

Modus Pelunakan dan Pengerasan HAZ pada Manual GMAW Welded Joint

Yurianto^{a,b,*}, Pratikto^b, Rudy Soenoko^b, Wahyono Suprpto^b

^aDepartemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto SH, Semarang, Jawa Tengah, Indonesia, 50275

^bJurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya

Jl. Mayjend Haryono 167, Malang, Jawa Timur, Indonesia, 65145

*E-mail: yurianto@undip.ac.id

Abstract

Manual welding of gas metal arc welding widely used in traditional manufacturing industries. The end of the welding process produces the desired welding product. In steel of the same thickness and type, and the same welding method but different operators produce different weld strengths. The uniformity of welding products between one and another operator obtain by welding procedure specification. However, this procedure does not guarantee the strength of the connection even though the operator is different. Welding parameters will affect the dimensions of the area affected by heat. Welding parameters will affect the dimensions of the area affected by heat. The wider the heat of the heat area will reduce the strength of the welded joint. The statement of the problem in this study is "how to reduce the dimensions of heat-affected areas affected by the weld metal freezing process." State of the art from this study is an analysis of softening of heat-affected areas involving freezing of weld metal. The purpose of this study was to find the cause of softening in the heat affected area of the manual gas metal welding. The results of the study were standard hardness and heat-treated welded joints. The results of the study were standard hardness and heat-treated welded joints. The heat treatment parameter to obtain the highest hardness of HAZ.

Keyword: carbon, crack, current, heat, conduction

Abstrak

Las manual gas metal arc welding banyak digunakan dalam industri manufaktur konvensional. Akhir proses pengelasan menghasilkan produk las yang diinginkan. Pada baja dengan tebal dan jenis yang sama, dan metode pengelasan yang sama tetapi operator berbeda menghasilkan kekuatan las yang berbeda. Keseragaman produk las antara satu dan operator lain dapat diperoleh dengan *welding procedure specification*. Namun prosedur ini tidak menjamin kekuatan sambungan sama meskipun operator berbeda. Kekuatan daerah terpengaruh panas tergantung pada parameter las yang digunakan seperti diameter elektroda; arus listrik; tegangan listrik, kecepatan pengelasan; logam tebal dan panas masuk. Selain itu, perlu dipertimbangkan unsur kimia baja yang dilas. Parameter pengelasan akan mempengaruhi dimensi daerah terpengaruh panas. Semakin lebar daerah terpengaruh panas akan menurunkan kekuatan sambungan las. Pernyataan masalah dalam penelitian ini adalah "bagaimana menurunkan dimensi daerah terpengaruh panas yang dipengaruhi oleh proses pembekuan logam las." State of the art dari penelitian ini adalah analisis pelunakan daerah terpengaruh panas dengan melibatkan pembekuan logam las. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari penyebab terjadinya pelunakan dalam daerah terpengaruh panas sambungan las gas metal arc welding manual. Hasil penelitian adalah kekerasan standard dan *heat treated welded joint*. Parameter perlakuan panas untuk mendapatkan kekerasan HAZ tertinggi.

Kata kunci: carbon, retak, arus, panas, konduksi

1. Pendahuluan

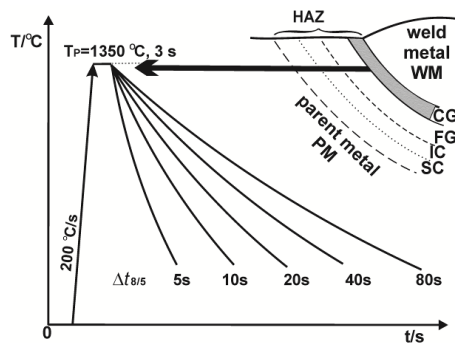
Pengelasan manual menggunakan *gas metal arc welding* – GMAW banyak digunakan didalam industri manufaktur konvensional. Adapun akhir dari proses pengelasan ini menghasilkan produk las sesuai dengan yang diinginkan. Pada pengelasan baja dengan tipe, metode dan tebal baja yang dilas dengan pengelasan yang sama menghasilkan kekuatan las yang berbeda dengan operator las berbeda. Keseragaman produk las antara satu dan operator lain dapat diperoleh dengan *welding procedure specification* – WPS, namun umumnya parameter yang dicantumkan dengan rentang nilai. WPS pun tidak menjamin kekuatan sambungan sama meskipun operator berbeda, hal ini disebabkan penggunaan parameter las tidak secara eksplisit. Kekuatan daerah terpengaruh panas (*heat-affected zones* - HAZ) tergantung pada parameter las yang digunakan seperti diameter elektroda; arus listrik; tegangan listrik, kecepatan pengelasan; logam tebal dan panas masuk. Selain parameter las perlu dipertimbangkan juga unsur kimia baja yang dilas, unsur kimia yang tidak sesuai dengan panas busur akan memicu keretakan panas. Parameter pengelasan akan mempengaruhi dimensi HAZ, semakin lebar akan

menurunkan kekuatan sambungan las.

Pengelasan baja kekuatan dan kekerasan tinggi seperti *Quenched and Tempered Steel – Q&T Steel* sering menemui masalah, salah satunya adalah heterogenitas struktur mikro berupa pelunakan pada HAZ. Pernyataan masalah dalam penelitian ini adalah "bagaimana menurunkan dimensi daerah terpengaruh panas yang dipengaruhi oleh proses pembekuan logam las." *State of the art* dari penelitian ini adalah analisis pelunakan daerah terpengaruh panas dengan melibatkan pembekuan logam las.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari penyebab terjadinya pelunakan dalam daerah terpengaruh panas sambungan las gas metal arc welding manual. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan: 1) Menginterpretasikan struktur mikro dan kekerasan sambungan las. 2) Menginterpretasikan dimensi daerah terpengaruh panas oleh parameter las. 3) Menginterpretasikan tegangan sisa yang timbul pada sambungan las.

Bahan habis pakai dan proses pengelasan adalah dua faktor utama yang mempengaruhi struktur mikro sambungan las *Q&T Steel*; heterogenitas struktur mikro mempengaruhi kinerja balistik sambungan las [1]. Lebar HAZ meningkat dengan meningkatnya panas masuk, tetapi sudut kontak menurun [2]. Sementara HAZ sendiri terdiri dari *coarse grain HAZ - CGHAZ*, *fine grain HAZ - FGHAZ* dan *intercritical HAZ - ICHAZ*. CGHAZ menunjukkan sedikit peningkatan kekerasan dan mode campuran/patahan microvoid perpaduan, tetapi ketangguhannya sebanding dengan logam dasar [3] dan shown in Figure 1 [4]. CGHAZ menunjukkan kekerasan sedikit naik dan modulus campuran aduk/modus patahan campuran microvoid, tetapi ketangguhan sebanding dengan logam dasar [3].



Gambar 1. Siklus pendinginan dengan perbedaan waktu $t_{8/5}$

CGHAZ dekat dengan garis fusi, daerah ini mencapai temperatur maksimum yang memberikan peleburan karbida logam dasar dan pertumbuhan butir [5]. Sementara *impact* dan ketangguhan patah meningkat signifikan dengan naiknya *temperature quenching* [6]. Kombinasi optimal ukuran butir austenit dan karbida halus meningkatkan penyerapan energi, dan ukuran butir austenit halus sebelumnya diperoleh pada suhu rendah austenit, dan endapan karbida halus pada suhu temper rendah [7]. Energi yang diserap tergantung pada persentase carbon sampai batas tertentu; baja dengan kandungan carbon lebih rendah memiliki energi yang diserap tertinggi [8]. Takik menyebabkan lebih banyak kerusakan pada spesimen yang dilas, dan tidak ada peningkatan pada Luders band pada lasan selama produksi [9]. Penggunaan elektroda akan berpengaruh pada heat input, elektroda berdiameter lebih besar akan meningkatkan lebar *weld pool* yang secara langsung meningkatkan lebar HAZ seperti ditunjukkan pada persamaan konduksi berikut [10] dan [11].

$$y = \left(\frac{1}{T_p - T_0} - \frac{1}{T_m - T_0} \right) \times \left(\frac{H_{net}}{(2\pi e)^{0.5} \times \rho \times C \times t} \right) \tag{1}$$

$$H_{net} = \frac{60 \times E \times I}{1000 \times S} \tag{2}$$

Dalam hal ini: y adalah lebar HAZ. T_p = Temperatur puncak las. T_0 = temperatur awal plat yang dilas. T_m = temperatur leleh. H_{net} = Panas bersih. E = *voltage*. I = arus. ρ = kerapatan plat. C = kapasitas panas plat. T = tebal plat.

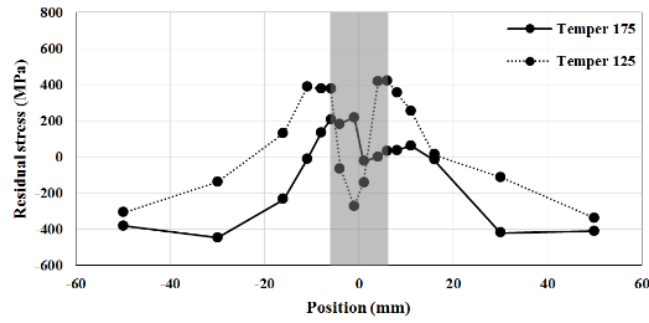
Tegangan sisa terjadi akibat pembekuan selesai pengelasan, akhir pembekuan menyebabkan perapatan struktur mikro yang menyebabkan *compression residual stress* seperti ditunjukkan pada Gambar 2 - 4 [12].

2. Material dan metode penelitian

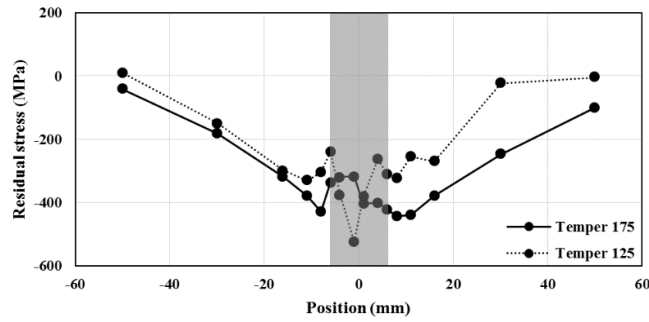
Material yang digunakan adalah sambungan las *KSW 500 Steel* hasil pengelasan *Manual Gas Metal Arc Welding – MGAW*. Adapun WPS yang digunakan seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

3. Hasil dan Pembahasan

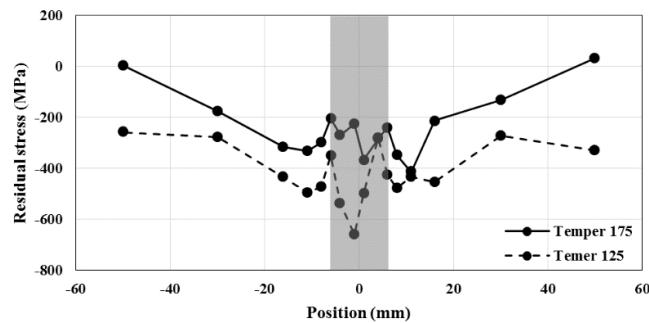
Hasil pengujian meliputi: uji kekerasan pada *KSW 500 Steel* ditunjukkan pada Gambar 5. Pengamatan struktur mikro pada *KSW 500 Steel* ditunjukkan pada Gambar 6 – 10.



Gambar 2. Tegangan sisa Axial



Gambar 3. Tegangan sisa normal



Gambar 4. Tegangan sisa transversal

Tabel 1. Spesifikasi prosedur pengelasan

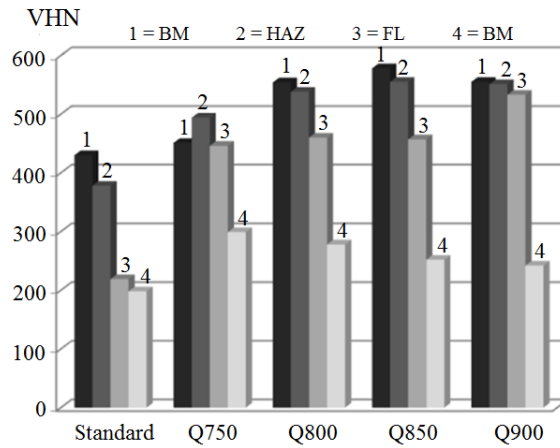
Base metal	KSW500 to KSW500	Filler metal	AWS E71-T1 Wire diameter 1.2
Thick	10 - 10		SFA A5.20
Welding	GMAW	Electric	Polarity DC+ Gas shielded CO ₂ Amperage (145-175) A Voltage (22-23) A
Technique	String	Position	Position 1 G
PH	150 °C		
Interpass	(130 – 150) °C		
PWHT	150 °C		
Speed	Speed: 4.5-5.0 (mm/sec)		

a. Kekerasan Standard KSW 500 Steel welded joint

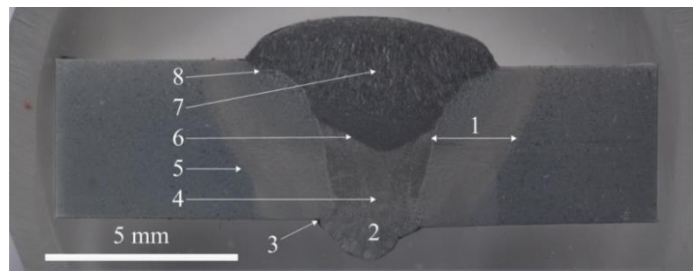
Sambungan las dari Standard KSW 500 Steel welded joint (sebelum dan sesudah mengalami water quenching heat treatment) ditunjukkan pada Gambar 5. Distribusi kekerasan adalah: base metal - BM (430 VHN), HAZ (378 VHN), fusion line - FL (219 VHN) dan weld metal - WM (190 VHN). WM memiliki kekerasan terendah karena adanya penggetasan dilokasi di weld center line.

b. Kekerasan Heat Treated KSW 500 Steel welded joint

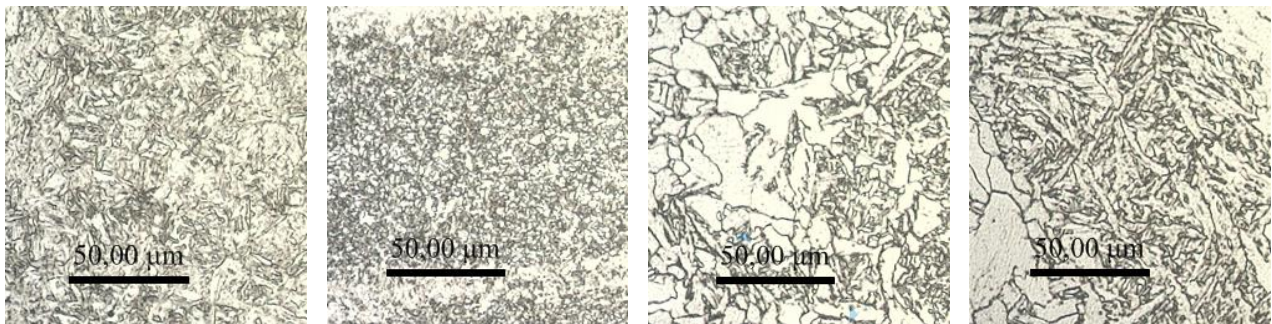
Pada quench 750°C, kekerasan HAZ (494.25 VHN) lebih tinggi dibanding BM (451 VHN), FL (446 VHN) dan WM (229 VHN). Pada quench 800°C, BM memiliki kekerasan paling tinggi (554 VHN) dibanding HAZ (538 VHN), FL (460 VHN) dan WM (278 VHN). Pada quench 850°C, BM memiliki kekerasan paling tinggi (578 VHN) dibanding, HAZ (555 VHN), FL (456.50 VHN) dan WM (252 VHN). Pada quench 900°C, BM memiliki kekerasan paling tinggi (555 VHN) dibanding HAZ (551 VHN), FL (533 VHN) dan WM (242 VHN).



Gambar 5. Kekerasan pada sambungan las



(a) Struktur makro sambungan las



(b) BM (430 VHN)

(c) HAZ (378 VHN)

(d) FL (219 VHN)

(e) WM (190 VHN)

Gambar 6. Struktur mikro sambungan las KSW 500 standard. Etched 3% HNO₃

e. Struktur mikro sambungan las KSW 500 standard. Etched 3% HNO₃

Gambar 6(a) menunjukkan struktur makro yaitu 1 HAZ; 2 Akar; 3 retak; 4 batas antara akar – lapisan pertama; 5 batas antara BM dan HAZ; 6 batas antara lapis pertama dan kedua; 7 WM dan 8 keropos antara HAZ - WM. Perbedaan intensitas gambar menunjukkan ukuran struktur mikro masing-masing daerah tidak sama (ukuran butiran yang berbeda).

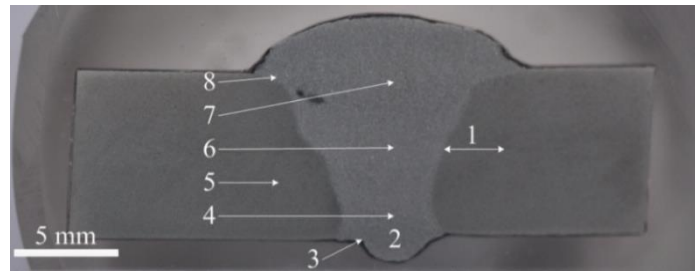
Gambar 6(b) didominasi struktur martensite. Gambar 6(c) menunjukkan ukuran struktur mikro HAZ lebih halus dibanding BM, FL dan WM (strukturnya kasar dan berpola Witmannstaeten) daerah sambungan las yang strukturnya berbeda sangat rentan terhadap retak (terutama pada interface). Gambar 6(d) menunjukkan ukuran struktur mikro yang kasar percampuran dengan sedikit WM. Gambar 6(e) menunjukkan pola struktur kasar yang bersifat rapuh.

f. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 750°C. Etched 3% HNO₃

Gambar 7(a) (sama seperti Gambar 7). Batas antara pass pertama dan kedua tidak kelihatan, demikian juga dengan batas HAZ dan BM. Batas antara BM dan WM masih kelihatan (namun dalam gambar nampak blur, artinya terjadi penghalusan butiran). Terjadi perapatan retak antara HAZ-WM. Gambar 7(b-e) menunjukkan struktur mikro masing-masing daerah memiliki texture yang berbeda. Karena re-austenitisasi terjadi transformasi austenite ke martensite, dan texture dan ukuran BM dan HAZ berbeda. Ukuran struktur mikro WM lebih besar dari BM, HAZ dan FL. Struktur Witmanstatten dalam HAZ terbentuk akibat pertumbuhan butir fasa baru dalam batas butir BM, secara umum meningkatkan kekerasan dan kegetasan logam. Terjadi peningkatan kekerasan HAZ dibanding BM, FL dan WM.

g. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 800°C. Etched 3% HNO₃

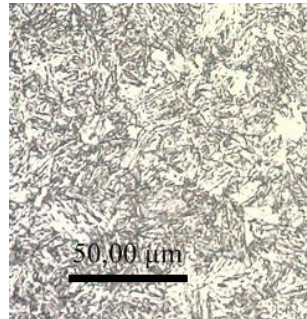
Gambar 8(a) (sama seperti Gambar 7). Secara makro batas antara WM dan HAZ, keretakan (3) dan pengeroposan (8)



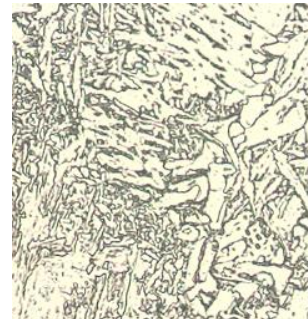
(a) Struktur makro sambungan las



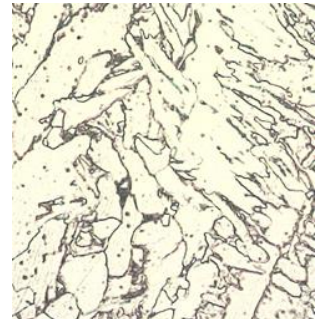
(b) BM (451 VHN)



(c) HAZ (494.25 VHN)

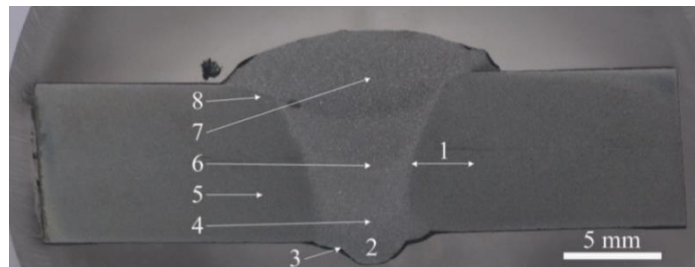


(d) FL (446 VHN)

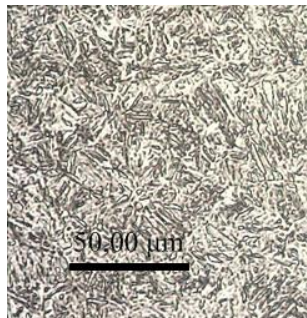


(e) WM (299 VHN)

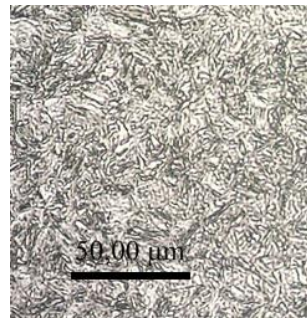
Gambar 7. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 750°C. Etched 3% HNO₃



(a) Struktur makro sambungan las.



(b) BM (554 VHN)



(c) HAZ (538 VHN)



(d) FL (460 VHN)



(e) WM (278 VHN)

Gambar 8. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 800°C. Etched 3% HNO₃

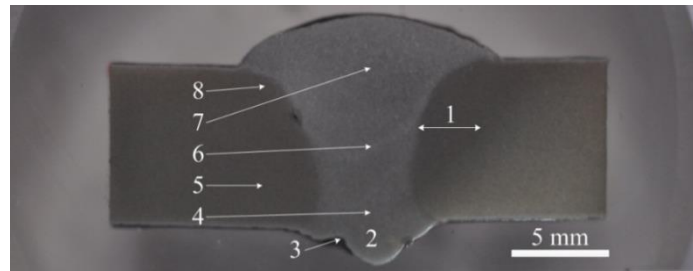
tidak kelihatan. Artinya setelah *quench* 800°C struktur menjadi lebih halus.

Gambar 8(b), struktur didominasi oleh martensite. Struktur mikro HAZ lebih halus dibanding BM. FL (Gambar 8d) merupakan perbatasan antara HAZ dan WM, sementara struktur keduanya berbeda. Pada Gambar 8(e) menunjukkan WM dengan struktur *witmansttaten*, dan ukuran struktur mikronya lebih kasar dibanding HAZ. Adanya perbedaan ukuran butiran menunjukkan sifat mekanis (terutama kekerasan) yang berbeda, perbedaan ini memacu keretakan antar muka HAZ dan WM. Gambar 8(b-e) menunjukkan struktur mikro masing-masing daerah memiliki *texture* yang berbeda.

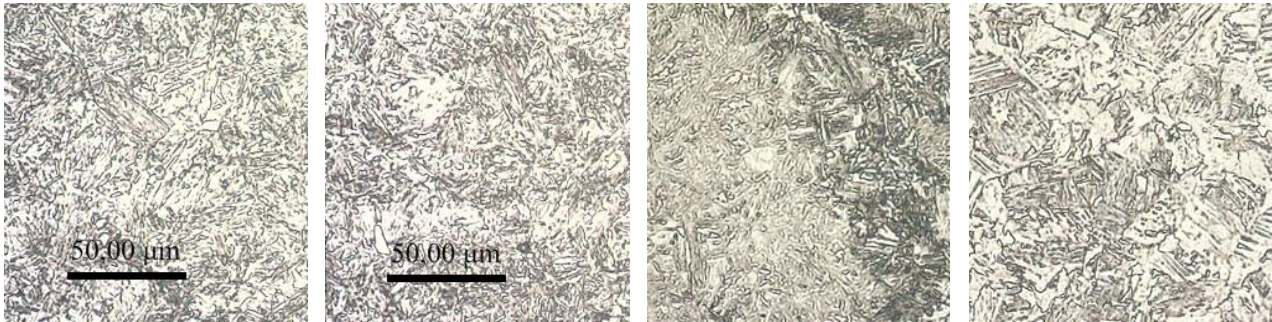
h. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 850°C. Etched 3% HNO₃.

Gambar 9(a) (sama seperti Gambar 7). Secara makro batas antara WM dan HAZ, keretakan (3) dan pengeroposan (8) tidak kelihatan. Artinya setelah *quench* 850°C struktur menjadi lebih halus dibanding sebelumnya.

Gambar 9(b), struktur didominasi oleh martensite. Struktur mikro HAZ hampir sama dengan BM. FL (Gambar 9(d)) merupakan perbatasan antara HAZ dan WM, sementara struktur keduanya berbeda. Gambar 9(e) menunjukkan WM dengan

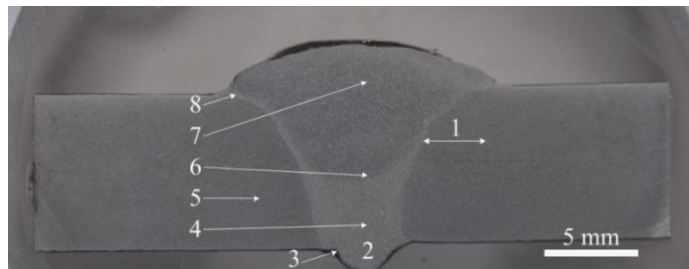


(a) Struktur makro sambungan las.

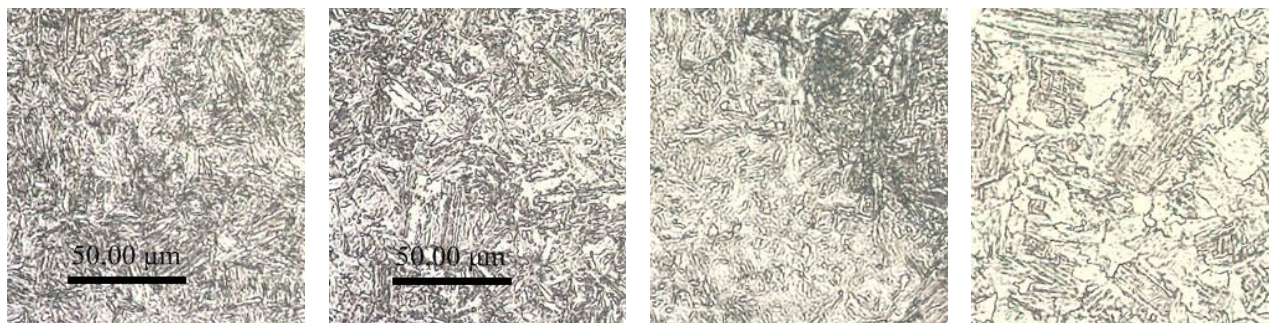


(b) BM (578 VHN) (c) HAZ (555 VHN) (d) FL (456,50 VHN) (e) WM (252 VHN)

Figure 9. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 850°C. Etched 3% HNO₃.



(a) Struktur makro sambungan las.



BM (555 VHN) HAZ (551 VHN) FL (533 VHN) WM (242 VHN)

Figure 10. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 900°C. Etched 3% HNO₃.

struktur witmansttaten, dan ukuran struktur mikronya lebih kasar dari BM dan HAZ. Pada *quench* 850°C kelihatan bahwa secara keseluruhan daerah menjadi lebih halus.

i. Struktur mikro sambungan las KSW 500 setelah Water Quenched 900°C. Etched 3% HNO₃.

Gambar 10(a) (sama seperti Gambar 7). Secara makro batas antara WM dan HAZ, keretakan (3) dan pengeroposan (8) tidak kelihatan. Artinya setelah *quench* 850°C struktur menjadi lebih halus *dibanding* sebelumnya.

Gambar 10b, struktur didominasi oleh martensite. Struktur mikro HAZ sama dengan BM. FL (Gambar 10(d)) merupakan perbatasan antara HAZ dan WM, dan struktur keduanya berbeda. Gambar 10e menunjukkan WM dengan struktur witmansttaten, dan ukuran struktur mikronya lebih kasar dari BM dan HAZ. Pada *quench* 900°C kelihatan bahwa secara keseluruhan daerah menjadi lebih halus dan sedikit lebih kasar *dibanding quench* 850°C.

j. Pengaruh parameter las dan tegangan sisa pada logam las

Hasil las dipengaruhi oleh parameter las yang digunakan untuk mendukung adanya fusi antara elektroda dan *BM*, hasil las yang paling penting adalah sifat mekanis. Penggunaan panas masuk terlalu tinggi akan memperluas *weld pool* yang mengakibatkan intensitas panas naik, peningkatan ini akan mempengaruhi sebagian *BM* yang tidak leleh yang menyebabkan perubahan fasa. Jika hal ini terjadi demikian maka semakin besar intensitas panas *weld pool* (*weld pool* semakin besar) maka konduksi panas ke *BM* semakin bertambah yang mengakibatkan lebar *HAZ* semakin besar. Sementara heat input dipengaruhi oleh arus yang digunakan. Travel speed semakin turun akan mengakibatkan panas lebih banyak berpindah yang mengakibatkan *weld pool* membesar.

Proses pembekuan akhir pengelasan akan membangkitkan tegangan kompresi di pusat las, hal ini akan memperlebar daerah terpengaruh panas. Sebagai akibatnya selesai pembekuan akan menghasilkan daerah antar muka tarik akibat pembekuan sementara disilain *BM* tertahan oleh *fixture* ataupun *BM* yang dingin.

4. Kesimpulan

Hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan bahwa parameter perlakuan panas *quenching* yang menghasilkan kekerasan tertinggi *HAZ* pada temperatur *austenite* 850°C dengan *holding* 30 menit, dan didinginkan cepat (*quench*) menggunakan media pendingin air. Struktur mikro didominasi martensit karena adanya austenitisasi yang bertransformasi ke martensite cukup banyak, dan kekerasan *HAZ* tertinggi adalah pada *quench* 850°C yaitu 555 VHN = 522 BHN. Penggunaan panas masuk lebih besar akan meningkatkan pelunakan pada daerah terpengaruh panas, dan memperluas *weld pool*. Tegangan sisa yang timbul pada akhir proses pengelasan akan meningkatkan kekerasan logam las karena tegangan sisa kompresi, logam las menjadi sangat keras dan rapuh. Pada keadaan dingin akan terjadi daerah tarikan pada daerah terpengaruh panas yang menurunkan kekuatan sambungan (terlebih bila sambungan memikul beban tarik).

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Bpk. Agus Kusmanto Kepala Departemen Produksi 1 Divisi Kendaraan Khusus PT Pindad (Persero) Indonesia atas dukungan material dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Madhusudhan, R.G., Mohandas, T., Papukutty, K.K., 1998, Effect of welding process on the ballistic performance of high-strength low-alloy steel weldments. *J. Mater Process Technol*, 74:27–35.
- [2] Shen, S., Oguocha, I.N.A., Yannacopoulos, S., 2012, Effect of heat input on weld bead geometry of submerged arc welded ASTM A709 Grade 50 steel joints, *Journal of Materials Processing Technology* 212, 286–294.
- [3] Leister, B.M., Dupont, J.N., 2012, Fracture Toughness of Simulated Heat-Affected Zones in NUCu-140 Steel, Supplement to the *Welding Journal*, Vol. 91, 53-s - 58-s.
- [4] Celin, R., Burja, J., 2018, Effect of Cooling Rates on the Weld Heat Affected Zone Coarse Grain Microstructure, *Metallurgical and Materials Engineering*, Vol. 24 (1) p. 37-44, <https://doi.org/10.30544/342>.
- [5] Yanet, M., Mónica, Z., 2015, Microstructure Characterization of Heat Affected Zone in Single Pass Welding in 9Cr-1Mo Steels, *Procedia Materials Science* 8, 904 – 913.
- [6] Long, S.L., Liang, Y.L., Jiang, Y., Liang, Y., Yang, M., Yi, Y.L., 2016, Effect of quenching temperature on martensite multi-level microstructures and properties of strength and toughness in 20CrNi2Mo steel, *Materials Science & Engineering A676*, 38–47
- [7] Mani, E., Udhayakumar, T., 2018, Effect of prior austenitic grain size and tempering temperature on the energy absorption characteristics of low alloy quenched and tempered steels, *Materials Science & Engineering A, Materials Science & Engineering A*, 716, 92–98.
- [8] Qasim, B.M., Khidir, T.C., Hameed, A.F., Abduljabbar, A.A., 2018, Influence of Heat Treatment on the Absorbed Energy of Carbon Steel, *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments (JMERA)* 41(3), 43-46, DOI: <http://doi.org/10.26480/jmerd.03.2018.43.46>.
- [9] Chen, G., Luo, H., Yang, H., Han, Z., Lin, Z., Zhang, Z., Su, Y., 2018, Effects of the welding inclusion and notch on the fracture behaviors of low-alloy steel, *Journal of Materials Research Technology*.
- [10] _____, 1996, *ASM Handbook, Volume 6, Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*, Copyright ASM International, hal 246-247.
- [11] Messler, R.W., 2014, *Principle of Welding (Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy)*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, p. 547.
- [12] Yurianto, et al., 2015, *Weldability of Hot Rolled Plate Steel (Sifat Mampu Las Hot Rolled Plate Steel - Indonesian)*, Prosiding Seminar Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang, ISSN 2407-4845.