

PENGARUH JENIS ABRASIF PADA PROSES SHOTPEENING TERHADAP KEKASARAN DAN KEKERASAN PERMUKAAN BAJA TAHAN KARAT

Muh. Iqbal Mukhsen¹⁾

¹⁾ Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

Shotpeening is a method to modify the surface structure of stainless steel by blasting abrasive material on the surface. These paper observers have compared steel-shots and steel-grits to the effect of shotpeening on hardness and surface roughness. The use of steel abrasive material in the shotpeening process can be reused. The steel shot that has been used is SAE S-230 and Steel grit has been used SAE G-40. There are three angles for shooting positions, i.e. angle of 0°, 25°, and 45°. The maximum roughness in the collision of steel grit at a duration of 2 minutes at the position of the specimen 45° obtained the value of Ra 2.903 µm. The highest hardness value obtained on steel shot abrasive material in the duration of 10 minutes obtained a value of 164.13 HB. Increasing the surface hardness with the duration of spraying, and surface roughness increases, decreases and was constant.

Keywords: *shotpeening, Surface Roughness, Hardness, stainless steel, steel shot, steel grit*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi material dibidang ortopedi telah berkembang dengan cepatnya. Indonesia merupakan salah satu negara yang telah memproduksi implan yang berbahan logam untuk memenuhi pasar lokal [1]. Produksi implan yang sering diproduksi di Indonesia yaitu implan yang berbahan *stainless steel*, dengan beberapa keunggulannya yaitu tahan terhadap korosi, toksitas yang rendah, dan kemampuan suatu material dengan mudah untuk dibentuk [2] [3] [4] [5]. Permukaan implan yang kontak langsung pada tulang diharapkan memiliki sifat hidrofilik yang sangat berpengaruh terhadap proses penyambungan tulang. Salah satu penyebab korosi terhadap implan di dalam tubuh yaitu terdapatnya cairan tubuh manusia yang mengandung ion agresif [6].

Penggunaan material titanium telah lazim digunakan oleh para dokter ortopedi yang telah diakui memiliki tingkat ketahanan korosi lebih baik dibanding material *stainless steel*, namun material titanium dalam proses pembentukannya masih sulit, sehingga para produsen implan telah mengembangkan implan berbahan *stainless steel* sebagai material alternatif yang mudah dibentuk dan memiliki karakteristik mendekati material titanium. Rekayasa material dilakukan untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan; kekerasan yang lebih baik dan biaya pembentukannya bisa lebih murah, Beberapa rekayasa material antara lain *sandblasting* [7] [8] [9], *shotpeening* [2], asam etsa [7] [10], anodizing [7] dan *surface mechanical attrition treatment* yang biasa disingkat SMAT [11] [12].

Shotpeening merupakan suatu metode untuk merubah struktur permukaan baja tahan karat dengan cara membenturkan material abrasif ke permukaan material uji. Jenis material abrasif digolongkan antara material abrasif logam yang disebut proses *shotpeening* sedangkan jenis abrasif pasir silika disebut dengan proses *sandblasting*. Penggunaan material abrasif berjenis logam pada proses *shotpeening* bersifat *reuse* atau dapat digunakan kembali, sehingga dapat menekan biaya produksi. Material abrasif berjenis logam yaitu *steel shot* dan *steel grit* yang dibedakan dengan bentuk materialnya. *Steel shot* merupakan material abrasif yang diproduksi dari baja yang berbentuk bola, sedangkan *steel grit* bentuknya tidak beraturan/*unishape*.

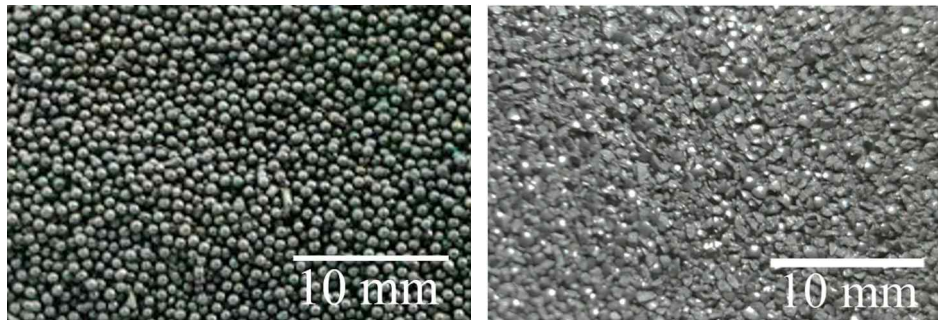
Penelitian yang telah dilakukan oleh Liu dkk [13] menyatakan bahwa terdapat kenaikan ketebalan deformasi dan kenaikan butir seiring dengan kenaikan tekanan dan durasi penyemprotan. Jiang, X.P [14] melakukan penelitian *shotpeening* menghasilkan perubahan struktur pada *layer* akibat penumbukan material. Muh. Iqbal [2] membandingkan durasi penembakan menghasilkan kekasaran permukaan berevolusi seiring durasi *shotpeening* terdiri dari tiga tahap kekasaran yaitu pada tahap pertama kekasaran meningkat, menurun, dan konstan.

2. METODE PENELITIAN

Material yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu material *stainless steel* berbentuk plat dengan ukuran 30×38 mm dengan ketebalan plat 1,91mm, dengan kandungan kimia (%wt) adalah 0,031 C, 17,166 Cr, 11,33 Ni, 1,33 Mo, 1,866 Mn, 0,413 Si, 0,238 Cu, dan *balance* 67,2 Fe.

¹⁾ Korespondensi penulis: Nama Muh. Iqbal Mukhsen, Telp 081342553550, iqbal.mukhsen@poliupg.ac.id

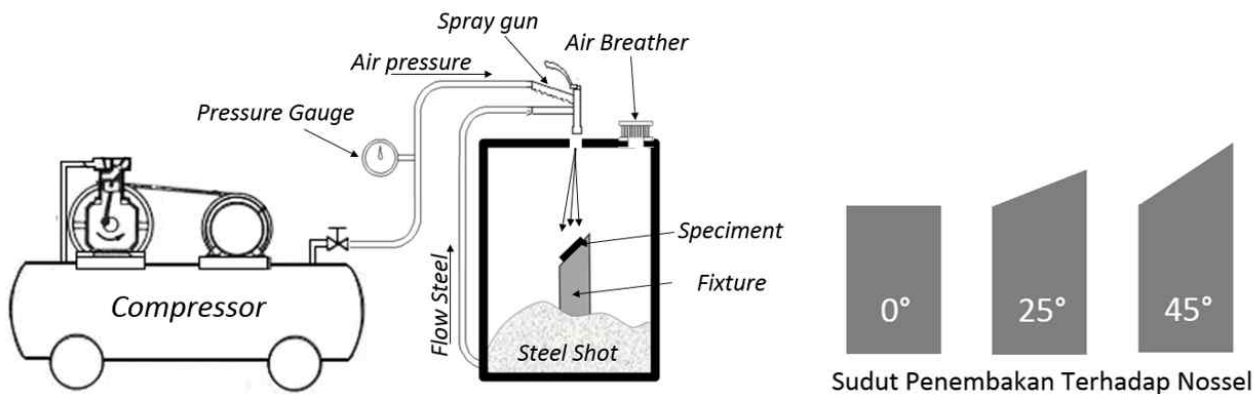
Material abrasif *shotpeening* atau *steel shot* menggunakan material baja karbon SAE S-230 dengan ukuran *steel shot* $\pm 700 \mu\text{m}$, sedangkan *steel grit* menggunakan material baja karbon SAE G-40 dengan ukuran *uni shape* $\pm 700 \mu\text{m}$. Medua material abrasif tersebut memiliki komposisi material (%wt) adalah: 0,8-1,2 C, 0,5-1,2 Mn, 0,4 Si, 0,05 S, 0,05 P. *Steel shot* memiliki tingkat kekerasan 40-51 HRC (Gambar 1).



Gambar 1. *Steel shot* SAE S-230 dan *Steel Grit* SAE G-40 ($\pm 700 \mu\text{m}$)

Pengujian kali ini membandingkan antara dua jenis abrasif *steel shot* dan *steel grit* dan posisi penembakan abrasif antara nossel dan permukaan benda uji. Terdapat 3 variasi sudut pembakan antara lain 0° yaitu posisi tegak lurus antara nossel dan benda uji, sedangkan 25° , dan 45° yaitu besaran sudut tembakan dari bidang datar. Pengujian kekasaran dan kekerasan permukaan dilakukan sebelum dan setelah *shotpeening*. Sebelum pengambilan data material uji dibersihkan dengan alkohol, untuk mendapatkan nilai kekasaran yang tepat. Pengukuran spesimen berat jenis spesimen dilakukan menggunakan timbangan digital skala 0,01 gr untuk mengetahui selisi berat jenis yang hilang akibat proses *shotpeening*.

Cara kerja *shotpeening* yaitu dengan menyalurkan udara bertekanan beserta material abrasif hingga membenturkan ke permukaan spesimen uji (Gambar 2). Tekanan udara dari kompresor yang diberikan antara 4-7 bar. *Steel shot/grit* yang telah disemprotkan ke permukaan spesimen akan tertampung kembali didalam kotak uji, dan akan tersirkulasi terus menerus, sedangkan udara bertekanan akan keluar melalui saluran air *breather*. Lama penyemprotan dilakukan tiga tahap yaitu 2, 6, hingga 10 menit.



Gambar 2. Proses *shotpeening* dan sudut penembakan

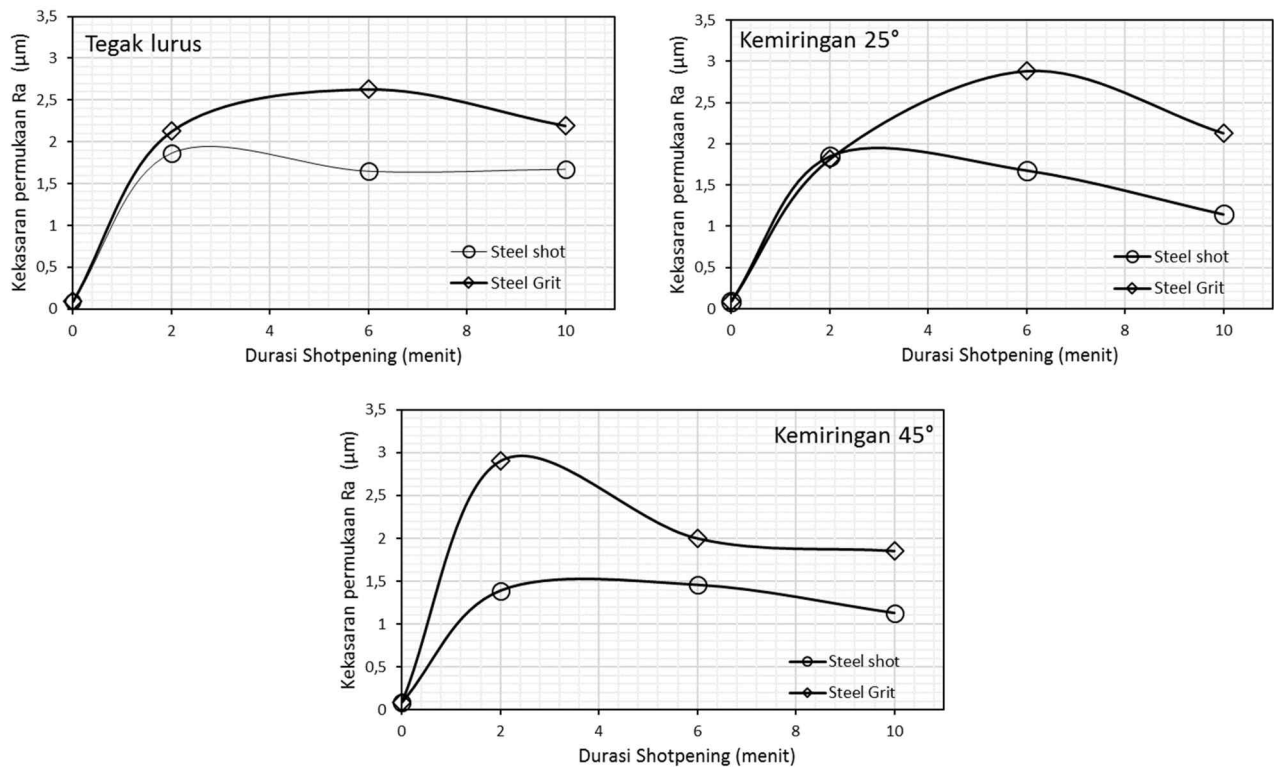
Pengujian kekasaran dilakukan setelah proses *shotpeening* dengan menggunakan *surface roughness Tester*, Mitutoyo SJ-310, Pengambilan titik sampel secara *random* sebanyak 10 kali di daerah yang berbeda, data hasil yang diperoleh dari pengujian kekasaran yaitu menggunakan parameter Ra. Kemudian pengujian kekerasan menggunakan alat uji kekerasan *Affri Hardness Tester* dengan metode *Brinnel Test* dengan menggunakan indentasi yang berukuran $\varnothing 10 \text{ mm}$ dengan tekanan indentasi sebesar 613N. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak 7 titik yang berbeda.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 memperlihatkan ada 3 grafik pengujian hasil kekasaran permukaan mulai dari posisi tegak lurus, 25° , dan 45° . Kekasaran pada material uji sebelum dilakukan *shotpeening* memiliki tingkat kekasaran sebesar Ra $0,089 \mu\text{m}$. Gambar 3 (tegak lurus) memperlihatkan nilai kekasaran meningkat setelah dilakukaannya proses *shotpeening* pada durasi 2 menit Ra $1,861 \mu\text{m}$ pada penggunaan material abrasif *steel*

shot, relatif hampir sama Ra 2,126 μm pada *steel grit*. Durasi penyemprotan selama 6 menit untuk *steel shot* mengalami penurunan Ra 1,646 μm sedangkan *steel grit* masih mengalami peningkatan Ra 2,629 μm . Durasi 10 menit terlihat kedua jenis abrasif mengalami penurunan didapat pada *steel shot* Ra 1,67 μm sedangkan *steel grit* Ra 2,193 μm .

Gambar 3 (kemiringan 25°) memperlihatkan nilai kekasaran meningkat setelah proses *shotpeening* pada durasi 2 menit dengan material abrasif *steel shot* sebesar Ra 1,844 μm , relatif hampir sama Ra 2,126 μm pada *steel grit*. Durasi penyemprotan selama 6 menit untuk *steel shot* mengalami penurunan Ra 1,673 μm sedangkan *steel grit* masih mengalami peningkatan Ra 2,884 μm . Kemudian durasi 10 menit terlihat kedua jenis abrasif mengalami penurunan pada *steel shot* Ra 1,141 μm sedangkan *steel grit* Ra 2,13 μm .



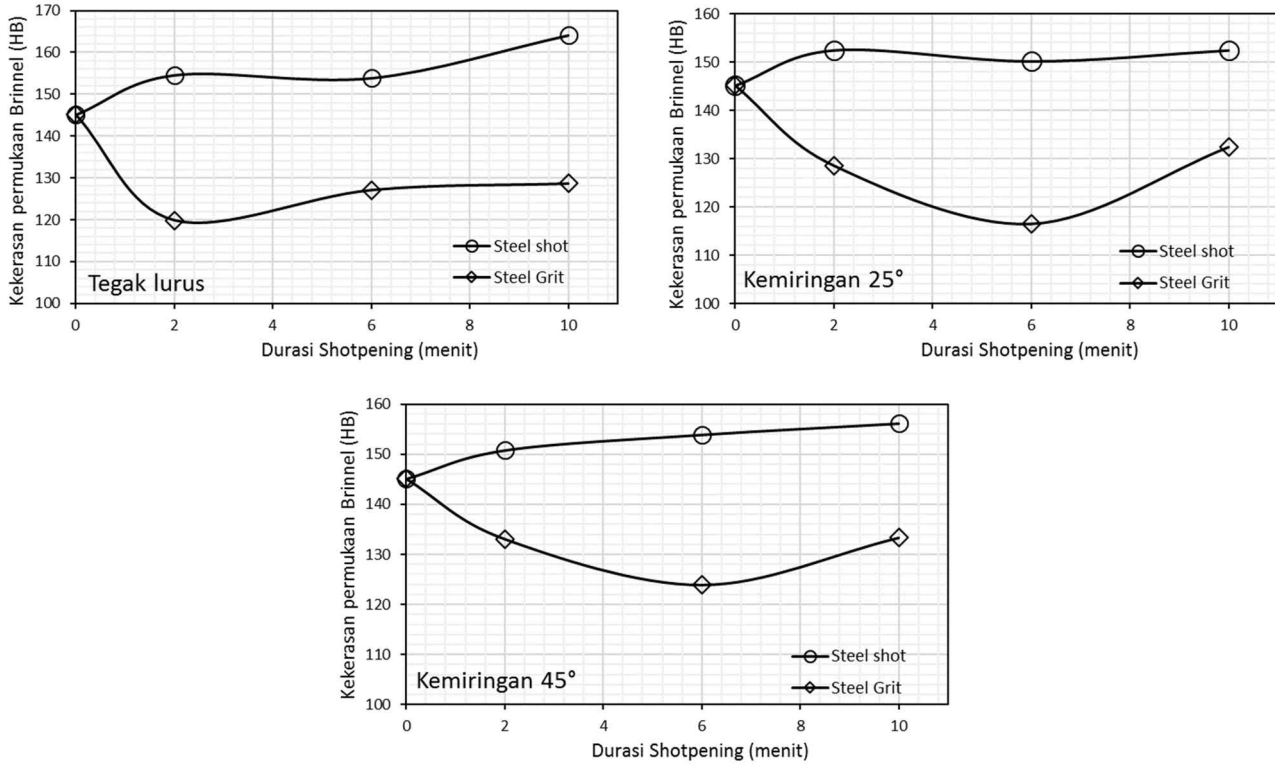
Gambar 3. Grafik kekasaran permukaan Ra

Gambar 3 (kemiringan 45°) memperlihatkan nilai kekasaran meningkat setelah proses *shotpeening* pada durasi 2 menit dengan material abrasif *steel shot* sebesar Ra 1,383 μm , dan *steel grit* mengalami peningkatan drastis Ra 2,903 μm . Durasi penyemprotan selama 6 menit untuk *steel shot* mengalami penurunan Ra 1,455 μm dan *steel grit* juga mengalami penurunan Ra 1,999 μm . Kemudian durasi 10 menit terlihat kedua jenis abrasif mengalami penurunan pada *steel shot* Ra 1,128 μm sedangkan *steel grit* Ra 1,185 μm .

Hasil pengujian kekerasan permukaan terlihat pada gambar 4. Material sebelum mendapatkan perlakuan *shotpeening* didapat nilai kekerasan rata-rata 145,11 HB. Pengujian pada posisi benda kerja tegak lurus terhadap nosel terlihat pada material abrasif *steel shot* mengalami peningkatan seiring durasi penembakannya, mulai dari durasi 2 menit didapatkan nilai rata-rata 154,6 HB, 6 menit rata-rata 153,9 HB, dan durasi 10 menit meningkat menjadi 164,1 HB. Kebalikan dari *steel grit* cenderung mengalami penurunan setelah di-*shotpeening* terlihat pada durasi 2 menit penurunan drastis dengan nilai rata-rata 119,8 HB, dan cenderung konstan pada durasi 6 menit 127,08 HB, dan durasi 10 menit sebesar 128,6 HB.

Pengujian selanjutnya pada posisi benda uji pada kemiringan 25° dengan membandingkan material abrasif *steel shot* dan *steel grit*. *Steel shot* mengalami peningkatan dibanding material *basenya* terlihat nilai kekerasan pada durasi 2 menit 119,8 HB, dan mengalami relatif konstan pada durasi 6 menit sebesar 150,1 HB dan pada durasi 10 menit 152,4 HB. Berbeda pada material abrasif *steel grit* yang mengalami penurunan kekerasan terlihat mulai pada durasi 2 menit 126,5 HB, durasi 6 menit yang terendah 116,4 HB, dan pada durasi 10 menit sebesar 132,3 HB.

Pengujian berikutnya pada sudut penembakan 45° pada permukaan benda uji untuk perbandingan dua jenis abrasif. Pada abrasif *steel shot* cenderung mengalami peningkatan terlihat pada hasil *shotpeening* selama 2 menit 150,8 HB, pada durasi 6 menit 153,9 HB, dan durasi 10 menit 156,1 HB. Sedangkan pada penggunaan abrasif *steel grit* mengalami penurunan kekerasan terlihat mulai dari durasi 2 menit sebesar 133,1 HB, paling rendah pada durasi 6 menit 123,9 HB, dan durasi 10 menit sebesar 133,3 HB.



Gambar 4. Grafik kekerasan permukaan HB

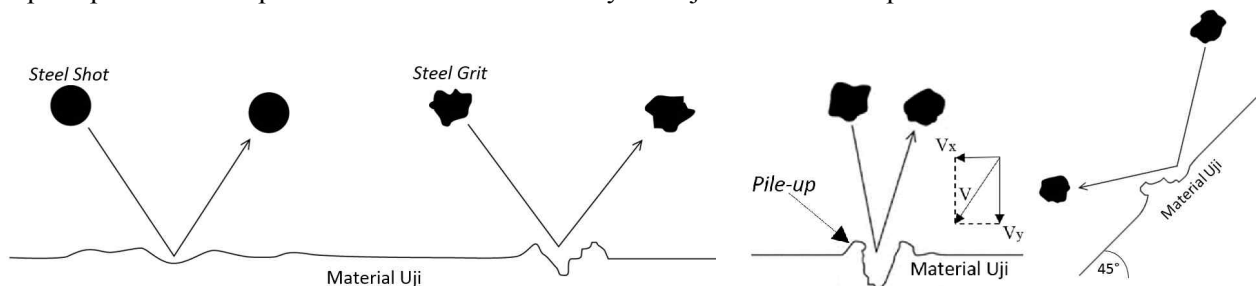
Perbandingan kekasaran permukaan dari beberapa sudut penembakan terlihat pada material abrasif *steel grit* memperlihatkan trend peningkatan setelah dilakukannya *shotpeening* dibanding menggunakan abrasif *steel shot*. Terlihat pada ilustrasi penembakan (Gambar 5. a), hasil penumbukan *steel shot* relatif landai, sedangkan *steel grit* menghasilkan kontur yang tidak beraturan. Proses *shotpeening* ini, beberapa spesimen mengalami penggerusan diakibatkan terjadinya gesekan antara spesimen dengan material abrasif. Pengurangan terlihat dari selisih berat jenis antara sebelum dan sesudah proses *shotpeening*. Selisih berat jenis untuk abrasif *steel shot* didapat 0,02 gr sedangkan untuk material *steel grit* didapat 0,05-0,12 gr.

Perbandingan sudut kemiringan antara 0° (tegak lurus), 25°, dan 45°, untuk nilai kekasaran permukaan pada 0°, dan kemiringan 25° di durasi awal 2 menit Ra 1,389-2,126 µm, dan meningkat pada sudut kemiringan 45° pada durasi 2 menit pada *steel grit* sebesar Ra 2,904 µm, fenomena ini dapat diilustrasikan bahwa material abrasif *steel grit* dengan sudut penembakan 45° (gambar 5b.) menghasilkan *pile-up* yang besar menghasilkan nilai Ra yang lebih tinggi, seiring lamanya proses *shotpeening* nilai Ra akan kembali menurun dikarenakan proses penghalusan dan pepadatan kembali. Pada trend kekerasan cenderung mengalami peningkatan diakibatkan lamanya proses pepadatan permukaan hasil tumbukan abrasif. Perbedaan sangat nyata terlihat dari penelitian kali ini antara material abrasif *steel shot* cenderung mengalami peningkatan nilai kekerasannya sedangkan pada *steel grit* mengalami penurunan, diakibatkan dari *pile-up* yang terbentuk dari tumbukan *steel grit* membuat kawah yang lebih besar, sehingga pada saat pengujian kekerasan dengan metode indentasi menekan permukaan material uji bisa lebih dalam.

Penelitian ini melihat perbandingan material abrasif *steel shot* dan *steel grit* pada proses *shotpeening* terhadap hasil kekasaran permukaan dan kekerasan pada material implan. Ada tiga variabel yang divariasikan yaitu jenis abrasif, derajat kemiringan spesimen, dan durasi waktu penembakan. Bentuk tulang manusia berbeda-beda sehingga untuk membuat material implan diharapkan menggunakan material yang mampu bentuk, dan memiliki nilai kekerasan yang lebih baik. Material *stainless steel* merupakan material yang memiliki nilai karbon yang rendah, sehingga masih dapat digunakan sebagai biomaterial.

Selisi berat jenis yang terjadi akibat adanya gesekan *steel shot/steel grit* pada permukaan spesimen dengan arah penembakan yang tidak tegak lurus sehingga terjadinya efek gesekan. Penelitian Iqbal [4], menggambarkan efek dari selisi diameter dari sekrup implan yang diakibatkan tergerus oleh pasir silika dalam proses *sandblasting*. Untuk material selindris lebih banyak mengalami abrasi akibat sudut penembakan yang tidak merata.

Transformasi kekasaran permukaan pada proses *shotpeening, sandblasting* yang telah dilakukan oleh Iqbal, dkk. 2011, Mukhsen dan Imam, 2018 dan SMAT yang dilakukan oleh Arifvianto dkk, [11] [12] Terlihat hasil penembakan pada durasi awal mengalami peningkatan yang drastis kemudian mengalami penurunan pada durasi penembakan yang lebih lama. Fenomena ini diakibatkan pada penembakan di awal belum sepenuhnya merata ke seluruh permukaan, sehingga membentuk permukaan yang masih kasar. Sedangkan dengan durasi yang lebih lama membuat permukaan menjadi lebih halus, dikarenakan terjadinya perubahan struktur yang disebut *several plastic deformation (SPD)*. SPD terjadi pada kedalaman sekitar 30 μm pada permukaan implan dimana struktur butirannya menjadi kecil akibat proses benturan material abrasif.



Gambar 5. a. Ilustrasi penembakan antara *steel shot* dan *steel grit*, b. Arah penembakan *steel grit*.

Kekasaran maksimal pada penembakan *steel grit* pada durasi 2 menit pada posisi spesimen 45° didapat nilai R_a 2,903 μm , peningkatan nilai R_a 2,815 μm dari sebelum di-*shotpeening*. Penembakan pada durasi awal memperlihatkan adanya dislokasi yang belum merata, hanya terjadi dislokasi setempat. Seiring durasi penembakan lebih lama maka kekasaran permukaan kembali menurun. *Pile-up* yang terbentuk di awal akan memadat kembali seiring penembakan yang berulang-ulang.

Nilai kekerasan tertinggi didapat pada material abrasif *steel shot* dibandingkan *steel grit*. Pada spesimen uji tegak lurus di durasi 10 menit didapatkan nilai 164,13 HB kekerasan naik 19,01 HB atau naik sebesar 13% dari sebelum di-*shotpeening*. Kenaikan kekerasan disebabkan tingginya densitas dislokasi pada struktur mikro pada daerah *sub-layer* hasil *shotpeening* Azar, dkk [15] dan Feng, dkk [16]. SPD pada permukaan hasil dari *shotpeening* diakibatkan terjadinya tumbukan *steel shot/steel grit* pada permukaan logam. *Steel shot/steel grit* tersebut membentuk dislokasi plastis permanen pada permukaan. Dislokasi yang terjadi terjadi hingga kedalaman 100 μm dari permukaan Todaka, dkk [17]. Seiring berulangnya penembakan *Steel shot/steel grit* maka semakin banyaknya terjadi dislokasi di permukaan maka mempengaruhi dislokasi disekitarnya. Interaksi dislokasi yang tinggi menyebabkan kerapatan pada batas butir, sehingga merubah ukuran butir yang awalnya berukuran besar menjadi lebih kecil sebatas area permukaan. Penurunan kekerasan permukaan penggunaan *steel grit* diakibatkan terbentuknya *micro crack* di permukaan spesimen. Hasil uji kekasaran meningkat drastis akibat penembakan material yang *unishape*. Proses indentasi pada material uji searah dari penembakan material abrasif, sehingga menurunkan nilai kekerasannya.

Derajat kemiringan spesimen terhadap arah penembakan menghasilkan penembakan tidak semaksimal dengan arah yang tegak lurus, sehingga hasil kekerasan yang didapat tidak signifikan. Terlihat pada gambar 5, menunjukkan arah penembakan ke permukaan dengan arah V_x dan V_y . Dimana dampak penembakan telah berkurang akibat arah gaya x dan y, sehingga pada posisi arah penembakan yang tidak tegak lurus terhadap nosel sehingga didapatkan nilai kekerasan tidak setinggi pada percobaan dengan sudut kemiringan 0° . Fenomena ini terjadi pada penelitian Arivianto [12], dimana pengujiannya menggunakan metode SMAT (*Surface Mechanical Attrition Treatment*) menyatakan hal yang sama tentang penembakan secara random pada permukaan spesimen. Untuk mendapatkan gaya atau tumbukan yang maksimal maka arah penembakan harus tegak lurus dari arah penembakan, sehingga V_x atau V_y sama dengan V .

4. KESIMPULAN

Efek dari *shotpeening* terlihat perubahan peningkatan kekasaran permukaan untuk material abrasif *steel shot*, dan peningkatan nilai kekasaran maksimum pada durasi 2 menit dengan kemiringan benda uji 45° didapat pada penggunaan abrasi *steel grit*. Efek *shotpeening* terhadap kekerasan permukaan mengalami peningkatan yang tidak terlalu signifikan didapat pada penggunaan abrasif *steel shot*, sedangkan *steel grit* mengalami penurunan.

Efek dari penggunaan material abrasif *steel grit* mengakibatkan nilai kekasaran permukaan meningkat dan berdampak menurunnya nilai kekerasan pada permukaan material *stainless steel*. Sedangkan pada material *steel shot* peningkatan kekasaran tidak signifikan tetapi tetap meningkatkan nilai kekerasan permukaan. Hasil penembakan *steel shot/steel grit* meninggalkan kawah dan *pile-up* pada permukaan *stainless steel*. *Pile-up* akan memadat seiring durasi penyemprotan yang lebih lama.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] ISKANDAR, RONALD. EVALUASI STRUKTUR PERMUKAAN DARI IMPLAN BERBAHAN METAL YANG DIPRODUKSI LOKAL DAN KORELASI DENGAN PROLIFERASI OSTEOBLAS DAN FIBROBLAS. Diss. Universitas Gadjah Mada, 2019.
- [2] Mukhsen, Muh Iqbal, and Imam Tauhid. "PENGARUH SHOTPEENING TERHADAP KEKERASAN DAN KEKASARAN PERMUKAAN." Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M). 2018.
- [3] Mukhsen, M. I., Mahardika, M., & Suyitno, S. Pengaruh Sandblasting Terhadap Struktur Mikro Pada Sekrup Implan Baja Tahan Karat AISI 316L. Jurnal MEKANIKAL, 8(1).
- [4] Iqbal, Muh, et al. "The effect of sandblasting on AISI 316L stainless steels." Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar. Vol. 2. 2011.
- [5] Muslim Mahardika, S. T. PENGARUH SANDBLASTING DAN ELECTROPOLISHING TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN, STRUKTUR MIKRO, DAN KEKERASAN SEKRUP IMPLAN BAJA TAHAN KARAT AISI 316L. Diss. [Yogyakarta]: Universitas Gadjah Mada, 2012.
- [6] Yaqin, Rizqi Ilmal, Priyo Tri Iswanto, and Bambang Hari Priyambodo. "Pengaruh durasi shot peening terhadap struktur mikro dan kekerasan permukaan pada AISI 316L." Conference SENATIK STT Adisutjipto Yogyakarta. Vol. 3. 2017.
- [7] Elias, Carlos Nelson, et al. "Relationship between surface properties (roughness, wettability and morphology) of titanium and dental implant removal torque." Journal of the mechanical behavior of biomedical materials 1.3 (2008): 234-242.
- [8] Aparicio, Conrado, et al. "Corrosion behaviour of commercially pure titanium shot blasted with different materials and sizes of shot particles for dental implant applications." Biomaterials 24.2 (2003): 263-273.
- [9] Piattelli, A., et al. "Direct bone formation on sand-blasted titanium implants: an experimental study." Biomaterials 17.10 (1996): 1015-1018.
- [10] Rupp, F., Scheideler, L., Rehbein, D., Axmann, D., dan Geis-Gerstorfer, J. 2004. Roughness Induced Dynamic Changes of Wettability of Acid Etched Titanium Implant Modifications. Biomaterials. Vol 25, issues 7–8, pp 1429–1438.
- [11] Arifvianto, B., and Muslim Mahardika. "Effect of sandblasting and surface mechanical attrition treatment on surface roughness, wettability, and microhardness distribution of AISI 316L." Key Engineering Materials. Vol. 462. Trans Tech Publications, 2011.
- [12] Arifvianto, B., et al. "Effect of surface mechanical attrition treatment (SMAT) on microhardness, surface roughness and wettability of AISI 316L." Materials Chemistry and Physics 125.3 (2011): 418-426.
- [13] Liu, Y. G., M. Q. Li, and H. J. Liu. "Nanostructure and surface roughness in the processed surface layer of Ti-6Al-4V via shot peening." Materials Characterization 123 (2017): 83-90.
- [14] Jiang, X. P., et al. "Enhancement of fatigue and corrosion properties of pure Ti by sandblasting." Materials Science and Engineering: A 429.1-2 (2006): 30-35.
- [15] Azar, V., B. Hashemi, and Mahboobeh Rezaee Yazdi. "The effect of shot peening on fatigue and corrosion behavior of 316L stainless steel in Ringer's solution." Surface and Coatings technology 204.21-22 (2010): 3546-3551.

- [16] Feng, Qiang, Chuanhai Jiang, and Zhou Xu. "Residual Stress Relaxation of Shot-Peened Deformation Surface Layer on Duplex Stainless Steel Under Applied Loading." *Journal of materials engineering and performance* 23.2 (2014): 408-412.
- [17] Todaka, Yoshikazu, Minoru Umemoto, and Koichi Tsuchiya. "Comparison of nanocrystalline surface layer in steels formed by air blast and ultrasonic shot peening." *Materials Transactions* 45.2 (2004): 376-379.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada: 1). Kemenristekdikti atas dana rutin program penelitian tahun 2019 yang telah diberikan. 2). Direktur dan Ketua UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang yang memberikan kesempatan untuk mengikuti program Penelitian Dosen Pemula. 3) Semua pihak yang terlibat dalam proses pelaksanaan penelitian kali ini.