JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 29, pp. 343 – 350, 2023
Vol. 14. No.1

PENGARUH *SOLUTION TREATMENT* DAN MEDIA PENDINGIN PADA PROSES *HOT ROLLING* TERHADAP KEKUATAN BAJA MANGAN AUSTENITIK

Nadya Salsabila Frendyta [1)] ✉, ***Arif Tjahjono*** [1)], ***Permana Andi Paristiawan*** [2)]

[1)] ***Jurusan Fisika***
UIN Syarif Hidayatullah Jakarta
nadya.frendyta@gmail.com
arif.tjahjono@uinjkt.ac.id

[2)] ***Pusat Riset Metalurgi***
Badan Riset dan Inovasi Nasional
perm001@brin.go.id

Abstract

A steel with high hardness but relatively low ductility and toughness is called austenitic manganese steel. This steel implementation often suffers from defect and failure. Responding to this problem, the study was done by manipulating a heat treatment process in order to change the microstructure, refine the grain, and improve its mechanical properties thereby increasing its ductility and toughness. It was begun by heating the austenitic manganese steel to austenizing temperature (1000°C) and holding for 100 minutes. The solution treatment process is carried out by a hot rolling process with a temperature of 1100 °C. Quenching process is done using water cooler and ice water as media. Temperature variation selection aimed to find out the phase change in microstructure and its effect on mechanical properties. In solution treatment process with water cooling, austenitic manganese steel indicated a significant microstructure with little martensite and more dominant in austenite and ferrite microstructure. This phenomenon gave the hardness reduction effect which in turn indicated the increase of ductility and toughness on austenitic manganese steel with high tensile and elongation test result. Therefore, austenitic manganese steel which is the result of a solution treatment process with water cooling will have a better lifetime in its implementation in industrial world.

Keywords: *Austenitic Manganese Steel, Solution Treatment, Hot Rolling, Quenching, Mechanical Properties, Microstructure*.

1. PENDAHULUAN

Pada tahun 1882 Sri Robert Hadfield menemukan baja mangan austenitik. Berdasarkan standard ASTM A-128-64 baja mangan austenitik adalah baja yang mengandung paduan 1.0-1.4% karbon dan 10-14% mangan [1]. Kandungan karbon dan mangan yang tinggi membuat bahan ini mengandung fasa austenit yang sangat dominan pada suhu ruangan. Baja mangan austenitik memiliki karakteristik ketahanan aus, kekerasan tinggi, ketangguhan yang baik, ketahanan korosi, dll [2]. Dan banyak digunakan pada peralatan yang tahan terhadap beban benturan besar dan keausan tinggi seperti industri otomotif.

Baja mangan austenitik sering terjadi masalah saat di lapangan yaitu *lifetime defect* yang mempengaruhi kerusakan material baja mangan austenitik sebelum akhir masa pakainya. Di sisi lain, kualitas mekanik seperti kekerasan, keuletan, dan ketangguhan umumnya berkurang

Corresponding Author:
✉ ***Nadya Salsabila Frendyta***
Received on: 2022-07-28
Revised on: 2023-12-06
Accepted on: 2023-01-21

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1312
Copyright: © 2023 by the authors.

karena pembebanan terus menerus [3]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan suatu penelitian untuk merancang sifat mekanik dan struktur mikro baja mangan austenitik menggunakan variasi *solution treatment* dan *quenching* [4]. Secara umum baja mangan austenitik memiliki karbida $(FeMn)_3$ C pada batas butir yang rentan terhadap penggetasan [5]. Rekayasa sifat mekanik dan struktur mikro yang optimal dilakukan melalui proses *solution treatment* dengan pendinginan cepat agitasi. Pendinginan cepat agitasi mampu menghilangkan karbida pada batas butir [6].

Beberapa hasil penelitian rekayasa baja mangan austenitik telah dilakukan dalam beberapa tahun terakhir. Untuk Baja Mangan AISI 3401, penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa holding time memiliki pengaruh langsung pada karakteristik mekanik dan struktur mikro baja mangan austenitik. Variasi media pendingin untuk mencapai kecepatan pendinginan dan meningkatkan distribusi dan morfologi karbida pada baja mangan austenitik. Tingkatkan kecepatan pendinginan dengan menggunakan air, menghasilkan jumlah karbida yang lebih sedikit [7].

Dari hasil literatur penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa proses *solution treatment* dengan pendinginan cepat berpengaruh terhadap peningkatan sifat mekanik dan struktur mikro baja mangan austenitik. Oleh karena itu, rekayasa sifat mekanik dan stuktur mikro dengan solution treatment dan pendinginan cepat akan secara efektif mengurangi jumlah karbida pada batas butir, menghaluskan butir yang muncul, dan diharapkan dapat memberikan sifat baru yang nantinya akan memberikan fungsi yang lebih baik sekaligus bisa menjadi acuan industri untuk membuat produk-produk khususnya kerangka mobil yang terbuat dari baja mangan austenitik sehingga dapat lebih aman jika digunakan dalam waktu lama atau permanen [8].

2. METODE DAN BAHAN

2.1. Bahan dan Alat

Tabel 1 menunjukkan komposisi dari baja mangan austenitic [7]. Bahan-bahan yang digunakan sebagai berikut resin epoksi, katalis, kain beludru, amplas (80-120-150-220-400-600-800-1000-1200-1500-2000mesh), pasta alumina, dan larutan Nital 4% (4% HNO_3 + 96 persen C_2H_5OH).

Alat-alat yang digunakan sebagai berikut *Hyperthem Plasma Cutting Machine*, Tungku Konvensional, *Nabertherm Furnace* seri LH-15/14"/C440, Mesin *Rolling*, *Precision Cutting Machine* FTC-70MS, Mesin Gerinda, Mesin *Wirecut*, Mesin *Grinding-Grinder Ecomet* V *Polisher*, Mesin *Polishing-Retsch Metkon Gripo* 2V, Mesin *Polishing-Future Tech PreciPolish* FTP-2M, alat uji keras (*Hardness Brinell Test* AFFRI/206 RTD), alat uji Tarik (*Testing Machine* Tinius Olsen 300SL), Alat Mikroskop Optik (*Optical Microscope Olympus* BX 53M), *Scanning Electron Microscope* JEOL JSM 6390A [9].

Tabel 1. Komposisi baja mangan austenitik

Unsur	Komposisi (%)
C	1,15
Mn	13
Si	0,40
S	0,03
P	0,045
Fe	Bal.

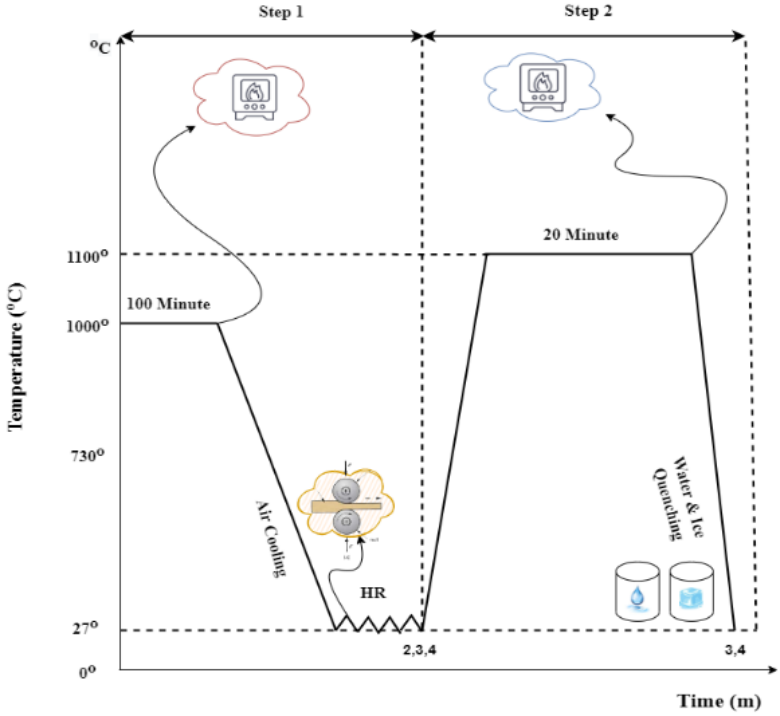
2.2. Preparasi Spesimen

Pelat baja mangan austenitik dipotong dengan menggunakan *Hyperthem Plasma Cutting Machine* dengan dimensi 20 cm x 16 cm x 0.55 cm seperti pada Gambar 1. Kemudian spesimen baja mangan *austenitik* divariasikan seperti pada Tabel 2.

Gambar 1. Spesimen baja mangan austenitik

2.3. Solution Treatment

Pelat baja mangan *austenitik* dipotong dengan menggunakan *Hyperthem Plasma Cutting Machine* dengan dimensi 20 cm x 16 cm x 0.55 cm seperti pada Gambar 1. Kemudian spesimen baja mangan austenitik divariasikan seperti pada Tabel 2. Proses *solution treatment* pada penelitian ini dilakukan pada 3 tahap yaitu tahap pertama homogenisasi spesimen dimasukkan dalam tungku dengan suhu 1000 °C selama 100 menit untuk mendapatkan fasa *full austenit*, dan kemudian dilakukan pengerolan panas (*hot rolling*) dengan presentase reduksi 28% dan didinginkan dengan pendinginan udara [10]. Kemudian tahap selanjutnya solution treatment menggunakan tungku *muffle Nabertherm* seri LH-15/14"/C440, spesimen dipanaskan dari suhu kamar hingga suhu 1100 °C dengan waktu penahanan 20 menit diikuti oleh media pendingin air dan air es dengan proses agitasi [9]. Berikut skema proses perlakuan panas (*solution treatment*) seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.

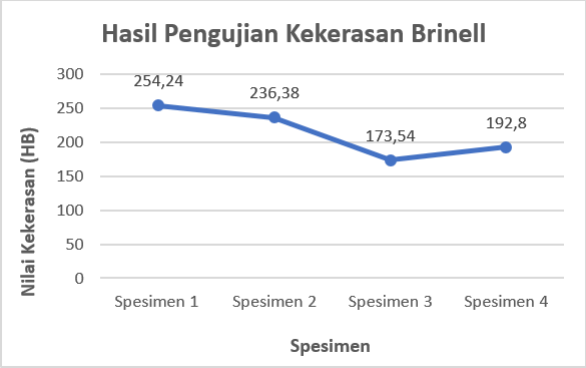


Gambar 2. Skema proses perlakuan panas

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Pengujian kekerasan

Uji kekerasan Brinell dilakukan dengan menggunakan mesin *Brinell* AFFRI/206 RTD. *Indentor* bola baja dengan diameter 2,5 mm dan berat 187,5 kg digunakan untuk uji kekerasan *Brinell*. Setiap spesimen diuji lima kali dan rata-ratanya dihitung [9].

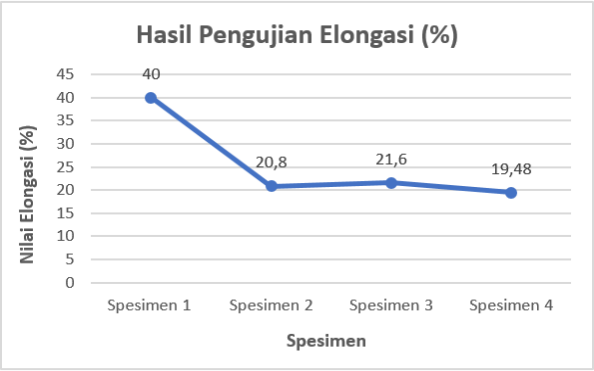


Gambar 3. Nilai kekerasan hasil pengujian *brinell* (HB)

Mesin Uji *Tinius Olsen* 300SL digunakan untuk melakukan uji tarik ini sebanyak enam spesimen yang identik dengan dimensi dan beban yang sama. Spesimen tanpa perlakuan (*raw material*) dan spesimen homogenisasi dan dua spesimen *single solution treatment* dengan pendinginan cepat air dan air es. Berdasarkan gambar 4 dapat diketahui pada spesimen dengan pendinginan air *solution treatment* memiliki kekuatan tarik yaitu 430 MPa, sedangkan pada spesimen dengan pendinginan air es *solution treatment* memiliki kekuatan tarik yaitu 486 MPa. Hal ini menunjukan bahwa baja mangan *austenitik* dengan proses *solution treatment* dengan pendinginan cepat air dan es mengalami masing-masing tegangan maksimum yang bisa ditahan oleh sebuah benda ketika direnggangkan atau ditarik.

3.2. Pengujian elongasi

Nilai elongasi adalah pertambahan panjang spesimen dikurang panjang mula-mula kemudian dibagi dengan panjang mula-mula spesimen dan dalam bentuk persen [14]. Hasil nilai elongasi disajikan pada Gambar 5.



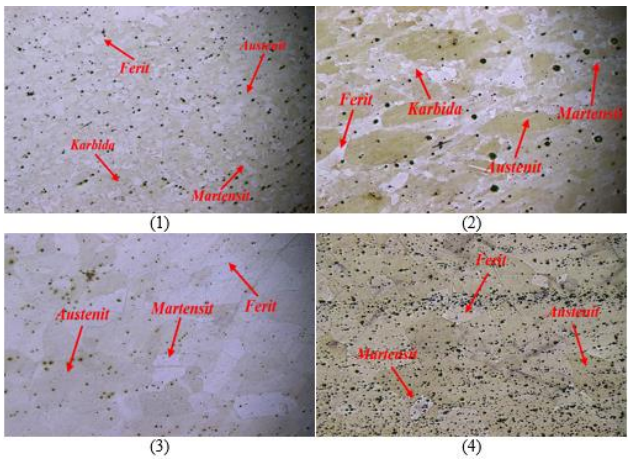
Gambar 5. Hasil uji elongasi

Pada Gambar 5. menunjukkan bahwa elongasi berbeda untuk setiap perlakuan. Semakin tinggi kekuatan tarik, semakin besar perpanjangan putus. Perpanjangan adalah pertambahan panjang karena tegangan yang diberikan oleh bahan baja mangan asli. Perpanjangan putus

didefinisikan sebagai persentase panjang maksimum terhadap panjang aslinya. Panjang maksimum diperoleh pada saat bahan tidak mampu lagi menambah panjangnya, yaitu pada saat bahan mengalami deformasi plastis, yaitu regangan atau elastisitas, dan putus. Tegangan tarik terkonsentrasi di tengah spesimen, sehingga terjadi fraktur [15]. Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa pengerolan panas dengan proses solution treatment dengan pendinginan cepat air memiliki nilai elongasi tertinggi dibandingkan dengan proses solution treatment pendinginan cepat air es, hal ini menyebabkan material baja mangan *austenitik* mengalami peningkatan elongasi. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kemampuan bahan untuk memanjang dan bersifat ulet pada proses pengerolan panas terjadi ketika spesimen diberikan *solution treatment* dengan pendinginan cepat air [16].

3.3. Pengamatan metalografi

Spesimen metalografi disiapkan dengan proses mounting kemudian diamplas hingga halus dengan amplas (80- 100-120-150-220-400-600-800-1000-1200-1500-2000mesh). Untuk menghilangkan goresan setelah pengamplasan, poles dengan pasta alumina 3 µm sampai terlihat mengkilat. Selanjutnya dilakukan proses etsa dengan merendam masing-masing spesimen dalam larutan etsa dengan larutan *etanol* asam nitrat 4% Nital 4% (4% HNO_3 + 96% C_2 H_5 OH) selama 4-5 detik. Spesimen yang tergores dibersihkan dengan larutan *etanol* dan dikeringkan dengan pengering rambut. Setelah itu, struktur mikro spesimen baja mangan *austenitik* dapat diamati menggunakan mikroskop optik *Olympus*. Amati dengan mikroskop pada perbesaran 10 kali [9]. Hasil pengamatan metalografi disajikan pada Gambar



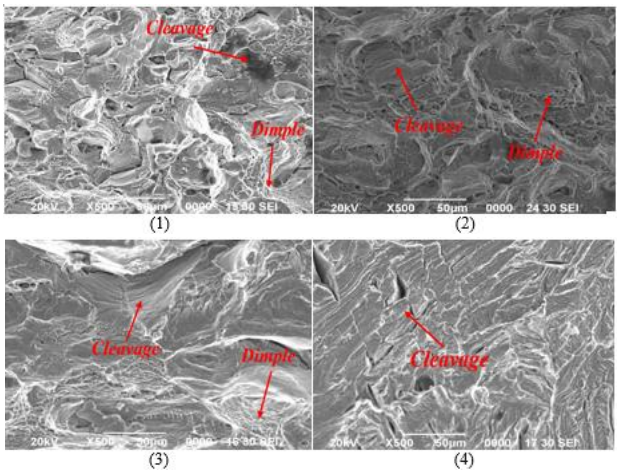
6.

Gambar 6. (1) *Raw material*, (2) *homogenisasi non quenching*, (3) *single solution treatment* air, (4) *single solution treatment* air es

Pada spesimen 1 dan 2, dengan adanya karbida $(FeMn)_3$ C pada batas butir, terbentuk fasa *martensit*, *austenit* dan *ferit*, sehingga mudah menyebabkan kerapuhan [9]. Pada Spesimen 2, fase *martensit* yang dominan terbentuk karena keterlambatan transformasi elemen karbon untuk membentuk struktur kristal BCT [17]. Oleh karena itu martensit bersifat keras, kuat dan getas. Sedangkan pada spesimen setelah proses *solution treatment* terbentuk fasa *martensit*, *austenite* dan *ferit* dengan fasa austenit yang dominan. Pada saat yang sama, spesimen 3 dan 4 berhasil melarutkan karbida pada batas butir. Hal ini membuktikan bahwa proses pendinginan cepat dengan agitasi dapat menghindari pembentukan karbida pada batas butir [18].

3.4. Pengamatan patahan (fraktografi)

Pengamatan patahan dilakukan menggunakan alat SEM JEOL JSM 6390A untuk mengetahui morfologi pola patahan dari baja mangan austenitik secara lebih detail. Faktografi SEM (*scanning electron microscope*) dilakukan dengan kemungkinan 500 kali pembesaran [9]. Hasil pengamatan patahan disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. (1) *Raw material*, (2) *homogenisasi non quenching*, (3) *single solution treatment* air, (4) *single solution treatment* air es.

Pada gambar 1 terlihat cukup banyak dimple dan *cleavage*, yang menandakan bahwa patahan yang terjadi adalah patahan getas. Pada gambar 2 mulai terlihat adanya *cleavage* yang menandakan bahwa patahan yang terjadi adalah patahan getas [19]. Pada gambar 3 dengan pendinginan air didominasi oleh *dimple* yang merupakan ciri patahan ulet (*ductile fracture*) [20]. Pada gambar 4 dengan pendinginan air es ditemukan cukup banyak *cleavage* yang merupakan ciri patahan getas. Patah ulet yang terlihat pada struktur mikro menunjukkan ketangguhan patah yang baik, sedangkan patah getas yang terlihat pada struktur mikro menunjukkan ketangguhan patah yang lebih rendah [21].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu:

1. Berdasarkan hasil sifat mekanik yang telah dilakukan sebelum di *hot rolling* nilai kekerasannya 254.24 HB, nilai kekuatan tariknya 877 MPa, dan nilai elongasi 40% sedangkan setelah di *hot rolling* sifat mekanik yang paling optimum yaitu dengan variasi *single solution treatment* dengan pendinginan air nilai kekerasannya 173.54 HB, nilai kekuatan tariknya 430 MPa, dan nilai elongasinya sebesar 21.6%.
2. Berdasarkan hasil pengamatan struktur mikro, fasa *full austenit* dengan karbida $(FeMn)_3$ C pada batas butir dihasilkan oleh topografi permukaan sebelum pengerolan panas, dan ini cenderung memicu penggetasan. Hasil fraktografi menunjukkan struktur patah getas (*brittle fracture*) dengan cleavage mendominasi dan sedikit struktur *dimple*. Sedangkan, setelah hot rolling struktur mikro yang paling optimum yaitu dengan variasi *solution treatment* dengan pendinginan air, pengamatan topografi permukaan menghasilkan fasa *austenite, ferit* dan *martensit* dengan larutnya karbida $(FeMn)_3$ C pada batas butir, hasil fraktografi menunjukkan patahan ulet (*ductile fracture*) yang didominasi oleh struktur dimple.

PERNYATAAN TERIMAKASIH

Terima kasih khusus ditujukan kepada Pusat Riset Metalurgi-BRIN, serta para peneliti di Pusat Riset Metalurgi-BRIN yang telah berkontribusi dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. K. SRIVASTAVA AND K. DAS., "*Microstructural characterization of Hadfield austenitic manganese steel*," J. Mater. Sci., v. 43, n. 16, pp. 5654–5658, 2008, doi: 10.1007/s10853-008-2759-y.

[2] MINHA PARK,, MOON SEOK KANG, GEON-WOO PARK, EUN YOUNG CHOI, HYOUNG-CHAN KIM, HYOUNG-SEOK MOON, JONG BAE JEON, HYUNMYUNG KIM, SE-HUN KWON AND BYUNG JUN KIM., "*The Effects of Recrystallization on Strength and Impact Toughness of Cold-Worked High-Mn Austenitic Steels*," Metals (Basel)., v. 9, pp. 1–14, 2019.

[3] I. AZMY AND A. D. SARAGIH., "Pengaruh Variasi *Hold Time* pada Proses Annealing Terhadap Sifat Mekanik Pengaruh Variasi Hold Time pada Proses Annealing Terhadap Sifat Mekanik dan Mikrostruktur Baja Mangan *Austenitik The Effect of Hold Time Variation in the Annealing Process To Mechanic*," J. Tek. Mesin, v. 10, n. 2, pp. 97–101, 2020, doi: 10.21063/JTM.2020.v10.i2.97-101.

[4] I. AZMY, M. ADI, K. UMAM, AND R. MULIAWAN., "Studi pengaruh proses tempering terhadap struktur mikro dan kekerasan *post-annealing* baja mangan *austenitik Study of tempering process effect on microstructure and hardness post-annealing manganese austenitic steel*", Jurnal Polimesin, v. 19, n.2 pp. 169–175, 2021.

[5] E. HIDAYAT AND B. BANDANADJAJA., "Peningkatan Nilai Impak Baja *Hadfield* Mn 12 Melalui Proses Perlakuan Panas Homogenisasi Bertahap", J. Energi dan Teknol. Manufaktur, v. 1, n. 02, pp. 09–14, 2018, doi: 10.33795/jetm.v1i02.20.

[6] S. PRATOMO, H. TAUFIQ, AND W. JAMAN., "Penelitian Dan Pengembangan *Material Jaw Plate* Yang Terbuat Dari Baja Mangan Untuk Subsitusi Impor", Indones. J. Ind. Res., v. 10, n. 2, pp. 98–106, 2016.

[7] F. M. RIDLO, P. A. PARISTIAWAN, AND M. A. PRASETYO., "Pengaruh Variasi Holding Time dan Media Pendingin pada Proses *Solution Treatment* terhadap Kekerasan dan Ketangguhan Paduan Baja Fe12Mn1,5Mo", Met. Indones., v. 42, n. 2, p. 77, 2020, doi: 10.32423/jmi.2020.v42.77-85.

[8] B. HANCE., "*Advanced High-Strength Steel (AHSS) Performance Level Definitions and Targets*", SAE Int. J. Mater. Manuf., v. 11, n. 4, pp. 505–516, 2018, doi: 10.4271/2018-01-0629.

[9] P. A. PARISTIAWAN, P. DAN, V. HOLDING, P. B. M. FE-, AND S. A. CHANDRA., "Pengaruh Variasi Media Pendingin Dan Variasi *Holding Time* Pada Proses Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Pada Baja Mangan Fe-10.5Mn_1.3Mo-2.5Ni", J. Rekayasa Mesin, v. 12, n. 3, pp. 573–580, 2021.

[10] A. W. P. PARISTIAWAN, PERMANA ANDI, V. PUSPASARI., "Pengaruh Variasi Persentase Reduksi Pada Proses Pengerolan Panas Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja *Laterit*", J. Rekayasa Mesin, v. 11, n. 2, pp. 297–305, 2020.

[11] C. OKECHUKWU, O. A. DAHUNSI, P. K. OKE, I. O. OLADELE, AND M. DAUDA., "*Prominence of Hadfield Steel in Mining and Minerals Industries: A*

Review," Int. J. Eng. Technol. IJET, v. 3, n. 2, pp. 83–90, 2017, doi: 10.19072/ijet.299068.

[12] U. GÜROL AND S. C. KURNAZ., "*Effect of carbon and manganese content on the microstructure and mechanical properties of high manganese austenitic steel*", J. Min. Metall. Sect. B Metall., v. 56, n. 2, pp. 171–182, 2020, doi: 10.2298/JMMB191111009G.

[13] E. PUJIYULIANTO, S. BIMO PRATOMO, F., "Pengaruh Karbon Terhadap Perubahan Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Baja Mangan *Austenitik the Effect of Carbon on Microstructure and Mechanical Properties of Austenitic Manganese Steels*", Met. Indones. J. homepage, v. 40, n. 1, 2018, [Online]. Available: http://www.jurnalmetal.or.id/index.php/jmi.

[14] H. Y. VICKY BHASKARA SARDI, SARJITO JOKOSISWORO., "Pengaruh Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (*Holding Time*) Baja St 46 Terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, Dan Uji Mikrografi", J. Tek. Perkapalan, v. 6, n. 1, pp. 142–149, 2018.

[15] Z. Z. ZHAO, J. H. LIANG, A. M. ZHAO, J. T. LIANG, D. TANG, AND Y. P. GAO., "*Effects of the austenitizing temperature on the mechanical properties of cold-rolled medium-Mn steel system*", J. Alloys Compd., v. 691, pp. 51–59, 2017, doi: 10.1016/j.jallcom.2016.08.093.

[16] P. A. PARISTIAWAN, V. PUSPASARI, A. W. PRAMONO, AND B. ADJIANTORO., "Pengaruh Variasi Persentase Reduksi pada Proses Pengerolan Panas terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Laterit", J. Rekayasa Mesin, v. 11, n. 2, pp. 297–305, 2020, doi: 10.21776/ub.jrm.2020.011.02.16.

[17] C. LIU AND Q. PENG., "*Effect of Different Heat Treatment Processes on Microstructure Evolution and Tensile Properties of Hot-Rolled Medium-Mn Steel*", Trans. Indian Inst. Met., v. 73, n. 9, pp. 2221–2229, 2020, doi: 10.1007/s12666-020-01986-w.

[18] S. LEE AND B. C. DE COOMAN., "*On the selection of the optimal intercritical annealing temperature for medium Mn TRIP steel*," Metall. Mater. Trans. A Phys. Metall. Mater. Sci., v. 44, n. 11, pp. 5018–5024, 2013, doi: 10.1007/s11661-013-1860-2.

[19] J. L. GONZÁLEZ-VELÁZQUEZ., "*Fractography and Failure Analysis*", vol. 3. Mexico City: Springer International Publishing AG, 2018.

[20] X. ZHAO, Y. SHEN, L. QIU, Y. LIU, X. SUN, AND L. ZUO., "*Effects of intercritical annealing temperature on mechanical properties of Fe-7.9Mn-0.14Si-0.05Al-0.07C steel*", Materials (Basel)., v. 7, n. 12, pp. 7891–7906, 2014, doi: 10.3390/ma7127891.

[21] A. AMIN., "Pengaruh Variasi Temperatur Interpass Terhadap Struktur Mikro dan Fraktografi Haz Hasil Pengelasan GMAW Metode Temper *Bead Welding* Pada Baja Karbon Sedang", J. Tek. Mesin UNISKA, v. 2, n. 1, pp. 7–8, 2016.