

PENGARUH TITANIUM DALAM LAPISAN LAS TERHADAP STRUKTUR MAKRO-MIKRO, KEKERASAN, DAN LAJU KOROSI

Titanium Effect in Weld Layer on The Macro-microstructure, Hardness, and Corrosion Rate

**Sopiyan^{1*}, Syaripuddin¹, Muhammad Hafidz Fatahillah¹, Muhammad Fauzan Perdana Putra¹,
Muhammad Yunan Hasbi²**

¹ Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Rawamangun, 13220, Jakarta Timur, Indonesia.

² Pusat Riset Metalurgi - Badan Riset dan Inovasi Nasional, KST B.J. Habibie, 15314, Serpong, Indonesia.

* Email Korespondensi : sopiyan@unj.ac.id

Artikel Info - : Diterima : 07-01-2024; Direvisi : 05-02-2024; Disetujui : 04-03-2024

ABSTRAK

Baja karbon rendah tidak dapat di *hardening* karena kandungan karbonnya yang rendah. Oleh sebab itu dilakukan proses *hardfacing* untuk meningkatkan kekerasan. Selain meningkatkan kekerasan, manfaat *hardfacing* dapat meningkatkan ketahanan aus dan korosi. Proses *hardfacing* dengan proses *shielded metal arc welding* (SMAW) umumnya menggunakan elektroda komersial. Oleh sebab itu perlu ditambahkan unsur lain seperti titanium (Ti) pada lapisan las untuk lebih meningkatkan kekerasannya. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan Ti pada lapisan las yang dilas menggunakan HV 600 terhadap struktur mikro dan makro, kekerasan, dan laju korosi. *Hardfacing* dilakukan menggunakan proses SMAW dengan berbagai penambahan Ti (0,115, 0,223, dan 0,334 g) kemudian didinginkan dengan udara. Struktur makro dan mikro masing-masing diamati menggunakan kamera digital dan mikroskop optik. Kekerasan dan laju korosi diselidiki dengan menggunakan metode *Vickers* dan *weight loss*. Berdasarkan penyelidikan struktur makro, terdapat perpaduan sempurna di antara logam induk dan lasan. Struktur mikro yang terbentuk adalah fasa austenit, martensit dan fasa karbida. Laju korosi terendah sebesar 17,54 mpy, terlihat pada sampel Ti1. Penambahan Ti terendah akan menghasilkan kekerasan yang lebih tinggi yaitu 761,06 VHN.

Kata Kunci: Kawat Ti, HV 600, *Hardfacing*, Lapisan Tunggal

ABSTRACT

Low carbon steel cannot be hardened because of its low carbon content. Therefore, a hardfacing process is carried out to increase hardness. Apart from increasing hardness, the benefits of hardfacing can increase wear and corrosion resistance. The hardfacing process using the shielded metal arc welding (SMAW) process generally uses commercial electrodes. Therefore, it is necessary to add other elements such as titanium (Ti) to the weld layer to further increase its hardness. This research aims to study the influences of Titanium (Ti) addition in welding layers that were welded using HV 600 to micro and macrostructure, hardness, and corrosion rate. The hardfacing was conducted using the SMAW process with the various addition of Ti (0.115, 0.223, and 0.334 g) and cooled at room temperature. Macrostructure and microstructure were investigated using digital cameras and an optical microscope. Hardness and corrosion rate were investigated using the Vickers hardness test and weigh loss method. Based on macrostructure investigation, there is a perfect fusion between base metal and weld metal. The microstructure formed is a austenite, martensite and carbide phase. The lowest corrosion rate of 17.54 mpy was seen in the Ti1 sample. The lowest Ti addition would resulting higher hardness at 761.06 VHN.

Keywords: Ti Wire, HV 600, *Hardfacing*, Single Layer

1. Pendahuluan

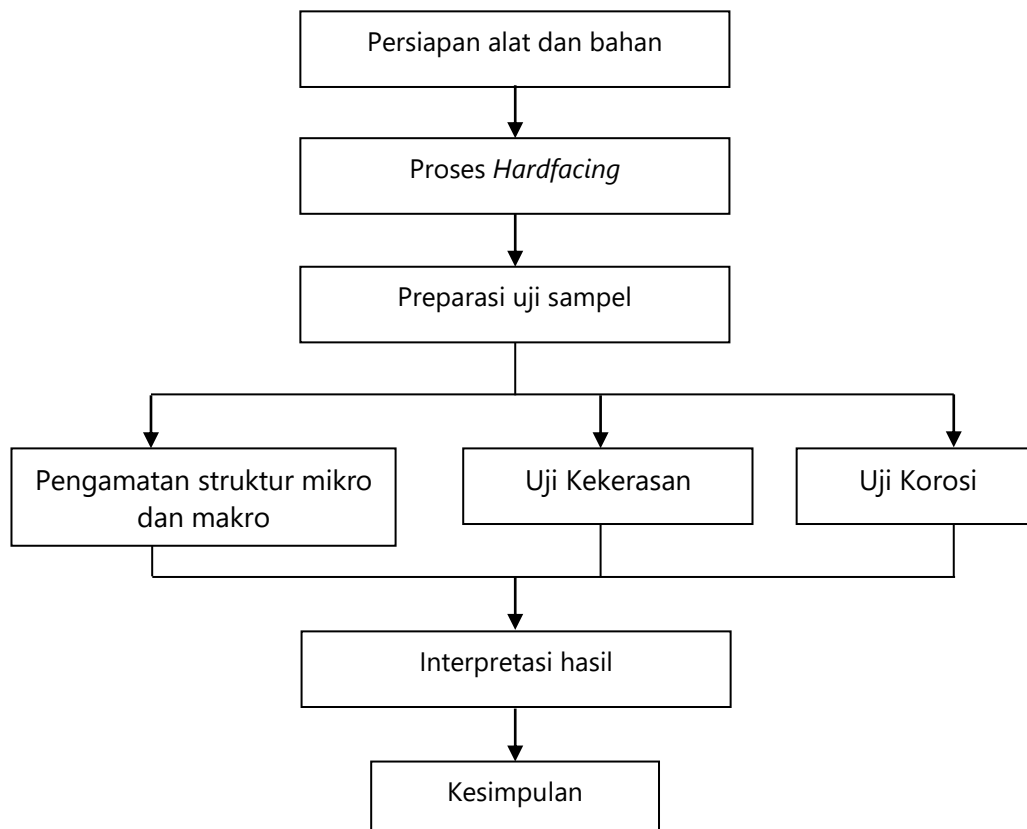
Pengelasan merupakan suatu ikatan metalurgi pada suatu sambungan logam atau paduan logam dalam keadaan meleleh atau cair [1]. Saat ini pengelasan yang banyak digunakan adalah jenis SMAW. Kelebihan dari pengelasan ini adalah biayanya yang murah dibandingkan yang lain [2]. Pengelasan ini juga dapat digunakan untuk proses *hardfacing* dengan menggunakan elektroda khusus dengan kekerasan yang tinggi [3]. *Hardfacing* umumnya dilakukan pada baja karbon rendah [4]. Karena kandungan karbonnya yang rendah, maka tidak dapat diberi perlakuan panas dengan tujuan untuk meningkatkan kekerasan. Selain meningkatkan kekerasan, manfaat *hardfacing* dapat meningkatkan ketahanan aus dan korosi [5].

Banyak peneliti menambahkan Titanium (Ti) pada lapisan las untuk meningkatkan kekerasan. Zhou dkk. menambahkan berbagai Ti (0,28, 0,63, dan 1,17 wt.%) dan menemukan kekerasan yang lebih tinggi pada penambahan Ti sebanyak 0,63 wt.%. Selain itu, kehilangan massa yang lebih tinggi ditemukan pada penambahan Ti sebanyak 1,17 wt.% [6]. Syaripuddin dkk. menemukan bahwa penambahan Ti pada lapisan las pada baja karbon rendah menggunakan proses *shielded metal arc welding* (SMAW) dengan elektroda HV 600 kemudian dilakukan *quenching* di oli mesin dan minyak sawit secara terpisah menghasilkan nilai kekerasan sebesar 841,52 VHN dan 896,20 VHN [7]. Kekerasan tersebut berada di atas nilai kekerasan baja *high speed steel* (HSS) yaitu 765,68 VHN [8].

Oleh karena itu dilakukan penelitian penambahan Ti (0,115, 0,223, dan 0,334 g) yang dilanjutkan dengan pendinginan udara. Pengujian yang akan dilakukan terhadap hasil perlakuan *hardfacing* ini adalah pengamatan struktur mikro dan makro, uji kekerasan, serta korosi.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Material dan Metode



Gambar 1. Diagram Penelitian

Berdasarkan Gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut. Langkah pertama dalam penelitian ini adalah menyiapkan alat dan bahan yang digunakan. Logam induk pada penelitian ini menggunakan baja karbon rendah dengan ukuran $75 \times 10 \times 10$ mm (lihat Gambar 2). Komposisi baja karbon rendah dapat dilihat pada penelitian sebelumnya [7]. Kawat Ti dari USA digunakan untuk penambahan Ti (*Wire optime*) seperti yang terlihat pada Gambar 3 (b). Penambahan Ti divariasi sebesar 0,115, 0,223, dan 0,334 g, kemudian ditetapkan penamaan sampel masing-masing secara berturut-turut sebagai Ti1, Ti2, dan Ti3. Elektroda HV 600 (\varnothing 3,2 mm) dari Pabrik Nikko Steel digunakan sebagai elektroda *hardfacing* seperti yang terlihat pada Gambar 3 (a).

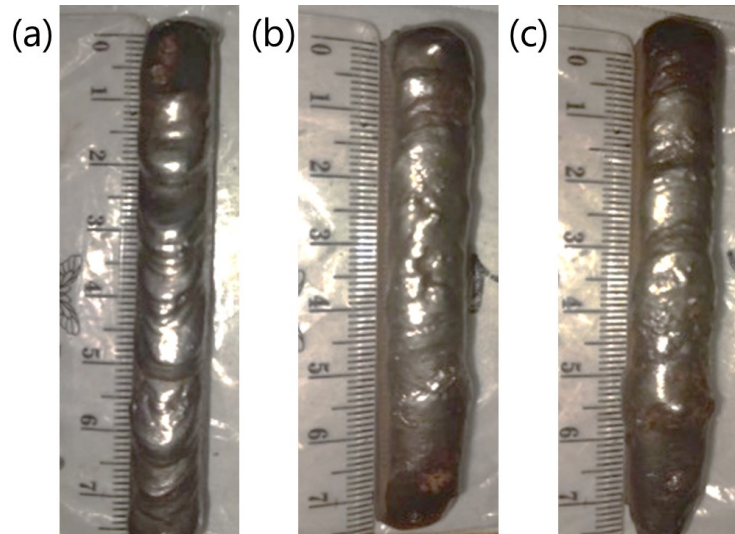


Gambar 2. Logam induk



Gambar 3. Filler Metal (a) Elektroda HV 600 dan (b) Kawat Ti Logam induk

Sebelum proses *hardfacing* dengan pengelasan menggunakan metode SMAW dilakukan, elektroda HV 600 dikeringkan terlebih dahulu dengan menggunakan oven elektroda (150°C). Setelah elektroda mengering kemudian dilas dengan proses SMAW dengan menggunakan parameter yang sama seperti penelitian sebelumnya [7]. Setelah proses pengelasan selesai, sampel didinginkan pada udara terbuka. Setelah dingin kemudian sampel di bersihkan dengan menggunakan gerinda sikat untuk menghilangkan sisa terak yang masih menempel pada permukaan sampel. Hasil *hardfacing* dengan metode SMAW yang telah dibersihkan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil *Hardfacing* (a) Ti1, (b) Ti2, dan (c) Ti3.

2.2. Karakterisasi

Pada karakterisasi sampel dilakukan beberapa karakterisasi seperti struktur makro, struktur mikro, kekerasan dan laju korosi. Sampel hasil *hardfacing* kemudian di *mounting* pada resin epoksi untuk pengamatan struktur mikro dan makro. Foto struktur makro didokumentasikan dengan menggunakan kamera digital, sedangkan foto struktur mikro diambil dengan menggunakan mikroskop optik (Olympus BX41M-LED). Setelah selesai pengamatan struktur makro dan mikro kemudian dilanjutkan dengan uji kekerasan. Kekerasan semua sampel diukur menggunakan alat uji kekerasan *Vickers* (FV-300e) dengan beban senilai 10 kg. Uji kekerasan dilakukan pada permukaan sampel yang telah di *hardfacing*. Pada saat pengujian kekerasan, data diambil sebanyak 10 kali untuk tiap sampel. Setelah selesai uji kekerasan, kemudian dilakukan uji korosi dengan metode *weight loss*. Metode *weight loss* dilakukan dalam media 3,5% NaCl selama 96 jam. Setiap 24 jam secara periodik dilakukan penimbangan untuk mengetahui pengurangan massa yang terjadi. Luas area sampel untuk uji *weight loss* adalah sebesar 5 cm². Setelah didapatkan data *weight loss*, kemudian dilakukan perhitungan laju korosi. Laju korosi dihitung menggunakan persamaan berikut [9].

$$\text{Laju Korosi} = \frac{WK}{DAT} \quad (1)$$

dimana:

W = kehilangan berat

K = konstanta ($3,45 \times 10^6$)

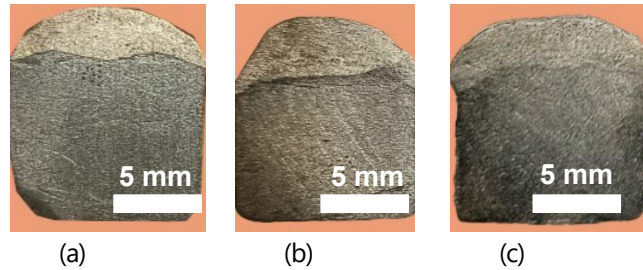
D = densitas (g/cm³)

A = luas uji korosi (cm²)

T = durasi uji korosi (jam)

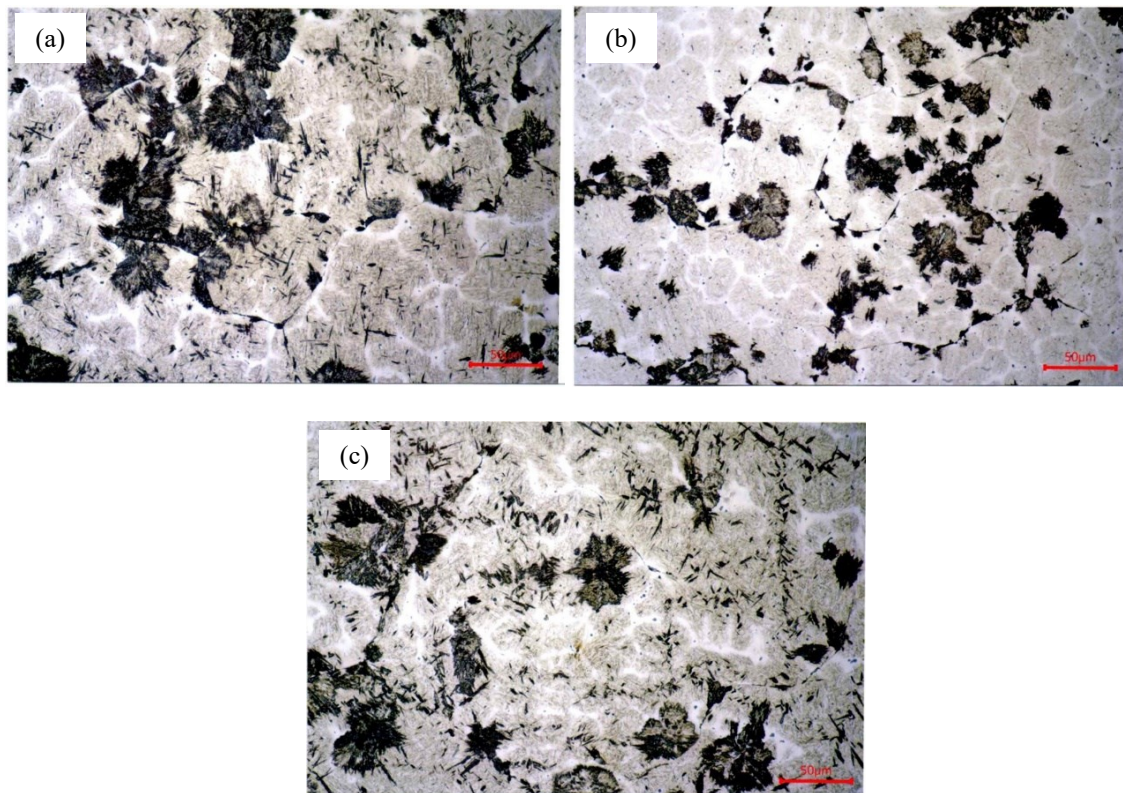
3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

3.1. Struktur Makro dan Struktur Mikro



Gambar 5. Struktur Makro (a) Ti1, (b) Ti2, dan (c) Ti3.

Gambar 5 mewakili struktur makro semua sampel hasil *hardfacing* dengan elektroda HV 600 yang ditambahkan Ti. Berdasarkan Gambar 5, dapat terlihat terjadi peleburan sempurna antara logam las dan lapisan las. Selain itu, tidak ada retakan yang terlihat. Umumnya retakan terjadi karena kondisi pengelasan, deformasi akibat pekerjaan mekanis, dan hidrogen yang terperangkap [10], [11]. Hal ini memberi arti bahwa parameter yang digunakan dalam proses *hardfacing* sudah sesuai. Kemudian dengan bertambahnya Ti dalam lapisan las juga tidak mempengaruhi hasil lasan (tidak terbentuk porositas). Oleh sebab itu jumlah Ti ditambahkan sudah sesuai, karena tidak terbentuk cacat, sehingga cocok untuk fabrikasi lapisan *hardfacing*.



Gambar 6. Struktur Mikro (a) Ti1, (b) Ti2, dan (c) Ti3.

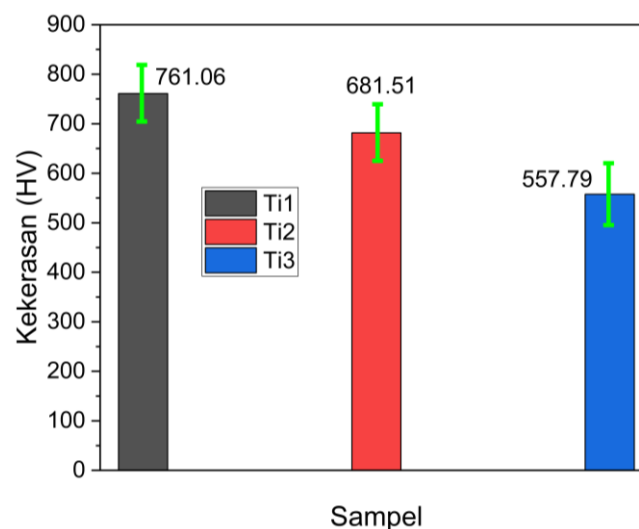
Gambar 6 menunjukkan struktur mikro yang terbentuk pada area logam lasan (*hardfacing*) dari sampel hasil proses pengelasan Ti. Berdasarkan observasi metalografi yang telah dilakukan, seluruh

sampel baik Ti1, Ti2 maupun Ti3 menunjukkan pembentukan fasa austenit, martensit dan fasa karbida. Fasa austenit ditunjukkan oleh area putih yang merupakan matriks dari material. Sedangkan fasa martensit ditunjukkan berupa bentuk *lath* tipis berwarna kecokelatan di sekeliling matriks. Area hitam berbentuk pulau dan jarum mengindikasikan karbida Ti-C dan fasa karbida M_xC ($M = Fe/Cr$).

Pembentukan fasa-fasa tersebut terjadi selama proses pendinginan dengan melibatkan difusi antara elektroda HV 600 dan kawat Ti. Pada penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa, ketika dalam proses pengelasan melibatkan unsur Cr (Fe-Cr-C) tanpa melibatkan unsur Ti maka reaksi yang terjadi adalah reaksi eutektik ($L \rightarrow \gamma Fe + M_xC$) dengan prediksi fasa yang terbentuk adalah austenit dan karbida M_xC ($M = Fe/Cr$). Namun ketika melibatkan unsur Ti (Fe-Ti-C), maka yang terbentuk adalah fasa $\gamma Fe + TiC + M_xC$ [12]. Dalam penelitian ini, keterlibatan Ti pada pengelasan berpengaruh pada proses solidifikasi dengan membentuk fasa Ti-C. Lebih lanjut, selama proses pendinginan berlangsung, karbida M_xC ($M = Fe/Cr$) dan martensit terbentuk mengelilingi fasa Ti-C serta membentuk struktur eutektik $\gamma Fe + M_xC$ [12], [13]. Dengan pembentukan fasa-fasa tersebut, maka akan berpengaruh terhadap sifat mekanik material yang dihasilkan.

3.2. Kekerasan

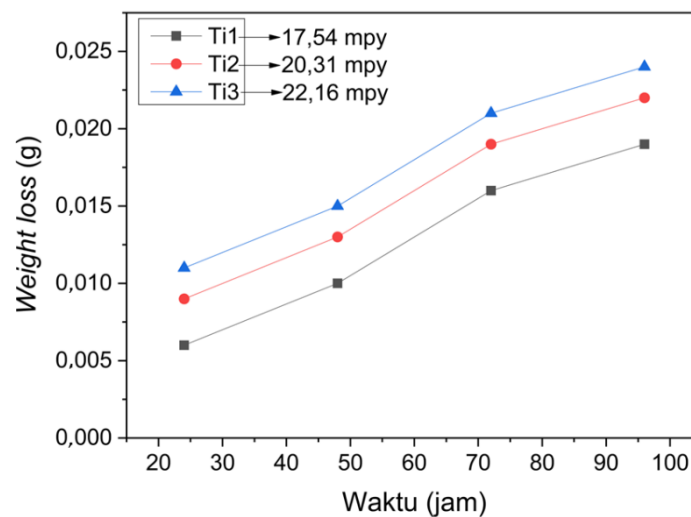
Berdasarkan Gambar 7 dapat terlihat hasil uji kekerasan sampel yang ditambahkan dengan Ti. Semakin banyak Ti yang ditambahkan maka akan semakin mengurangi kekerasan yang terbentuk. Zhou dkk. dalam penelitiannya menemukan kekerasan lapisan meningkat dari 56 menjadi 61 HRC dengan kandungan Ti dari 0 menjadi 0,63 wt. %. Kemudian, peningkatan kandungan Ti menjadi 1,17 wt. % dapat membentuk karbida TiC karena terlalu banyak karbon yang dikonsumsi oleh Ti. Hal ini menyebabkan perubahan struktur mikro menjadi *hipereutektoid* dan menyebabkan penurunan kekerasan [6]. Selanjutnya, berdasarkan penelitian sebelumnya sampel yang di *hardfacing* dengan menggunakan elektroda HV kemudian didinginkan dengan media udara menghasilkan kekerasan 503,48 VHN. Ketika ditambahkan Ti sebanyak 0,225 g dengan panjang logam induk 150 mm maka akan meningkatkan kekerasan menjadi 686,10 VHN [7]. Sehingga dapat diketahui bahwa dengan ditambahkan Ti maka akan meningkatkan kekerasan, akan tetapi ada batasan dengan ditambahkan Ti justru akan menurunkan kekerasan. Hal ini disebabkan karena terlalu banyak karbon yang dikonsumsi oleh Ti dan membentuk fasa karbida TiC.



Gambar 7. Hasil Uji Kekerasan

3.3. Laju Korosi

Gambar 8 menunjukkan pengukuran *weight loss* versus waktu dalam media 3,5 % NaCl. Dapat dilihat bahwa bertambahnya waktu akan meningkatkan kehilangan massa dari tiap sampel. Semua sampel menunjukkan tren yang sama. Laju korosi dapat dicari dengan memasukkan hasil *weight loss* ke dalam persamaan (1). Hasil perhitungan laju korosi dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan Gambar 6 dapat terlihat, peningkatan penambahan Ti akan meningkatkan laju korosi. Hal ini mungkin disebabkan karena terlalu banyak karbon yang dikonsumsi oleh Ti dan membentuk fasa karbida TiC sehingga akan meningkatkan laju korosi dari tiap sampel. Selanjutnya, berdasarkan penelitian sebelumnya sampel yang di *hardfacing* dengan menggunakan elektroda HV kemudian didinginkan dengan media udara menghasilkan laju korosi 0,3265 mmpy ($\approx 12,854$ mpy) [14]. Dengan membandingkan penelitian sebelumnya dengan penelitian saat ini maka dapat disimpulkan bahwa ditambahkan dan semakin meningkat Ti maka akan meningkatkan laju korosi.



Gambar 8. Hasil Uji *Weigh Loss*

4. Kesimpulan

Unsur Ti telah berhasil ditambahkan ke lapisan las. Berdasarkan penyelidikan struktur makro, terdapat perpaduan sempurna di antara logam induk dan lapisan las. Selain itu, Ti dapat teraglomerasi sempurna antara lapisan las dan logam induk. Struktur mikro yang terbentuk adalah fasa austenit, martensit dan fasa karbida. Peningkatan penambahan Ti akan mengurangi kekerasan dan meningkatkan laju korosi yang mungkin disebabkan karena terlalu banyak karbon yang dikonsumsi oleh Ti dan membentuk fasa karbida TiC.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta atas Hibah Penelitian Dasar Fakultas (Rektor: No. 866/UN39/HK.02/2023, 28 Maret 2023, dan Dekan: No. T/023/5.FT/Kontrak - Penelitian/PT.01.03/III/2023, 3 April 2023).

6. Daftar Pustaka

- [1] F. Pichot, M. Danis, E. Lacoste, and Y. Danis, "Numerical Definition of an Equivalent GTAW Heat Source," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 213, no. 7, pp. 1241–1248, 2013, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2013.01.009.
- [2] I. Alkahla and S. Pervaiz, "Sustainability Assessment of Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Process," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, vol. 244, p. 012001,

- doi: 10.1088/1757-899x/244/1/012001.
- [3] V. E. Buchanan, D. G. McCartney, and P. H. Shipway, "A comparison of The Abrasive Wear Behaviour of Iron-Chromium Based Hardfaced Coatings Deposited by SMAW and Electric Arc Spraying," *Wear*, vol. 264, no. 7–8, pp. 542–549, 2008, doi: 10.1016/j.wear.2007.04.008.
- [4] S. Prabanjan, K. Karthick, J. Rejvin Kumar, S. Ramkumar, and A. Riswan Ahmed, "Wear Behavior and Metallurgical Characteristics of Particle Reinforced Metal Matrix Composites Produced by Hardfacing: A Review," in *Materials Today: Proceedings*, 2020, vol. 33, pp. 599–606, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.527.
- [5] V. Shibe and V. Chawla, "Enhancement in Wear Resistance by Hardfacing: A Review," *Mech. Confab*, vol. 2, no. 3, pp. 111–122, 2013.
- [6] Y. F. Zhou *et al.*, "Effect of Titanium Content on Microstructure and Wear Resistance of Fe-Cr-C Hardfacing Layers," *Weld. J.*, vol. 91, no. 8, pp. 229–236, 2012.
- [7] S. Syaripuddin, S. Sopiyan, S. Aditya, S. D. Yudanto, and F. B. Susetyo, "Synthesis of Hard Layer by Titanium Addition During Welding Process and Quenched Directly," *Int. J. Eng. Trans. C Asp.*, vol. 36, no. 03, pp. 532–539, 2023, doi: 10.5829/IJE.2023.36.03C.13.
- [8] F. B. Susetyo, S. T. Dwiwati, and M. B. P. Hutomo, "Fabrikasi Lapisan pada Baja 0,192 % C Sebagai Alternatif Pahat Bubut," *J. Kaji. Tek. Mesin*, vol. 5, no. 1, pp. 42–47, 2020.
- [9] M. Sugeng, F. M. Ismail, and J. P. Utomo, "Analisis Perbedaan Laju Korosi Hasil Pengujian Weight Loss dan Polarisasi pada Pipa dengan Pengujian Korosi Standar ASTM G59 dan ASTM G31," *J. Tera*, vol. 2, no. 1, pp. 48–56, 2022.
- [10] T. Zacharia, "Dynamic Stresses in Weld Metal Hot Cracking," *Weld. J.*, no. July, pp. 164–172, 1994.
- [11] L. Gan, F. Huang, X. Zhao, J. Liu, and Y. F. Cheng, "Hydrogen Trapping and Hydrogen Induced Cracking of Welded X100 Pipeline Steel in H₂S Environments," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 4, pp. 2293–2306, 2018, doi: 10.1016/j.ijhydene.2017.11.155.
- [12] C. C. Hsieh, Y. C. Liu, J. S. Wang, and W. Wu, "Microstructural Evolution with Various Ti Contents in Fe-Based Hardfacing Alloys using a GTAW Technique," *Met. Mater. Int.*, vol. 20, no. 4, pp. 701–712, 2014, doi: 10.1007/s12540-014-4015-0.
- [13] J. Chen, W. Xie, R. Liu, and Y. Wei, "Microstructure and Wear Resistance of Fe-based Hardfacing Layer Prepared by Flux-cored Wire Feeding MAG Welding Process," *Weld. World*, vol. 66, no. 2, pp. 175–185, 2022, doi: 10.1007/s40194-021-01209-w.
- [14] Sopiyan, Syaripuddin, A. Ahmad, D. Nanto, S. D. Yudanto, and F. B. Susetyo, "Enhancement in The Hardness and Corrosion Resistance of Mild Steel Surfaces by Nickel-Chromium Addition and Rapid Cooling After Welding," *J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 27, no. 6, pp. 2655–2666, 2024, doi: 10.6180/jase.202406_27(6).0012.