

ANALISA PENGARUH DIAMETER FILLER DAN KUAT ARUS TERHADAP KEKERASAN PADA PROSES HARDFACING BEBAS KOBALT BAJA STAINLESS 316L MENGGUNAKAN METODE GTAW.

Fahrul Aji Stiawan

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: fahrulaji.20054@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak

Hardfacing bebas kobalt pada baja stainless 316L telah menjadi topik penelitian yang signifikan dalam industri manufaktur modern. Kobalt, meskipun dikenal sebagai bahan pengeras yang efektif, memiliki risiko toksisitas yang berpotensi bagi lingkungan dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, pengembangan alternatif hardfacing yang bebas kobalt menjadi penting untuk mengurangi dampak lingkungan dan kesehatan yang merugikan. Penelitian ini menginvestigasi berbagai variasi parameter proses hardfacing dan material pengganti kobalt yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan aus dari baja stainless 316L. Metode hardfacing termasuk penggunaan paduan paduan non-kobalt seperti nikel, mangan, dan titanium yang memiliki sifat yang serupa atau lebih baik dari pada kobalt dalam meningkatkan kekerasan dan ketahanan aus baja. Analisis eksperimental dilakukan untuk mengevaluasi performa hardfacing non-kobalt ini dalam kondisi operasional yang berbeda, termasuk resistansi terhadap abrasi, korosi, dan suhu tinggi. Hasil dari berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa paduan non-kobalt tertentu dapat memberikan peningkatan signifikan dalam ketahanan aus dan kinerja mekanik baja stainless 316L tanpa risiko pencemaran lingkungan atau kesehatan yang terkait dengan kobalt. Penelitian ini memberikan wawasan yang berharga tentang potensi penggunaan hardfacing bebas kobalt dalam aplikasi industri yang sensitif terhadap masalah lingkungan dan kesehatan. Implikasi dari penelitian ini adalah pengembangan bahan dan teknologi baru yang mendukung keberlanjutan dan keamanan dalam industri manufaktur logam.

Kata Kunci: *Hardfacing*, bebas kobalt, baja stainless 316L, ketahanan aus, keamanan lingkungan.

Abstract

Cobalt-free hardfacing of 316L stainless steel has become a significant research topic in modern manufacturing industries. Cobalt, although known as an effective hardening agent, has potential toxicity risks to the environment and human health. Therefore, the development of cobalt-free hardfacing alternatives is essential to reduce adverse environmental and health impacts. This study investigates various hardfacing process parameters and cobalt substitute materials that can be used to improve the mechanical properties and wear resistance of 316L stainless steel. Hardfacing methods include the use of non-cobalt alloys such as nickel, manganese, and titanium that have properties similar to or better than cobalt in improving the hardness and wear resistance of steel. Experimental analyses were conducted to evaluate the performance of these non-cobalt hardfacings under different operating conditions, including resistance to abrasion, corrosion, and high temperature. Results from previous studies have shown that certain non-cobalt alloys can provide significant improvements in the wear resistance and mechanical performance of 316L stainless steel without the environmental or health risks associated with cobalt. This research provides valuable insights into the potential use of cobalt-free hardfacing in industrial applications sensitive to environmental and health issues. The implications of this research are the development of new materials and technologies that support sustainability and safety in the metal manufacturing industry.

Keywords: *Hardfacing*, cobalt free, 316L stainless steel, wear resistance, environmental safety.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam segala bidang kehidupan kian maju, salah satunya yakni dibidang pengelasan. Pada umumnya las digunakan untuk menyambung dua material (Soebagyo, dkk., 2019). Tidak hanya untuk penyambungan, proses las bisa digunakan untuk mempertebal permukaan material atau biasa disebut hardfacing dengan tujuan menghasilkan susunan yang lebih keras (Oo dan Muangjunburee, 2018). Proses ini dimaksudkan untuk memperpanjang masa pakai dan mencegah keausan suatu komponen yang cenderung memiliki potensi kehilangan material akibat abrasi, erosi, maupun korosi.

Paduan stellite berbahan dasar kobalt telah berhasil diterapkan selama beberapa dekade untuk aplikasi hardfacing

pada permukaan aus pada katup, pompa, turbin, dan sistem penggerak batang kendali pada aplikasi di berbagai sektor industri, karena ketahanan aus dan goresan yang sangat baik serta kemampuan las yang baik. Namun, kobalt merupakan elemen berbahaya dalam sistem perpipaan karena aktivasi keausan yang mengandung kobalt atau serpihan korosi di sirkuit utama perpipaan dapat menyebabkan radioaktif menyebar dari wilayah inti ke seluruh sistem perpipaan, yang mungkin mengakibatkan dosis yang lebih tinggi dari yang diperlukan untuk pengoperasian dan berbahaya bagi para pekerja di lapangan. Paduan kobalt tinggi seperti stellite harus dihindari untuk material hardfacing pada sistem perpipaan yang bersentuhan dengan material cair (Zaiqing Que, dkk., 2022).

Kobalt, disingkat Co, adalah logam keras berwarna abu-abu yang terbentuk secara alami. Habitat alaminya meliputi bebatuan, tanah, air, flora, dan fauna, termasuk manusia. Paru-paru, kulit, mata, dan jantung semuanya rentan. Tembaga bersifat karsinogenik jika terpapar. Kobalt dan barang-barang yang mengandung kobalt dapat menyebabkan kerusakan pada pekerja yang terpapar. Dosis, lama paparan, dan sifat pekerjaan semuanya berkontribusi terhadap potensi risiko (NIOSH Institute for Occupational Safety and Health, 2019).

Memilih material yang tepat sangat penting dalam lingkungan industri, di mana kondisi kerja bisa jadi cukup intens. Suhu tinggi dan kondisi kerja yang korosif dapat menyebabkan kegagalan komponen dalam fasilitas produksi listrik termasuk pembangkit listrik tenaga gas dan uap (PLTGU) dan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Material seperti baja tahan karat austenitik 316L dapat dimanfaatkan dalam pengaturan seperti itu. Baja 316L tahan terhadap kondisi korosif dan suhu tinggi, memiliki kemampuan bentuk dan kemampuan las yang sangat baik, dan tidak dapat dimagnetisasi, di antara banyak kualitas mekanisnya yang luar biasa. Komposisi kimia baja ini adalah sebagai berikut: karbon rendah (C), kromium (Cr) maksimum, molibdenum (Mo), dan nikel (Ni) (I.M.W. Ekaputra., 2016).

Paduan hardfacing berbahan dasar nikel dapat menjadi opsi untuk pelapis pada proses hardfacing bebas kobalt. Karena, ia memiliki ketahanan aus yang tinggi pada suhu tinggi. Umumnya, paduan Ni-base, Co-base dan Fe-base digunakan untuk permukaan keras. Diantaranya, paduan berbasis Ni lebih disukai daripada paduan berbasis Co dan berbasis Fe karena paduan ini dapat mempertahankan kekerasannya bahkan pada suhu tinggi. Pemilihan paduan hardfacing bergantung pada pertimbangan keausan dan biaya selain manufaktur, faktor lingkungan seperti logam dasar, proses pengendapan, korosi, dan juga persyaratan termal. Pada hardfacing, material yang akan didapatkan biasanya digunakan dalam bentuk filler metal ataupun serbuk (S. Balaguru, dkk., 2020).

Hardfacing banyak digunakan pada material untuk menciptakan ketahanan Aus yang lebih tinggi serta ketahanan korosi pada logam dasar. Hardfacing memiliki banyak manfaat dan dapat digunakan pada tahap pembuatan ataupun pada tahap maintenance dengan biaya penghematan dan peningkatan kinerja. Diantara Teknologi pengendapan pengelasan, proses pengelasan busur gas Tungsten (GTAW) adalah salah satu Teknik yang paling umum. Proses ini memiliki keunggulan seperti efisiensi pengendapan yang tinggi, kemampuan untuk menyediakan pengendapan dengan ikatan metalurgi, fleksibilitas yang tinggi, ketersediaan yang mudah, dan kemampuan beradaptasi dengan bahan yang baik (H. Abed, dkk., 2018).

Karena lapisan Non-Kobalt memiliki tingkat keuletan yang rendah dibanding lapisan Kobalt maka berbagai upaya bisa dilakukan untuk meningkatkan keuletan lapisan tersebut. Pada kasus ini upaya yang dilakukan untuk meningkatkan keuletan lapisan dilakukan dengan memvariasikan parameter saat melakukan proses hardfacing. Pengenceran kawat las, penetrasi las, struktur, dan kualitas las sangat mempengaruhi tingkat keuletan lapisan hardfacing. Oleh karena itu pada penelitian ini akan dilakukan eksperimen dengan memvariasikan Diameter Filler Las serta kuat arus masukan untuk mendapatkan permukaan dengan kualitas optimal untuk memenuhi fungsionalitas yang dibutuhkan.

Karena sifat elektroda yang tidak habis pakai pada pengelasan gas tungsten arsenide (GTAW) dan pengelasan transinuklir (TIG), batang pengisi biasanya digunakan untuk mengisi logam yang dilas. Untuk pengelasan GTAW dan TIG, material pelengkap ini hadir dalam bentuk logam pengisi, yang digunakan untuk menutup sambungan. Pengisi adalah material pelengkap yang digunakan selama proses pengelasan. Ketika lebar sambungan cukup dan kekuatan sambungan harus sesuai dengan substrat utuh, logam ini digunakan. Komposisi kimia logam dasar menentukan komposisi kimia dari 25 senyawa pengisi TIG yang digunakan selama pengelasan. Menurut tesis Aldona DF tahun 2019 dari Universitas Negeri Semarang, lebih disukai jika material pengisi sama dengan material induk.

Untuk mendapatkan hasil pengelasan yang tepat, ada sejumlah faktor yang harus diperhatikan selama proses pelapisan. Parameter pengelasan, seperti intensitas arus, sangat penting, terutama saat menggunakan teknik pengelasan GTAW. Saat pengelasan busur, arus adalah satuan pengukuran energi listrik yang paling berguna. Gabriel dkk. (2019) menyebutkan sejumlah faktor yang menentukan jumlah arus yang digunakan selama pengelasan, termasuk jenis elektroda, diameter elektroda, lokasi pengelasan, bentuk sambungan, ketebalan benda kerja, dan substansi benda kerja.

Diameter Filler	Kuat Arus (Ampere)		
	Low	Middle	High
1.6 mm	90	110	130
2.4 mm	120	150	175

Gambar 1. Desain Penelitian

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan eksperimental. Pendekatan penelitian yang bertujuan untuk mengungkap hubungan kausal antara variabel dependen dan independen adalah metode eksperimental. Dampak dari variasi lebar filler dan intensitas arus pada proses pengelasan overlay GTAW diteliti secara eksperimental. Nilai kekerasan baja tahan karat 316L diperoleh dari modifikasi ini. Setiap alat dan perlengkapan telah disempurnakan.

Peneliti dalam penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental, dimulai dengan sampel pelat baja tahan karat 316L sebagai bahan dasar. Kemudian, perlakuan pengerasan permukaan dilakukan dengan metode gas tungsten arc welding (GTAW), dengan diameter bahan pengisi habis pakai yang divariasikan. substansi (lapisan substrat), arus listrik (ampere), dan terakhir, selama prosedur pengujian kekerasan Vickers. Penelitian ini menggunakan pendekatan pra-eksperimental, yang melibatkan pengamatan terhadap satu atau lebih variabel dependen untuk melihat apakah variabel independen memiliki pengaruh yang diprediksi dalam menciptakan perubahan yang diinginkan.

Variabel Penelitian

Variabel Bebas

Variabel bebas (independent) adalah merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (dependent) (Prof. Dr. Sugiyono, 2013). Dalam penelitian ini variabel bebas yang digunakan meliputi campuran pada bahan backing plate yang digunakan yaitu diameter filler dan kuat arus.

Variabel terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat, karena adanya variabel bebas (Prof. Dr. Sugiyono, 2013). Untuk variabel terikat dalam penelitian ini adalah pengujiannya yaitu hasil pengujian kekerasan.

Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat untuk dikendalikan atau konstan tidak diubah agar pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat tidak terpengaruh oleh faktor lainnya yang tidak diteliti. Variabel kontrol pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Baja SS 316L dengan ketebalan 6 mm
- Filler Nikel dengan kode AWS Er-Ni 1
- Tegangan Las 16 Volt (filler 1,6) dan 18 Volt (Filler 2,4)
- Jenis Tungsten *Toriated* dengan kode warna merah
- Menggunakan arus konstan DC

Alat dan Bahan Penelitian

Alat

- Mesin Las GTAW
- Stop Kontak
- Filler AWS Er-Ni 1
- Tungsten *Toriated*
- *Welding Torch*
- *Shielding Gas*
- *Flowmeter Gas Pelindung*
- *Welding Glove*
- *Welding shield*
- Mesin Gerinda Potong

Bahan

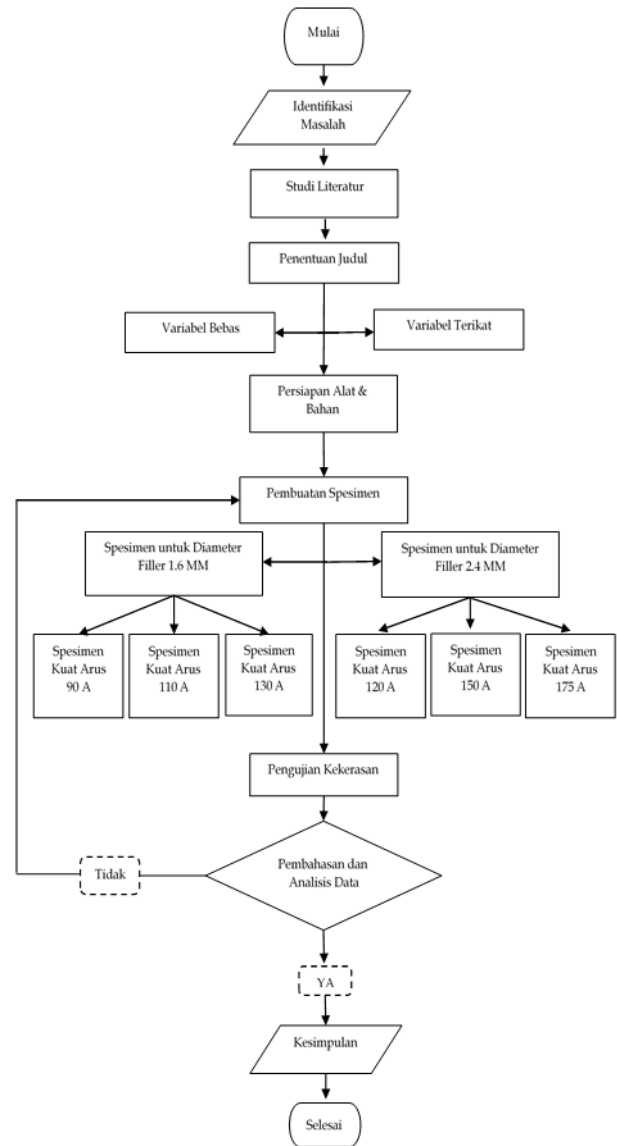
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja Stainless 316L.

Tempat dan Waktu Penelitian

- **Waktu Penelitian**
Penelitian tentang pengaruh diameter Filler dan kuat arus terhadap kekerasan pada proses Hardfacing Baja Stainless 316L menggunakan metode pengelasan GTAW dilakukan pada 20 Juni - 22 November 2024.
- **Tempat Penelitian**
Tempat penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Uji Bahan POLINEMA.
- **Objek Penelitian**
Objek penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Baja Stainless 316L setelah dilakukan proses Hardfacing dengan variasi Diameter Filler dan kuat arus yang ditinjau dari pengujian kekerasan.

Rancangan Penelitian

Rencana kegiatan ini dibuat dalam bentuk flowchart penelitian dapat dilihat pada gambar Bagan Desain Penelitian ataupun flowchart penelitian :



Gambar 2. Flow Chart

Teknik Analisis Data

Penulis menggunakan pendekatan analisis data observasi grafis dalam studi eksperimental ini, yang memerlukan pengumpulan data pada pengujian atau eksperimen dengan cara yang metodis, tepat, dan cermat. Dengan menerapkan kalkulasi teoritis pada data yang diberikan dalam tabel dan grafik, kita dapat memastikan pengaruh setiap variabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Vickers

Hasil penelitian ini disimpan secara digital. Uji kekerasan Vickers menghasilkan hasil yang dimaksud. Di sini kita akan membahas temuan penelitian, yang dimulai dengan perbandingan grafis data penelitian yang berasal dari pengujian hipotesis. Kita juga akan membahas cara melakukannya. Hasil akhir penelitian juga bervariasi tergantung pada variabelnya.

Tabel 1. Hasil Uji kekerasan Filler 1,6 mm

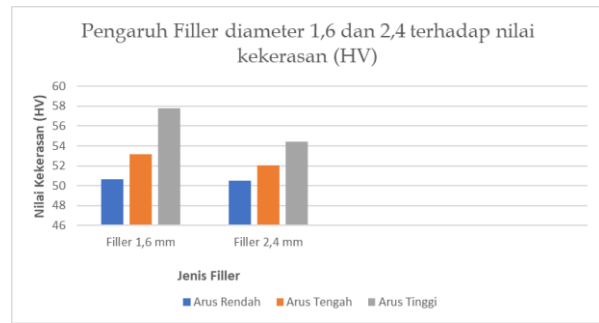
Kuat Arus yang diberikan (Ampere)	Nilai Kekerasan (HV)		Kekerasan Rata-rata (HV)
90 A	Spesimen 1	51,1	50,43 HV
		50,3	
		49,9	
	Spesimen 2	50,7	50,93 HV
		51,3	
		50,8	
	Spesimen 3	51,1	50,66 HV
		50,2	
		50,7	
110 A	Spesimen 1	53,4	53,5 HV
		54,2	
		52,9	
	Spesimen 2	53,3	53,06 HV
		52,8	
		53,1	
	Spesimen 3	52,7	52,93 HV
		52,9	
		53,2	
130 A	Spesimen 1	59,1	57,93 HV
		56,8	
		57,9	
	Spesimen 2	56,8	57,86 HV
		57,2	
		59,6	
	Spesimen 3	58,4	57,43 HV
		57,8	
		56,1	

Tabel 2. Hasil Uji kekerasan Filler 2,4 mm

Kuat Arus yang diberikan (Ampere)	Nilai Kekerasan (HV)		Kekerasan Rata-rata (HV)
120 A	Spesimen 1	50,1	50,06 HV
		50,2	
		49,9	
	Spesimen 2	51,3	50,50 HV
		50,4	
		49,8	
	Spesimen 3	50,9	50,90 HV
		50,7	
		51,1	
150 A	Spesimen 1	52,1	51,86 HV
		51,6	
		51,9	
	Spesimen 2	52,3	52,30 HV
		52,5	
		52,1	
	Spesimen 3	51,4	52 HV
		51,5	
		53,1	
175 A	Spesimen 1	54,6	54,50 HV
		53,8	
		55,1	
	Spesimen 2	54,8	54,63 HV
		55,2	
		53,9	
	Spesimen 3	54,4	54,10 HV
		53,8	
		54,1	

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisa untuk bisa mendapatkan jawaban dari rumusan hipotesa yang telah dibuat menggunakan menggunakan metode analisis grafik, yaitu dengan mengumpulkan data-data secara sistematis, faktual dan akurat mengenai hasil yang diperoleh selama tahap pengujian atau eksperimen. Dari data-data yang disajikan dalam bentuk tabel serta grafik dan dihitung secara teoritis untuk mengetahui pengaruh dari setiap variable yang kemudian dapat ditarik kesimpulan parameter mana yang paling baik untuk dilakukan hardfacing pada baja stainless 316L menggunakan metode GTAW.

1. Analisa Pengaruh Diameter Filler

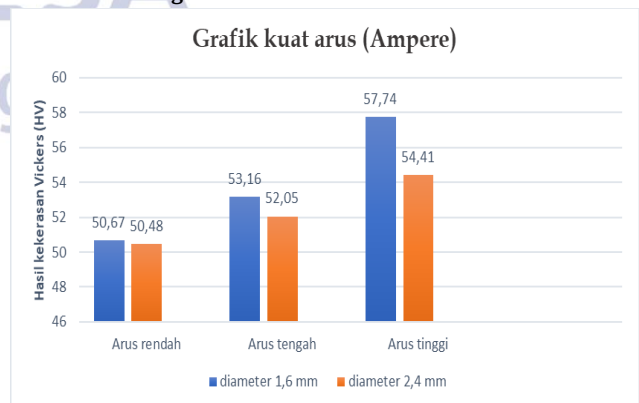


Gambar 3. Pengaruh Diameter Filler

Penggunaan kuat arus pada setiap ukuran diameter filler disesuaikan dengan standard AWS yang ditetapkan dalam rentang tertentu yaitu untuk filler diameter 1,6 mm adalah 90 - 130 A sedangkan filler diameter 2,4 mm adalah 120 - 175 A. Pada penelitian ini kuat arus dibagi menjadi 3 variasi pada setiap ukuran diameter filler. Pada filler diameter 1,6 mm menggunakan kuat arus berturut-turut ; 90 A, 110 A, dan 130 A.

Saat mengeraskan casing baja tahan karat 316L menggunakan metode pengelasan GTAW, diameter pengisi menentukan tingkat kekerasan. Batang tungsten, yang digunakan sebagai elektroda las, dapat menghasilkan busur tanpa benar-benar melelehkan logam. Menyesuaikan laju umpan logam pengisi saat pengelasan TIG memungkinkannya menembus logam dasar pada kedalaman berapa pun. Karena masukan kalor lebih ideal dengan material pengisi berdiameter 1,6 mm, telah dibuktikan bahwa material ini memiliki permeabilitas yang lebih baik dan lebih stabil untuk keperluan pelapisan. Oleh karena itu, logam pengisi dengan diameter kecil sangat baik untuk menghasilkan permeabilitas maksimum. Sekarang kita lanjut ke logam dasar. Eko Budiyanto dkk, (2017) menemukan bahwa kuantitas butiran ferit meningkat dengan setiap penambahan pengelasan dalam penyelidikan mereka tentang pengujian mikrostruktur las menggunakan pengisi berdiameter 1,6 mm untuk area Heat Affected Zone (HAZ). Konsentrasi butiran ferit di wilayah ini akan berkurang dengan penerapan arus listrik. Gunakan pengisi dengan diameter 1,6 mm dan rentang arus maksimum untuk mencapai kekerasan yang diinginkan.

2. Analisa Pengaruh Kuat Arus



Gambar 4. Pengaruh Kuat Arus

Terlihat pada grafik semakin tinggi kuat arus yang diberikan maka semakin tinggi juga nilai kekerasan yang didapat. Tingkat kekerasan tertinggi filler berdiameter 1,6 mm didapat

pada penggunaan arus tertingginya yaitu sebesar 130 A, sementara untuk filler berdiameter 2,4 mm tingkat kekerasan tertinggi didapat pada arus tertingginya yaitu sebesar 175 A.

Kuat arus mempengaruhi tingkat kekerasan pada proses hardfacing baja stainless 316L menggunakan metode pengelasan GTAW. penggunaan kuat arus berpengaruh pada hasil pengujian, dimana semakin besar kuat arus pengelasan semakin bertambah nilai kekerasan. Hasil *hardfacing* pada daerah HAZ, daerah las, dan base metal didominasi struktur perlite dan ferrite. Semakin besar arus pengelasan struktur pearlite semakin membesar sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang tinggi. Penelitian terdahulu mengungkap tentang pengaruh penggunaan variasi besaran arus pada las TIG terhadap perubahan struktur mikro. Hasil yang diperoleh adalah semakin tinggi arus maka semakin tinggi tegangan luluhnya dan tegangan maksimumnya, hal ini menunjukkan peningkatan sifat mekanis pada logam apabila pengelasan dilakukan dengan arus lebih tinggi (Ninien, S., & Ponimin, P., 2012). Dengan ini penggunaan arus yang lebih tinggi akan meningkatkan kekerasan pada proses hardfacing baja stainless 316L baik menggunakan filler 1,6 mm atau 2,4 mm.

PENUTUP

Simpulan

- Hasil Penelitian menunjukkan bahwa diameter filler memiliki pengaruh terhadap nilai kekerasan material pada hardfacing baja stainless 316L. Dari hasil uji kekerasan Vickers didapat filler dengan diameter 1,6 mm mendapatkan hasil kekerasan berturut-turut 50,66 HV dengan kuat arus terendahnya, 53,16 HV dengan kuat arus tengahnya, dan 57,52 HV dengan kuat arus tertingginya. Variasi diameter filler 2,4 mm mendapatkan hasil kekerasan berturut-turut 50,48 HV dengan kuat arus terendahnya, 52,05 HV dengan kuat arus tengahnya, dan 54,41 dengan kuat arus tertingginya. Hal ini menunjukan penggunaan diameter filler yang lebih kecil akan mengalami peningkatan nilai kekerasan ataupun sebaliknya.
- Hasil penelitian ini menunjukan bahwa kuat arus memiliki pengaruh terhadap nilai kekerasan material pada hardfacing baja stainless 316L. Dari hasil uji kekerasan Vickers didapat peningkatan laju kekerasan dengan seiring ditambahnya kuat arus (Ampere) baik saat penggunaan filler berdiameter 1,6 mm maupun 2,4 mm. Pada rentang kuat arus 175 A terjadi adanya indikasi cacat las dengan ditemukannya pelebaran permukaan hasil hardfacing dikarenakan arus terlalu tinggi dan menyebabkan filler mencair terlalu cepat dan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar.
- Hasil Analisa menunjukan pemilihan parameter yang terbaik yaitu menggunakan filler berdiameter 1,6 mm dengan rentang arus tertingginya. Penggunaan parameter tersebut mendapatkan hasil kekerasan yang paling tinggi diantara parameter lainnya.

Saran

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai hardfacing pada katup dengan material baja SS 316L terhadap perlakuan treatment lain untuk meningkatkan ketahanan ausnya seperti penambahan material lain atau heat treatment.

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi parameter hardfacing yang digunakan untuk meningkatkan kekerasan sehingga ketahanan aus pada katup akan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Que, Z., Ahonen, M., Virkkunen, I., Nevasmaa, P., Rautala, P., & Reinval, H. (2022). Study of cracking and microstructure in Co-free valve seat hardfacing. *Nuclear Materials and Energy*, 31, 101202.
- Balaguru, S., & Gupta, M. (2021). Hardfacing studies of Ni alloys: A critical review. *Journal of materials research and technology*, 10, 1210-1242.
- Aubry, P., Blanc, C., Demirci, I., Dal, M., Malot, T., & Maskrot, H. (2016). Analysis of nickel based hardfacing materials manufactured by laser cladding for Sodium Fast Reactor. *Physics Procedia*, 83, 613-623.
- Venkataraman, K., Varunanand, V., Tharun, S., Thanush, S., & Prakash, S. (2023). Development of nickel alloy based hardfacing procedure for fast breeder test reactor control rod sheath using conventional gas tungsten arc welding process and metal cored alloy grade ERC Ni Cr-B. *Materials Today: Proceedings*.
- Pradeep, G. R. C., Ramesh, A., & Prasad, B. D. (2010). A review paper on hardfacing processes and materials. *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2(11), 6507-6510.
- Gerard, B. (2022). Fundamentals of Hardfacing by Arc Welding . *Welding Engineer / Vice President - Sales Welding Alloys USA, Inc.*
- Fikri, M. A., Wilujeng, A. D., Niâ, A. K., Wahyudi, A., & Abdillah, M. F. (2022). PENERAPAN METODE HARDFACING UNTUK MENGATASI KEAUSAN AKIBAT ABRASI PADA TRACK SHOE EXCAVATOR PC 75UU-3. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)* (Vol. 7, No. 1, pp. 113-118).
- Ekaputra, I. M. W., & Haryadi, G. D. Karakteristik Laju Regangan Melar pada Baja Tahan Karat Austenitic 316L. *ROTASI*, 19(4), 201-205.
- Sutowo, C., & Sanjaya, A. (2007). Pengaruh Hasil Pengelasan GTAW dan SMAW pada Pelat Baja SA 516 dengan Kampuh V Tunggal. *SINTEK JURNAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(1).
- Perdana, D. (2016). Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan GTAW pada Material Plat SS 400 Disambung Dengan Material Plat SUS 304 Terhadap Sifat Mekanis. *ReTII*.
- Dwiyati, S. T., Susetyo, F. B., & Yudhantono, A. D. P. (2018). Pengaruh Laju Aliran Gas Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah Hasil Hardfacing Dengan Proses GTAW. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 1-6.
- Gabriel, Rianto, S. (2019). Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan GTAW Pada Mterial Plat SS400 Disambung Dengan Material Plat SUS304 Terhadap Kekuatan Tarik Dan Lebar HAZ. *Progam Studi Diploma III - Jurusan Departemen Teknik Mesin Industri - Fakultas Vokasi - Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Soleh, A.A., Purwanto, H. and Syafa'at, I., 2017. Analisa pengaruh kuat arus terhadap struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik pada baja karbon rendah dengan Las SMAW

menggunakan jenis Elektroda E7016. CENDEKIA EKSAKTA, 1.

Perwira, D. A., Prasetya, H. W., & Kurniawan, M. A. (2021). Pengaruh Variasi Diameter Filler Dan Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Hasil Pengelasan SMAW Material Stainless Steel 304. V-MAC (Virtual of Mechanical Engineering Article), 6(2), 61-66.

Budiyanto, E., Nugroho, E., & Masruri, A. (2017). Pengaruh diameter filler dan arus pada pengelasan TIG terhadap kekuatan tarik dan struktur mikro pada baja karbon rendah. Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 6.

Diniardi, E., Ramadhan, A. I., Kirono, S., & Julianto, A. (2014). Analisa Kekerasan dan Laju Keausan Blok Silinder Mesin Sepeda Motor Berbahan Paduan Al-si. Prosiding Semnastek, 1.

Tandon, D., Li, H., Pan, Z., Yu, D., & Pang, W. (2023). A Review on Hardfacing, Process Variables, Challenges, and Future Works. Metals, 13(9), 1512.

