

Pengaruh Perlakuan *Shot Peening* dan *Sputtering* TiN Terhadap Sifat Mekanik *Stainless Steel 316L*

Muhammad Hafidh Rasyadi^{1*}, Priyo Tri Iswanto¹

¹Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No.2, Yogyakarta, 55281

*Corresponding Author : muhammadhafidhrasyadi@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Sedikit dari material dalam kelompok *metal* yang dapat digunakan sebagai perangkat *biomaterial implant* untuk aplikasi medis. Salah satu material baja tahan karat yang dipertimbangkan untuk penggunaan medis sebagai material *implant* yaitu *Stainless steel 316L*. Keunggulan *stainless steel 316L* yaitu mempunyai sifat tahan terhadap korosi, mudah untuk difabrikasi, dan harganya yang lebih murah dibandingkan dengan *biomaterial* kelompok *metal* lainnya. Karakter dari *stainless steel 316L* tidak dapat diberikan perlakuan panas, sehingga perlu adanya metode lain dalam meningkatkan sifat-sifat mekanisnya. Salah satunya yaitu dengan perlakuan permukaan *shot peening* dan *sputtering*. Pada penelitian ini membahas mengenai pengaruh variasi durasi waktu *shot peening* 10 dan 20 menit menggunakan tekanan konstan 8 bar serta perlakuan *sputtering* terhadap struktur mikro, kekasaran permukaan dan kekerasan permukaan *stainless steel 316L*. Kekasaran permukaan *stainless steel 316L* meningkat akibat perlakuan *shot peening*, sedangkan perlakuan *sputtering* menurunkan nilai kekasaran permukaan spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening*. Nilai kekerasan permukaan meningkat akibat perlakuan *shot peening* dan *sputtering*. Peningkatan tertinggi sebesar 661,36 HV pada variasi *shot peening* 20 menit dan *sputtering*. Peningkatan nilai kekerasan optimum pada durasi *shot peening* 10 menit sebesar 148%. Pengamatan struktur mikro diperoleh bahwa semakin lama durasi *shot peening* yang diberikan, maka semakin kecil dan semakin halus struktur butir pada bagian permukaan spesimen.

Kata kunci: *shot peening*, *sputtering*, *Stainless Steel 316L*

Abstract

Some of materials in the *metal* group can be used as *biomaterial implant* devices for *medical* applications. *Stainless steel 316L* is one of *metal* materials considered as an *implant* material in *medical* applications. The advantages of *stainless steel 316L* are good *corrosion* resistance properties, easy fabrication, and lower cost compared to other *metal biomaterials*. *Stainless steel 316L* cannot be *heat treated*, thus requiring other methods to enhance its mechanical properties, one of which is surface treatment such as *shot peening and sputtering*. This study discusses the effects of *sputtering and shot peening* with variation durations of 10 and 20 minutes use constant pressure of 8 bars on the *microstructure, surface roughness, and surface hardness of stainless steel 316L*. The *surface roughness of stainless steel 316L* increased due to *shot peening* treatment while *sputtering* treatment decreased the *roughness* value following to *shot peening*. The *surface hardness* value increased due to *shot peening and sputtering* treatment, with the highest increase of 661,36 HV observed in the 20-minute *shot peening and sputtering* variation. The optimum *hardness* value increased by 148% at *shot peening* duration of 10 minutes. *Microstructure* observations revealed that the longer *shot peening* duration, the smaller and smoother *grain* structure on the *surface* of specimens.

Keywords : *shot peening*, *sputtering*, *Stainless Steel 316L*

PENDAHULUAN

Jumlah material yang dapat digunakan dalam perangkat *implant* dan telah disetujui pada saat ini relatif sedikit dikarenakan persyaratan biokompatibilitas, respons peradangan pada jaringan lokal, serta ketahanan material terhadap beban dinamis pergerakan manusia. *Metal* adalah salah satu kelompok material yang digunakan sebagai perangkat *implant*. *Metal* dipilih karena memiliki kekuatan yang baik. Hal ini mewakili sebagian besar tugas *implant* dalam menahan beban pada tubuh manusia. Akan tetapi karena korosi merupakan kendala utama dalam lingkungan biologis, pilihan kelompok material metal terbatas pada baja tahan karat dan baja paduan tertentu (ASM International. Handbook Volume 23. 2012). Salah satu material yang memiliki biokompatibilitas dan ketahanan korosi yang baik yaitu paduan titanium, dan umumnya digunakan dalam aplikasi medis. Akan tetapi paduan titanium memiliki harga yang relatif mahal. *Stainless steel* memiliki sifat biokompatibilitas yang cukup baik dengan harganya lebih murah dibandingkan dengan paduan *titanium*, akan tetapi *stainless steel* memiliki sifat mekanik yang lebih rendah daripada paduan titanium.

Stainless steel 316L salah satu material baja tahan karat yang dipertimbangkan sebagai material *implant*. Akan tetapi material SS 316L masih memiliki kekurangan seperti disebutkan dalam buku ASM International. *Stainless Steel*, (2008), *austenitic stainless steel* memiliki keterbatasan yaitu kurang tahan terhadap oksidasi siklik karena koefisien muai panasnya yang besar yang menyebabkan lapisan oksida pelindung mengelupas, rentan terhadap *stress corrosion cracking* (SCC) serta memiliki keterbatasan ketahanan Lelah, besarnya hanya sekitar 30% dari kekuatan tariknya. Beberapa penelitian mengemukakan temuan-temuan kegagalan fatik pada *implant prosthesis* dengan bahan material *stainless steel* 316L. Material logam yang digunakan sebagai biomaterial *implant* salah satunya digunakan pada bagian tubuh yang menerima beban dinamik yang disebabkan oleh gerak tubuh manusia. Ketahanan material yang digunakan untuk *implant* merupakan salah satu faktor yang diperhitungkan dalam pemilihan jenis penggunaan material.

Karakter dari SS 316L yang tidak dapat diberikan perlakuan panas, sehingga perlu adanya metode lain dalam meningkatkan sifat-sifat mekanisnya, salah satunya yaitu dengan perlakuan permukaan. Perlakuan permukaan adalah perlakuan yang diberikan kepada material agar mampu meningkatkan sifat karakteristik material tersebut meliputi ketahanan retak, tegangan luluh, *tensile strength*, *microhardness*, kekasaran, ketahanan korosi, keausan, dan *wettability* (Iswanto, dkk. 2018). Salah dua dari metode perlakuan permukaan pada material yaitu *shot peening* dan *sputtering*. *Shot peening* merupakan proses penembakan partikel-partikel kecil dan keras yang umumnya memiliki diameter 0,1 hingga 1,0 mm diproyeksikan dengan kecepatan yang tinggi ke permukaan yang akan diberi perlakuan. Deformasi yang dihasilkan menginduksikan tegangan tekan hingga kedalaman $\frac{1}{4}$ hingga $\frac{1}{2}$ diameter bola. Tegangan sisa akan terjadi pada permukaan logam melalui defromasi plastis lokal (Callister dan Rethwisch 2018). Sedangkan *sputtering* merupakan proses penguapan *non-thermal* di mana atom permukaan target secara fisis dikeluarkan dari permukaan material melalui transfer momentum dengan cara menembakkan ion-ion berukuran atom (ASM International. Handbook Volume 5. 1994)

Penelitian yang dilakukan oleh Sujita, (2011) pada baja karbon rendah yang dikenai perlakuan *shot penning* mengalami deformasi plastis pada permukaannya yang meningkatkan nilai kekerasannya. Tidak ditemukannya *stress corrosion cracking* pada baja karbon rendah yang dikenai *shot peening*. Hal ini menunjukkan perlakuan *shot peening* merupakan salah satu perlakuan yang dapat diterapkan untuk mencegah *stress corrosion cracking*. Yang dkk., (2020) dalam penilitiannya mempelajari karakterisasi perilaku relaksasi tegangan sisa dan umur fatik pada material SS304 akibat perlakuan *shot peening*. Perlakuan *shot peening* dapat meningkatkan ketahanan kegagalan fatik akibat adanya tegangan sisa pada permukaan. *Shot peening* juga mengubah ukuran butir dan menyebabkan distorsi struktur butir yang mengakibatkan meningkatnya nilai kekerasan permukaan material.

Perlakuan *sputtering* untuk aplikasi pelapisan TiN pada substrat paduan tembaga diteliti oleh Carrasco dkk., (2004). Perlakuan

sputtering menghasilkan peningkatan nilai kekerasan paduan tembaga berbanding lurus dengan semakin besar arus perlakuan *sputtering*. Subramanian dkk., (2011) melakukan penelitian mengenai pengaruh perlakuan pelapisan *film sputtering* TiN. Nilai kekerasan baja karbon rendah dengan lapisan *multilayer* TiN mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan adanya lapisan tipis TiN pada substrat.

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah disebutkan, maka penelitian ini ditujukan untuk menginvestigasi pengaruh perlakuan *shot peening* dan *sputtering* titanium pada material *austenitic stainless steel 316L* terhadap sifat mekaniknya. Penggabungan dari kedua perlakuan tersebut dapat menghasilkan lapisan baru pada material substrat dan menghasilkan sifat-sifat baru yang berbeda dari *raw material stainless steel 316L* untuk dapat digunakan sebagai biomaterial alternatif.

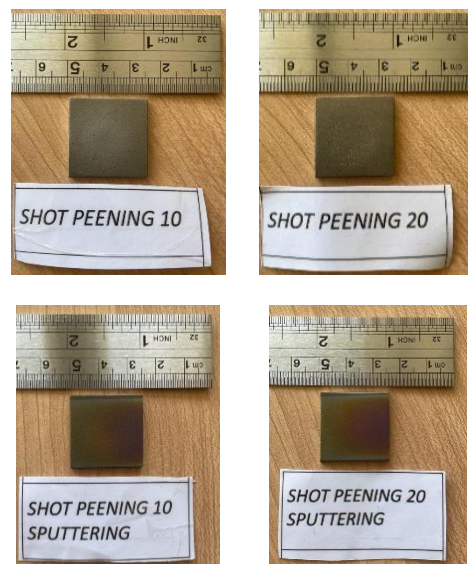
METODE

Penelitian ini menggunakan material *stainless steel 316 L*. Spesimen material merupakan lembaran plat dengan tebal 3 mm, kemudian dipotong dengan dimensi 25 x 25 mm sejumlah 3 spesimen sesuai dengan variabel parameter penelitian. Seluruh spesimen yang telah dipotong kemudian dihaluskan permukaannya untuk menyamakan kondisi awal permukaan spesimen sebelum diberi perlakuan. Penghalusan permukaan dilakukan menggunakan *abrasive paper* secara bertahap dengan urutan penghalusan dimulai dari tingkatan 180, 240, 480, 800, 1200, 2000. Setelah spesimen dihaluskan kemudian permukaan spesimen diberi *autosol metal polish* untuk menghilangkan goresan-goresan halus yang masih ada di permukaan.

Spesimen yang telah selesai dipersiapkan selanjutnya diberi perlakuan permukaan *shot peening*. Alat yang digunakan untuk perlakuan *shot peening* yaitu *air compressor* merk SWAN seri HP P-203 dengan diameter *nozzle* penembakan 5 mm. Spesimen diletakkan dengan jarak 60 mm dari ujung *nozzle* tembak. Sudut *nozzle* penembakan diatur pada sudut 90°. Tekanan udara untuk penembakan diatur pada tekanan konstan 8 bar. Dimensi *steel ball* sebagai partikel penembakan berdiameter 0,6 mm dengan nilai kekerasan 45 HRC. Spesimen diberi perlakuan permukaan *shot penning*

dengan waktu 10 dan 20 menit. Seluruh proses perlakuan *shot peening* pada spesimen dilakukan di laboratorium bahan teknik DTMI kampus UGM.

Dua spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan masing-masing durasi penembakan 10 dan 20 menit kemudian diberi perlakuan *sputtering*. Material target yang digunakan pada perlakuan *sputtering* yaitu *titanium*. Spesimen yang akan diberi perlakuan *sputtering* diletakkan dalam *chamber* yang tekanannya telah divakum. *Chamber* yang vakum tersebut kemudian diinjeksikan gas *sputter* yaitu gas Argon dan gas reaktan yaitu *Nitrogen* dengan komposisi perbandingan 70% gas Argon dan 30% gas *Nitrogen*. Jarak antara substrat dengan material target sebesar 20 mm, kemudian diberi perlakuan *sputtering* selama 120 menit dengan tegangan 5 keV dan arus 10mA. Seluruh proses perlakuan *sputtering* dilakukan pada fasilitas laboratorium BRIN Yogyakarta. Hasil dari spesimen *stainless steel 316L* yang diberi perlakuan *shot peening* dan *sputtering* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Spesimen SS 316L dengan perlakuan *shot peening* dan *sputtering*

Pengamatan struktur mikro dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada permukaan spesimen *stainless steel 316L* yang telah diberi perlakuan *shot peening* dan *sputtering*. Spesimen yang telah diberi perlakuan permukaan dipotong dengan arah lateral untuk mendapatkan area penampang melintang. Spesimen yang telah dipotong

kemudian diletakkan pada resin sebagai *holder*, kemudian spesimen dihaluskan menggunakan *abrasive paper* dengan tahapan penghalusan dimulai dari tingkatan 180, 240, 480, 800, 1200, 2000. Setelah spesimen dihaluskan kemudian permukaan spesimen diberi *autosol metal polish* untuk menghilangkan goresan-goresan halus yang masih ada di permukaan. Untuk mempertegas batas butir struktur mikro, penampang spesimen dietsa dengan larutan HNO₃ dan HCl. Mikroskop optic *Olympus* digunakan untuk pengamatan struktur mikro dan seluruh kegiatan pengamatan struktur mikro dilakukan di laboratorium bahan teknik DTMI kampus UGM.

Spesimen diuji kekasaran permukaannya menggunakan *surface roughness tester* Mitutoyo SJ-210 dengan standar pengujian ISO 1997. Pengujian kekasaran permukaan spesimen dilakukan di laboratorium CAD/CAM DTMI kampus UGM. Parameter pengambilan data pengujian kekasaran yaitu *cut off* 0,25 mm dan *evaluation length* 4 mm. Pengujian kekasaran dilakukan di sepanjang permukaan spesimen yang mendapatkan perlakuan,

Pengujian kekerasan permukaan dilakukan menggunakan peralatan pengujian *micro Vickers* Buchler Micromet 2100 series dengan mengacu pada standar pengujian ASTM E384. Pengujian kekerasan permukaan spesimen dilakukan di laboratorium bahan teknik DTMI kampus UGM. Spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dan *sputtering* kemudian dilakukan pengujian kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan pada permukaannya. Spesimen diberi beban indentasi sebesar 300 gf selama 10 detik. Nilai

kekerasan *vickers* dapat ditentukan dari persamaan berikut.

$$VHN = \frac{2P \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)}{L^2} = \frac{1,854 P}{L^2}$$

dimana : P = beban yang diberikan (kgf)
 L = rata-rata Panjang diagonal indentasi (mm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan struktur mikro bagian permukaan spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dan *sputtering* dapat dilihat pada Gambar 2. Fenomena perubahan struktur berupa butir-butir yang lebih halus diakibatkan perlakuan *shot peening* pada permukaan spesimen dapat terlihat pada Gambar 2 (b)(c). Hal ini sesuai dengan penelitian terdahulu bahwa *shot peening* dapat mengakibatkan terjadinya penghalusan butir pada permukaan spesimen (Hashemi, dkk. 2011). Struktur mikro pada bagian permukaan terlihat bahwa butir akibat perlakuan *shot peening* lebih rapat dibandingkan dengan struktur butir pada spesimen *stainless steel* 316L tanpa perlakuan. Berdasarkan pengamatan struktur mikro diketahui bahwa penghalusan butir-butir pada permukaan spesimen disebabkan oleh terjadinya deformasi plastis akibat dari tumbukan bola baja. Perbedaan ukuran struktur mikro butiran dapat dilihat pada daerah permukaan dan bawah permukaan (Liu, dkk. 2017). Lapisan tipis TiN pada permukaan spesimen akibat perlakuan deposisi *sputtering* terlihat pada Gambar 2 (c).



Gambar 2. Struktur mikro perbesaran 200x (a) spesimen tanpa perlakuan (b) perlakuan *shot peening* 20 menit (c) lapisan deposisi *sputtering* TiN pada perlakuan *shot peening* 20 menit

Dari hasil pengujian kekasaran menunjukkan bahwa permukaan spesimen

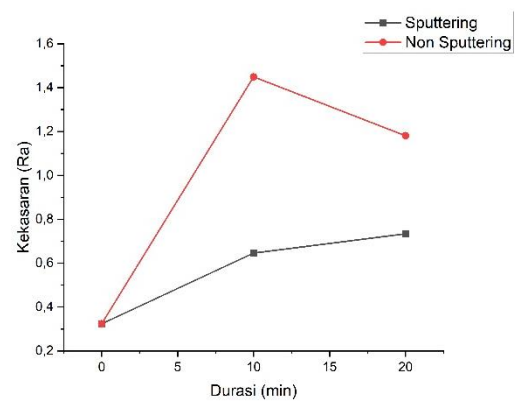
stainless steel 316L yang diberi perlakuan *shot peening* dan *sputtering* mengalami perubahan

nilai kekasarannya. Data nilai hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1. perlakuan *shot peening* akan meningkat nilai kekasarannya spesimen dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberi perlakuan *shot peening*. Meningkatnya nilai kekasaran pada permukaan spesimen disebabkan oleh indentasi bola baja yang ditembakkan pada permukaan spesimen, proses penembakan tersebut meninggalkan jejak-jejak kecil akibat tumbukan bola-bola baja secara acak (Edward 2015). Semakin lama perlakuan *shot peening* yang diterima maka nilai kekasaran permukaannya cenderung akan mengalami penurunan. Perubahan nilai kekasaran permukaan spesimen disebabkan semakin tinggi intensitas tumbukan bola-bola baja membuat jejak-jejak tumbukan yang berupa puncak dan lembah terus mengalami tumbukan sehingga besarnya jejak tinggi puncak dan lembah akibat tumbukan akan semakin mengecil (Ahmed, dkk 2014).

Tabel 1. Nilai Kekasaran Permukaan

Treatment	Ra (μm)
Raw Material	0,324
Shot peening 10 Min	1,449
Shot peening 20 Min	1,181

Pada gambar 3. dapat dilihat perbandingan nilai kekasaran permukaan antara spesimen dengan perlakuan *shot peening* dan spesimen dengan perlakuan gabungan *shot peening* dan *sputtering*. Proses perlakuan *sputtering* mempengaruhi nilai kekasaran permukaan spesimen, hal ini disebabkan terbentuknya deposisi Titanium pada permukaan substrat. Perlakuan *sputtering* dapat menurunkan nilai kekasaran permukaan pada durasi *shot peening* yang sama. Pada variasi perlakuan *shot peening* 10 menit, kekasaran permukaan spesimen yang diberi perlakuan *sputtering* sebesar 0,646 μm . Nilai kekasaran ini menurun dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberi perlakuan *sputtering*. Distribusi atom-atom pada proses *sputtering* menyebabkan perubahan kekasaran permukaan substrat, dimana partikel-partikel berenergi tinggi dalam tekanan vakum tidak saling bertumbukkan antar sesama atom, sehingga mengurangi cacat pada permukaan substrat dan melapisi lebih sempurna (Lee, dkk. 2003).



Gambar 3. Grafik Gabungan Kekasaran Permukaan

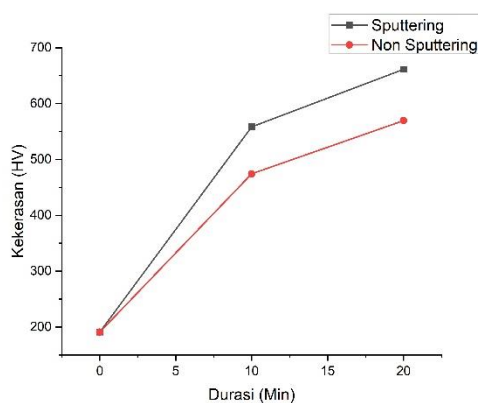
Nilai kekerasan permukaan didapatkan dari hasil perhitungan dari pengujian *vickers*. Pada tabel 2. dapat dilihat nilai kekerasan spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening* dengan durasi waktu perlakuan sesuai variasi penelitian. Nilai kekerasan spesimen penelitian *stainless steel 316L* yaitu 190,74 HV. Nilai kekerasan tertinggi akibat *shot peening* yaitu pada durasi perlakuan selama 20 menit sebesar 569,55 HV. Nilai kekerasan tersebut meningkat seiring dengan durasi perlakuan *shot peening* yang diterima oleh spesimen. Perlakuan *shot peening* mengakibatkan terjadinya dislokasi struktur pada daerah permukaan material akibat tumbukan bola baja. Banyaknya dislokasi pada bagian permukaan membentuk interaksi antar dislokasi terdekat lainnya (Luan, dkk. 2009). Fenomena interaksi antar dislokasi ini membuat kerapatan dislokasi pada batas butir. Semakin halus butir akan menghambat interaksi dislokasi antar butirnya. Hal ini sering disebut dengan strain hardening yaitu efek yang timbul akibat pengerasan regangan.

Tabel 2. Nilai Kekerasan Vickers

Treatment	VHN
Raw Material	190,74
Shot peening 10 Min	474,14
Shot peening 20 Min	569,55

Perbandingan nilai kekerasan antara spesimen yang diberi perlakuan *shot peening* dengan spesimen yang diberi perlakuan gabungan *shot peening* dan *sputtering* dapat dilihat pada Gambar 4. Proses perlakuan *sputtering titanium* dapat meningkatkan nilai

kekerasan spesimen pada durasi shot peening yang sama. Nilai kekerasan spesimen dengan perlakuan gabungan *shot peening* 10 menit dan *sputtering titanium* sebesar 588,22 HV, nilai kekerasan ini meningkat 15% dibandingkan spesimen durasi waktu perlakuan *shot peening* yang sama 10 menit tetapi tidak diberi perlakuan *sputtering titanium*. Nilai kekerasan tertinggi pada spesimen dengan perlakuan gabungan *shot peening* 20 menit dan *sputtering titanium* sebesar 661,36 HV. Kekerasan optimum terjadi pada perlakuan *shot peening* dengan durasi 10 menit yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4. Perubahan nilai kekerasan mengalami kenaikan signifikan dibandingkan dengan spesimen yang tidak diberi perlakuan permukaan, peningkatan tersebut sebesar 148%. Gas nitrogen sebagai gas reaktan pada proses *sputtering* mempengaruhi penumbuhan lapisan TiN pada substrat *stainless steel* 316L. Atom-atom gas nitrogen bereaksi dengan atom-atom material target *titanium* membentuk TiN. Peningkatan nilai kekerasan spesimen diakibatkan terbentuknya deposisi lapisan TiN pada permukaan substrat (Mahieu, dkk. 2008). Perlakuan *sputtering* mampu meningkatkan nilai kekerasan permukaan, atom-atom TiN akan terseposisi dan mengisi ruang kosong pada permukaan substrat spesimen sehingga densitas permukaan semakin meningkat (Priyambodo dkk. 2017).



Gambar 4. Nilai Gabungan Kekerasan Permukaan

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini membuktikan bahwa perlakuan *shot peening* dan *sputtering* dapat untuk meningkatkan sifat-sifat mekanik material *stainless steel* 316L. Nilai kekerasan permukaan meningkat akibat perlakuan *shot peening*, sedangkan perlakuan *sputtering*

menurunkan nilai kekasaran permukaan spesimen yang telah diberi perlakuan *shot peening*. Nilai kekerasan permukaan meningkat akibat perlakuan *shot peening* dan *sputtering*, peningkatan tertinggi sebesar 661,36 HV pada variasi *shot peening* 20 menit. Peningkatan nilai kekerasan optimum pada durasi *shot peening* 10 menit sebesar 148% dibandingkan dengan nilai kekerasan *stainless steel* 316L. Pengamatan struktur mikro diperoleh bahwa semakin lama durasi *shot peening* yang diberikan maka semakin mengecil dan semakin halus struktur butir pada bagian permukaan spesimen. Peningkatan sifat-sifat mekanis pada *stainless steel* 316L yang telah diberi perlakuan *shot peening* dan *sputtering* dapat menjadi pilihan material alternatif sebagai biomaterial *implant* yang relatif lebih murah dibandingkan dengan biomaterial logam lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Aymen A., Mansour Mhaede, Manfred Wollmann, dan Lothar Wagner. 2014. "Effect of surface and bulk plastic deformations on the corrosion resistance and corrosion fatigue performance of AISI 316L." *Surface and Coatings Technology* 259:448–55. doi: 10.1016/j.surfcoat.2014.10.052.
- ASM International. Handbook Volume 5. 1994. *ASM Handbook Vol.5*.
- ASM International. Handbook Volume 23. 2012. *ASM Handbook Vol.23*.
- ASM International. Stainless Steel. 2008. *Stainless Steels for Design Engineers*. ASM International.
- Callister, William D., dan David G. Rethwisch. 2018. *Materials Science and Engineering*. Hachette Livre - Département Pratique.
- Carrasco, C., L. Segers, B. Benavente, dan V. Vergara. 2004. "Titanium nitride coatings on copper alloy prepared by dc reactive magnetron sputtering." *Journal of Materials Processing Technology* 145(3):371–76. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2003.09.001.

- Edward, Aghogho Bright. 2015. "Researching Advances in the Use of Shot Peening for Corrosion Fatigue Mitigation in Steam Turbine Blades." *Mechanical and Aeronautical Engineering, EDEM, University of Pretoria, South Africa*. 50(1):158–60. doi: 10.2320/matertrans.MRA2008272.
- Hashemi, B., M. Rezaee Yazdi, dan V. Azar. 2011. "The wear and corrosion resistance of shot peened–nitrided 316L austenitic stainless steel." *Materials & Design* 32(6):3287–92. doi: 10.1016/j.matdes.2011.02.037.
- Iswanto, Priyo Tri, H. Akhyar, dan A. Faqihudin. 2018. "Effect of Shot Peening on Microstructure, Hardness, and Corrosion Resistance of AISI 316L." *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 89(1).
- Lee, Si-Hyung, Ki Hyun Yoon, Deok-Soo Cheong, dan Jeon-Kook Lee. 2003. "Relationship between residual stress and structural properties of AlN films deposited by r.f. reactive sputtering." *Thin Solid Films* 435(1–2):193–98. doi: 10.1016/S0040-6090(03)00353-5.
- Liu, Y. G., M. Q. Li, dan H. J. Liu. 2017. "Nanostructure and surface roughness in the processed surface layer of Ti-6Al-4V via shot peening." *Materials Characterization* 123:83–90. doi: 10.1016/j.matchar.2016.11.020.
- Luan, Weizhi, Chuanhai Jiang, dan Vincent Ji. 2009. "Residual Stress Relaxation in Shot Peened Surface Layer on TiB₂/Al Composite under Applied Loading." *MATERIALS TRANSACTIONS* 50(1):158–60. doi: 10.2320/matertrans.MRA2008272.
- Mahieu, S., D. Depla, dan R. De Gryse. 2008. "Characterization of the hardness and the substrate fluxes during reactive magnetron sputtering of TiN." *Surface and Coatings Technology* 202(11):2314–18. doi: 10.1016/j.surfcoat.2007.09.002.
- Priyambodo, Bambang Hari, Viktor Malau, Priyo Tri Iswanto, Tjipto Sujitno, dan Suprpto. 2017. "The Influence of TiN-Sputtering on Hardness and Corrosion Rate of AISI 304 for Biomaterials Application." *The Journal of Corrosion Science and Engineering* 20(101).
- Subramanian, B., R. Ananthakumar, V. S. Vidhya, dan M. Jayachandran. 2011. "Influence of Substrate Temperature on The Materials Properties of Reactive DC Magnetron Sputtered Ti/TiN Multilayered Thin Films." *Materials Science and Engineering: B* 176(1):1–7. doi: 10.1016/j.mseb.2010.08.004.
- Sujita. 2011. *Pengaruh Perlakuan Shot Peening Terhadap Korosi Retak Tegang Baja Karbon Rendah Pada Lingkungan Korosif*. Vol. 1.
- Yang, Shun, Wu Zeng, dan Jishen Yang. 2020. "Characterization of shot peening properties and modelling on the fatigue performance of 304 austenitic stainless steel." *International Journal of Fatigue* 137. doi: 10.1016/j.ijfatigue.2020.105621.