Teguh Dwi Widodo

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Brawijaya
widodoteguhdwi@ub.ac.id

Rudianto Raharjo

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Brawijaya
rudiantoraharjo@ub.ac.id

Haslinda Kusumaningsih

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Brawijaya
haslinda.kusuma@gmail.com

Redi Bintarto

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Brawijaya
redibintarto@ub.ac.id

Redi Cipto Siswoyo

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Brawijaya
rediciptosiswoyo@gmail.com

Mega Nur Sasongko

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Brawijaya
megasasongko@ub.ac.id

PENGARUH TEGANGAN DAN WAKTU PADA PROSES ELEKTROPOLISHING TERHADAP SURFACE ROUGHNESS MATERIAL STAINLESS STEEL AISI 316L

The purpose of this work is to reveal the surface roughness and topography of AISI 316L stainless steel due to electropolishing processes. In this paper, AISI 316L was electropolished in various times of immersion and various voltage of the processes. The mechanism of electropolishing is eroding the surface of the substrate by controlling the electron excitation process. The electropolishing processes were carried out at 4, 5, and 6 minutes also in three different voltage 4, 6, and 8 volts. The results show that the surface roughness decrease as the treatment time and also as an increase in voltage.

Keywords: Electropolishing, AISI 316L, Surface Roughness

1. PENDAHULUAN

Dalam perkembangan industri pada saat ini, penggunaan teknologi yang tepat guna sangat berperan penting untuk mengatasi dan memecahkan masalah yang ada dalam proses produksi. Salah satu masalah penting dalam industri manufaktur adalah pengembangan teknik proses produksi yang menitikberatkan pada upaya mendapatkan suatu metode yang semakin efisien dan efektif namun dapat menghasilkan produk yang memenuhi ketentuan-ketentuan standar mutu yang diterapkan. Diantara proses proses manufaktur yang sangat luas aplikasinya di bidang industri adalah electropolishing yang melibatkan suatu perpindahan massa antara dua elektroda (anoda dan katoda) dalam suatu cairan elektrolit.

Electropolishing merupakan proses finishing permukaan secara electrochemical untuk mencapai surface roughness rendah. Material yang di-polish dihubungkan pada anoda dalam sel elektrolisis, sedangkan logam sejenis dihubungkan pada katoda. Anoda dan katoda bekerja di dalam cairan elektrolit [1]. Proses electropolishing menggunakan arus searah (direct current) dengan rapat arus tertentu dan dijaga kestabilannya. Pada proses electropolishing terjadi perpindahan masa dari material yang di proses dengan adanya beda potensial antara anoda dan katoda. Mekanisme proses ini yaitu adanya perpindahan electron dari elektropotential negative ke positif yang kemudian terjadi pelepasan ion logam ke lingkungan dan kemudian menuju ke katoda. Waktu lama proses electropolishing mempengaruhi dan memberikan perbedaan hasil kekasaran permukaan pada material.

Pada aplikasi medis electropolishing sering digunakan karena menghasilkan permukaan yang sangat halus, dan biasanya bisa menghasilkan logam pasif yang sangat berguna dalam mencegah korosi saat diaplikasikan ditubuh manusia [2]. Salah satu proses untuk menghaluskan permukaan material adalah *Electropolishing*, untuk menghasilkan kilap dan berfungsi sebagai proses surface finishing untuk mencapai kekasaran permukaan rendah. Material yang dihaluskan dihubungkan pada anoda dalam sel elektrolisis, sedangkan logam sejenis dihubungkan dengan katoda kemudian saling bereaksi dalam cairan elektrolit [1].

Disisi lain stainless steel merupakan material yang banyak di gunakan dalam bidang medis [3]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh tegangan dan lama waktu proses Electropolishing material Stainless Steel 316L salah satunya untuk aplikasi stent jantung. Stent merupakan implant yang memiliki struktur jala (mesh) dan memiliki kemampuan untuk menahan tekanan dari dinding pembuluh darah. Stent dinilai lebih murah dan cepat jika dibandingkan dengan operasi "by-pass". Stent diletakkan pada lokasi terjadinya penyempitan pembuluh darah [4]. Electropolishing melibatkan pelepasan anodik dari logam

atau paduan dalam elektrolit yang tepat untuk mengembalikan cacat bebas dan halus permukaan. Selama electropolishing, permukaan memiliki efek cerah dan bisa menghasilkan permukaan yang halus. Dengan cara ini pengaruh sifat kekasaran pada permukaan material bisa diminimalkan. Oleh karena itu dianggap bahwa electropolishing dari stainless steel 316L bisa menjadi metode yang efektif untuk meningkatkan ketahanan korosi, biokompatibilitas dan layanan umur panjang [5]

Kekasaran permukaan (*surface roughness*) dapat didefinisikan ketidakaturan kondisi topography permukaan yang berupa lembag dan puncak akibat goresan yang terjadi pada permukaan benda. Kekasaran permukaan merupakan salah satu faktor penting yang perlu di pertimbangkan dalam kualitas suatu produk dikarenakan sifat ini mempengaruhi sifat - sifat lain salah satunya sifat mekanis dari material. Sifat mekanis yang dapat dipengaruhi antara lain *fatigue*. Selain itu kekasaran permukaan juga di prediksi mempengaruhi ketahanan korosi dari material serta sifat sifat lain seperti kesesuaian serta konduktivitas termal [6].

Hingga saat ini penelitian lebih lanjut mengenai hubungan tegangan kerja dan lama proses electropolishing menggunakan electrolyte H_2SO_4 dan H_3PO_4 belum banyak dilakukan, sehingga penelitian ini memfokuskan pada pengaruh tegangan kerja dan waktu proses electropolishing menggunakan larutan H_2SO_4 dan H_3PO_4 terhadap kualitas permukaan material stainless steel 316L.

2. METODE DAN BAHAN

Pada pnelitian ini material yang digunakan adalah plat stainless steel AISI 316L dengan ketebalan 2 mm serta dengan komposisi kimia seperti tertera pada Tabel 1. Plat stainless steel kemudian dipotong dengan ukuran 2 x 2 cm yang kemudian digunakan sebagai substrat. Sebelum dilakukan proses elektropolishing substrat terlebih dahulu di poles dengan menggunakan *SiC paper* dari ukuran No. 500, 800, 1000, dan terakhir ukuran 1500 guna menghilangkan kotoran yang ada pada permukaan subtrat serta meminimalisir efek deformasi yang dihasilkan pada proses manufaktur dari bahan tersebut.

Tabel 1. Komposisi kimi material AISI 316L

JENIS UNSUR	KOMPOSISI	UNIT
C	0.03	% Wt
Cr	16.69	% Wt
Ni	10.57	% Wt
Mo	2.39	% Wt
Mn	1.74	% Wt
Si	0.67	% Wt
Cu	0.34	% Wt
Fe	67.57	% Wt

Proses selanjutnya yaitu substrat di sambung dengan kabel tembaga pada permukaan salah satu sisinya dan kemudian di isolasi dengan menggunakan epoxy resin sedangkan sisi yang lainnya di biarkan terbuka untuk diproses elektropolishing. Adapun gambar dari substrat yang siap di proses elektropolishing ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Subtrat electropolishing

Sebelum proses elektropolishing dilakukan substrat yang sudah diambung dengan kabel tembaga terlebih dulu di bersihkan dengan menggunakan proses *ultrasonic cleaning* didalam alkohol 98% untuk memastikan bahwa tidak ada kotoran yang tertinggal pada permukaan substrat dan kemudian dibilas menggunakan Demineralized Water (DM Water). Proses eletropolishing dilakukan dengan memanfaatkan sumber arus DC dimana pada substrat akan terhubung dengan Anoda alat sedangkan *Reference* akan terhubung dengan Katoda alat seperti yang terlihat pada Gambar 2. Pada penelitian ini variasi tegangan yang

digunakan adalah 4 Volt, 6 Volt, dan 8 Volt sedangkan lama waktu proses elektropolishing yaitu 3 menit, 4 menit, dan 5 menit. Proses elektropolishing dilakukan pada temperature 40°C didalam larutan H_2SO_4 dan H_3PO_4 . Setelah proses elektropolishing kemudian substat di bilas dengan menggunakan DM water yang kemudian dilanjutkan dengan pembilasan dengan menggunakan proses *ultrasonic cleaning* untuk memastikan bahwa tidak ada larutan H_2SO_4 dan H_3PO_4 yang tersisa pada permukaan substrat sehingga reaksi pada permukaan substrat dapat berhenti. Setelah proses elektropolishing kemudian substrat di uji kekasaran permukaan nya dengan menggunakan alat uji Mitutoyo SJ-210 Surface Roughness Tester. Kemudian untuk mengetahui karater permukaan dari AISI 316L setelah proses elektropolishing maka dilakukan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Gambar 2. Diagram Proses elektropolishing

Gambar 2 menunjukkan diagram proses elektropolishing, dimana:

1. Blower
2. *Thermometer* Larutan
3. Tang masa
4. Anoda (+) dan Katoda (-)
5. *Pyrex* larutan
6. *Pyrex* water
7. *Rectifier*
8. *Thermocontrol*
9. *Heater*
10. H_2SO_4 (96%) / H_3PO_4 (85%)
11. *Water*
12. *Output* (+)
13. *Output* (-)

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Kekasaran permukaan

Dari pengujian kekasaran dengan variasi tegangan dan waktu pada proses elektropolishing di dapat data seperti berikut dimana untuk kekasaran awal sebelum dilakukan proses elektropolishing kekasaran yang diperoleh adalah 2,030 μm dan untuk hasil setelah elektropolishing dapat dilihat pada Gambar 3. Dengan variasi tegangan 4 Volt, 6 Volt dan 8 volt dan waktu 3 menit, 4 menit, dan 5 menit menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang terus mengalami penurunan. Dapat dilihat pada Gambar 4.4 bahwa grafik yang terjadi pada waktu yang semakin lama akan semakin berada dibawah jadi semakin lama waktu proses elektropolishing kekasaran permukaan yang terjadi akan semakin turun.

Gambar 3. kekasaran permukaan dengan variasi tegangan pada waktu yang berbeda

Gambar 4. kekasaran permukaan dengan variasi waktu pada tegangan yang berbeda

Penurunan kekasaran itu terjadi karena tegangan yang semakin besar akan berpengaruh pada arus yang terjadi dan mempercepat reaksi yang terjadi pada proses *electropolishing* sehingga permukaan akan lebih cepat mengalami pengikisan. Dengan lebih cepat nya reaksi dan lebih lamanya waktu proses yang diberikan maka permukaan spesimen yang terkikis akan semakin halus dan kekasaran permukaan yang dihasilkan menjadi berkurang. Untuk waktu electropolishing 3 menit dengan variasi tegangan 4, 6 dan 8 volt terjadi penurunan kekasaran seiring dengan bertambahnya potential proses electropolishing. Dari tegangan 4 volt memiliki nilai rata-rata Ra adalah 0,481 μm kemudian kekasaran permukaan menjadi Ra 0,384 μm untuk tegangan 6 volt. Kekasaran permukaan mengalami penurunan kekasaran kembali ketika nilai tegangan di perbesar hingga 8 volt. Pada tegangan ini nilai kekasaran permukaan yang di peroleh yaitu Ra 0,300 μm . Untuk waktu 4 menit untuk masing masing tegangan 4 volt memiliki nilai rata-rata Ra adalah 0,446 μm lalu mengalami penurunan kekasaran di tegangan 6 volt dengan nilai Ra adalah 0,381 μm . Selanjutnya ketika nilai tegangan di dinaikkan menjadi 8 volt, maka nilai kekasaran permukaan dari proses electropolishing yang dihasilkan pun akan turun dengan nilai Ra 0,283 μm . Untuk waktu 5 menit masing masing untuk 4 volt memiliki nilai rata-rata Ra adalah 0,441 μm lalu mengalami penurunan kekasaran di tegangan 6 volt dengan nilai Ra adalah 0,332 μm . Kemudian saat nilai tegangan di perbesar hingga 8 volt, nilai kekasaran permukaan hasil electropolishing yang dihasilkan pun akan turun dengan nilai Ra 0,238 μm .

Penurunan kekasaran terjadi karena tegangan yang semakin besar akan berpengaruh pada arus yang terjadi dan mempercepat reaksi yang terjadi pada proses *electropolishing* sehingga permukaan akan lebih cepat mengalami pengikisan. Dengan lebih cepat nya reaksi yang terjadi maka permukaan spesimen yang terkikis akan semakin halus dan kekasaran permukaan yang dihasilkan menjadi berkurang. Penurunan

kekasaran itu terjadi karena waktu yang semakin lama akan berpengaruh pada spesimen yang diberi proses *electropolish* karena reaksi yang terjadi pada proses *electropolishing* akan semakin maksimal dan lebih merata sehingga permukaan akan lebih cepat mengalami pengikisan. Dengan lebih lamanya waktu proses yang diberikan maka permukaan spesimen yang terkikis akan semakin halus dan kekasaran permukaan yang dihasilkan menjadi berkurang.

3.2 Scanning electron Microscope Observation

Untuk memperjelas topography permukaan dari AISI 316L maka SEM dilakukan pada substrat. Dari pengujian SEM dapat dilihat perbedaan ketika material sebelum dan sesudah terkena proses elektro polishing seperti di tunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5. SEM AISI 316L (a) sebelum proses elektropolishing (b) tegangan 4 volt dengan waktu 3 menit (c) tegangan 6 volt dengan waktu 3 menit (d) tegangan 8 volt dengan waktu 3 menit

Dari Gambar 5b dapat dilihat bahwa ketika tegangan 4 volt dengan waktu proses 3 menit hasil *electropolishing* pada foto SEM (*scanning electron microscope*) terlihat masih banyak goresan dan terlihat masih banyak bercak hitam. Hasil yang kurang lebih sama juga didapat pada Gambar 5c tegangan 6 volt dengan waktu proses 3 menit yakni masih banyak goresan dan terlihat masih ada bercak namun sudah sedikit berkurang dibandingkan dengan yang menggunakan tegangan 4 volt. Dapat diamati dalam foto uji SEM bahwa bekas luka pada permukaan AISI 316L tampak tegas dan jelas terlihat. Kemudian untuk tegangan 8 volt dengan waktu proses 3 menit pada Gambar 5d terlihat bahwa goresan yang terjadi pada hasil *electropolishing* semakin berkurang dan terlihat lebih bersih dari tegangan 4 volt dan 6 volt Hal ini dapat dilihat dari ketiga

foto SEM diatas yang memiliki perbedaan warna dan sisa goresan yang terjadi. Pada variasi tegangan yang terlihat dari foto uji SEM yakni semakin tinggi tegangan maka sisa goresan dan bercak yang ada pada permukaan semakin berkurang dikarenakan tegangan yang semakin besar akan mempercepat reaksi yang terjadi sehingga akan mendapatkan kekasarannya yang semakin halus.

Gambar 6. SEM AISI 316L setelah elektropolishing 4 menit (a) tegangan 4 volt (b) tegangan 6 (c) tegangan 8 volt

Gambar 6a dapat dilihat bahwa ketika tegangan 4 volt dengan waktu proses 4 menit hasil *electropolishing* pada foto SEM (*scanning electron microscope*) terlihat masih banyak goresan, terlihat jelas kontur permukaan dan masih banyak bercak hitam. Hasil yang didapat pada Gambar 6b tegangan 6 volt dengan waktu proses 4 menit yakni masih banyak terlihat goresan dan motif permukaan yang sedikit berkurang, terlihat masih ada bercak namun sudah sedikit berkurang dibandingkan dengan yang menggunakan tegangan 4 volt. Hal ini bisa dilihat dalam foto uji SEM yang terlihat bahwa partikel pada permukaan ss 316L tampak tegas dan jelas terlihat. Untuk tegangan 8 volt dengan waktu proses 4 menit pada Gambar 6c terlihat bahwa goresan yang terjadi pada hasil *electropolishing* semakin berkurang dan terlihat lebih bersih dari tegangan 4 volt dan 6 volt walaupun masih terlihat banyak bercak hitam yang ada. Hal ini dapat dilihat dari ketiga foto SEM diatas yang memiliki perbedaan warna dan sisa goresan yang terjadi serta motif permukaan yang terbentuk. Pada variasi tegangan yang terlihat dari foto uji SEM yakni semakin tinggi tegangan maka sisa goresan dan bercak yang ada pada permukaan semakin berkurang dikarenakan tegangan yang semakin besar akan mempercepat reaksi yang terjadi sehingga akan mendapatkan kekasarannya yang semakin halus.

Gambar 7. SEM AISI 316L setelah elektropolishing 5 menit (a) tegangan 4 volt (b) tegangan 6 (c) tegangan 8 volt

Gambar 7a dapat dilihat bahwa ketika tegangan 4 volt dengan waktu proses 5 menit hasil *electropolishing* pada foto SEM (*scanning electron microscope*) terlihat sedikit goresan, namun masih terlihat jelas motif permukaan dan masih banyak bercak hitam. Hasil yang didapat pada Gambar 7b tegangan 6 volt dengan waktu proses 4 menit yakni hampir sudah tidak terlihat goresan dan motif permukaan namun terlihat masih ada bercak hitam yang ada dipermukaan. Hal ini dapat diamati dalam uji SEM dimana terlihat pada permukaan AISI 316L tampak jelas terlihat perbedaan goresan dengan antara menggunakan tegangan 4 volt dan 6 volt. Untuk tegangan 8 volt dengan waktu proses 5 menit pada Gambar 7d terlihat bahwa masih ada sedikit goresan yang terjadi pada hasil *electropolishing* dan bercak hitam yang ada di permukaan semakin berkurang dan terlihat lebih bersih dari tegangan 4 volt dan 6 volt. Hal ini dapat dilihat dari ketiga foto SEM diatas yang memiliki perbedaan warna dan sisa goresan yang terjadi serta motif permukaan yang terbentuk. Pada variasi tegangan yang terlihat dari foto uji SEM yakni semakin tinggi tegangan maka sisa goresan dan bercak yang ada pada permukaan semakin berkurang dikarenakan tegangan yang semakin besar akan mempercepat reaksi yang terjadi sehingga akan mendapatkan kekasarannya yang semakin halus

4. KESIMPULAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar Tegangan yang pada proses elektropolishing akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan dari proses *electropolish* yang semakin turun karena tegangan yang semakin besar akan berpengaruh pada arus yang terjadi dan mempercepat reaksi yang terjadi pada

proses *electropolishing* sehingga permukaan akan lebih cepat mengalami pengikisan. Dengan lebih cepat nya reaksi dan lebih lamanya waktu proses yang diberikan maka permukaan spesimen yang terkikis akan semakin halus dan kekasaran permukaan yang dihasilkan menjadi berkurang.

Dengan memvariasikan waktu pada proses elektropolishing juga dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu maka kekasaran permukaan yang dihasilkan akan semakin berkurang dikarenakan dengan waktu yang lama akan memaksimalkan reaksi *elecropolish* yang berfungsi sebagai pengikis benda kerja semakin-lama juga sehingga material yang terkikis lebih banyak yang mengakibatkan nilai kekasaran permukaan menjadi turun.

Dari hasil foto SEM dapat dilihat bahwa pada variasi tegangan yang terlihat dari foto uji SEM yakni semakin tinggi tegangan maka sisa goresan dan bercak yang ada pada permukaan semakin berkurang dikarenakan tegangan yang semakin besar akan mempercepat reaksi yang terjadi sehingga akan mendapatkan kekasarannya yang semakin halus.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] NÚÑEZ, P.J., GARCÍA, E., HERNANDO, M., TRUJILLO, R., “Characterization of Surface Finish of Electropolished Stainless Steel AISI 316L with Varying Electrolyte Concentrations”, *Procedia Engineering*, vol. 63, pp.771–778, 2013.
- [2] VOORT, G.F.V., 2004. Chemical and Electrolytic Polishing, ASM Handbook, Vol. 9: Metallography and Microstructures, p 281-293, ISBN 978-0-87170-706-2.
- [3] WIDODO, TD, RAHARJO, R., WAHYUDIONO, A., “Effect of Low-Temperature Steel Ball Peening on the Hardness of SS 316L”, *Key engineering material*, v.791, n. 1., pp. 105-110, 2018.
- [4] DUERIG, T.W., PELTON, A.R., “An overview of superelastic stent design”, *Materials Science Forum*, v. 394, n. 3, pp. 1-8. 2002
- [5] ZIAUR R. DEEN K.M., “Lawrence C, Waseem H, the effects of parametric changes in electropolishing process on surface properties of 316L stainless steel”, *Applied Surface Science*, v. 410, n. 1, pp. 432-444, 2017.
- [6] SURASIT R, JAKNARIN C, WORAPONG B, WORAPONG B, ROMADORN B., Influence of Cutting Parameters in Face Milling Semi-solid AA 7075 Using Carbide Tool Affected the Surface Roughness and Tool Wear, *Energy Procedia*, v. 56, n. 6., pp. 448-457, 2014