

Pengaruh Media Pendingin terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Hasil Pengelasan SMAW Pegas Daun Mitsubishi PS 120

Saipul Anwar, Mulyadi Mulyadi*

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Abstrak: Pegas daun merupakan suatu alat yang terbuat dari baja yang memiliki sifat elastisitas tinggi dan berfungsi penerima beban dinamis. Pada kendaraan yang banyak menerima beban besar seperti truk, penggunaan pegas daun sangat cocok digunakan karena memiliki sifat elastisitas yang bagus dan diimbangi dengan ketangguhan yang tinggi untuk menerima beban yang besar. Masalah yang sering terjadi pegas daun mengalami patah, jalan yang rusak dan beban muatan yang melebihi kapasitas menjadi penyebab pegas daun mengalami patah. Untuk memanfaatkan pegas daun yang patah agar bisa dipergunakan lagi yaitu dengan menggunakan teknologi pengelasan. Metode yang dipakai pada pengelasan berupa kampuh V, dengan arus 100 ampere menggunakan elektroda LB 52 U, pendinginan setelah pengelasan menggunakan variabel air kelapa, air garam dan oli. Hasil uji kekerasan didapatkan pengujian menggunakan pendingin air kelapa memperoleh nilai tertinggi yaitu daerah *welding* metal 31 HRC, daerah HAZ 56.5 HRC dan *base* metal 38 HRC. Sedangkan untuk uji *impact* ketangguhan tertinggi diperoleh pengelasan dengan media pendingin air kelapa dengan nilai *impact* 0.853 J/mm².

Kata Kunci: Pegas Daun, Proses Pendinginan, Uji Kekerasan, Uji *Impact*

DOI:

<https://doi.org/10.47134/innovative.v3i2.103>

*Correspondence: Mulyadi

Email: mulyadi@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: Leaf spring is a tool made of steel that has high elasticity and functions as a dynamic load receiver. In vehicles that receive a lot of large loads such as trucks, the use of leaf springs is very suitable for use because it has good elasticity properties and is balanced with high toughness to accept large loads. Problems that often occur are leaf springs break, damaged roads and loads that exceed capacity are the causes of leaf springs breaking. To take advantage of a broken leaf spring so that it can be used again, that is by using welding technology. The method used in welding is V seam, with a current of 100 amperes using LB 52 U electrodes, cooling after welding using coconut water, salt water and oil variables. The results of the hardness test showed that testing using coconut water cooler obtained the highest value, namely the welding metal area of 31 HRC, the HAZ area of 56.5 HRC and the base metal area of 38 HRC. Meanwhile, for the impact test, the highest toughness was obtained by welding with coconut water cooling media with an impact value of 0.853 J/mm².

Keywords: Leaf Spring, Cooling Process, Hardness Test, Impact Test

Pendahuluan

Pegas merupakan suatu alat yang terbuat dari baja yang memiliki sifat elastisitas tinggi dan berfungsi sebagai penerima beban dinamis (Brandão, 2023; Fitriyus, 2023; Prasanna, 2023; Ranjan, 2023; González-Fernández, 2019;). Penggunaan pegas banyak ditemui dalam bidang teknik umumnya pada kendaraan bermotor, hal ini dikarenakan pegas memiliki peranan penting untuk memberikan kenyamanan terhadap pengguna kendaraan bermotor (Cortes, 2023; Romero, 2023; Wibowo, 2023; Ambade, 2022; Hariprasath, 2022). Pada kendaraan yang banyak menerima beban besar seperti truk, penggunaan pegas daun sangat cocok digunakan karena memiliki sifat elastisitas, modulus resiliensi yang bagus dan diimbangi dengan ketangguhan yang tinggi untuk menerima beban yang besar (Azwinur, 2022; Ghorbel, 2022; Than, 2022; Saxena, 2021; Sepe, 2021).

Di sisi lain permasalahan yang sering terjadi pada pegas daun adalah saat menerima beban kejutan yang bervariasi akibat kontur jalan yang kurang baik yang mengakibatkan pegas daun mengalami patah. Pegas daun yang patah umumnya diganti dengan pegas daun yang baru, namun memerlukan biaya yang cukup mahal untuk menggantinya. Untuk mengatasi hal tersebut teknologi pengelasan sangat cocok untuk menyambung pegas yang patah karena tidak memerlukan biaya yang cukup besar.

Berdasarkan penelitian Saputra & Tyastomo (2016), dalam pengujian perbandingan kekerasan dan struktur mikro pegas daun yang mengalami proses *heat treatment*. Pegas daun dipanaskan pada suhu 800 °C, kemudian didinginkan secara cepat dengan menggunakan media air, oli dll. Dari pengujian tersebut didapat proses perlakuan panas dengan media pendingin oli mempunyai kekerasan tertinggi, sedangkan berdasarkan pengujian metalografi pada pegas daun yang mengalami pemanasan dengan media pendingin oli kondisi struktur mikro pada bagian tepi mengalami dikarburasi berupa *austenit*. Sedangkan pada media pendingin udara struktur mikro pada bagian tengah berupa *matrik perlitik*, dan pada bagian tepi mengalami dikarburasi berupa ferit-perlit. Sedangkan menurut penelitian Herlin et al. (2015) nilai kekerasan pemanasan terbaik antara suhu 400°C, 500°C dan 600°C berada pada suhu 400°C dengan media pendingin yang digunakan adalah udara dengan rata-rata 272,2 HB.

Dalam penelitian Miharja et al. (2018), pengaruh suhu *tempering* terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan *mikrostruktur* pada sambungan las baja pegas daun. Setelah pengelasan selesai kemudian dilanjutkan dengan perlakuan *tempering* dengan variasi suhu 300, 450, 600°C dengan *holding time* 30 menit. Hasil tertinggi diperoleh pada proses *tempering* 300°C dengan kekuatan tarik sebesar 78,752 kgf/mm, dan pada pengujian kekerasan nilai paling tinggi diperoleh pada proses *tempering* dengan suhu 300°C dengan nilai 42,67 HRC. Sedangkan berdasarkan pengujian metalografi, struktur mikro lebih rapat dan merata diperoleh pada proses *tempering* dengan suhu 300°C. Hal ini juga diperkuat penelitian Aditama (2019), bahwa semakin tinggi proses pemanasan *tempering* maka nilai kekuatan tarik semakin menurun, namun *elongasi* akan semakin meningkat. Dan semakin tinggi proses pemanasan *tempering* maka akan mengakibatkan turunnya sifat kekerasan.

Pengaruh perbedaan media pendingin terhadap struktur mikro dan kekerasan pegas daun dalam proses *hardening* pada penelitian (Adawiyah et al., 2014). Pegas tersebut dipanaskan kisaran suhu 800-850°C kemudian didinginkan dengan variasi media pendingin oli, air garam dan air biasa. Dari pengujian kekerasan didapatkan proses *hardening* dengan media pendingin air garam memiliki nilai kekerasan yang tinggi dengan nilai 99,13 HRC. Sedangkan penelitian Nur et al (2005), menyatakan bahwa pengujian pengaruh media pendingin dari proses perlakuan panas terhadap kekuatan sambungan pegas daun dengan las SMAW. Media yang digunakan berupa air, oli dan air garam. Dari pengujian tersebut diperoleh media pendingin air garam merupakan media pendingin paling baik dari proses laku panas *quenching tempering*, besar *tensile strength* naik 116% dan *yield strength* naik 107% dari material sambungan tanpa proses laku panas. Sedangkan pada penelitian Purboputro (2009), hasil uji kekerasan tertinggi diperoleh spesimen dengan menggunakan *quenching* air garam sebesar 598,75 VHN, sedangkan pada pengujian *impact* nilai tertinggi diperoleh spesimen menggunakan *annealing* sebesar 0,278 J/mm².

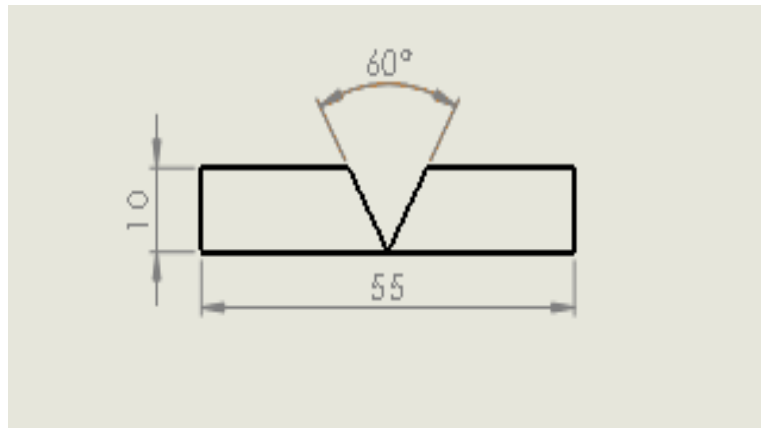
Berdasarkan penelitian Nugroho (2017), studi komparasi pengaruh variasi arus pengelasan terhadap kekuatan impact, kekerasan dan struktur mikro sambungan las pegas daun baja sup 9 pada proses las *smaw*. Variasi arus yang digunakan adalah 100 ampere, 120 ampere dan 140 ampere. Jenis kampuh yang digunakan yaitu kampuh V. Dari hasil uji impact tertinggi diperoleh pada variasi arus 100 ampere sebesar 1,698 J/mm², dan hasil uji kekerasan tertinggi diperoleh pada variasi arus 140 ampere sebesar 355,338 HVN, sedangkan struktur mikro pada daerah las memiliki ukuran butiran yang semakin besar dan struktur perlit semakin banyak untuk variasi arus 140a ampere. Hal ini di perkuat penelitian Wijoyo (2015), semakin tinggi arus listrik yang dipakai dalam pengelasan, maka kekerasan hasil lasan semakin menurun. Sedangkan pada penelitian Nurjayanti et al. (2013), menyatakan bahwa pengaruh pemanasan, pendinginan secara cepat, dan *tempering* 600°C terhadap sifat ketangguhan pada baja pegas daun AISI No. 9260. Hasil yang diperoleh yaitu kekerasan menurun dan ketangguhan meningkat, nilai ketangguhan sebelum perlakuan panas yaitu 0,23 J/mm² setelah perlakuan panas menjadi 0,803 J/mm².

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka peneliti akan melakukan penelitian dengan menggunakan variasi media pendingin yaitu air kelapa, oli dan air garam. Diharapkan hasil data yang diperoleh bisa menjadi informasi kekuatan sambungan dari proses pengelasan tersebut, sehingga proses pengelasan menggunakan las *smaw* bisa menjadi alternatif dalam proses penyambungan pegas daun yang patah. Maka pemanfaatan material pegas daun bekas akan semakin luas.

Metode

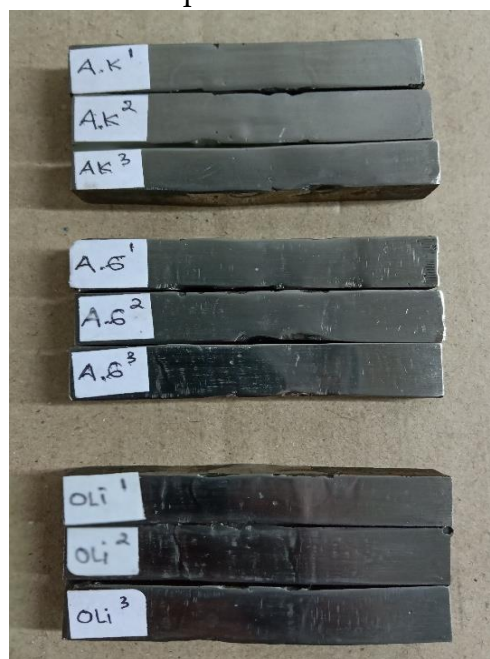
Proses pengelasan dilakukan setelah studi lapangan dan pustaka dilakukan, hasil data yang didapatkan sebagai sumber referensi untuk proses pengelasan selanjutnya. Setelah melihat hasil referensi maka proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan metode kampuh V dengan menggunakan elektroda LB 52U dengan diameter 2.6 mm, posisi pengelasan menggunakan posisi 1G yaitu cara pengelasan yang dilakukan pada

permukaan rata/datar dan dilakukan dibawah tangan. Arus yang dipakai yaitu 100 ampere, proses pendinginan secara langsung dengan menggunakan variabel air garam, air kelapa dan oli.



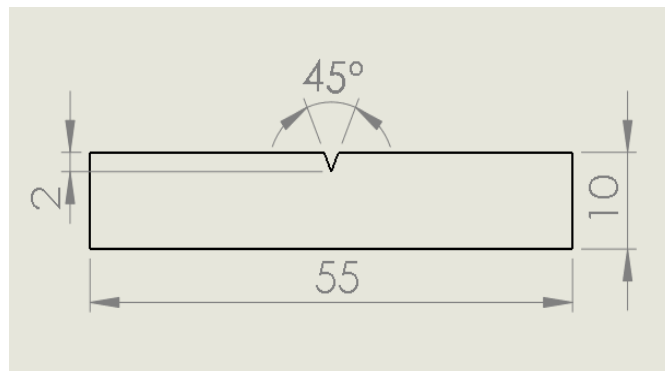
Gambar 1. Proses pengelasan dengan metode kampuh V

Dalam pembuatan spesimen uji kekerasan (*Rockwell*), material pegas daun yang sudah melalui proses pendinginan dibentuk persegi panjang dengan permukaan atas dan bawah rata dan halus, sehingga dapat ditumpu dengan baik dan mempermudah dalam pengambilan data. Proses pembentukan spesimen tersebut akan dijelaskan pada gambar 2.



Gambar 2. Spesimen uji kekerasan

Sedangkan untuk pembuatan spesimen uji *impact* dengan standar ASTM A370, material yang mengalami proses pengelasan dibentuk persegi panjang dengan ukuran 10 x 10 x 55 mm dengan bentuk takik 45° sedalam 2 mm. Seperti pada gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Standar ASTM A370 uji *impact*



Gambar 4 Spesimen uji *impact*

Kemudian hasil uji impak akan dihitung harga impak/*impack strength* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$EP = \frac{m \cdot g \cdot l (\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$

- Dimana :
- EP : Energi Potensial yang dibuthkan pendulum
 - m : Massa bandul / pendulum
 - g : Besar gravitasi
 - l : Lengan pendulum
 - $\cos \alpha$: Sudut awal start pendulum
 - $\cos \beta$: Sudut yang dicapai pendulum setelah mematahkan sampel
 - A : Luas spesimen di luar takik

Hasil dan Pembahasan

Untuk mempermudah dalam membaca hasil pengujian, peneliti akan merangkum data dalam bentuk tabel. berikut data hasil pengujian kekerasan akan di jelaskan dalam bentuk tabel 1 dan 2 dibawah ini.

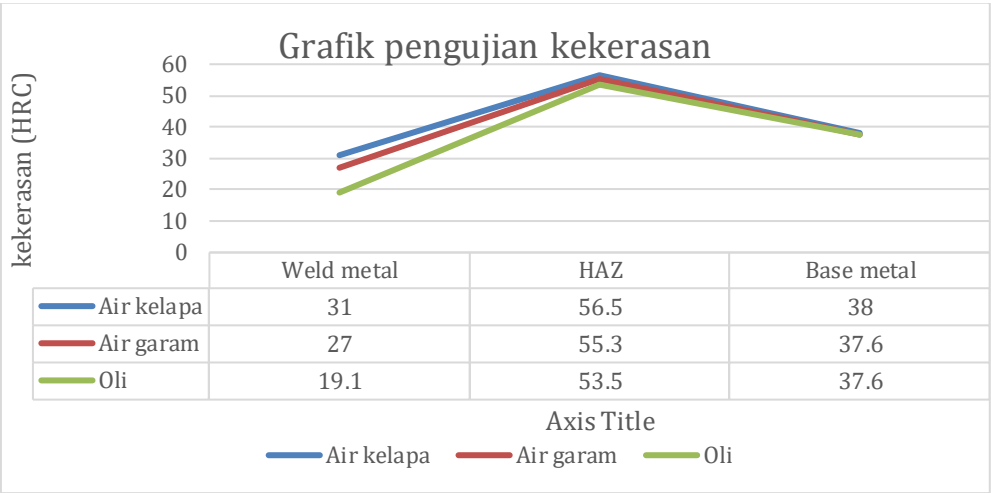
Tabel 1. Hasil Pengujian Kekerasan Tiap Spesimen Pegas Daun.

No Sampel	Variasi Pendingin	Titik Pengujian	Rockwell Hardness (HRC)
1	Air Kelapa	Weld Metal	30
		HAZ	58
		Base Metal	38,5
2	Air Kelapa	Weld Metal	34
		HAZ	57
		Base Metal	37,5
3	Air Kelapa	Weld Metal	29
		HAZ	54,5
		Base Metal	38
1	Air Garam	Weld Metal	32
		HAZ	54,5
		Base Metal	39
2	Air Garam	Weld Metal	29
		HAZ	55,5
		Base Metal	36,5
3	Air Garam	Weld Metal	20,5
		HAZ	56
		Base Metal	37,5
1	Oli	Weld Metal	16
		HAZ	54,5
		Base Metal	38,5
2	Oli	Weld Metal	18
		HAZ	52,5
		Base Metal	36,5
3	Oli	Weld Metal	23,5
		HAZ	53,5
		Base Metal	38

Tabel 2 Hasil Rata-Rata Pengujian Kekerasan (HRC) Pegas Daun Yang Mengalami Proses Pengelasan

No	Pendinginan	Welding metal	HAZ	Base metal
1	air kelapa	31	56,5	38
2	air garam	27	55,3	37,6
3	Oli	19,1	53,5	37,6

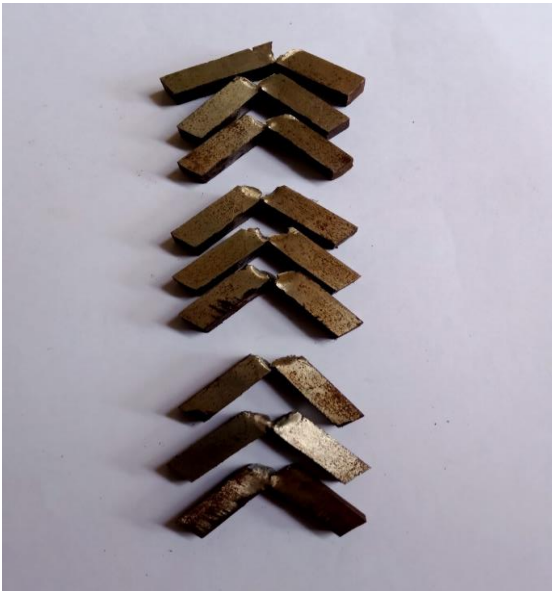
Berikut grafik pengujian kekerasan pegas daun yang mengalami proses pengelasan seperti pada gambar 5 di bawah ini.



Gambar 5. Grafik Uji Kekerasan

Berdasarkan gambar 5 daerah *welding metal*, HAZ dan *base metal* dengan metode *quenching* air kelapa, air garam, dan oli. Di peroleh hasil daerah *welding metal* dengan nilai tertinggi yaitu metode *quenching* air kelapa dengan nilai kekerasan 31 HRC. untuk daerah HAZ nilai tertinggi diperoleh metode *quenching* air kelapa dengan nilai kekerasan 56.5 HRC. untuk *base metal* nilai tertinggi diperoleh metode *quenching* air kelapa dengan nilai kekerasan 38 HRC. Sedangkan kekerasan terendah didapat oleh pengelasan menggunakan pendingin oli dengan nilai kekerasan daerah *welding metal* 19.1 HRC, daerah HAZ 53.5 HRC dan *base metal* 37.6 HRC. Dari tersebut dapat disimpulkan proses pengelasan dengan metode *quenching* air kelapa memperoleh nilai paling keras dibandingkan dengan metode *quenching* air garam dan oli.

Berikut hasil pengujian *impact* pada pegas daun mitsubishi PS 120 akan di tunjukkan pada gambar 6 dan 7 di bawah ini.



Gambar 6. Hasil pengujian impak



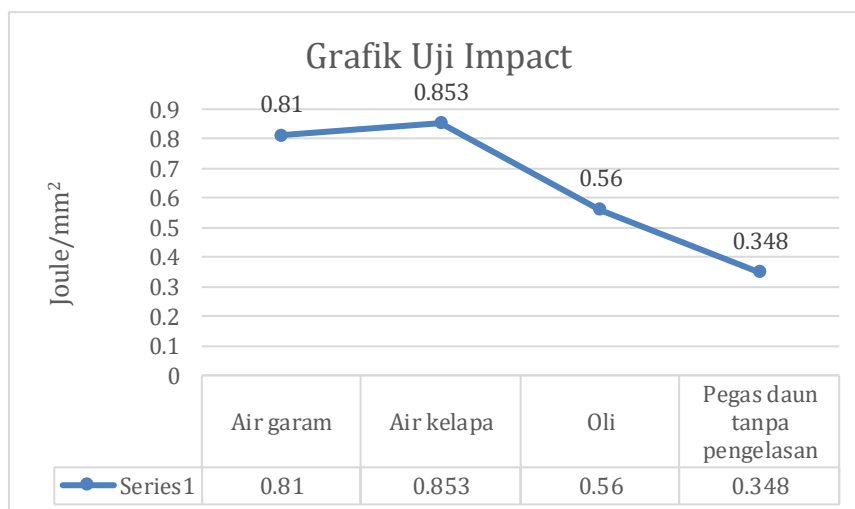
Gambar 7. hasil uji impact pegas daun tanpa pengelasan

Berdasarkan rumus perhitungan uji impact maka di dapat hasil perhitungan ketangguhan pegas daun seperti yang tertera ada tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil Pengujian Impak

No	Variasi pendingin		
	Air garam	Air kelapa	Oli
1	0,92	0,72	0,72
2	0,89	0,92	0,55
3	0,69	0,92	0,45
Rata-rata	0,81 Joule/mm ²	0,853 Joule/mm ²	0,56 Joule/mm ²

Pada tabel 3 supaya lebih mudah untuk dipahami maka diubah menjadi grafik seperti yang ditunjukkan pada gambar 8 di bawah ini.



Gambar 8. Grafik Uji Impak

Dalam pengujian *impact* ini, ketangguhan daerah lasan pegas daun mengalami peningkatan baik menggunakan media air kelapa, air garam atau oli dibandingkan dengan material pegas daun tanpa proses pengelasan. Dikarenakan pada daerah *welding metal* yang

menggunakan elektroda LB 52 memiliki sifat sedikit lebih ulet dengan nilai kekerasan yang rendah dibandingkan daerah *base metal* yang memiliki kadar karbon tinggi sehingga cenderung memiliki sifat keras dan getas. Ketangguhan tertinggi diperoleh pengelasan menggunakan media air kelapa dengan nilai *impact* 0.853 Joule/mm². Sedangkan nilai terendah diperoleh pengelasan dengan media pendingin oli dengan nilai *impact* 0.56 Joule/mm².

Simpulan

Berdasarkan analisa uji kekerasan pegas daun mitsubishi PS 120 dapat disimpulkan bahwa, proses pengelasan dengan menggunakan media pendingin air kelapa memperoleh kekerasan tertinggi dengan nilai kekerasan daerah *welding metal* 31 HRC, daerah HAZ 56.5 HRC dan daerah *base metal* 38 HRC. Media pendingin oli pada pengelasan pegas daun memperoleh kekerasan terendah dibandingkan dengan pengelasan menggunakan media pendingin air kelapa dan air garam dengan nilai kekerasan daerah *welding metal* 19.1 HRC, daerah HAZ 53.5 HRC dan *base metal* 37.6 HRC. Dikarenakan oli memiliki nilai kekentalan yang tinggi dibandingkan dengan air garam dan air kelapa, sehingga laju pendinginan sedikit lambat dari pada air kelapa dan air garam sehingga mempengaruhi struktur mikro pada saat proses pendinginan.

Untuk daerah HAZ pada setiap media pendinginan nilai kekerasannya meningkat di atas nilai kekerasan *base metal*, dikarenakan kadar karbon yang tinggi pada material pegas daun memperoleh input panas yang tinggi pada saat proses pengelasan dan proses pendinginan yang sangat cepat. Sehingga merubah struktur mikro pada daerah HAZ tersebut. Sedangkan pada pengujian *impact* pegas daun mitsubishi PS 120 ketangguhan tertinggi diperoleh pengelasan dengan media pendingin air kelapa dengan nilai *impact* 0.853 Joule/mm², sedangkan nilai *impact* terendah diperoleh pada pengelasan pegas daun dengan media pendingin oli dengan nilai *impact* 0.56 Joule/mm². Semakin kecil nilai kekerasan pada daerah *welding metal* maka semakin tinggi nilai ketangguhannya.

Daftar Pustaka

- Adawiyah, R., Murdjani, & Hendrawan, A. (2014). Pengaruh Perbedaan Media Pendingin Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Pegas Daun dalam Proses Hardening. *Poros Teknik*, 6(2), Desember 2014.
- Aditama, R. (2019). Studi Eksperimen Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja Karbon Pegas Daun AISI 1095 pada Mobil Kijang Kapsul 7K-EFI tahun 2000 Dengan Perlakuan Panas Tempering. *JTM*, 7(1), 2019.
- Ambade, S. (2022). Experimental and finite element analysis of temperature distribution in 409 M ferritic stainless steel by TIG, MIG and SMAW welding processes. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 9(3), 843–858. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2022.2100127>

- Azwinur. (2022). The Effect of Electrode Type on The Tensile Strength Characteristics of Welded Joints Between SA.240 Tp.304 Stainless Steel and SA.36 Carbon Steel Alloys through SMAW Welding Process. *International Journal of Integrated Engineering*, 14(4), 35–42. <https://doi.org/10.30880/ijie.2022.14.04.004>
- Brandão, A. A. (2023). Comparative Analysis of GTAW and SMAW Processes Applied to In-Service Welding of Low Carbon Pipes for Gas Distribution. *Soldagem e Inspecao*, 28. <https://doi.org/10.1590/0104-9224/SI28.08>
- Cortes, J. B. (2023). Biomonitoring of exposure to multiple metal components in urine, hair and nails of apprentice welders performing shielded metal arc welding (SMAW). *Environmental Research*, 239. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117361>
- Fitriyus, G. (2023). Comparative Study on Welding Characteristics of FCAW and SMAW Welded ASTM A106 Grade B Based on ASME Standard. *AIP Conference Proceedings*, 2601. <https://doi.org/10.1063/5.0129578>
- Ghorbel, R. (2022). Microstructure and mechanical property assessment of stainless steel-clad plate joint made by hybrid SMAW-GTAW multi-pass welding process. *Welding in the World*, 66(8), 1593–1608. <https://doi.org/10.1007/s40194-022-01301-9>
- González-Fernández, C. (2019). Do transparent exopolymeric particles (TEP) affect the toxicity of nanoplastics on *Chaetoceros neogracile*? *Environmental Pollution*, 250, 873–882. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.093>
- Hariprasath, P. (2022). Effect of the welding technique on mechanical properties and metallurgical characteristics of the naval grade high strength low alloy steel joints produced by SMAW and GMAW. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 37, 584–595. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2022.03.007>
- Herlin, F., Firman, M., & Fazri, E. Y. (2015). Mengetahui Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro dari Bahan Baja Pegas Daun Akibat Perlakuan Panas dengan Temperature dan Pendingin yang Berfariasi. *Info Teknik*, 16(1), Juli 2015.
- Miharja, A. J., Respati, S. M. B., & Purwanto, H. (2018). Pengaruh Suhu Tempering Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, dan Mikrostruktur pada Sambungan Las Shielded Metal Arc Welding (SMAW) Baja Pegas Daun. *Momentum*, 14(1), April 2018.
- Nugroho, F. (2017). Studi Komparasi Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Terhadap Kekuatan Impak, Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las Pegas Daun Baja Sup 9 pada Proses Las SMAW. *Angkasa*, 9(2), November 2017.
- Nur, I., Junaidi, & Hanwar, O. (2005). Analisis Pengaruh Media Pendingin dari Proses Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Sambungan Pegas Daun dengan Las SMAW. *Jurnal Teknik Mesin*, 2(1), Juni 2005.
- Nurjayanti, D., Ginting, E., & Karo-karo, P. (2013). Pengaruh Lama Pemanasan, Pendinginan Secara Cepat, dan Tempering 600 °C Terhadap Sifat Ketangguhan pada Baja Pegas Daun AISI No.9260. *Universitas Lampung*, 1(2), Juli 2013.
- 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., Afiah, 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.
- Prasanna, N. (2023). Investigation of welding of dissimilar high thickness SA106 Gr.C carbon steel and SA335P12 alloy steel to eradicate the failure in boiler components fabricated through SAW and SMAW processes. *Engineering Failure Analysis*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107252>
- Purboputro, P. I. (2009). Peningkatan Kekakuan Pegas Daun Dengan Cara Quenching. *Media Mesin*, 10(1), Januari 2009.
- Ranjan, R. (2023). Optimization of welding parameters and microstructure analysis of low frequency vibration assisted SMAW butt welded joints. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01562-8>
- Romero, H. A. G. (2023). Influence of Heat Input on the Weldability of ASTM A131 DH36 Fillet Joints Welded by SMAW Underwater Wet Welding. *Sustainability (Switzerland)*, 15(14). <https://doi.org/10.3390/su151411222>
- Saputra, R., & Tyastomo, E. (2016). Perbandingan Kekerasan dan Struktur Mikro Pegas Daun yang Mengalami Proses Heat Treatment. *Bina Teknika*, 12(2), Desember 2016.
- Saxena, A. (2021). A comparative numerical analysis on the effect of welding consumables on the ballistic resistance of SMAW joints of Armor steel. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/app11083629>
- Sepe, R. (2021). Fem simulation and experimental tests on the smaw welding of a dissimilar t-joint. *Metals*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/met11071016>
- Than, V. T. (2022). Study on Welding Distortion Based on Varying Thickness and Current for SMAW Process. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 155–160. https://doi.org/10.1007/978-3-030-99666-6_24
- Wibowo, M. S. A. (2023). Robust parameter design of shield metal arc welding (SMAW) for optimum tensile strength using response surface method. *AIP Conference Proceedings*, 2592. <https://doi.org/10.1063/5.0115782>
- Wijoyo. (2015). Kajian Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Las GMAW Baja Karbon Tinggi dengan Variasi Masukan Arus Listrik. *Simetris*, 6(2), November 2015.