

Analisa Pengelasan *Tungsten Inert Gas* (TIG) pada Material Titanium (Ti-6Al-4V)

Tri Cahyono, Prantasi Harmi Tjahjanti*

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstrak: Material paduan titanium merupakan material alternatif yang bisa digunakan untuk material *implant* karena memiliki banyak kelebihan jika dibandingkan dengan SS 316 L antara lain memiliki bobot yang relatif lebih ringan dengan (*mechanical properties*) yang mumpuni. Pada industri manufaktur alat *implant* yang ada di Indonesia sebagian besar masih menggunakan metode manufaktur yang sederhana yaitu menggunakan alat *forging* dan penyambungan manual (*welding*). Material Ti-6Al-4V walaupun memiliki banyak kelebihan namun material ini memiliki kelemahan yaitu sulit untuk dilakukan proses manufaktur seperti penyambungan dengan metode pengelasan (*welding*). Paduan titanium memiliki kemampuan ketahanan korosi (*heat resistance*) yang baik dikarenakan paduan titanium ini memiliki lapisan oksida. Serta memiliki kekuatan mekanis yang tinggi sehingga lebih kuat. Dari pengujian yang dilakukan tentang pengaruh variasi arus las dan gas argon terhadap kekerasan, dan struktur mikro pada material titanium (Ti-6Al-4V) dengan proses TIG (*Tungsten Inert Gas*), kegunaannya untuk mendapatkan metode pengelasan yang baik pada logam Ti-6Al-4V dari aspek kekerasan, dan struktur mikro. Dari hasil pengujian kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus las, kekerasan yang paling mendekati struktur (Base Metal) BM menggunakan volume argon 5 lt/m dan arus sebesar 30 Ampere, dan hasil pengujian kekerasan Rockwell (HRC) yang memiliki perbedaan kekerasan paling besar terhadap struktur (Base Metal) BM yaitu pada Ampere 35, dan Volume gas argon 15 lt/menit.

Kata Kunci: Titanium, Pengelasan, TIG, Variasi Arus

DOI:

<https://doi.org/10.47134/innovative.v3i2.104>

*Correspondence: Prantasi Harmi

Tjahjanti

Email: pranatasiharmi@umsida.ac.id

Received: 01-04-2024

Accepted: 15-05-2024

Published: 30-06-2024



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: As a result, during welding, pa At temperatures above 260°C, titanium is highly reactive to the elements oxygen, nitrogen, carbon, and hydrogen. As a result, during welding, particular care is required. When compared to SS 316 L, titanium alloy material is an alternate material that may be utilized for implant materials since it offers a number of advantages, including a lower weight and better corrosion resistance (*mechanical properties*). The majority of implant equipment manufacturers in Indonesia still employ primitive production processes, such as forging and manual joints (*welding*). Although the Ti-6Al-4V material has numerous advantages, it also has a flaw: it is difficult to manufacture operations such as joining using the welding method (*welding*). Because titanium alloys have an oxide layer, they are heat resistant. It is also stronger since it has a high mechanical strength. The use of the TIG (*Tungsten Inert Gas*) process to examine the effects of changes in welding current and argon gas on the hardness and microstructure of titanium material (Ti-6Al-4V) is to achieve a satisfactory welding method on Ti-6Al-4V in terms of hardness and microstructure. According to the results of the Rockwell hardness test (HRC) on variations in welding current, the closest hardness to the BM (Base Metal) structure uses an argon volume of 5 lt/m and a current of 30 Ampere, and the largest differences in hardness on the structure (Base Metal) BM is at 35 Ampere and the volume of argon gas is 15 lt/minute.

Keywords: Welding, TIG, Titanium, Current Variation

Pendahuluan

Implant merupakan alternatif untuk pengobatan pada pasien yang mengalami patah tulang, oleh karena itu tingkat kebutuhan *implant* di Indonesia tiap tahunnya mengalami peningkatan (Dak, 2023; Linger, 2023; Mehdi, 2023). Hal ini tidak diimbangi dengan jumlah produsen manufaktur *implant* dalam negeri. *Implant* yang beredar di pasaran Indonesia masih memiliki kekurangan antara lain seperti kualitas bahan baku, kecocokan ukuran dengan pasien dan timbulnya alergi/infeksi. SS 316 L merupakan material yang masih menjadi pilihan utama bagi perusahaan *ortopaedic* dikarenakan harga yang murah dan kemampuan mekanik dan bio-kompatibilitas yang cukup baik (Y. Chen, 2023; Kalita, 2023; Reyaz, 2023). Disisi lain perusahaan luar negeri selalu mengembangkan bahan baku dari material *implant* ini dengan tujuan untuk mengurangi rasa sakit yang diderita pasien yang bisa disebabkan oleh *revision surgery* dan alergi (Al-Karawi, 2023; Cai, 2023; Lawal, 2023).

Material paduan titanium berupa Ti-6Al-4V merupakan material alternatif yang bisa digunakan untuk material *implant* (Iida, 2023; Yang, 2023; Zou, 2023). Material ini memiliki banyak kelebihan seperti yang dikutip dari Solichin (2008), antara lain memiliki bobot yang relatif lebih ringan dengan (*mechanical properties*) yang mumpuni. Pada industri manufaktur alat *implant* yang ada di Indonesia sebagian besar masih menggunakan metode manufaktur yang sederhana yaitu menggunakan alat *forging* dan penyambungan manual (*welding*) (Rokhmanto, 2009).

Material Ti-6Al-4V selain memiliki banyak kelebihan juga memiliki kekurangan salah satunya seperti dalam proses pemesinan (Z. P. Chen, 2023; Pavan, 2023; Tong, 2022). Paduan Ti6Al4V mudah mengalami kontaminasi pada oksigen yang menyebabkan *impurities* selama pengelasan dilakukan. sehingga material ini sulit untuk dilakukan proses manufaktur seperti penyambungan dengan metode pengelasan (*welding*). Paduan titanium memiliki kemampuan ketahanan korosi (*heat resistance*) yang baik bahkan pada suhu ekstrim. dikarenakan paduan titanium ini memiliki lapisan oksida. Serta memiliki kekuatan mekanis yang tinggi sehingga lebih kuat (Jazuli, 2019).

Pada pengelasan Titanium metode yang paling sering digunakan adalah *Metal Inert Gas* (MIG) dan *Tungsten Inert Gas* (TIG) atau *Gas Tungsten Arc Welding* (GTAW) tergantung pada jenis dan ketebalan dari titanium yang akan dilas, titanium yang mempunyai tebal kurang dari 2 mm akan lebih efisien jika dilakukan pengelasan dengan metode TIG dikutip dari (Asura, 2020; Twi, 1999).

Pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) umumnya digunakan sebagai salah satu metode yang digunakan untuk pengelasan pada paduan titanium, proses pengelasan ini dipilih karena dapat menghasilkan kualitas pengelasan yang baik, karena memiliki konduktivitas serta *koefisien thermal* yang rendah sehingga dapat meminimalisir terjadinya distorsi. Tetapi material Ti-6Al-4V sulit dilakukan pengelasan karena reaktivitas terhadap kimia yang lebih rentan terhadap temperatur pada suhu diatas 500 °C (Solichin, 2008).

Metode pengelasan TIG adalah salah satu metode yang sering digunakan dalam pengelasan titanium, pengelasan ini dipilih karena terdapat *gas inert* yang melindungi selama pengelasan, yang diharapkan dapat meminimalisir dari masuknya unsur-unsur luar (oksigen, hidrogen, dan nitrogen) ketika titanium dilas, untuk hasil yang maksimal *gas inert*

yang digunakan haruslah *ultra high purity* (kemurnian gas 99,99 %) sehingga didapatkan hasil lasan yang baik, dan dapat beroperasi sesuai dengan jangka waktu yang diinginkan (Asura, 2020).

Selain itu perbedaan metode pengelasan pada arus yang digunakan serta laju alir gas merupakan parameter las yang penting dan diduga mampu mengurangi adanya cacat las. Sehingga parameter dalam pengelasan ini akan diuji pada penelitian ini (Binathara et al., 2018; Wibowo, 2016).

Material Ti-6Al-4V sangat rentan dalam menyerap oksigen dan nitrogen saat dilakukan pengelasan, hal ini bisa menyebabkan kerapuhan (*brittleness*) dan material mengalami kekerasan, untuk itu titanium agar terlindungi dari segala kontaminasi dari udara, oksigen, dan hidrogen, serta senyawa lainnya, diperlukan perlakuan khusus saat dilakukan pengelasan. Diharapkan penelitian ini bisa bermanfaat dalam mencari referensi mengenai pengaruh variasi arus las dan gas argon terhadap kekerasan, dan struktur mikro pada material titanium (Ti-6Al-4V) dengan proses pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*), Sehingga dapat menjadi pertimbangan dalam pemilihan metode dalam pengelasan (Pasalbessy & Jokosisworo, 2015).

Metode

A. Pengujian metalurgrafi

Metalurgi adalah ilmu yang menguraikan tentang cara pemisahan logam dari ikatan unsur-unsur lain. Sedangkan metalografi adalah ilmu yang mempelajari tentang cara pemeriksaan logam untuk mengetahui sifat, struktur, temperatur, dan persentase campuran logam tersebut. Di dalam proses uji metallografi, pengujian logam dibagi lagi menjadi dua jenis :

1. Pengujian makro (*Macroscopic Test*)

Pengujian makro adalah proses uji bahan menggunakan mata langsung dengan tujuan dapat memeriksa celah dan lubang dalam permukaan bahan. Angka kevalidan pengujian makro berkisar antara 0,5 hingga 50 kali (Lingga, 2018).

2. Pengujian mikro (*Microscopic Test*)

Pengujian mikro adalah proses uji terhadap bahan logam yang berbentuk kristal logamnya tergolong sangat halus. Biasanya metode yang dipakai yaitu: mikroskop (optik maupun elektron), difraksi (sinar-X, elektron dan neutron), analisis (*X-ray fluorescence*, *elektron mikroprobe*) dan juga stereometrik metalografi (Mukhamad, 2019).

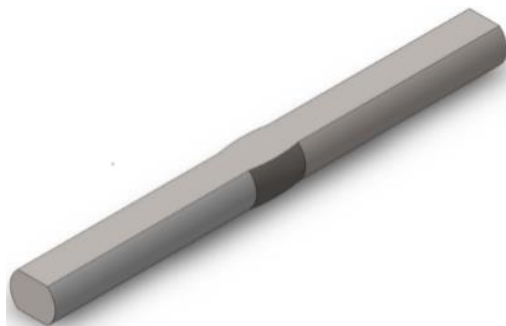
Salah satu cara dalam mengamati struktur mikro dan makro suatu bahan yaitu dengan teknik metalografi (pengujian mikroskop optik). Pengamatan mikro struktur dalam pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin di kampus Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Langkah-langkah proses etsa, Uji struktur makro, dan mikro adalah sebagai berikut:

1. Pemilihan permukaan pada spesimen.
2. Material yang akan di uji dipotong melintang terhadap alur las dan Pilih salah satu sisi yang paling jelas untuk memudahkan pengambilan gambar.
3. Amplas menggunakan kertas gosok *grade* 100, dan 400, sampai permukaan halus. Pengamplasan dilakukan searah sehingga tidak menimbulkan goresan baru.
4. Kemudian poles dengan menggunakan kertas kain *wool* dan *langsol*, serta arah penggosokan diusahakan searah sehingga tidak menimbulkan goresan baru yang akan menghambat proses etsa. Penggosokan harus dilanjutkan sampai seluruh goresan kertas sebelumnya sudah hilang dan mengkilap.
5. Gosok material dengan kapas untuk proses etsa dengan menggunakan cairan kimia yang sudah sesuai dengan material. Tunggu beberapa saat setelah itu ambil gambar menggunakan kamera untuk uji makrografi.
6. Melakukan pengamatan pada mikroskop optik dan pengambilan foto metalografi dengan pembesaran 100 kali.
7. *Print out* hasil pengujian mikro.

B. Pengujian Kekerasan

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin di kampus Universitas Muhammadiyah Sidoarjo sesuai prosedur yang ada. Langkah-langkah pengujian kekerasan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan material titanium yang akan diuji harus rata dan halus.
2. Pemotongan bentuk sampel dilakukan dengan mesin *milling* agar sampel berbentuk datar pada bagian atas dan bawah, sehingga memudahkan saat proses pengujian.



Gambar 1. Bentuk sampel pengujian yang digunakan.

3. Peletakan bahan yang akan diuji pada alat uji.
4. Kalibrasi alat uji kekerasan (*Rockwell Universal Hardness Tester CV-700*).
5. Lakukan pengukuran kekerasan.
6. Baca dan catat hasil pengujian bahan.
7. Pelepasan spesimen bahan.

Hasil dan Pembahasan

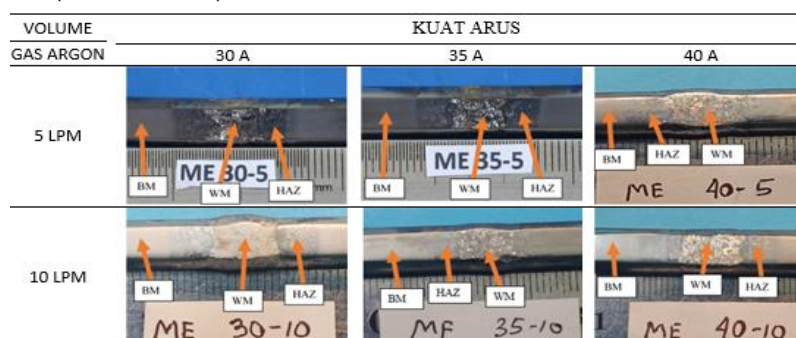
A. Data Hasil Pengelasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada paduan titanium dengan proses pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*), maka didapatkan hasil seperti dibawah ini:

Material	: Titanium (Ti-6Al-4V)
Diameter	: 8 mm
Desain sambungan	: Sambungan Tumpul (<i>Butt Joint</i>), jenis <i>Double Vee Groove</i>
Arus TIG	: 30 A, 35 A, 40 A
Volume Argon	: 5 lt/menit, 10 lt/menit, 15 lt/menit
Uji Kekerasan	: Rockwell (HRC)
Beban	: 1471 N
Ball Diameter	: 2,5 mm
Waktu Penekanan	: 15 detik

B. Hasil Visual Uji Makrografi Pada Pengelasan Titanium (Ti-6Al-4V)

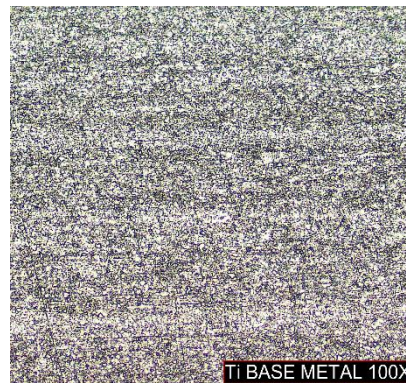
Pengujian makro adalah pengujian struktur logam dengan pembesaran 0,5 – 50 kali sedangkan pengujian mikro dengan pembesaran diatas 50 kali. Untuk mengamati hasil visual makro, permukaan ratakan terlebih dahulu, dihaluskan menggunakan amplas roll, kemudian poles dengan langsol, kemudian dilakukan pengetsaan menggunakan etsa untuk material titanium. Pada permukaannya nanti akan terlihat bagian-bagian dari (*weld metal*) WM, (*Heat Affected Zone*) HAZ, dan (*base metal*) BM yang akan memudahkan untuk pengujian mikrografi. Setelah dilakukan pengetsaan, kemudian dilakukan pengambilan gambar menggunakan kamera. Pada Tabel 3.1. Hasil foto makrografi berikut ini merupakan hasil gambar untuk pengamatan visual makro pada pengelasan material Titanium (Ti-6Al-4V). Pada keterangan gambar ada singkatan yaitu ME menunjukkan keterangan Uji Metalografi, diikuti dengan variasi arus *continous current* yaitu 30 A, 35 A, dan 40 A, kemudian variasi *flowrate* gas pelindung argon sebesar 5 L/menit, dan 10 L/menit. Kemudian panah untuk menunjukkan bagian-bagian dari (*weld metal*) WM, (*Heat Affected Zone*) HAZ, dan (*base metal*) BM.



Gambar 2. Hasil foto makrografi pada pengelasan material titanium (Ti-6Al-4V)

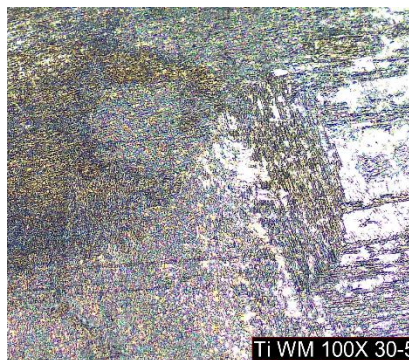
C. Hasil Visual Uji Mikrografi Pada Pengelasan Titanium (Ti-6Al-4V) pada Weld Metal dan HAZ.

Pengujian mikrografi atau mikroskop optik ini telah dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui susunan material pada daerah lasan (*weld metal*), setelah dilakukan pengelasan dengan proses pengelasan (*Tungsten Inert Gas*) TIG. Foto struktur mikro dapat digunakan sebagai acuan pembandingan hasil dari pengujian kekerasan. Hasil visual foto mikroskop optik titanium pada (*base metal*) tanpa pengelasan dapat dilihat pada gambar 4.4. dibawah.



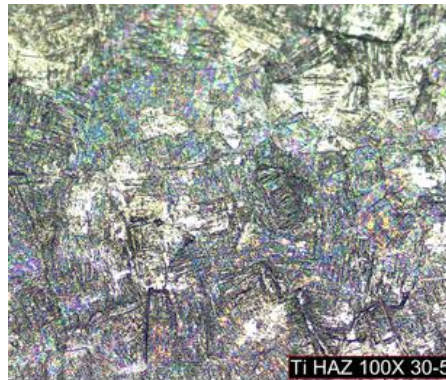
Gambar 3. Hasil struktur mikro logam induk (*Base Metal*) titanium (Ti-6Al-4V)
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Pada gambar 4 material yang tidak dilas menunjukkan bahwa butiran-butiran *crystal* struktur masih seragam dan teratur dan rapat. Uji mikrografi dapat digunakan untuk mencocokkan antara nilai kekerasan yang diperoleh, dengan fasa struktur mikro yang terbentuk. Nilai kekerasan Rockwell pada logam induk tanpa pengelasan sebesar 18 HRC.



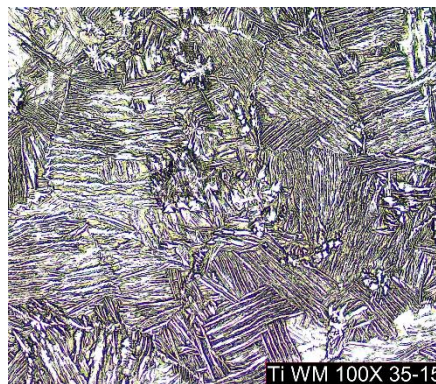
Gambar 4. Hasil struktur mikro pada WM 100x 30-5.
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Pada Gambar 4.5. memperlihatkan hasil uji mikrografi pada daerah (*weld metal*) WM, dengan proses pengelasan (*Tungsten Inert Gas*) TIG, dengan pembesaran sebanyak 100x. Menunjukkan bahwa hasil pengujian kekerasan *rockwell* yang memiliki perbedaan kekerasan paling mendekati terhadap BM yaitu pada Ampere 30, dan Volume gas argon 5 lt/menit. Memiliki gambar struktur seperti diatas.



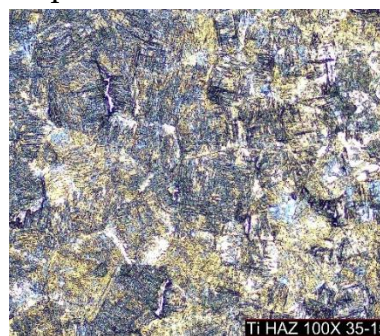
Gambar 5. Hasil struktur mikro pada HAZ 30-5
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Pada Gambar 5 memperlihatkan hasil uji mikrografi pada daerah (*Heat Affected Zone*) HAZ, pada pengujian kekerasan *rockwell* dengan Ampere 30, dan Volume gas argon 5 lt/menit dengan proses pengelasan (*Tungsten Inert Gas*) TIG, dengan pembesaran sebanyak 100x. memiliki gambar struktur seperti diatas.



Gambar 6. Hasil struktur mikro pada WM 100x 35-15
(Sumber: dokumentasi pribadi)

Pada Gambar 6 memperlihatkan hasil uji mikrografi pada daerah (*weld metal*) WM, dengan proses pengelasan (*Tungsten Inert Gas*) TIG, dengan pembesaran sebanyak 100x. Menunjukkan bahwa hasil pengujian kekerasan *rockwell* yang memiliki perbedaan kekerasan paling besar terhadap BM yaitu pada Ampere 35, dan Volume gas argon 15 L/menit. Memiliki gambar struktur seperti di atas.



Gambar 7. Hasil struktur mikro pada HAZ 35-15
(Sumber: dokumentasi pribadi)

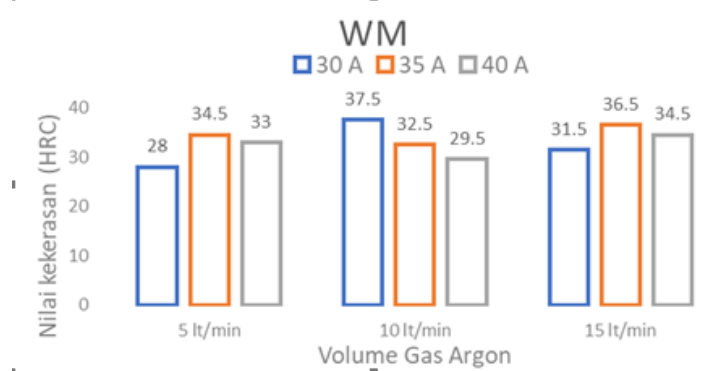
Pada Gambar 7 memperlihatkan hasil uji mikrografi pada daerah (*Heat Affected Zone*) HAZ, pada sampel pengujian kekerasan *rockwell* pada Ampere 35, dan Volume gas argon 15 L/menit, dengan proses pengelasan (*Tungsten Inert Gas*) TIG, dengan pembesaran sebanyak 100x Memiliki gambar struktur seperti diatas.

Setelah dilakukan pengelasan maka diterapkan pengujian kekuatan pengelasan dengan metode Rockwell (HRC), pada daerah (*weld metal*) WM, (*Heat Affected Zone*) HAZ, dan (*base metal*) BM. dari pengujian ini menghasilkan rincian nilai kekerasan pada tiap specimen dengan data seperti pada Tabel 1 berikut ini(Rokhmanto, 2009).

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Kekerasan Rockwell

Volume Gas Argon	Variasi Besar Arus (A)	Hasil Uji kekerasan (HRC)			Selisih WM dan BM
		WM	HAZ	BM	
5 lt/min	30 A	28	21	19.5	8.5
	35 A	34.5	20.5	19	15.5
	40 A	33	22	20	13
10 lt/min	30 A	37.5	22.5	22	15.5
	35 A	32.5	22	20.5	12
	40 A	29.5	17.5	16.5	13
15 lt/min	30 A	31.5	19	18	13.5
	35 A	36.5	19.5	18.5	18
	40 A	34.5	21.5	20.5	14

Dari tabel tersebut menunjukkan hasil nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi *flowrate* gas pelindung argon sebesar 5 lt/menit, 10 lt/menit, 15 lt/menit dengan variasi arus *continous current* 30 Ampere, 35 Ampere, dan 40 Ampere, pada daerah (*weld metal*) WM, (*Heat Affected Zone*) HAZ, dan (*base metal*) BM. Untuk melihat grafik dari data tersebut bisa melihat gambar dibawah.



Gambar 8. Data Hasil Uji Kekerasan Pada Weld Metal Paduan Titanium (Ti-6Al-4V)

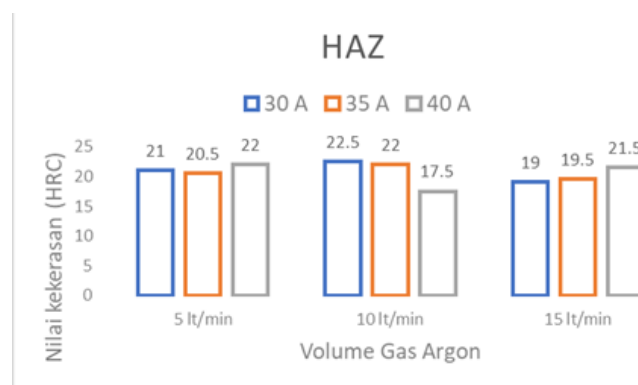
Dari gambar 8 hasil pengujian kekerasan pada WM (*weld metal*) diatas menunjukkan nilai kekerasan pada bagian WM (*weld metal*) dengan Material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi volume gas pelindung argon sebesar 5 lt/menit, 10 lt/menit, 15 lt/menit dengan variasi arus *continous current* 30 Ampere, 35 Ampere, dan 40 Ampere.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian WM (*weld metal*) dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continuous current* 30 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 28 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 37,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 31,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 5 lt/menit dengan hasil sebesar 37,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 5 lt/menit sebesar 28 HRC.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian WM (*weld metal*) dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continuous current* 35 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 34,5 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 32,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 36,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 15 lt/menit dengan hasil sebesar 36,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 10 lt/menit sebesar 32,5 HRC.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian WM (*weld metal*) dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continuous current* 40 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 33 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 29,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 34,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 15 lt/menit dengan hasil sebesar 34,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 10 lt/menit sebesar 29,5 HRC.

Dari pernyataan di atas hasil pengujian kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continuous current* yang mendekati kekerasan dan struktur *Base Metal* menggunakan volume argon 5 lt/m dan arus sebesar 30 Ampere, dan hasil yang menunjukkan paling keras dibandingkan *Base Metal* menggunakan volume argon 10 lt/m dan arus sebesar 35 Ampere.



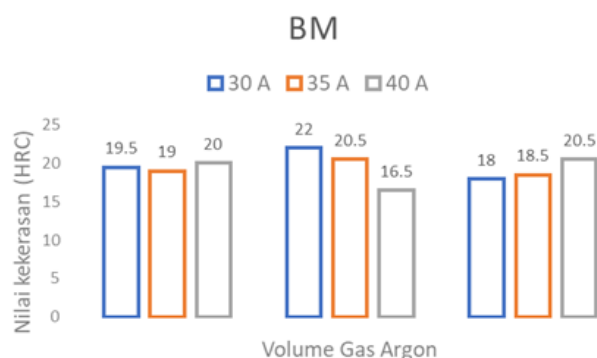
Gambar 9. Data Hasil Uji Kekerasan Pada (*Heat Affected Zone*) HAZ

Dari gambar 9 hasil pengujian kekerasan pada (*Heat Affected Zone*) HAZ diatas menunjukkan nilai kekerasan pada bagian (*Heat Affected Zone*) HAZ dengan Material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi volume gas pelindung argon sebesar 5 lt/menit, 10 lt/menit, 15 lt/menit dengan variasi arus *continuous current* 30 Ampere 35 Ampere, dan 40 Ampere.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian (*Heat Affected Zone*) HAZ dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continous current* 30 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 28 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 37,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 31,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 5 lt/menit dengan hasil sebesar 37,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 5 lt/menit sebesar 28 HRC.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian (*Heat Affected Zone*) HAZ dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continous current* 35 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 34,5 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 32,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 36,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 15 lt/menit dengan hasil sebesar 36,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 10 lt/menit sebesar 32,5 HRC.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian (*Heat Affected Zone*) HAZ dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continous current* 40 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 33 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 29,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 34,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 15 lt/menit dengan hasil sebesar 34,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 10 lt/menit sebesar 29,5 HRC.



Gambar 10. Data Hasil Uji Kekerasan Pada (*base metal*) BM

Dari gambar 10 hasil pengujian kekerasan pada (*base metal*) BM diatas menunjukkan nilai kekerasan pada bagian (*base metal*) BM dengan Material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi volume gas pelindung argon sebesar 5 lt/menit, 10 lt/menit, 15 lt/menit dengan variasi arus *continous current* 30 Ampere 35 Ampere, dan 40 Ampere.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian (*base metal*) BM dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continous current* 30 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 28 HRC, pada

volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 37,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 31,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 5 lt/menit dengan hasil sebesar 37,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 5 lt/menit sebesar 28 HRC.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian (*base metal*) BM dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continuous current* 35 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 34,5 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 32,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 36,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 15 lt/menit dengan hasil sebesar 36,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 10 lt/menit sebesar 32,5 HRC.

Hasil pengujian kekerasan pada bagian (*base metal*) BM dengan material Titanium (Ti-6Al-4V) menggunakan nilai kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus *continuous current* 40 Ampere pada volume argon 5 lt/menit memiliki nilai sebesar 33 HRC, pada volume argon 10 lt/menit memiliki nilai sebesar 29,5 HRC, dan pada volume argon 15 lt/menit memiliki nilai sebesar 34,5 HRC. Hasil nilai kekerasan tertinggi pada volume gas pelindung argon 15 lt/menit dengan hasil sebesar 34,5 HRC, sedangkan hasil nilai kekerasan terendah pada volume gas pelindung argon 10 lt/menit sebesar 29,5 HRC.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan pada paduan titanium (Ti-6Al-4V) dengan proses pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*), Diameter 8 mm, Desain Sambungan Tumpul (*Butt Joint*), jenis *Double Vee Groove*, maka dapat diambil kesimpulan bahwa, dari hasil pengujian kekerasan Rockwell (HRC) terhadap variasi arus las, kekerasan yang paling mendekati struktur (Base Metal) BM menggunakan volume argon 5 lt/m dan arus sebesar 30 Ampere, dan hasil pengujian kekerasan *Rockwell* (HRC) yang memiliki perbedaan kekerasan paling besar terhadap struktur (Base Metal) BM yaitu pada Ampere 35, dan Volume gas argon 15 lt/menit.

Daftar Pustaka

- Al-Karawi, H. (2023). Literature review on crack retrofitting in steel by Tungsten Inert Gas remelting. *Ships and Offshore Structures*, 18(4), 463–468. <https://doi.org/10.1080/17445302.2021.2020986>
- Asura, I. (2020). Analisa Pengaruh Perbedaan Flow Rate Argon Pada Pengelasan Commercially Pure Titanium Terhadap Sifat Mekanik Dan Mikrostruktur (p. 24).
- Binathara, P. S., Pembimbing, D., T. Material, & F. T. Industri. (2018). Pengaruh Variasi Arus Continuous Current , Pulsed Current , Gas Argon Kekerasan Cuni 90 / 10 Dengan Metode Tungsten Inert Gas (TIG). Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Cai, H. (2023). Microstructure and mechanical properties of 9Cr-3Co-2.9 W-CuNbV steel welded joints processed by different tungsten inert gas (TIG) welding. *Materials Characterization*, 199. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2023.112840>

- Chen, Y. (2023). Effect of Tungsten Inert Gas Welding Parameters on Hot Crack Sensitivity of Cast Magnesium Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(3), 1382–1389. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07192-7>
- Chen, Z. P. (2023). Cyclic behaviours of superelastic shape-memory alloy plates joined by tungsten inert gas welding. *Construction and Building Materials*, 402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132768>
- Dak, G. (2023). Residual stress analysis, microstructural characterization, and mechanical properties of tungsten inert gas-welded P92/AISI 304L dissimilar steel joints. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 237(4), 767–790. <https://doi.org/10.1177/14644207221124494>
- Iida, K. (2023). Identification of the Dominant Factor for Droplet Ejection from a Tungsten Electrode during AC Tungsten Inert Gas Welding by Visualisation of Electrode Phenomena. *Materials*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/ma16072899>
- Jazuli, I. (2019). Analisis metode repair pada pengelasan tube titanium sb338 gr 2 ke tube sheet titanium sb265 gr 1 terhadap nilai kekerasan, struktur mikro dan laju korosi. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya Surabaya.
- Kalita, K. (2023). Finite Element Modelling, Predictive Modelling and Optimization of Metal Inert Gas, Tungsten Inert Gas and Friction Stir Welding Processes: A Comprehensive Review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 30(1), 271–299. <https://doi.org/10.1007/s11831-022-09797-6>
- Lawal, S. L. (2023). Tungsten inert gas (TIG) and metal inert gas (MIG) welding applications - Critical review. *E3S Web of Conferences*, 390. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339005012>
- Lingga, L. (2018). Analisa Pengaruh Penggunaan Variasi Besaran Arus Ampere Dan Tekanan Gas Argon Pada Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG).
- Linger, M. A. (2023). Parameters optimization of tungsten inert gas welding process on 304L stainless steel using grey based Taguchi method. *Engineering Research Express*, 5(1). <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acb526>
- Mehdi, H. (2023). Influence of Friction Stir Processing on the Mechanical and Microstructure Characterization of Single and Double V-Groove Tungsten Inert Gas Welded Dissimilar Aluminum Joints. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(17), 7858–7868. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07659-7>
- Nur, A. J. I., & Mukhamad. (2019). Pengelasan Smaw Pada Sambungan Pengelasan Logam Baja Jis G 3131 Sphc Dengan Baja Aisi 201 Terhadap Sifat Program Studi Teknik Mesin S-1 (p. 127).
- Pahleviannur, M. R. (2022). *Penentuan Prioritas Pilar Satuan Pendidikan Aman Bencana (SPAB) menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Pena Persada.
- Pahleviannur, M. R., Ayuni, I. K., Widiastuti, A. S., Umaroh, R., Aisyah, H. R., Afiyah, Z., Azzahra, I., Chairani, M. S., Dhafita, N. A., & Rohmah, N. L. (2023). Kerentanan Sosial Ekonomi terhadap Bencana Banjir di Hilir DAS Citanduy Bagian Barat Kabupaten Pangandaran Jawa Barat. *Media Komunikasi Geografi*, 24(2), 189–205.

- Pasalbessy, S. V., & Jokosisworo, S. (2015). Pengaruh Besar Arus Listrik Dan Kecepatan Las Terhadap Kekuatan Tarik Aluminium 5083 Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas), 3(4), 336–345.
- Pavan, A. R. (2023). A Comparative Study on the Microstructural Evolution and Mechanical Behavior of 316LN Stainless Steel Welds Made Using Hot-Wire Tungsten Inert Gas and Activated Tungsten Inert Gas Process. *Journal of Materials Engineering and Performance*. <https://doi.org/10.1007/s11665-023-08881-7>
- Reyaz, M. S. Bin. (2023). Analysis of mechanical properties and optimization of tungsten inert gas welding parameters on dissimilar AA6061-T6 and AA7075-T6 by a response surface methodology-based desirability function approach. *Engineering Optimization*. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2023.2230133>
- Rokhmanto, F. (2009). Pengaruh kandungan Mo dan Nb di dalam paduan logam implan (Ti-Al-Mo dan Ti-Al-Nb) terhadap pembentukan fasa beta. Universitas Indonesia.
- Solichin, M. L. (2008). Pengaruh perlindungan gas terhadap sifat mekanis dan visual permukaan pada hasil lasan titanium. Universitas Indonesia.
- Tong, X. (2022). Exceptional grain refinement of Mg-Zr master alloy treated by tungsten inert gas arc re-melting with ultra-high frequency pulses. *Scripta Materialia*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.scriptamat.2022.114700>
- TWI. (1999). Welding Titanium: A Designers And Users Handbook. TWI is incorporated.
- Wibowo, A. (2016). Macam-Macam Cacat Las. Tugas Macam Cacat Las, 1–9.
- Yang, Z. (2023). Corrosion behavior of ADC12 aluminum alloy welded joint using tungsten inert gas welding in 3.5 wt. % NaCl solution. *Materials Chemistry and Physics*, 295. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2022.127217>
- Zou, Y. (2023). Effects of Nitrogen-Added Double Shielding Gas and Solution Treatment on Duplex Stainless Steel Weld Microstructure of Deep-Penetration Tungsten Inert Gas Welding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(15), 6995–7003. <https://doi.org/10.1007/s11665-022-07594-7>