

PENGARUH DEFORMASI PLASTIS TERHADAP SIFAT FISIK DAN MEKANIK PADA STAINLESS STEEL 316L

Aulia Majid¹, Priyo Tri Iswanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

¹Majid.aulia63@mail.ugm.ac.id, ²priyotri@ugm.ac.id

ABSTRAK

Bidang biomedis yang berkembang menciptakan sebuah produk biomaterial *crown* gigi yang bisa dimanfaatkan jika gigi mengalami kerusakan. *Stainless steel* 316L merupakan salah satu bahan biomaterial karena memiliki ketahanan korosi yang baik dan sifat mekanik yang tinggi. Namun, sifat ketahanan korosi dan kekuatan mekanik pada *Stainless steel* 316L masih perlu ditingkatkan agar mampu menjadi material yang lebih baik untuk *crown* gigi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan nilai mekanik *stainless steel* 316L dengan perlakuan pengerolan dingin dan *shot peening*. Variasi reduksi ketebalan pengerolan terdiri dari 0%, 5%, 10%, dan 20%. *Shot peening* diterapkan pada material dengan variasi 5%, 10%, dan 20%. Setelah diberikan perlakuan tersebut, maka spesimen akan dilakukan pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan *Vickers* pada permukaan spesimen, dan pengujian kekuatan tarik pada *stainless steel* 316L. Hasil yang didapatkan setelah diberlakukan perlakuan yaitu struktur butir yang diamati terlihat mengecil pada spesimen *stainless steel* 316L yang diberikan perlakuan pengerolan dingin dan *shot peening* seiring meningkatnya variasi yang diberikan, nilai kekerasan permukaan material mengalami kenaikan sebesar 144 % dari 250,1 kgf/mm² menjadi 611,91 kgf/mm². Lalu, nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* pada *stainless steel* 316L didapatkan hasil sebesar 730,2 MPa dan 413,14 MPa.

Kata kunci: pengerolan dingin, *shot peening*, *stainless steel* 316L, kekerasan *Vickers*

ABSTRACT

The development of the biomedical field creates a dental crown as a biomaterial product that can be used if the tooth is damaged. Stainless steel 316L is one of the biomaterials because it has good corrosion resistance and high mechanical properties. However, the corrosion resistance properties and mechanical strength of 316L stainless steel still need to be improved to become a better material for dental crowns. This study's purpose is to increase the mechanical value of 316L stainless steel by cold rolling and shot peening treatment. The variation of rolling thickness reduction consists of 0%, 5%, 10%, and 20%. Shot peening is applied to materials with variations of 5%, 10%, and 20%. After being given this treatment, the specimen will be observed for microstructure, Vickers hardness test on the specimen surface, and tensile test. The results obtained after the treatment was applied that the grain structure observed on an optical microscope appeared to shrink in 316L stainless steel specimens which were given cold rolling and shot peening treatment as the variation given increased, the value of the surface hardness of the material increased by 144% from 250,1 kgf/mm² to 590,05 kgf/mm². Then, the ultimate tensile strength and yield strength values for 316L stainless steel were 730,2 MPa and 413,14 MPa.

Keywords: cold rolling, shot peening, stainless steel 316L, hardness Vickers

PENDAHULUAN

Tubuh manusia terdiri dari berbagai sistem yaitu sistem pencernaan, sistem gerak,

sistem pernapasan, sistem sirkulasi, sistem ekskresi, sistem reproduksi, sistem saraf, sistem integumen, dan sistem hormon. Salah satu sistem yaitu sistem pencernaan

merupakan sistem yang berfungsi untuk mencerna dan mengolah makanan atau minuman agar nutrisi dapat diserap dan diolah menjadi sebuah energi tubuh. Peran fungsi dari organ tubuh mulut dan gigi menjadi hal yang utama sebelum proses pencernaan dan penyerapan nutrisi dilakukan. Proses penghancuran makanan atau minuman akan dilakukan oleh gigi. Makanan dan minuman yang bersentuhan langsung dengan gigi jika tidak dibersihkan secara rutin akan menyebabkan plak pada gigi. Interaksi yang terjadi antara plak dengan makanan atau minuman yang masuk ke mulut akan menyebabkan karies gigi karena lapisan enamel gigi yang terlarut. Gigi berlubang sering terjadi akibat karies gigi yang tidak segera ditangani sehingga sistem pencernaan manusia dapat terganggu [1].

Bidang biomedis yang terus berkembang menciptakan sebuah produk *crown* gigi yang bisa dimanfaatkan jika gigi mengalami kerusakan. Bahan yang digunakan dalam biomedis dapat menggunakan biomaterial. Sifat-sifat yang harus dimiliki oleh biomaterial yaitu tubuh manusia mampu menerima biomaterial yang ditanam tanpa adanya efek samping sesuai dengan organ yang diganti dan tidak melepaskan ion karsinogen atau racun di dalam tubuh [2]. *Stainless steel* 316L merupakan salah satu bahan biomaterial karena memiliki ketahanan korosi yang baik dan sifat mekanik yang tinggi. Pada bidang biomedis *Stainless steel* 316L digunakan untuk implan tulang, *crown* gigi, dan kawat gigi karena memiliki sifat biokompatibilitas yang baik, harga yang murah, kekuatan mekanik tinggi, dan mudah dibentuk [3].

Namun, sifat ketahanan korosi dan kekuatan mekanik pada *Stainless steel* 316L masih perlu ditingkatkan agar mampu menjadi material yang lebih baik untuk *crown* gigi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas fisik dan mekanik *Stainless steel* 316L yaitu pengerjaan dingin dan perlakuan permukaan. Konsumsi oksigen tinggi dapat mengakibatkan kegagalan suatu bahan karena terjadi reaksi korosi sehingga membahayakan pasien yang menggunakan bahan tersebut. Maka dari itu, perlakuan permukaan harus dilakukan agar mampu meningkatkan sifat mekanik, keausan, dan korosi pada *Stainless steel* 316L [4].

Pengerjaan dingin yang diterapkan pada penelitian ini adalah pengerolan. Pengerolan dingin merupakan proses pengurangan ketebalan suatu material dengan mesin rol yang dilakukan di bawah suhu rekristalisasi. Perubahan ketebalan material yang terjadi menyebabkan terjadinya dislokasi pada butir kristal akan meningkatkan kekuatan mekanik material. Sedangkan, perlakuan permukaan *shot peening* yaitu proses perlakuan permukaan pada suatu material dengan menembakkan bola-bola baja yang berukuran kecil pada permukaan material yang diuji secara berulang kali agar menciptakan tegangan sisa pada material tersebut. Tegangan sisa yang terbentuk menyebabkan kekuatan mekanik material meningkat [5].

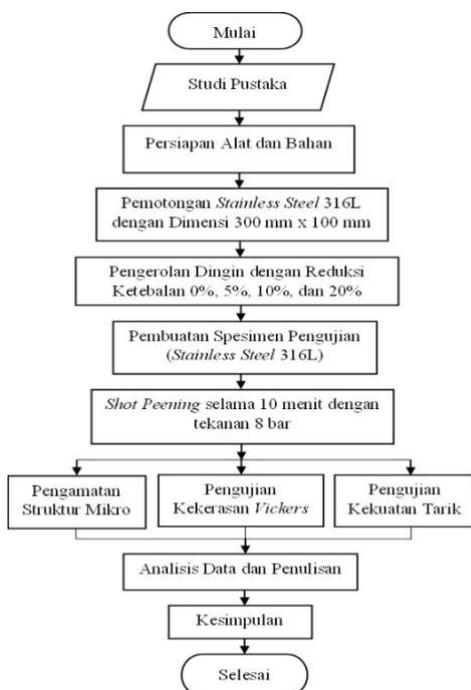
METODE

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu plat *stainless steel* 316L dengan ukuran dimensi panjang 300 mm, lebar 100 mm, dan tebal 3 mm. Variasi reduksi ketebalan pengerolan dingin yang diterapkan yaitu 0%, 5%, 10%, dan 20%. Sedangkan, *shot peening* dilakukan pada material dengan variasi reduksi ketebalan 5%, 10%, dan 20%. *Shot peening* dilakukan dengan menggunakan bola baja berukuran 0,06 mm dengan jarak tembak 60 mm, tekanan 8 bar, dan durasi 10 menit.

Prosedur pengerolan dingin, *shot peening*, dan pengujian sifat fisik dan mekanik dilakukan di laboratorium bahan teknik, departemen teknik mesin dan industri, Universitas Gadjah Mada. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari pengamatan struktur mikro, pengujian kekerasan permukaan, dan pengujian tarik pada material reduksi ketebalan 0%.

Pada pengamatan struktur mikro, material *stainless steel* 316L terlebih dahulu dicetak menggunakan resin sebelum diampas dengan mesh 80 hingga 500. Proses selanjutnya yaitu *polishing* menggunakan autosol. Cairan etsa yang digunakan yaitu 10 ml HNO₃ dan 40 ml HCl dengan durasi waktu 50 detik. Kemudian, pengamatan struktur mikro diamati dengan mikroskop optik *Olympus* dengan perbesaran 20x.

Pengujian kekerasan permukaan menggunakan metode kekerasan *Vickers* dengan alat *Buehler Micromet* seri 2100. Beban indentasi pada pengujian kekerasan permukaan spesimen dilakukan pada 2 titik yang berbeda dengan beban 200 gram force selama 10 detik. Lalu, pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui titik luluh dan kekuatan tarik maksimal dari material *stainless steel* 316L. Spesimen pengujian tarik dibuat mengacu pada standar ASTM E-8 dengan pembebanan tarik sebesar 10 ton. Pengujian tarik ini menggunakan mesin *Shimadzu Servopulser*. Diagram alir pada penelitian ini dapat diamati pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

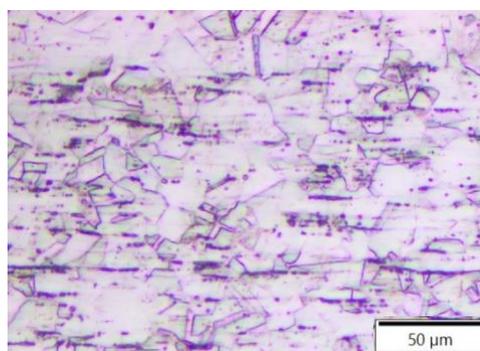
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengamatan Struktur Mikro

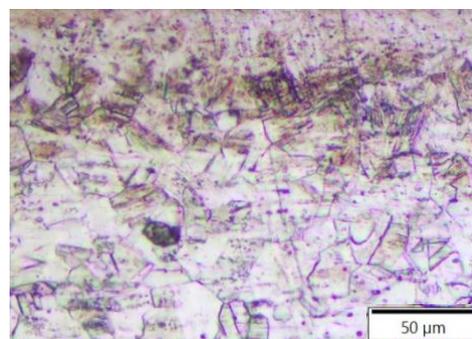
Pengambilan gambar struktur mikro dilakukan pada bagian permukaan melintang spesimen dengan variasi spesimen tanpa perlakuan yaitu 0% dan spesimen dengan perlakuan yang terdiri dari reduksi ketebalan 5%, 10%, dan 20%. Pada spesimen yang tidak diberi perlakuan yang bisa diamati pada Gambar 2 memiliki ukuran butir yang merata dan tidak ada bekas *shot peening*. Lalu, pada pengujian pengerolan dingin dan *shot peening* didapatkan hasil visual struktur

mikro yang mulai mengecil seiring meningkatnya derajat deformasi reduksi ketebalan.

Ditambahkannya perlakuan *shot peening* membuat ukuran butir terlihat semakin mengecil pada permukaan. Tumbukan bola baja membuat fenomena ini terjadi di daerah permukaan material. Tumbukan bola baja ini menimbulkan kerapatan butir yang menjadi lebih halus jika dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan *shot peening*. Pada bagian di dekat permukaan spesimen struktur butir tampak lebih rapat dan batas butirnya menghalus [6]. Berikut pengamatan struktur mikro yang bisa diamati pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Struktur mikro spesimen 0%



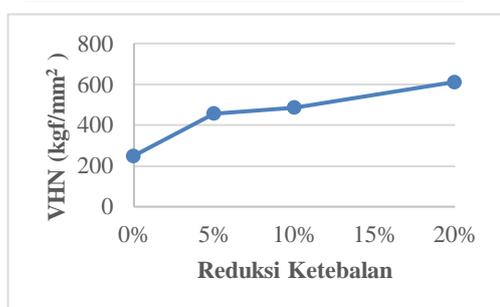
Gambar 3. Struktur mikro spesimen 10%

Pengujian Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan pada spesimen dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers* dengan data hasil pengujian berupa *Vickers Hardness Number* (VHN). VHN didapatkan dari hasil penghitungan data diagonal panjang indentasi hasil pengujian. Pengujian dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan permukaan spesimen. Pada pengujian kekerasan permukaan dilakukan

uji pengambilan panjang diagonal indentasi pada 2 titik secara acak dengan beban indentasi sebesar 200 gf dalam durasi waktu 10 detik. Data yang didapatkan dari pengujian tersebut kemudian diolah dan dihitung rata-ratanya dari setiap titik hingga menjadi nilai VHN spesimen dari hasil uji. Berikut Tabel 1 dan Gambar 4 yang memuat nilai hasil uji kekerasan *Vickers*.

Reduksi Ketebalan (%)	VHN rata-rata (kgf/mm ²)
0	250,1
5	457,46
10	486,63
20	611,91



Gambar 4. Grafik kekerasan *Vickers*

Dari data hasil pengujian nilai VHN yang didapatkan menunjukkan bahwa semakin besar derajat deformasi yang terjadi, semakin besar nilai VHN yang didapatkan. Hal tersebut dapat diartikan bahwa material yang diberi perlakuan pengerolan dingin dan *shot peening* akan terjadi deformasi plastis yang menyebabkan material semakin keras. Peningkatan nilai kekerasan material disebabkan oleh bertambahnya dislokasi yang disebabkan oleh deformasi plastis. Dislokasi akan bertambah dan memicu adanya interaksi antar dislokasi sehingga menyebabkan kerapatan dislokasi akan lebih rapat dan saling menghambat, sehingga dapat menimbulkan nilai kekerasan yang meningkat [7].

Pengujian Kekuatan Tarik

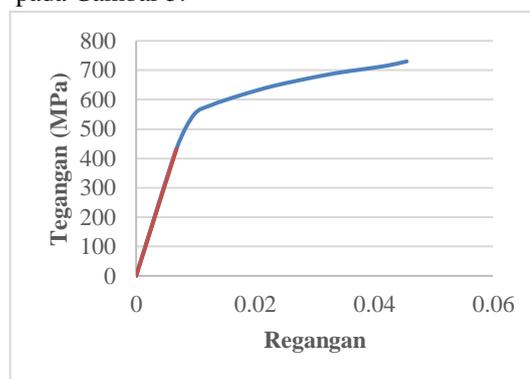
Pengujian uji tarik dilakukan pada *raw material stainless steel 316L* dengan arah

tarik sesuai arah rol. Pada pengujian ini nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* akan didapatkan. Berikut nilai pengujian tarik yang dapat diamati pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai pengujian Tarik

<i>Yield Strength</i> (MPa)	<i>Ultimate Tensile Strength</i> (MPa)
413,14	730,2

Nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* yaitu 730,2 MPa dan 413,14 MPa. Hal ini membuat *stainless steel 316L* merupakan material yang memiliki nilai mekanik tinggi sehingga dapat pada industri petrokimia, instrumen industri pengolahan kertas, instrumen industri tekstil, instrumen industri makanan dan minuman, instrumen industri farmasi, dan biomedis [8]. Berikut grafik pengujian tarik yang dapat diamati pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik pengujian tarik

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan pengerolan dingin dan *shot peening* telah berpengaruh terhadap karakteristik material *stainless steel 316L* dengan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur butir yang diamati terlihat mengecil pada spesimen *stainless steel 316L* yang diberikan perlakuan pengerolan dingin dan *shot peening*. Perlakuan pengerolan dingin yang mengakibatkan derajat deformasi plastis mempengaruhi struktur mikro pada lapisan permukaan material *stainless steel 316L*. Bentuk butir pada struktur mikro menjadi lebih pipih dan rapat seiring dengan derajat deformasi plastis yang besar akibat pengerolan dingin dan tumbukan bola baja *shot peening* membuat permukaan

spesimen menjadi halus. Sehingga mempengaruhi kekuatan mekanik pada *stainless steel* 316L.

2. Kekerasan permukaan material mengalami kenaikan sebesar 144% dari 250,1 kgf/mm² menjadi 611,91 kgf/mm² dengan kekerasan tertinggi pada variasi reduksi ketebalan 20% dan nilai terendah pada material 0%.

3. Nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength* pada material *stainless steel* 316L didapatkan hasil sebesar 730,2 MPa dan 413,14 MPa. Hal ini membuktikan bahwa material ini memiliki sifat mekanik yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Sensoy, "A review on the food digestion in the digestive tract and the used in vitro models," *Curr. Res. Food Sci.*, vol. 4, no. April, pp. 308–319, 2021, doi: 10.1016/j.crfs.2021.04.004.
- [2] L. Ghasemi-Mobarakeh, D. Kolahreez, S. Ramakrishna, and D. Williams, "Key terminology in biomaterials and biocompatibility," *Curr. Opin. Biomed. Eng.*, vol. 10, pp. 45–50, 2019, doi: 10.1016/j.cobme.2019.02.004.
- [3] N. G. G. Muruve *et al.*, "Peptide-based biocoatings for corrosion protection of *stainless steel* biomaterial in a chloride solution," *Mater. Sci. Eng. C*, vol. 68, pp. 695–700, 2016, doi: 10.1016/j.msec.2016.06.053.
- [4] N. Kurgan, Y. Sun, B. Cicek, and H. Ahlatci, "Production of 316L *stainless steel* implant materials by powder metallurgy and investigation of their wear properties," *Chinese Sci. Bull.*, vol. 57, no. 15, pp. 1873–1878, 2012, doi: 10.1007/s11434-012-5022-5.
- [5] R. Gopi, I. Saravanan, A. Devaraju, and G. babu Loganathan, "Investigation of *shot peening* process on *stainless steel* and its effects for tribological applications," *Mater. Today Proc.*, vol. 22, no. xxxx, pp. 580–584, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2019.08.215.
- [6] S. Bagherifard, S. Slawik, I. Fernández-Pariente, C. Pauly, F. Mücklich, and M. Guagliano, "Nanoscale surface modification of AISI 316L *stainless steel* by severe *shot peening*," *Mater. Des.*, vol. 102, pp. 68–77, 2016, doi: 10.1016/j.matdes.2016.03.162.
- [7] R. I. Yakin, P. T. Iswanto, and E. U. K. Maliwemu, "Shot peening effect on surface properties and pitting corrosion resistance of biomedical structural steel AISI 316L," *Metalurgija*, vol. 60, no. 3–4, pp. 249–252, 2021.
- [8] Outokumpu, "Handbook of *Stainless steel*," pp. 1–89, 2013, [Online]. Available: <http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf>.