

Analisa Kekuatan Uji Tarik dan Uji Impact Sambungan Baja ST 41 dengan Tembaga pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Menggunakan Mesin Bubut

Ibnu Dwi Reza Prayetno^{1,*}, Sibut¹

¹ Program Studi Teknik Mesin S1 Institut Teknologi Nasional Malang

Kata kunci

Las Gesek
Tekanan Hidrolik
Baja
Tembaga

ABSTRAK

Teknologi pengelasan gesek menjadi salah satu teknologi yang tengah berkembang secara pesat dalam berbagai industri. Namun, teknologi ini memiliki beberapa kelemahan dan kekurangan yang harus diimprovisasi secara berkala ke depannya. Di sisi lain, terdapat 2 teknologi yang digunakan dalam penyambungan yaitu *Liquid State Welding* dan *Solis State Welding*. Teknik las gesek dihadirkan dengan tujuan untuk memberikan solusi atas permasalahan dari kedua teknologi tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud untuk mengkaji pengaruh variasi penekanan hidrolik dan pemanasan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan terhadap kekuatan baja st 41 dengan tembaga. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang tetap didasarkan pada sumber-sumber ilmiah dan kredibel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tekanan hidrolik 300 Bar, kekuatan tarik terendah terlihat dalam pengelasan gesek baja ST 41 dan Tembaga. Namun, area las dengan tekanan hidrolik 400 Bar dan 500 Bar memiliki dampak signifikan terhadap keuletan dalam uji impact pada pengelasan gesek tersebut. Tekanan hidrolik yang tinggi, terutama pada 500 Bar, memiliki dampak terbesar terhadap kekuatan tarik dalam pengelasan gesek antara baja ST 41 dan Tembaga.

* Corresponding author:

Ibnu Dwi Reza Prayetno (email: ibnudwineza19@gmail.com)

Diterima: 6 Februari 2024

Disetujui: 5 September 2024

Dipublikasikan: 31 Oktober 2024

1 Pendahuluan

Beberapa waktu terakhir, teknologi pengelasan gesek tengah berkembang secara pesat khususnya di bidang konstruksi, industri manufaktur komponen kendaraan, dan juga manufaktur komponen elektrik. Umumnya, teknologi pengelasan gesek digunakan untuk menyambungkan material aluminium dan paduannya. Namun, teknologi ini memiliki banyak masalah dan kekurangan yang sudah seharusnya diatasi melalui pembaruan prosedur pengelasan. Apabila dilihat melalui cara kerjanya, terdapat tiga klasifikasi jenis pengelasan, yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan, dan pengelasan pematrian. Di sisi lain, terdapat 2 teknologi yang digunakan dalam penyambungan yaitu *Liquid State Welding* dan *Solis State Welding*. *Liquid State Welding* merupakan proses penyambungan material dengan cara mencairkan dua buah material secara bersamaan sehingga dapat menyatu hingga merata. Salah satu contoh yang paling sering digunakan adalah las listrik (SMAW). Sedangkan *Solid State Welding* adalah proses penyambungan yang pada prosesnya material dipanaskan hingga mendekati titik lebur dan tidak sampai mencair, contohnya adalah las gesek atau *Friction Welding* (Satyadianto, 2015).

Metode penyambungan dengan las gesek merupakan cara untuk menggabungkan dua material logam. Pada metode ini, panas dihasilkan melalui transformasi energi mekanik menjadi energi panas di bidang

antarmuka benda kerja akibat gesekan selama gerakan rotasi di bawah tekanan atau gesekan. Beberapa kekurangan yang terdapat dalam proses pengelasan menggunakan sistem peleburan atau busur listrik antara lain dimensi tebal material pengelasan pada penyambungan material berbentuk silinder pejal yang berdiameter cukup besar. Hal ini dapat menyulitkan karena pengisian las karena harus dilakukan secara bertahap untuk memastikan lapisan material terisi dengan sempurna. Jika penetrasi pengisian las tidak sempurna pada kedua permukaan sambungan, dapat mengurangi kekuatan mekanisme material (Prasetyo dan Subiyanto, 2012). Untuk mengatasi masalah ini, teknik las gesek dapat dijadikan sebagai alternatif. Beberapa keunggulan dari friction welding meliputi efisiensi dalam penggunaan material dan waktu saat menyambung dua material yang identik maupun berbeda. Di sisi lain, beberapa parameter utama dalam proses las adalah waktu gesekan, waktu tempa, tekanan gesekan, kecepatan putar, serta tekanan tempa.

Pengelasan gesek dapat dikelompokkan menjadi tiga metode utama: Rotari Friction, Linear Friction Welding, dan Stir Friction Welding (Vairis, 2016). Rotari Friction adalah teknik di mana satu material berputar pada porosnya sementara material kedua tetap dalam posisi diam atau stasioner. Selanjutnya, material kedua diberi tekanan untuk menciptakan gesekan antara keduanya, menghasilkan panas yang diperlukan untuk proses difusi kedua material tersebut (K. dan Putra, 2019). Linear Friction Welding adalah metode las gesek yang terjadi akibat panas yang dihasilkan dari gesekan satu material yang bergerak secara linear dengan material lainnya. Stir Friction Welding, sementara itu, merupakan metode las gesek di mana energi panas untuk proses pengelasan berasal dari gesekan material dengan mata pahat yang bergerak secara berputar (Maalekian, 2007). Hasil dari pengelasan gesek dipengaruhi oleh beberapa parameter, seperti waktu penekanan, kecepatan putar, kekuatan penekanan, yang semuanya berdampak pada struktur mikro dan distribusi kekerasan pada baja.

Berdasarkan penjabaran di atas, penelitian ini bermaksud untuk mengkaji pengaruh variasi penekanan hidrolik dan pemanasan terhadap sifat mekanik hasil pengelasan terhadap kekuatan baja st 41 dengan tembaga. Penelitian ini ditujukan untuk melihat dan menganalisis bagaimana hasil uji tarik variasi penekanan hidrolik dan pemanasan terhadap sifat mekanik material hasil pengelasan terhadap kekuatan baja st 41 dengan tembaga serta bagaimana hasil *uji impact strength* variasi penekanan hidrolik dan pemanasan terhadap sifat mekanik material hasil pengelasan terhadap kekuatan baja st 41 dengan tembaga. Oleh karena itu, peneliti memberikan judul penelitian ini yaitu “Analisa Kekuatan Uji Tarik dan Uji Impact Sambungan Baja St 41 dengan Tembaga pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) Menggunakan Mesin Bubut”.

2 Metode Penelitian

Metode dalam penelitian ini meliputi studi literature dan eksperimen. Peneliti melakukan pengumpulan data melalui sumber-sumber yang kredibel seperti buku, berita, dan juga tulisan ilmiah yang sesuai dengan topik penelitian. Selanjutnya peneliti melakukan eksperimen yang meliputi dua kegiatan, yaitu pembuatan specimen dan juga pengujian. Eksperimen ini dilakukan di Laboratorium Material Universitas Brawijaya Malang, dan untuk Pengujian Tarik, Pengujian Impact, Struktur Mikro, dilakukan di Laboratorium Politeknik Negeri Malang. Peneliti mempersiapkan bahan-bahan awal berupa motor listrik, pulley, sabuk, chuck bor, penekan hidrolik, mur dan baut. Selain itu dalam tahap ini juga dipersiapkan material untuk spesimen berupa baja ST 41 sebanyak 3 buah dengan tembaga 3 buah. Selanjutnya peneliti melakukan uji coba fungsi *prototype* dengan cara mengelas spesimen dengan variasi waktu penekanan *Revolution Per Minute* (RPM) Spindel 5 bar, untuk memastikan mesin las berfungsi dengan baik. Lalu peneliti melakukan pengujian tarik dan pengujian *impact* di Laboratorium Material Teknik Mesin, Universitas Negeri Malang.

Pengolahan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengujian pada masing-masing spesimen yang telah diberi perlakuan berbeda untuk selanjutnya dianalisis dalam pembahasan. Sementara itu, variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi penekanan hidrolik 300 bar, 40 bar, serta 500 bar. Sedangkan variabel terikat dalam penelitian ini adalah uji tarik dan uji *impact*. Lalu, variabel control dalam penelitian ini adalah putaran spindle 1600 rpm, bahan baja ST 41 dengan tembaga, diameter bahan luntuk las gesek adalah 15 mm, serta pemanasan awal 40 detik dengan waktu pengelasan gesek sambungan 47 detik.

Pada pengujian awal yaitu uji tarik, beberapa prosedur yang dilakukan oleh peneliti meliputi:

- Mengukur diameter serta panjang spesimen uji menggunakan jangka sorong, kemudian tandailah bagian tengah pada arah panjangnya sepanjang 20 mm sebagai panjang ukur benda uji.
- Menghidupkan mesin uji (Universal Testing Machine = UTM) berikut unit komputer pengendaliannya.

- c. Memasang salah satu ujung spesimen pada salah satu cekam UTM sesuai dengan tanda yang telah di buat, 'UP' atau 'DOWN' untuk menaikkan atau menurunkan cekam sesuai dengan panjang jepit yang telah ditandai.
- d. Menjalankan Program U60.
- e. Mengisi data material pada 'Method Window'
- f. Membuka layar 'Report' untuk menampilkan: Test No, Test date, Area, Yield Point, Yield strength, Elongation, Max. Load, dan Break.
- g. Melakukan pengujian dengan menekan tombol 'TEST' pada tool box.
- h. Pengujian akan segera dimulai sampai benda uji patah, dan grafik tegangan regangannya akan ditampilkan di layar, setelah benda uji patah, mesin akan berhenti secara otomatis.
- i. Mencetak hasil pengujian dengan menekan tombol 'PRINT'.
- j. Melepas benda uji dari cekamnya, kemudian ukur panjang akhir, yakni jarak antara dua titik yang sebelumnya telah ditandai sebagai panjang ukur.
- k. Menggambar bagan penampang patahan pada lembar kerja.
- l. Melakukan pengujian yang sama untuk spesimen lainnya.
- m. Menyimpan data hasil uji yang telah dilakukan.

Pada eksperimen yang dilakukan oleh peneliti, beberapa bahan yang digunakan oleh peneliti adalah kompresor, catometer, gerinda, mesin bubut, aircukinflator, jangka sorong, baja ST 41 dan juga tembaga. Selanjutnya, cara pembuatan specimen dilakukan melalui 2 tahap yaitu tahap pemotongan bahan dan pengelasan gesek. Adapun penjelasannya adalah sebagai berikut:

1. Pemotongan Bahan
 - a) Persiapan alat dan bahan
 - b) Pemotongan material Baja ST 41 dengan panjang 100 mm dan Tembaga juga dipotong dengan ukuran sama
 - c) Dibentuk menggunakan mesin bubut kedua spesimen satu sisi menjadi champer
2. Pengelasan Gesek
 - a) Persiapkan alat dan bahan
 - b) Persiapkan mesin bubut dan melihat tabel putaran spindel sesuai dengan variasi yang ditentukan



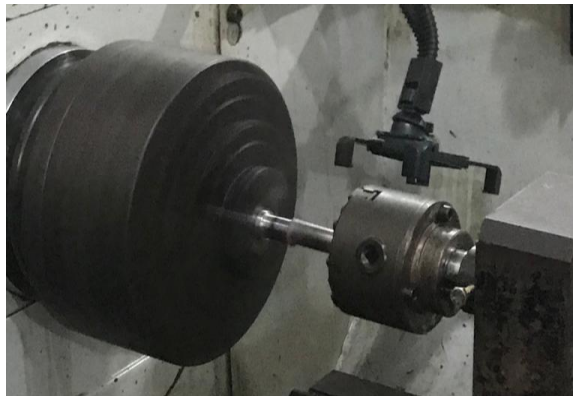
Gambar 1 Mesin Bubut

- c) Setelah menyesuaikan putaran per menit (RPM), langkah berikutnya adalah menempatkan specimen Baja ST 41 pada satu cekam dan memasang Tembaga pada cekam yang lain yang dapat bergerak di kepala lepas



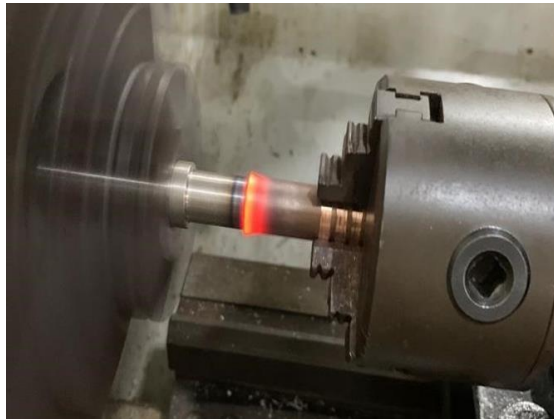
Gambar 2 Pemasangan Spesimen

- d) Selanjutnya proses pemanasan awal pada spesimen yang sudah di pasang dicekam dengan 1600 RPM



Gambar 3 Proses Pemanasan Awal

- e) Setelah selesai pemanasan awal, selanjutnya proses pengelasan dengan variasi penekanan 300 Bar, 400 Bar, dan 500 Bar



Gambar 4 Proses Pengelasan Material

- f) Sesudah proses pengelasan, Setelah itu mendapatkan hasil pengelasan dengan pemanasan awal dan tekanan tetap



Gambar 5 Material yang Sudah Menjadi Spesimen

Tabel 1 Proses Pengelasan untuk Uji Tarik dan Uji Impact

RPM	SPESIMEN	WAKTU PEMANASAN AWAL	VARIASI TEKANAN	WAKTU PENGELASAN
1600	A	40 detik	300 BAR	47 detik
	B	40 detik	300 BAR	47 detik
	C	40 detik	300 BAR	47 detik
	A	40 detik	400 BAR	47 detik
	B	40 detik	400 BAR	47 detik
	C	40 detik	400 BAR	47 detik
	A	40 detik	500 BAR	47 detik
	B	40 detik	500 BAR	47 detik
	C	40 detik	500 BAR	47 detik

- g) Setelah selesai proses pengelasan, kemudian dilanjutkan proses pembentukan spesimen sesuai masing-masing ukuran standar

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengelasan Gesek



Gambar 6 Hasil Pengelasan Gesek

Gambar yang terlampir menunjukkan hasil dari pengujian pengelasan gesek dengan penekanan hidrolik pada tekanan 300 Bar, 400 Bar, dan 500 Bar. Benda uji yang digunakan memiliki panjang 200 mm yang dibagi menjadi dua bagian dengan diameter 15 mm. Proses pengelasan gesek dilakukan dengan menggunakan spindel yang berputar pada kecepatan 1600 rpm dan waktu pengelasan selama 47 detik. Hasil dari pengelasan ini dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2 Faktor Setting Level

VARIABEL TEKANAN	PEMANASAN AWAL	WAKTU PENGELASAN	PUTARAN SPINDEL
300 BAR	40 DETIK	47 DETIK	1600 RPM
400 BAR	40 DETIK	47 DETIK	1600 RPM
500 BAR	40 DETIK	47 DETIK	1600 RPM

3.2 Pengolahan Data Uji Tarik

3.2.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Setelah proses pengelasan selesai, sampel diperoleh dalam tiga variasi yang berbeda, yaitu dengan penekanan pada tingkat 300 bar, 400 bar, dan 500 bar. Setiap variasi sampel dihasilkan dalam tiga rangkap untuk perbandingan. Berikut adalah tabel hasil uji tarik.

Table 3 Data Hasil Pengujian Tarik

Variasi Tekanan	Jumlah Spesimen	Area (mm ²)	Force Ultimate (kgf)	0.2 Y.S Mpa(N/mm ²)	Tensile Strength Mpa (kg/mm ²)	Young Modulus Mpa (N/mm ²)	Elongation (%)
300 BAR	A	63,62	11449	162,44	179,97	2494,43	8,5
	B	63,62	11462	178,60	180,17	2000,07	12,5
	C	63,62	10386	57,62	163,26	2128,28	7,5
	Rata-rata		11097	0,1328	1779,4	2207,60	9,3
400 BAR	A	63,62	12457	54,01	195,82	1943,45	10,5
	B	63,62	11251	161,33	176,85	2557,44	9
	C	63,62	13005	192,84	163,42	2686,71	8,5
	Rata-rata		11237	0,1360	1822,2	2395,9	9,4
500 BAR	A	63,62	9469	77,30	148,84	2893,61	6,5
	B	63,62	10998	167,58	172,87	2513,81	6,6
	C	63,62	14649	197,16	230,27	2193,38	15,55
	Rata-rata		11706	0,1473	1870,2	2533,6	9,55

3.2.2 Analisa dan Pembahasan Pengujian Tarik

Ini dilakukan dengan menghitung rata-rata dari setiap percobaan awal dalam setiap kelas faktor, dengan tujuan menemukan kombinasi kelas faktor yang dapat menciptakan kondisi optimal untuk hasil uji tarik baja ST 41 dengan Tembaga setelah proses pengelasan gesek. Karena karakteristik dan kualitas dari hasil uji tarik las gesekan ST 41 dengan Tembaga menunjukkan bahwa "semakin besar semakin baik", kelas faktor dengan nilai rata-rata yang lebih tinggi dipilih sebagai level optimal.

Dapat diamati bahwa untuk respons hasil uji tarik baja ST 41 dengan tembaga dalam proses pengelasan gesek, semakin tinggi nilai rata-rata dari data pengujian awal, semakin baik karakteristiknya, terutama pada tekanan hidrolik variabel 500 bar.

Pada variasi tekanan, rata-rata nilai tarik pada tekanan 500 bar adalah 1870,2 kgf/mm², pada 400 bar adalah 1822,2 kgf/mm², dan pada 300 bar adalah 1779,4 kgf/mm². Kekuatan tarik maksimum tercapai pada tekanan 500 bar karena dalam kasus tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan lebih lama dibandingkan dengan tekanan 400 bar dan perubahan tekanan sebesar 300 bar. Semakin tinggi tekanan kontak, semakin cepat terjadi pemanasan, yang mengakibatkan perubahan ukuran butir di daerah HAZ dan peningkatan ketebalan lapisan intermetalik rapuh di persimpangan. Hal ini mengarah pada peningkatan kekuatan tarik pada pengelasan.

Berdasarkan grafik yang menunjukkan hubungan antara kekuatan tarik maksimum sambungan dengan las gesek, terlihat bahwa dengan durasi paparan yang lebih lama, sambungan akan mengalami penguatan hingga mencapai nilai tarik maksimum, namun kemudian kekuatannya akan kembali menurun karena adanya regangan. Hal ini telah didokumentasikan dalam penelitian yang dilakukan oleh Jack Carol Adolf Pah, dkk (2018).

Semakin meningkatnya tekanan kontak pada level 300 bar, 400 bar, dan 500 bar, mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik sambungan dalam durasi kontak 47 detik. Puncak kekuatan tarik sambungan tercapai pada tekanan 500 bar dengan nilai 1870,2 kgf/mm². Dalam penelitian ini, walaupun suhu dapat mencapai tingkat yang lebih tinggi, ada batasan untuk penurunan suhu tersebut karena kenaikan suhu akan mempengaruhi nilai kesalahan. Semakin lama waktu kontak, semakin tinggi suhu, dan semakin tinggi juga nilai regangan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa hasil penelitian ini serupa dengan temuan yang dijelaskan dalam penelitian yang dilakukan oleh Budi Luwar Sanyoto, dkk (2012).

3.3 Pengolahan Data Uji Impact

3.3.1 Data Hasil Pengujian Impact

Setelah proses pengelasan selesai, sampel-sampel diperoleh dalam tiga variasi yang berbeda, dengan penekanan pada tingkat 300 bar, 400 bar, dan 500 bar. Setiap variasi sampel dibuat dalam tiga rangkap untuk keperluan perbandingan. Berikut adalah tabel hasil uji *impact*.

Table 4 Data Hasil Pengujian *Impact*

Variasi Tekanan	Nomor Speimen	I (mm)	b (mm)	t (mm)	h (mm)	Luas (mm)	α (°)	β (°)	Energi (Joule)	HI (Joule/mm)
300	A	55	10	2	80	10	90	63	90,86	1,14
	B	55	10	2	80	10	90	74	98,66	1,23
	C	55	10	2	80	10	90	77	103,98	1,29
400	A	55	10	2	80	10	90	66	120,42	1,50
	B	55	10	2	80	10	90	75	123,25	1,54
	C	55	10	2	80	10	90	79	126,70	1,58
500	A	55	10	2	80	10	90	68	128,90	1,61
	B	55	10	2	80	10	90	76	134,38	1,67
	C	55	10	2	80	10	90	78	131,55	1,64

Sumber: Laboratorium Material Teknik Mesin S-1 ITN Malang

3.3.2 Analisa dan Pembahasan Pengujian *Impact*

Pengujian ini dilakukan dengan menganalisis hasil dari Energi dan Hasil Impact (HI) dari percobaan awal dari setiap kelas faktor untuk menemukan kombinasi kelas faktor yang menghasilkan kondisi optimal untuk hasil uji Impact baja ST 41 dengan Tembaga setelah pengelasan gesek. Karakteristik dan kualitas dari hasil uji Impact las gesekan ST 41 dengan Tembaga menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai Hasil Impact (HI), semakin baik karakteristiknya. Oleh karena itu, kelas koefisien dengan nilai Hasil Energi dan Hasil Impact (HI) yang lebih tinggi dipilih sebagai level optimal.

Dapat dilihat bahwa untuk respons hasil uji Impact baja ST 41 dengan tembaga pada proses pengelasan gesek, semakin tinggi nilai Hasil Impact (HI) dari data pengujian awal, semakin baik karakteristiknya, terutama pada tekanan hidrolik variabel 500 bar.

Pada variasi tekanan, nilai Impact tertinggi terjadi pada tekanan 500 bar dengan nilai 1,67 kgf/mm², diikuti oleh 1,58 kgf/mm² pada 400 bar dan 1,29 kgf/mm² pada 300 bar. Kekuatan Impact maksimum tercapai pada tekanan 500 bar karena dalam kasus tersebut, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tekanan lebih lama dibandingkan dengan tekanan 400 bar dan perubahan tekanan sebesar 300 bar. Semakin tinggi tekanan kontak, semakin cepat terjadi pemanasan, yang mengakibatkan perubahan ukuran butir di daerah HAZ dan peningkatan ketebalan lapisan intermetalik rapuh di persimpangan. Hal ini mengarah pada peningkatan kekuatan impact.

Semakin tinggi tekanan kontak pada level 300 bar, 400 bar, dan 500 bar, mengakibatkan peningkatan kekuatan Impact sambungan dalam durasi kontak 47 detik. Kekuatan Impact (HI) sambungan tertinggi adalah 1,64 kgf/mm² pada gaya gesek dan tekanan 500 bar. Dalam penelitian ini, meskipun suhu yang lebih tinggi dapat dicapai, ada batasan untuk penurunan suhu karena kenaikan suhu akan mempengaruhi nilai Hasil Energi dan Hasil Impactnya. Semakin lama waktu kontak, semakin tinggi suhu, dan semakin tinggi pula nilai regangan.

4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada pengaruh variasi tekanan hidrolis terhadap hasil pengelasan gesek antara baja ST 41 dan Tembaga, ditemukan bahwa spesimen dengan tingkat tekanan hidrolis terendah, yaitu 300 Bar, menunjukkan kekuatan tarik paling rendah dalam hasil pengelasan gesek antara baja ST 41 dan Tembaga, lalu area las dengan tekanan hidrolis 400 Bar dan 500 Bar memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat keuletan dalam uji *impact* pada hasil pengelasan gesek baja ST 41 dengan Tembaga, dan penekanan hidrolis yang tinggi, khususnya pada tekanan 500 Bar, memiliki dampak paling besar terhadap kekuatan tarik dalam hasil pengelasan gesek antara baja ST 41 dan Tembaga.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melakukan pengembangan metode, variabel, dan alat menjadi sebuah langkah penting untuk mendalami ilmu las gesek. Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan pemahaman, pengetahuan, dan mendukung penelitian dalam konteks pendidikan dan pekerjaan.

5 Referensi

- [1] Motensen, Jensen, Conrad & Losee. 2001. Mechanical Properties and Microstructures of Inertia Friction Welded 416 Stainless Steel. Welding Research Supplement, November.
- [2] Haryanto, Poedji. 2011. Pengaruh Gaya Tekan, Kecepatan Putar, Dan Waktu Kontak Pada Pengelasan Gesek Baja St60 Terhadap Kualitas Sambungan Las. Universitas Wahid Hasyim Semarang.
- [3] Fawaiz, Ismah. 2017. Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Austenisasi Terhadap
- [4] Kekerasan, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Dengan Proses Laku Panas Pada Baja Karbon Aisi 1050. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Elkana K. 2020. Analisa Pengaruh Variasi Penekanan Hidrolik Dan Pemanasan Terhadap Sifat Mekanik Hasil Pengelasan Gesek Baja ST 37 Dengan Metode Taguchi.
- [6] M. Sadam S. 2021. Analisa Lapisan Pack Carburizing Pada Baja Carbon St-37
- [7] Menggunakan Media Arang Cangkang Kenari Dan Serbuk Fotocopy. MALANG
- [8] Yudhastian Angga R. 2016. Variasi Kecepatan Putaran Dan Tekanan Tempa Pada Friction Welding Terhadap Sifat Mekanik AL 6061". Universitas Jember.
- [9] Kolbi. 2015. Analisa Pengaruh Las Gesek Terhadap Struktur Mikro Dan
- [10] Kekerasan Pada Sambungan Logam Pipa Kuningan 5/8" Dengan Metode Pengelasan Gesek (Rotary Friction Welding) " . Universitas Muhammadiyah Yogyakarta [8] Sunyoto, dkk. 2020. Optimalisasi Fungsi Mesin Bubut Untuk Pengelasan Rotary
- [11] Friction Welding Dengan Menambah Jig Dan Pendorong Hidrolik ". Universitas Gajah Mada.