



Artikel Penelitian

## PENGARUH KUAT ARUS TERHADAP KEKERASAN SUPERALLOY BERBASIS NIKEL MENGGUNAKAN TIG

Abdul Wahid Arohman<sup>1</sup>, Sanurya Putri Purbaningrum<sup>1</sup>, Edwin Sahrial Solih<sup>1</sup>, Hasan Sudrajat<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politeknik STMI Jakarta, Jl Letjend Suprpto No 26, Jakarta Timur, 10510

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima : 17 Juli 2021  
 Direvisi : 24 November 2021  
 Diterbitkan : 21 Februari 2022

### KATA KUNCI

Kuat Arus, Rekayasa Filler Rod, Superalloy, TIG, Tingkat Kekerasan

### KORESPONDENSI

E-mail Author Korespondensi:  
[abdulwahid-a@kemenperin.go.id](mailto:abdulwahid-a@kemenperin.go.id)

E-mail Co-Author:  
[sanuryaputri.p@kemenperin.go.id](mailto:sanuryaputri.p@kemenperin.go.id)  
[edwin-solih@kemenperin.go.id](mailto:edwin-solih@kemenperin.go.id)  
[hasansudrajat@kemenperin.go.id](mailto:hasansudrajat@kemenperin.go.id)

### A B S T R A K

Komponen mesin pesawat yang sering mengalami kerusakan adalah turbin yang berbahan dasar nikel. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah mengganti dengan turbin yang baru dengan cara pengelasan. Masalah yang timbul dalam pengelasan ini adalah tidak adanya *filler rod* pasaran yang cocok untuk bahan dasar *superalloy* nikel sehingga perlu dilakukan rekayasa *filler rod*. Pengelasan dengan menggunakan rekayasa *filler rod* memerlukan pengujian kuat arus agar diketahui kuat arus yang tepat dalam menghasilkan panas untuk mencairkan logam dasar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kuat arus terhadap kekerasan material *superalloy* berbasis nikel yang dilakukan pengelasan TIG menggunakan rekayasa *filler rod*. Kuat arus pada saat pengelasan divariasi sebesar 70 A, 80 A dan 100 A sehingga didapatkan 3 spesimen uji. Masing-masing spesimen diuji kekerasan *micro Vickers*. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa pada daerah las mempunyai nilai kekerasan yang paling tinggi di bandingkan daerah HAZ, daerah logam induk dan daerah logam induk bagian ujung. Hal ini disebabkan pada daerah las terdapat bintik-bintik  $\gamma$  dan  $\gamma'$  yang lebih besar dari daerah lain serta karbida yang kaya paduan Cr.

### PENDAHULUAN

Berbagai macam alat transportasi banyak digunakan baik yang beroperasi di darat, laut maupun udara. Angka kecelakaan cukup banyak menelan korban jiwa terdapat pada moda transportasi udara (Komite Nasional Keselamatan Transportasi, 2020). Salah satu faktor penyebab kecelakaan pesawat adalah kerusakan komponen mesin pesawat. Komponen mesin pesawat yang sering kali mengalami kerusakan yaitu turbin. Turbin pesawat menggunakan material Nikel (Ni) karena memiliki kemampuan untuk mempertahankan kekuatan struktur dan kestabilan permukaan pada suhu tinggi.

Menurut Pedoman Pemeliharaan Pesawat, kecepatan turbin normal sebesar 41000 rpm, kecepatan operasi biasanya 101,3%-102,5% dan temperature operasi 566<sup>0</sup>C-650<sup>0</sup>C (Sutrisno; Hafisah Halidah; Seto, 2018). Pada umumnya setiap sudu turbin pesawat memiliki resiko aus, retau maupun patah. Patahan melintang yang terjadi pada daerah ujung sudu turbin disebabkan oleh fraktur seketika

(Suharno, Sugiyanto, Estriyanto, & Harjanto, 2013). Hal ini diakibatkan oleh adanya bentuarn dari *undeformed* kearah sudu yang berdekatan yang menyebabkan kerusakan turbin. Pencegahan kerusakan lebih parah dengan cara mengganti sudu turbin namun hal tersebut dinilai lebih mahal, sehingga patahan yang terjadi pada sudu turbin dilakukan pengelasan.

Pada proses pengelasan terdapat permasalahan yang diakibatkan banyak faktor yang akan mempengaruhi hasil pengelasan. Berbagai hal harus diperhatikan sebelum melakukan pengelasan untuk mendapatkan hasil yang baik seperti sifat mekanik, fisik, dimensi, kuat arus yang digunakan. Proses pengelasan turbin pesawat dengan bahan *superalloy* berbasis nikel membutuhkan proses khusus. Logam paduan nikel memiliki karakteristik kuat, tahan panas, serta karat. Sekitar 64% nikel digunakan untuk bahan baku pembuatan *stainless steel*, yang umumnya memiliki komposisi sebagian besar besi, kromium 18%, dan nikel 8%.

Pengelasan pada turbin berbahan nikel menggunakan las TIG (Tungsten Inert Gas). Kesulitan yang seringkali

This is an open access article under the CC-BY-NC license



ditemui yaitu menemukan *filler Rod* berkomposisi serupa dengan bahan yang akan dikerjakan. Salah satu cara mengatasi permasalahan kesulitan mendapatkan *filler Rod* dengan merekayasa dari potongan benda asli.

Indikator penting yang perlu di perhatikan dalam proses penyambungan logam adalah kuat arus listrik. Hal ini dikarenakan kuat arus listrik menentukan besarnya panas yang di hasilkan dari busur listrik pada nyala di ujung electrode yang di gunakan. Semakin besar kuat arus listrik yang di berikan maka semakin besar pula (*heat input*) panas yang dihasilkan untuk mencairkan logam dasar dan logam penyambung (elektroda), dan sebaliknya semakin kecil kuat arus yang di berikan maka semakin kecil pula panas yang di hasilkan untuk mencairkan logam induk dan logam penyambung atau elektroda (Joko santoso, 2006).

Pada pengelasan dengan menggunakan teknik SMAW, tegangan listrik berkisar antara 23- 45 Volt dan untuk pencairan menggunakan arus listrik hingga mencapai antara 80-200 amper. Diikondisi aktualnya, teknik pengelasan seperti ini memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya terjadinya kontaminasi gas yang berasal dari luar area pengelasan (Nastiti Gemi *et al*, 2014).

Kuat arus merupakan salah satu faktor yang penting dalam melakukan pengelasan. Semakin besar kuat arus, maka panas yang dihasilkan untuk mencairkan logam dasar juga semakin besar. Hal ini berpengaruh terhadap kekerasan logam hasil las, baik di daerah HAZ maupun pada logam induk. Sedangkan pada pengelasan superalloy menggunakan las TIG terdapat kesulitan dalam menemukan filler rod yang sesuai dengan logam induk. Maka pada penelitian ini dilakukan rekayasa filler rod untuk pengelasan TIG material superalloy nikel dengan variasi kuat arus.

## Tinjauan Pustaka

Penelitian untuk melakukan analisis terhadap kegagalan retak telah dilakukan pada sudu turbin dari *Auxiliary Power Unit (APU)* pesawat terbang. Bahan sudu turbin adalah paduan super Inconel 792. Pengujian yang dilakukan meliputi inspeksi visual, pengujian komposisi kimia, fractography, pengujian kekerasan, dan metalografi. Hasiln penelitian menunjukkan bahwa patah dimulai dari celah dan retak makro d kemudian menjalar/t menjadi retak terbuka di permukaan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh mekanisme retak panas selama perbaikan las sebelumnya. Teknik perbaikan lebih lanjut dikembangkan berdasarkan keberhasilan *PQTR* yang di uji dengan kekerasan mikro, destructive dan non destructive test. Oleh sebab itu, maka dipilih las *GTAW* yang diikuti dengan solution dan aging treatment. (Suharno *et al.*, 2013) Penelitian tentang perbaikan Exhaust cone pesawat terbang telah dilakukan. Perbaikan dilakukan menggunakan metode penambahan doubler berbentuk solid dengan

teknik pengelasan GTAW, namun hasil perbaikan belum dikualifikasi sesuai dengan standar aplikasi fusion welding pada komponen pesawat terbang yang tercantum pada AWS B2.1 dan D17.1. Kulifikasi sesuai standard dilakukan dengan cara simulasi, yaitu dengan pembuatan spesimen yang menyerupai bentuk material asli dari exhaust cone. Sedangkan kualifikasi hasil pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini meliputi pengujian NDT-Penetrant Test, NDT-Radiographic Test, Microhardness test, Metallography dan Shear test. Dari hasil observasi yang telah dilakukan tidak ditemukan adanya cacat pada spesimen hasil pengujian, sehingga kriteria persyaratan dapat dipenuhi. Dari pengujian microhardness pada daerah HAZ dari hasil pengelasan spesimen doubler perforated dan solid menunjukkan terdapat kenaikan kekerasan sebesar 16% dari base metal. (Rachmadani, Winda Afrilia; Agustin, 2012)

Penelitian tentang *maintenance* kerusakan yang timbul dari keausan dan ketuaan akibat pengoperasian terus menerus dan akibat pengoperasian yang salah menggunakan berbagai metode pengelasan seperti GTAW atau Gas Tungsten Arc Welding (Nurdin, Sasmita, Wiyoto, & Ruhimat, 2016).

Nilai kekerasan tertinggi yang diperoleh dari pengelasan SMAW dengan elektroda E7016 pada pelat baja karbon ASTM A36 dengan ketebalan 10 mm pada daerah HAZ adalah sebesar 191 HV dan pada daerah logam las adalah sebesar 228 HV. Besar variasi penggunaan arus las adalah 90 A, 100 A, 110 A dan 120 A, sedangkan nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi arus 120 A. (Nugroho, A & Setiawan, E. 2018)

## Kajian Pustaka

### Superalloy

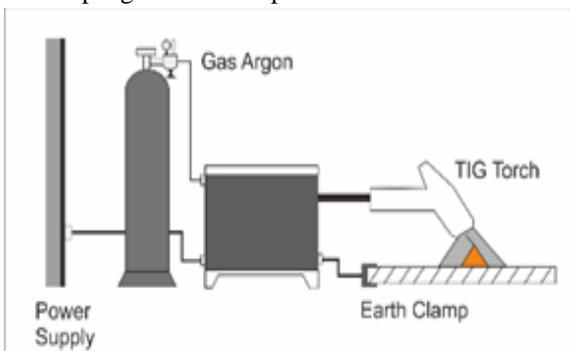
Jenis paduan yang dikembangkan untuk material pada temperature tinggi dinamakan bahan paduan super (*super alloy*) (Suharno, Bambang; Harjanto, 2008). *Super alloy* merupakan bahan paduan yang didasarkan pada nikel, nikel-besi, atau kobalt yang memiliki kombinasi kekuatan dan ketahanan terhadap dari degradasi permukaan. *Super alloy* tidak dibatasi penggunaannya oleh setiap fase allotropic reaksi transformasi namun merupakan fungsi dari suhu leleh baru jadu paduan dan pembuabaran fase. Penggolongan *super alloy* dibagi menjadi 3 yaitu berbasis besi karena mengandung 32-67% Fe yang mampu bertahan dari temperature tinggi sampai 750<sup>0</sup> - 850<sup>0</sup>C, kemudian ada *super alloy* berbasis cobalt yang mengandung 35-65% Co dan yang terakhir ada *super alloy* dengan komposisi material dari nikel sebesar 38-76%. Pada *super alloy* dengan kandungan nikel mampu bertahan pada temperature tinggi hingga mencapai 900-1000<sup>0</sup>C.

*Pengelasan Tungsten Inert Gas (TIG)*

Pengelasan TIG merupakan proses pengelasan yang menggunakan busur nyala listrik yang ditimbulkan oleh elektroda tungsten dengan benda kerja berupa logam. Pengelasan TIG merupakan metode pengelasan yang terbaik karena stabilitas busur yang tinggi dan adanya penambahan gas pelindung inert yang mengurangi panas berlebihan pada benda kerja. Pengelasan TIG hampir tidak memiliki cacat dan beban kesehatan karena asap las relatif rendah jika dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya. Dengan melakukan pengelasan menggunakan metode TIG, maka akan diperoleh kualitas hasil pengelasan yang lebih baik dan jenis pengelasan ini cocok untuk benda kerja yang tipis maupun tebal (Banjarnarhanor, Fajar 2019). Kecepatan logas pengisi dapat diatur sendiri serta tidak ada flux maupun retak pada hasil pengelasan. Tetapi dengan melakukan proses pengelasan ini menyebabkan lanju porositas material lebih rendah jika dibandingkan dengan metode pengelasan lainnya. Hal yang perlu diperhatikan pada pengelasan TIG yakni diperlukan keterampilan tangan dan koordinasi jurus las yang baik dibandingkan dengan metode las MIG (Siswanto, Rudi 2018).

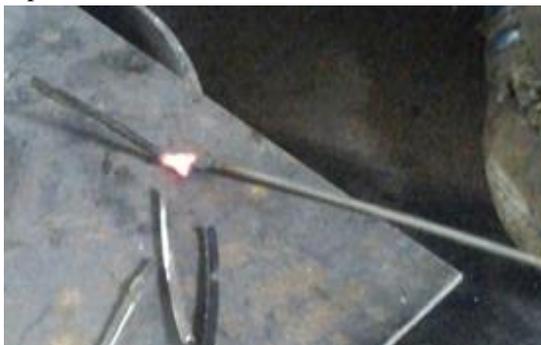
**METODE**

Metode penelitian yang digunakan berupa metode eksperiment. Tahapan dalam penelitian ini dimulai dari studi lapangan dan studi pustaka.



Gambar 1. Rancangan Pengelasan TIG

Tahapan kedua yaitu pembuatan filler Rod, dimana filler Rod dibuat dengan bahan dasar sudu turbin dari paduan super berbasis nikel.



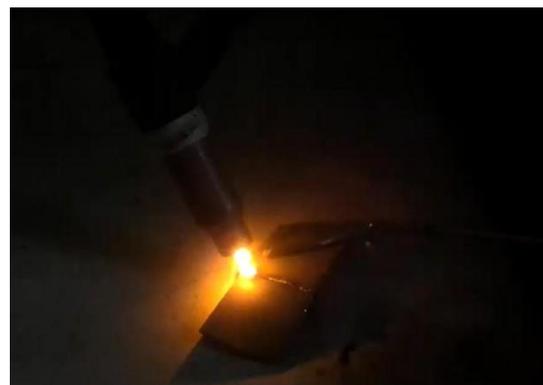
Gambar 2. Proses pembuatan rekayasa filler Rod

Tahapan ketiga yaitu pembuatan Spesimen las dengan bahan dasar sudu turbin yang dipotong menggunakan gerinda potong. Adapun spesimen las mempunyai ukuran 30 x 25 x 3 mm, dimana pada Spesimen ini akan dilakukan pengujian kekerasan.



Gambar 3. Proses pembuatan Spesimen las

Tahapan yang keempat adalah pengelasan TIG. Pada tahapan ini dilakukan pengelasan terhadap dua material Spesimen las dengan menggunakan filler Rod dengan bahan dasar yang sama yang mempunyai ukuran 90 x 2 x 2 mm. Pada tahapan ini dilakukan variasi arus yang berbeda, yaitu sebesar 70A, 80A, dan 100A. Perbedaan variasi arus dilakukan agar diketahui pengaruh variasi arus terhadap kekerasan. Kemudian dilakukan pengelasan dengan kecepatan 80-100 mm/menit. Setelah proses pengelasan selesai, dilakukan pendinginan pada tiga Spesimen las. Spesimen las hasil pengelasan berukuran 61 x 35 x 3 mm.

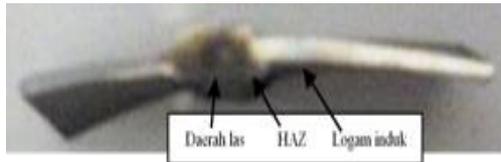


Gambar 4. Pengelasan Spesimen



Gambar 5. Hasil Pengelasan Spesimen

Tahapan yang kelima adalah pembuatan Spesimen uji. Hasil Spesimen las dikurangi lebarnya sehingga didapatkan Spesimen uji yang berukuran 61 x 15 x 3 mm.



Gambar 6. Spesimen uji kekerasan

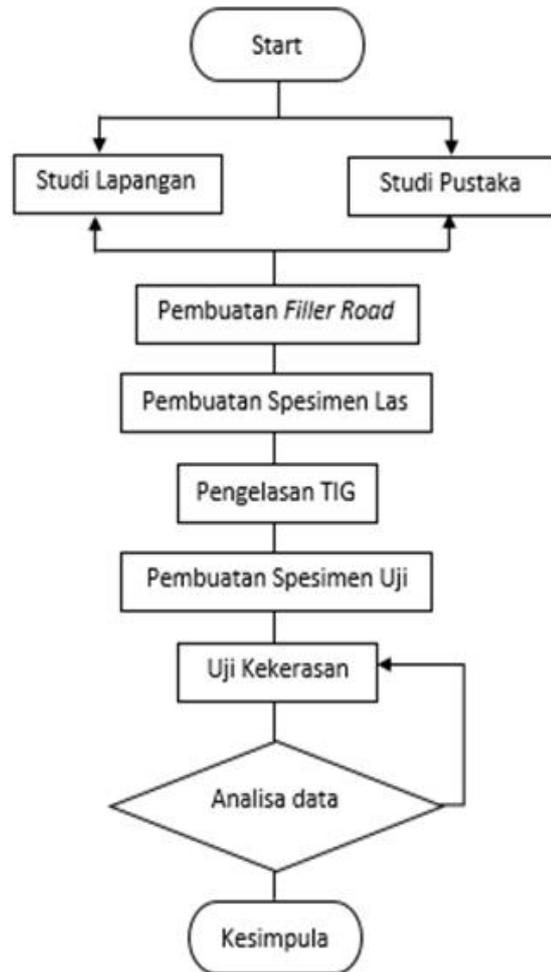
Tahapan yang keenam yaitu melakukan pengujian kekerasan. Uji kekerasan yang dilakukan menggunakan uji kekerasan vickers atau *Micro Vickers*. Indentor yang digunakan pada uji kekerasan ini adalah intan sedangkan nilai kekerasan dihitung dengan menggunakan Vickers Hardness Number (VHN). Langkah uji kekerasan yang dilakukan peneliti yakni dengan memasang indentor piramida intan dengan penekanan sebesar  $136^0$  dan dikencangkan secukupnya agar tidak jatuh. Selanjutnya memberi garis warna pada lokasi yang akan diuji (HAZ, Logam las, Logam induk, Ujung Logam Induk), kemudian menentukan beban utama yakni sebesar 300gr dan memnetukan titik yang akan diuji.



Gambar 7. Alat Uji Kekerasan Vickers

Tahapan yang terakhir adalah melakukan analisis data yang diperoleh. Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian kekerasan antara 3 spesimen uji dengan kuat arus yang berbeda. Hasil perbandingan kemudian dianalisis penyebabnya. Jika data yang diperoleh sesuai dengan hasil analisis, penelitian dilanjutkan dengan menarik kesimpulan. Jika data berbeda dengan hasil analisis maka dilakukan pengulangan pengujian kekerasan.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Diagram alir penelitian

## HASIL DAN DISKUSI

Rekayasa filler Rod dilakukan dengan menggunakan bahan dasar paduan super berbasis nikel (superalloy). Paduan super berbasis nikel didapatkan dengan memotong ujung sudu turbin dengan menggunakan gerinda tangan. Setelah dipotong, filler Rod kemudian dirapihkan dengan cara menyampung potongan-potongan ujung sudu turbin dengan menggunakan filler Rod buatan pabrik. Pembuatan spesimen las menggunakan sudu turbin yang telah terpotong, dan spesimen ini akan dilakukan pengujian kekerasan. Kemudian dilakukan pengelasan TIG terhadap dua material spesimen las yang menggunakan filler Rod dengan bahan dasar yang sama, setelah semua proses las selesai dilakukan pendinginan terhadap ketiga spesimen las. Hasil spesimen las ini akan dikurangi lebarnya yang kemudian akan dilakukan tahapan pengujian kekerasan, uji kekerasan ini menggunakan vickers atau mikro vikers. Dimana identer piramida intan akan menekan sebesar  $136^0$  dan akan dikencangkan secukupnya. Setelah pengujian

selesai maka dilakukan analisis data dengan melakukan perbandingan hasil pengujian kekerasan dari specimen yang diperoleh.

Dari tahapan pengujian diperoleh 3 spesimen uji dimana masing-masing Spesimen uji telah dilakukan pengelasan dengan kuat arus yang berbeda. Spesimen pertama dilakukan pengelasan dengan kuat arus sebesar 70A. Spesimen kedua dilakukan pengelasan dengan kuat arus sebesar 80 A. Sedangkan Spesimen yang ketiga dilakukan pengelasan dengan kuat arus sebesar 100 A.

Ketiga Spesimen dengan variasi kuat arus tersebut diuji kekerasan untuk mengetahui hubungan kekerasan dari material superalloy dengan rekayasa filler Rod variasi arus. Diambil 9 titik dari Spesimen yang masing-masing berjarak 0.5 mm sebagai data kekerasan meliputi daerah logam las, HAZ, dan logam induk (untuk 70 A dan 80 A) dan 0.75 mm di daerah yang sama (untuk 100 A).

Analisis dilakukan dengan menggunakan perbandingan data kekerasan Micro Vickers superalloy yang telah dilas menggunakan rekayasa filler Rod dengan arus yang divariasi.

Hasil pengujian kekerasan Micro Vickers pada masing-masing variable dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Arus 70A, Untuk Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Welding

No	Posisi Titik	Jarak dari Pusat Las (mm)	D1 (µm)	D2 (µm)	D Rata-rata (µm)	Kekerasan (VHN)
1	Daerah Las	0,5	29,0	28,0	28,50	664,9
2	Daerah Las	1	35,0	35,0	35,00	454,1
3	Daerah HAZ	1,5	36,0	36,0	35,00	454,1
4	Daerah HAZ	2	40,0	40,0	40,00	347,7
5	Logam Induk	2,5	45,0	45,0	43,50	294,0
6	Logam Induk	3	43,0	43,0	42,50	308,0
7	Logam Induk	16	39,0	39,0	34,50	467,4
8	Logam Induk	16,5	41,0	41,0	40,50	339,2
9	Bagian Ujung	17	36,0	35,0	35,50	441,4

Tabel 2. Arus 80A, Untuk Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Welding

No	Posisi Titik	Jarak dari Pusat Las (mm)	D1 (µm)	D2 (µm)	D Rata-rata (µm)	Kekerasan (VHN)
1	Daerah Las	0,5	31,0	30,0	30,50	598,0
2	Daerah Las	1	35,0	38,0	36,50	417,6
3	Daerah HAZ	1,5	39,0	38,0	38,50	375,3
4	Daerah HAZ	2	40,0	44,0	42,00	315,4
5	Logam Induk	2,5	43,0	40,0	41,50	323,0

6	Logam Induk	3	40,0	41,0	40,50	339,2
7	Logam Induk	16	36,0	37,0	36,50	417,6
8	Logam Induk	16,5	38,0	37,0	37,50	395,6
9	Bagian Ujung	17	35,0	36,0	35,50	441,4

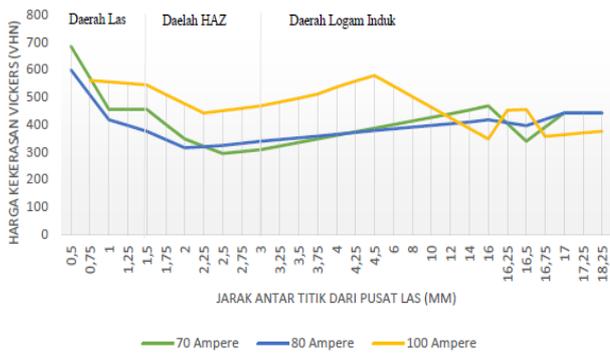
Tabel 3. Arus 100A, Untuk Hasil Uji Kekerasan pada Spesimen Welding

No	Posisi Titik	Jarak dari Pusat Las (mm)	D1 (µm)	D2 (µm)	D Rata-rata (µm)	Kekerasan (VHN)
1	Daerah Las	0,75	32,0	31,0	31,50	560,7
2	Daerah Las	1,5	33,0	31,0	32,00	543,3
3	Daerah HAZ	1,25	34,0	37,0	35,50	441,4
4	Daerah HAZ	3	33,0	36,0	34,50	467,4
5	Logam Induk	3,75	35,0	31,0	33,00	510,9
6	Logam Induk	4,5	32,0	30,0	31,00	578,9
7	Logam Induk	16	40,0	40,0	40,00	347,7
8	Logam Induk	16,75	39,0	40,0	39,50	356,6
9	Bagian Ujung	17,5	38,0	39,0	38,50	375,3

Pada tabel 3 uji kekerasan Micro Vickers menunjukkan perbedaan kekerasan superalloy yang telah dilas dengan menggunakan rekayasa filler Rod variasi kuat arus. Di setiap titik uji kekerasan (daerah las, daerah HAZ, logam induk, logam induk bagian ujung) terdapat perbedaan hasil kekerasan. Tingkat kekerasan yang berbeda pada 3 spesimen uji disebabkan panas yang dihasilkan pada masing-masing kuat arus berbeda.

Uji kekerasan yang dilakukan dengan Mikro Vickers dimana pada masing-masing Spesimen mengalami penekanan dengan berat 300gram dalam waktu 12 detik sehingga menghasilkan diagonal persegi panjang bekas injakan indentor tersebut.

*Linen Tester Loupe* digunakan sebagai alat bantu untuk mengukur diagonal hasil injakan indentor. Pengambilan sampel kekerasan dilakukan pada 9 titik yang berada pada daerah las 2 titik, daerah HAZ 2 titik, pada logam induk dekat las 2 titik dan pada ujung logam induk sebanyak 3 titik. Pengujian *micro Vickers* pada kuat arus 70A dan 80A memiliki karak 0,5mm, sedangkan pada kuat arus 100A jarak antar titik pengujian *micro Vickers* sebesar 0,75mm. Nilai kekerasan berdasarkan diagonal bekas injakan indentor pada Spesimen uji. Hubungan antar nilai kekerasan pada masing-masing Spesimen dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 9. Grafik Untuk Hasil Nilai Uji Kekerasan Vickers

Berdasarkan Gambar 9 di atas dapat diketahui bahwa pada daerah las, material superalloy yang mengalami pengelasan dengan kuat arus 70 A mempunyai nilai kekerasan sebesar 569,5 VHN. Nilai kekerasan berturut-turut sebesar 400,0 VHN, 301 VHN, 416 VHN diperoleh dari pengujian kekerasan pada daerah HAZ, logam induk dan logam induk bagian ujung. Data Spesimen uji dengan variasi kuat arus 70 A menunjukkan bahwa nilai kekerasan semakin menurun pada daerah las hingga logam induk yang dekat HAZ. Sedangkan peningkatan nilai kekerasan terjadi ketika mendekati daerah logam induk bagian ujung. Pada grafik di atas juga menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada daerah las Spesimen superalloy yang mengalami pengelasan dengan kuat arus 80 A adalah sebesar 507,8 VHN. Sedangkan nilai kekerasan sebesar 345,3 HVN terdapat pada daerah HAZ, nilai kekerasan sebesar 331,1 VHN terdapat pada logam induk dan nilai kekerasan sebesar 418,2 HVN terdapat pada logam induk bagian ujung. Persebaran nilai kekerasan yang menurun pada Spesimen ini terdapat pada daerah las hingga logam induk bagian yang dekat dengan daerah HAZ. Kekerasan Spesimen mengalami penurunan pada daerah HAZ dan logam induk. Sedangkan peningkatan nilai kekerasan yang cukup signifikan terjadi ketika mendekati daerah logam induk bagian ujung. Data ini serupa dengan data nilai kekerasan Spesimen uji pada pengelasan arus 70A.

Nilai kekerasan pada Spesimen uji pengelasan dengan kuat arus sebesar 100 A berbeda dengan dua Spesimen sebelumnya. Nilai kekerasan rata-rata pada Spesimen ini adalah sebesar 552 VHN pada daerah las, sedangkan pada daerah HAZ sebesar 545,4 HVN, pada daerah logam induk sebesar 544,9 VHN dan pada daerah logam induk bagian ujung sebesar 359,8 VHN. Distribusi nilai kekerasan pada Spesimen ini menunjukkan grafik yang fluktuatif mulai dari daerah las hingga logam induk bagian ujung. Hal ini menunjukkan keadaan yang berbeda dengan kedua spesimen sebelumnya. Pada daerah logam induk dekat HAZ, nilai kekerasan cenderung mengalami peningkatan, akan tetapi ketika berada di daerah logam induk pada jarak 6 mm dari pusat las dan logam induk bagian ujung nilai kekerasan semakin menurun.

Pada data yang telah diperoleh dari material superalloy yang dilas menggunakan rekayasa filler Rod dengan arus

yang divariasasi (70 A, 80 A, 90 A) menunjukkan bahwa setiap Spesimen pada daerah las hingga daerah logam induk bagian ujung nilai kekerasannya mengalami perbedaan yang cukup signifikan. Daerah las memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan daerah HAZ dan logam induk, hal ini dapat dilihat pada grafik 1. Perbedaan nilai kekerasan disebabkan pada daerah las memiliki bintik-bintik  $\gamma$  dan  $\gamma'$  yang lebih besar dari pada daerah HAZ dan daerah logam induk. Selain itu, pada daerah las terdapat karbida yang kaya Cr sebagai partikel yang tidak teratur dan terputus-putus yang mengendap di batas-batas butir paduan.

## KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian ini adalah terdapat perbedaan nilai kekerasan pada masing-masing spesimen uji dengan variasi kuat arus pada pengelasan sudu turbin. Daerah las memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi dibandingkan daerah HAZ dan daerah logam induk maupun logam induk bagian ujung. Hal ini disebabkan pada daerah las terdapat bintik-bintik  $\gamma$  dan  $\gamma'$  yang lebih besar dari daerah lain serta karbida yang kaya paduan Cr sebagai partikel yang tidak teratur dan terputus-putus.

Implikasi penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi industri pada saat melakukan maintenance dengan bahan dasar Nikel sebagai upaya penghematan biaya dengan hasil yang cukup bagus.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Politeknik STMI Jakarta untuk semua peralatan dan proses pengujian yang telah dilakukan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2020). *Laporan Investigasi Kecelakaan Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Media Release KNKT.*
- Nurdin, A., Sasmita, A. H., Wiyoto, & Ruhimat, T. (2016). Pengelasan pipa menggunakan proses gas tungsten arc welding (gtaw) teknik mesin – teknik pengelasan 1.
- Rachmadani, Winda Afrilia; Agustin, K. (2012). Metode Perbaikan Pada Silencing Skin Dari Exhaust Cone Pesawat Air Bus 320 Dengan Penambahan Doubler Berbentuk Perforated Dan Solid Menggunakan Teknik, *1(2)*, 1–6.
- Suharno, Bambang; Harjanto, S. (2008). Baja Paduan dan Super Alloy.
- Suharno, Sugiyanto, A., Estriyanto, Y., & Harjanto, B. (2013). Analisis Kegagalan Retak dan Teknologi Perbaikan Sudu Turbin Jenis Inconel 792 pada

- Pesawat Terbang. *Jurnal Teknik Mesin*, 14(1), 22–27. <https://doi.org/10.9744/jtm.14.1.22-27>
- Sutrisno; Hafisah Halidah; Seto, T. H. (2018). *Prosedur operasional dan pemeliharaan pesawat*.
- Joko santoso., (2006) Pengaruh Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketangguhan Las Smaw Dengan Elektroda E7018, *Jurnal teknik mesin UNES Vol, III, NO 11, 22 september 2006 ISSN 2102- 7491: 206 – 220*
- Gemi Nastiti.,Sri Handani,Dan B. Bandriyana,. (2014). Pengaruh Proses Oksidasi Pada Logam Paduan Zr-2,5nb Untuk Material Bioimplan. *Jurnal Fisika Unand Vol. 3, No. 4, april 2014 ISSN 2302-8491:205– 207*
- Banjarnarhanor, Fajar. (2019). Studi Pengelasan Tig (Tungsten Inert Gas) Terhadap Kekuatan Sambungan Dan Sifat Mekanik Pada Baja Aisi 1045. Universitas Sumatera Utara
- Siswanto, Rudi. (2018). Teknologi Pengelasan. Universitas Lambung Mangkurat

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)