

PENGARUH *WELDING REPAIR* TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PENGELASAN GTAW BAJA DUPLEX UNS S32760

Muhamad Nur Juanda¹⁾, Herry Oktadinata²⁾, Taufiqullah²⁾

¹⁾Program Strata Satu Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam “45” Bekasi

²⁾Tim Pengajar Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam “45” Bekasi

Jl. Cut Mutia No.83, Margahayu, Bekasi Tim., Kota Bks, Jawa Barat 17113

E-mail Penulis: emenje91@gmail.com

Abstrak

Perkembangan teknologi di bidang perindustrian yang semakin maju tidak dapat dilepaskan dari metode pengelasan, salah satunya adalah *welding repair*. Perbaikan pengelasan bisa mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro material yang digunakan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari *welding repair* pada material Duplex Stainless Steel UNS S32760 dengan menggunakan kawat las tipe ER 2594 yang diaplikasikan pada *vacuum vessel tank*. Proses pengelasan *welding original* pada sampel 1 menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm menerima *heat input* terbesar 1,394 kJ/mm. Proses *welding repair* yang dilakukan pada sampel 2 menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm menerima *heat input* terbesar 1,111 kJ/mm dan pada sampel 3 juga mengalami *welding repair* dengan menggunakan kawat las sebesar 2,00 mm menerima *heat input* terbesar 1,347 kJ/mm. Hasil pengujian impak menunjukkan penurunan nilai ketangguhan pada sampel 2 dan sampel 3 yang mengalami *welding repair*. Sedangkan hasil pengujian kekerasan Vickers mengalami peningkatan pada sampel 2 dan sampel 3 yang mengalami proses *welding repair*, berbanding lurus dengan peningkatan *heat input* yang diterima pada setiap sampel. Struktur mikro pada sampel 2 dan 3 terjadi perubahan fasa *Ferrite menjadi Acicular Ferrite*. Pada daerah HAZ dan WL di sampel 3 juga terbentuk *Grain Boundary Ferrite*, dimana *Grain Boundary-Ferrite* terbentuk pertama kali pada transformasi *Austenite ke Ferrite*, yang biasanya terbentuk di sepanjang batas *Austenite*. Pada penelitian ini proses *welding repair* yang memiliki sifat mekanik mendekati sifat mekanik *Base Metal* adalah sampel 2 yang menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm untuk proses *welding repair*.

Kata kunci: *welding repair*, Duplex Stainless Steel, GTAW

Abstract

Technological developments in the increasingly advanced industrial sector cannot be separated from the welding method, one of which is welding repair. Welding improvements can affect the mechanical properties and microstructure of the material used. This research was conducted to determine the effect of welding repair on UNS S32760 stainless steel duplex material using ER 2594 welding wire which was applied to a vacuum vessel tank. The process of welding original welding in sample 1 using a welding wire with a diameter of 2.4 mm receiving the largest heat input 1.394 kJ / mm. The welding repair process carried out on sample 2 using 2.4 mm diameter welding wire received the largest heat input 1.111 kJ / mm and in sample 3 also experienced welding repair using a welding wire of 2.00 mm receiving the largest heat input 1.347 kJ / mm. The impact test results showed a decrease in the toughness value in sample 2 and sample 3 which underwent welding repair. While the results of Vickers hardness testing increased in sample 2 and sample 3 which underwent a repair welding process, was directly proportional to the increase in heat input received in each sample. The microstructure in samples 2 and 3 changed the phase of Ferrite to Acicular Ferrite. In the HAZ and WL regions in sample 3 Ferrite Grain Boundary is also formed, where Grain Boundary-Ferrite is formed first in the transformation of Austenite to Ferrite, which usually forms along the Austenite boundary. In this research, welding repair process that has mechanical properties close to the mechanical properties of Base Metal is sample 2 which uses 2.4 mm diameter welding wire for welding repair.

Keywords: *welding repair*, Duplex Stainless Steel, GTAW

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini telah mampu menghasilkan berbagai jenis baja dengan fungsi dan tujuan penggunaannya. Pengembangan material sebagai komponen alat konstruksi dan alat perkakas diusahakan untuk mencapai sifat-sifat material yang lebih unggul, terutama keunggulan dalam penerapan berbagai kondisi operasional. Salah satu tujuan terpenting dalam pengembangan material adalah menentukan struktur dan sifat-sifat material optimum agar dapat mencapai daya tahan maksimum. Dalam aplikasi untuk penggunaan industri yang dibutuhkan ketahanan korosi banyak digunakan material jenis stainless steel yang mempunyai sifat tahan karat. Dimana pengaplikasiannya dapat digunakan untuk sistem pemipaan, heat exchanger dan reaction vessel.

Hampir di setiap proses pembangunan konstruksi yang menggunakan material logam, teknik pengelasan banyak digunakan karena merupakan pengembangan teknologi paling efisien dan praktis dibandingkan teknik penyambungan logam lainnya. Proses pengelasan juga berperan penting dalam rekayasa dan reparasi logam, seperti untuk *welding repair*, untuk membuat lapisan las pada perkakas, mempertebal bagian-bagian yang sudah aus, dan macam-macam reparasi lainnya. Selalu didapatkan adanya *welding defect* sehingga harus dilakukan perbaikan las untuk memperbaikinya. Dimana *welding repair* bisa sangat mempengaruhi suatu prosedur untuk dapat menghasilkan suatu komponen atau produk yang aman dan mampu digunakan sesuai dengan ketentuannya. Kekuatan sambungan las harus diperhatikan dan dijamin kekuatannya, sehingga material las minimal memiliki kekuatan yang mendekati dengan kekuatan base metal.

Pengelasan dapat mempengaruhi sifat mekanik pada logam dasar (*base metal*) yang digunakan., bagian yang terpengaruh panas atau HAZ (*Heat Affected Zone*) dan bagian logam lasan (*weld metal*). Pada bagian-bagian tersebut terdapat perubahan struktur material dan pertumbuhan butir, serta menurunnya ketangguhan pada saat proses pengelasan. Apabila kualitas proses pengelasan yang dihasilkan kurang maksimal dan menimbulkan kegagalan, maka akan berdampak pada keselamatan kerja dan hasil produk yang tidak sesuai. Oleh karena itu diperlukan perbaikan pada hasil pengelasan yang kurang baik. *Repair* terhadap hasil *welding* yang kurang sesuai dengan standart sangat mempengaruhi sifat mekanik material, terlebih telah dilakukan pengelasan sebelumnya. Maka hasil pengelasan setelah di *repair* akan lebih besar mengalami penurunan terhadap sifat mekanik material.

DSS menunjukkan kemampuan panas yang baik pada suhu 1230°C. Meskipun demikian, jika hot forming dilakukan pada suhu yang terlalu rendah, deformasi sedikit, sifat ductile ferrite menjadi rendah yang dapat menimbulkan crack pada ferrite di daerah deformasi. Fasa sigma dalam jumlah yang banyak dapat terbentuk ketika pekrjaan panas suhunya turun terlalu rendah (www.imoa.org.uk). Metoda pemanasan yang lambat akan membuat penyebaran panas pada spesimen lebih merata keseluruhan bagian material. Kecepatan pemanasan tergantung pada beberapa hal, yang terpenting adalah konduktivitas panas dari logam yang teruji (Todd, 1994). Struktur metalurgi DSS terdiri dari dua fasa, yaitu fasa ferrite dan fasa austenite. Struktur mikro fasa ferrite terlihat bewarna gelap, sedangkan fasa austenite terlihat berwarna terang. Ferrite memiliki sifat kekerasan yang tinggi, dan bersifat magnetik. tetapi tidak dapat dikeraskan dengan perlakuan panas. sedangkan austenite bersifat tahan terhadap korosi, non magnetik, tetapi memiliki kekerasan yang rendah. DSS memiliki kadar yang seimbang antara ferrite dan austenite yang dapat dilihat dalam gambar foto mikronya (gambar 1). Dari gambar foto mikro tersebut terlihat perbandingan yang seimbang antara bagian yang gelap dan yang terang. Pada DSS, kadar austenite dan ferrite dapat berubah apabila dilakukan perlakuan panas yang melebihi suhu kritis, yaitu sekitar 950°C. Apabila dipanaskan lebih dari suhu kritis maka kadar ferrite dari DSS akan semakin tinggi, dan itu dapat mengurangi daya tahan terhadap korosi dari DSS ini (www.imoa.org.uk).

METODE

Sampel uji untuk pengelasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Duplex Stainless Steel UNS S32760 dengan ukuran 200 mm x 150 mm x 10 mm sebanyak 6 buah yang akan dijadikan 3 sampel pengelasan dengan metode GTAW seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1. Kawat las atau *filler metal* yang digunakan untuk pengelasan dalam penelitian ini yaitu AWS A5.9M : ER 2594 dengan diameter 2.4 mm dan 2.0 mm.



Gambar 1. Sampel Pengelasan

Pengelasan untuk sampel 1 hanya dilakukan pengelasan *original* tanpa perbaikan pengelasan (*welding repair*) dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm. Untuk sampel 2 dilakukan pengelasan *original* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm, kemudian dilakukan perombakan las dengan cara menggerinda untuk selanjutnya dilakukan *welding repair* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm. Sedangkan untuk sampel 3 dilakukan pengelasan *original* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm, kemudian dilakukan perombakan las dengan cara menggerinda untuk selanjutnya dilakukan *welding repair* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,0 mm.

Setelah pengelasan selesai semua sampel kemudian didiamkan dengan udara terbuka agar dingin. Selanjutnya dilakukan pengujian *Dye Penetrant Test* (DPT) untuk mengecek prositas di permukaan material las. Penghitungan heat input yang diterima oleh masing-masing sampel pengelasan sebagai parameter yang

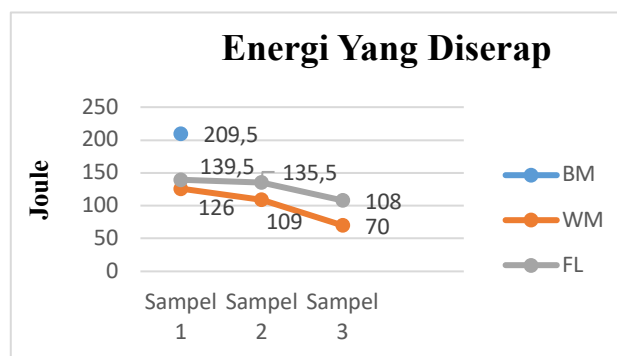
memberikan kontribusi terhadap distorsi dan tegangan sisa. Besarnya masukan panas yang berbeda pada proses pengelasan sangat mempengaruhi sifat mekanik.

Pengujian Material; Pengujian sifat mekanik yang dilakukan untuk mengetahui karakter material adalah uji impact dan uji kekerasan. Pengujian impact menggunakan metode *charpy* dengan standar ASTM E23. Sampel uji impact dengan standar *subsize* ASTM A370 memiliki dimensi P: 55 mm, L: 7,5 mm dan T: 10 mm dengan kedalaman takikan (notch) 2 mm. Sedangkan pengujian kekerasan menggunakan metode *Vickers* menggunakan standar ASTM E92. Pengujian metalografi yang dilakukan yaitu struktur mikro untuk mengetahui pengaruh pengelasan dan *welding repair* terhadap bentuk dan perubahan fasa pada setiap sampel uji.

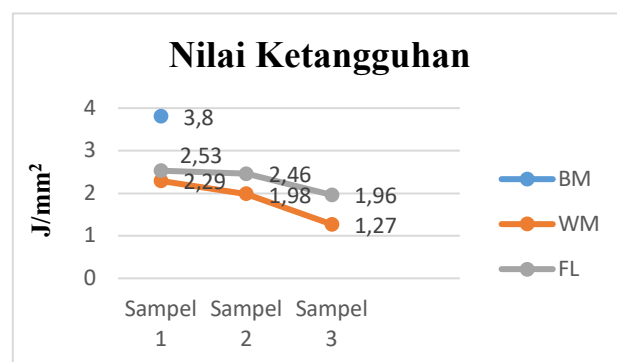
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Impact

Pengujian impact dilakukan di PT. Bina Andalan Karya Inspeksi (BAKI) dengan menggunakan alat uji Wolpert GERMANY PW 30/15 L800 dan menggunakan metode *charpy* dengan standar ASTM E23. Sampel uji impact dengan standar *subsize* ASTM A370 memiliki dimensi P: 55 mm, L: 7,5 mm dan T: 10 mm dengan kedalaman takikan (notch) 2 mm. Pengujian dilakukan pada daerah *Base Metal*, *Welding Metal* dan *Fusion Line*. Pengaruh pengelasan dan *welding repair* terhadap kekuatan impact disajikan melalui data percobaan yang kemudian ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Energi Yang Diserap



Gambar 3. Grafik Nilai Ketangguhan

Pada Gambar 2 menampilkan grafik energi yang diserap pada setiap sampel uji, yang juga berpengaruh terhadap hasil nilai ketangguhan yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sampel 1 yang merupakan hasil pengelasan original dengan metode GTAW dan kawat las sebesar 2,4 mm. Hasil pengujian impact di daerah WM menunjukkan energi yang diserap sebesar 126 Joule dan hasil nilai ketangguhan sebesar 2,29 J/mm². Pada daerah FL energi yang diserap sebesar 139,5 Joule dan hasil nilai ketangguhan sebesar 2,53 J/mm². Hasil ini menunjukkan penurunan dibandingkan nilai pada sampel BM. Pada sampel BM menunjukkan energi yang diserap sebesar 209,5 Joule dan nilai ketangguhan sebesar 3,8 J/mm². Hal ini menjelaskan bahwa pengelasan pada sampel 1 memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik yang dimiliki material, yang menyebabkan penurunan nilai ketangguhan.

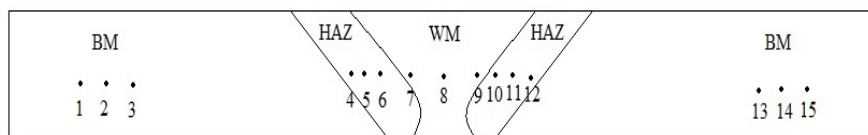
Pada sampel 2 material mengalami *repair welding* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm. Hasil pengujian impact pada sampel 2 yang mengalami *welding repair* pada daerah WM menunjukkan energi yang diserap sebesar 109 Joule dan nilai ketangguhan sebesar 1,98 J/mm². Sedangkan pada daerah FL menunjukkan energi yang diserap sebesar 135,5 Joule dan nilai ketangguhan sebesar 2,46 J/mm². Dari hasil pengujian impact pada sampel 2 menunjukkan penurunan sifat material dibandingkan dengan hasil pengujian impact sampel 1. Hal ini menunjukkan hasil perbaikan las atau *repair welding* juga berpengaruh terhadap ketangguhan material.

Pada sampel 3 material juga mengalami *repair welding*, tapi berbeda dengan sampel 2 dalam menggunakan kawat las. Sampel 3 saat *repair welding* menggunakan kawat las berdiameter 2,0 mm. Hasil pengujian impak pada sampel 3 yang mengalami *welding repair* pada daerah WM menunjukkan energi yang diserap sebesar 70 Joule dan nilai ketangguhan sebesar 1,27 J/mm². Sedangkan pada daerah FL menunjukkan energi yang diserap sebesar 108 Joule dan nilai ketangguhan sebesar 1,96 J/mm².

Dari hasil pengujian impak yang telah dilakukan pada semua sampel yang mengalami *repair welding*, yaitu pada sampel 2 dan sampel 3. Menunjukkan bahwa penggunaan kawat las sangat berpengaruh pada ketangguhan material. Penggunaan kawat las pada proses *repair welding* di sampel 2 dengan diameter 2,4 mm menunjukkan nilai ketangguhan yang lebih baik dibandingkan sampel 3 yang menggunakan kawat las berdiameter 2,0 mm pada proses *repair welding*.

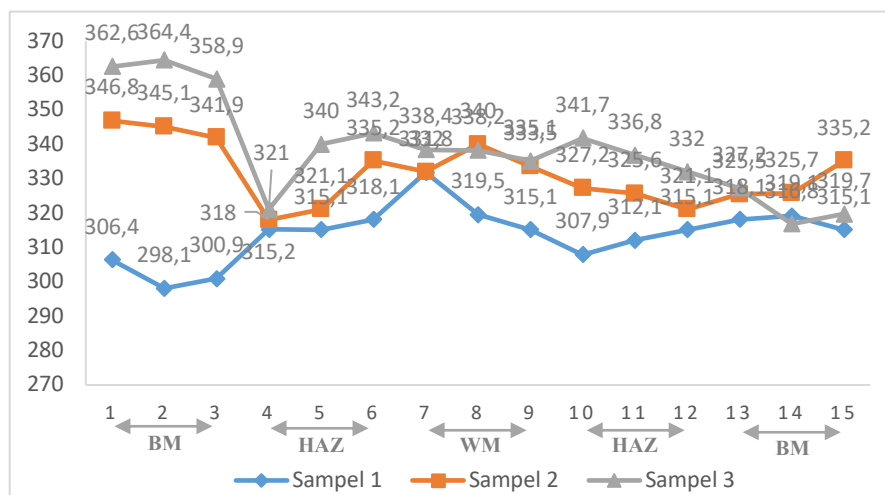
Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan di PT Bina Andalan Karya Inspeksi (BAKI) dengan menggunakan alat uji *Micro Vickers Hardness Testing System* HM-102/103 dengan metode *Vickers* dan standar ASTM E92, beban uji yang digunakan sebesar 10 kgf dan waktu penerapan beban uji selama 10 detik. Setiap sampel dilakukan pengujian pada 15 titik di 3 daerah pengujian, yang tersebar pada daerah BM, daerah HAZ, dan daerah WM. Jejak pengujian berada di tengah spesimen uji seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Sketsa Penjejukan *Hardness Vickers*

Hasil pengujian kekerasan *Vickers* pada semua sampel ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengujian sampel 1 daerah BM memiliki nilai kekerasan terkecil pada titik nomer 2 sebesar 298,1 HV dan nilai kekerasan terbesar di daerah BM pada titik nomer 14 sebesar 319,1 HV. Pada sampel 1 nilai hasil uji kekerasan tertinggi ada pada titik nomer 7 yaitu pada daerah WM sebesar 331,8 HV. Bila diperhatikan nilai kekerasan pada daerah WM lebih tinggi dari pada daerah HAZ, kemungkinan hal ini terjadi karena daerah WM merupakan titik pusat panas.



Gambar 5. Grafik Kekerasan *Vickers*

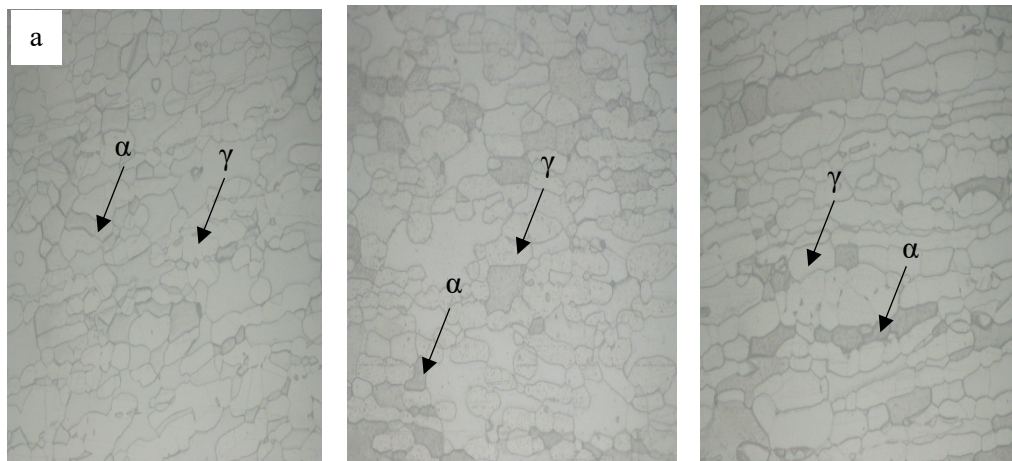
Pada sampel 2 yang mengalami proses *welding repair* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm. Titik pengujian daerah BM memiliki nilai kekerasan 325-346 HV, sedangkan daerah HAZ dan WM memiliki nilai yang lebih rendah. Daerah WM memiliki nilai kekerasan *Vickers* sebesar 332-340 HV, sedangkan daerah HAZ memiliki nilai sebesar 318-335 HV. Sedangkan pengujian kekerasan *Vickers* sampel 3 yang mengalami proses *welding repair* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,0 mm diperlihatkan pada Gambar 4.13. Hasil pengujian daerah BM memiliki nilai kekerasan 3316-364 HV. Daerah HAZ dan WM memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah dibandingkan daerah BM. Daerah WM memiliki nilai kekerasan *Vickers* sebesar 335-338 HV, sedangkan daerah HAZ memiliki nilai sebesar 321-341 HV.

Dari ke 3 grafik yang menampilkan hasil uji kekerasan di atas, terlihat perubahan kekerasan dengan nilai kekerasan yang meningkat dari sampel 1, sampel 2 dan sampel 3. Perbandingan nilai HV di daerah HAZ dan WM yang mengalami peningkatan dari sampel 1, sampel 2 dan sampel 3 berbanding lurus dengan hasil *heat input* yang di terima di setiap sampel. Sampel 3 memiliki nilai kekerasan terbesar pada daerah WM sebesar 335-338 HV dan

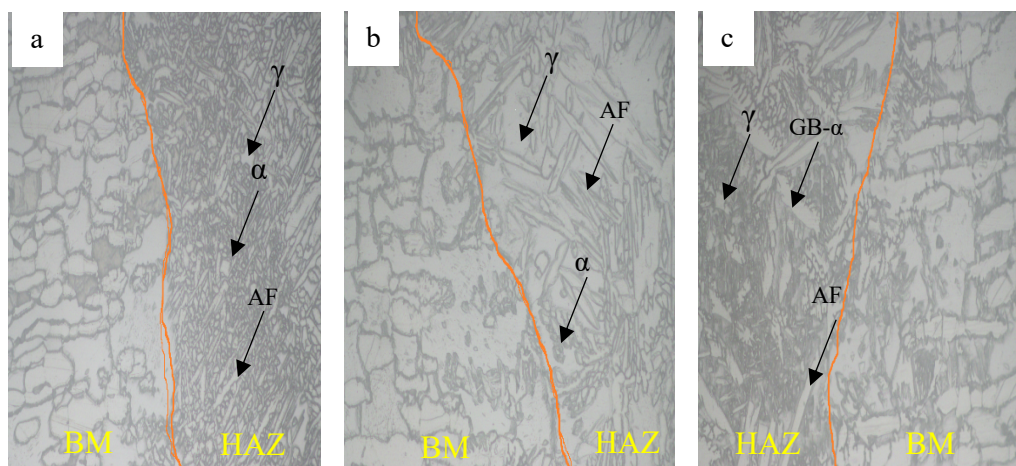
heat input terbesar dibandingkan sampel 1 dan sampel 2. Begitu juga pada daerah HAZ pada sampel 3 yang memiliki nilai kekerasan terbesar dibandingkan dengan sampel 1 dan sampel 2. Dapat disimpulkan sampel uji 3 yang mengalami *welding repair* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,0 mm memiliki kekerasan paling tinggi, di ikuti dengan sampel uji 2 yang mengalami *welding repair* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm. Sedangkan sampel uji 1 dengan *welding* original memiliki kekerasan paling rendah. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Hariyanto Agus (2009) bahwa makin besar masukan panas maka nilai kekerasan, ketangguhan juga meningkat, dan ketahanan korosi menurun.

Hasil Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan di PT Bina Andalan Karya Inspeksi (BAKI) dengan menggunakan standar ASTM E340. Pengamatan dilakukan pada 3 daerah, yaitu *Base Metal*, HAZ dan *Welding Metal* dengan pembesaran 500 kali di setiap pengamatan. Struktur metalurgi DSS terdiri dari dua fasa, yaitu fasa ferrite (α) dan fasa austenite (γ). Struktur mikro fasa ferrite terlihat berwarna gelap, sedangkan fasa austenite terlihat berwarna terang. Hasil pengamatan struktur mikro pada daerah *Base Metal* ditunjukkan pada Gambar 6.



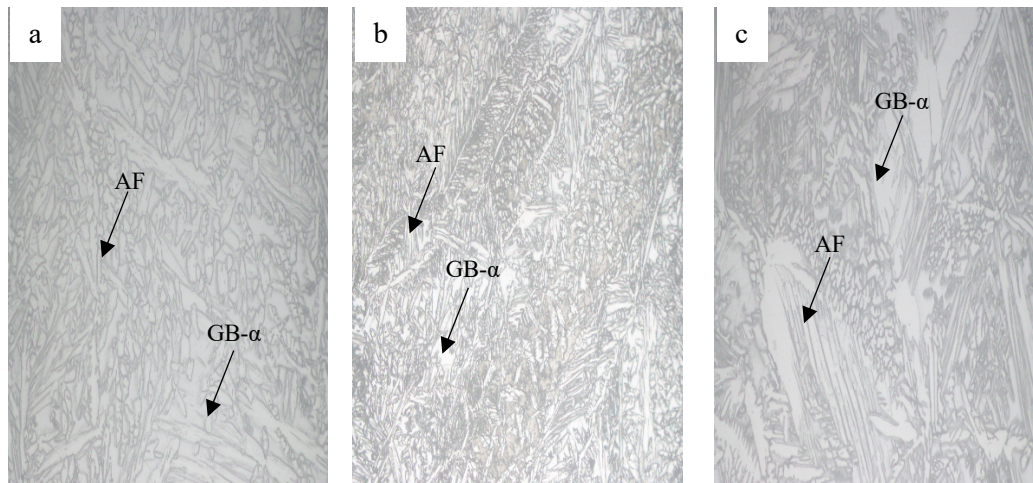
Gambar 6. Struktur Mikro Daerah *Base Metal* (a) Sampel 1 (b) Sampel 2 (c) Sampel 3



Gambar 7. Struktur Mikro Daerah HAZ (a) Sampel 1 (b) Sampel 2 (c) Sampel 3

Gambar 7 menunjukkan hasil pengamatan struktur mikro pada daerah *Heat Affected Zone* (HAZ). Terlihat perubahan fasa *Acicular Ferrite* di setiap sampel. Fasa *Acicular Ferrite* (AF) terbentuk karena proses pengelasan yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketangguhan (Suharno : 2008). Jumlah *Acicular Ferrite* di sampel 2 dan sampel 3 terlihat lebih banyak dibandingkan pada sampel 1, kemungkinan hal ini terjadi karena proses perbaikan las (*welding repair*) yang terjadi pada sampel 2 dan sampel 3. *Acicular Ferrite* diharapkan dari setiap proses pengelasan, karena sebagai *interlocking structure* yang mampu menghambat laju perambatan retak. Sampel 3 yang mengalami *welding repair* dengan menggunakan kawat las berdiameter 2,0 mm memiliki fasa *Acicular Ferrite* yang lebih banyak dibandingkan sampel 2 yang menggunakan kawat las berdiameter 2,4 mm untuk proses perbaikan las. Dan terdapat *Grain Boundary-Ferrite* (GB- α) di sampel 3 yang tumbuh di dekat batas butir.

Penggunaan kawat las dengan diameter yang berbeda menyebabkan *heat input* yang di terima oleh sampel 3 lebih besar dari pada sampel 2. Kemungkinan hal ini yang menyebabkan terjadinya perbedaan fasa yang timbul di daerah HAZ.



Gambar 8. Struktur Mikro Daerah Weld Metal (a) Sampel 1 (b) Sampel 2 (c) Sampel 3

Hasil pengamatan struktur mikro di daerah *welding metal* ditunjukkan oleh Gambar 4.4 yang menunjukkan fasa di setiap sampel. Fasa *Acicular Ferrite* tetap terlihat dominan di setiap sampel yang memang diharapkan sebagai interlocking structure untuk menghambat laju perambatan retak. Terlihat juga fasa *Grain Boundary-Ferrite* (GB- α) di daerah *welding metal* pada setiap sampel. Fasa GB- α terbentuk pertama kali pada transformasi *Austenite* ke *Ferrite*, yang biasanya terbentuk di sepanjang batas *Austenite*. Pada sampel 2 dan sampel 3 terlihat fasa *Acicular Ferrite* yang lebih banyak dibandingkan pada sampel 1. Hal ini kemungkinan terjadi karena proses *welding repair* yang dialami oleh material sampel 2 dan sampel 3. Namun bila diperhatikan pada sampel 2 dan sampel 3 juga terlihat perbedaan dimana *Grain Boundary-Ferrite* lebih banyak terlihat di sampel 3 dari pada sampel 2. Kemungkinan hal ini terjadi karena *heat input* yang diterima oleh sampel 3 lebih besar dibandingkan sampel 2.

Dari ke 3 gambar diatas yang memperlihatkan hasil pengamatan struktur mikro pada daerah *base metal*, HAZ, dan *weld metal* terlihat perbedaan di ke 3 daerah tersebut. Daerah BM terlihat struktur mikro *Austenite* dan *Ferrite* yang masih dominan dan seimbang, namun di daerah HAZ mulai terlihat fasa *Acicular Ferrite*. Di daerah WM pertumbuhan fasa *Grain Boundary-Ferrite* yang mulai tumbuh di daerah WM. *Weldability* dari material bila menjadi panas selama pengelasan akan membentuk fasa *Ferrite* pada daerah HAZ, fasa *Ferrite* yang terlalu banyak akibatnya akan mengurangi ketahanan korosi dan kerapuhan. Dalam menyiasati, untuk material pengelasannya dipakai kawat las dengan tingkat kandungan Nickel (Ni) yang lebih tinggi dari logam induk (Zamil, 2009).

PENUTUP

Simpulan

Perubahan sifat mekanik yang dihasilkan dari pengujian setelah pengelasan dan perbaikan las menghasilkan perubahan yang cukup besar. Hasil uji impak yang mendekati kekuatan material Base Metal adalah sampel 2 sebesar 1,98 J/mm² di daerah Fusion Line dan 2,96 J/mm² di daerah *Weld Metal*. Dan untuk nilai kekerasan *Vickers* sampel 3 menghasilkan nilai kekerasan lebih besar dibandingkan sampel 2, yaitu sebesar 335,7 HV di daerah HAZ dan 337,2 HV di daerah WM. Struktur mikro hasil pengujian setelah proses pengelasan dan *repair welding* memperlihatkan perubahan bentuk fasa *Ferrite* menjadi *Acicular Ferrite* di daerah HAZ dan WM. Pada daerah HAZ dan WM di sampel 3 juga terbentuk *Grainboundary-Ferrite* yang merupakan jenis struktur mikro terbentuk pertama dari transformasi *Austenite* ke *Ferrite*. Setelah penelitian yang telah dilakukan untuk sampel 2 dan sampel 3 yang mengalami proses perbaikan las (*welding repair*), dapat disimpulkan bahwa perubahan sifat mekanik dan struktur mikro yang tidak terlalu signifikan terjadi pada sampel 2 dengan penggunaan kawat las berdiameter 2,4 mm.

Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian ini adalah dapat dilakukan penahanan nilai arus dan tegangan pada saat proses pengelasan, agar lebih dapat mengetahui faktor *heat input* terhadap sifat mekanik *duplex stainless steel*.

DAFTAR PUSTAKA

- Achyarsyah, Mochamad., B eny, Bandanadjaja. 2011. Analisis Kegagalan Material Ball Valve Pada Industri Pengolahan Minyak Lepas Pantai Gresik. Bandung : Politeknik Manufaktur Negeri Bandung.
- Arifin, Achmad. 2016. Jenis Struktur Mikro Pada Logam Hasil Sambungan Las. [<https://achmadarifin.com/jenis-struktur-mikro-pada-logam-hasil-sambungan-las>](13 November 2016)
- Jokosiswor, S. 2006. *Weldability, Welding Metallurgy, Welding Chemistry*. Kapal. 3(3).
- Minnick, William H., Mark, A.P., 2013. *Gas Tungsten Arc Welding Handbook : Chapter 18 – Weld Inspection And Repair*. [https://www.g-w.com/pdf/sampchap/9781605257938_ch18.pdf](2013)
- Putra, W.H. Akbar., 2009. Analisis Struktur Mikro Dan Sifat-Sifat Material Duplex Stainless Steel 2205 Akibat Proses Line Heating. Surabaya : Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik Kelautan, Intitut Teknologi Sepuluh Nopember. Vol. 15, No. 2.
- Romli. 2013. Analisis Sifat Mekanis Pengaruh Proses Pengelasan Baja Tahan Karat. Palembang : Staf Edukatif Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Shamant, V., K.S. Ravishankar. 2015. Dissolution of alpha-prime precipitates in thermally embrittled S2205-duplex steels during reversion-heat treatment. Departement Of Metallurgy And Materials Engineering. National Institute of Technology Karnataka. [<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211379715000595?via%3Dihub>](2015)
- Wibowo, H., M. Ilman., P. Iswanto. 2016. Analisa Heat input Pengelasan Terhadap Distorsi, Struktur Mikro Dan Kekuatan Mekanis Baja A36. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7 (01) : 5-12
- Winarto. *Hand book Teknologi pengelasan. Asosociate Welding Engineer*.
- Winarto, W., Herry, O., Edy, S.S . 2018 Microstructure And Hardness Properties Of Butt And Fillet GMAW Welded Joint On HY80 High Strength Steel Plate. Departement Of Metallurgy And Materials Engineering. Universitas Indonesia
- Wiryo Sumarto, H. dan. Okumura, T. 2008. *Teknologi Pengelasan Logam*. Edisi Balai Pustaka. PT. Balai Pustaka. Jakarta Timur.