54% + SMAT + Electrolytic Polishing*

Gambar 6-10. Secara keseluruhan menunjukkan bahwa secara umum densitas arus korosi dari spesimen yang mendapat perlakuan *work hardening* + *SMAT* + *electrolytic polishing* turun seiring dengan meningkatnya derajat *work hardening*. Densitas arus korosi yang rendah menunjukkan ketahanan korosi yang meningkat. Semakin tinggi derajat deformasi yang diikuti dengan proses *electropolishing*, akan mengakibatkan ketahanan korosi material *nickel free austenitic stainless steel* semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa proses *electropolishing* merupakan proses *cleanability* pada permukaan serta menimbulkan proses passivasi pada permukaan material. Proses *electropolishing* pada penelitian dilakukan dengan mereaksikan material uji pada larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) dan asam fosfat ( $H_3PO_4$ ). Penelitian menunjukkan bahwa *electropolishing* mampu mengikis permukaan material dengan ketebalan tertentu. Semakin rendah derajat deformasi pada material *nickel free austenitic stainless steel*, maka proses pengikisan pada permukaan material relatif lebih tinggi. Pada material dengan perlakuan *work hardening* 45% dan 54%, proses pengikisan permukaan pada saat proses *electrolytic polishing* terjadi dalam jumlah yang sangat kecil. Hal ini disebabkan karena proses *work hardening* dengan derajat deformasi 45% dan 54% mampu menyebabkan proses pematatan pada material dengan densitas dislokasi butiran yang sangat tinggi sehingga proses pengikisan logam pada proses *electrolytic polishing* berlangsung relatif lebih rendah. Rendahnya siklus pengikisan logam ini dimungkinkan masih meninggalkan lapisan permukaan akibat proses *SMAT* yang bersifat passivasi. Lapisan ini memiliki struktur yang bebas porositas dan inklusi bersifat passivator yang dapat mengurangi terjadinya reaksi oksidasi/korosi sehingga berakibat pada peningkatan ketahanan korosi spesimen uji. Semakin tebal lapisan passivasi hasil proses *SMAT*, maka akan semakin rendah densitas arus korosi pada proses uji korosi.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) dan korosi dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain kombinasi metode *work hardening*, *SMAT*, dan *electrolytic polishing* tidak merubah fasa material dan struktur kristal spesimen uji. Karakteristik fasa material sebelum dan setelah perlakuan menunjukkan fasa austenitik dengan struktur kristal *face centered cubic* (fcc). Perlakuan *work hardening*, *SMAT*, dan *electrolytic polishing* mampu meningkatkan kualitas dan kekuatan mekanik material *nickel free austenitic stainless steel* tanpa menimbulkan perubahan komposisi dan fasa spesimen. Sedangkan uji korosi menyimpulkan bahwa mendapat perlakuan *work hardening* + *SMAT* + *electrolytic polishing* mampu meningkatkan ketahanan korosi spesimen. Proses *SMAT* dan *electrolytic polishing* menghasilkan lapisan yang bersifat passivator sehingga mampu mengurangi resiko serangan korosi pada permukaan material *nickel free austenitic stainless steel*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- ASM International., (2012), "*Medical Applications of Stainless Steels*", ASM, United States of America.
- Callister, Jr., (2001). "*Fundamentals of Materials Science and Engineering*", Interactive e Text, John Wiley & Sons, Fifth Edition, 177 – 231.
- Domankova, M., Peter, M., dan Moravcik, R., (2007). "*The Effect of Cold work on The Sensitisation of Austenitic Stainless Steels*", Original Scientific Article., 131, 1580-2949.
- Fujiu, Katsuhito., Manabe, Ichiro., dkk. (2012). "*Nickel-free stainless steel avoids neointima formation following coronary stent implantation*". Science And Technology Of Advanced Materials, 13 (2012) 064218 (10pp).
- Jekova, L., (2009)., "*Investigation on The Effect of Cold Plastic deformation on The Structure and Properties of High Nitrogen Stainless Austenitic Nickel – Free Steels* ", *Journal of The University of Chemical Technology and Metallurgy.*, 44, 301-306.
- Ke, Yang., YiBin, Ren, dan Peng, Wan. (2012). "*High Nitrogen Nickel-Free Austenitic Stainless Steel: A Promising Coronary Stent Material*". Science China Technological Sciences. Vol 55. No. 2 :329-340

- Lu, J., and Lu, K., (2006). "Generation of Nanostructure by SMAT (Surface Mechanical Attrition Treatment) Basic Concept, Different Processes, and Applications".
- Tulinski dan Jurczyk. (2008). "Mechanical and Corrosion Properties of Ni-Free Austenitic Stainless Steel". Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 53, Issue 3.
- Watanabe, M., Mukai, Y., dan Murata, M. (2006). "Effect of Cold work on Intergranular Corrosion Cracking of Sensitized Stainless Steel", Transactions of JWRI., 5, 57-62.