

PENGARUH VARIASI PARAMETER PENGELASAN (PUTARAN DAN TEMPERATUR) TERHADAP KEKUATAN SAMBUNGAN LAS HASIL *FRICITION WELDING* PADA BAJA KARBON RENDAH

Muhammad Iswar, Rafiuddin Syam*

Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujungpandang, Makassar

*Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar

Email: rafiuddinsyam@gmail.com

Abstract

This study aims to analyze the influence of rotation and temperature on the strength of welded joints (tensile strength and strain stress) from the result of friction welding using low carbon steel (St.42). The Friction welding process was carried out by varying the rotation (550 rpm, 1020 rpm and 1800 rpm) and temperature (750°C, 800°C and 850°C). The results of the friction welding were then examined to find out their connections strength. The initial data of this research were obtained through the testing of tensile stress and strain stress by using the tensile testing machine and the torsion testing machine. The data obtained from the tests were analyzed by using statistical methods of regression and ANOVA. The results reveal that the maximum tensile strength value and the highest maximum strain stress occur at the rotation of 1800 rpm and the temperature of 850°C. The values were: $\sigma_{max} = 403.80 \text{ N/mm}^2$ and $\tau_{max} = 365.89 \text{ N/mm}^2$. The statistical analysis reveals that there is a relationship between the input variable X (rotation and temperature) and output variable Y (tensile strength and strain stress).

Keywords: *friction welding, rotation, temperature, tensile strength, strain stress.*

PENDAHULUAN

Pengelasan gesek/*friction welding* merupakan pengelasan tanpa menggunakan kawat las/elektroda sehingga bisa dipastikan bahwa sambungan yang diperoleh antara kedua material yang dilas adalah sambungan yang homogen. Selain itu penyambungan poros dengan proses ini dapat meminimalisir bergesernya sumbu dari material yang dilas dapat dilihat pada Suratman (2001).

Dalam proses pengelasan gesek/*friction welding*, kecepatan putaran merupakan variabel yang sensitif dan dalam hal ini dapat divariasikan jika waktu dan temperatur pemanasan serta tekanan dikontrol dengan baik. Secara umum, kecepatan putaran yang lebih tinggi dapat digunakan untuk mengelas bahan peka panas seperti baja *hardenable* ASM Handbook (1993).

Baja karbon merupakan salah satu jenis logam yang paling banyak digunakan diberbagai bidang teknik terutama untuk keperluan industri seperti konstruksi

bangunan, konstruksi pesawat terbang, pembuatan alat-alat perkakas, dan lain-lain seperti terlihat pada Baumer (1994) dan Japri (1996). Banyaknya pemakaian jenis logam ini tidak terlepas dari sifat-sifat yang dimilikinya diantaranya adalah; mudah diperoleh di pasaran, mudah dibentuk/diproses atau mempunyai sifat permesinan yang baik dan harganya relatif murah Lawrence (1989).

Berdasarkan uraian diatas, maka penelitian ini akan diarahkan untuk mempelajari bagaimana pengaruh variasi kecepatan putaran dan temperatur terhadap kekuatan sambungan las hasil proses *friction welding* pada baja karbon rendah.

PENGELASAN GESEKAN (*FRICITION WELDING*)

Friction welding adalah proses pengelasan padat di mana panas untuk pengelasan dihasilkan oleh gerakan relatif antara dua permukaan yang saling

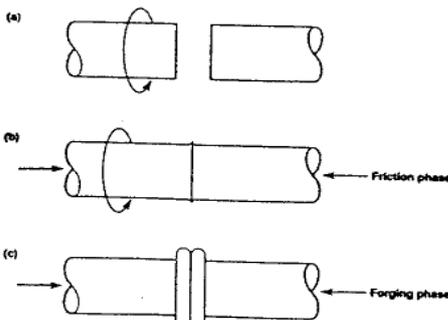
bergesekan. Metode ini bergantung pada konversi langsung dari energi mekanik ke energi termal untuk membentuk hasil lasan tanpa aplikasi panas dari sumber lain.

Pengelasan gesek mempunyai banyak kelebihan-kelebihan dibandingkan dengan proses pengelasan lainnya, diantaranya: tidak memerlukan fluks/selaput las, bahan pengisi/elektroda ataupun gas dalam proses pengelasannya, tidak ada percikan api las ataupun asap yang dihasilkan, tidak ada pencairan sehingga tidak ada cacat solidifikasi yang terjadi (misalnya gas porositas, segregasi atau inklusi terak), dapat menyambung dua buah logam yang berbeda (*dissimilar*) sehingga dapat mengurangi biaya bahan baku dalam aplikasi pengelasan logam yang berbeda dan sebagainya.

Meskipun mempunyai banyak keuntungan pengelasan gesek juga mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya tidak dapat menyambung dengan baik bahan atau material yang berbentuk kotak atau persegi, biaya investasi mesin yang mahal serta penggunaannya untuk keperluan tertentu saja.

Gambar di bawah ini menunjukkan langkah-langkah dasar proses pengelasan dengan gesekan dimana proses penyambungan logam yang terjadi disebabkan oleh gesekan akibat perputaran logam satu terhadap lainnya di bawah pengaruh tekanan aksial.

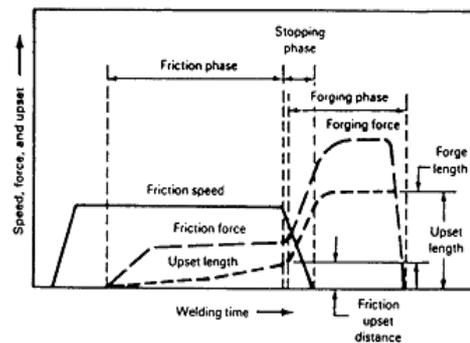
Pada Gambar 1 skema yang menunjukkan langkah-langkah dasar dalam proses pengelasan gesekan.



Gambar 1. Langkah-langkah dasar pengelasan dengan gesekan

Pada pengelasan gesekan terlihat pada Gambar 1 (a) Satu benda kerja diputar dan benda lain dalam keadaan diam (b) Kedua benda kerja saling disentuhkan permukaannya dan gaya aksial diberikan untuk memulai proses pengelasan (c) rotasi benda kerja dihentikan dan proses pengelasan selesai ASM Handbook (1993).

Hubungan diantara variabel-variabel proses pengelasan ditunjukkan pada gambar 2 yang diplot untuk kecepatan putaran dan tekanan sebagai fungsi waktu untuk pengelasan. Waktu yang dibutuhkan untuk menghentikan gelendong juga merupakan variabel penting karena mempengaruhi suhu pengelasan dan waktu gaya penempaan.



Gambar 2. Plot parameter waktu yang dipilih terhadap tiga tahapan proses *friction welding*.

Hubungan antara tegangan dan regangan pada beban tarik ditentukan, jika beban F (N), luas penampang A (mm^2) dan tegangan σ (N/mm^2) dengan rumus sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{1}$$

Besarnya regangan adalah jumlah pertambahan panjang karena pembebanan dibandingkan dengan daerah ukur (*gage length*), yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_o} \tag{2}$$

Dimana regangan ε (mm/mm), pertambahan panjang ΔL (mm), panjang daerah ukur l_0 (mm).

Sedangkan besarnya tegangan geser yang terjadi dihitung dengan persamaan:

$$\tau = \frac{dGA}{2L} \cdot (N/mm^2) \quad (3)$$

Di mana modulus Geser G (N/mm^2), sudut puntir A (rad), panjang spesimen L (mm).

Metode statistik merupakan suatu metode analisis untuk melihat kecenderungan hubungan maupun pengaruh antara variabel bebas (x) dan variabel terikat (y). Regresi berganda merupakan perluasan dari metode regresi sederhana dan penggunaannya bertujuan untuk mencari hubungan antara variabel dependen Y dengan dua atau lebih variabel independen (X_1, X_2, \dots, X_n) dalam bentuk persamaan sebagai berikut:

$$\hat{y} = a + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (4)$$

Untuk mencari nilai a , b_1 dan b_2 dalam linier regresi berganda untuk dua variabel independen X_1 dan X_2 dapat digunakan kuadrat minimum (*by least squares*), dimana kondisi minimum turunan pertama dari SSE berturut-turut terhadap a , b_1 dan b_2 bernilai nol, sehingga diperoleh tiga persamaan berikut ini.

$$\sum_{i=1}^n Y_i = na + b \sum_{i=1}^n X_1 + b \sum_{i=1}^n X_2 \quad (5)$$

Selanjutnya persamaan kedua yaitu:

$$\sum_{i=1}^n X_1 Y_i = a \sum_{i=1}^n X_1 + b_1 \sum_{i=1}^n X_1^2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_1 X_2 \quad (6)$$

Kemudian persamaan terakhir yaitu:

$$\sum_{i=1}^n X_2 Y_i = a \sum_{i=1}^n X_2 + b_1 \sum_{i=1}^n X_1 X_2 + b_2 \sum_{i=1}^n X_2^2 \quad (7)$$

Analisis varian (*analysis of variance, anova*) adalah sebuah teknik yang dipakai untuk membandingkan dua atau lebih parameter populasi. Teknik ini sering dipakai untuk penelitian terutama pada rancangan penelitian eksperimental dengan cara membandingkan nilai f_{Tabel} dengan nilai f_{Hitung} yang diperoleh dari hasil perhitungan.

METODE PENELITIAN

Bahan penelitian yang digunakan adalah baja karbon rendah (St.42) dengan diameter 15mm dan panjang 15mm. Peralatan penelitian yang digunakan adalah mesin bubut, termokoppel, jangka sorong, stopwatch, kamera digital, pengukur tekanan sedangkan peralatan pengujian yang digunakan seperti mesin uji tarik, mesin uji puntir dan mikroskop optik.

Penelitian dilakukan dengan tahapan pelaksanaan proses pengelasan gesek pada mesin bubut dengan memvariasikan putaran dan serta pencatatan temperatur pengelasan dengan menggunakan termokopel dan waktu pengelasan dengan menggunakan stopwatch. Tekanan aksial dapat diketahui dengan menggunakan pengukur tekanan yang dipasang pada kepala lepas pada mesin bubut. Proses pengelasan ini diulang sesuai dengan variasi putaran dan temperatur yang telah ditetapkan.

Proses pengelasan gesek dilakukan dengan memvariasikan 3 jenis putaran (550rpm, 1020rpm dan 1800 rpm) pada temperature berbeda yaitu: 750°C, 800°C dan 850°C. Hasil sambungan proses pengelasan gesek diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 1. Proses pengelasan gesek

Hasil pengelasan gesek tersebut kemudian dibentuk menjadi specimen-specimen untuk dilakukan pengujian mekanis yaitu specimen uji tarik, uji punter dan specimen untuk pengujian mikrostruktur. Pengujian sifat-sifat mekanis dilakukan dengan menggunakan mesin uji tarik untuk memperoleh data kekuatan tarik maksimumnya dan uji puntiran untuk

memperoleh data tegangan geser serta uji metalografi untuk mengetahui perubahan struktur atomnya.



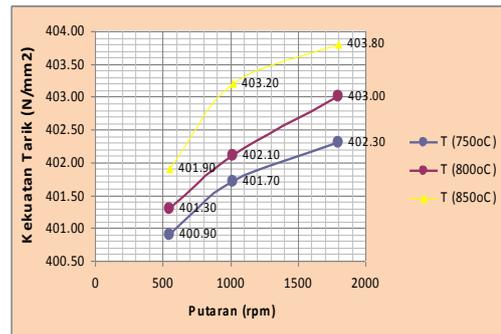
Gambar 2. Hasil pengelasan gesek

Data yang diperoleh dari hasil pengujian tarik adalah gaya maksimum yang kemudian digunakan untuk mengetahui kekuatan tarik maksimum dari bahan yang dilas. Pengujian puntiran dilakukan untuk mengetahui tegangan geser yang terjadi. Data awal yang diperoleh dari pengujian ini adalah momen maksimum dan sudut puntir yang terjadi.

Pengujian mikrostruktur dilakukan untuk mengetahui perubahan struktur mikro dari bahan setelah mengalami proses pengelasan dengan temperatur yang berbeda. Metode analisis dengan menggunakan metode analisis statistik (Regresi dan ANOVA). Regresi untuk melihat seberapa besar hubungan variabel X dan Y, sedangkan ANOVA untuk melihat pengaruh variabel X terhadap variabel Y.

HASIL DAN PEMBAHASAN

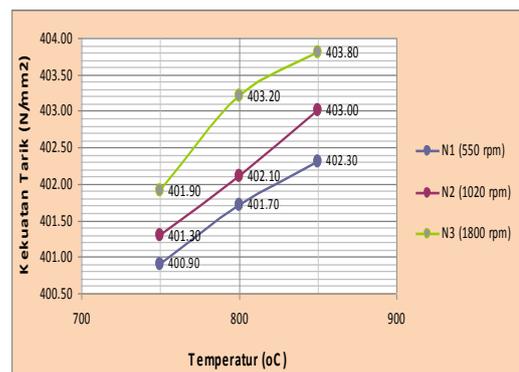
Hubungan kekuatan tarik dengan putaran dan temperatur ditunjukkan pada grafik berikut:



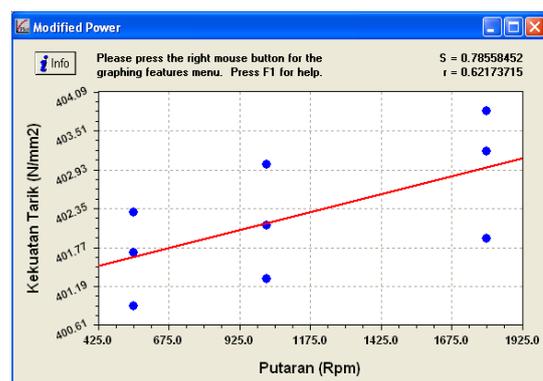
Gambar 3. Hubungan antara kekuatan tarik dan putaran pada temperatur berbeda.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan regresi linier berganda diperoleh persamaan regresinya sebagai berikut:

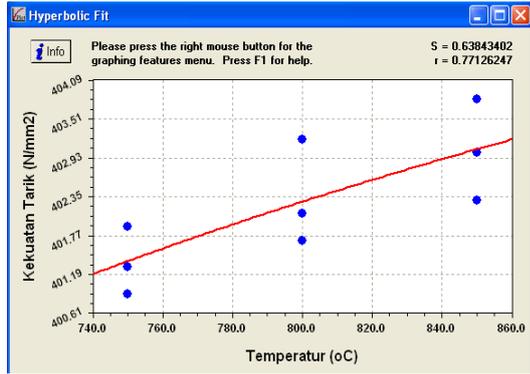
$$Y' = 387.71 + 0,00107X_1 + 0,0167 X_2$$



Gambar 4. Hubungan antara kekuatan tarik dan temperatur pada putaran berbeda.



Gambar 5. Kurva regresi antara putaran dan kekuatan tarik dengan *Modified Power*

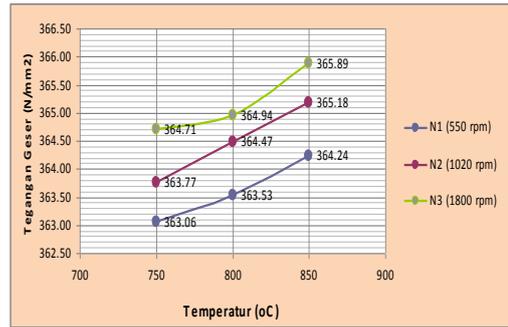


Gambar 6. Kurva regresi antara temperatur dan kekuatan tarik dengan *Hiperbolic Fit*

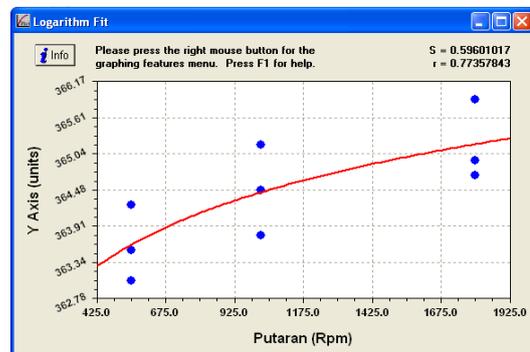
Sedangkan berdasarkan analisis varians yang dilakukan (Anova) diperoleh seperti terlihat Tabel 2.

Table 2 Hasil ANOVA Uji Tarik

F _{hitung}	F _{tabel}	α (%)	db numer	db denumer
0.02324	3.554557	5	2	18
0.03657	3.554557	5	2	18
0.00034	2.927744	5	4	18



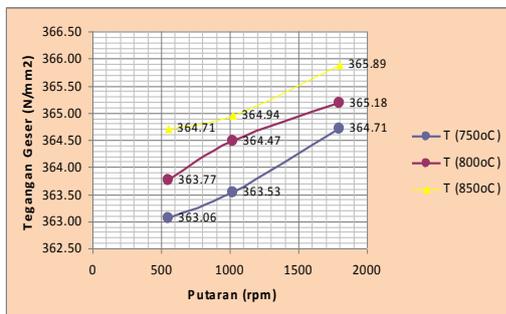
Gambar 8. Hubungan antara tegangan geser dan temperatur pada putaran berbeda.



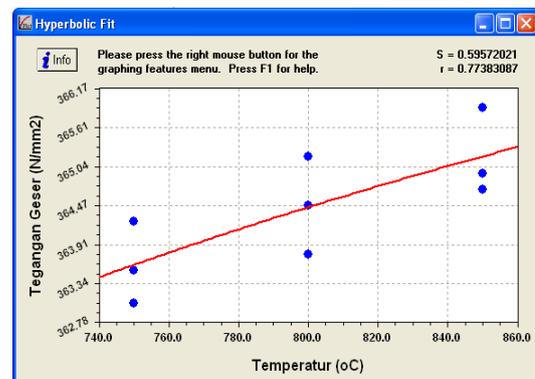
Grafik 9. Kurva regresi antara putaran dan tegangan geser dengan *Logarithm Fit*

A. Hasil Pengujian Tegangan Geser

Berdasarkan hasil perhitungan tegangan geser yang dilakukan terhadap data hasil pengujian maka hubungan antara putaran, temperatur dan tegangan geser ditunjukkan pada grafik berikut ini.



Gambar 7. Hubungan antara tegangan geser dan putaran pada temperatur berbeda.



Gambar 10. Kurva regresi antara temperatur dan tegangan geser dengan *Hyperbolic Fit*

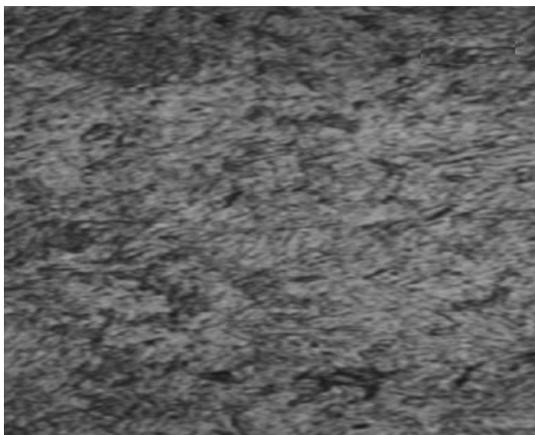
Dari hasil perhitungan dengan menggunakan regresi linier berganda diperoleh persamaan regresinya sebagai berikut:

$$Y' = 351.80 + 0.0011X_1 + 0.014X_2$$

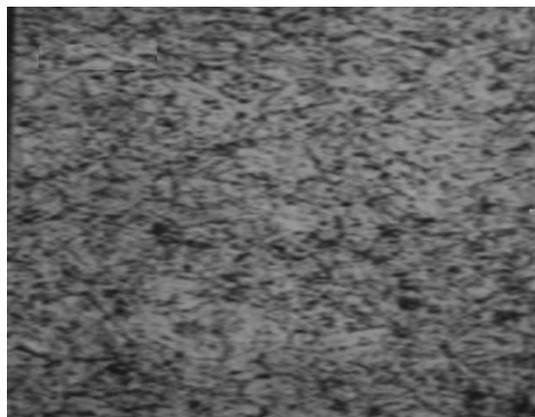
Sedangkan menurut Walpole (1995) berdasarkan analisis varians yang dilakukan (anova) diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil ANOVA Uji Tarik

F_{hitung}	F_{tabel}	α (%)	db numer	db denumer
0.02056	3.554557	5	2	18
0.01732	3.554557	5	2	18
0.00108	2.927744	5	4	18



Gambar 11. Mikrostruktur pada temperatur 750°C



Gambar 12. Mikrostruktur pada temperatur 800°C

B. Pembahasan

Pada gambar 9 dan 10, diatas terlihat bahwa terjadi peningkatan kekuatan tarik maupun tegangan geser seiring dengan terjadinya penambahan kecepatan putaran

dan temperatur. Untuk setiap variasi putaran terlihat bahwa kekuatan tarik terbesarnya terjadi pada temperatur 850°C. Hal ini terjadi karena semakin cepat putaran maka waktu pengelasan akan semakin singkat waktu penyambungan sehingga daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) akan semakin kecil.

Proses pengelasan yang berlangsung lama mengakibatkan daerah permukaan benda kerja yang dilas menjadi lebih rapuh karena terjadinya pemanasan yang berlebihan begitu pula dengan daerah HAZ-nya akan semakin besar sehingga berpengaruh terhadap sifat mekanis bahan yang dilas. Pada temperatur 850°C merupakan temperature yang paling stabil dimana atom-atom saling berikatan dan berinteraksi. Hasil foto mikrostruktur pada Gambar 11 hingga Gambar 13 terlihat bahwa semakin tinggi temperatur maka ukuran atom juga semakin padat dan seragam sehingga regangan yang terjadi semakin kecil. Ini menandakan material menjadi lebih keras dan lebih kuat.



Gambar 13. Mikrostruktur pada temperatur 850°C

Berdasarkan hasil analisis atau pengujian dengan menggunakan anova, menunjukkan bahwa nilai f_{hitung} lebih kecil jika dibandingkan dengan nilai f_{tabel} yang berarti nilai f_{hitung} berada dalam daerah f_{tabel} . Hal ini dapat menjadi indikasi bahwa variabel input (putaran dan temperatur) serta interaksinya, berpengaruh terhadap kekuatan

sambungan las (tarik dan geser) meskipun pengaruhnya relatif kecil.

Analisis lain berdasarkan data hasil regresi dengan menggunakan perangkat lunak *CurveExpert*, maka dapat diketahui bahwa regresi terhadap kurva hubungan putaran dengan kekuatan tarik diperoleh dengan menggunakan model regresi *modified power*, sedangkan untuk tegangan gesernya menggunakan *Logarithm Fit*. Sedangkan regresi terhadap kurva hubungan temperatur dengan kekuatan tarik dengan model regresi *Hiperbolic Fit* dan tegangan geser menggunakan model *Hiperbolic Fit* Harsono (2004).

KESIMPULAN

Dari analisis data dan hasil pembahasan yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut kecepatan putaran (550rpm, 1020rpm, 1800rpm) pada tekanan penempaan maksimum sekitar 60 MPa pada proses pengelasan gesek berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las. Hal ini ditandai dengan terjadinya peningkatan kekuatan tarik dan tegangan geser seiring dengan meningkatnya putaran yang diberikan. Kekuatan tarik dan tegangan geser tertinggi terjadi pada putaran 1800 rpm dengan nilai masing-masing sekitar 403,80 N/mm² dan 365,89 N/mm².

Selain itu temperatur pemanasan yang diberikan (750°C, 800°C dan 850°C) juga berpengaruh terhadap kekuatan sambungan hasil lasan. Meskipun peningkatannya tidak signifikan. Hal ini terjadi karena variasi temperatur yang diberikan masih dalam satu fasa ($\alpha+\gamma$). Dari hasil foto mikrostruktur terlihat bahwa pada temperatur 850°C, ukuran atom semakin padat dan seragam sehingga regangan yang terjadi semakin kecil. Ini menandakan material menjadi lebih keras dan lebih kuat.

Pada penelitian ini proses pengelasan gesek yang terjadi hanya dengan menggunakan satu putaran spindel, sehingga pencapaian temperatur dan waktu pengelasan menjadi lebih lama. Hal ini mengakibatkan daerah HAZ menjadi lebih

besar. Oleh karena itu, disarankan pada penelitian selanjutnya menggunakan dua putaran spindel yang berputar berlawanan arah.

DAFTAR PUSTAKA

- Maman Suratman. 2001. *"Teknik Mengelas"*. Cetakan I, Pustaka Grafika, Bandung.
- ASM Handbook. 1993. *"Welding, Brazing, and Soldering"*. Volume 6, USA.
- Lawrence H.V.V. 1989. *"Ilmu dan Teknologi Bahan"*. Erlangga, Jakarta.
- Wirjosumarto Harsono. 2004. *"Teknologi Pengelasan Logam"*. Cetakan 9, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Baumer, B.M.J. 1994. *"Ilmu Bahan Logam"*. Bhratara, Jakarta.
- Rohyana, Solih. 1999. *"Pekerjaan Logam Dasar"*. Armico, Bandung.
- Sriati Japrie. 1996. *"Metalurgi Mekanik"*, Erlangga, Jakarta.
- Walpole, Ronald E., 1995, *"Pengantar Statistik"*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.