



**Jurnal Artikel**

## **Pengaruh Lubang Kerucut Pada Aluminium Terhadap Sifat Mekanik Pada Pengelasan Gesek Aluminium Dan Tembaga**

Syahrul Amin<sup>1</sup>, Agus Fikri<sup>2\*</sup>, Mohammad Mujirudin<sup>3</sup>, Arry Avorizano<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

<sup>2</sup>Teknologi Rekayasa Mekatronika, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

<sup>3</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

<sup>4</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof.DR.Hamka

\*Corresponding author – Email : agus\_fikri@uhamka.ac.id

Artikel Info - : Received : 29 Juni 2025 ;      Revised : 14 Juli 2025;      Accepted: 15 Juli 2025

### **Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut lubang cone pada aluminium ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$ ) terhadap kekuatan tarik dan kekerasan hasil pengelasan rotary friction welding antara aluminium 6061 dan tembaga murni. Pengelasan gesek dipilih sebagai metode yang efektif dalam menyambungkan material dengan sifat termal berbeda. Proses pengujian meliputi uji tarik untuk menentukan kekuatan tarik dan uji kekerasan Vickers pada beberapa posisi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut cone yang lebih kecil ( $30^\circ$ ) menghasilkan kekuatan tarik lebih tinggi ( $2.0 \text{ kgf/mm}^2$ ), sementara kekerasan tertinggi (93,8 HV) diperoleh pada sudut cone  $45^\circ$  di zona sambungan (welding zone).

Katakunci: Pengelasan gesek, Lubang Kerucut, Aluminium, Tembaga, Uji Tarik, Uji Kekerasan

### **Abstract**

This study aims to determine the effect of variations in the cone hole angle on aluminum ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , and  $60^\circ$ ) on the tensile strength and hardness of rotary friction welding between aluminum 6061 and pure copper. Friction welding was selected as an effective method for joining materials with different thermal properties. The testing process includes a tensile test to determine the ultimate tensile strength and a Vickers hardness test at several positions. The results show that a smaller cone angle ( $30^\circ$ ) produces higher tensile strength ( $2.0 \text{ kgf/mm}^2$ ), while the highest hardness (93.8 HV) was obtained at a  $45^\circ$  cone angle in the welding zone.

**Keywords:** Friction welding, Cone Hole, Aluminum, Copper, Tensile Test, Hardness Test



© 2020 by authors. Licensi Jurnal Metal : Manufaktur, Energi, Material Teknik, Uhamka, Jakarta. Artikel ini bersifat open access yang didistribusikan di bawah syarat dan ketentuan Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

## **Pendahuluan**

Pengelasan adalah salah satu metode penyambungan yang sering digunakan di industry manufaktur, khususnya untuk menggabungkan material dengan karakteristik mekanik berbeda, seperti aluminium dan tembaga. Salah satu jenis pengelasan yang menarik perhatian adalah *friction welding*, atau pengelasan gesek. Teknik ini memanfaatkan panas yang dihasilkan dari gesekan antara dua material yang akan disambungkan untuk membentuk ikatan yang kokoh. (Faisal & Asrul, 2022). Aluminium dan tembaga adalah dua material yang banyak digunakan dalam industri, terutama dalam bidang otomotif karena sifat-sifat unggul yang dimiliki kedua logam ini. Aluminium terkenal karena ringan, tahan

korosi, dan memiliki konduktivitas termal dan listrik yang baik, aluminium 6061 juga terkenal karena kemampuannya untuk dilas dan dibentuk menjadi berbagai macam produk. Meskipun mudah dilas, ada tantangan dalam mempertahankan sifat mekanik tertentu setelah proses pengelasan, terutama jika dihadapkan dengan material lain seperti tembaga. Tembaga murni memiliki sifat yang sangat berbeda dari aluminium. Tembaga terkenal dengan konduktivitas listrik dan termal yang sangat tinggi, serta daya tahannya terhadap korosi. Ini membuatnya banyak digunakan dalam industri listrik dan elektronik. Salah satu tantangan dalam pengelasan friction welding adalah untuk mendapatkan sambungan yang kuat antara material yang berbeda, seperti aluminium dan tembaga (Abriansyah et al., 2023). Proses pengelasan sering digunakan dalam industry

otomotif, dan manufaktur untuk menggabungkan material serupa atau berbeda (dwi saputra renovian, 2020).

Pengelasan gesek merupakan metode pengelasan yang memanfaatkan panas dari gesekan untuk menggabungkan dua material. Metode ini sangat efektif untuk menyambungkan material yang berbeda seperti aluminium dan tembaga, yang biasanya sulit untuk disambung menggunakan metode pengelasan konvensional (Firmansyah & Sunyoto, 2021). Pengelasan gesek sangat cocok untuk penyambungan aluminium dan tembaga karena dapat mengatasi perbedaan sifat termal kedua material tersebut. Selain itu metode ini juga mengurangi pembentukan oksida atau porositas yang sering terjadi saat pengelasan material yang berbeda. Sebagai hasilnya, pengelasan gesek memberikan solusi yang lebih andal dan efisien dalam penyambungan aluminium 6061 dan tembaga murni (Surya & Diwantara, 2021). Pada penelitian sebelumnya membahas terkait pengujian tarik sambungan las gesek aluminium dan tembaga yang dimana hanya ada *cone* pada tembaga, namun menghasilkan kekuatan tarik yang dirasakan kurang maksimal yaitu sebesar 20,30 Kgf. Maka dari itu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai sambungan las gesek sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang maksimal.

## Dasar Teori

### Pengelasan Gesek (Friction Welding)

Las gesek adalah metode pengelasan yang melalui kombinasi panas yang dihasilkan oleh gesekan dan tekanan. Proses gesekan terjadi antara dua permukaan material, dengan salah satu permukaan bergerak berputar sementara yang lain diam, sehingga suhu pada kedua permukaan meningkat. Suhu yang tercipta biasanya berada dalam rentang suhu penggerahan panas. Kedua material tersebut kemudian ditekan bersama dengan gaya yang tepat untuk membentuk ikatan metalurgi. Selain itu, *Rotary Friction Welding* (RFW) tidak memerlukan gas pelindung dan tidak melibatkan peleahan pada benda kerja (Jazi et al., 2022).

Prinsip dasar proses pengelasan RFW sangat sederhana. Proses ini menggunakan alat berbentuk pin dan bahu yang berputar pada kecepatan konstan sambil menekan bahan yang akan disambung. Alat tersebut kemudian bergerak melewati kedua ujung panel atau lembaran yang akan disambung. Setelah mencapai kedalaman tertentu, alat tersebut bergerak sepanjang garis sambungan antara logam yang disatukan. Shoulder dan probe merupakan bagian dari alat ini, di mana shoulder berfungsi untuk memanaskan benda kerja melalui gesekan, sehingga memungkinkan logam plastis mengalir di sekitar probe. Probe, dengan bentuk khusus, berperan dalam mengaduk logam secara mekanis di sepanjang permukaan sambungan (Handoko et al., 2022).

### Tembaga

Tembaga (Cu) adalah logam transisi dari golongan IB dengan nomor atom 29 dan berat atom 63,55 g/mol. Dalam bentuk logam, tembaga memiliki warna kemerah-merahan, tetapi lebih sering ditemukan dalam keadaan terikat dengan ion-ion lain, seperti sulfat, sehingga tampilannya berbeda

dari logam tembaga murni. Titik lebur tembaga murni berada pada suhu sekitar 1.984 derajat fahrenheit (atau 1.085 derajat Celsius). Pada suhu ini, struktur kristal tembaga mulai mengalami transisi, dan material menjadi cukup cair untuk proses pengelasan. Tembaga sulfat pentahidrat (CuSO4.5H2O) adalah salah satu bentuk senyawa tembaga yang sering dijumpai. Senyawa ini banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti Pewarnaan tekstil, Penyepuhan, pelapisan, dan pembilasan pada industri perak (Khairuddin et al., 2021).

Tembaga adalah salah satu dari sedikit logam yang dapat terbentuk secara alami dalam bentuk logam aslinya. Hal ini berbeda dari kebanyakan logam yang perlu diekstraksi dari bijih melalui metalurgi. Di tempat-tempat di mana tembaga asli terdapat, teknologi metalurgi tidak diperlukan bagi peradaban tersebut untuk mulai menggunakan tembaga untuk membuat senjata dan ornament (Ismarti et al., 2017).

### Aluminium

Aluminium 6061 merupakan paduan aluminium yang komponen utamanya adalah magnesium dan silikon. Paduan ini banyak digunakan di berbagai bidang industri karena sifat mampu bentuk, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap korosi yang sangat baik. Di sisi lain, aluminium murni memiliki kekuatan yang lebih rendah, sehingga paduan seperti 6061 lebih cocok untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan lebih tinggi. Titik lebur untuk aluminium 6061 berkisar antara 580 hingga 650 °C (1076 hingga 1202 °F) tergantung pada komposisi spesifik dan kondisi paduan. Paduan ini terdiri dari magnesium dan silikon sebagai unsur satuan utama yang menghasilkan kekuatan dan ketahanan korosi yang baik. Hal ini bisa ditingkatkan dengan pemanfaatan aluminium dengan komposisi lainnya untuk peningkatan sifat dari aluminium murni tersebut (Aji Nurhafid, Sarjito Jokosisworo, 2018).

Di samping itu, aluminium murni (Al) memiliki kekuatan tarik yang sedang, mudah dibentuk, dan memiliki kemampuan las yang sangat baik. Berkat sifat mekaniknya yang unggul, aluminium sering digunakan dalam konstruksi kapal, rangka bangunan, material pesawat terbang, kaleng susu, serta kemasan makanan. Selain itu, velg kendaraan dari aluminium juga banyak dipakai sebagai bahan pada berbagai komponen karena memiliki sifat-sifat unggulan, seperti ringan, kekuatan tinggi, ulet, dan mudah dalam proses fabrikasi (Sungkoko et al., 2021).

### Pengujian Tarik

Uji tarik adalah metode yang digunakan untuk mengukur kekuatan suatu bahan atau material dengan memberikan beban gaya secara sejajar. Percobaan ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan material terhadap gaya statis yang diterapkan secara perlahan. Nilai kekuatan dan elastisitas material yang diuji dapat dianalisis melalui kurva uji tarik. Penarikan gaya pada bahan akan menyebabkan perubahan bentuk (deformasi), di mana terjadi pergeseran butiran kristal logam hingga ikatan kristal tersebut terlepas akibat gaya maksimum yang diterapkan (Kurniawan et al., 2018).

Kekuatan sambungan logam yang dilas dapat dievaluasi dengan melakukan pengujian untuk mengukur kekuatan sambungan. Salah satu metode untuk mengevaluasi kekuatan sambungan las adalah UTS (*ultimate tensile strength*). Beberapa faktor yang berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik sambungan las meliputi komposisi logam las, geometri, distribusi tegangan, zona HAZ, komposisi logam dasar, dan kualitas logam las (Hamid, 2016).

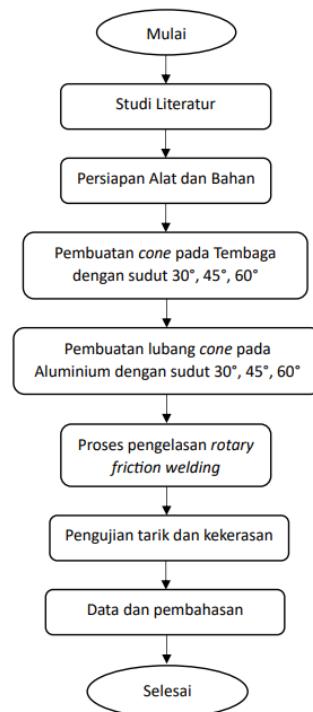
### Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian kekerasan Vickers dilakukan untuk menilai kemampuan suatu bahan dalam menahan beban yang menyebabkan perubahan permanen. Metode ini melibatkan penerapan gaya tertentu pada benda uji untuk mengukur seberapa besar deformasi yang terjadi. Proses pengujian ini melibatkan penerapan beban tertentu pada permukaan material menggunakan sebuah penjejak (indentor) berbentuk piramida (Kurniawan, 2020). Pengujian kekerasan Vickers sangat efektif untuk menilai kekerasan suatu material, karena metode ini memungkinkan kita untuk dengan mudah mendapatkan gambaran mengenai tingkat kekerasan material tersebut. Meskipun pengukuran dilakukan hanya pada satu titik atau area tertentu, nilai kekerasan yang diperoleh tetap valid untuk merepresentasikan kekerasan material secara keseluruhan (Hidayat et al., 2016).

Indentor berlian berbentuk piramida persegi digunakan untuk mengukur kekerasan suatu lekukan menggunakan alat uji kekerasan vickers. Indentor ini menciptakan lekukan pada material ketika diberikan beban tertentu. Sisi-sisi piramida yang berhadapan membentuk sudut 136 derajat. Akurasi 2 hingga 4 mikrometer dapat dicapai dengan waktu pelacakan 15 detik. Panjang diagonal horizontal d1 diukur dan panjang terukur vertikal disebut d2.

Nilai kekerasan Vickers didefinisikan sebagai rasio antara beban yang diberikan dan luas permukaan lekukan yang dihasilkan. Luas permukaan ini biasanya dihitung dengan mengukur panjang diagonal lekukan secara mikroskopis. Karena deformasi logam berkaitan langsung dengan tingkat deformasi yang stabil di bawah beban, nilai kekerasan sering kali memiliki hubungan erat dengan kekuatan luluh atau kekuatan tarik logam. Pemilihan beban yang tidak tepat bisa menyebabkan hasil interpretasi yang kurang akurat mengenai sifat material dari sampel yang diuji.

### Metode



### Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

Tabel 1. Alat Penelitian

No	Alat	Fungsi
1	Mesin Gerindra Potong	Memotong benda kerja
2	Thermo Gun	Mengukur suhu atau temperatur
3	Mesin Bubut	Membuat spesimen dan melakukan friction welding
4	Gas Elpiji 3 kg	Memberikan panas pada tembaga sebelum melakukan pengelasan
5	Oksigen (O2)	Oksigen dan elpiji campurkan untuk menciptakan nyala api dengan suhu tinggi
6	Mesin Uji Tarik	Mengetahui sifat mekanik suatu material
7	Mesin Uji Kekerasan	Mengukur nilai kekerasan atau kekakuan suatu material

Adapun bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

Tabel 2. Bahan Penelitian

No	Bahan	Fungsi
1	Tembaga	Material benda kerja yang selanjutnya dibuat menjadi specimen

- 2 Aluminium Material benda kerja yang selanjutnya dibuat menjadi spesimen benda kerja

## Prosedur Penelitian

### 1. Melakukan Studi Literatur

Penelitian ini dimulai dengan melakukan studi literatur untuk mengumpulkan informasi yang relevan mengenai *rotary friction welding*, sifat material aluminium dan tembaga, serta metode pengelasan *rotary friction welding*.

### 2. Persiapan Alat dan Bahan

Menyiapkan material aluminium dan tembaga yang akan dilas.

### 3. Proses Pengelasan

Langkah selanjutnya adalah pembuatan lubang berbentuk kerucut (*cone*) pada aluminium dan *cone* pada tembaga sebagai bagian dari persiapan pengelasan. Proses pengelasan dilakukan dengan menggunakan metode *rotary friction welding*, di mana aluminium dan tembaga disatukan dengan gesekan putar yang menghasilkan panas untuk mengikat kedua material.

### 4. Specimen

Specimen dilakukan pengujian tarik dan kekerasan. Hasil pengujian tersebut kemudian dianalisis dan dibahas untuk mendapatkan kesimpulan mengenai performa sambungan las, dan penelitian ini ditutup setelah semua proses dan analisis selesai dilakukan.

## Hasil

### Hasil Pengujian

#### Pengujian Tarik

Tabel 3. Hasil Pengujian Tarik

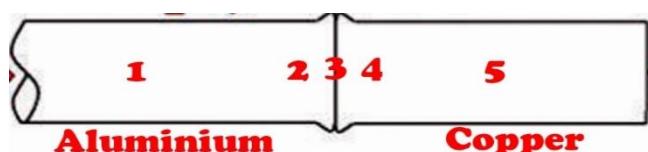
Spesimen	Sudut Lubang Cone	Max Load (Kgf)	UTS (Kgf/mm <sup>2</sup> )
1	30°	138.89	2.0
2	45°	110.18	1.6
3	60°	112.60	1.7

### Pengujian Kekerasan

Tabel 4. Hasil Pengujian Kekerasan

Spesimen	Sudut Lubang Cone	Hasil Uji				
		Posisi 1	Posisi 2	Posisi 3	Posisi 4	Posisi 5
1	30°	57.3	60.4	81.7	74.3	54.5
2	45°	57.3	59.7	93.8	66.4	54.5
3	60°	57.3	62.9	64.3	77.0	54.5

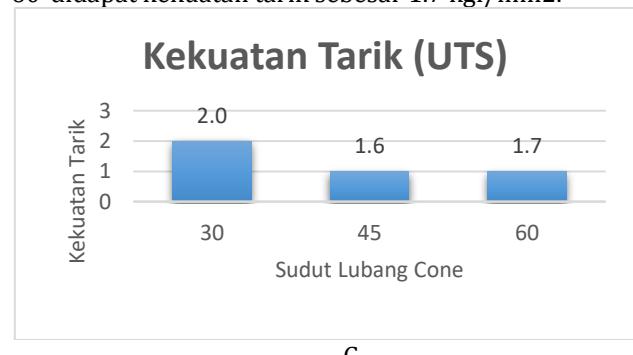
Gambar 1. Daerah titik indentasi uji kekerasan



## Pembahasan

### Pengujian Tarik

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada tabel 4-1, didapat nilai kekuatan tarik (ultimate tensile strength) sebagai berikut: Pada sambungan las tembaga dan aluminium dengan masing - masing sudut 30° mendapatkan nilai kekuatan tarik sebesar 2.0 kgf/mm<sup>2</sup>, dan pada sambungan las tembaga dan aluminium dengan cone masing - masing 45°memiliki nilai kekuatan tarik 1.6 kgf/mm<sup>2</sup>, selanjutnya untuk sambungan dengan masing - masing sudut 60°didapat kekuatan tarik sebesar 1.7 kgf/mm<sup>2</sup>.



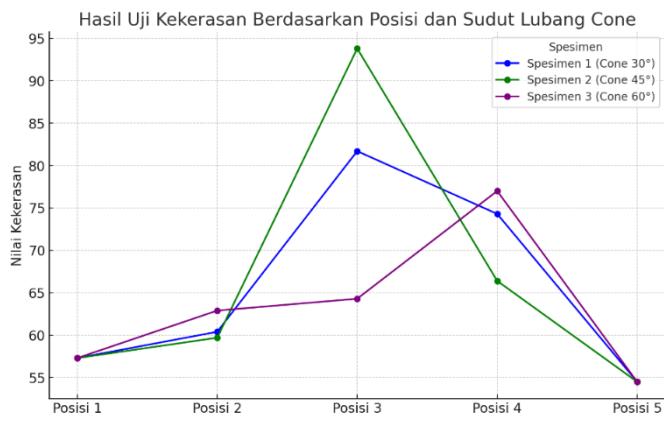
Gambar 3. Kekuatantarikhasilsambungan

Dilihat dari diagram batang pada gambar 4-2diatas, perbandingan ketiga variasi sudut lubang cone untuk sambungan antara tembaga dan aluminium. Pada sambungan dengan cone30° tembaga dan lubang cone 30° pada aluminium mempunyai nilai kekuatan tarik yang lebih tinggi yaitu sebesar 2.0 kgf/mm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan variasi cone45° pada tembaga dan luban gcone 45° pada aluminium memiliki nilai kekuatan tarik sebesar 1.6 kgf/mm<sup>2</sup>.Kemudian pada variasi cone 60° pada tembaga dan lubangcone 60° pada aluminium mengalami perubahan kekuatan tarik menjadi 1.7 kgf/mm<sup>2</sup>. Menurut penelitian yang dilakukan sebelumnya bahwa pada pengelasan rotary friction welding, terutama pada material seperti aluminium dan tembaga, sudut cone dapat mempengaruhi seberapa baik material tersebut dapat bersatu. sudut yang lebih kecil menghasilkan friksi dan panas lokal yang lebih baik yang diperlukan untuk menekan kedua material agar bergabung secara optimal dan memberikan nilai kekuatan mekanik pada hasil pengelasan gesek tersebut (Gama, A. P. 2013). Hal ini selaras dengan penelitian ini dimana nilai kekuatan tarik tertinggi didapat oleh variasi sudut yang paling kecil yaitu sudut variasi lubang cone 30°.

### Pengujian Kekerasan

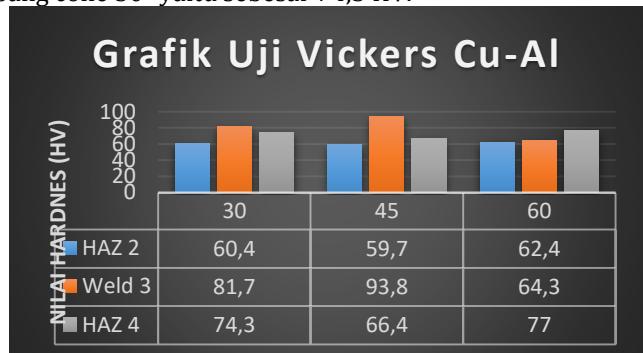
Dilihat dari tabel 4-2 dan gambar 4-1 di atas menunjukkan hasil pengujian kekerasan vickers pada tiga spesimen dengan sudut lubang cone berbeda menunjukkan variasi nilai kekerasan di lima posisi pengujian. Spesimen 1 dengan sudut cone 30° memiliki nilai kekerasan berkisar antara 54,5 hingga 81,7, dengan kekerasan tertinggi di posisi welding zone (posisi 3). Pada spesimen 2 dengan sudut cone 45°, kekerasan berkisar antara 54,5 hingga 93,8, dan posisi 3 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi. Sementara itu, spesimen 3 dengan sudut cone 60° memiliki nilai kekerasan antara 54,5 hingga 77,0, dengan nilai kekerasan tertinggi

pada posisi 4. Secara keseluruhan, spesimen dengan sudut cone  $45^\circ$  pada posisi 3 memiliki nilai kekerasan tertinggi, sedangkan sudut cone  $30^\circ$  dan  $60^\circ$  memiliki nilai kekerasan yang lebih rendah.



Gambar 4. Grafik uji kekerasan

Pada daerah welding zone posisi 3 nilai kekerasan yang paling tinggi terdapat pada sudut lubang cone  $45^\circ$  yaitu sebesar 93,8 HV dan nilai kekerasan terendah pada daerah welding zone posisi 3 terdapat pada sudut lubang cone  $60^\circ$  yaitu sebesar 64,3 HV, lalu pada daerah HAZ posisi 2 nilai kekerasan yang paling tinggi terdapat pada sudut lubang cone  $60^\circ$  yaitu sebesar 62,9 HV dan nilai kekerasan terendah pada daerah HAZ posisi 2 terdapat pada sudut lubang cone  $45^\circ$  yaitu sebesar 59,7 HV. Kemudian pada daerah HAZ posisi 4 nilai kekerasan yang paling tinggi terdapat pada sudut lubang cone  $60^\circ$  yaitu sebesar 77,0 HV dan nilai kekerasan terendah pada daerah HAZ posisi 4 terdapat pada sudut lubang cone  $30^\circ$  yaitu sebesar 74,3 HV.



Gambar 4. Grafik Uji Vickers

Berdasarkan hasil uji kekerasan vickers pada gambar 5 daerah Haz dan Welding zone, maka kekerasan yang menghasilkan nilai tinggi ada pada daerah welding zone atau daerah sambungan sudut  $45^\circ$  dengan nilai kekerasan 93,8 HV, hal tersebut terjadi karena adanya pengerasan regang (*strain hardening*) dan penggunaan temperatur kerja.

## Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat berdasarkan data pengujian dan pembahasan dapat diberikan sebagai berikut:

1. Pada penyambungan menggunakan cone  $30^\circ$  tembaga dan lubang cone  $30^\circ$  aluminium didapat

nilai kekuatan tarik (ultimate tensile strength) 2.0 kgf/mm<sup>2</sup>, lalu pada sambungan dengan cone  $45^\circ$  pada tembaga dan  $45^\circ$  lubang pada aluminium yaitu 1.6 kgf/mm<sup>2</sup>, kemudian pada cone  $60^\circ$  tembaga dan cone  $60^\circ$  lubang pada aluminium mendapatkan nilai kekuatan tarik 1.7 kgf/mm<sup>2</sup>. Sudut yang lebih kecil menghasilkan friksi dan panas lokal yang lebih baik untuk menekan kedua material agar bergabung secara optimal dan menghasilkan kekuatan tarik yang signifikan.

2. Pada pengujian kekerasan dengan sudut cone  $30^\circ$  memiliki nilai kekerasan berkisar antara 54,5 hingga 81,7 dengan kekerasan tertinggi di posisi welding zone (posisi 3). Pada sudut cone  $45^\circ$  kekerasan berkisar antara 54,5 hingga 93,8, dan posisi 3 menunjukkan nilai kekerasan tertinggi. Sementara itu, sudut cone  $60^\circ$  memiliki nilai kekerasan antara 54,5 hingga 77,0, dengan nilai kekerasan tertinggi pada posisi 4. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada daerah welding zone posisi 3 lubang cone  $45^\circ$  sebesar 93,8 HV, sedangkan kekerasan terendah sebesar 64,3 HV terdapat pada sudut cone  $60^\circ$ . Di daerah HAZ posisi 2, kekerasan tertinggi sebesar 62,9 HV ada pada sudut cone  $60^\circ$ , dan yang terendah sebesar 59,7 HV ada pada sudut cone  $45^\circ$ . Pada HAZ posisi 4, nilai kekerasan tertinggi 77,0 HV didapat pada sudut cone  $60^\circ$ , dan kekerasan terendah 74,3 HV pada sudut cone  $30^\circ$ .

## References

- Abriansyah, F., Sugiyarto, S., & Somawardi, S. (2023). Analisa Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Dengan Variasi Waktu Pada Dua Material Baja Aisi 1040 Dengan SS 400. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 1(1), 217–222. <https://doi.org/10.33504/jitt.v1i1.71>
- Aji Nurhafid, Sarjito Jokosisworo, U. B. (2018). Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan Friction Stir Welding. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), 473–481.
- dwi saputra renovian. (2020). *Analisis Sifat fisik dan Mekanik Hasil Pengelasan Rotary Friction Welding Pada Sambungan Dissimilar Alumunium T6061-AISI 1012 Dengan Variasi Bentuk Sambungan*. 1–75.
- Faisal, M., & Asrul, A. (2022). Analisa Analisa Kelelahan Dan Kekerasan Pada Logam Axle shaft Dengan Pengelasan Gesek. *Jurnal Teknik Mesin*, 15(2), 159–165. <https://doi.org/10.30630/jtm.15.2.964>
- Firmansyah, Y., & Sunyoto. (2021). Analisis Kekuatan Tarik Sambungan Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Dengan Variasi Waktu Gesek dan Tempa. *Departemen Teknik Mesin*, 23(3), 9–15.
- Hamid, A. (2016). Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan. *Jurnal Teknologi Elektro*, 7(1), 26–36. <https://doi.org/10.22441/jte.v7i1.813>
- Handoko, D., Prihantono, T., Setiawan, A., Teknik Mesin, J., & Politeknik Negeri Pontianak Kampus Sanggau, P. (2022). Analisa Variasi Putaran Friction Welding Terhadap Kekerasan Logam Aluminium Paduan Seri 1100-H18. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 3(2), 15–20. <https://doi.org/10.35970/accurate>.

- Hidayat, T., Hartono, P., & Sujatmiko. (2016). Analisa Pengaruh Suhu Pada Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis (Kekerasan) Baja S45C Pada Proses Hardening. *Jurnal Sains Dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 6(2), 31–35.
- Ismarti, I., Ramses, R., Amelia, F., & Suheryanto, S. (2017). Kandungan Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Lamun Enhalus accoroides dari Perairan Batam, Kepulauan Riau, Indonesia. *Depik*, 6(1), 23–30. <https://doi.org/10.13170/depik.6.1.5555>
- Jazi, A., Cahyono, N., & Rahmadianto, F. (2022). Analisa Pengaruh Media Quenching dan Waktu Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik pada Friction Welding Baja St60 dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding SENIATI*, 6(1), 103–112. <https://doi.org/10.36040/seniati.v6i1.4894>
- Khairuddin, K., Yamin, M., & Kusmiyati, K. (2021). Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Bandeng (Chanos chanos forsk) yang Berasal dari Kampung Melayu Kota Bima. *Jurnal Pijar Mipa*, 16(1), 97–102. <https://doi.org/10.29303/jpm.v16i1.2257>
- KURNIAWAN, E. R. (2020). Analisis Hasil Uji Keras Dan Struktur Makro Dari Penyambungan Dua Buah Logam (Baja St-37) Hasil Las Induksi Dengan Variabel Waktu. *Institut Teknologi Nasional Bandung*, 1–4.
- Kurniawan, I., Budiarto, U., & Mulyatno, I. P. (2018). Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Uji Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propeller Shaft) Setelah Proses Tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 313–322.
- Sungkowo, A., Trikolas, T., Al Hakim, R. R., Riyadi, S., Arief, Y. Z., & Jaenul, A. (2021). STUDI PERBANDINGAN UJI MATERIAL ALUMINIUM MURNI (Al) DAN PELAPISAN ALUMINIUM MURNI DENGAN PERAK (Ag) MENGGUNAKAN METODA ELEKTROPLATING. *Electro Luceat*, 7(2). <https://doi.org/10.32531/jelekn.v7i2.381>
- Surya, I., & Diwantara, F. C. (2021). Analisa Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Titanium Astm B348 Setelah Mengalami Proses Pengelasan Dengan Metode Friction Welding. 1–10. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/gdywz>
- Abriansyah, F., Sugiyarto, S., & Somawardi, S. (2023). Analisa Kekuatan Impak Sambungan Las Gesek Dengan Variasi Waktu Pada Dua Material Baja Aisi 1040 Dengan SS 400. *Jurnal Inovasi Teknologi Terapan*, 1(1), 217–222. <https://doi.org/10.33504/jitt.v1i1.71>
- Aji Nurhafid, Sarjito Jokosisworo, U. B. (2018). Analisa Pengaruh Perbedaan Feed Rate Terhadap Kekuatan Tarik Dan Impak Aluminium 6061 Metode Pengelasan Friction Stir Welding. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(2), 473–481.
- dwi saputra renovian. (2020). Analisis Sifat fisik dan Mekanik Hasil Pengelasan Rotary Friction Welding Pada Sambungan Dissimilar Alumunium T6061-AISI 1012 Dengan Variasi Bentuk Sambungan. 1–75.
- Faisal, M., & Asrul, A. (2022). Analisa Analisa Kelelahan Dan Kekerasan Pada Logam Axle shaft Dengan Pengelasan Gesek.
- Jurnal Teknik Mesin*, 15(2), 159–165. <https://doi.org/10.30630/jtm.15.2.964>
- Firmansyah, Y., & Sunyoto. (2021). Analisis Kekuatan Tarik Sambungan Aluminium (Al) dan Tembaga (Cu) pada Pengelasan Gesek (Friction Welding) Dengan Variasi Waktu Gesek dan Tempa. *Departemen Teknik Mesin*, 23(3), 9–15.
- Hamid, A. (2016). Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan. *Jurnal Teknologi Elektro*, 7(1), 26–36. <https://doi.org/10.22441/jte.v7i1.813>
- Handoko, D., Prihantono, T., Setiawan, A., Teknik Mesin, J., & Politeknik Negeri Pontianak Kampus Sanggau, P. (2022). Analisa Variasi Putaran Friction Welding Terhadap Kekerasan Logam Aluminium Paduan Seri 1100-H18. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 3(2), 15–20. <https://doi.org/10.35970/accurate>
- Hidayat, T., Hartono, P., & Sujatmiko. (2016). Analisa Pengaruh Suhu Pada Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis (Kekerasan) Baja S45C Pada Proses Hardening. *Jurnal Sains Dan Teknologi Teknik Mesin Unisma*, 6(2), 31–35.
- Ismarti, I., Ramses, R., Amelia, F., & Suheryanto, S. (2017). Kandungan Tembaga (Cu) dan Timbal (Pb) pada Lamun Enhalus accoroides dari Perairan Batam, Kepulauan Riau, Indonesia. *Depik*, 6(1), 23–30. <https://doi.org/10.13170/depik.6.1.5555>
- Jazi, A., Cahyono, N., & Rahmadianto, F. (2022). Analisa Pengaruh Media Quenching dan Waktu Pengelasan terhadap Kekuatan Tarik pada Friction Welding Baja St60 dengan Menggunakan Metode Taguchi. *Prosiding SENIATI*, 6(1), 103–112. <https://doi.org/10.36040/seniati.v6i1.4894>
- Khairuddin, K., Yamin, M., & Kusmiyati, K. (2021). Analisis Kandungan Logam Berat Tembaga (Cu) pada Bandeng (Chanos chanos forsk) yang Berasal dari Kampung Melayu Kota Bima. *Jurnal Pijar Mipa*, 16(1), 97–102. <https://doi.org/10.29303/jpm.v16i1.2257>
- Kurniawan, E. R. (2020). Analisis Hasil Uji Keras Dan Struktur Makro Dari Penyambungan Dua Buah Logam (Baja St-37) Hasil Las Induksi Dengan Variabel Waktu. *Institut Teknologi Nasional Bandung*, 1–4.
- Kurniawan, I., Budiarto, U., & Mulyatno, I. P. (2018). Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik, Kekerasan dan Uji Metalografi Baja S45C Sebagai Bahan Poros Baling-Baling Kapal (Propeller Shaft) Setelah Proses Tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 313–322.
- Sungkowo, A., Trikolas, T., Al Hakim, R. R., Riyadi, S., Arief, Y. Z., & Jaenul, A. (2021). STUDI PERBANDINGAN UJI MATERIAL ALUMINIUM MURNI (Al) DAN PELAPISAN ALUMINIUM MURNI DENGAN PERAK (Ag) MENGGUNAKAN METODA ELEKTROPLATING. *Electro Luceat*, 7(2). <https://doi.org/10.32531/jelekn.v7i2.381>
- Surya, I., & Diwantara, F. C. (2021). Analisa Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Titanium Astm B348 Setelah Mengalami Proses Pengelasan Dengan Metode Friction Welding. 1–10. <http://dx.doi.org/10.31219/osf.io/gdywz>