



Analisa Pengaruh Variasi Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) terhadap Sifat Material Aisi 304 pada Sudu Runner Turbin Francis

Ali¹, Diaz Waluya Pratama^{2*}

¹⁻²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung, Indonesia

*Penulis Korespondensi: waluyadiaz@gmail.com

Abstract. This study aims to analyze the effect of Tungsten Inert Gas (TIG) welding parameter variations on the mechanical and metallurgical properties of AISI 304 austenitic stainless steel, which is widely used in construction and industrial applications due to its excellent corrosion resistance and joint strength. The research focuses on identifying the optimal welding current to minimize welding defects and enhance joint structural integrity. Welding current was varied at three levels, namely 100 A, 125 A, and 135 A, while other parameters such as welding speed, argon shielding gas flow rate, and electrode type were kept constant. Mechanical properties were evaluated through Micro-Vickers hardness testing conducted in the weld metal, Heat Affected Zone (HAZ), and base metal, as well as tensile testing to determine ultimate tensile strength and elongation. In addition, non-destructive testing using the dye penetrant method was performed to detect surface welding discontinuities. Metallographic analysis was carried out using optical microscopy following an etching process to observe grain morphology, grain size, and the formation of microstructural phases. The results are expected to demonstrate a correlation between increased heat input due to higher welding current and changes in mechanical properties and microstructure, particularly in the HAZ. This study provides practical guidance for determining optimal TIG welding parameters for AISI 304 to achieve high tensile strength, homogeneous hardness distribution, and a stable microstructure resistant to intergranular corrosion.

Keywords: Dye Penetrant; Hardness; Microstructure; TIG Welding; Tensile Strength.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi parameter pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) terhadap sifat mekanik dan metalurgi baja tahan karat austenitik AISI 304 yang banyak digunakan dalam industri konstruksi karena ketahanan korosi dan kekuatan sambungannya. Fokus penelitian diarahkan pada penentuan parameter arus pengelasan yang optimal guna meminimalkan cacat las dan meningkatkan integritas struktural sambungan. Variasi arus pengelasan dilakukan pada tiga tingkat, yaitu 100 A, 125 A, dan 135 A, dengan parameter lain seperti kecepatan pengelasan, laju aliran gas Argon, dan jenis elektroda dijaga konstan. Evaluasi sifat mekanik dilakukan melalui uji kekerasan Micro-Vickers pada zona logam las, Heat Affected Zone (HAZ), dan logam induk, serta uji tarik untuk menentukan kekuatan tarik maksimum dan regangan. Selain itu, pengujian non-destruktif menggunakan metode dye penetrant diterapkan untuk mendeteksi diskontinuitas permukaan las. Analisis metalografi dilakukan menggunakan mikroskop optik setelah proses etsa guna mengamati perubahan struktur mikro, ukuran butir, dan pembentukan fasa mikro. Hasil penelitian diharapkan menunjukkan hubungan antara peningkatan input panas akibat kenaikan arus pengelasan dengan perubahan sifat mekanik dan struktur mikro, khususnya pada HAZ. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam penentuan parameter pengelasan TIG AISI 304 yang menghasilkan kekuatan tarik tinggi, distribusi kekerasan yang homogen, serta struktur mikro yang stabil dan tahan terhadap korosi intergranular.

Kata Kunci: Dye Penetrant; Kekerasan; Kekuatan Tarik; Pengelasan TIG; Struktur Mikro.

1. LATAR BELAKANG

Pengelasan merupakan proses penyambungan logam yang sangat penting dalam industri manufaktur dan konstruksi karena berperan langsung terhadap kekuatan, keandalan, serta umur pakai suatu komponen. Pada sektor pembangkit listrik tenaga air, khususnya turbin Francis, komponen sudu runner bekerja pada kondisi beban mekanik dan hidrodinamik yang tinggi sehingga menuntut kualitas sambungan las yang baik. Kegagalan pada sambungan las

dapat menyebabkan penurunan performa hingga kerusakan sistem secara keseluruhan, sehingga pemilihan metode dan parameter pengelasan menjadi aspek yang krusial.

Salah satu material yang banyak digunakan pada komponen turbin adalah baja tahan karat AISI 304 karena memiliki kekuatan mekanik yang baik, ketahanan korosi yang tinggi, serta kemudahan dalam proses fabrikasi. Namun, sifat mekanik dan struktur mikro material ini dapat mengalami perubahan akibat proses pengelasan, terutama pada daerah logam las dan daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*). Oleh karena itu, pengendalian parameter pengelasan sangat diperlukan agar tidak menurunkan kualitas material setelah penyambungan.

Metode pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) banyak digunakan untuk pengelasan baja tahan karat karena mampu menghasilkan sambungan dengan kualitas tinggi, penetrasi yang baik, serta minim cacat. Meskipun demikian, variasi parameter pengelasan seperti arus dan kecepatan pengelasan dapat memengaruhi karakteristik mekanik dan metalurgi hasil las. Arus pengelasan yang terlalu rendah dapat menyebabkan penetrasi tidak sempurna, sedangkan arus yang terlalu tinggi dapat memicu deformasi berlebih dan perubahan struktur mikro yang tidak diinginkan.

Beberapa penelitian terbaru menunjukkan bahwa variasi arus dalam proses pengelasan TIG berdampak signifikan terhadap perubahan sifat mekanik dan mikrostruktur material stainless steel. Herdianto et al. (2024) menemukan bahwa peningkatan arus las menghasilkan pelebaran zona terpengaruh panas (HAZ) dan peningkatan kekerasan Vickers pada lasan stainless steel 304, yang menunjukkan hubungan terukur antara parameter arus dengan sifat mekanik hasil las. Selain itu, Ye et al. (2023) mencatat bahwa variasi sinyal listrik dalam metode AC-DC hybrid TIG berdampak pada formasi struktur mikro dan karakteristik mekanik sambungan, memperkuat bahwa parameter arus maupun bentuk sinyal merupakan faktor penting dalam desain proses las TIG. Mamungkas et al. (2025) juga melaporkan bahwa variasi arus las berhubungan dengan perbedaan kekuatan tarik dan perubahan struktur mikro, sehingga menentukan arus optimal sangat penting untuk memaksimalkan performa sambungan pada material stainless steel 304.

2. KAJIAN TEORITIS

Baskoro et al. (2024) menemukan bahwa penggunaan flux aktif pada proses pengelasan TIG dapat meningkatkan penetrasi las dan memperbaiki kekuatan tarik material stainless steel tipe 304, yang sangat penting untuk aplikasi pada komponen turbin seperti sudu runner turbin Francis. Mereka mengemukakan bahwa "peningkatan penetrasi las yang disebabkan oleh penggunaan flux aktif memungkinkan pembentukan sambungan las yang lebih kuat dan lebih

tahan terhadap perubahan temperatur tinggi" (Baskoro et al., 2024, p. 904). Menurut Ye et al. (2025), variasi arus pada proses pengelasan TIG berdampak signifikan pada struktur mikro material stainless steel, terutama kekuatan tarik dan pembentukan zona terpengaruh panas (HAZ). Mereka menyatakan bahwa "pengaruh arus AC dan DC dalam pengelasan TIG menghasilkan struktur mikro yang berbeda, yang memengaruhi sifat mekanik material, termasuk ketahanan terhadap korosi dan kegagalan mekanik di aplikasi industri berat seperti turbin Francis" (Ye et al., 2025, p. 1128). Gajjar et al. (2025) mengungkapkan bahwa input panas dalam pengelasan TIG dapat mengubah mikrostruktur dan kekerasan material, yang berhubungan dengan ketahanan korosi pada sambungan las. Mereka mencatat bahwa "pembentukan struktur mikro yang lebih baik pada input panas yang lebih tinggi meningkatkan sifat mekanik dan daya tahan terhadap tekanan dan temperatur ekstrem yang ditemukan pada aplikasi turbin" (Gajjar et al., 2025, p. 25).

Turbin Francis

Turbin Francis adalah salah satu jenis turbin reaksi dengan konstruksi yang sangat kompleks sehingga tekanan air yang keluar dari turbin sangat rendah. Turbin Francis menggunakan suatu bagian yang digunakan sebagai sudu pengarah. Sudu pengarah tersebut berfungsi sebagai bagian yang mengarahkan air masuk ke dalam turbin secara tangensial. Sudu pengarah yang dibuat pada turbin Francis dapat diatur dengan kemiringan tertentu yang disesuaikan dengan beban yang akan digerakkan turbin. Hal ini dapat meningkatkan kinerja dari turbin Francis (Mafrudin & Irawan, 2020).

Material AISI 304

Baja tahan karat atau stainless steel sendiri adalah paduan besi dengan 18% kromium (Cr) dan 8 % nikel (Ni). Komposisi ini membentuk protective layer (lapisan pelindung anti korosi) yang merupakan hasil oksidasi oksigen terhadap krom yang terjadi secara spontan. Tentunya harus dibedakan mekanisme protective layer ini dibandingkan baja yang dilindungi dengan coating (misal seng dan cadmium) (Fitrianto, 2014).

Pengelasan

Pengelasan adalah proses penyambungan secara permanen satu atau lebih material logam dengan ikatan metalurgi yang dilaksanakan pada waktu logam dalam keadaan lumer atau cair (Prasetyo, 2014).

- a. Tungsten inert Gas (TIG). Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) merupakan proses las busur listrik yang menggunakan elektroda tungsten dan gas inert sebagai pelindung daerah las. Busur listrik terbentuk antara elektroda tungsten dan benda kerja, sedangkan logam pengisi (filler metal) ditambahkan secara manual hingga mencair dan menyatu dengan

logam induk. Pembangkitan busur dilakukan dengan mendekatkan ujung elektroda ke permukaan benda kerja sehingga terjadi ionisasi udara dan busur menjadi stabil. Proses pengelasan TIG dapat dilakukan secara manual maupun otomatis dengan bantuan penggerak torch (Eko Prasetyo, 2014).

- b. Arus Pengelasan TIG. Arus pengelasan adalah besarnya aliran atau arus listrik yang keluar dari mesin las. Besar kecilnya arus pengelasan dapat diatur dengan alat yang ada pada mesin las. Arus las harus disesuaikan dengan jenis bahan dan diameter elektroda yang digunakan dalam pengelasan. Penggunaan arus yang terlalu kecil akan mengakibatkan penembusan atau penetrasi las yang rendah, sedangkan arus yang terlalu besar akan mengakibatkan terbentuknya manik las deformasi yang terlalu lebar dan dalam pengelasan (Putri, 2010).

Metode Pengujian dan Standar Material

- a. Uji Tarik. Uji tarik merupakan pengujian merusak (*destructive test*) yang bertujuan untuk menentukan sifat mekanik material, seperti kekuatan tarik, kekuatan luluh, modulus elastisitas, dan keuletan. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban tarik yang meningkat secara kontinu hingga spesimen mengalami patah. Spesimen uji dibuat mengacu pada standar ASTM E8, yang mengatur metode pengujian tarik dengan satuan pengukuran dalam milimeter.
- b. Uji Kekerasan. Uji kekerasan digunakan untuk mengetahui ketahanan material terhadap deformasi plastis pada permukaannya. Pengujian kekerasan dilakukan berdasarkan standar ASTM E18 dengan metode Rockwell, yaitu menekan indenter berupa bola baja atau kerucut intan ke permukaan spesimen menggunakan beban tertentu, kemudian mengukur kedalaman lekukan untuk menentukan nilai kekerasan.
- c. *Non-Destructive Test (Dye Penetrant)*. Pengujian *dye penetrant* merupakan metode *non-destruktif* yang digunakan untuk mendeteksi cacat pada permukaan terbuka material, baik logam maupun non-logam. Metode ini menggunakan cairan penetrant, cleaner, dan developer untuk menampilkan indikasi cacat permukaan secara visual melalui perbedaan warna kontras.
- d. Analisis Struktur Mikro. Analisis struktur mikro dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik material, menganalisis kegagalan, serta mengevaluasi proses yang dialami material. Pemeriksaan metalografi mengacu pada standar ASTM E3, dengan spesimen berukuran sekitar 12–25 mm untuk memudahkan proses pemolesan dan pengamatan struktur mikro.

3. METODE PENELITIAN

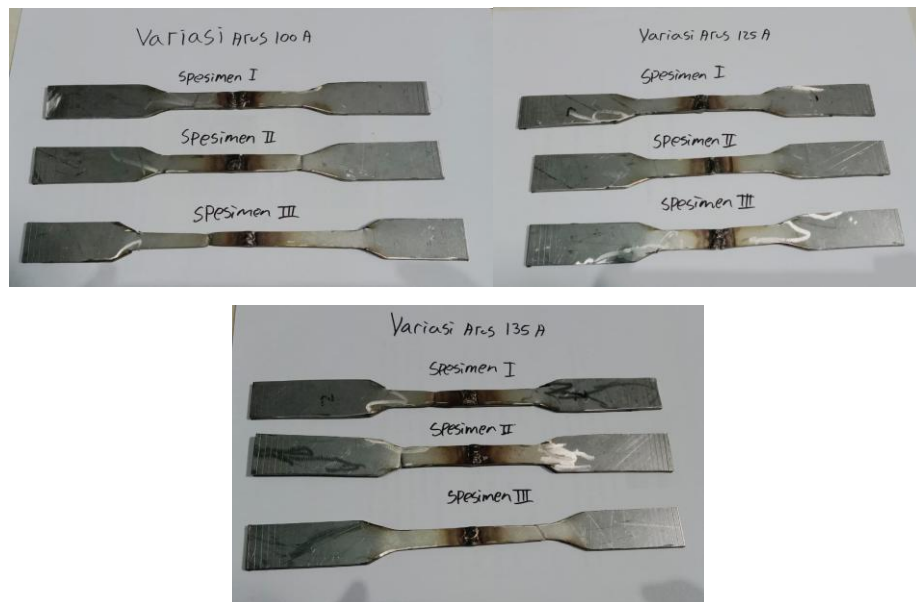
Metode penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental laboratoris yang bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi arus pengelasan terhadap sifat mekanik dan struktur mikro material AISI 304. Penelitian ini menggunakan proses pengelasan *Tungsten Inert Gas (TIG)* yang dilanjutkan dengan pengujian *dye penetrant*, *uji tarik*, *uji kekerasan Vickers*, serta pengamatan struktur mikro. Proses pengelasan dilakukan di *Workshop SML Production*, sedangkan pengujian material dilaksanakan di Laboratorium Metalurgi Fisik Jurusan Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung dan Politeknik Manufaktur Bandung.

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, material AISI 304 terlebih dahulu dilakukan proses pemotongan spesimen, kemudian dilakukan pengelasan dengan variasi arus sebesar 100 Ampere, 125 Ampere, dan 135 Ampere sebagai variabel bebas penelitian, sementara parameter pengelasan lainnya dijaga konstan. Setiap variasi arus terdiri atas tiga spesimen untuk menjamin keterulangan dan keandalan data hasil pengujian



Gambar 2. Proses pemotongan dan pengelasan variasi 100 A,125A,135 A.

Setelah proses pengelasan, material selanjutnya dilakukan pengujian *dye penetrant*, *uji tarik*, *uji kekerasan Vickers*, serta analisis struktur mikro.



Gambar 3. Spesimen Uji Tarik.



Gambar 4. Spesimen untuk Pengamatan Struktur Mikro.

Setelah proses pengelasan selesai, spesimen selanjutnya dilakukan pengujian *dye penetrant* sebagai tahapan awal untuk mendeteksi adanya cacat permukaan pada hasil pengelasan. Selanjutnya, spesimen dipotong sesuai dengan standar pengujian yang digunakan dan dipersiapkan untuk uji tarik, uji kekerasan, serta analisis struktur mikro sebagai bagian dari prosedur pengujian material.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Pembahasan Hasil Uji NDT (*Dye Penetrant*)

Pengujian *dye penetrant* dilakukan untuk mendeteksi adanya cacat permukaan pada hasil pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG) material AISI 304, seperti retak (*crack*) dan porositas, yang dapat mempengaruhi kualitas dan integritas sambungan las. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Institut Teknologi Nasional Bandung dengan menggunakan cairan *cleaner*, *penetrant*, dan *developer* sesuai prosedur pengujian non-destruktif.

Hasil pengujian *dye penetrant* pada masing-masing variasi arus pengelasan ditunjukkan pada Tabel 1. Indikasi cacat permukaan diamati berdasarkan munculnya cairan penetrant pada permukaan hasil pengelasan setelah proses pengembangan (*developing*).

Tabel 1. Hasil Pengujian *Dye Pnetrant*.

No	Keterangan	Gambar Hasil <i>Dye Pnetrant</i>
1	Pada gambar di samping menunjukan hasil pengelasan Terdapat adanya crack pada saat awal pengelasan sehinga terlihat adanya cairan penetrant yang muncul ke permukaan.	
2	Pada gambar di samping menunjukan nomer 1 dan 2 pada saat awal pengelasan terdapat adanya crack namun hanya terjadi pada saat awal dan tidak adanya cacat pada proses pengelesan sehinga material layak untuk digunakan.	
3	Pada gambar di samping menunjukan no 1 dan 2 tedapat crack pada saat awal pengelasan saja dan tidak adanya tanda tanda cacat pada proses pengelasan.	

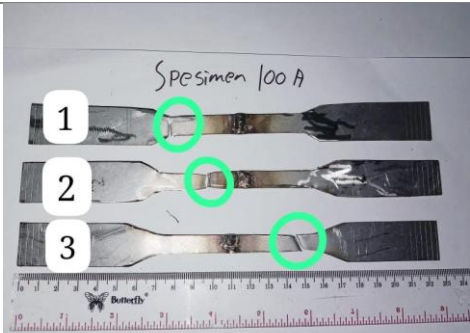
Berdasarkan ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC) Section VIII Appendix 8, terdapat kriteria standar penerimaan terhadap indikasi cacat yang terdeteksi pada pengujian *dye penetrant*. Standar ini digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi hasil pengujian non-destruktif pada spesimen hasil pengelasan. Adapun kriteria penerimaan yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

- tidak diperbolehkan adanya indikasi linear yang relevan;
- indikasi bulat yang relevan dengan ukuran lebih besar dari 5 mm tidak dapat diterima;
- empat atau lebih indikasi bulat yang relevan yang tersusun dalam satu garis lurus dengan jarak antarindikasi 1,5 mm atau kurang tidak dapat diterima.

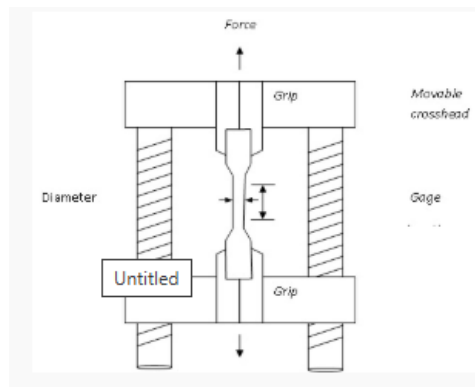
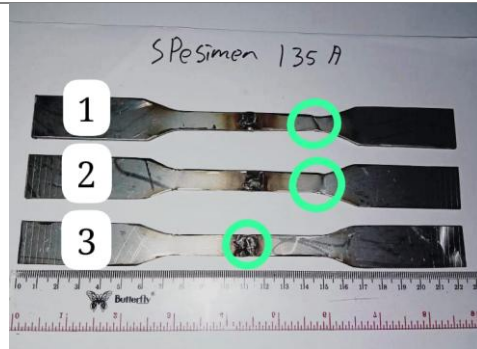
Analisa Pembahasan Hasil Uji Tarik

Pada saat melakukan pengujian dilakukan di laboratorium metalurgi fisik itenas, seperti di tunjukan pada table 3 hasil pengujian Tarik pada material AISI 304.

Tabel 1. Hasil Uji Tarik.

No	Keterangan	Hasil Pengujian Tarik
1	Pada gambar di samping menunjukan spesimen no 1 dan 3 terjadi patahan di daerah base metal sedangkan no 2 terjadi patahan di daerah HAZ.	
2	Dari hasil pengujian Tarik spesimen 125 A dari no 1,2,dan 3 terjadinya patahan di daerah Las.	

- 3 Dari gambar di samping hasil pengujian tarik terdapat spesimen 1 dan 2 terjadi patahan di daerah base metal sedangkan no 3 terjadi patahan di daerah Las



Gambar 5. Skema Uji Tarik.

Pada uji tarik, diperoleh data berupa nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan selama proses pembebanan hingga spesimen mengalami patah. Pengambilan data dilakukan secara otomatis melalui mesin uji tarik yang terhubung langsung dengan komputer, sehingga seluruh parameter pengujian terekam secara digital. Selain itu, waktu yang diperlukan sejak awal pembebanan hingga terjadinya patah pada spesimen juga dicatat sebagai bagian dari hasil pengujian.

Selanjutnya, hasil uji tarik dari spesimen hasil pengelasan dengan variasi arus 100 A, 125 A, dan 135 A disajikan dalam bentuk tabel perbandingan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 2. Pengujian Material Setelah Pengelasan Variasi 100 A.

Sambungan	Elongation	Tensite strength	Max.Load	Yield Strenght	EM	Frc	Energy
	%	Mpa	N	Mpa	Mpa	N	
1	6.775	413.744	16136.009	214.697	6678.484	12907,347	47448.829
2	5.935	448.341	17485.310	228.540	4882.236	13695.925	45474.046
3	5.331	567.064	22115.509	303.126	11429.010	17659.520	49551.014

Tabel 3. Pengujian Material Setelah Pengelasan Variasi 125 A.

Sambungan	Elongation	Tensite strength	Max.Load	Yield Strenght	EM	Frc	Energy
	%	Mpa	N	Mpa	Mpa	N	
1	3.214	476.895	18598.917	273.724	12515.931	14854.697	24992.858
2	6.017	570.979	22268.182	297.059	10014.094	17613.984	55537.369
3	3.538	455.328	17757.791	244.097	9926.513	14152.238	26313.994

Tabel 4. Pengujian Material Setelah Pengelasan Variasi 135 A.

Sambungan	Elongation	Tensite strength	Max.Load	Yield Strenght	EM	Frc	Energy
	%	Mpa	N	Mpa	Mpa	N	
1	5.745	472.998	18446.934	243.950	6847.214	14100.222	46343.908
2	5.351	532.017	20748.678	279.603	10323.400	16443.066	45926.047
3	6.271	515.708	201112.621	264.734	6029.820	16015.233	54075.738

Tabel 5. Rata-Rata Nilai Pengujian Tarik.

NO	Variasi arus	Beban maksimum (N)	Kuat Tarik N ($\frac{N}{2}$) mm	Beban luluh (N)	Kuat Luluh N ($\frac{N}{2}$) mm	Regangan %
1	100 A	22115	413	17659	303	5,33
2	125 A	22268	570	171613	297	6,17
3	135 A	20112	532	16015	264	6,27

Analisa Pembahasan Hasil Uji Analisa Struktur Mikro

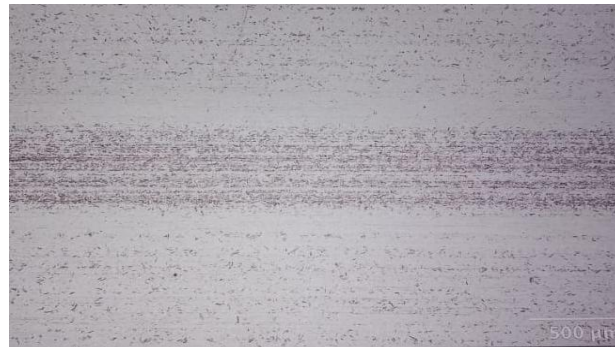
Pengamatan struktur mikro dilakukan di Laboratorium Politeknik Manufaktur Bandung pada spesimen hasil pengelasan TIG material AISI 304. Pengamatan difokuskan pada tiga daerah utama, yaitu logam induk (*base metal*), daerah terpengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*), dan daerah logam las (*weld metal*).

Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik Olympus GX71 dengan pembesaran 50 $\times$. Melalui pengamatan ini, dapat dianalisis pengaruh variasi arus pengelasan terhadap perubahan morfologi butir dan karakteristik struktur mikro pada masing-masing daerah pengelasan.

Hasil pengamatan struktur mikro ditampilkan untuk kondisi logam induk, serta spesimen hasil pengelasan dengan variasi arus 100 A, 125 A, dan 135 A, yang masing-masing menunjukkan karakteristik struktur mikro yang berbeda akibat perbedaan input panas selama proses pengelasan.



Gambar 6. Sampel Spesimen Uji Analisa Struktur Mikro.



Gambar 7. Struktur Mikro pada Logam Induk AISI 304.



Gambar 8. Struktur Mikro pada Hasil Las 100 A.



Gambar 9. Struktur Mikro pada Hasil Las 125 A.



Gambar 10. Struktur Mikro pada Hasil Las 135 A.

Hasil pengujian foto struktur mikro menunjukkan bahwa baik pada bagian logam induk, daerah terkena panas (*Heat Affective Zone*), maupun bagian sambungan las semuanya memiliki fasa *austenitic*. Hal ini karena sifat dari fasa *austenitic* adalah non magnetik. Pada seri stainless steel 304 ini juga sudah jelas menunjukkan bahwa fasa yang dimiliki adalah *austenitic*. Untuk bagian yang berwarna hitam menunjukkan bahwa itu adalah karbida krom yang memiliki sifat keras dan getas.

Analisa Pembahasan Hasil Pengamatan Uji Kekerasan

Pada saat melakukan pengujian kekerasan ini menggunakan metode vickers dengan memotong spesimen pada daerah *Base metal*, Las, HAZ, dan agar dapat mempunyai hasil yang maksimal pemotongan dilakukan dengan menggunakan gergaji manual agar tidak terjadinya perubahan fasa hasil uji kekerasan dapat dilihat pada table 9 dan table 10 sebagai berikut:

HASIL PENGUJIAN KERAS VICKERS															
Parameter	Base Metal					Area Las					HAZ				
	Titik 1-2	Titik 3-4	Titik 5-6	Titik 7-8	Titik 9-10	Titik 11-12	Titik 13-14	Titik 15-16	Titik 17-18	Titik 19-20	Titik 21-22	Titik 23-24	Titik 25-26	Titik 27-28	Titik 29-30
100 A	199,9	184,4	200,2	206,9	206	219.1	212.6	210.3	211.3	222.8	200.3	200.2	207.8	207.4	205.4
	199,9	211,5	200,2	206	206,9	203.5	210.3	204	219	225.1	206.2	206.2	200.3	199.1	198.1
125 A	198.9	183,7	197,9	199,1	204,2	214.9	210.5	213.4	218.2	214.5	201.2	201.5	206.3	205	200.2
	197,9	191,8	198,6	198,3	206,8	215.1	215	226.5	215.3	212.6	200.4	202.5	203.5	204.4	202.8
135 A	191,9	207,2	198,8	199,6	196,2	200.9	208	204	210.4	214.2	197.6	196.4	198.3	197.6	200.6
	200,6	196,4	191,9	199,5	195,4	204.4	205.4	210,4	213.8	214.9	196.3	195.7	197.2	195.6	195

Tabel 11. Data Hasil Pengujian Kekerasan Vickers.

Tabel 6. Rata- Rata Nilai Kekerasan.

Hasil kekerasan (HV)	Base metal	100 A		125 A		135 A	
		HAZ	Weld Metal	HAZ	Weld Metal	HAZ	Weld Metal
Rata-rata	199 VHN	212 VHN	200 VHN	115 VHN	202 VHN	204 VHN	197 VHN

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data hasil pengamatan yang telah di peroleh dari hasil penelitian dapat di ambil beberapa diantaranya yaitu arus yang tinggi menyebabkan terjadinya ukuran butir yang kasar dan terjadinya perlakuan panas atau HAZ pada material lebih besar, pada perbandingan arus 100 A, 125 A, dan 135 A hasil pengelasan lebih bagus pada arus 100 A dan 135 A dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Arus 125 A terdapat kekuatan tarik yang lebih besar. Maka dapat disimpulkan pada material AISI 304 pada sudu runner turbin Francis di anjurkan menggunakan arus 135 A.

DAFTAR REFERENSI

- Aditia, A., Nasution, N., & Hasan, F. F. (2024). Analisis performansi turbin Francis unit 1 kapasitas 22×4 MW di PLTA Peusangan 1 & 2 PT PLN (Persero) UPP Sumbagut 2.
- ASTM A01 Committee. (2025). *Specification for castings, iron-chromium, iron-chromium-nickel, corrosion resistant, for general application*. ASTM International.
- ASTM E28 Committee. (2025). *Test methods for tension testing of metallic materials*. ASTM International.
- Baskoro, A. S., Amat, M. A., Widyianto, A., Putra, A. D., & Aryadhani, S. A. (2024). Investigation of weld geometry, mechanical properties, and metallurgical observations of activated flux tungsten inert gas (A-TIG) welding on 304 austenitic stainless steel. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 77(3), 897–906. <https://doi.org/10.1007/s12666-023-03180-0>
- Fitriyanto, M. N. (n.d.). *Penyambungan stainless steel austenitik seri 316 dengan metode friction welding terhadap kekuatan tarik, kekerasan, dan struktur mikro*.
- Gajjar, P. K., Prajapati, H. R., Patel, A. M., Mehta, D. S., Bhangale, N. M., Patel, B. B., & Patel, V. K. (2025). Heat input–microstructure–corrosion relationship in auto TIG-welded joints between low-alloy steels and austenitic stainless steel (TP347H). *Welding in the World, Le Soudage Dans Le Monde*. <https://doi.org/10.1007/s40194-025-02223-y>
- Herdianto, A. N. T., Suheni, & Rosidah, A. A. (2024). Effect of welding current and electrode movement on HAZ width and hardness of TIG welded 304 stainless steel. *Journal of Applied Sciences, Management and Engineering Technology*, 5(1), 1–6. https://ejournal.itats.ac.id/jasmet/article/download/5884/4013?utm_source=chatgpt.com
- Mafrudin, & Irawan, D. (2020). *Turbin impuls*. Universitas Muhammadiyah Metro. <https://repository.ummetro.ac.id/files/artikel/c9ccc5f47a882a6bbccc9fa5265d59da.pdf>
- Mamungkas, M. I., Murjito, A. F. H. S., & Farhan, M. (2025). Effect of variation in current strength and welding speed in TIG welding on tensile properties and microstructure. *Jurnal Terapan Teknik Mesin*, 6(2), 01–15. https://jurnal.stmcileungsi.ac.id/index.php/jttm/article/view/1709?utm_source=chatgpt.com

- Nurisna, Z., & Setiawan, E. (2020). Pengaruh filler pada pengelasan TIG baja karbon dan stainless steel 316L terhadap sifat mekanik. *Quantum Teknika: Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 1.
- Prasetyo, E., & Suwito, D. (2014). Pengaruh hasil pengelasan las TIG terhadap kekuatan tarik dan ketangguhan pada material baja karbon rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 2.
- Putri, F. (2010). *Analisa pengaruh variasi kuat arus dan jarak pengelasan terhadap kekuatan tarik sambungan las baja karbon rendah dengan elektroda E6013*. *Jurnal Teknik Mesin*, 2.
- Rahman, S., & Ahmad, N. (2025). Microstructures and mechanical properties of focused ultrasound assisted TIG welded 304 stainless steel joints. *Journal of Welding Science and Technology*, 9(1), 45–58.
- Ye, Y., Yang, B., Yang, Y., Pan, Z., Chen, C., & Zhang, X. (2023). Research on the formation, microstructure, and properties of 304 stainless steel AC-DC hybrid TIG welding. *Metals*, 13(6), 1127. <https://doi.org/10.3390/met13061127>
- Ye, Y., Yang, B., Yang, Y., Pan, Z., Chen, C., & Zhang, X. (2025). Research on the formation, microstructure, and properties of 304 stainless steel AC-DC hybrid TIG welding. *Metals*, 13(6), 1127. <https://doi.org/10.3390/met13061127>