Journal Renewable Energy & Mechanics (REM)
Vol.05 No.01 2021: 16-23
DOI: 10.25299/rem.2022.vol5(01).8782
E-ISSN: 2614-8315
P-ISSN: 2714-621X
Received 2022-01-19; Accepted 2022-02-21

MECHANICAL PROPERTIES OF REPAIR WELDING HIGH YIELD STRENGTH STRUCTURAL STEEL S690Q
(*SIFAT MEKANIK SAMBUNGAN LAS HASIL REPAIR BAJA STRUKTUR HIGH YIELD STRENGTH S690Q*)

Hendri Budi Kurniyanto[1*], Diki Hadi Pratama[2], Imam Khoirul R[1], M. Thoriq Wahyudi[1], Mukhlis[1]
[1] *Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*
[2]*PT. Inka Multi Solusi*
*Corresponding author: hendribudi@ppns.ac.id

ABSTRACT
Repeated welding caused by welding defects in the weld joint will result in changes in the mechanical properties of the weld joint, especially in the Heat Affected Zone (HAZ). Significant changes will occur when welding on steel materials that have undergone special treatment during the manufacturing process, such as quenched and tempered S690Q steel. S690Q steel is a structural steel with high yield strength with quenched and tempered conditions. The research was conducted by doing repeated welding as a simulation of the repair process using the GMAW process. Macro observations as well as tensile, bending, hardness, toughness tests were carried out on cross sections of welded joints. From the results of all the tests carried out the results meet the requirements of the BS EN ISO 15614-1 standard, but the results of the hardness test can identify significant changes in mechanical properties in the HAZ, especially in the bottom or root pass and hot pass areas. The average hardness value decreased from 334.07 HV at the top (face) to 209.55 HV and 198.88 HV at the bottom (hot pass and root pass) on the left side of the HAZ. While on the right side of the HAZ, the hardness value is 337.40 HV to 254.34 HV and 208.64 HV.

Keywords: HAZ, S690Q, Structural Steel, Quenched and Tempered Steel

ABSTRAK
Pengelasan berulang yang disebabkan oleh adanya cacat las pada sambungan las akan mengakibatkan perubahan sifat mekanik pada sambungan las khususnya pada daerah Heat Affected Zone (HAZ). Perubahan signifikan akan terjadi jika pengelasan pada material baja yang mengalami perlakuan khusus saat proses pembuatannya, misalnya baja quenched and tempered S690Q. Baja S690Q merupakan baja struktur dengan kekuatan yield yang tinggi dengan kondisi quenched and tempered. Penelitian dilakukan dengan melakukan pengelasan berulang sebagai simulasi proses repair menggunakan proses GMAW. Pengamatan makro serta pengujian tarik, bending, kekerasan, ketangguhan dilakukan pada potongan melintang sambungan las. Dari hasil semua hasil pengujian yang dilakukan hasilnya memenuhi persyaratan standar BS EN ISO 15614-1 namun pada hasil uji kekerasan dapat diidentifikasi perubahan sifat mekanik yang signifikan pada daerah HAZ khususnya bagian bawah atau area root

pass dan hot pass. Nilai kekerasan rata-rata turun dari dari 334,07 HV pada bagian atas (face) menjadi 209,55 HV dan 198,88 HV pada bagian bawah (hot pass dan root pass) pada HAZ sisi kiri. Sedangkan pada HAZ sisi kanan dari nilai kekerasan 337,40 HV menjadi 254,34 HV dan 208,64 HV.

Kata Kunci: HAZ, S690Q, Structural Steel, Quenched and Tempered Steel

PENDAHULUAN

Material-material dengan kekuatan yang tinggi akan cenderung membutuhkan perlakuan khusus untuk mendapatkan kualitas hasil pengelasan yang baik. Perlakuan khusus yang dimaksud meliputi variabel-variabel seperti pemanasan awal dan akhir, temperatur interpass dan parameter las khususnya heat input. Oleh karena itu akan selalu diperlukan suatu dokumen prosedur pengelasan yang terkualifikasi. Di dalam suatu kontrak pembangunan konstruksi kereta api yang difabrikasi oleh PT Inka Multi Solusi, salah satu komponen pada bagian *under frame* menggunakan material baja struktur dengan kuat luluh yang tinggi yaitu S690Q.

Secara umum sebelum pembangunan suatu konstruksi yang melibatkan adanya proses pengelasan dilaksanakan, perlu adanya satu dokumen tertulis yang dibuat dan digunakan sebagai pedoman tertulis bagi juru las dalam melakukan pekerjaannya yaitu WPS-PQR. Dokumen ini dibuat mengacu pada standar tertentu sesuai dengan ruang lingkup suatu konstruksi. Dalam penelitian ini prosedur dibuat berdasarkan standar BS EN ISO 15614-1:2017.

Dalam pembuatan WPS-PQR semua parameter yang digunakan dalam proses pengelasan akan diuji baik uji merusak (DT) maupun tidak merusak (NDT) apakah dapat menghasilkan sambungan las yang memenuhi persyaratan standar. Jika telah teruji maka dokumen tersebut diakui dan disahkan sebagai pedoman bagi juru las.

METODE PENELITIAN

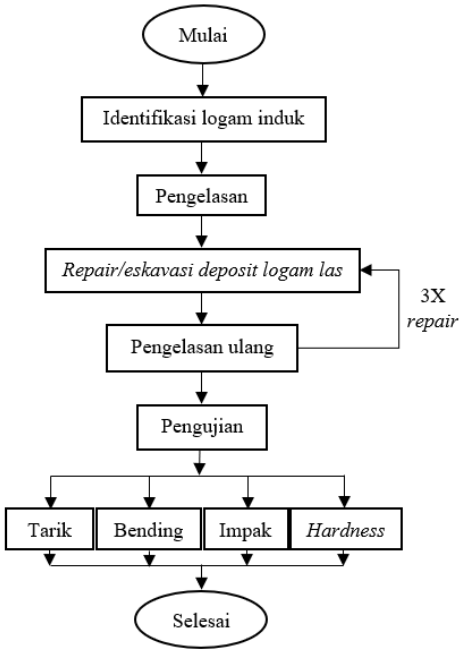
Penelitian dilakukan dengan melakukan pengelasan berulang dengan jumlah pengulangan sebanyak 3x pada plat S690Q tebal 25 mm menggunakan proses GMAW filler metal ER 120S-G diameter 1,2 mm. jenis polaritas yang digunakan adalah DC+ dengan menggunakan *short circuit metal transfer* untuk pengelasan bagian *root pass* dan *spray metal transfer* untuk pengelasan *fill* hingga *cover pass*. Gas pelindung yang digunakan adalah campuran Ar 82% + CO2 18% dengan kecepatan aliran 15 L/menit. Sebelum pengelasan dilakukan pemanasan awal 100^{o}C dan selama pengelasan berlangsung suhu antar *pass* maksimal 200^{o}C.

Setelah pengelasan selesai, deposit logam las dibuang hingga tersisa deposit *root pass* pembuangan ini dilakukan dengan asumsi terdapat cacat las dan dilakukan pengelasan ulang. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1. Pengujian dilakukan dengan memotong *test piece* menjadi spesimen uji, dibuat 2 spesimen uji tarik, 4 spesimen uji bending, 6 spesimen uji impak dan 1 spesimen untuk pegamatan makro dan uji kekerasan. Ketentuan jumlah

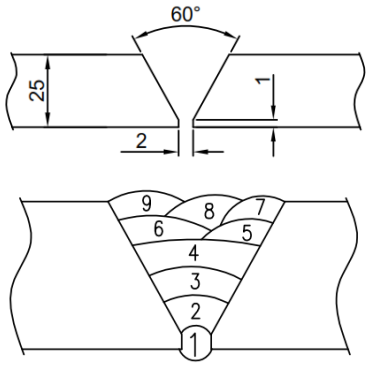
spesimen untuk masing-masing jenis pengujian tidak sama hal ini mengacu pada standar BS EN ISO 15614-1:2017. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las OTC 350, desain sambungan dan urutan las seperti pada Gambar 2, terdiri atas 6 *layer* dan 9 *pass.*

Deposit *nomor* 1 adalah *root pass,* deposit *nomor* 2 hingga nomor 6 adalah *fill pass,* sedangkan deposit nomor 7 hingga 9 adalah *cover pass.* Proses pengelasan *test piece* dengan posisi las *flat* dapat dilihat pada Gambar 3. Parameter pengelasan yang diaplikasikan disajikan dalam Tabel 1. Uji tarik dilakukan berdasarkan standar ISO 4136 menggunakan mesin UTM Shimadzu UH-600kNI, uji bending dilakukan berdasarkan standar ISO 5173 menggunakan mesin UTM Wolpert TUZ-100kN dengan diameter bend former 38 mm, uji impak dilakukan berdasarkan standar ISO 9016 menggunakan *charpy impact tester* Wolpert PW 15L 800 mm, dengan posisi *notch* di daerah HAZ dan logam las. sedangkan uji kekerasan Vickers dilakukan berdasarkan standar ISO 9015-1 menggunakan *Vickers hardness tester Future- Tech* FLC-50VX.

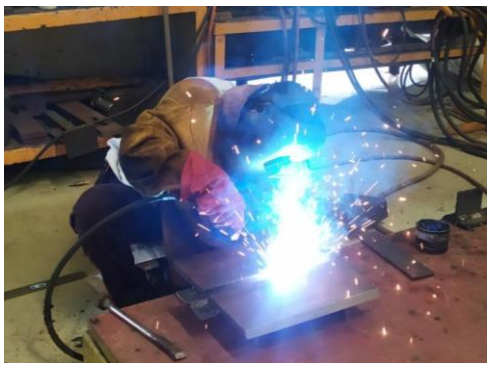
Pengujian kekerasan dilakukan sebanyak 45 indentasi pada daerah logam induk, HAZ dan logam las dan pada posisi atas (*face*), tengah, dan bawah (*root*).



Gambar 1. Diagram alir penelitian



Gambar 2. Desain sambungan dan urutan deposit las



Gambar 3. Pengelasan *test piece*

Tabel 1 Parameter pengelasan

Pass	Arus (A)	Tegangan (V)	Kec. Las (cm/menit)	*Heat Input* (J/cm)
1	110	17,6	12	9680
2	263	31,5	40	12427
3	263	31,5	32	15533
4	273	32	25.6	20475
5	263	31,5	40	12427
6	263	31,5	40	12427
7	263	31,5	32	15533
8	263	31,5	32	15533
9	263	31,5	32	15533

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Tarik

Hasil pengujian uji tarik transversal menunjukkan kekuatan tarik dari sambungan las hasil 3x proses *repair* rata-rata sebesar 787,81 MPa, lokasi patahan terjadi di logam induk dengan pola patahan ulet. Nilai ini masih melebihi batas persyaratan minimum 770 MPa. Dengan hasil ini maka proses *repair* berulang hingga 3x proses masih memungkinkan untuk dilakukan karena masih memenuhi persyaratan BS EN ISO 15614-1:2017.

Meskipun demikian Song (2021) menyatakan bahwa ketika material *quenched and tempered* telah terekspos panas melebihi 600^{o}C maka akan mengalami penurunan nilai kekuatan tarik karena fenomena pelunakan telah terjadi ketika temperatur pemanasan melebihi temperatur tempering. Qiang (2012) menyatakan bahwa tipe atau pola patahan baja kuat tarik tinggi S690Q pada berbagai temperatur menunjukkan patahan ulet karena terjadi *necking* sebelum patahan terjadi. Hasil uji tarik sambungan las baja S690Q dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

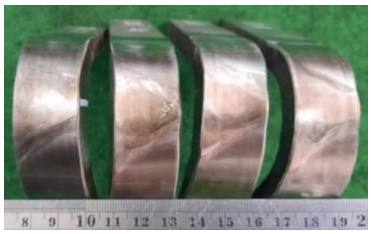
Tabel 2 Hasil Uji Tarik Sambungan Las

Spesimen	CSA (mm^2)	Beban (kN)	Kekuatan (MPa)
1	618,75	483,86	782,00
2	597,71	474,36	793,62
	Rata-rata		787,81

Hasil Uji Bending

Uji bending dilakukan dengan metode *transversal side bend*. Uji bending sambungan las merupakan uji yang bersifat kualitatif untuk mengetahui keuletan dan ada tidaknya cacat sambungan las. Dari ke-4 spesimen yang diuji, sambungan las menunjukkan keuletan yang baik akan tetapi terdapat cacat pada salah satu spesimen uji berupa retak dengan ukuran 3 mm yang disebabkan oleh adanya *lack of inter run fusion*.

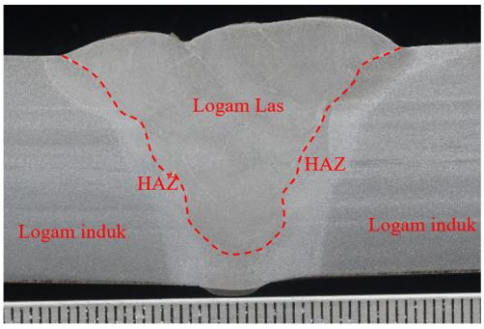
Hasil ini masih memenuhi persyaratan standar yang menyatakan tidak diperbolehkan adanya *imperfection* melebihi 3 mm. Hasil uji bending dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil uji bending menunjukkan adanya retak pada spesimen ke-2.

Hasil Pengamatan Makro

Pengamatan struktur makro bersifat kualitatif, dilakukan dengan tujuan melihat profil melintang sambungan las dan melihat ada tidaknya cacat las secara acak dilokasi tertentu yang rawan untuk terjadi misalnya di area *stop-start* deposit pengelasan. Pengamatan makro dilakukan berdasarkan standar ISO 17639. Dari hasil pengamatan tidak ditemukan adanya cacat las. Foto makro dari sambungan las dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini. Area di atas garis putus-putus merupakan area deposit logam las berulang (proses *repair*). Sehingga dapat di nyatakan bahwa area HAZ pada bagian bawah merupakan daerah yang paling banyak menerima pengaruh siklus panas yang berulang.



Gambar 5. Hasil uji pengamatan struktur makro sambungan las hasil *repair*

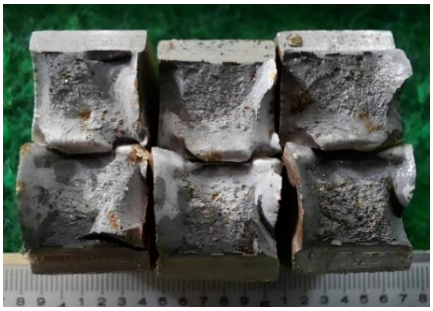
Hasil Uji Impak

Ketangguhan hasil pengelasan 3x *repair* di daerah HAZ dan logam las material S690Q pada temperatur -10^{o}C masih cukup tinggi. Pada daerah HAZ rata-rata nilai ketangguhan sebesar 142,67 J sedangkan pada daerah logam las sebesar 84 J. nilai tersebut masih melebihi nilai persyaratan minimal yaitu sebesar 35 J nilai ketangguhan disajikan pada Tabel 3 di bawah ini.

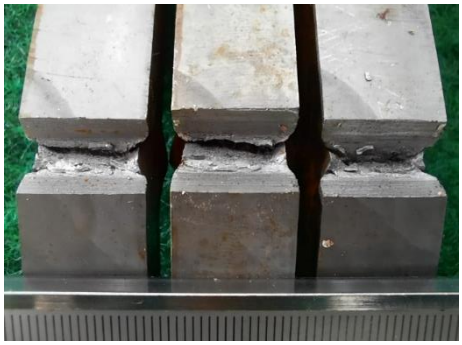
Pola permukaan patahan spesimen impak di daerah HAZ menunjukkan pola patahan ulet ditandai dengan adanya *shear lips*, *torn surface*, adanya ekspansi lateral (deformasi) yang besar. Sedangkan pola permukaan patahan spesimen impak di daerah logam las menunjukkan pola patahan kombinasi ulet-getas, hal ini di tandai adanya *shear lips*, *torn surface* dan *crystaline surface* dan sedikit adanya ekspansi lateral. Morfologi patahan ini dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 3. Hasil Uji *Charpy Impact*

Spesimen	Lokasi Notch	Energi Impak (J)	Rata-rata (J)
W1	WM	86	
W2	WM	81	84,00
W3	WM	85	
H1	HAZ	147	
H2	HAZ	147	142,67
H3	HAZ	134	



Gambar 6. Hasil uji ketangguhan impak daerah logam las



Gambar 7. Hasil uji ketangguhan impak daerah HAZ

Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan merupakan pengujian yang sangat akurat untuk memetakan sifat mekanik pada area yang sangat spesifik. Dengan pengujian ini dapat diketahui distribusi dan perubahan sifat terutama kekerasan dan kekuatan suatu daerah tertentu yang telah mengalami perubahan akibat siklus panas yang berulang karena proses 3x *repair*. Dari hasil uji kekerasan pada Tabel 4 terdapat pengaruh yang sangat signifikan, di daerah HAZ.

HAZ sisi kiri terjadi penurunan nilai kekerasan rata-rata dari 334,07 HV menjadi 209,55 HV untuk bagian tengah dan 198,88 HV pada bagian bawah (akar las). Pada HAZ sisi kanan dari nilai kekerasan 337,40 HV menjadi 254,34 HV bagian tengah dan turun menjadi 208,64 HV pada bagian bawah (akar las). Penurunan nilai kekerasan ini juga terjadi pada daerah logam las namun tidak signifikan karena daerah logam las di atas *root pass* merupakan hasil deposit *filler metal* baru yang tidak terlalu banyak mengalami pemanasan berulang, pemanasan hanya didapat dari deposit las di atasnya. Berbeda dengan daerah HAZ yang menerima panas dari pengelasan 3x proses ditambah dengan panas akibat deposit *multipass* logam las.

Penurunan nilai kekerasan ini merupakan indikator bahwa telah terjadi penurunan kekuatan pada daerah HAZ akibat siklus panas yang berulang akibat proses repair. Baja S690Q merupakan baja yang mempunyai struktur *fine grain*, struktur ini kemungkinan besar telah berubah atau terjadi *grain growth* dan perubahan fase akibat panas berulang yang diterima daerah HAZ bagian bawah lebih banyak dibanding daerah lainnya. Panas yang diterima tidak hanya dari proses pengulangan repair, tetapi juga dari proses deposit las pada layer atau pass di atasnya.

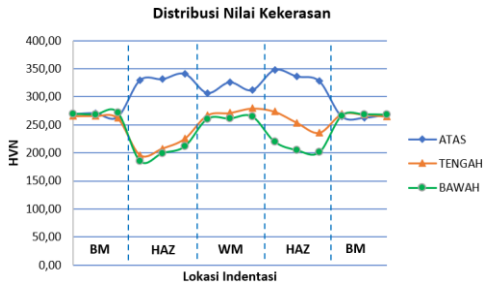
Chen (2018) menyatakan bahwa terjadi perubahan dari fasa keras martensit menjadi fasa-fasa yang lebih lunak yaitu ferit, perlit maupun cementit akibat terekspos panas las yang yang mencapai temperatur kritis atas A3 maupun temperatur kritis bawah A1. Faktor inilah yang menjadi penyebab terjadinya penurunan nilai kekerasan yang signifikan pada daerah tersebut. Chen (2020) menyatakan bahwa akan terjadi *soft zone* diantara logam las dan logam induk pada hasil las material S690Q akibat masukan panas pengelasan.

Persyaratan keberterimaan nilai kekerasan hasil sambungan las diatur

di dalam standar BS EN ISO 15614-1, namun hanya memberikan batas nilai kekerasan maksimum, jadi berdasarkan standar hasil pengelasan proses 3x repair masih dapat diterima, namun demikian perlu diperhatikan telah terjadi penurunan nilai kekerasan yang juga berarti bahwa terjadi penurunan kekuatan pada daerah HAZ. Distribusi nilai kekerasan pada seluruh daerah las dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 4 Rata-rata nilai kekerasan pada sambungan las

Nilai kekerasan rata-rata (HV)			
Lokasi	**Atas**	**Tengah**	**Bawah**
BM kiri	267,45	264,52	269,92
HAZ kiri	334,07	209,55	198,88
WM	314,74	272,58	262,04
HAZ kanan	337,40	254,34	208,64
BM kanan	264,79	267,44	267,43



Gambar 8. Distribusi nilai kekerasan pada sambungan las

KESIMPULAN

Dari seluruh hasil pengujian terhadap sambungan las 3x proses repair pada material S690Q dapat disimpulkan bahwa hasil las masih dapat memenuhi persyaratan standar BS EN ISO 15614-1. Pada hasil uji makro tidak ditemukan adanya cacat las, hasil uji bending menunjukan adanya retakan dengan ukuran 3 mm namun masih memenuhi persyaratan. Kekuatan tarik sambungan las rata-rata 787,81 MPa masih melebihi batas minimal 770 Mpa.

Hasil uji ketangguhan melebihi batas minimum sebesar 35 J, rata-rata 84 J di daerah logam las dan 142,67 J di daerah HAZ. Hasil uji kekerasan untuk semua daerah masih di bawah batas maksimum sebesar 380 HV, namun terjadi penurunan signifikan di daerah HAZ hingga di bawah logam induk pada bagian tengah dan bawah, penurunan ini menunjukkan terjadinya penurunan kekuatan di daerah tersebut.

Penurunan kekuatan yang terjadi pada daerah HAZ ini adalah parsial, tidak semua area HAZ mengalami penurunan oleh karena itu pada hasil uji tarik lokasi patahan masih terjadi pada daerah logam induk bukan di HAZ. Untuk melakukan pengelasan *repair* pada baja *quenched* and *tempered*, perlu kontrol atas parameter las terutama *heat input*, karena material tersebut merupakan hasil perlakuan *thermo-mechanical* yang memiliki struktur dan ukuran butir halus yang sensitif terhadap panas. Panas berlebih akan mengubah ukuran butir dan fasa yang ada menjadi lebih lunak dan kekuatan rendah. *Heat input* antara 10.000-20.000 J/cm untuk pengelasan baja S690Q masih dapat menghasilkan sambungan las yang memenuhi standar.

DAFTAR PUSTAKA

BS EN ISO 15614-1. 2017. Specification and qualification of welding procedures for metallic material-Welding procedure test. Part 1 British: BSI.

BS EN ISO 17639. 2013. Destructive test on weld in metallic material-Macroscopic and microscopic examination of welds. British: BSI.

Chen, C. (2018). Welding Effect on Tensile Strength of Grade S690Q Steel Butt Joint. *Journal of Constructional Steel Research : Elsevier*. Vol 153, page 153-156.

Chen, C. (2020). Influence of Cooling Rate in Tensile Beahviour of S690Q High Strength Steel. *Journal of Constructional Steel Research : Elsevier.*

ISO 4136. (2012). Destructive test on weld in metallic materials-Transverse tensile test. Switzerland: ISO.

ISO 5173. (2009). Destructive test on weld in metallic materials-Bend test. Switzerland: ISO.

ISO 9015-1. (2001). Destructive test on weld in metallic materials-Hardness test on arc welded joints. Switzerland: ISO.

ISO 9016. (2012). Destructive test on weld in metallic materials-Impact test. Switzerland: ISO.

Li, G.Q. (2020). Mechanical Properties Of TMCP Q690 High Strength Structural Steel at Elevated Temperatures. *Fire Safety Journal: Elsevier*. Vol 116, page 103-109.

Qiang, X. (2012). Dependence of Mechanical Properties of High Strength Steel S690 on Elevated Temperatures. Vol 30, page 73-79 Netherlands: *Elsevier*

Song, L.X. (2021). Processing and Cooling Effects on Post-Fire Mechanical Properties of High Strength Structural Steels. *Fire Safety Journal: Elsevier*.