

## Pengaruh Slag Ball Blasting terhadap Kekerasan Femoral Head Hip Joint Prosthesis AISI 316L

Gerald Adityo Pohan, Suyitno

Center for Innovation of Medical Equipments and Devices (CIMEDs),  
Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada  
Jl. Grafika 2 Yogyakarta 55281  
Email : gerald.pohan@gmail.com

### Abstrak

Kekerasan merupakan salah satu sifat permukaan yang penting untuk material *femoral head hip joint prosthesis*. Kekerasan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi ketahanan aus material di mana keausan dapat menyebabkan kegagalan implan berupa *loosening* (pengenduran) dan menghasilkan *debris* yang dapat menyebabkan peradangan, alergi, *carcinogen* (penyebab kanker), dan gangguan pada organ tubuh seperti ginjal dan hati. Baja tahan karat AISI 316L merupakan salah satu jenis material yang banyak dipakai untuk aplikasi tersebut karena memiliki ketahanan korosi dan oksidasi yang baik serta biokompatibel. Kelebihan lain yang dimiliki oleh material ini adalah harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan material lainnya yang digunakan untuk aplikasi tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh perlakuan *slag ball blasting* terhadap kekerasan *femoral head hip joint prosthesis* yang terbuat dari baja tahan karat AISI 316L.

Perlakuan *slag ball blasting* dilakukan dengan menembakkan material abrasif berupa partikel *slag ball* melalui aliran udara bertekanan ke permukaan spesimen yang berputar selama durasi tertentu di dalam sebuah *chamber* tertutup. Ukuran partikel *slag ball* yang digunakan adalah 1-2 mm. Tekanan udara kompresor berkisar antara 5-8 kg/mm<sup>2</sup>. Spesimen yang digunakan untuk mewakili bentuk *femoral head hip joint prosthesis* berbentuk *disc* dengan diameter 38 mm dan tebal 5 mm. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel kecepatan putaran spesimen dan durasi perlakuan. Variasi kecepatan putaran spesimen adalah 60, 200, 400, dan 600 rpm, sedangkan variasi durasi perlakuan adalah 5, 10, dan 15 menit. Pengujian kekerasan dilakukan pada kedalaman 50-1000 µm untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan di bagian permukaan spesimen.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekerasan di bagian permukaan spesimen mengalami peningkatan akibat perlakuan *slag ball blasting*. Nilai kekerasan permukaan yang lebih tinggi dihasilkan oleh durasi perlakuan yang lebih lama. Variasi kecepatan putaran hanya sedikit memberikan pengaruh terhadap distribusi kekerasan di permukaan spesimen. Hasil penelitian ini menunjukkan potensi perlakuan *slag ball blasting* dalam peningkatan kekerasan di bagian permukaan *femoral head hip joint prosthesis* yang terbuat dari baja tahan karat AISI 316L.

**Keywords:** *slag ball blasting*, *slag ball*, *femoral head hip joint prosthesis*, AISI 316L, kekerasan

### Pendahuluan

Kekerasan merupakan salah satu sifat permukaan yang penting untuk material *femoral head hip joint prosthesis*. Sifat ini berkaitan dengan ketahanan aus material di mana keausan dapat menyebabkan kegagalan implan. Keausan akan menghasilkan *debris* (runtuhan material) yang dapat menyebabkan *loosening* (pengenduran) dan masalah kesehatan seperti peradangan, alergi, *carcinogen* (penyebab kanker), dan gangguan organ tubuh seperti ginjal dan hati (Dumbleton dkk. 1974; Peters dkk. 1992; Polyzois dkk. 2012; Santavirta dkk. 1991), sehingga suatu usaha diperlukan untuk meningkatkan kekerasan material *femoral head*.

Perlakuan *slag ball blasting* merupakan salah satu metode deformasi yang dikembangkan untuk

meningkatkan kekerasan di permukaan material. Prinsip perlakuan ini sama dengan *sandblasting*, yaitu penembakan partikel penumbuk ke permukaan spesimen melalui aliran udara bertekanan. Perlakuan ini dinamakan demikian karena menggunakan *slag ball* sebagai partikel penumbuk. Partikel ini merupakan hasil pengolahan limbah pembuatan baja yang diolah dengan menggunakan teknik *slag atomizing technology* (SAT) (Cha & Sadrpour 2006). Kegunaan material ini masih terbatas, yaitu sebagai material abrasif untuk membersihkan permukaan logam dari karat (Kambham dkk. 2007) dan material tambahan untuk campuran semen (Kourounis dkk. 2007), sehingga pemanfaatannya sebagai partikel penumbuk dapat meningkatkan kegunaannya.

AISI 316L merupakan salah satu jenis material yang banyak dipakai untuk aplikasi *hip joint prosthesis*

karena memiliki ketahanan korosi dan oksidasi yang baik (Chen dkk. 2005) serta biokompatibel (Arifvianto dkk. 2012). Kelebihan lain yang dimiliki oleh material ini adalah harganya relatif lebih murah dibandingkan dengan material lainnya yang digunakan untuk aplikasi tersebut (Navarro dkk. 2008). Studi-studi terdahulu mengenai pengaruh *slag ball blasting* pada baja tahan karat AISI 316L selama ini masih dilakukan pada spesimen berbentuk plat sehingga belum representatif atau mewakili bentuk *femoral head*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menginvestigasi pengaruh perlakuan *slag ball blasting* pada kekerasan *femoral head hip joint prosthesis* yang terbuat dari baja tahan karat AISI 316L.

### Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Spesimen yang digunakan terbuat dari baja tahan karat AISI 316L. Komposisi kimia materialnya adalah 0,02 C, 1,51 Mn, 0,49 Si, 0,028 S, 0,34 P, 10,06 Ni, 16,26 Cr, 2,04 Mo, 0,48 Cu, 0,063 N, 0,17 Co. Spesimen tersebut berbentuk *disc* untuk mewakili bentuk *femoral head hip joint prosthesis*. Diameter dan tebal spesimen adalah 38 mm dan 5 mm.

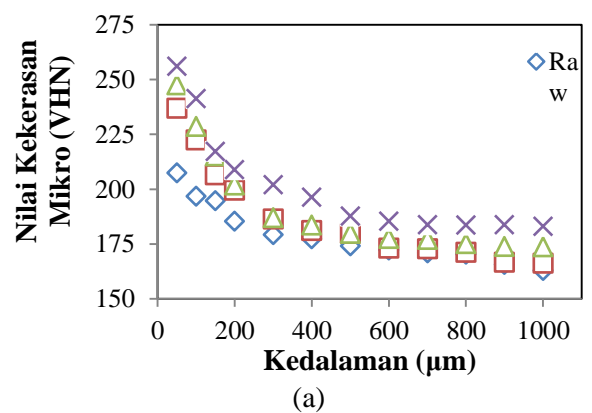
Proses *slag ball blasting* dilakukan dengan menembakkan partikel *slag ball* ke spesimen yang berputar dengan kecepatan tertentu selama durasi tertentu di dalam sebuah *chamber*. Partikel *slag ball* yang digunakan berukuran 1-2 mm. Partikel tersebut ditembakkan melalui aliran udara bertekanan 5-8 kg/mm<sup>3</sup>. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel kecepatan putaran spesimen dan durasi perlakuan. Variasi kecepatan putaran spesimen adalah 60, 200, 400, dan 600 rpm, sedangkan variasi durasi perlakuan adalah 5, 10, dan 15 menit.

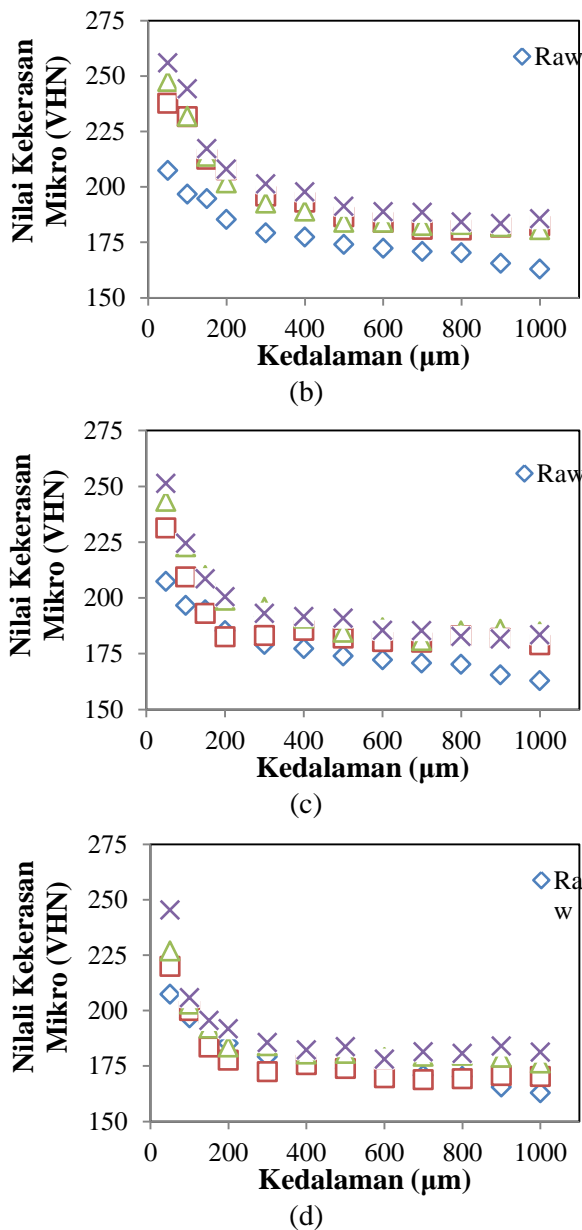
Metode yang digunakan untuk pengujian kekerasan adalah metode Vickers. Alat uji yang digunakan adalah *microhardness tester* Buehler. Spesimen dibebani dengan beban 100 gr yang ditahan selama 15 detik. Pengujian kekerasan dilakukan pada kedalaman 50-1000  $\mu\text{m}$  untuk mengetahui distribusi nilai kekerasan di bagian permukaan spesimen.

### Hasil dan Pembahasan

Pengaruh perlakuan *slag ball blasting* terhadap distribusi nilai kekerasan spesimen ditampilkan oleh Gambar 1 dan 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa perlakuan *slag ball blasting* menyebabkan peningkatan kekerasan di bagian permukaan spesimen. Nilai kekerasan di kedalaman 50  $\mu\text{m}$  adalah  $\pm 250$  VHN. Nilai tersebut semakin menurun dan mencapai nilai konstan pada  $\pm 175$  VHN. Peningkatan kekerasan di bagian permukaan

berkaitan dengan keberadaan tegangan sisa kompresif dan *nanocrystalline* (struktur kristal nano) di lapisan permukaan spesimen (Jiang dkk. 2006; Roland dkk. 2006; Roland dkk. 2007). Tumbukan partikel *slag ball* menghasilkan deformasi plastis di permukaan spesimen. Hal tersebut yang menyebabkan munculnya tegangan sisa yang bersifat kompresif di lapisan permukaan spesimen. Keberadaan tegangan sisa akibat perlakuan *sandblasting* pada material logam ditemukan dalam penelitian yang dilakukan oleh Jiang dkk. (2006). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa tegangan sisa yang dihasilkan melalui perlakuan *sandblasting* mampu meningkatkan kekerasan di bagian permukaan spesimen. Butiran nano yang dihasilkan melalui tumbukan partikel pada perlakuan *sandblasting* dilaporkan oleh Multigner dkk. (2009), Multigner dkk. (2010). Tumbukan partikel menyebabkan deformasi plastis. Regangan yang terjadi tidak merata, dimana regangan tertinggi berada di lapisan permukaan dan levelnya menurun seiring dengan kedalaman. Hal tersebut menyebabkan terbentuknya tiga zona, yaitu zona butiran nano, zona *twinning*, dan *undeformed*. Zona butiran nano adalah zona dimana butiran berukuran nano. Zona kedua dinamakan zona *twinning* karena terdapat banyak *twins* (kembaran) di daerah ini. Zona ini ditandai dengan banyaknya garis searah dan paralel pada hampir setiap butiran. Zona ketiga merupakan zona yang tidak banyak mendapat pengaruh tumbukan sehingga dinamakan zona *undeformed*. Ukuran butir pada zona ini relatif sama dengan *raw material*. Keberadaan butiran nano di lapisan permukaan mampu meningkatkan kekerasan karena batas butirnya semakin banyak sehingga hambatan dislokasi semakin besar (Roland dkk. 2006; Roland dkk. 2007). Hubungan antara ukuran butir terhadap kekerasan dirumuskan dalam persamaan Hall-Petch (Roland dkk. 2006; Roland dkk. 2007).

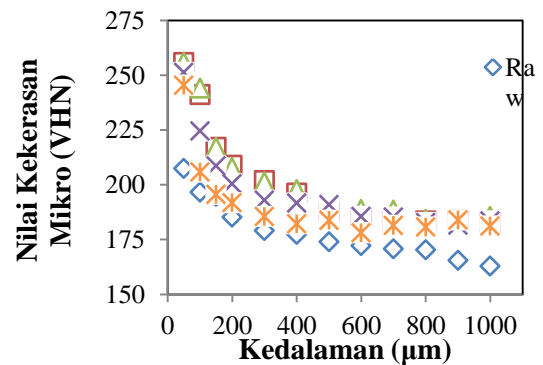




**Gambar 1.** Distribusi nilai kekerasan untuk setiap durasi perlakuan *slag ball blasting* pada variasi kecepatan (a) 60 rpm, (b) 200 rpm, (c) 400 rpm, dan (d) 600 rpm.

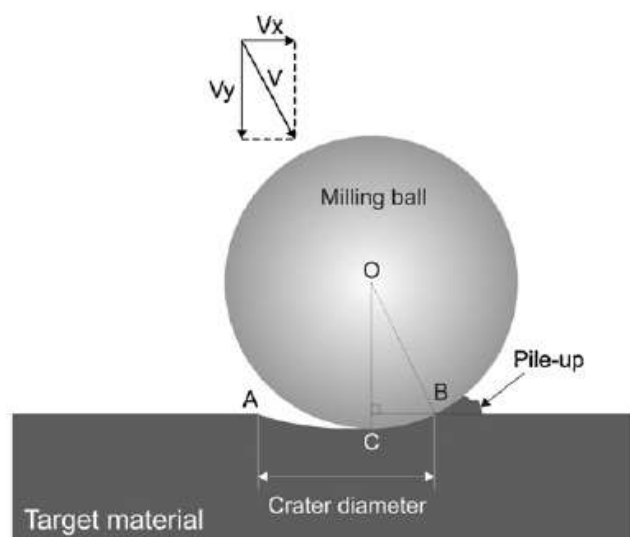
Pengaruh durasi perlakuan terhadap kekerasan pada setiap variasi kecepatan ditunjukkan oleh Gambar 1. Gambar tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kekerasan sebanding dengan durasi perlakuan. Hal tersebut dikarenakan lapisan butiran nano yang dihasilkan di permukaan semakin tebal seiring dengan peningkatan durasi perlakuan. Peningkatan durasi perlakuan juga menghasilkan daerah plastis yang lebih dalam di mana tegangan sisa dibangkitkan. Pengaruh durasi perlakuan terhadap kekerasan baja tahan karat AISI 316L juga diuraikan pada penelitian Arifvianto dkk. (2011). Hasil penelitian tersebut mengungkapkan bahwa nilai kekerasan spesimen meningkat seiring dengan peningkatan durasi

perlakuan dan mencapai titik jenuh pada durasi perlakuan 10 menit. Nilai kekerasan tertinggi baja tahan karat AISI 316L yang mendapat perlakuan *sandblasting* pada penelitian tersebut adalah  $\pm 280$  VHN, sedangkan nilai kekerasan tertinggi yang dihasilkan pada penelitian ini adalah  $\pm 250$  VHN. Hal ini menunjukkan bahwa titik jenuh belum dicapai dan kemungkinan untuk melakukan perlakuan pada durasi yang lebih tinggi untuk mencapai titik jenuhnya masih dapat dilakukan.



**Gambar 2.** Distribusi nilai kekerasan untuk setiap variasi kecepatan pada durasi perlakuan 15 menit.

Pengaruh kecepatan putaran spesimen terhadap distribusi kekerasan ditunjukkan oleh Gambar 2. Gambar tersebut menunjukkan bahwa distribusi kekerasan spesimen yang diputar dengan kecepatan rendah (60 rpm) hanya sedikit lebih tinggi dibandingkan spesimen yang diputar dengan kecepatan tinggi (600 rpm). Skema tumbukan partikel pada spesimen yang berputar dengan kecepatan rendah dan tinggi ditunjukkan oleh Gambar 3. Pada kecepatan putaran rendah, partikel penumbuk seolah-olah mengenai mengenai permukaan spesimen dengan arah yang memiliki sudut kemiringan yang cukup besar terhadap permukaan spesimen. Pada kecepatan putaran tinggi, partikel penumbuk seolah-olah mengenai permukaan spesimen dengan arah yang memiliki sudut kemiringan yang cukup kecil terhadap permukaan spesimen. Hal tersebut menyebabkan tumbukan partikel cenderung menggesek permukaan spesimen sehingga lapisan butiran nano dan daerah yang terdeformasi plastis lebih tipis dibandingkan dengan kecepatan putaran spesimen yang rendah. Kinematika tumbukan tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Arifvianto dkk. (2011) dan Arifvianto dkk. (2012). Pada penelitian ini, kecepatan putaran spesimen tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distribusi kekerasan



**Gambar 3.** Skema tumbukan partikel di permukaan spesimen yang berputar (Arifvianto dkk. 2011).

### Kesimpulan

Pengaruh perlakuan *slag ball blasting* terhadap kekerasan *femoral head hip joint prosthesis* baja tahan karat AISI 316L telah diinvestigasi. Perlakuan *slag ball blasting* meningkatkan kekerasan di bagian permukaan material. Peningkatan kekerasan material sangat dipengaruhi oleh durasi perlakuan. Kecepatan putaran spesimen hanya memberikan sedikit pengaruh terhadap kekerasan, dimana kecepatan putaran rendah menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan putaran tinggi.

### Referensi

Arifvianto, B., Suyitno, Mahardika, M. The Effect of Sandblasting and Surface Mechanical Attrition Treatment on Surface Roughness, Wettability, and Microhardness Distribution of AISI 316L. *Key Engineering Materials*, Vol. 462-463, 738-743 (2011)

Arifvianto, B., Suyitno, Mahardika, M., Dewo, P., Iswanto, P.T., Salim, U.A. Effect of Surface Mechanical Attrition Treatment (SMAT) on Microhardness, Surface Roughness and Wettability of AISI 316L. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 125, 418-426 (2011)

Arifvianto, B., Suyitno, Mahardika, M. Effects of Surface Mechanical Attrition Treatment (SMAT) on a Rough Surface of AISI 316L. *Applied Surface Science*, Vol. 258, 4538-4543 (2012)

Cha, S., Sadrpour, H. Slag Atomizing Technology (SAT): Strategic Management of Electric Arc Furnace Slag, *Global Slag Conference and Exhibition*, 4.1-4.3

(2006)

Chen, X.H., Lu, J., Lu, L., Lu, K. Tensile Properties of a Nanocrystalline 316L Austenitic Stainless Steel. *Scripta Materialia*, Vol. 52, 1039-1044 (2005)

Dumbleton, J.H., Shen, C., Miller, E.H. A Study of the Wear of Some Materials in Connection with Total Hip Replacement. *Wear*, Vol. 29, 163-171 (1974)

Jiang, X.P., Wang, X.Y., Li, J.X., Li, D.Y., Man, C.S., Shepard, M.J., Zhai, T. Enhancement of Fatigue and Corrosion Properties of Pure Ti by Sandblasting. *Material Science and Engineering: A*, Vol. 429, 30-35 (2006)

Kambham, K., Sangameswaran, S., Datar, S.R., Kura, B. Copper Slag: Optimization of Productivity and Consumption for Cleaner Production in Dry Abrasive Blasting. *Journal Cleaner Product*, Vol. 15, 465-473 (2007)

Kourounis, S., Tsivilis, Tsakiridis, P.E., Papadimitriou, G.D., Tsibouki, Z. Properties and Hydration of Blended Cements with Steelmaking Slag. *Cement and Concrete Research*, Vol. 37, 815-822 (2007)

Multigner, M., Frutos, E., González, J.L., Carrasco, Jiménez, J.A., Marín, P., dan Ibáñez, J. Influence of the Sandblasting on the Subsurface Microstructure of 316LVM Stainless Steel: Implications on the Magnetic and Mechanical Properties. *Materials Science and Engineering*, Vol. 29, 1357-1360 (2009)

Multigner, M., Ferreira-Barragans, S., Frutos, E., Jaafar, M., Ibanez, J., Marin, P., Perez-Prado, M.T., Gonzalez-Doncel, G., Asenjo, A., Gonzalez-Carrasco, J.L. Superficial Severe Plastic Deformation of 316 LVM Stainless Steel Through Grit Blasting: Effects on Its Microstructure and Subsurface Mechanical Properties. *Surface and Coatings Technology*, Vol. 205, 1830-1837 (2010)

Navarro, M., Michiardi, A., Castano, A., Planell, J.A. Biomaterials in Orthopaedics, *Journal of The Royal Society Interface*, Vol. 5, 1137-1158 (2008)

Peters, P.C., Engh, G.A., Dwyer, K.A., Vinh, T.N. Osteolysis after Total Knee Arthroplasty without Cement. *Journal Bone Joint Surgical*, Vol. 74-A, 864-876 (1992)

Polyzois, I., Nikolopoulos, D., Michos, I., Patsouris, E., Theocharis, S. Local and Systemic Toxicity of Nanoscale Debris Particles in Total Hip Arthroplasty. *Journal of Applied Toxicology*, Vol. 32, 255-269 (2012)

Roland, T., Reiraint, D., Lu, K., Lu, J. Fatigue Life Improvement Through Surface Nanostructuring of Stainless Steel by means of Surface Mechanical Attrition Treatment. *Scripta Materialia*, Vol. 54, 1949-1954 (2006)

Roland, T., Reiraint, D., Lu, K., Lu, J. Enhanced Mechanical Behavior of a Nanocrystallised Stainless Steel and Its Thermal Stability. *Materials Science & Engineering*, Vol. 445-446, 281-288 (2007)

Santavirta, S., Konttinen, Y.T., Hoikka, V., Eskola, A. Immunopathological Response to Loose Cementless Acetabular Components. *Journal Bone Joint Surgical*, Vol. 73-B, 38-42 (1991)