

---

**PERBAIKAN KUALITAS MATERIAL STAINLESS STEEL 316L PADA APLIKASI IMPLAN  
PENYAMBUNG TULANG DENGAN MENGGUNAKAN METODE DEFORMASI DINGIN,  
ANNEALING STRESS RELIEF, DAN SANDBLASTING**

**Mirza Pramudia<sup>1</sup>**

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

---

**Abstrak:** *Material implan merupakan produk yang dibuat dengan tujuan untuk membantu fiksasi, perbaikan, penggantian bagian tulang yang retak atau patah pada tubuh manusia. Material implan tersebut diharuskan untuk memiliki beberapa persyaratan antara lain bersifat biocompatible, bioadhesion, biofunctionality, memiliki ketahanan korosi dan sifat mekanik yang baik, dan lain sebagainya. Salah satu jenis material implan yang banyak digunakan adalah stainless steel 316L. penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh metode heat treatment dan sandblasting terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi stainless steel 316L. hasil dari penelitian ini menyimpulkan bahwa perlakuan panas annealing stress relief dan proses sandblasting dapat meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan korosi material AISI 316L.*

**Kata Kunci:** annealing stress relief, sandblasting, stainless steel 316L

---

## **PENDAHULUAN**

Plat penyambung tulang yang dijual di Indonesia belum mempunyai dimensi yang sesuai ukuran orang Indonesia. Plat produksi lokal dibuat dengan meniru produk luar negeri di pasaran dan tanpa melalui riset/penelitian terlebih dahulu. Implan penyambung tulang yang tidak sesuai dengan dimensi anatomis tulang orang Indonesia akan menyebabkan kualitas hasil rekonstruksi dan penyembuhan tidak maksimal. Berawal dari fakta tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengembangkan/memperbaiki kualitas implan plat penyambung tulang patah yang sesuai dengan ukuran tulang orang Indonesia. Salah satu material yang paling banyak digunakan sebagai implan plat penyambung tulang adalah *stainless steel 316L*.

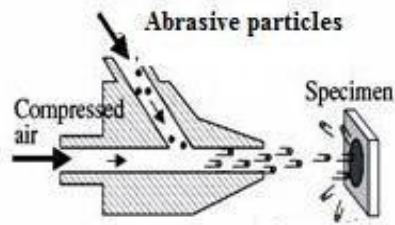
Beberapa metode digunakan untuk memperbaiki kelemahan dari baja tahan karat 316L diantaranya adalah dengan metode perlakuan mekanik total dan metode perlakuan mekanik permukaan. Metode pengerjaan dingin (*cold working*) merupakan metode perlakuan mekanik total yang dapat digunakan untuk memperbaiki sifat mekanik baja tahan karat 316L. Derajat deformasi dingin merupakan proses deformasi plastis yang dilakukan di bawah suhu rekristalisasi bahan. Derajat deformasi dapat menyebabkan terjadinya *strain hardening* dan peningkatan jumlah dislokasi (*density of dislocation*) (Domankova, dkk, 2010). Perbaikan sifat mekanik dan homogenitas pada baja tahan karat AISI 316L juga dapat dilakukan dengan derajat deformasi yang disertai dengan proses *annealing*. Proses *annealing* bertujuan untuk menghomogenkan dan mengurangi tegangan sisa struktur butiran (Callister, 2012).

Kombinasi antara metode deformasi dingin, *annealing*, dan *sandblasting* diharapkan dapat merubah struktur butiran yang terdapat pada permukaan material yang terbentuk menjadi lapisan dengan struktur nano sehingga dapat meningkatkan sifat-sifat mekanik material. Berdasarkan tersebut maka perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh kombinasi metode derajat deformasi dingin dan *sandblasting* terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi sehingga didapat metode peningkatan kualitas AISI 316L yang optimum.

## **METODE**

Spesimen pada penelitian ini adalah *stainless steel* AISI 316L dengan komposisi kimia (67,12%Fe, 16,69%Cr, 10,57%Ni, 2,39%Mo, 0,67%Si, 0,342%Cu). Spesimen yang digunakan pada pengujian kekerasan dipotong dengan ukuran 20 mm x 20 mm dengan ketebalan 4 mm, sedangkan spesimen pengujian korosi berbentuk lingkaran dengan diameter 14 mm dan tebal 4 mm.

Proses *annealing stress relief* dilakukan dengan variasi temperatur pemanasan 100 °C – 400 °C dengan durasi pemanasan 1 jam. Proses *sandblasting* menggunakan media partikel abrasif berupa pasir silika (SiO<sub>2</sub>) dengan diameter butiran 0,5 - 0,8 mm. Sedangkan jarak antara ujung nozzle dan spesimen adalah 200 mm. Skema proses sandblasting dapat dilihat pada Gambar 1.

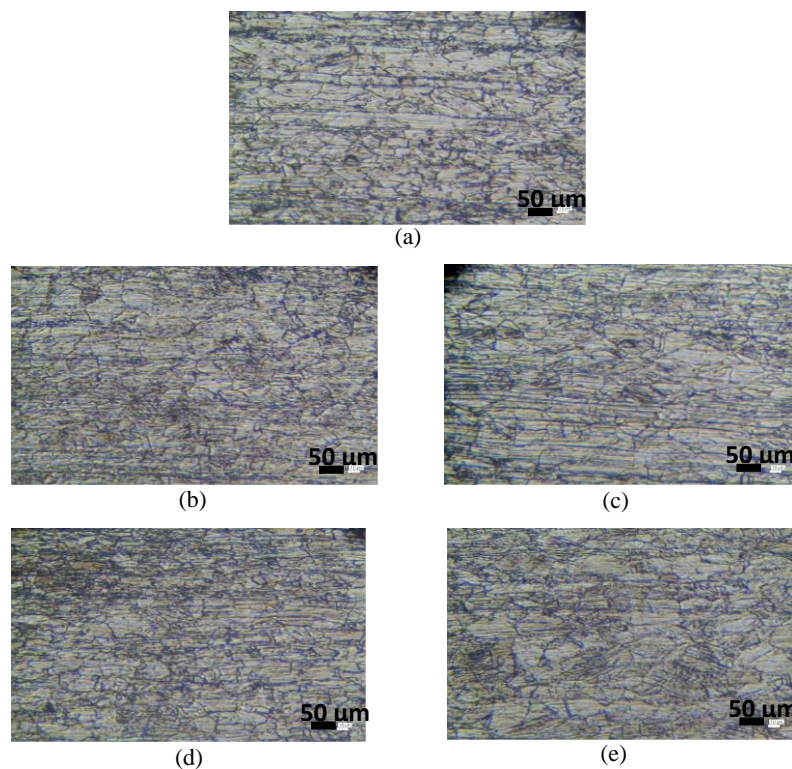


**Gambar 1.** Skema Proses *Sandblasting*

Pengujian mikrostruktur dari material AISI 316L dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Pengujian *microhardness* dilakukan dengan menggunakan alat *micro Vickers* dengan pembebanan 300 gram. Pengujian korosi dilakukan dengan menggunakan prinsip sel tiga elektroda dan dengan menggunakan larutan PBS (*Phosphate Buffer Saline*).

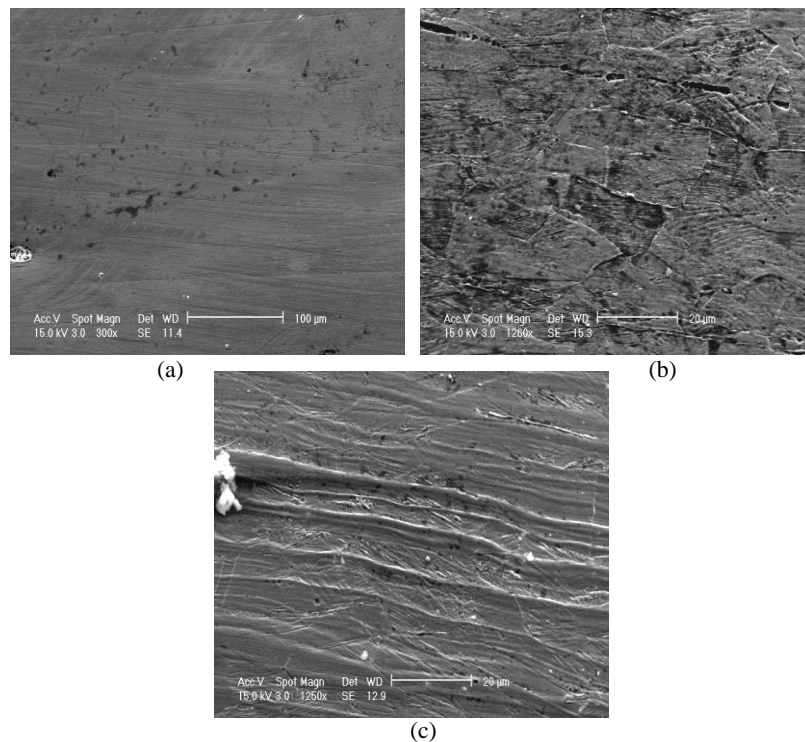
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengujian Struktur Mikro



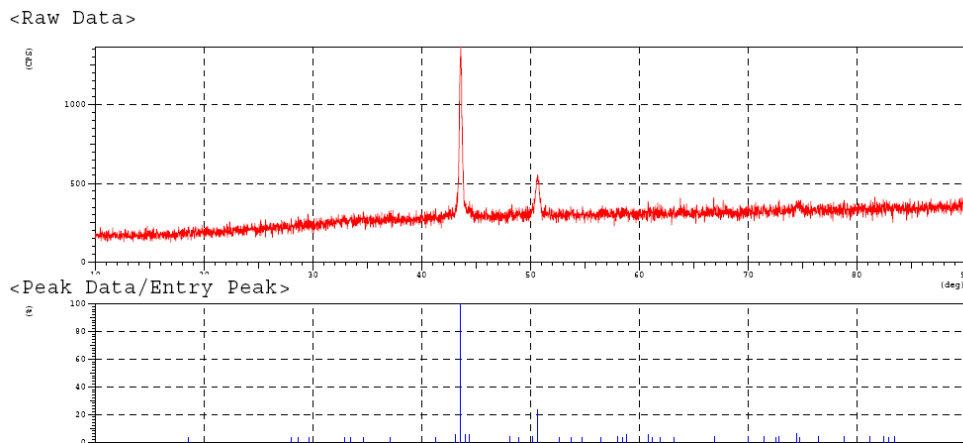
**Gambar 2.** Foto mikro spesimen deformasi (a) 27% tanpa *annealing*; (b) 100 °C, (c) 200 °C; (d) 300 °C; (e) 400 °C

Deformasi sebesar 27 % mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk dan ukuran butiran. Derajat deformasi dengan reduksi ketebalan 27 % menghasilkan struktur butiran memanjang sedangkan proses *annealing* yang dilakukan setelah proses deformasi tidak berpengaruh pada perubahan ukuran butiran. Penelitian yang dilakukan oleh Domankova, dkk, (2010) menyebutkan bahwa kekerasan baja tahan karat austenitik akan meningkat seiring dengan meningkatnya derajat deformasi. Peningkatan kekerasan diakibatkan adanya perubahan ukuran butiran dan dapat menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah dislokasi (*density of dislocation*). Penelitian yang dilakukan oleh Domankova, dkk, (2010) menyebutkan bahwa proses *annealing* yang dilakukan pada AISI 316L tidak menyebabkan perubahan ukuran butiran. Proses *annealing* bertujuan untuk menghomogenkan dan mengurangi dislokasi butiran. Foto sampel *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari tiap-tiap proses perlakuan dapat dilihat pada Gambar 2.

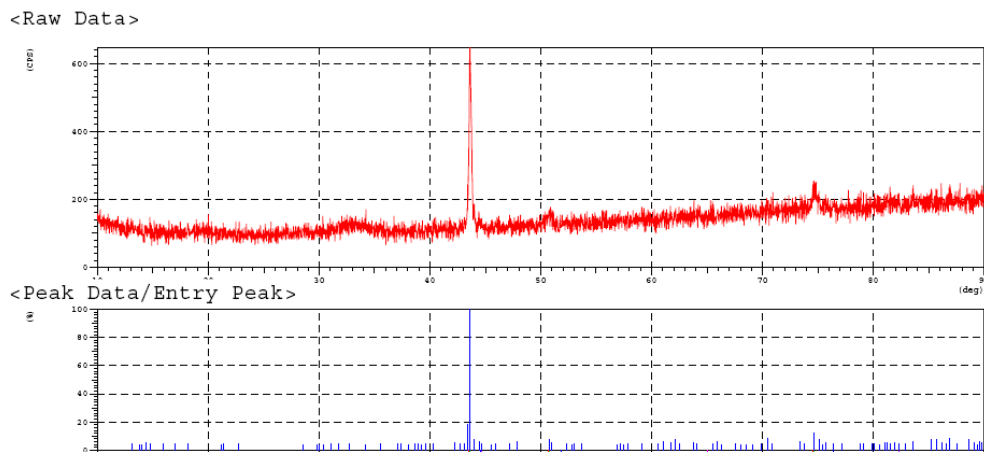


**Gambar 3.** Foto sampel *Scanning Electron Microscope* (a) raw material (b) deformasi 27 %; (c) deformasi 27 % + *annealing* 100 °C

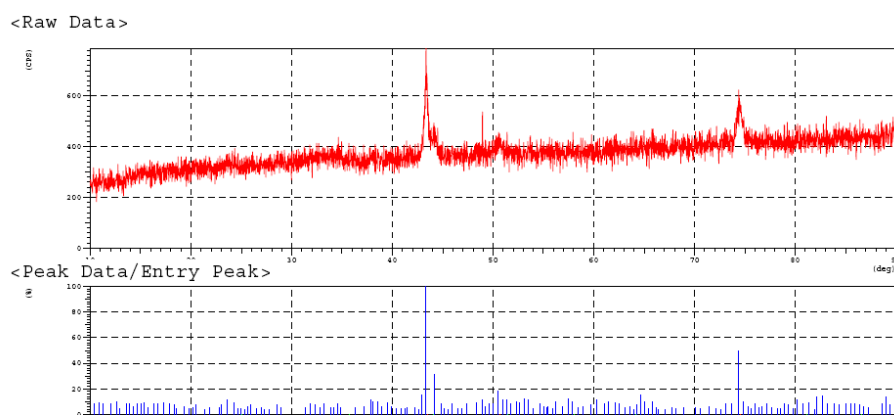
Gambar 3 memperlihatkan material yang mendapat perlakuan deformasi sebesar 27 % Spesimen dengan perlakuan deformasi 27 % menunjukkan garis-garis dislokasi yang menunjukkan adanya proses deformasi plastis. Hasil pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) terhadap spesimen raw material dan spesimen yang mendapat proses deformasi-*annealing* ditunjukkan pada Gambar 4-6.



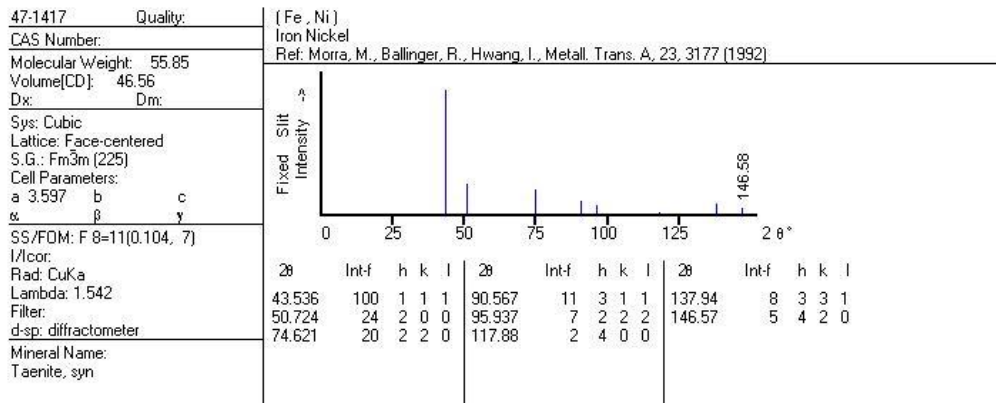
**Gambar 4.** Hasil Uji XRD Raw Material



**Gambar 5.** Hasil Uji XRD Spesimen Deformasi 27 %



**Gambar 6.** Hasil Uji XRD Spesimen Deformasi 27 % - annealing 100 °C

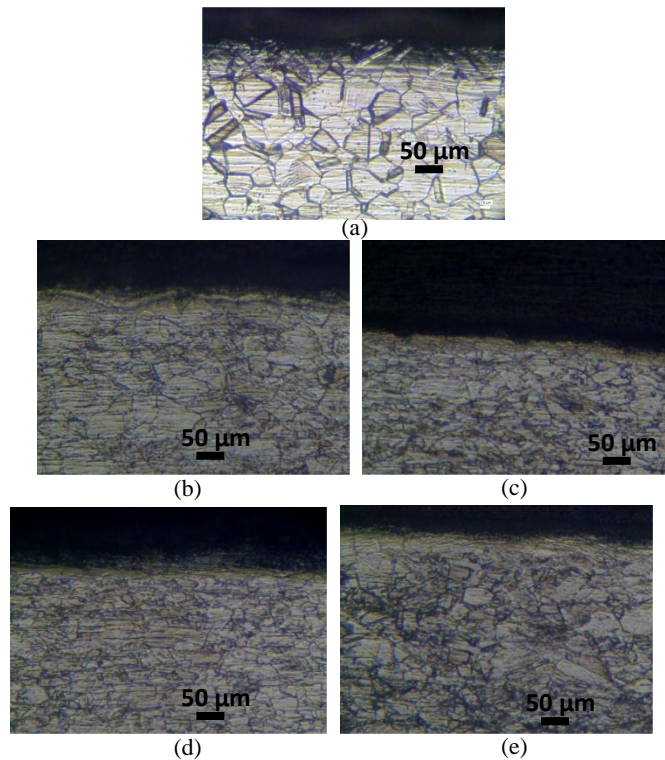


Gambar 7. Karakteristik Senyawa Fe-Ni Hasil Pengujian XRD (X-Ray Diffraction)

Gambar 4-6 menunjukkan tidak terdapat perbedaan fase antara spesimen *raw material* dengan spesimen yang mendapat perlakuan deformasi – annealing. Puncak (*peak*) pada masing-masing gambar spesimen hasil pengujian XRD tidak mengalami pergeseran. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses deformasi dan perlakuan *annealing* pada material tidak menghasilkan perubahan fase. Derajat deformasi hanya mengakibatkan terjadinya perubahan struktur butiran tanpa mengakibatkan perubahan fasa austenitik. Sedangkan sebagian besar senyawa yang terdapat pada material AISI 316L adalah senyawa  $\gamma$  (Fe-Ni) dengan karakteristik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

**Pengaruh Metode Sandblasting**

Struktur mikro *raw material* dan spesimen dengan perlakuan *sandblasting* ditunjukkan pada Gambar 8.



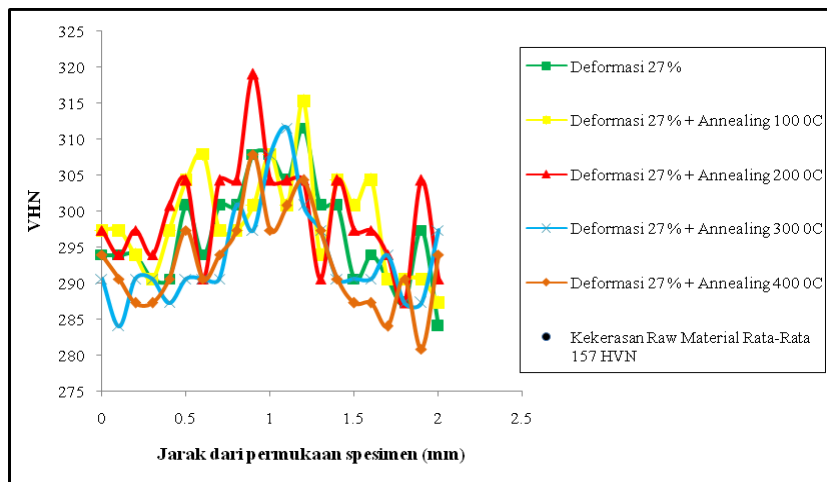
Gambar 8. Foto mikro spesimen (a) *raw material* ; (b) deformasi 27 % + annealing + sandblasting 100 °C ; (c) deformasi 27 % + annealing + sandblasting 200 °C, (d) deformasi 27 % + annealing + sandblasting 300 °C ; (e) deformasi 27 % + annealing + sandblasting 400 °C

Struktur mikro spesimen dengan perlakuan *sandblasting* menghasilkan struktur butiran yang mengalami penurunan ukuran butir pada permukaan spesimen. Hal ini disebabkan proses *sandblasting* menggunakan prinsip deformasi plastis. Perubahan struktur mikro terjadi pada permukaan butiran hingga mencapai kedalaman tertentu. Hasil penelitian ini menguatkan penelitian yang dilakukan oleh Multigner, dkk, (2010) serta Fang dan Chuang (2009) yang menyatakan bahwa proses *sandblasting* menghasilkan penghalusan butiran (*grain refinement*) pada permukaannya. Ukuran butiran yang dihasilkan akan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kedalaman dari permukaan. Hasil *sandblasting* pada spesimen yang terdeformasi memiliki lapisan yang lebih tipis dibandingkan dengan lapisan yang terbentuk pada spesimen yang tidak mengalami perlakuan deformasi.

**Kekerasan**

*Pengaruh Deformasi - Annealing Terhadap Kekerasan*

Pada derajat deformasi sebesar 27 % yang diikuti proses *annealing* dengan variasi temperatur *annealing* 100 °C – 400 °C, distribusi kekerasan pada arah melintang spesimen AISI 316L ditunjukkan pada Gambar 9.

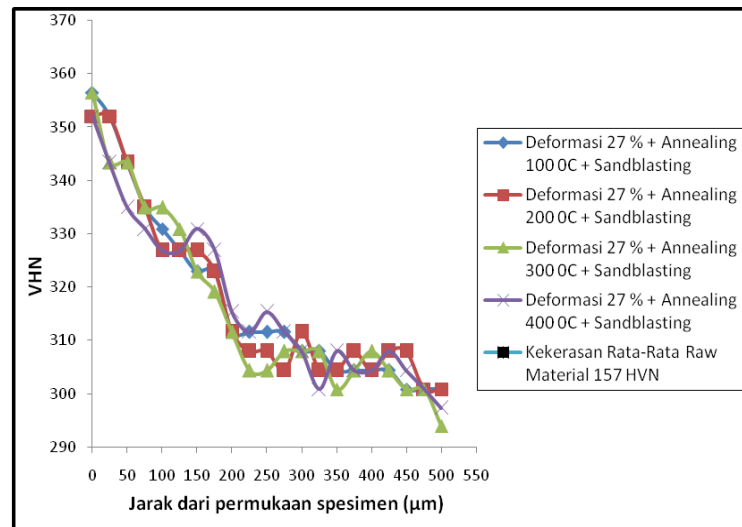


**Gambar 9.** Distribusi Kekerasan Melintang Spesimen AISI 316 Dengan Perlakuan Deformasi Sebesar 27 % Disertai *Annealing Stress Relieve*

Derajat deformasi sebesar 27 % akan meningkatkan kekerasan spesimen AISI 316L. Kekerasan spesimen meningkat rata-rata 87.56 % dari kekerasan *raw material*. Hal ini disebabkan karena derajat deformasi dingin akan mengakibatkan terjadinya *strain hardening* akibat adanya jumlah densitas dislokasi. Proses dislokasi akan mengakibatkan terjadinya slip pada arah tertentu. Densitas yang menyebabkan terjadinya slip pada butiran dapat diakibatkan karena adanya dislokasi secara berulang (*multiplication dislocation*) atau terjadi akibat pembentukan dislokasi baru. Hal ini mengakibatkan jarak antar dislokasi menurun sehingga interaksi regangan antar dislokasi menjadi meningkat. Peningkatan densitas dislokasi akan mengakibatkan semakin sulit butiran tersebut untuk mengalami dislokasi kembali akibat gaya luar. Semakin sulit butiran untuk mengalami dislokasi menunjukkan nilai kekerasan yang semakin tinggi. Sedangkan nilai kekerasan spesimen yang mengalami proses *annealing* setelah derajat deformasi sebesar 27 % tidak berpengaruh. Hal ini disebabkan karena proses *annealing stress relief* tidak merubah struktur butiran.

*Pengaruh Kombinasi Derajat Deformasi – Annealing - Sandblasting Terhadap Kekerasan*

Grafik distribusi kekerasan spesimen yang mendapat perlakuan kombinasi deformasi dingin-*annealing-sandblasting* ditunjukkan pada Gambar 10.



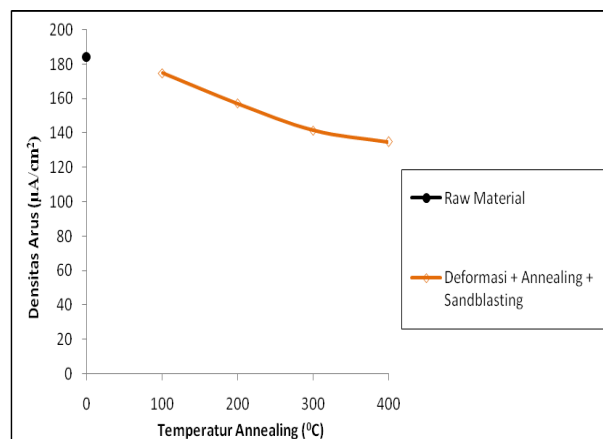
**Gambar 10.** Distribusi Kekerasan Melintang Spesimen AISI 316 Hasil Proses Deformasi Dingin 27 % Disertai *Annealing Stress Relief* Dan *Sandblasting*

Distribusi kekerasan spesimen akibat proses *sandblasting* pada material yang mengalami proses deformasi 27 % dan *annealing* akan meningkat hingga kedalaman tertentu. Peningkatan kekerasan pada permukaan spesimen rata-rata sebesar 126 %. Kekerasan tertinggi terdapat pada permukaan spesimen yaitu rata-rata sebesar 356 HVN. Seiring dengan meningkatnya kedalaman, nilai kekerasan turun hingga mencapai konstan pada kedalaman 200  $\mu\text{m}$ . Nilai kekerasan pada kedalaman lebih dari 200  $\mu\text{m}$  memiliki nilai kekerasan yang relatif konstan dan nilai kekerasannya hampir sama dengan nilai kekerasan spesimen *raw material* yang mendapat perlakuan *annealing*.

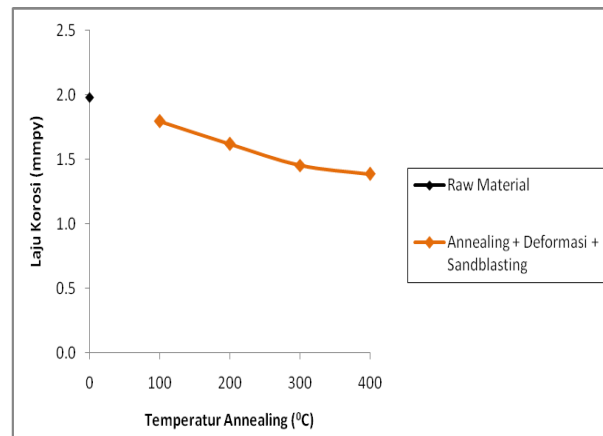
Peningkatan kekerasan hasil proses *sandblasting* diakibatkan karena adanya proses deformasi plastis lokal (*local plastic deformation*) pada permukaan spesimen. Proses tersebut mengakibatkan perubahan ukuran butiran sehingga menjadi lebih kecil. Berdasarkan hukum *Hall Petch*, semakin kecil ukuran butir, maka kekerasan material akan semakin meningkat (Multigner, dkk, 2009).

**Laju Korosi**

Grafik yang menunjukkan hubungan temperatur *annealing* terhadap rapat arus korosi dan laju korosi dari spesimen yang mengalami proses *annealing-sandblasting*, deformasi 27 %-*annealing-sandblasting* ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12.



**Gambar 11.** Hubungan Temperatur Annealing Terhadap Densitas Arus Korosi



Gambar 12. Hubungan Temperatur *Annealing* Terhadap Laju Korosi

Gambar 11 dan Gambar 12 menunjukkan bahwa secara umum, rapat arus korosi dari spesimen yang mendapat perlakuan *annealing* dan deformasi turun seiring dengan meningkatnya temperatur *annealing*. Rapat arus korosi yang rendah menunjukkan ketahanan korosi yang meningkat. Hal ini memperkuat kesimpulan penelitian dari Wei, dkk, (2009) yang menyebutkan bahwa proses *annealing* akan menyebabkan peningkatan ketahanan korosi seiring dengan meningkatnya temperatur *annealing*. Proses *annealing* dapat mengurangi terjadinya dislokasi struktur butiran sehingga retakan penyebab terjadinya korosi yang diakibatkan karena adanya tegangan sisa pada material akan berkurang.

Roland, dkk, menyebutkan bahwa proses *sandblasting* akan menghasilkan lapisan dengan struktur butiran yang halus dengan karakteristik bebas porositas dan bebas inklusi. Lapisan dengan struktur yang bebas porositas dan inklusi bersifat passivator yang dapat mengurangi terjadinya reaksi oksidasi/korosi sehingga berakibat pada peningkatan ketahanan korosi spesimen AISI 316 L.

## KESIMPULAN

Proses perbaikan kekuatan mekanik dan ketahanan korosi pada spesimen AISI 316L dapat dilakukan dengan perlakuan kombinasi *heat treatment* dan *surface treatment*. Proses *annealing stress relief* mengakibatkan peningkatan ketahanan korosi. Hal ini disebabkan karena proses *annealing stress relief* mengurangi dislokasi pada butiran yang dapat mengakibatkan terjadinya retakan. Sedangkan proses SMAT menghasilkan lapisan tipis pada permukaan spesimen AISI 316L yang bersifat passivator, sehingga dapat mengurangi terjadinya proses oksidasi/korosi.

## Daftar Pustaka

- ASM International., 2010, "Cold and Hot Forging Fundamentals and Applications, ASM, United States of America.
- Bombac, D., B, Miha., Fajfar, P., Kosel, F., dan Turk, R. 2009, "Review of Materials in Medical Applications". RMZ-Materials and Geoenvironment., 54, 471-499.
- Callister, Jr., 2012. "Fundamentals of Materials Science and Engineering", Interactive e Text, John Wiley & Sons, Ten Edition, 177 – 231.
- Dieter, G.E., 2009. "Mechanical Metallurgy", McGraw-Hill Book Company, S1 Metric edition, 564 – 585.
- Domankova, M., Peter, M., dan Moravcik, R., 2010. "The Effect of Cold work on The Sensitisation of Austenitic Stainless Steels", Original Scientific Article., 131, 1580-2949.



- Fang, C.K., dan Chuang, T.H., 2009. "Surface Morphologies and Erosion Rate of metallic building Materials After Sandblasting", *Journal of Wear.*, 230, 156-164.
- Ige, O.O., Umoru, L.E., Adeoye, M.O., Adetunji, A.R., Olorunniwo, O.E., dan Akomolafe, I.I. 2009. "Monitoring, Control, and Prevention Practises of Biomaterials Corrosion-An Overview", *Trends Biomaterials Artificial Organs.*, 23, 93-104.
- Jekova, L., 2010, " 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.
- Kimura, A., Noda, T., Ohkubo, H., Kamada, Y., dan Takashi, S., 2009, " Correlation between Deformation – Induced Microstructures and TGSCC Susceptibility in a Low Carbon Austenitic Stainless Steel ", *The Mineral, Metals, and Materials Society.*
- Multigner, M., Frutos, E., González, J.L., Carrasco., Jiménez, J.A., Marín, P., dan Ibáñez, J., 2010, "Influence of the sandblasting on the subsurface microstructure of 316LVM stainless steel: Implications on the magnetic and mechanical properties, *Materials Science and Engineering.*, 29, 1357-1360.
- Roland, T., Retraint, D., Lu. K., dan Lu, J., 2010. " Fatigue Life Improvement Through Surface Nanostucturing of Stainless Steel by Means of Surface mechanical Attrition". *Scripta Materialia.*, 54, 1049–1054.
- Trethewey, K.R., dan Chamberlain, J., 2012. "Korosi Untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa", PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Umamoto M., 2009, "Nanocrystallization of Steels by Severe Plastic Deformation", *Materials Transactions.*, 44, 1900-1911.
- Watanabe, M., Mukai, Y., dan Murata, M. 2010. "Effect of Cold work on Integranular Corrosion Cracking of Sensitized Stainless Steel", *Transactions of JWRI.*, 5, 57-62.

Corresponding authors email address: mirza\_ub@yahoo.com