

ANALISIS *MULTIPLE REPAIR* PADA MATERIAL BAJA KARBON SA 333 GRADE 6 dengan PROSES GTAW TERHADAP KEKERASAN, KETANGGUHAN, dan STRUKTUR MIKRO

Moh. Syaiful Amri¹, Hendri Budi Kurniyanto¹, Yudi Eko Suyono¹, Imam Khoirul Rohmat¹

¹Program Studi Teknik Pengelasan, Pliteknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jalan Teknik Kimia Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya, Jawa Timur, Indonesia 60111
Email: amri@ppns.ac.id¹, hendribudi@ppns.ac.id², yudieko635@gmail.com³,
imamkhoirulrohmat@ppns.ac.id⁴

Abstrak

Dalam industri minyak dan gas, salah satu material yang digunakan adalah pipa baja carbon steel SA 333 Grade 6. Proses repair pada sambungan pengelasan sangat dihindari karena akan mengakibatkan kerusakan atau perubahan sifat mekanik. Dalam penelitian ini akan menggunakan 4 variasi yaitu tanpa repair, 1x repair, 2x repair, 3x repair. Menggunakan test coupon pipa 2" SCH 160 dengan desain sambungan single bevel dan proses repair dilakukan setengah dari ketebalan material. Hasil uji mikro menghasilkan ukuran butir yang semakin kecil seiring dengan meningkatnya jumlah repair. Jumlah repair akan meningkatkan persentase fasa pearlite di daerah HAZ. Hasil uji kekerasan menghasilkan nilai rata-rata kekerasan tertinggi pada daerah HAZ dengan tanpa repair 163.73 HVN, 1x repair 167.04 HVN, 2x repair 169.38 HVN, 3x repair 177.67 HVN. Hasil uji ketangguhan menghasilkan nilai rata-rata pada weld metal dengan tanpa repair 102.3 joule, 1x repair 101.33 joule, 2x repair 95 joule, dan 3x repair 88.66 joule. Nilai ketangguhan pada daerah HAZ dengan tanpa repair 149 joule, 1x repair 148.6 joule, 2x repair 146 joule, dan 3x repair 145 joule. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa semakin meningkatnya jumlah repair akan menaikkan nilai kekerasan tetapi akan menurunkan nilai ketangguhan dari sambungan pengelasan dan semuanya memenuhi keberterimaan yang diijinkan.

Kata Kunci: *Multiple Repair*, Kekerasan, Ketangguhan

Abstract

In the oil and gas industry, one of the materials used is SA 333 Grade 6 carbon steel pipe. The repair process on welding joints is avoided because it will cause damage or change in mechanical properties. In this experimental study will use 4 variations, namely without repair, 1x repair, 2x repair, 3x repair. Using a 2" SCH 160 test coupon pipe with a single bevel connection design and the repair process is carried out half of the thickness of the material. The results of the micro test resulted in a smaller grain size as the number of repairs increased. The amount of repair will increase the percentage of pearlite phase in the HAZ region. The results of the hardness test resulted in the highest average hardness value in the HAZ area with no repair, 1x repair, 2x repair, 3x repair respectively are 163.73, 167.04, 169.38, 177.67 HVN. The results of the toughness test resulted in the average value of weld metal without repair, 1x repair, 2x repair and 3x repair respectively are 102.3, 101.33, 95, and 88.66 joules. The toughness value in the of HAZ area without repair, 1x repair, 2x repair and 3x repair respectively are 149, 148.6, 146, and 145 joules. From these results it is concluded that the increasing number of repairs will increase the hardness value but will decrease the toughness value of the welding joint and all of them meet the allowable acceptability.

Keywords: Multiple Repair, Hardness, Toughness

1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas, khususnya pada service full gas yang dioperasikan pada suhu rendah memerlukan material khusus yaitu baja karbon rendah SA 333 Grade 6 atau sering disebut *Low Temperatur Carbon Steel* (LTCS). Material tersebut digunakan karena dapat bertahan pada temperatur rendah hingga -45°C [1]. Pada proses pengerjaan pengelasan pipa karbon tersebut tidak luput dengan hasil yang buruk sehingga proses *repair* atau

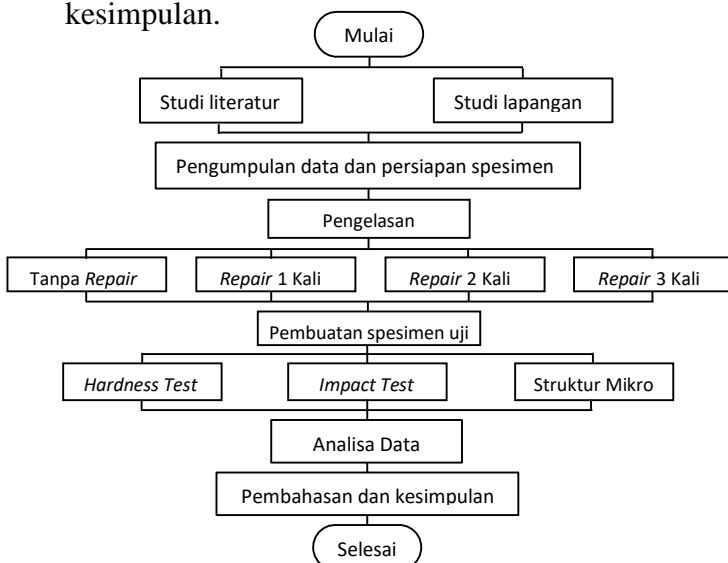
perbaikan harus segera dilakukan untuk menghilangkan suatu *discontinuitas* atau *defect* pada *weldmetal*. Perbaikan pengelasan di area yang sama akan berpengaruh terhadap ukuran butir, bahwa perbaikan pengelasan dapat meningkatkan pertumbuhan butir pada daerah HAZ terutama pada spesimen dengan ketebalan medium dan pertumbuhan butir ini dapat menurunkan ketangguhan karena peningkatan jumlah perbaikan pengelasan [2]. Proses *multiple repair* akan menyebabkan siklus termal tambahan, yang sangat

berpengaruh pada perubahan mikrostruktur yang signifikan, terjadinya deformasi dan sifat mekanis dari material. Baja karbon dikenal dengan sifat metalurgi yang sensitif terhadap masukan panas. Oleh karena itu, masukan panas yang berlebih akan berakibat pada hasil sifat mekanis material yang akan menjadi keras. Sehingga proses multiple repair akan sangat berpengaruh besar pada hasil stuktur mikro dari material dan perubahan sifat mekanisnya [3]. Namun, pada kenyataannya di lapangan terdapat beberapa masalah yang ada, sehingga setelah dilakukan 2 kali repair tetapi masih terdapat cacat akan tetap dilakukan proses repair ulang untuk menghemat biaya produksi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui analisa multiple repair pada material pipa karbon SA 333 grade 6 terhadap nilai kekerasan, ketangguhan, dan struktur mikro.

2. METODE

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan. Tahapan ini meliputi studi literatur dan studi lapangan, pengumpulan data dan persiapan spesimen, proses pengelasan, proses Tanpa Repair, Repair 1 kali, Repair 2 kali, Repair 3 kali, pembuatan spesimen uji, uji kekerasan, uji ketangguhan dan struktur mikro, analisa data, serta pembahasan dan kesimpulan.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Persiapan Spesimen

Pada penitlan ini menggunakan material SA 333 Grade 6 atau sering disebut *Low Temperatur Carbon Steel* (LTCS) dengan bentuk kampuh 1/2 V Groove 30°. Proses pengelasan yang digunakan adalah *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dengan logam pengisi ER 70S-6. Komposisi kimia material SA 333 Grade 6 dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan komposisi kimia ER 70S-6 dapat dilihat pada Tabel 2.

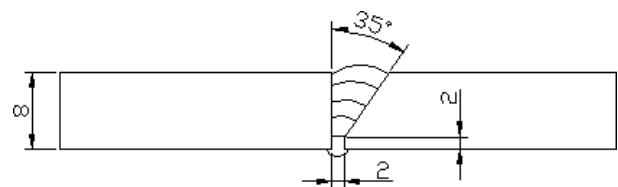
Tabel 1. Komposisi Kimia SA-333 Grade 6 [4]

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu
0,3	0,29-1,06	0,025	0,025	0,1	0,4	0,3	0,4

Tabel 2. Komposisi Kimia ER 70S-6 [5]

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Cu
0,07	1,47	0,012	0,011	0,9	0,02	0,02	0,18

Pada penelitian kali ini menggunakan material pipa diameter 2” SCH 160 dengan detail sambungan yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Sambungan

2.2 Proses Pengelasan

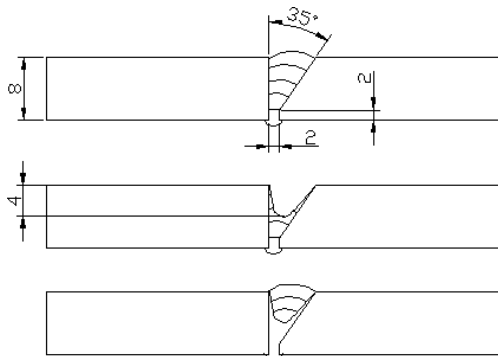
Dalam penelitian ini dilakukan dengan proses *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) dengan sambungan *butt joint* posisi pengelasan 1G. Prses pengelasan menggunakan *shielding gas* Argon dengan *flowrate* 8-20 L/min. Parameter pengelasan yang digungkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter Pengelasan

Layer	Voltage (V)	Current (A)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (Kj/mm)
Root	11,6	90	40	1,56
Hot pass	12,1	93	35,6	1,89
Filler	12,8	97	29,2	2,55
Capping	13	97	25,4	2,97

2.3 Proses Repair

Setelah proses pengelasan selesai, langkah selanjutnya adalah proses repair. Dalam penelitian ini dilakukan variasi jumlah *repair* yaitu 1 kali *repair*, 2 kali *repair*, dan 3 kali *repair*. Proses *repair* menggunakan gerinda tangan sampai kedalaman 50% dari ketebalan *base metal* di *weld metal* yang dapat dilihat pada Gambar 3. Dan dilakukan pengelasan kembali dengan menggunakan parameter pada Tabel 3.

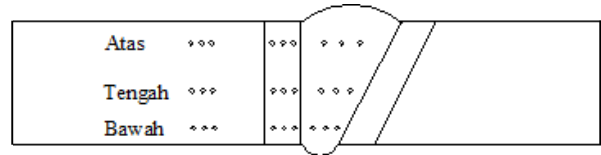


Gambar 3. Proses Repair

2.4 Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mendapatkan nilai kekerasan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode Vickers yang dilaksanakan dengan cara menekan benda uji atau spesimen dengan indenter pyramid intan yang berbalas bujur sangkar dengan sudut puncak antara dua sisi yang berhadapan adalah 136°. Pengujian ini dilakukan dengan beban 10 Kgf dan waktu tunggu 15 detik. Setelah itu ukur diagonal indentasi yang terbentuk, lalu lihat hasil pada

mesin uji. Pengujian ini dilakukan di daerah *Weld Metal*, *Heat Afective Zone (HAZ)*, dan *Base Metal*. Pada tiap daerah, dilakukan indentasi sebanyak 9 kali pada titik yang berbeda. Lokasi pengambilan uji kekerasan dapat dilihat pada Gambar 4.



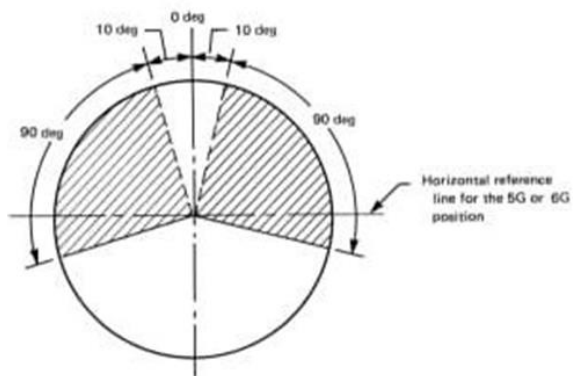
Gambar 4. Titik Pengambilan Uji Kekerasan

2.5 Pengujian Impact

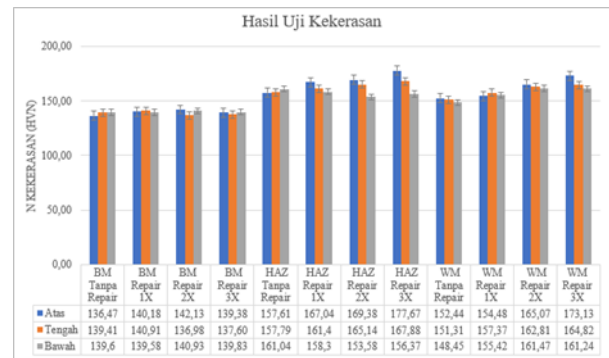
Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui ketanggauan dari sifat material. Metode yang dipakai adalah metode charpy dimana spesimen diletakkan mendatar dan kedua ujung spesimen ditumpu pada suatu landasan. Letak takikan (notch) tepat ditengah dengan arah pemukulan dari belakang takikan. Pengujian ini digunakan untuk mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dengan ayunan. Dalam pengujian impact ini dilakukan pada daerah HAZ dan weld metal menggunakan suhu -45°C dengan ukuran spesimen 7.5 mm x 10 mm x 55 mm dapat dilihat pada Gambar 5. Lokasi pengambilan uji *impact* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Suhu Impact yang digunakan



Gambar 6. Pengambilan Spesiemnn Uji Impact [6]



Gambar 7. Grafik Nilai Kekerasan dengan Variasi Multiple Ripair

2.6 Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro, yang pertama mempersiapkan spesimen terlebih dahulu dipoles menggunakan mesin dan kertas gosok hingga grade 2000 sampai terlihat sangat bersih dan tidak ada noda pada permukaannya. Setelah melakukan polishing, dilakukan etsa dengan menggunakan larutan nital 2% dengan komposisi 2 ml + 98 ml alkohol dan diuji mikro menggunakan mikroskop optik (OLYMPUS) dengan perbesaran 500x pada daerah *Heat Afective Zone (HAZ)*, *Base Metal*, dan *Weld Metal*. Kemudian dilakukan foto mikro.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan pada daerah *Weld Metal*, *Heat Afective Zone (HAZ)*, dan *Base Metal*. Proses pengambilan titik pada bagian atas adalah dimana material mengalami proses *repair*, pada bagian tengah dimana pengambilan titik hardness pada daerah dibawah dari kedalaman proses *repair* yang dilakukan guna melihat adanyak efek yang terjadi setelah proses *repair*, sedangkan pada daerah bawah adalah pada bagian yang tidak mengalami proses *repair*. Hasil pengujian kekerasan dapat dilihat pada Gambar 7.

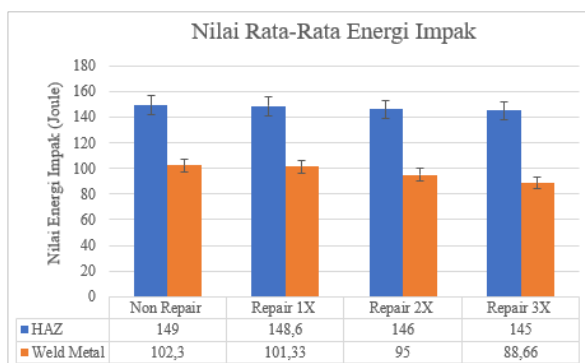
Data hasil pengujian hardness yang sudah dilakukan pada masing- masing variasi pada daerah atas, tengah, dan bawah pada daerah base metal memiliki nilai kekerasan dengan range yang sama. Sedangkan dari data hasil pengujian pada daerah atas pada HAZ memiliki nilai kekerasan yang semakin naik seiring dengan banyaknya jumlah *repair*. Hal ini disebabkan adanya proses *repair* yang terus dilakukan akan menyebabkan perubahan bentuk butir yang semakin kecil sehingga menyebabkan material tersebut menjadi lebih keras. Perbaikan pengelasan di area yang sama akan berpengaruh terhadap ukuran butir, bahwa perbaikan pengelasan dapat mempengaruhi ukuran butir pada daerah HAZ terutama pada spesimen dengan ketebalan medium dan ukuran butir ini dapat menurunkan ketangguhan karena peningkatan jumlah perbaikan pengelasan [2][7].

Hasil pengujian di daerah atas pada weld metal di semua variasi daerah tersebut adalah daerah yang mengalami proses *repair* sehingga dengan adanya proses *repair* tersebut nilai kekerasan dari meningkatnya jumlah *repair* juga meningkatkan nilai kekerasan pada daerah weld metal tersebut. Namun, nilai kekerasan yang dihasilkan lebih kecil dari nilai kekerasan pada daerah HAZ. Hal ini terlihat dari ukuran butir yang dihasilkan pada hasil pengujian mikro di daerah weld metal cenderung lebih besar dibandingkan pada daerah HAZ yang cenderung lebih kecil.

Pada daerah tengah di HAZ dan weld metal pada semua variasi memiliki nilai kekerasan juga cenderung naik dengan meningkatnya jumlah repair. Hal ini disebabkan pada daerah tersebut merupakan daerah yang terpapar panas akibat adanya proses repair, sehingga daerah tersebut juga mengalami tambahan masukan panas yang menyebabkan naiknya nilai kekerasan meskipun nilai kekerasan pada daerah tengah masih di bawah nilai kekerasan pada daerah atas. Pada daerah bawah di HAZ dan weld metal dimana titik pengujian hardness dilakukan pada bagian bawah material yang tentunya juga mengalami tambahan masukan panas lebih kecil dari pada di daerah tengah. Oleh karena itu, nilai kekerasan pada daerah bawah cenderung lebih stabil dibanding dengan nilai kekerasan pada daerah atas dan daerah tengah.

3.2 Uji Impact

Pada pengujian impact dilakukan pengambilan 24 specimen uji pada daerah *weld metal* dan HAZ serta diuji pada suhu -45°C . Hasil yang didapatkan dari pengujian ini adalah energi impact. Hasil rata-rata energi impact bisa dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Nilai Rata – Rata Energi Impact dengan variasi *Multiple Ripair*

Hasil pengujian impact didaerah HAZ dan *weld metal* memiliki grafik menurun seiring dengan meningkatnya jumlah repair. Nilai rata-rata ketangguhan di HAZ lebih tinggi dibanding dengan weld metal dimana dengan variasi tanpa repair 149 joule, 1x repair 148.6

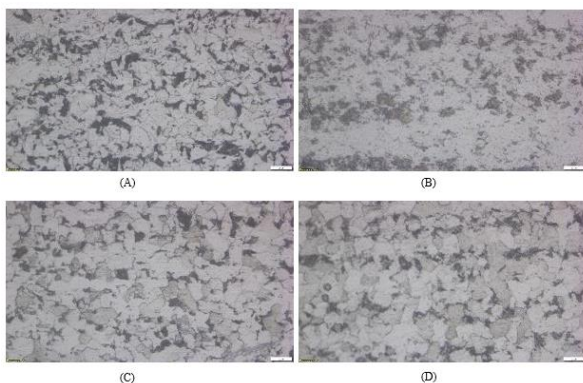
joule, 2x repair 146 joule, 3x repair 145 joule. Sedangkan pada *weld metal* variasi tanpa repair 102.3 joule, 1x repair 101.33 joule, 2x repair 95 joule, 3x repair 88.66 joule. Peningkatan jumlah *repair* akan mempengaruhi penurunan yang signifikan dalam penyerapan energi pada pengujian impact. Pada penelitian tersebut kekuatan impact dari base metal lebih tinggi dari pada HAZ, tetapi pada saat peningkatan jumlah perbaikan ketangguhan akan menurun. Meningkatnya jumlah repair berakibat besarnya heat input yang masuk pada material. Sehingga proses repair akan menurunkan kekuatan dari ketangguhan material [8][9][10].

Kasus tersebut tidak semua hasil pengujian antara naiknya nilai kekerasan akan memperoleh nilai ketangguhan yang rendah. Hal lain yang perlu diperhatikan adalah komposisi dari setiap material berbeda, sehingga akan menimbulkan perbedaan hasil pada setiap pengujiannya. Nilai ketangguhan yang tinggi di daerah HAZ disebabkan adanya kandungan nikel yang tinggi dari komposisi logam induk. Sedangkan nilai ketangguhan yang rendah pada weld metal disebabkan oleh kandungan nikel yang sedikit pada komposisi dari filler metal yang digunakan sehingga nilai ketangguhan dari weld metal menjadi rendah. Hasil pengujian impact pada weld metal grafik yang dihasilkan seiring dengan meningkatnya jumlah repair menghasilkan nilai ketangguhan yang semakin turun. Hal ini juga sejajar dengan meningkatnya nilai kekerasan pada weld metal dari peningkatan jumlah repair sehingga weld metal semakin keras yang membuat material semakin getas.

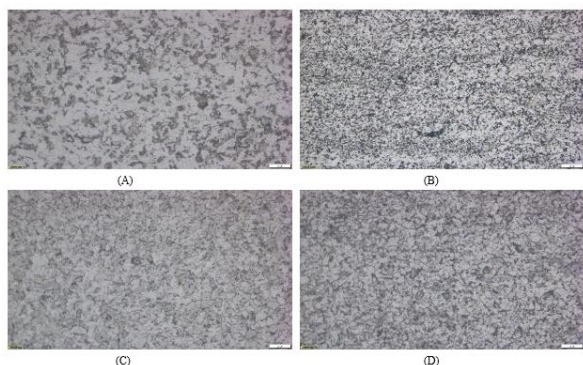
3.3 Uji Struktur Mikro

Pengujian mikro merupakan pengujian yang digunakan untuk melihat microstructure yang terdapat pada material dengan daerah-daerah tertentu. Pada pengujian mikro etsa dilakukan pengambilan gambar pada beberapa daerah diantaranya adalah *base metal*, HAZ, dan *weld metal*. Pada pengujian mikro ini

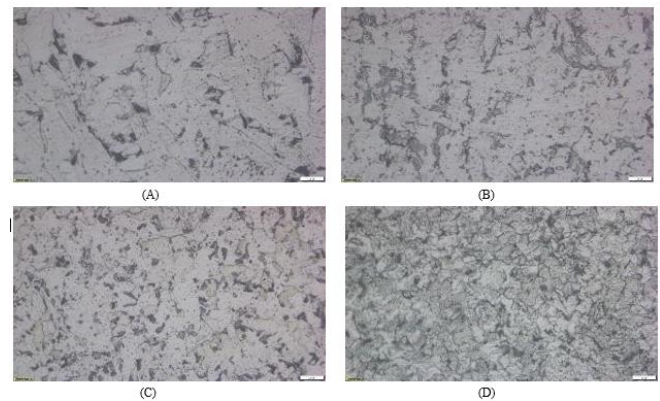
dilakukan dengan menggunakan perbesaran 500x guna melihat secara lebih detail *microstructure* yang terjadi. Hasil pengujian mikro ini dilakukan pada daerah yang terjadi proses *repair* yaitu pada bagian yang terkena proses *repair*. Pada pengujian struktur mikro hasil yang diharapkan adalah untuk mengidentifikasi fasa senyawa yang terdapat pada variasi material setelah dilakukan pengelasan. Senyawa yang terbentuk pada material SA 333 Grade 6 yaitu *pearlite* dan *ferrite*. Berdasarkan hasil pengujian mikro dapat teridentifikasi adanya *pearlite* dan *ferrite*. Hasil pengujian ini juga sesuai dengan penelitian [1], dimana terdapat *pearlite* dan *ferrite* pada hasil foto mikro material SA 333 Grade 6. Karakteristik *pearlite* dan *ferrite* ditunjukkan dengan warna hitam untuk *pearlite* dan warna putih untuk *ferrite* [11]. Pada pengujian ini pengambilan foto mikro di daerah *Base Metal*, *Heat Affective Zone (HAZ)*, dan *Weld Metal* yang dapat dilihat pada Gambar 9,10, dan 11



Gambar 9. Struktur mikro pada *base metal*: (a) tanpa repair; (b) 1x repair; (c) 2x repair; (d) 3x repair



Gambar 10. Struktur mikro pada HAZ: (a) tanpa repair; (b) 1x repair; (c) 2x repair; (d) 3x repair



Gambar 11. Struktur mikro pada *weld metal*: (a) tanpa repair; (b) 1x repair; (c) 2x repair; (d) 3x repair

Gambar dapat dilihat bahwa dari seluruh hasil pengujian mikro struktur ferrite terlihat berwarna putih terang sedangkan struktur pearlite berwarna hitam kegelapan. Baja karbon rendah atau *Low Carbon Steel* memiliki dua struktur penyusun utama yaitu pearlite dan ferrite. Pearlite didefinisikan sebagai daerah yang gelap pada mikrostruktur, dan terdiri dari campuran partikel ferrite dan karbida besi. Pearlite banyak ditemukan terletak di sepanjang batas butir ferrite [1][12].

Peningkatan jumlah repair akan mempengaruhi struktur mikro pada daerah HAZ. Dengan peningkatan jumlah repair seperti pada ukuran butir akan semakin kecil dan semakin rapat dengan meningkatnya jumlah repair. Sehingga dengan ukuran butir yang semakin kecil dan rapat maka pada daerah HAZ akan mengalami sifat mekanik yang semakin keras [3][13].

Hasil pengujian tersebut dapat terlihat bahwa adanya pengulangan proses repair pada material akan membuat struktur yang terbentuk mengalami perubahan. Pada daerah HAZ struktur yang terbentuk akibat proses repair akan mengalami perubahan ukuran butir yang semakin kecil. Dari peningkatan jumlah repair, fasa ferrite yang lebih banyak persentasenya akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya persentase fasa pearlite. Hasil persentase perhitungan fasa melalui imageJ dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Persentase Fasa Daerah HAZ

Variasi	Persentase (%)	
	Ferrite	Pearlite
Tanpa Repair	56,29	43,71
1x repair	56,06	43,94
2x repair	51,36	48,64
3x repair	50,93	49,07

Adanya proses repair pada material tentu akan sangat berpengaruh pada daerah HAZ dikarekan daerah HAZ hanya akan menerima masukan panas yang terus menerus sehingga akan berpengaruh terhadap struktur mikro yang akan terjadi. Dari proses repair tersebut, material yang mengalami 3x proses repair memiliki struktur yang lebih didominasi oleh pearlite yang lebih banyak. Hal ini juga berkaitan dengan nilai kekerasan yang terjadi, sehingga dari hasil pengujian mikro tersebut nilai kekerasan yang memiliki nilai rata-rata tertinggi adalah pada bagian HAZ.

4. KESIMPULAN

Hasil dari uji kekerasan menghasilkan nilai rata-rata tertinggi pada variasi 3x repair di bagian HAZ terutama pada bagian yang terkena proses repair yaitu daerah atas spesimen dikarenakan ukuran butir yang semakin kecil dan fasa pearlite yang terbentuk semakin bertambah. Sedangkan nilai rata-rata terendah berada pada bagian yang tidak terkena proses repair yaitu pada daerah bawah spesimen. Pada daerah tengah nilai kekerasan pada HAZ dan weld metal juga cenderung naik diakibatkan dari adanya proses repair yang terjadi. Dari semua hasil rata-rata nilai kekerasan masih dibawah dari batas yang diijinkan oleh prosedur yaitu 248 HVN dari 2x proses repair yang diijinkan.

Hasil dari pengujian impak menunjukkan bahwa semakin banyak proses repair nilai ketangguhan akan semakin menurun. Sehingga nilai terendah dari ketangguhan material adalah pada 3x proses repair. Namun pada daerah HAZ memiliki nilai rata-rata

ketangguhan yang tinggi dibanding dengan *weld metal*. Hal ini disebabkan pengaruh dari komposisi material yang merupakan nickel based alloy sehingga memiliki ketangguhan yang tinggi meskipun pada suhu ekstrim. Dengan hasil tersebut nilai ketangguhan pada HAZ dan weld metal akan semakin menurun dengan meningkatnya jumlah repair. Dari semua rata-rata pengujian impak pada daerah HAZ dan *weld metal* memenuhi syarat keberterimaan minimum dari nilai ketangguhan pengujian impak dengan ukuran spesimen 7.5 mm x 10 mm x 55 mm yaitu sebesar 14 joule [4].

Hasil Struktur mikro pada variasi tanpa repair, 1x repair, 2x repair, dan 3x repair di bagian HAZ memiliki persentase ferrite yang lebih banyak. Namun dengan semakin banyaknya jumlah repair cenderung memiliki kadar pearlite yang bertambah

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada PPNS surabaya yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Efzan, M. N. E., Kesahvanveraragu, S., & Emerson, J.. "Microstructural Characterization and Hardness Properties of A333 Grade 6 Low Carbon Steel in Offshore Platform Pipelines". *Journal of Advanced Research in Materials Science* . vol. 2, no. 1, pp. 1-9, 2014.
- [2] Vega, O. E., Hallen, J. M., Villagomez, A., & Contreras, A.. "Effect of multiple repairs in girth welds of pipelines on the mechanical properties". *Materials Characterization*, 59(10), 1498–1507. 2008.<https://doi.org/10.1016/j.matchar.2008.01.011>
- [3] Chelah, N., & Hussin, M. H.. "*Repeated Weld Repair and its Influence on Welded Carbon Steel*". *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(3), 714–722. 2020

- <https://doi.org/10.35940/ijeat.b3234.029320>
- [4] ASME Section II part A. *Ferrous Material Specifications*, New York THE AMERICA SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2019
- [5] ASME Section II part C. *Specification for Welding rods, Electrodes, and Filler Metal*, New York THE AMERICA SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2019
- [6] ASME Section IX. *Welding, Brazing, and Fusing Qualification, and Filler Metal*, New York THE AMERICA SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS. 2019
- [7] Suherman, Herbanu Dwi Kuncoro, Ilmi Abdullah, Susri Mizhar ,” Analisa Hasil Pengelasan Baja SA333 Grade 6 Untuk Aplikasi PLTN. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 22, No. 1, pp 9-17. 2020
- [8] AghaAli, I., Farzam, M., Golozar, M. A., & Danaee, I. (2014). The effect of repeated repair welding on mechanical and corrosion properties of stainless steel 316L. *Materials and Design*, 54, 331– 41. 2014
doi.org/10.1016/j.matdes.2013.08.052
- [9] P.C. Chakraborti, A. Kundu, B.K. Dutta, “Weibull analysis of low temperature fracture stress data of 20MnMoNi55 and SA333 (Grade 6) steels”, *Materials Science & Engineering A* 594, pp 89-97. 201
- [10] G. Samuela, V. Ganesana, K.B. Sankara Rao, S.L. Mannana , H.S. Kushwahab, “Strain controlled LCF behaviour of SA-333 Gr 6 piping material in the range 298–673 K”, *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 81, pp 973–981, 2004
- [11] Pratiwi, Y. R. dan Wibowo, S. S. “Pengaruh Jumlah Elektroda dan Jumlah Pass Terhadap Uji Kekerasan Hasil Pengelasan dan Struktur Mikro pada Proses Pengelasan Shielded Metal Arc Welding”. Blitar: Universitas Nahdlatul Ulama, 2019
- [12] Jiang, W., Luo, Y., Zhang, G., Woo, W., & Tu, S. T.. Experimental to study the effect of multiple weld-repairs on microstructure, hardness and residual stress for a stainless steel clad plate. *Materials and Design*, 51, 1052–1059. 2013
<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.027>
- [13] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. *MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING AN INTRODUCTION*. *Materials & Design*, 12(1), 1000. 2010
<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306991901019>