

## Efek Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Logam *Stainless Steel* Seri J4

Gadang Priyotomo\*, I Nyoman Gede Putrayasa Astawa, Fendy Rokhmanto

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia,  
Puspiptek Gd.474 Tangerang Selatan, Indonesia, 15314

### Abstrak

*Logam stainless steel (SS) seri J4 merupakan baja paduan austenitik krom dan mangan yang mempunyai kekuatan dan ketahanan korosi yang cukup baik. Namun umumnya, logam SS austenitik mengalami proses sensitasi saat terjadi pemanasan logam yang menurunkan sifat mekanik logam. Investigasi pengaruh sifat mekanik SS seri J4 terhadap variasi temperatur logam dilakukan menggunakan uji tarik dan uji kekerasan mikro Vickers. Proses pemanasan logam dilakukan pada rentang suhu antara 600°C-1050°C. Penurunan nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan kekerasan yang disertai kenaikan ketangguhan dan elongasi terjadi seiring dengan kenaikan temperatur logam hingga 1050°C. Ini dimungkinkan akibat transformasi  $\alpha'$ -martensite menjadi fasa austenit seiring dengan peningkatan temperatur pemanasan. Disisi lain, Penurunan nilai ketangguhan, kekuatan luluh dan elongasi terjadi pada kisaran temperatur pemanasan 700°C dimana ini mengindikasikan proses sensitasi paduan stainless steel J4 terjadi. Proses sensitasi logam SS akan berhubungan dengan kerentanan korosi retak tegang stainless steel.*

**Kata kunci:** uji tarik; uji kekerasan; ketangguhan; stainless steel austenitik; elongasi

### Abstract

*[Title: The Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of J4 Series Stainless Steel Metals] J4 series stainless steel (SS) is austenitic alloy steel containing chromium and mangan, which has moderate strength and corrosion resistance. However, austenitic SS alloys generally undergo a sensitization process during heat treatment that decreases metal mechanical properties. The investigation of mechanical properties effect on J4 series SS toward the various temperature of metal was carried out at the temperature range of 600oC – 1050oC. The decrease of tensile strength, yield strength, and hardness are followed by increasing toughness and elongation in an increasing metal temperature up to 1050oC. This behavior of mechanical properties is caused by the transformation of  $\alpha'$ -martensite phase to the austenitic phase with increasing heating temperature. On the other side, a significant decrease in toughness, yield strength, and elongation at the temperature of 700oC indicate a sensitization process on J4 stainless steel. The process of sensitization will correspond to the susceptibility of stress corrosion cracking on stainless steel.*

**Keywords:** tensile test; hardness test; toughness; austenitic stainless steel; elongation

### 1. Pendahuluan

Umumnya logam stainless steel tipe austenitik diaplikasikan pada unit proses bejana tekanan tinggi, transportasi, minyak dan gas bumi, industri panas bumi, makanan dan minum, industri alat-alat kesehatan dan lain-

lain dikarenakan sifat fisik dan mekanik yang baik (Davids, 1994 ; Priyotomo dkk., 2020). Paduan logam ini merupakan jenis paduan logam berbasis besi dengan penambahan unsur krom dan nikel, dimana komposisi unsur krom minimal dari 12 persen berat (Szubzda dkk., 2016). Paduan stainless steel ini juga memiliki keunggulan antara lain keuletan dan mampu bentuk yang baik. Ketahanan terhadap korosi juga dipertimbangkan sebagai paduan yang tahan terhadap lingkungan korosif

\*) Penulis Korespondensi.

E-mail: gadangp@gmail.com

asam diperbagai aplikasi dikarenakan pembentukan lapisan pasif krom oksida yang protektif di permukaan paduan (Rashid dkk., 2012 ; Priyotomo dkk., 2013).

Di bidang pengembangan paduan stainless steel, salah satu jenis stainless steel (SS) dengan biaya produksi murah adalah SS seri 200. SS seri 200 ini merupakan paduan dengan penambahan paduan mangan (Mn) dan pengurangan nikel (Ni). Pengurangan kadar Ni dikarenakan harga yang mahal. Unsur Mn dan Ni merupakan elemen stabilisasi fasa austenitik SS. SS seri J hampir sama komposisinya dengan Seri 200, namun ditambahkan unsur tembaga (Cu) untuk mengurangi laju pengerasan kerja (*work hardening*).

Umumnya peningkatan sifat mekanik SS seri J4 melalui proses pengerjaan dingin (*cold working*) bukan dengan perlakuan panas melalui peningkatan temperatur kerja. Disisi lain, proses pengelasan logam (*welding*) memperhatikan proses setelah pengelasan, dimana proses sensitasi akan terjadi saat pendinginan udara di daerah *Heat Affected Zone* (HAZ). Salah satu contoh proses sensitasi adalah proses pengelasan logam SS seri 304L tanpa prosedur *Post Welding Heat Treatment* (PWHT) (Kumar dkk., 2015). Lebih jauh lagi, proses sensitasi logam merupakan pembentukan endapan getas krom karbida (Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>) dibatas butir logam yang mengakibatkan korosi mekanik batas butir dan mengurangi sifat mekanik pada logam stainless steel seri 304 (Priyotomo., 2008). Di sisi lain, proses pada perlakuan panas yang berdampak terjadinya sensitasi terjadi ketika stainless steel austenitik 316L dipanaskan pada rentang temperatur 550°C hingga 850°C kemudian didinginkan perlahan pada kondisi ruang (Atanda dkk., 2010). Pada rentang temperatur sensitasi tersebut, atom-atom karbon terdifusi ke dalam batas butir, dimana bersenyawa dengan unsur krom, membentuk senyawa intermetalik krom karbida, daerah didekat batas butir mengalami proses lepasnya unsur kromium (Cr) (Kumar dkk., 2015). Pada penelitian sebelumnya, proses sensitasi terjadi pada rentang temperatur pemanasan antara 700°C – 900°C pada logam SS J4 (Priyotomo dan

Putrayasa., 2018).

Khususnya logam stainless steel austenitik seri J4, belum atau sedikit peneliti menginvestigasi hubungan antara fenomena sensitasi yang telah diteliti sebelumnya (Priyotomo dan Putrayasa., 2018) dan sifat mekanik logam paduan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah menginvestigasi sifat mekanik di logam stainless steel seri J4 melalui proses variasi peningkatan temperatur kerja.

2. Bahan dan Metode

2.1 Material

Material yang digunakan dalam riset ini adalah baja paduan tinggi *stainless steel* seri J4 atau setara dengan seri 200. Karakterisasi material spesimen uji ini sangat penting untuk menverifikasi jenis material yang digunakan. Hasil pengujian komposisi unsur material menggunakan alat *ARL iSpark Spectrometer* yang terlihat pada Tabel 1. Komposisi kimia unsur – unsur logam spesimen uji sesuai dengan standar logam *stainless steel* seri J4.

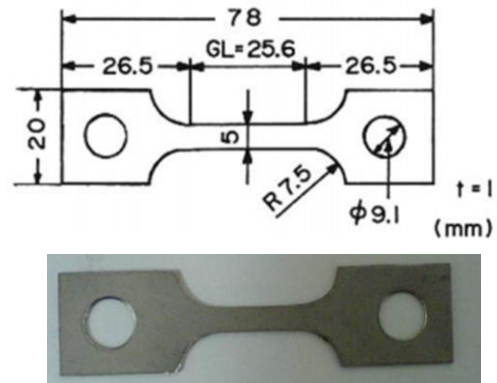
*Stainless steel* seri J4 berbentuk pelat yang berdimensi 1 mm yang dipotong sesuai ukuran dimensi pengujian tarik. Gambar 1 memperlihatkan dimensi dan bentuk spesimen uji dengan membentuk *gauge length* untuk melokalisir tegangan luar. Disisi lain, dimensi material logam untuk uji kekerasan adalah 20 mm x 20 mm x 1 mm.

2.2 Proses Perlakuan Panas

*Stainless steel* seri J4 yang telah dipotong dengan menyesuaikan dimensi uji mekanik masing-masing dilakukan proses perlakuan panas (*heat treatment*). Proses perlakuan panas dilaksanakan pada spesimen uji dengan variasi temperatur pemanasan 600°C, 700°C, 800°C dan 900°C, dimana waktu penahanan di tungku selama 60 menit. Setelah proses pemanasan dan penahanan waktu sampel ditunggu selesai, dilakukan proses pendinginan di dalam ruang tungku hingga suhu ruang. Sebagai logam paduan kontrol, perlakuan panas *solution annealing* pada spesimen uji juga dilakukan melalui pemanasan hingga

Tabel 1. Komposisi kimia unsur paduan logam

Unsur	% berat	
	Austenitic SS J4	Spesimen uji
C	0,10 (maksimum)	0,06
Mn	8,5-10,0	8,85
S	0,01 (maksimum)	0,0073
P	0,080 (maksimum)	0,026
Si	0,75 (maksimum)	0,44
Cr	15-16 (maksimum)	15,27
Cu	1,50-2,00	1,67
Ni	1,00-2,00	1,18
N	0.20 (maksimum)	-
Fe	Sisanya	Sisanya



Gambar 1. a) Dimensi geometri spesimen uji tarik (Nishimura, 1993) ; b) foto spesimen uji tarik

temperatur 1050°C, setelah mencapai suhu tersebut kemudian ditahan waktu 1 jam. Sampel uji segera didinginkan cepat (proses quenching) di dalam media air

2.2 Pengujian

Pengujian mekanik dilakukan dengan dua pengujian utama yaitu uji tarik berstandar ASTM E8 dan uji vickers hardness berstandar ASTM E92. Pengujian tarik logam menggunakan Universal testing Machine Tinius Olsen SL Console. Kapasitas mesin ini adalah maksimum 300kN dan kecepatan tarik 30 mm/menit. Pengujian kekerasan dilaksanakan melalui metode kekerasan vickers dengan Hardness test machine Mitutoyo HM-200. Observasi permukaan melalui metode metalografi untuk melihat struktur mikro permukaan SS seri J4 dilakukan dengan bahan etsa Nital 2%.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 2 memperlihatkan nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh paduan SS seri J4 terhadap variasi perlakuan panas. Tendensi penurunan nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh terjadi dengan peningkatan temperatur antara 600°C dan 900°C, dimana kekuatan tarik pada temperatur 1050°C meningkat. Nilai kekuatan luluh paduan SS J4 pada suhu 1050°C mempunyai tendensi turun. Disisi lain, nilai kekuatan tarik dan kekuatan luluh paduan pada temperatur 700°C mengalami penurunan, kemudian meningkat pada suhu 800°C.

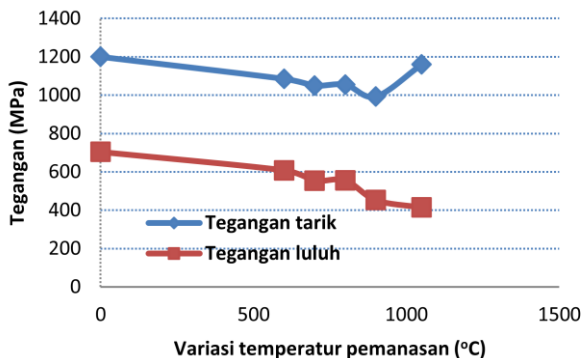
Lebih jauh lagi, nilai elongasi paduan SS J4 mempunyai tendensi kenaikan seiring dengan peningkatan temperatur kerja yang terlihat pada Gambar 3. Salah satu hal yang menarik adalah terjadi penurunan sedikit pada rentang temperatur 700°C dan 800°C. Umumnya kekuatan material logam menurun dengan peningkatan temperatur dan waktu tertentu dengan menghubungkan peningkatan ketangguhan

(Bandanadjaja dan Idamayanti., 2020). Melalui kombinasi tiga parameter antara lain kekuatan luluh, kekuatan tarik maksimum dan regangan yang didapatkan dari hasil uji tarik, di perhitungkan nilai modulus ketangguhan paduan logam. Nilai modulus tersebut terlihat pada persamaan dibawah ini (Davis, 2004).

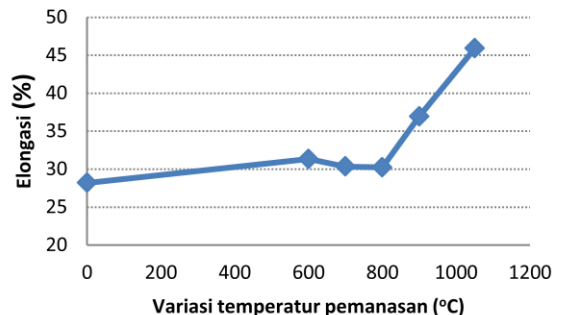
$$\text{Modulus ketangguhan} = \frac{\sigma_y + \sigma_u}{2} \epsilon_f \quad (1)$$

Dimana,  $\sigma_y$  adalah kekuatan luluh,  $\sigma_u$  adalah kekuatan tarik maksimum dan  $\epsilon_f$  adalah elongasi. Gambar 4 memperlihatkan kurva hasil perhitungan modulus ketangguhan paduan SS J4 terhadap variasi peningkatan pemanasan. Nilai ketangguhan material tertinggi pada temperatur pemanasan 1050°C, dimana penurunan ketangguhan pada temperatur 700°C dan 800°C.

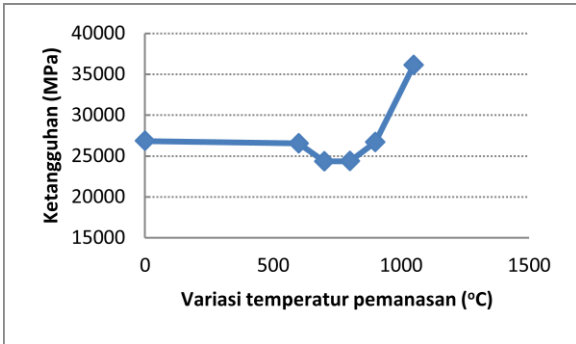
Sifat ketangguhan paduan *stainless steel* austenitik menurun pada rentang daerah sensitasi akibat pemanasan logam, dimana daerah sensitasi terjadi antara rentang temperatur 600°C hingga 900°C (Ghosh dkk., 2009). Gambar 5 memperlihatkan pengaruh pemanasan terhadap nilai kekerasan paduan SS J4, dimana tendensi nilai kekerasan mengalami penurunan seiring dengan peningkatan temperatur pemanasan. Pada pemanasan suhu 700°C, nilai kekerasan mengalami penurunan lebih rendah dibandingkan pada suhu 800°C. Nilai kekerasan tertinggi terlihat pada SS sebelum diperlakukan panas, dimana ini dimungkinkan adanya fasa  $\alpha$ -martensite dengan kondisi pengerjaan dingin pada SS (Di Schino dkk., 2002). Kenaikan kembali nilai kekerasan terjadi pada suhu 800°C dimungkinkan adanya pembentukan atau presipitasi krom karbida dibatas butir saat sensitasi (Tukur dkk., 2014).



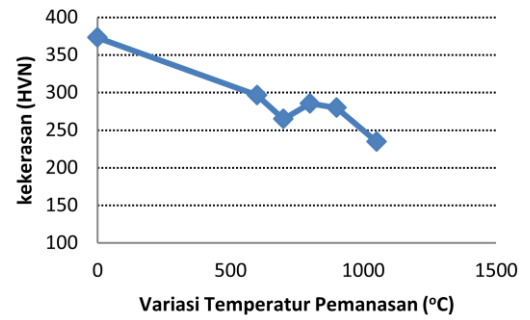
Gambar 2. Grafik hubungan antara kekuatan tarik dan kekuatan luluh terhadap variasi temperatur pemanasan paduan SS J4



Gambar 3. Grafik hubungan antara nilai elongasi logam terhadap variasi temperatur pemanasan paduan SS J4.



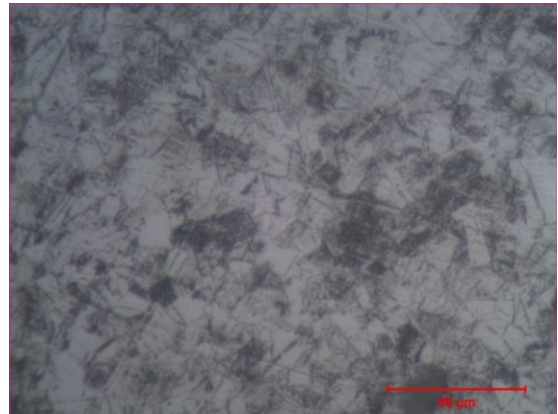
**Gambar 4.** Grafik hubungan antara nilai ketangguhan terhadap variasi temperatur pemanasan paduan SS J4



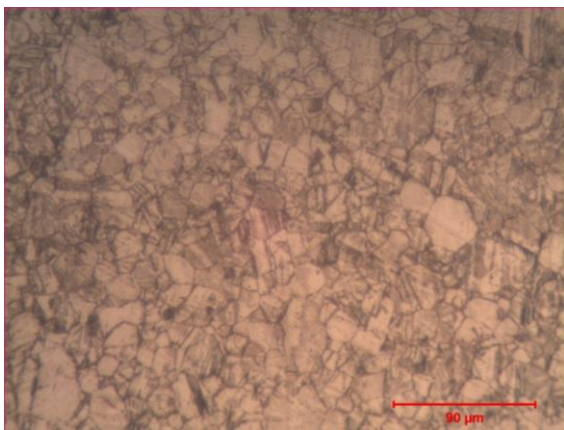
**Gambar 5.** Grafik hubungan antara nilai kekerasan terhadap variasi temperatur pemanasan paduan SS J4



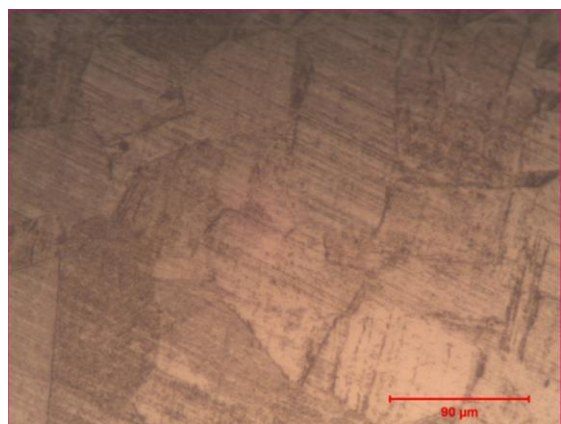
**Gambar 6.** Struktur mikro *stainless steel* austenitik sebelum perlakuan panas



**Gambar 7.** Struktur mikro *stainless steel* austenitik setelah pemanasan 700°C.



**Gambar 8.** Struktur mikro *stainless steel* austenitik setelah pemanasan 900°C.



**Gambar 9.** Struktur mikro *stainless steel* austenitik setelah pemanasan 1050°C.



Proses pada perlakuan panas yang singkat menciptakan sensitasi dimana proses berhubungan dengan pengendapan krom karbida ( $\text{Cr}_{23}\text{C}_6$  atau  $\text{Cr}_7\text{C}_3$ ) di sepanjang batas butir pada rentang temperatur 550°C hingga 850°C (Atanda dkk., 2010; Priyotomo dkk., 2018). Gambar 6 memperlihatkan struktur mikro *stainless steel* sebelum proses perlakuan panas, dimana struktur tersebut mengindikasikan proses hasil pengerolan dingin.

Keberadaan butir terelongasi menjadi *lamellar* karena densitas dislokasi yang tinggi dan fasa *strain induced  $\alpha'$ -martensite* memberikan untaian jejak garis-garis hitam memanjang. Keberadaan matriks austenite berwarna cerah juga ada di struktur tersebut, ini mengindikasikan bahwa prosentase reduksi rol dingin tidak terlalu tinggi (Li dkk., 2019)

Pemanasan temperatur hingga 700°C mengakibatkan perubahan struktur  *$\alpha'$ -martensite* (daerah gelap) menjadi fasa austenit (daerah terang) yang terlihat pada Gambar 7. Pada Gambar 8, proses rekristalisasi mulai terjadi pada temperature 700°C. Perubahan fasa struktur  *$\alpha'$ -martensite* menjadi fasa austenit terus terjadi hingga pada suhu 900°C, dimana prosentase  *$\alpha'$ -martensite* (daerah gelap) mulai mengecil. Pada temperatur 1050°C, perubahan fasa austenit telah mengalami proses penuh, dimana ukuran butir besar terdistribusi seragam tanpa keberadaan  *$\alpha'$ -martensite* (He dkk., 2018).

Pada hasil penelitian ini, proses sensitasi logam ini terjadi pada rentang pemanasan antara 700°C -900°C. Parameter-parameter sifat tarik logam telah mengindikasikan penurunan sifat mekanik akibat sensitasi, dimana proses sensitasi telah dilaporkan sebelumnya (Priyotomo dan Putrayasa., 2018). *Stainless steel* austenitik yang tersensitasi sangat rentan terhadap retak tegang akibat kombinasi antara tegangan luar dan lingkungan korosif (Khalifeh., 2019). Korosi retak tegang terjadi dikarenakan adanya pelemahan di daerah dekat batas butir, dimana konsentrasi unsur krom lebih rendah dibandingkan batas butir kemudian terjadi korosi batas butir (Järvenpää dkk., 2020). Lebih jauh penurunan nilai ketangguhan, regangan dan kekuatan luluh logam SS J4 yang diikuti sifat kekerasannya pada kisaran temperatur 700°C mengindikasikan telah terjadi potensi penurunan ketahanan terhadap serangan korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*).

#### 4. Kesimpulan

Pengaruh sifat tarik dan kekerasan paduan *stainless steel* seri J4 akibat pemanasan logam sangat signifikan. Secara umum, penurunan nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan kekerasan yang disertai kenaikan ketangguhan dan elongasi seiring dengan kenaikan temperatur. Ini dimungkinkan akibat transformasi  *$\alpha'$ -martensite* menjadi fasa austenit seiring

dengan peningkatan temperatur pemanasan. Namun penurunan lokal nilai ketangguhan, kekuatan luluh dan elongasi terjadi pada kisaran temperatur pemanasan 700°C dimana ini mengindikasikan proses sensitasi paduan *stainless steel* J4 terjadi. Proses sensitasi nantinya akan berhubungan dengan kerentanan korosi retak tegang *stainless steel*.

#### Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Metalurgi dan Material Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, khususnya rekan-rekan peneliti dan teknisi di laboratorium Korosi dan Laboratorium Logam

#### Daftar Pustaka

- Atanda, P., Fatudimu, A., & Oluwole, O. (2010). Sensitisation Study of Normalized 316L Stainless Steel. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 09(01), 13–23. <https://doi.org/10.4236/jmmce.2010.91002>
- Bandanadjaja, B., & Idamayanti, D. (2020). Pengaruh Proses Normalising dan Tempering Ganda Terhadap Peningkatan Nilai Modulus of Toughness Baja AISI 4340. *TEKNIK*, 41(2), 134–141. <https://doi.org/10.14710/teknik.v0i0.25950>
- Davids, J.R. (1994). *ASM Speciality Handbook, Stainless Steels, Welding*. Materials Park, OH: ASM International.
- Davis, J. R. (2004). Introduction to Tensile Testing: *Tensile Testing. ASM International*, 1–13.
- Di Schino, A., Barteri, M., & Kenny, J. M. (2002). Development of ultra fine grain structure by martensitic reversion in stainless steel. *Journal of Materials Science Letters*, 21(9), 751–753. <https://doi.org/10.1023/A:1015757710546>
- Ghosh, S., Kain, V., Ray, A., Roy, H., Sivaprasad, S., Tarafder, S., & Ray, K. K. (2009). Deterioration in fracture toughness of 304LN austenitic stainless steel due to sensitization. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 40(12), 2938–2949. <https://doi.org/10.1007/s11661-009-0023-y>
- He, S., Jiang, D., & Sun, Z. (2018). Effect of deformation-induced martensite on protective performance of passive film on 304 stainless steel. *International Journal of Electrochemical Science*, 13(5), 4700–4719. <https://doi.org/10.20964/2018.05.11>
- Järvenpää, A., Jaskari, M., Kisko, A., & Karjalainen, P. (2020). Processing and properties of reversion-

- treated austenitic stainless steels. *Metals*, Vol. 10. <https://doi.org/10.3390/met10020281>
- Khalifeh, A. (2019). Stress Corrosion Cracking Damages. In *Failure Analysis*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.80826>
- Kumar, V., Joshi, P., Dhakad, S., Shekhar, H., Singh, S., & Kumar, S. (2015). Analysis of the Effect of Sensitization on Austenitic Stainless Steel 304L Welded by GTAW Process. *Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR)*, 14(April), 1–121.
- Li, X., Wei, Y., Wei, Z., & Zhou, J. (2019). Effect of Cold Rolling on Microstructure and Mechanical Properties of AISI 304N Stainless Steel. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 252(2). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/252/2/022027>
- Nishimura, R. (1993). The effect of chloride ions on stress corrosion cracking of type 304 and type 316 austenitic stainless steels in sulfuric acid solution. *Corrosion Science*, 34(11), 1859–1868. [https://doi.org/10.1016/0010-938X\(93\)90023-A](https://doi.org/10.1016/0010-938X(93)90023-A)
- Priyotomo, G. (2008). “Hubungan Korosi Batas Butir Baja Tahan Karat Tipe 304 Metode ASTM A262 Dan Temperatur Sensitasi” .*KOROSI* 17(1): 45-52.
- Priyotomo, G., & Kaneno, Y. (2013). Corrosion Behavior of Ni<sub>3</sub>(Si,Ti) in Hydrochloric Acid Solution. *International Journal of Science and Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.12777/ijse.5.1.31-34>
- Priyotomo, G., & Putrayasa A, I. N. G. (2018). Perilaku Sensitasi Pada Logam Stainless Steel Seri J4 Akibat Perlakuan Panas. *Widyariset*, 4(2), 123. <https://doi.org/10.14203/widyariset.4.2.2018.123-132>
- Priyotomo, G. (2020). Pelepasan Logam Peralatan Masak Stainless Steel dalam Larutan Simulasi Asam dan Garam. *Jurnal Agroindustri Halal*, 6(2), 217. <https://doi.org/10.30997/jah.v6i2.2680>
- Rashid, M. W. A., Gakim, M., Rosli, Z. M., & Azam, M. A. (2012). Formation of Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub> during the sensitization of AISI 304 stainless steel and its effect to pitting corrosion. *International Journal of Electrochemical Science*, 7(10), 9465–9477.
- Szubzda, B., Antończak, A., Koziół, P., Łazarek, Sępak, B., Łęcka, K., ... Ozimek, M. (2016). Corrosion resistance of the AISI 304, 316 and 321 stainless steel surfaces modified by laser. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 113(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/113/1/012017>
- Tukur, S. A, Dambatta, M. S., & Ahmed, A. (2014). Effect of Heat Treatment Temperature on Mechanical Properties of the AISI 304. *International Journal of Innovatice Research in Science, Engineering and Technology*, 3(2), 9516–9520.