



PENGARUH *REPAIR LAS GMAW* TERHADAP KEKUATAN TARIK, KEKERASAN, DAN STRUKTUR MIKRO PADA MATERIAL BAJA A36

D. Pratama¹, I. Yuwono^{2*}, A. T. A. Salim³, M. Muzaki⁴, Suparman⁵

^{1, 2*, 3}Jurusan Teknik, Program Studi Perkeretaapian Politeknik Negeri Madiun, Madiun 63133

⁴Jurusan Teknik, Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan Politeknik Negeri Malang, Malang 65141

⁵Divisi Teknologi Specialist Muda Welding Engineer, Departemen Design PT INKA, Madiun 63122

Email: ¹diaazpratama@gmail.com, ^{2*}indarto@pnm.ac.id, ³alfitranggono@pnm.ac.id, ⁴mochamad.muzaki@polinema.ac.id, ⁵suparman.we@gmail.com

*Corresponding Author

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 04/08/2022
Naskah Direvisi 10/02/2023
Naskah Disetujui 29/06/2023
Naskah Online 30/06/2023

ABSTRACT

Welding is a technique of joining metal materials that has a detrimental impact in the form of defects in the material, especially welded joints, in the weld joint area with improper welding procedures resulting in weld defects in the material, changes in the crystal structure and mechanical properties of material. This research method is carried out by re-welding or repairing the defective material. The purpose of this study is to analyze and compare the mechanical properties of repair results with welded joints without repair. The repair process uses a variety of repair 2 times, repair 3 times, and repair 4 times by welding GMAW on A36 steel material. The results of the study were mechanical properties of the material in the form of the crystal structure of the specimen, the value of the hardness test and the ultimate tensile strength, microstructure testing there is a crystal structure of perlite and ferrite. The highest hardness test value is repair 2 times 170 HV, without repair 166 HV, repair 3 times 163.3 HV, and repair 4 times 162.8 HV on weld metal. The result of ultimate strength variation without repair 485 N/mm², repair 2 times 466.5 N/mm², repair 3 times 466.5 N/mm², repair 4 times 468 N/mm² with tensile test fracture located in the base metal area, the result of ultimate tensile strength repair 2 times, repair 3 times, repair 4 times is still within the minimum tensile provision of ASTM A36 steel material of 452 N/mm² so that welded joints that are made up to 4 times repair can be used.

Keywords: GMAW welding, microstructure, hardness test, tensile test, repair.

1. PENDAHULUAN

Teknologi pengelasan di dunia industri saat ini banyak sekali digunakan. Baja yang merupakan logam ferro banyak digunakan dalam pembuatan alat perkakas, konstruksi kereta api, konstruksi kapal, komponen otomotif. Dalam proses pengelasan, repair pengelasan atau pengelasan ulang dapat mengakibatkan terjadinya deformasi, cacat las, atau berubahnya metalurgi material. Saat dilakukan proses repair, pada logam las dan HAZ (Heat Affected Zone) akan menyebabkan pemanasan maksimum kemudian diikuti pendinginan yang dapat memengaruhi struktur mikro dari logam las dan pembentukan HAZ. Salah satu proses pengelasan yaitu pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding) yaitu pengelasan gas dengan kawat rol sebagai bahan pengisi.

Pengelasan repair digunakan memperbaiki material yang mengalami kerusakan saat proses pengelasan berlangsung [1]. Kualitas pengelasan dapat dipengaruhi oleh material logam yang digunakan, salah satu jenis material logam memiliki sifat mampu dilas

dengan baik antara lain baja paduan rendah, penelitian ini menggunakan plat baja ASTM A36 yang merupakan salah satu baja karbon rendah dan banyak digunakan pada bidang konstruksi [2].

Proses repair pengelasan dapat mengakibatkan perubahan sifat mekanik dan struktur pada material. Pada proses repair, daerah weld metal memiliki nilai kekerasan vickers tertinggi dibandingkan dengan daerah HAZ [3]. Struktur mikro dari hasil pengelasan ulang GMAW terjadi perubahan di daerah logam lasan dan daerah HAZ, hal ini dikarenakan semakin besar panas yang diberikan pada material membuat butir perlit menjadi semakin menyebar [4]. Semakin banyak dilakukan proses repair pada material, kekuatan tarik pada material semakin rendah dan mengurangi sifat keuletan material menjadi lebih getas dikarenakan proses perlakuan panas yang berlebih pada saat dilakukan proses repair [5]. Pada proses pengelasan tidak hanya dilakukan penyambungan dua bagian material, tetapi dilakukan pemberian bahan tambah yang dikehendaki sehingga memiliki kekuatan las yang

optimal, kekuatan sambungan las dipengaruhi faktor dari material, elektroda, prosedur pengelasan dan jenis kampuh yang digunakan [6].

penelitian ini menganalisis dan membandingkan sifat mekanis hasil repair dengan sambungan las tanpa repair. Proses repair menggunakan pengelasan GMAW posisi 1G variasi repair 2 kali, repair 3 kali, dan repair 4 kali terhadap uji tarik, uji kekerasan vickers, dan uji struktur mikro pada plat baja ASTM A36.

2. METODE PENELITIAN
2.2 Alat dan Bahan

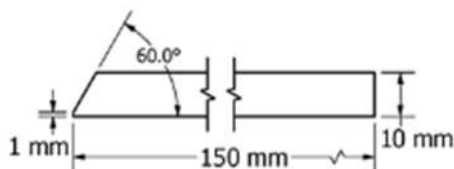
Penelitian ini terdapat alat bantu sebagai penunjang dalam pengaruh *repair* las GMAW terhadap kekerasan *vickers*, kekuatan tarik, dan struktur mikro pada material plat baja A36. Berikut alat, bahan yang digunakan pada tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan penelitian

Alat	Bahan
Mesin Las GMAW	Plat Baja A36
Mesin CNC Plasma Cutting	Wire ER 70 S-6 (1.2 mm)
Mesin Uji MTS Exceed E64	Gas argon 82% & CO ₂ 18%
Mikroskop optik	Mata gerinda (potong, batu, dan wire brush)
Mesin Polisher	Kertas amplas
Multi Vickers Hardness Tester	Cairan etsa nital
Gerinda Tangan	Alkohol
Welding Gauge	Autosol

2.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan proses pengelasan GMAW posisi pengelasan 1G, elektroda ER 70 S-6 diameter 1.2 mm, gas argon balance (argon 82 % + CO₂ 18 %) dan menggunakan plat baja ASTM A36 dimensi panjang 400 mm, lebar 150 mm dan tebal 10 mm menggunakan sambungan V groove sudut 30°, rootface 1 mm (gambar 1)

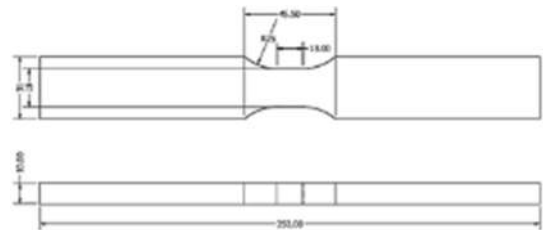


Gambar 1. Sudut bevel

Setelah dilakukan proses pengelasan pada spesimen dan suhu specimen sama dengan suhu ruangan maka dilakukan uji visual test yang kemudian dilakukan proses repair gouging pada hasil pengelasan dengan menghilangkan capping hingga filler, kemudian dilakukan proses pengelasan ulang sesuai

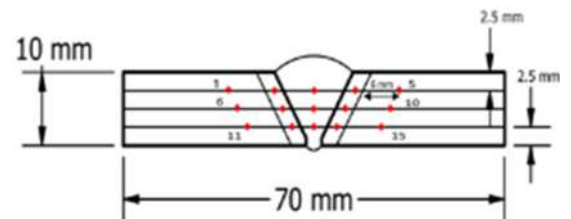
dengan variasi *repair* menggunakan arus yang sudah ditentukan seperti proses awal sebelum dilakukan *repair*.

Pembuatan spesimen uji memperhitungkan dengan jumlah pengujian yang digunakan. Uji tarik menggunakan standar ASME section IX QW 462.1(a) [7] dengan ukuran yang tercantum pada gambar 2, uji tarik menggunakan mesin uji tarik MTS Exceed E64 yang dilakukan di Laboratorium Uji Bahan.



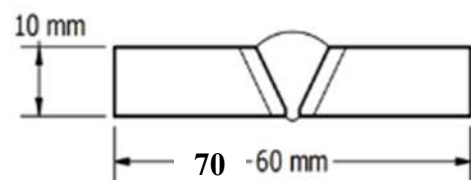
Gambar 2. Dimensi uji tarik sesuai ASME section IX

Uji kekerasan hardness vickers menggunakan standar ASTM E92 [8]. Titik uji sebanyak 15 titik pada setiap spesimen uji 6 titik pada *base metal* kanan dan kiri, 6 titik daerah HAZ kanan dan kiri, 3 titik pada *weld metal*, uji kekerasan dilakukan di laboratorium uji bahan.



Gambar 3. Titik uji kekerasan

Uji struktur mikro menggunakan standar ASTM E3 [9] dengan menggunakan mikroskop optik *olympus* untuk melakukan pengamatan dan mesin *polisher saphir 330* untuk pembuatan spesimen yang akan diuji. uji struktur mikro dilakukan di laboratorium uji bahan.



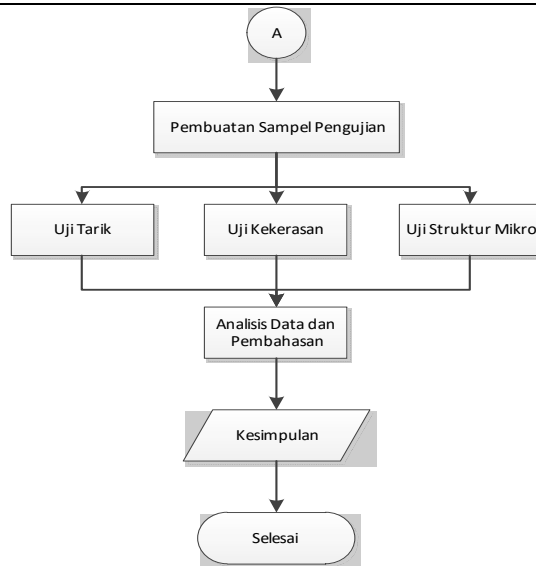
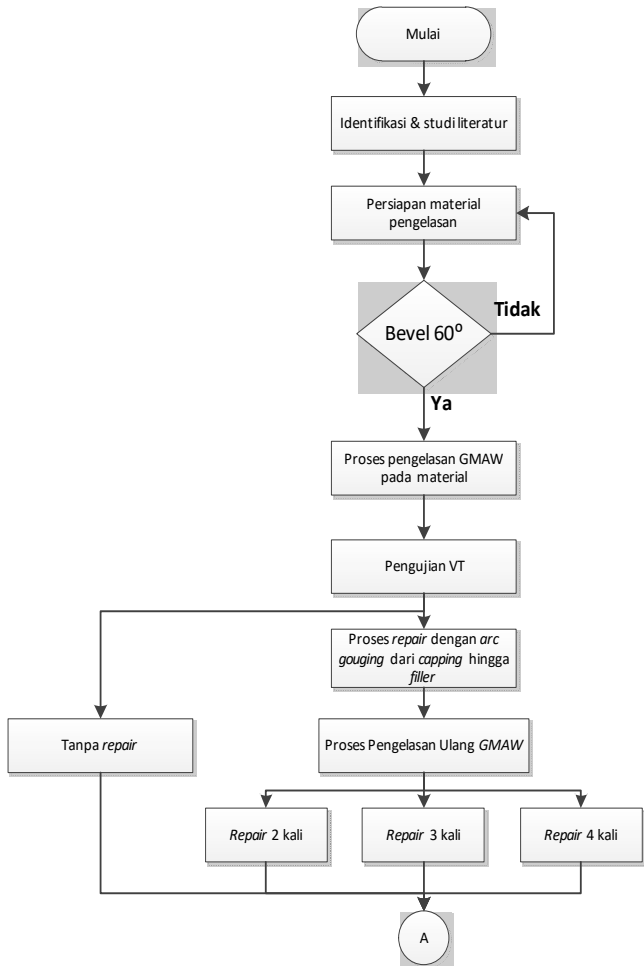
Gambar 4. Spesimen uji struktur kekerasan

Gambar 4 merupakan ukuran spesimen uji mikro dengan dimensi 70 x 25 x 10 mm.

2.4 Prosedur Penelitian (Flowchart)

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya studi literatur, persiapan spesimen

yang akan digunakan, proses pengelasan, proses *repair*, pembuatan spesimen uji, uji tarik, uji kekerasan *vickers*, uji struktur mikro, analisis data uji, kesimpulan dan saran. Metode penelitian ini dijelaskan seperti gambar 5.

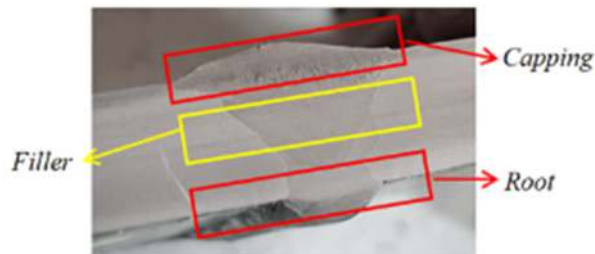


Gambar 5. Flowchart penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Hasil Struktur Mikro

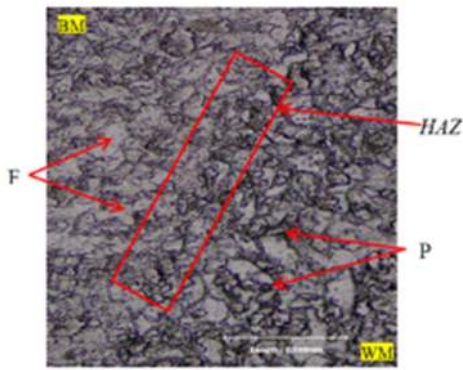
Uji struktur mikro spesimen menggunakan mikroskop *olympus BX53M* dilakukan untuk mengamati bentuk struktur mikro yang terjadi pada daerah *weld metal*, *HAZ*, dan *base metal* akibat *repair* pengelasan, sebelum dilakukan pengamatan spesimen uji dioles cairan nital pada permukaan yang akan diamati.



Gambar 6. Hasil pengolesan cairan nital

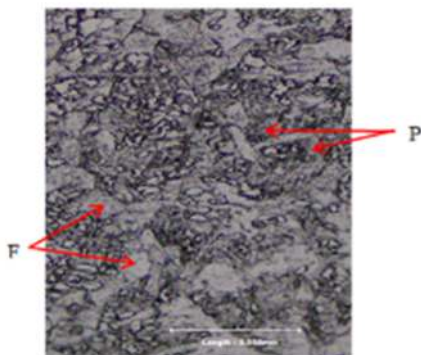
Gambar 6 merupakan hasil yang sudah dilakukan pengolesan cairan nital dan terlihat antara batas-batas antara *root* pengelasan, *filler* pengelasan dan *capping* pengelasan.

1. Hasil Uji Struktur Mikro Tanpa *Repair*
 Hasil uji struktur mikro perbesaran 500 kali pada spesimen tanpa *repair* terlihat di gambar 7.



Gambar 7. Struktur mikro HAZ dan base metal tanpa repair

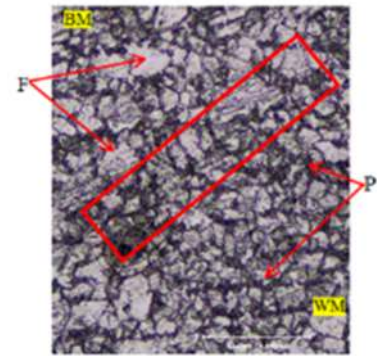
Gambar 7 menunjukkan struktur mikro base metal dan HAZ spesimen tanpa repair, pada daerah HAZ gambar 7 terlihat cukup jelas batas antara base metal yang didominasi warna putih dan sedikit kehitaman dengan weld metal yang didominasi warna hitam. Struktur mikro pada daerah HAZ terdapat ferit dan perlit, dimana perlit yang berwarna hitam lebih mendominasi. Sedangkan yang tidak dominan pada daerah HAZ adalah ferit yang berwarna putih, banyaknya perlit pada daerah HAZ menunjukkan nilai kekerasan vickers yang tinggi [10] dibandingkan base metal.



Gambar 8. Struktur mikro weld metal tanpa repair

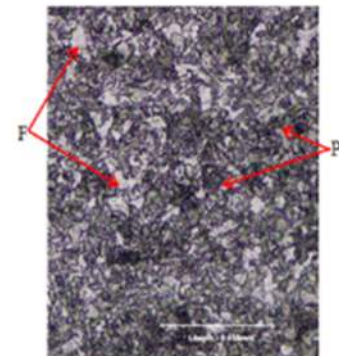
Gambar 8 menunjukkan hasil struktur mikro weld metal tanpa proses repair, pada daerah weld metal didominasi ferit yang berbentuk halus berwarna putih dibandingkan dengan perlit yang berwarna kehitaman. Ferit memiliki tingkat kekerasan antara 140 sampai 180 HV, jika struktur mikro didominasi ferit maka spesimen bersifat ulet [10].

2. Hasil Uji Struktur Mikro Repair 2 kali
Hasil uji struktur mikro dengan perbesaran 500 kali pada spesimen dengan repair 2 kali terlihat pada gambar 9



Gambar 9. Struktur mikro HAZ dan base metal repair 2 kali

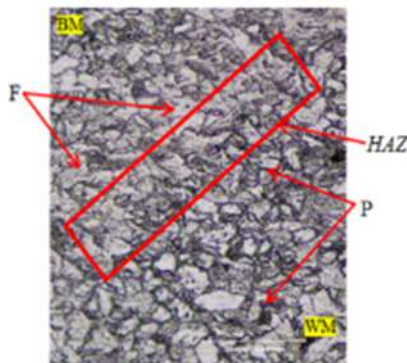
Gambar 9 menunjukkan struktur mikro HAZ dan base metal spesimen repair 2 kali, pada daerah HAZ gambar 9 terlihat cukup jelas batas antara base metal dengan weld metal. Pada weld metal didominasi warna hitam sedangkan struktur mikro pada daerah HAZ adalah perlit yang berwarna hitam lebih mendominasi dibandingkan ferit yang berwarna putih, daerah weld metal terlihat struktur mikro perlit, semakin halus struktur pada daerah weld metal maka tingkat kekerasan meningkat. Struktur weld metal lebih halus dibandingkan dengan daerah HAZ sehingga tingkat kekerasan daerah HAZ dibawah weld metal dan tingkat kekerasan base metal dibawah daerah HAZ.



Gambar 10. Struktur mikro weld metal repair 2 kali

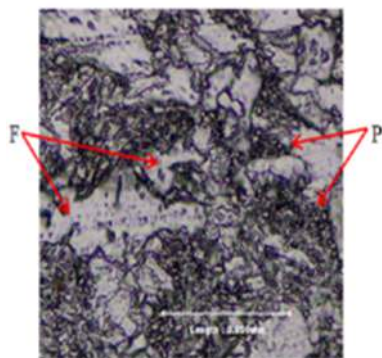
Gambar 10 menunjukkan hasil struktur mikro weld metal dengan proses repair 2 kali, pada daerah weld metal didominasi perlit yang berbentuk halus berwarna kehitaman dibandingkan dengan ferit yang berwarna putih. Jika struktur mikro weld metal didominasi perlit maka spesimen bersifat keras dan semakin halus struktur pada daerah weld metal maka tingkat kekerasan meningkat [10].

3. Hasil Uji Struktur Mikro *Repair* 3 kali
Hasil uji struktur mikro dengan perbesaran 500 kali pada spesimen dengan *repair* 3 kali terlihat pada gambar 11



Gambar 11. Struktur mikro *HAZ* dan *base metal repair* 3 kali

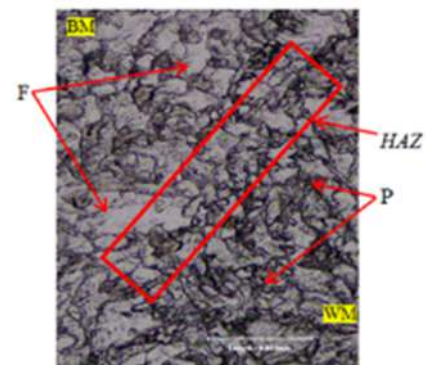
Gambar 11 menunjukkan struktur mikro *base metal* dan *HAZ* spesimen *repair* 3 kali, pada daerah *HAZ* gambar terlihat cukup jelas batas antara *base metal* dengan *weld metal*. Pada *weld metal* didominasi warna hitam sedangkan struktur mikro pada daerah *HAZ* ferit berwarna putih lebih mendominasi dibandingkan perlit yang berwarna hitam, struktur daerah *HAZ* lebih kasar dibandingkan dengan *base metal*, semakin kasar fasa pada daerah *HAZ* maka tingkat kekerasan menurun dibandingkan dengan *weld metal* dan *base metal*.



Gambar 12. Struktur mikro *weld metal repair* 3 kali

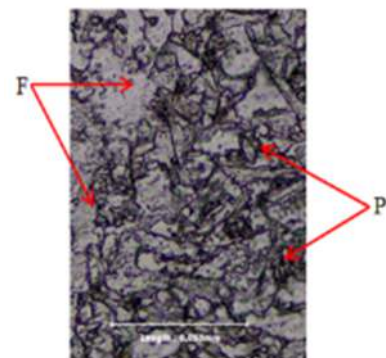
Gambar 12 merupakan hasil struktur mikro *weld metal* dengan proses *repair* 3 kali, pada daerah *weld metal* didominasi perlit yang berbentuk halus berwarna kehitaman dibandingkan dengan ferit yang berwarna putih. Jika struktur mikro *weld metal* didominasi perlit maka spesimen bersifat keras dan semakin halus struktur pada daerah *weld metal* maka tingkat kekerasan meningkat.

4. Hasil Uji Struktur Mikro *Repair* 4 kali
Hasil uji struktur mikro dengan perbesaran 500 kali pada spesimen dengan *repair* 4 kali terlihat pada gambar 13.



Gambar 13. Struktur mikro *HAZ* dan *base metal repair* 4 kali

Gambar 13 merupakan struktur mikro *base metal* dan *HAZ* spesimen *repair* 4 kali, pada kotak merah daerah *HAZ* terlihat cukup jelas batas antara *base metal* dengan *weld metal*. Pada *base metal* didominasi ferit berwarna putih dengan struktur lebih besar dibandingkan dengan *weld metal* dan *HAZ*, sedangkan struktur mikro pada daerah *weld metal* perlit berwarna hitam lebih mendominasi, semakin kasar struktur *base metal* tingkat kekerasan menurun. Daerah *base metal* memiliki tingkat kekerasan yang rendah dibandingkan *weld metal* dan *HAZ*.



Gambar 14. Struktur mikro *weld metal repair* 4 kali

Gambar 14 merupakan hasil struktur mikro *weld metal* proses *repair* 4 kali, pada daerah *weld metal* didominasi perlit yang berbentuk halus berwarna kehitaman dibandingkan dengan ferit yang berwarna putih [10]. Jika struktur mikro *weld metal* didominasi perlit maka spesimen bersifat keras dan semakin halus fasa pada daerah *weld metal* maka tingkat kekerasan meningkat.

3.2 Analisis Hasil Uji Kekerasan

Pada uji kekerasan *vickers* ini digunakan untuk mengetahui tingkat kekerasan material dengan spesimen variasi tanpa *repair*, *repair* 2 kali, *repair* 3 kali dan *repair* 4 kali. Uji dilakukan di laboratorium uji bahan. Uji kekerasan dilakukan didaerah *base metal*, *weld metal*, dan *HAZ* yang terdapat lima belas titik uji dengan beban yang diberikan sebesar 60 kgf, setiap titik mempunyai nilai kekerasan *vickers* yang berbeda, tetapi dari hasil yang berbeda dapat diambil nilai rata-rata kekerasan. Nilai kekerasan *vickers* di lima belas titik pada setiap daerah dengan variasi tanpa *repair*, *repair* 2 kali, *repair* 3 kali, *repair* 4 kali di dapat dan dibuatlah grafik perbandingan nilai kekerasan *vickers* spesimen.

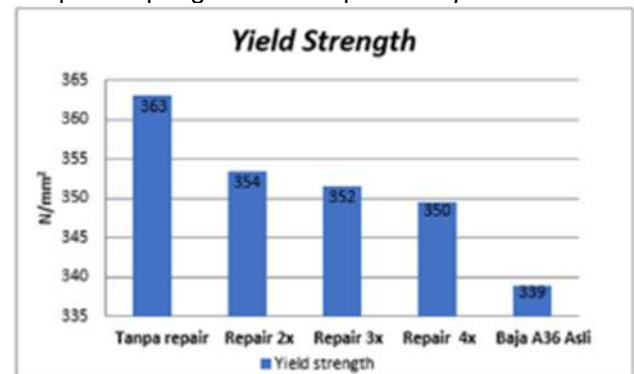


Gambar 15. Rata-rata hasil uji kekerasan

Gambar 15 merupakan grafik rata-rata hasil uji kekerasan, dapat dilihat nilai kekerasan *vickers* tertinggi pada daerah *weld metal* dan memiliki struktur mikro dimana fasa perlit lebih mendominasi dibandingkan dengan fasa ferit. Pada daerah *weld metal* variasi tanpa *repair* memiliki tingkat kekerasan sebesar 166 HV, variasi *repair* 2 kali memiliki nilai sebesar 170 HV, variasi 3 kali *repair* memiliki nilai sebesar 163.3 HV, dan variasi 4 kali *repair* memiliki nilai sebesar 162.8 HV. Berdasarkan gambar 15 menunjukkan nilai kekerasan *Vickers* daerah *weld metal* lebih tinggi dibanding *HAZ* dan *base metal* hal ini dikarenakan pada daerah *weld metal* mendapat bahan tambahan kawat logam yang mengisi diantara celah spesimen yang dilakukan proses pengelasan [6], sedangkan tingkat kekerasan yang paling rendah terdapat pada daerah *base metal* dikarenakan *base metal* mendapat pengaruh panas berulang. Pada *repair* 3 kali nilai kekerasan *vickers* *HAZ* lebih rendah dari *base metal* dikarenakan saat pengamatan struktur mikro pada spesimen *repair* 3 kali, terlihat struktur daerah *HAZ* lebih kasar dibandingkan dengan *base metal*, semakin kasar fasa pada daerah *HAZ* maka tingkat kekerasan menurun, oleh karena itu daerah *HAZ* *repair* 3 kali memiliki tingkat kekerasan yang rendah dibandingkan dengan *base metal*.

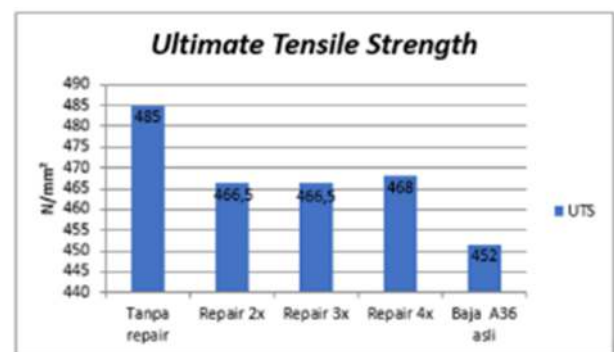
3.3 Analisis Hasil Uji Tarik

Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapat nilai *yield strength*, *ultimate tensile strength*, dan *elongation* hasil uji tarik spesimen tanpa *repair*, *repair* 2 kali, *repair* 3 kali, *repair* 4 kali, tanpa proses pengelasan dan proses *repair*.



Gambar 16. Perbandingan nilai *yield strength* terhadap perlakuan *repair*

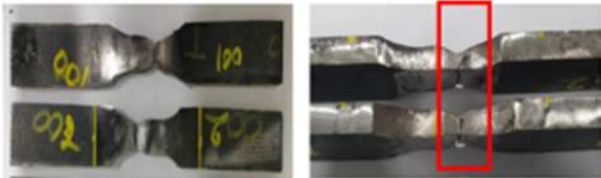
Gambar 16 merupakan hasil grafik *yield strength* atau kekuatan luluh dapat dilihat terdapat hasil rata-rata *yield strength* spesimen tanpa *repair* adalah 363 N/mm², spesimen *repair* 2 kali 354 N/mm², spesimen *repair* 3 kali 352 N/mm², spesimen *repair* 4 kali 350 N/mm², spesimen tanpa proses pengelasan dan *repair* 339 N/mm². Hasil rata-rata nilai *yield strength* pada spesimen tanpa *repair*, *repair* 2 kali, *repair* 3 kali, *repair* 4 kali dan spesimen A36 tanpa proses pengelasan *repair* diatas nilai minimum *yield strength* yang ditentukan pada *datasheet* sebesar 332 N/mm².



Gambar 17. Perbandingan nilai *ultimate tensile strength* terhadap perlakuan *repair*

Gambar 17 merupakan hasil perbandingan rata-rata *ultimate tensile strength* antara spesimen tanpa *repair*, *repair* 2 kali, *repair* 3 kali dan *repair* 4 kali diperoleh nilai *ultimate tensile strength* (UTS) rata-rata pada variasi tanpa *repair* adalah 485 N/mm², *repair* 2 kali 466.5 N/mm², *repair* 3 kali 466.5 N/mm², *repair* 4 kali 468 N/mm², spesimen A36 tanpa proses pengelasan *repair* 452 N/mm². Dapat diketahui pada uji tarik yang dilakukan bahwa nilai *ultimate tensile strength* (UTS) spesimen tanpa perlakuan *repair* dengan nilai 485 N/mm² lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen *repair* dan terjadi penurunan nilai

ultimate tensile strength pada spesimen *repair* 2 kali, *repair* 3 kali, dan *repair* 4 kali. Hasil rata-rata nilai *ultimate tensile strength* (UTS) yang didapatkan merujuk ketentuan tarik minimum pada material baja ASTM A36 yang digunakan penelitian sebesar 452 N/mm² dipastikan rentang dari hasil nilai *ultimate tensile strength* (UTS) proses pengelasan GMAW tanpa *repair*, *repair* 2 kali, *repair* 3 kali dan *repair* 4 kali masih di dalam ketentuan tarik minimum baja ASTM A36 yang digunakan.



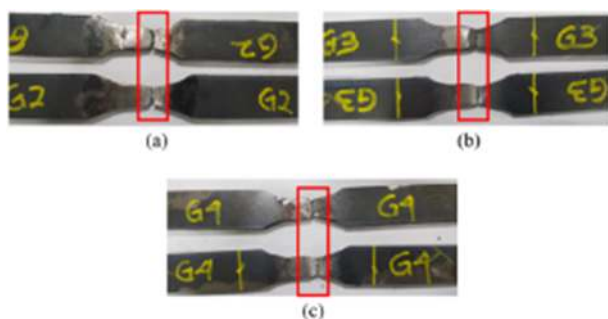
Gambar 18. Hasil uji tarik spesimen tanpa *repair*

Gambar 18 merupakan spesimen hasil uji tarik tanpa perlakuan *repair*, letak patahan berada di bagian *base metal*.



Gambar 19. Hasil uji tarik spesimen tanpa pengelasan dan *repair*

Gambar 19 merupakan spesimen hasil uji tarik tanpa proses pengelasan dan *repair*.



Gambar 20. Hasil uji tarik spesimen (a) *repair* 2 kali, (b) *repair* 3 kali, (c) *repair* 4 kali.

Gambar 20 merupakan hasil uji tarik material dengan variasi *repair* 2 kali, *repair* 3 kali, *repair* 4 kali, pada kotak merah terjadi patahan di *base metal*. *Weld metal* variasi tanpa *repair*, *repair* 2 kali, *repair* 3 kali dan *repair* 4 kali lebih kuat dibandingkan dengan daerah *base metal* dan HAZ dikarenakan saat uji tarik spesimen patah pada daerah *base metal*, tidak di *weld metal*, hal tersebut memenuhi syarat keberterimaan uji tarik, spesimen patah pada logam dasar diluar garis batas logam yang mencair dan daerah HAZ [7].

Hasil *elongation* merupakan pertambahan panjang material hingga patah. *Elongation* variabel tanpa *repair* sebesar 15,55 %, *repair* 2 kali sebesar 13,89 %, *repair* 3 kali sebesar 14,44 %, *repair* 4 kali sebesar 13,33 %, spesimen tanpa proses pengelasan dan *repair* 15,28 % dibawah nilai dari *elongation datasheet* material baja A36 sebesar 23 %. Pertambahan panjang material dipengaruhi oleh *yield strength*, semakin kecil nilai *yield strength* pertambahan panjang material semakin kecil [10], hasil *elongation* terendah terjadi pada material *repair* 4 kali hal ini dikarenakan pertambahan panjang material semakin kecil karena material lebih cepat mengalami patah.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian yang sudah dilakukan mengenai pengaruh *repair* pada baja ASTM A36 didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian struktur mikro, *weld metal* didominasi dengan struktur perlit lebih halus yang berdampak meningkatkan nilai kekerasan *vickers* pada spesimen [10].
2. Hasil dari uji kekerasan *vickers* tingkat kekerasan tertinggi pada bagian *weld metal*, dengan variasi tanpa *repair* memiliki tingkat kekerasan sebesar 166 HV, variasi *repair* 2 kali memiliki nilai sebesar 170 HV, variasi 3 kali *repair* memiliki nilai sebesar 163.3 HV, dan variasi 4 kali *repair* memiliki nilai sebesar 162.8 HV.
3. Hasil patahan uji tarik yang dihasilkan terletak pada *base metal*, untuk nilai rata-rata *ultimate tensile strength* pada variasi tanpa *repair* sebesar 485 N/mm², *repair* 2 kali 466.5 N/mm², *repair* 3 kali 466.5 N/mm², dan *repair* 4 kali 468 N/mm², hasil *ultimate tensile strength* *repair* 2 kali, *repair* 3 kali, *repair* 4 kali tersebut masih dalam ketentuan tarik minimum material baja ASTM A36 sebesar 452 N/mm² sehingga sambungan las yang dilakukan hingga *repair* 4 kali dapat digunakan [7].

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andoko, A., Harjanto, B., & Estriyanto, Y. (t.thn.). Analisis Struktur Hasil Repair Welding Tentang Sifat Fisik Dan Mekanik Pada Cast Wheel Aluminium Dengan Metode Pengelasan Mig. 1-13.
- [2] Wiryosumarto, H. (2000). Teknologi Pengelasan Logam. PT Pradnya Paramitha.
- [3] Trisdianto, G. (2020). Analisa Pengaruh Variasi Multiple Repair Dan Tanpa Repair Pada Pengelasan Fcaw Baja Karbon JIS G3106 SM 490 YB Terhadap Sifat Mekanik. *Jurnal Teknologi Terapan: G-Tech*, 2(2), 153–162.
- [4] Fuad, A. S. (2017). Pengaruh Variasi Pengelasan Ulang Gas Metal Arc Welding (GMAW) Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Material Baja St-37.
- [5] Wirachi P, D., Mulyadi, Y., & Supomo, H. (2017). Analisa Pengaruh Multiple Repair Welding Pada Material Properties Weld Joint Material Pipa ASTM A106 GR.B SCH 80.pdf. *Jurnal Tugas Akhir*.
- [6] Mulyadi, & Iswanto. (2020). Buku Ajar Teknologi Pengelasan. Umsida Press.
- [7] ASME section IX. (2019). Qualification Standard For Welding And Brazing. New York: The American Society of Mechanical Engineers

- [8] ASTM E92. (2003). Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials.
- [9] ASTM E3. (2011). Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens
- [10] Prabowo, A. A. (2019). Pengaruh Media Pendingin Pada Proses Quenching Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro, Dan Kekuatan Bending Baja Aisi 1010.
- [11] Abadi, C. S., & Assagaf, R. I. (2019). Analisa Kekuatan Welding Repair Baja Aisi 420 Dengan Metoda GMAW. *Jurnal Poli-Teknologi*, 18, 297-306.
- [12] Yuwono, I., Agus Salim, A. T., Bisono, R. M., Pratama, D., Aditama, R., Maulana, R., et al. (2021). Characteristics of Welding Joint Using SMAW Weld Method and Result DT-NDT on Low Carbon Steel Materials. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 1(1)
- [13] Ketaren, L. P., Budiarno, U., & Wibawa, A. (2019, Oktober 4). Analisa Pengaruh Variasi Kampuh Las dan Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW (Gas Metal ARC Welding) Pada Aluminium 606. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 7, 345-354.
- [14] D, Dayera., A.T.A Salim., M,H Cahyono.,(2022). Karakteristik Sambungan Pengelasan SMAW 3G Plate Variasi Arus Listrik Material ST36. *Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering*.
- [15] Siregar, I., & Yudo, H. (2017, Oktober 4). Analisa Kekuatan Tarik Dan Tekuk Pada Sambungan Pipa Baja Dengan Menggunakan Kanpe Clear NF Sebagai Pengganti Las. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5, 716-725.
- [16] H, S. R., & Rubijanto, J. (2012). Variasi Arus Listrik Terhadap Sifat Mekanis Sambungan. *Simposium Nasional RAPI*, 93-97
- [17] Jordi, M., Yudo, H., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Pengaruh Proses Quenching Dengan Media Berbeda Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja St 36 Dengan Pengelasan SMAW. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 272-281