

Pengaruh Sambungan Pengelasan Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Material *Wear Plate*

Hendro^{1*}, Muhammad Balfas², Akhiruddin Pasdah³

¹ Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

^{2,3} Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar, Indonesia.

* Penulis Korespondensi.

J-MOVE
JURNAL TEKNIK MESIN



Riwayat Artikel

Diterima: 24 Januari 2026
Selesai Revisi: 25 Februari 2026
Disetujui: 12 Maret 2026
Tersedia daring: 15 Maret 2026

Alamat E-mail

¹ hendro032@gmail.com
² balfas@umi.ac.id
³ ahiruddin.ahiruddin@umi.ac.id

Abstrak

Pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan logam yang umum digunakan dalam industri. Penelitian ini fokus pada pengelasan menggunakan metode *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) untuk menghubungkan dua bagian logam menggunakan sumber panas dan bahan tambah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro dari material uji Hardox 400. Material uji Hardox 400 diperoleh dari PT. Vale Indonesia dan pengujian dilakukan di BLKI Makassar untuk pengujian tarik, serta di Laboratorium Material Teknik Universitas Muslim Indonesia untuk pengujian kekerasan dan struktur mikro. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa material Hardox 400 yang telah dilas dengan metode SMAW memiliki tegangan tarik maksimum sebesar 591,266 MPa dan regangan sebesar 6,567%. Sebagai perbandingan, spesimen tanpa pengelasan (normal) memiliki tegangan tarik maksimum sebesar 777,512 MPa dan regangan sebesar 6,980%. Dalam hal kekerasan, nilai rata-rata kekerasan tertinggi terjadi pada daerah *Base metal* sebelah kanan sebesar 68 N/mm², HAZ kanan sebesar 61 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 55,33 N/mm², HAZ sebelah kiri sebesar 61 N/mm², dan *Base metal* sebelah kiri sebesar 68 N/mm². Spesimen tanpa pengelasan (normal) memiliki nilai kekerasan sebesar 66,8 N/mm². Analisis struktur mikro menunjukkan bahwa pada daerah las (*weld metal*) terdapat fasa austenit, sementara daerah HAZ terdiri dari fasa Martensit dan Bainit. Daerah *Base metal* didominasi oleh fasa Martensit.

Kata kunci: Pengelasan, SMAW, Hardox 400, Kekuatan tarik, Kekerasan, Struktur mikro.

Abstract

Welding is one of the commonly used metal joining techniques in industry. This research focuses on welding using the Shielded Metal Arc Welding (SMAW) method to connect two metal parts using heat sources and additives. The purpose of this study was to evaluate the tensile strength, hardness, and microstructure of the Hardox 400 test material. Hardox 400 test material was obtained from PT. Vale Indonesia and tests were carried out at BLKI Makassar for tensile testing, as well as at the Engineering Materials Laboratory of the Muslim University of Indonesia for hardness and microstructure testing. The tensile test results showed that Hardox 400 material that had been welded with the SMAW method had a maximum tensile stress of 591.266 MPa and a strain of 6.567%. In comparison, unwelded (standard) specimens have a maximum tensile stress of 777.512 MPa and a strain of 6.980%. In terms of hardness, the highest average hardness values occurred in the right base metal area of 68 N/mm², the right HAZ of 61 N/mm², the weld metal area of 55.33 N/mm², the left HAZ of 61 N/mm², and the left base metal of 68 N/mm². Unwelded (standard) specimens have a hardness value of 66.8 N/mm². Microstructure analysis showed that in the weld metal area, there is an austenitic phase, while the HAZ area consists of Martensite and Bainite phases. The Martensite phase dominates the base metal region.

Keywords: Welding, SMAW, Hardox 400, Tensile strength, Hardness, Microstructure.

1. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya teknologi produksi dan bahan baku logam tidak dapat dipisahkan dari pemanfaatan teknologi penyambungan logam. Di era globalisasi sekarang ini perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sangat berpengaruh terhadap perindustrian didalam negeri, maka dari itu setiap individu dituntut untuk selalu mengikuti kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi ini

terlihat dari kemampuan individu seseorang dalam penyambungan logam yang terdapat beberapa jenis variasi dalam pengelasan logam. Teknik pengelasan merupakan salah satu teknik penyambungan antara dua bagian logam atau lebih menjadi satu sambungan yang tetap dengan menggunakan sumber panas dan bahan tambah.

Lingkup penggunaan pengelasan dalam pekerjaan konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, alat berat, sarana transportasi, pipa dan lain

sebagainya. Juga dengan bangunan konstruksi menggunakan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan unsur pengelasan khususnya bidang rancang bangun, karena sambungan las merupakan salah satu proses pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi dan keahlian yang mumpuni bagi seorang *Welder* agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Masalah yang sering terjadi pada sambungan las selama ini dilapangan yaitu sering terdapatnya: retak, porositas, *under cut* dan *slag inclusion*, kejadian ini disebabkan oleh beberapa hal diantaranya: Arus pengelasan yang digunakan terlalu besar, elektroda yang digunakan masih lembab atau terkena air, Proses pembersihan Slag yang kurang bersih sehingga tertumpuk oleh lasan bisa juga disebabkan oleh penggunaan sambungan las yang tidak sesuai sehingga menyebabkan sambungan atau daerah lasan cepat rusak dan tidak sesuai dengan perkiraan waktu penggunaannya.

Pengelasan yang sering digunakan dalam dunia konstruksi secara umum adalah pengelasan dengan menggunakan metode pengelasan dengan busur nyala logam terlindung atau biasa disebut *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Metode SMAW banyak digunakan pada masa ini karena penggunaannya lebih praktis, lebih mudah pengoperasiannya, dapat digunakan untuk segala macam posisi pengelasan dan lebih efisien. Pengelasan memunculkan efek pemanasan setempat dengan temperatur yang tinggi yang menyebabkan logam mengalami ekspansi termal maupun penyusutan saat pendinginan. Hal itu menyebabkan terjadinya tegangan sisa dan kekerasan yang tinggi pada daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ).

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan (meliputi: pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh) (Wirjosumarto, 2000).

Salah satu proses *maintenance* rutin dilakukan di PT Vale Indonesia adalah proses perbaikan "*Feed Chute*" di Area *Dryer*. Fungsi dari *Feed Chute* tersebut adalah tempat untuk memasukkan material *Wet Ore* ke dalam *Dryer* untuk di proses. Adapun dalam proses perbaikan *Feed Chute* yang umum dilakukan adalah penggantian *body Feed Chute* yang telah mengalami korosi atau penipisan dinding dengan proses pengelasan sambungan antara material dinding lama dan material baru yang mana material yang digunakan adalah *Wear Plate Hardox 400*.

2. KAJIAN PUSTAKA

Pengelasan berdasar sumber energi panasnya dapat dibedakan menjadi tiga yaitu mekanik, listrik dan kimia, sedangkan dari cara pengelasan dibedakan menjadi tiga bagian yaitu pengelasan cair (*Fusion Welding*), pengelasan tekanan (*Pressure Welding*), dan pematrian (Wirjosumarto, 2000).

Definisi pengelasan menurut DIN (Deutsche Industrie Norman) adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dengan kata lain, las

merupakan sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Berdasarkan definisi dari *American Welding Society* (AWS) pengelasan adalah proses penyambungan logam atau non logam yang dilakukan dengan memanaskan material yang akan disambung hingga temperatur las, yang dilakukan dengan atau tanpa menggunakan tekanan dan dengan atau tanpa menggunakan logam pengisi. Definisi tersebut dapat diartikan lebih lanjut bahwa pengelasan adalah suatu aktifitas menyambung dua bagian benda atau lebih dengan atau tanpa bahan tambah (*filler metal*) yang sama ataupun berbeda titik maupun strukturnya (Alip, 1989).

Ada beberapa penelitian tentang pengelesan antara lain yaitu Penelitian yang dilakukan (Haeruddin, H, dkk 2022) tentang analisis perbandingan kekuatan tarik pada baja ST. 37 dengan proses pengelasan SMAW, GMAW dan GTAW. Proses pengelasan logam material yang di gunakan harus sama dengan elektroda yang digunakan pada proses pengelasan agar sambungan Las dapat menyatu sempurna tetapi didalam proses pengelasan tidak selamanya hasil di dapatkan baik hasilnya karena ada beberapa factor yang dapat mempengaruhi, diantaranya Faktor Kualifikasai atau kompetensi welder, bahan tambah atau elektroda dan mesin las serta gas pelindung bagi proses GMAW dan GTAW. Hasil pengelasan yang dihasilkan oleh proses pengelasan SMAW dan GMAW dapat di ketahui dengan melakukan pengujian dengan metode Destruktif test yaitu pengujian tarik untuk mengetahui beban tarik maksimum, tegangan tarik dan kemampuan material tersebut merentang dari material baja ST 37 hingga putus. Pengujian tarik pada pengelasan SMAW, GMAW dan GTAW di dapatkan hasil bahwa nilai kekuatan tarik dari spesimen baja karbon ST 37 melebihi dari spesimen yang raw materil, yang artinya sifat mekanik dari material tersebut setelah dilas semakin kuat. Pada spesimen raw material beban tarik maksimum yaitu 51.399 N dengan tegangan tarik 43,79 kg/mm² dan regangan tarik 36,9 % sedangkan untuk rata rata beban tarik maksimum SMAW 53.671 N rata rata Tegangan Tarik 43,79 kg/mm², rata rata regangan tarik 21,2 %, sedangkan rata rata beban tarik pada pengelasan GMAW sebesar 51.308 N, sedangkan pada pengelasan GMAW rata rata tegangan tarik sebesar 41,90 kg/mm² dan pada pengelasan GMAW rata rata regangan tarik sebesar 20,2 %. Pada pengelasan GTAW beban tarik rata rata sebesar 52.952 N, sedangkan pada tegangan tarik rata rata sebesar 43.20 kg/mm² dan pada regangan tarik rata rata sebesar 19,1% .

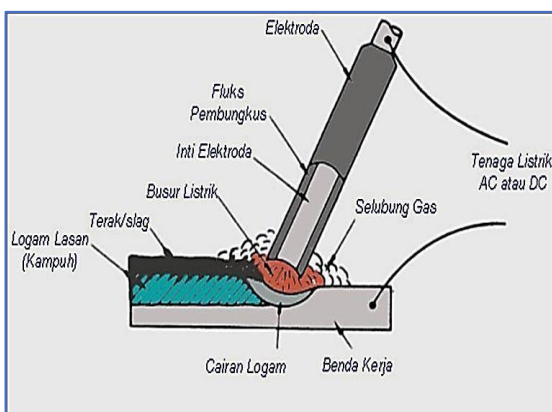
Penelitian yang dilakukan (Sahional I dkk, 2020) tentang Analisis Sambungan Las MIG pada Baja Karbon Rendah Variasi Kampuh Las V, I dan K terhadap Kekuatan Tarik. Sambungan las sangat berpengaruh terhadap pemilihan arus dan kampuh pengelasan dengan bahan tambah yang sesuai dengan logam induk. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kekuatan las MIG pada baja karbon rendah terhadap variasi kampuh las dan arus listrik pengelasan. Hasil pengujian dari variasi arus listrik yang diberikan menunjukkan bahwa masing-masing kampuh las membutuhkan arus yang berbeda untuk menghasilkan sambungan las yang baik. Data hasil pengujian tarik menggunakan standar ASTM E-8 menghasilkan nilai tegangan tarik tertinggi pada

pengelasan MIG dengan menggunakan kumpuh I dengan arus 150 ampere sebesar $45,582 \text{ kg/mm}^2$. Semakin besar arus selain itu juga terlihat ukuran butiran yang semakin rapat dan semakin halus pada daerah weld metal.

2.1. Las SMAW

Berdasarkan definisi dari *American Welding Society* (AWS) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair. Dari definisi tersebut dapat dijabarkan lebih lanjut bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas. Pada proses pengelasan logam dengan teknik pengelasan *Shield metal arc welding* (SMAW) kuat arus listrik yang digunakan dalam proses penyambungan logam merupakan indikator penting yang perlu di perhatikan, Hal ini di karenakan kuat arus listrik menentukan besarnya panas yang di dihasilkan dari busur listrik pada nyalaan ujung elektroda yang di gunakan, semakin besar kuat arus listrik yang di berikan maka semakin besar pula (*heat input*) panas yang di dihasilkan untuk mencairkan logam dasar dan logam penyambung (elektroda), dan sebalik nya semakin kecil kuat arus yang di berikan maka semakin kecil pula panas yang di dihasilkan untuk mencairkan logam induk dan logam penyambung atau elektroda (Joko Santoso, 2006).

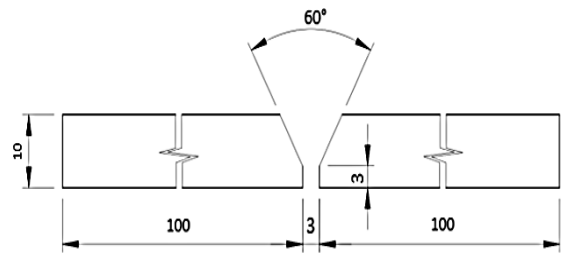
Pengelasan SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) Merupakan pengelasan yang di klasifikasikan sebagai las busur gas dan fluks. pada proses pengelasan *Shield Metal Arc Welding* bahan penyambung (elektroda) berupa logam yang telah lapisan fluks (slag las) yang berfungsi melapisi logam las dari gas oksidasi dari luar (Mizhar Susri dkk, 2014). Sebagaimana di jelaskan dalam *American Welding Society* (AWS) prinsip dari pengelasan *Shield metal arc welding* adalah menggunakan panas dari busur listrik dari ujung sebuah consumable elektroda tertutup dengan tegangan listrik yang dipakai 23 - 45 Volt, dan untuk pencairan digunakan arus listrik hingga 500 ampere yang pada umum digunakan berkisar antara 80-200 ampere.



Gambar 1. Las SMAW (Wiryosumarto, 2000)

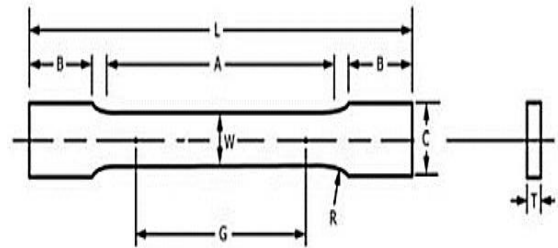
3. METODOLOGI

Penelitian yang dilakukan difokuskan pada pengelasan dengan menggunakan Hardox 400 yang merupakan salah satu bahan yang sering digunakan pada PT. Vale Indonesia Tbk.



Gambar 2. Kampuh V

Dengan spesimen uji tarik menggunakan standar ASTM E8-04.



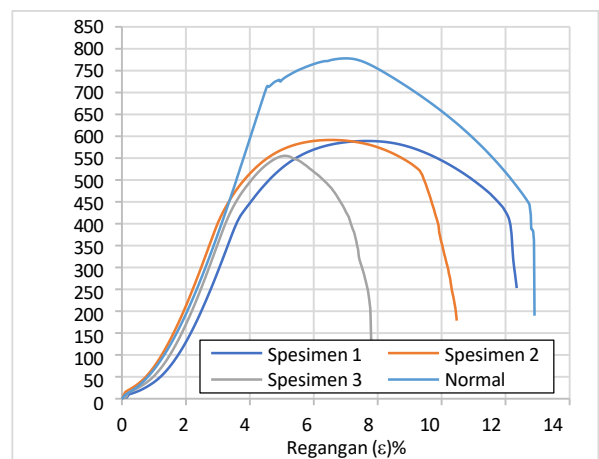
Gambar 3. Spesimen uji tarik

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian tarik material Hardox 400 yang telah mengalami proses pengelasan SMAW dengan kampuh V maka diperoleh kekuatan tarik pada Hardox 400 yang dapat dilihat pada gambar dibawah ini .

4.1. Hasil Pengujian Tarik

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara tegangan dan regangan pada hardox 400 hasil pengelasan SMAW yang terbagi atas 4 spesimen menghasilkan tegangan dan regangan yang berbeda-beda, Dimana setelah spesimen mencapai kekuatan tarik maksimum material hardox 400 mengalami patah.



Gambar 4. Grafik hubungan antara tegangan dan regangan

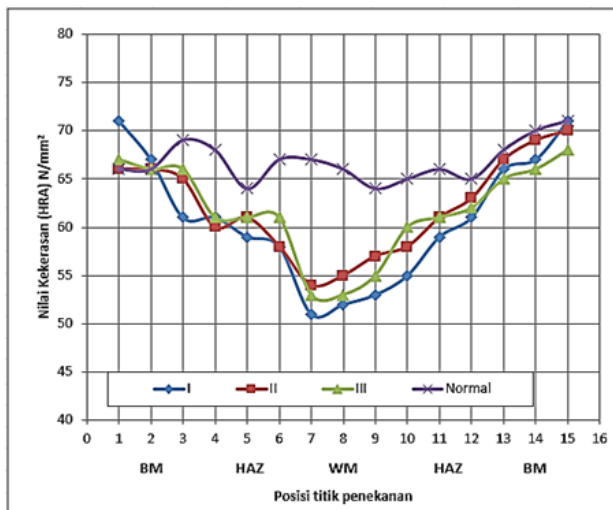
Pada spesimen 1 menghasilkan tegangan tarik maksimum sebesar 588,916 mpa dan regangan tarik sebesar 7,625 %, spesimen 2 menghasilkan tegang tarik maksimum sebesar 591,266 mpa dan regangan sebesar 6,567 %, spesimen 3 menghasil tegangan maksimum sebesar 554,649 mpa dan regangan sebesar 5,124 %, sedangkan pada spesimen normal tegangan tarik maksimum yang dihasilkan sebesar 777,512 mpa dan regangan sebesar 6,980 %. Tegangan tarik yang dihasilkan

pada hardox 400 lebih rendah dibandingkan dengan spesimen normal hal ini disebabkan Zona Terpengaruh Panas (*Heat Affected Zone, HAZ*): Selama proses pengelasan, terjadi pemanasan yang tinggi di sekitar daerah pengelasan. Pemanasan yang ekstrem ini dapat mengubah struktur mikro material di sekitar HAZ. Perubahan ini dapat mengurangi kekerasan dan kekuatan material. Disamping itu Zona Pengelasan (*Weld Zone*) yaitu daerah di sekitar titik pengelasan, yang dikenal sebagai zona pengelasan, mengalami perubahan struktur mikro dan termokimia akibat pengaruh panas dan penggunaan material pengisi. Perubahan ini dapat mengakibatkan penurunan kekuatan tarik material. Kualitas pengelasan yang buruk, seperti celah pengelasan yang tidak terisi penuh, pengelasan tidak merata, atau cacat pengelasan lainnya. faktor lain yang menyebabkan penurunan kekuatan tarik pada material yang mengalami pengelasan karena Penting untuk memperhatikan parameter pengelasan yang tepat, seperti arus pengelasan, kecepatan pengelasan, perlakuan panas pasca-pengelasan, dan pemilihan material pengisi (elektroda) yang sesuai.

4.2. Hasil Pengujian Kekerasan

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan pada spesimen 1 daerah logam induk bagian kiri (BM kiri) menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 68 N/mm², HAZ kiri sebesar 58,33 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 52 N/mm², HAZ kanan sebesar 59,33 N/mm², logam induk bagian kanan (BM kanan) sebesar

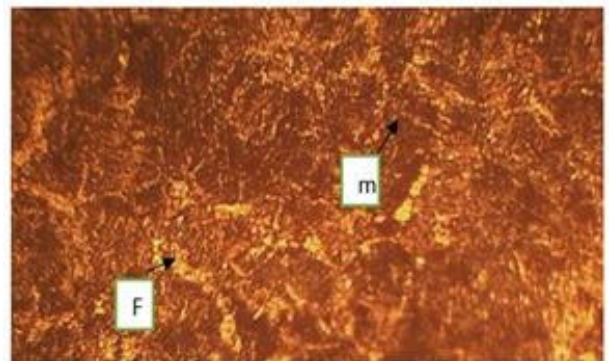
68 N/mm². pada spesimen 2 daerah logam induk bagian kiri (BM kiri) menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 68,67 N/mm², HAZ kiri sebesar 60,67 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 55,33 N/mm², HAZ kanan sebesar 59,67 N/mm², logam induk bagian kanan (BM kanan) sebesar 65,67 N/mm². Spesimen 3 daerah logam induk bagian kiri (BM kiri) menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 66,33 N/mm², HAZ kiri sebesar 61 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 53,67 N/mm², HAZ kanan sebesar 61 N/mm², logam induk bagian kanan (BM kanan) sebesar 66,33 N/mm² sedangkan pada spesimen normal menghasilkan nilai kekerasan rata-rata 66,8 N/mm².



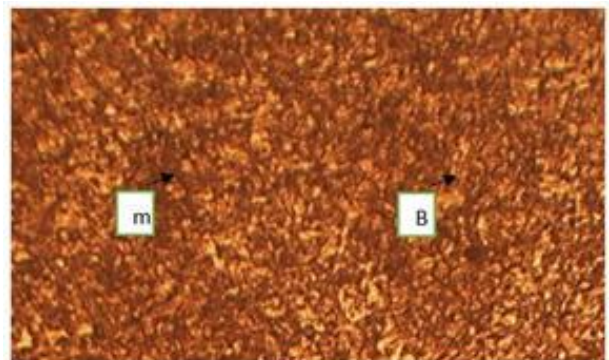
Gambar 5. Posisi titik penekanan

4.3. Struktur Mikro

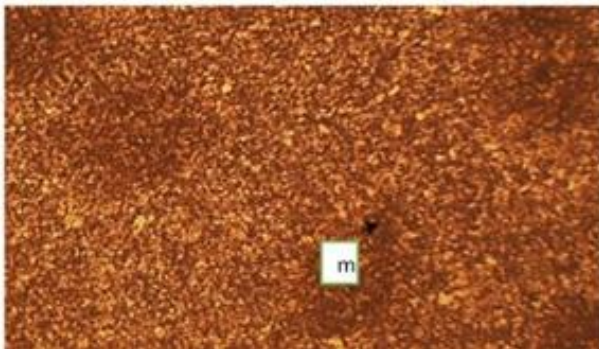
Hasil pengamatan struktur mikro pada Hardox 400 dengan pembesaran 40x dapat dilihat pada gambar 6, 7 dan 8. pada gambar 6. merupakan struktur mikro pada daerah pengelasan (*weld metal*) meliputi austinit, ferit dan karbida. Ferit juga dapat ditemukan dalam struktur mikro Hardox 400 hasil pengelasan. Ferit terbentuk sebagai hasil dari larutan paduan dalam struktur martensit. Fase ferit biasanya memiliki struktur mikro yang lebih lembut dibandingkan dengan martensit sedangkan karbida seperti karbida kromium (Cr₇C₃), juga dapat terbentuk pada struktur mikro Hardox 400 hasil pengelasan. Karbida terbentuk karena adanya elemen paduan seperti kromium dalam komposisi baja. Karbida dapat berfungsi sebagai partikel dispersi yang menghalangi pergerakan dislokasi dan meningkatkan ketangguhan material. Pada daerah HAZ Hardox 400, struktur mikro dapat mengalami perubahan akibat pemanasan dan pendinginan selama proses pengelasan. Struktur mikro yang terbentuk dalam HAZ dapat mempengaruhi sifat mekanis dan kinerja material. Rekristalisasi adalah proses di mana butiran logam yang terdeformasi kembali menjadi butiran yang lebih halus dan memiliki orientasi kristal yang lebih acak. Pada daerah HAZ, pemanasan yang tinggi dapat memicu rekristalisasi pada beberapa bagian material, menghasilkan struktur mikro yang lebih halus dan kurang deformed. Struktur mikro yang terdapat pada daerah HAZ adalah Martensit dan bainit. *Base metal* terdapat struktur mikro didominasi oleh struktur martensit.



Gambar 6. Struktur mikro pada daerah las (*weld metal*)



Gambar 7. Struktur mikro pada daerah HAZ



Gambar 8. Struktur mikro pada daerah logam induk (*base metal*)

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan pengujian hasil pengelasan SMAW pada material Hardox 400 maka dapat disimpulkan bahwa :

- Hasil pengujian tarik pada hasil pengelasan SMAW material hardox 400 diperoleh tegangan tarik maksimum sebesar 591,266 MPa dan regangan sebesar 6,567%, sedangkan pada spesimen normal tegangan tarik maksimum yang dihasilkan sebesar 777,512 MPa dan regangan sebesar 6,980%.
- Nilai kekerasan rata-rata tertinggi yang dihasilkan material Hardox 400 hasil pengelasan SMAW pada daerah *base metal* sebelah kanan sebesar 68 N/mm², HAZ kanan sebesar 61 N/mm², daerah las (*weld metal*) sebesar 55,33 N/mm², HAZ sebelah kiri sebesar 61 N/mm² dan *base metal* sebelah kanan sebesar 68 N/mm² sedangkan spesimen tanpa pengelasan (normal) nilai kekerasan rata-rata yang dihasilkan sebesar 66,8 N/mm².
- Presentase struktur mikro yang terlihat pada daerah las (*weld metal*) terdapat fasa austenit, pada daerah HAZ Martensit dan Bainit sedangkan pada daerah *Base metal* didominasi oleh martensit.

DAFTAR PUSTAKA

- Alip, M. (1989). *Teori dan praktek las*. Yogyakarta: IKIP Yogyakarta.
- Andi, B. A. S., Asiri, M. H., & Balfas, M. (2020). Analisis uji rotary bending dan struktur mikro pada welding baja AISI 1045 berdasarkan variasi arus pengelasan SMAW. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- American Society for Metals. (1993). *ASM handbook: Welding, brazing, and soldering* (Vol. 6). ASM International.
- Data Sheet. (2016). *Hardox 400*.
- Groover, M. P. (2010). *Fundamentals of modern manufacturing: Materials, processes, and systems* (4th ed., p. 456). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Haeruddin, H., Balfas, M., Habib, F., & Fitrah, M. A. (2022). Analisis perbandingan kekuatan tarik pada baja ST 37 dengan proses pengelasan SMAW, GMAW, dan GTAW. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- Joko, S. (2006). Pengaruh arus pengelasan terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan las SMAW dengan elektroda E7018. *Jurnal Teknik Mesin UNNES*, 3(11), 206–220. ISSN 2102–7491.

- Nastiti, G., Handani, S., & Bandriyana, B. (2014). Pengaruh proses oksidasi pada logam paduan Zr–2,5Nb untuk material bioimplan. *Jurnal Fisika Unand*, 3(4), 205–207.
- Riyadi, T. W. B., & Aji, L. (2015). Pengaruh variasi arus terhadap struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan sambungan pada proses pengelasan aluminium dengan metode MIG. Surakarta.
- R. E. Smallman, & Bishop, R. J. (2000). *Modern physical metallurgy and materials engineering*. New York: Hill International Book Company.
- Sahional, I., Asiri, M. H., & Kamil, K. (2020). Analisis sambungan las MIG pada baja karbon rendah variasi kampuh las V, I, dan K terhadap kekuatan tarik. Makassar: Universitas Muslim Indonesia.
- Sasi, K., & Amri, A. (2014). *Pengaruh tempering pada baja ST 37 yang mengalami karburasi dengan bahan padat terhadap sifat mekanis dan struktur mikro*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah Jakarta.
- Sack, R. J. (1997). *Welding: Principles and practices*. New York: McGraw-Hill.
- Sonawan, H. (2006). *Pengelasan logam*. Bandung: Alfabeta.
- Sriati, J. (1996). *Metallurgi mekanik*. Jakarta: Erlangga.
- Susri, M., & Pandiangan, I. H. (2014). Pengaruh masukan panas terhadap struktur mikro, kekerasan, dan ketangguhan pada pengelasan shield metal arc welding (SMAW) dari pipa baja diameter 2,5 inci. *Jurnal Dinamis*, 14(2), 16–21.
- Surdia, T., & Saito, S. (1985). *Pengetahuan bahan teknik* (Edisi ke-4). Jakarta: Pradnya Paramita.
- V. E. Gromov, Kormyshev, V. E., Glezer, A. M., Konolalov, S. V., Ivanov, Y. F., & Semin, A. P. (2017). Microstructure and wear properties of Hardox 450 steel surface modified by Fe–C–Cr–Nb–W powder wire surfacing and electron beam treatment. *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd.
- Widharto, S. (2001). *Petunjuk kerja las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Wiryosumarto, H. (2000). *Teknologi pengelasan logam*. Jakarta: Erlangga.