

ANALISA PENGARUH AXIAL FORCE DAN ROTATIONAL SPEED PADA PROSES REPAIR AXLE SHAFT BEKAS MENGGUNAKAN FRICTION WELDING TERHADAP KETANGGUHAN AXLE SHAFT

Irfan Malik Hartanto, Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

irfanhartanto@mhs.unesa.ac.id

akhmadrasyid@unesa.ac.id

Abstrak— Semakin meningkatnya pertumbuhan truk dan banyaknya fenomena kegagalan pada komponen *Axle Shaft*. Berimplikasi pada peningkatan limbah poros yang mengalami kegagalan sehingga dibutuhkan sebuah usaha untuk mengurangi hal tersebut. Salah satu metode pengendalian limbah yang dapat digunakan adalah prinsip *repair*. *Repair* merupakan pemeliharaan maupun perbaikan limbah yang masih dapat digunakan untuk fungsi yang sama ataupun fungsi lainnya dengan usaha – usaha tertentu. Metode *repair* yang dilakukan pada penelitian ini adalah proses penyambungan material menggunakan proses las gesek (*friction welding*). Melihat fenomena di atas peneliti ingin mengetahui pengaruh kecepatan putar (*Rotational Speed*) dan gaya tekan aksial (*Axial force*) terhadap dan ketangguhan pada daerah pengelasan limbah poros *Axle Shaft*. Metode penelitian ini menggunakan metode *eksperimental research* dengan proses pengelasan dilakukan pada mesin bubut yang telah ditambahkan alat penekan hidrolik sebagai mekanisme penekanan aksial. Pengujian *impact* menggunakan metode pengujian *impact charpy* dengan bentuk spesimen sesuai dengan standar ASTM dengan penempatan takikan berada di daerah *base metal*, *weld metal* dan *heat effected zone*. Hasil penelitian menunjukkan kekuatan *impact* terbesar terdapat pada variasi kecepatan putar 1010 Rpm dengan hasil tertinggi 0.065030 J/mm² pada tekanan tempa 40 Kg/cm² pada daerah *weld metal* sedangkan hasil uji *impact* terendah dihasilkan dari variasi kecepatan putar 1800 Rpm yaitu 0.040970 J/mm² pada tekanan tempa 20 Kg/cm² pada daerah *weld metal*. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar (*rotational speed*) dan tekanan aksial berpengaruh terhadap kekuatan *impact* hasil pengelasan gesek.

Kata Kunci— Kegagalan Komponen; *Repair Axle Shaft*; *Friction Welding*; Kecepatan Putar; Tekanan Tempa; Ketangguhan Material.

Abstract— Increasing truck growth and a large number of failure phenomena on *Axle Shaft* components. Implied by an increase in shaft waste that fails, so an effort is needed to reduce it. One of the waste control methods that can be used is the repair principle. Repair is the maintenance and repair of waste that can still be used for the same function or other functions with certain businesses. The repair method carried out in this study is the process of joining the material using the friction welding process. Seeing the above phenomenon the researcher wants to know the effect of rotational speed and axial force on and toughness in the axle shaft shaft welding area. This research method uses an experimental research method with a welding process carried out on a lathe that has been added a hydraulic pressure device as an axial suppression mechanism. Impact testing uses charpy impact testing method with specimen shape according to ASTM standard with notch placement in the base metal, weld metal and heat effected zone area. The results showed the greatest impact strength was found in variations of rotational speed of 1010 Rpm with the highest yield of 0.065030 J / mm² at forging pressures of 40 Kg / cm² in weld metal areas while the lowest impact test results were generated from variations of 1800 Rpm rotational speed of 0.040970 J / mm² at forging pressure 20 Kg / cm² in the weld metal area. So it can be concluded that rotational speed and axial pressure affect the impact strength of friction welding results.

Kata Kunci— Failure Component; *Repair Axle Shaft*; *Frictionwelding*; Rotational Speed; Axial Force; Material Toughness.

PENDAHULUAN

Kendaraan merupakan salah satu alat transportasi yang banyak digunakan manusia untuk memenuhi kebutuhannya. Perkembangan transportasi dan teknologi transportasi pada era globalisasi berkembang sangat pesat, hal ini ditunjukkan dengan permintaan dan pertumbuhan alat transportasi manusia maupun barang yang mengalami peningkatan setiap tahunnya. Namun pertumbuhan truk yang meningkat setiap tahun, masih belum dibarengi dengan peningkatan kualitas jalan dan regulasi yang menjadi instrumen penting dalam jalannya proses transportasi. Hal ini ditunjukkan oleh banyaknya fenomena kegagalan dalam komponen kendaraan truk yang banyak disebabkan oleh faktor tersebut, sehingga menyebabkan kerugian–kerugian material maupun non material.

Melihat pertumbuhan dan fenomena kegagalan pada komponen *Rear Wheel* yaitu patahnya poros roda belakang kendaraan (*Axle Shaft*), ditambah beberapa faktor penyebab kegagalan pada poros yang sulit dieliminasi, berimplikasi pada peningkatan limbah poros yang telah mengalami kegagalan. Dengan demikian dibutuhkan sebuah usaha untuk mengurangi hal tersebut. *Repair* merupakan salah satu prinsip dari prinsip pengelolaan limbah 4R (*Recycle, Reuse, Reduce dan Repair*), dimana *Repair* merupakan pemeliharaan maupun perbaikan limbah yang masih dapat digunakan untuk fungsi yang sama ataupun fungsi lainnya dengan usaha – usaha tertentu.

Metode perbaikan (*repair*) poros yang digunakan adalah proses penyambungan menggunakan pengelasan gesek (*friction welding*). Pengelasan gesek merupakan pengelasan yang memanfaatkan energi panas yang timbul dari gesekan dan gaya penekanan pada kedua permukaan yang akan disambung. Keuntungan *friction welding* yaitu pengelasan dilakukan pada posisi *center line*, tidak menggunakan bahan tambah dan hasil merata pada seluruh permukaan.

Pada proses pengelasan gesek (*friction welding*) ini terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi kemampuan hasil pengelasan dikutip dari panduan pengelasan (*American Welding Society*) AWS C6 *Recommended Practice for friction welding point 5.6* parameter pengelasan gesek (*Friction Welding*) yang paling berpengaruh diantaranya adalah *Preweld Time*, *Axial Force*, *Rotational Speed*.

Dikutip dari hasil penelitian sebelumnya, Wahyu Nugroho (2010) pada penelitiannya Pengaruh durasi gesekan, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap kekuatan sambungan las gesek langsung pada baja karbon aisi 1045 yang menyimpulkan bahwa pengaruh dari parameter tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesekan dapat diketahui pada sifat mekanik dan struktur mikro.

Poedji Haryanto (2011) dalam penelitiannya pengaruh gaya tekan, kecepatan putar, dan waktu kontak pada pengelasan gesek baja ST60 terhadap kualitas sambungan las yang menyimpulkan bahwa struktur mikro pada sambungan terjadi pemadatan struktur dibandingkan diluar sambungan, hal ini menunjukkan peningkatan kekuatan pada daerah sambungan.

Donny Audinandra, Haris Kusnaini, Eko Nurcahyo dan Dimas Angga (2011) pada penelitiannya rancang bangun mesin *Friction Welding* yang menghasilkan produk as sepeda motor dan menbandingkan dengan produk tempa manual yang menyimpulkan bahwa efek waktu gesekan pada pengelasan menghasilkan distribusi kekerasan dan kekuatan tarik yang bervariasi.

Dicky Satyadianto (2015) dengan penelitiannya pengaruh variasi tekanan gesek, tekanan tempa dan durasi gesek terhadap kekuatan *impact* pada sambungan las gesek (*friction welding*) dengan menggunakan baja paduan aisi 4140 yang menyimpulkan Dari ketiga parameter yang di variasikan, parameter tekanan gesek paling berpengaruh terhadap kekuatan *impact* sambungan las *direct friction welding*.

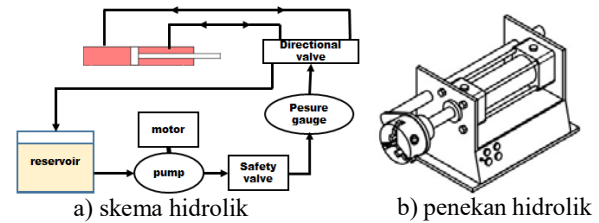
Muhammad Faisal Dkk (2018) Analisis Kekuatan Tarik pada Logam *Axle Shaft* dengan Pengelasan Gesek (*Friction Welding*). Melihat fenomena tersebut peneliti ingin mengetahui pengaruh kecepatan putar (*Rotational Speed*) dan gaya tekan aksial (*Axial force*) terhadap ketangguhan pada daerah pengelasan limbah poros *Axle Shaft*.

METODE

Metode pendekatan yang dilakukan adalah penelitian analisis eksperimen (*experimental research*) yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh *rotational speed* 1010 Rpm, 1800 Rpm dan *axial force* 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm² pada proses *repair* poros menggunakan *friction welding* terhadap ketangguhan *rear axle shaft*. Dengan demikian dapat

dibandingkan kekuatan poros *rear axle shaft* utuh dan *rear axle shaft* yang telah mengalami rekondisi pada ukuran specimen

Dalam penelitian ini proses pengelasan dilakukan di Laboratorium Permesinan Universitas Negeri Surabaya, proses pengelasan dilakukan di mesin bubut yang telah di tambahkan penekan hidrolik pada posisi kepala lepas sebagai mekanisme penekanan aksial.



Gambar 1 Penekan Aksial (*Axial Force*)

Alat penekan aksial ini dirancang dengan mekanisme hidrolik karena dengan mekanisme penekanan hidrolik ini penekanan dapat terukur presisi melalui *pressure gauge*. Alat penekan aksial ini mampu memberi tekanan aksial hingga tekanan maksimal 50 Mpa.

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu limbah *rear axle shaft* truk merk Colt dengan kapasitas 5-ton yang mengalami kegagalan dan telah dilakukan uji komposisi material *rear axle shaft* tersebut. Berikut adalah tabel hasil uji komposisi material tersebut:

Tabel 1 Hasil Uji Komposisi Material

Bahan	C%	Mn%	Si%	S%	Cr%	Ni%
Limbah rear axle shaft	0,45	0,5	0,1	0,00	0,34	0,02

Dari data tersebut menunjukkan bahwa objek penelitian yang berupa limbah *rear axle shaft* merupakan baja karbon medium. Setelah itu akan dilakukan penyambungan material menggunakan *friction welding* dengan specimen yang telah disesuaikan mendekati ukuran specimen uji *impact*.

Variabel yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Variabel Bebas
 - Kecepatan putar spindle mesin bubut dengan kecepatan 1010 rpm dan 1800 rpm
 - Tekanan aksial pada fase penempaan sebesar 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm²
- Variabel Kontrol
 - Operator
 - Material (kandungan kimia, ukuran)
 - Mesin – mesin yang digunakan
 - Waktu dan tekanan pada fase tekanan gesek
 - Suhu ruangan
- Variabel terikat
 - Nilai Ketangguhan bahan

HASIL DAN DISKUSI

Proses pengelasan

Pada proses pengelasan gesek (*friction welding*) waktu gesekan dipengaruhi kecepatan putar sehingga dapat mempengaruhi temperatur pada proses gesekan. Temperatur gesekan ini dapat mempengaruhi kekuatan *impact* specimen

hasil pengelasan hal ini disebabkan karena temperatur berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro hasil pengelasan tersebut. Selain temperatur gesekan waktu pendinginan juga berpengaruh terhadap struktur mikro pada daerah pengelasan. Pada penelitian ini proses pendinginan dilakukan dengan media udara terbuka. Pada penelitian ini didapatkan data proses pengelasan sebagai berikut :

Tabel 2 Data Hasil Pengelasan

Kecepatan putaran (rpm)	Tekanan gesek (Kg/cm ²)	Tekanan tempa (Kg/cm ²)	Temp tek gesek (°C)	waktu pemanasan (Sec)	waktu pendinginan (Sec)
1010	10	20	904.9	18	1500
	10	30	932.5	18	1440
	10	40	918.0	18	1320
1800	10	20	1239.0	18	2160
	10	30	1202.4	18	2040
	10	40	1224.0	18	1980

Pengujian impact

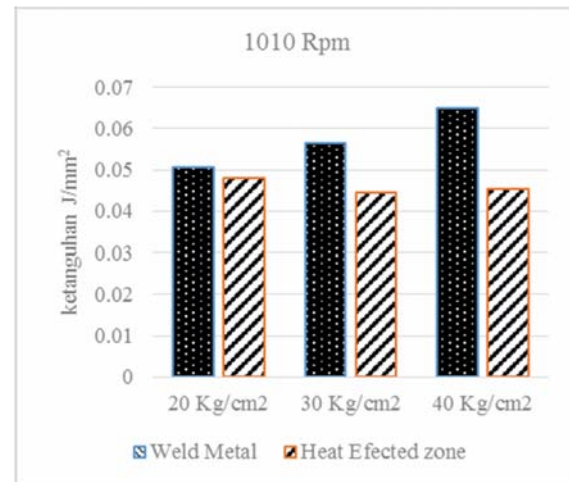
Pengujian impact dilakukan di laboratorium pengujian bahan Universitas Brawijaya pada tanggal 8 November 2019. Pengujian dilakukan pada 39 spesimen uji pada 3 daerah pengelasan yaitu *weld metal*, *base metal* dan *heat effected zone*.. berikut tabel data hasil uji impact :

Tabel 3 Data Hasil Uji Impact Base Metal

Benda uji	Spesimen	Ketangguhan (J/mm ²)	Rata rata (J/mm ²)
Base Metal	BM 1	0.044860	0.045140
Base Metal	BM 2	0.045380	
Base Metal	BM 3	0.045180	

Tabel 4 Data Hasil Uji Impact Kecepatan 1010 Rpm

Kecepatan putaran (rpm)	Tekanan tempa (Kg/cm ²)	Daerah	Spesimen	Ketangguhan (J/mm ²)	Rata-Rata (J/mm ²)
1010	20	WM	A20 1	0.048430	0.050613
			A20 2	0.050760	
			A20 3	0.052650	
		HAZ	A20 4	0.046240	0.048070
			A20 5	0.047240	
			A20 6	0.050730	
	30	WM	A30 1	0.060430	0.056430
			A30 2	0.054800	
			A30 3	0.054060	
		HAZ	A30 4	0.045230	0.044510
			A30 5	0.045540	
			A30 6	0.042760	
	40	WM	A40 1	0.070320	0.065030
			A40 2	0.064210	
			A40 3	0.060560	
		HAZ	A40 4	0.045380	0.045263
			A40 5	0.046290	
			A40 6	0.044120	

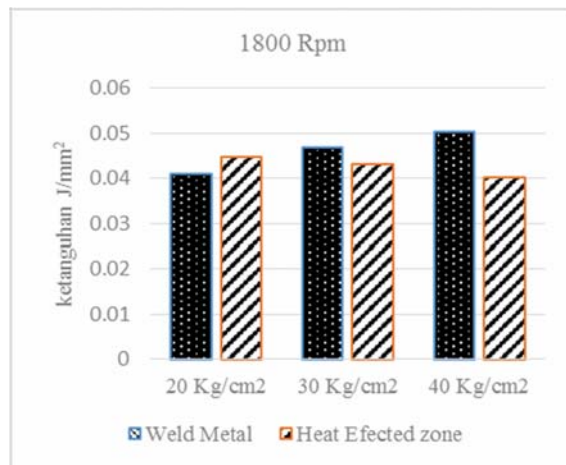


Gambar 2. Grafik Rata-Rata Hasil Uji Impact Pada Variasi Kecepatan Putar 1010 Rpm

Berdasarkan Gambar 2. Menunjukkan grafik rata-rata hasil pengujian *impact* yang diperoleh dari kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm² pada posisi *Weld Metal* dan *Heat Effected Zone*. Nilai tertinggi pada posisi *Weld Metal* dimiliki pada spesimen dengan kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 40 Kg/cm² dengan nilai 0.065030 J/mm² dan nilai terendah pada kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 20 Kg/cm² dengan nilai 0.050613 J/mm². Sedangkan pada posisi *Heat effected zone*, nilai tertinggi dimiliki kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 20 Kg/cm² dengan nilai 0.048070 J/mm² dan nilai terendah pada kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 30 Kg/cm² dengan nilai 0.044510 J/mm².

Tabel 5 Data Hasil Uji Impact Kecepatan 1800 Rpm

Kecepatan putaran (rpm)	Tekanan tempa (Kg/cm ²)	Daerah	Spesimen	Ketangguhan (J/mm ²)	Rata-Rata (J/mm ²)
1800	20	WM	B20 1	0.043240	0.040970
			B20 2	0.040240	
			B20 3	0.039430	
		HAZ	B20 4	0.044670	0.044703
			B20 5	0.046860	
			B20 6	0.042580	
	30	WM	B30 1	0.054150	0.046720
			B30 2	0.040450	
			B30 3	0.045560	
		HAZ	B30 4	0.042280	0.043073
			B30 5	0.042180	
			B30 6	0.044760	
	40	WM	B40 1	0.052320	0.050253
			B40 2	0.050340	
			B40 3	0.048100	
		HAZ	B40 4	0.040250	0.040067
			B40 5	0.042300	
			B40 6	0.037650	



Gambar 3. Grafik Rata-Rata Hasil Uji Impact Pada Variasi Kecepatan Putar 1800 Rpm

Berdasarkan Gambar 3. Menunjukkan hasil pengujian impact yang diperoleh dari kombinasi kecepatan putar 1800 Rpm dan tekanan tempa 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm² pada posisi *Weld Metal* dan *Heat Effected Zone*. Nilai tertinggi dimiliki pada spesimen dengan kombinasi kecepatan putar 1800 Rpm dan tekanan tempa 40 Kg/cm² dengan nilai 0.050253 J/mm² dan nilai terendah pada kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 20 Kg/cm² dengan nilai 0.040970 J/mm². Sedangkan pada posisi *Heat effected zone*, nilai tertinggi dimiliki kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 20 Kg/cm² dengan nilai 0.044703 J/mm² dan nilai terendah pada kombinasi kecepatan putar 1010 Rpm dan tekanan tempa 20 Kg/cm² dengan nilai 0.040067 J/mm²

Pengujian statistika

Pada penelitian kali ini teknik analisis data yang digunakan adalah teknik analisis data deskriptif kuantitatif dimana salah dalam teknik ini peneliti akan memperkirakan atau dengan menentukan besarnya pengaruh secara kuantitatif Hasan (2015; 35). Untuk membantu memperkirakan dan menentukan besarnya pengaruh dari hasil penelitian ini kami menggunakan aplikasi SPSS 25 dalam aplikasi ini data akan dia analisis menggunakan metode *Anova* tunggal (*One-Way Anova*). Sebelum dilakukan pengujian *anova*, data harus terlebih dahulu dipastikan bahwa data dari masing-masing variasi berdistribusi normal, sama (*homogen*), dan sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain (*tidak homogen*). Oleh karena, itu perlu dilakukan *uji normalitas* dan *uji homogenitas* terlebih dahulu

a) Uji normalitas

Berikut hasil *uji normalitas* data penelitian ini dapat dilihat pada tabel dibawah

Tabel 6 Hasil Uji Normalitas *Uji impact WM*

Kecepatan Kekuatan	Kolmogorov- Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
WM 1010_20	.194	3	.	.996	3	.885
1010_30	.347	3	.	.836	3	.203
1010_40	.233	3	.	.979	3	.724
1800_20	.309	3	.	.901	3	.388
1800_30	.233	3	.	.979	3	.722
1800_40	.183	3	.	.999	3	.932

Tabel 7 Hasil Uji Normalitas *Uji impact HAZ*

Kecepatan_n	Kolmogorov- Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Si	Statistic	df	Sig.
HZ 1010_20	.304	3	.	.907	3	.408
1010_30	.348	3	.	.832	3	.195
1010_40	.209	3	.	.991	3	.823
1800_20	.177	3	.	1.000	3	.974
1800_30	.373	3	.	.779	3	.065
1800_40	.198	3	.	.995	3	.870

Dari hasil uji *normalitas* diatas dapat diketahui apakah masing-masing variabel terdistribusi normal atau tidak.

Pedoman pengambilan keputusan adalah sebagai berikut:

1. Jika nilai sig. kurang dari 0,05 maka, data dinyatakan memiliki distribusi tidak normal.
2. Jika nilai sig. lebih dari 0,05 maka, data dinyatakan memiliki distribusi normal.

Pedoman ini mengacu pada hasil perhitungan alat *uji normalitas Shapiro-Wilk*. Dimana, menurut hasil pengujian didapatkan variabel memiliki nilai sig. diatas 0,05 sehingga dapat dikatakan bahwa data hasil pengujian *impact* terdistribusi normal. Selanjutnya yang dilakukan adalah *uji homogenitas*.

b) Uji homogenitas

berikut hasil *uji homogenitas* dapat dilihat pada tabel dibawah

Table 8 Hasil Uji homogenitas hasil *Uji impact* HAZ HZ

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.519	5	12	.757

Tabel 9 Hasil Uji homogenitas hasil *Uji impact* WM WM

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.715	5	12	.206

Uji homogenitas dapat digunakan untuk mengetahui apakah sampel *homogen* atau tidak. Pedoman pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

1. Jika nilai sig. kurang dari 0,05 maka, data dinyatakan tidak *homogen*.
2. Jika nilai sig. lebih dari 0,05 maka, data dinyatakan *homogen*.

Hasil pengujian didapatkan nilai sig. sebesar 0,7 dan 0,2 diatas 0,05 sehingga dapat dikatakan bahwa data hasil impact *homogen*. Selanjutnya di lakukan uji anova

c) *Uji anova*

Analisa menggunakan metode *anova* tunggal harus memiliki *hipotesa* sebelum dapat menarik sebuah simpulan, *Hipotesa* yang diajukan adalah

- **Ho** = Tidak ada pengaruh yang signifikan antara kecepatan putar 1010 Rpm ,1800 Rpm dan tekanan 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm² terhadap nilai kekuatan *impact /bending* spesimen hasil pengelasan gesek
- **Ha** = Ada pengaruh yang signifikan antara kecepatan putar 1010 Rpm ,1800 Rpm dan tekanan 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm² terhadap nilai kekuatan *impact /bending* spesimen hasil pengelasan gesek

Table 10 Hasil Uji Anova hasil *Uji impact* WM WM

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1029.790	5	205.958	12.695	.008
Within Groups	194.684	12	16.224		
Total	1224.473	17			

Table 11 Hasil Uji Anova hasil *Uji impact* HAZ HZ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	104.314	5	20.863	5.901	.006
Within Groups	42.425	12	3.535		
Total	146.739	17			

Dasar pengambilan keputusan anova tunggal adalah perbandingan F hitung dengan F tabel. Dengan ketentuan sebagai berikut:

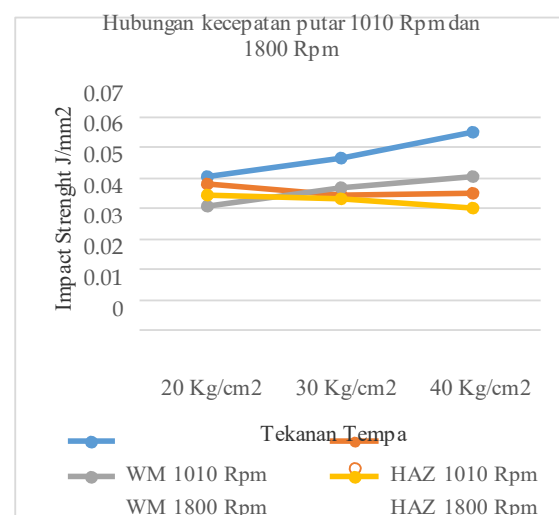
- Jika F hitung (angka F output > statistik tabel (tabel F), maka Ho ditolak, Ha diterima
- Jika F hitung (angka F output < statistik tabel (tabel F), maka Ho diterima, Ha ditolak

Nilai F hitung pada tabel 4.9 adalah 12.695, tabel 4.10 adalah 5.901 untuk *uji impact* dan tabel 4.11 adalah 86.908 dengan nilai signifikansi 0,05 sementara nilai statistik tabel dapat ditemukan pada tabel F, dalam *uji anova* ini menggunakan tingkat signifikansi (α) sebesar 5%. Untuk menentukan F tabel dibutuhkan dk pembilang dan dk penyebut, dk pembilang dengan menghitung didapatkan jumlah variabel kelompok dikurangi 1 maka 6-1 =5; sedangkan dk penyebut adalah jumlah seluruh sampel dikurangi jumlah variabel kelompok maka 15-3= 12 dengan nilai dk pembilang 5 dan dk penyebut 12 maka didapatkan nilai F tabel 4.5 adalah 3.11 untuk *uji impact*.

Berdasarkan uraian diatas pada *uji impact* nilai F hitung lebih besar daripada nilai F tabel 4.18 yakni sebesar 12.695 > 3.11 dan nilai F pada Tabel 4.19 yakni sebesar 5.901 > 3.11. Maka dapat disimpulkan bahwa Ha diterima dan Ho ditolak atau dengan kata lain ada pengaruh yang signifikan antara kecepatan putar 1010 Rpm ,1800 Rpm dan tekanan 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm² terhadap nilai kekuatan *impact /bending* spesimen hasil pengelasan gesek

Analisa kekuatan impact terhadap tekanan tempa pada kecepatan putar (rotational speed) 1010 Rpm dan 1800 Rpm

Dari data hasil Pengujian *Impact* pada tabel 4.2 dibuat grafik hubungan antara tekanan tempa dengan kekuatan *Impact (Impact Strength)* di daerah WM maupun di HAZ pada masing masing kecepatan yang dapat dilihat pada gambar grafik dibawah ini

Gambar 4 Grafik Hubungan Kecepatan Putar Dan Tekanan Tempa Hasil Pengujian *Impact*

Berdasarkan gambar 4, dapat dilihat pada grafik dengan variasi kecepatan putar (*rotational speed*) 1010 Rpm dan 1800 Rpm yang menunjukkan bahwa tekanan tempa mempengaruhi kekuatan *impact*, semakin tinggi tekanan tempa yang diberikan maka kekuatan *impact* nya semakin tinggi pula. Itu dibuktikan dengan nilai kekuatan *impact* pada variasi kecepatan 1010 Rpm paling rendah pada tekanan tempa 20 Kg/cm² diperoleh kekuatan *impact* sebesar 0.050613 J/mm² dan kekuatan *impact* paling tinggi pada tekanan tempa 40 Kg/cm² diperoleh kekuatan *impact* sebesar 0.065030 J/mm². Hal ini juga terjadi dengan nilai kekuatan *impact* pada variasi kecepatan 1800 Rpm dengan nilai kekuatan *impact* paling rendah pada tekanan tempa 20 Kg/cm² diperoleh kekuatan *impact* sebesar 0.04097 J/mm² dan kekuatan *impact* paling tinggi pada tekanan tempa 40 Kg/cm² diperoleh kekuatan *impact* sebesar 0.050253 J/mm² serta bentuk grafik yang relatif meningkat hal ini disebabkan karena panas yang dihasilkan dari bahan di permukaan benda kerja akan menyebabkan deformasi *plastis*, panas tersebut dihasilkan oleh gesekan pada fase tekanan gesek tekanan gesek akan membangkitkan temperatur di permukaan selanjutnya dilakukan tahap penempaan, tekanan penempaan ini dimaksudkan untuk mengurangi *void* (*kontaminan* lapisan oksida) yang di hasilkan dari kontak antara *yield* dan *creep*. Dilanjutkan dengan *difusi vacancy* yang menghilangkan lapisan oksida dan beberapa *void* kecil sehingga semakin tinggi tekanan tempa maka *void* (lapisan oksida) akan semakin kecil, semakin kecil *void* maka ikatan difusi antara kedua permukaan spesimen akan lebih baik. Semakin baik ikatan *difusi* maka semakin tinggi pula nilai ketangguhannya selain itu tekanan tempa akan mengakibatkan pepadatan struktur mikro yang menyebabkan banyak fasa *pearlite* yang dihasilkan yang menyebabkan peningkatan ketangguhan pada spesimen.

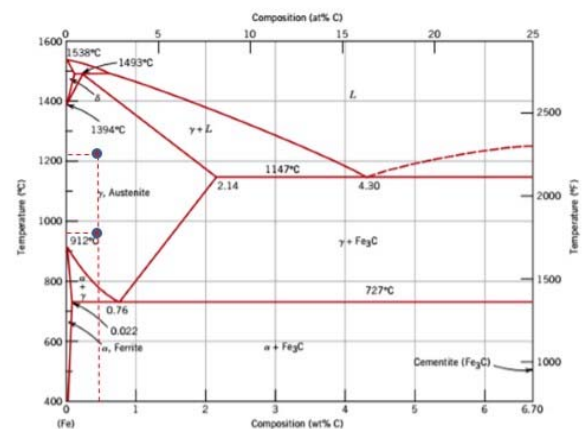
Namun dilihat dari grafik data hasil *uji impact* di daerah HAZ menunjukkan bahwa pada daerah HAZ memiliki nilai *impact strange* yang lebih rendah dari WM hal ini disebabkan karena material (*base metal*) memang memiliki rata-rata *impact strange* yang rendah yaitu 0.045140 J/mm^2 . Adapun dari grafik yang menunjukkan semakin kecil tekanan tempa maka akan semakin tinggi *impact strange* di daerah HAZ dapat dilihat dari grafik nilai *impact strange* kecepatan 1010 Rpm yang paling tinggi justru berada pada spesimen dengan variasi tekanan yang paling rendah 20 Kg/cm^2 yaitu 0.048070 J/mm^2 dan *impact strange* yang paling rendah pada spesimen dengan tekanan tempa 30 Kg/cm^2 yaitu 0.044510 J/mm^2 dan memiliki grafik yang relative menurun. Hal ini juga terjadi pada kecepatan putar 1800 Rpm dengan nilai *impact strange* yang paling tinggi justru berada pada spesimen dengan variasi tekanan yang paling rendah 20 Kg/cm^2 yaitu 0.044703 J/mm^2 bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan hasil *uji impact* di daerah WM dan yang paling rendah pada spesimen dengan tekanan tempa 40 Kg/cm^2 yaitu 0.040067 J/mm^2 dan memiliki grafik yang relative menurun. Hal ini disebabkan karena pengaruh temperatur di daerah pengelasan yang mencapai 1221°C dan 918°C sehingga memiliki waktu pendinginan yang berbeda sehingga akan mempengaruhi daerah HAZ.

Selain itu hasil *uji impact* pada spesimen dengan variasi kecepatan 1010 Rpm memiliki kekuatan *impact* lebih tinggi di bandingkan dengan dengan spesimen dengan variasi kecepatan 1800 Rpm. Hal ini disebabkan karena pada proses pengelasan gesek ini memiliki *momen inersia*, kecepatan putaran akan meningkatkan kecepatan pembangkitan temperatur di permukaan pada tahap tekanan gesek, sedangkan pada proses pengelasan kecepatan putar akan tetap konstan. Hal ini menunjukan bahwa kecepatan putaran mempengaruhi cepat lambatnya temperatur yang dibangkitkan, namun semakin tinggi kecepatan putaran maka *momen inersia* yang dihasilkan juga semakin besar sehingga membutuhkan gaya pengereman yang semakin besar juga. Semakin besar gaya yang di butuhkan untuk fase pengereman maka akan mempengaruhi proses ikatan difusi kedua spesimen

Analisa Proses Pengelasan Berdasarkan Temperatur Dan Waktu

Pada proses pengelasan gesek (*friction welding*) waktu gesekan dipengaruhi kecepatan putar sehingga dapat mempengaruhi temperatur pada proses gesekan. Temperatur gesekan ini dapat mempengaruhi kekuatan bending maupun kekuatan impact spesimen hasil pengelasan hal ini disebabkan karena temperatur berpengaruh terhadap struktur mikro hasil pengelasan tersebut. Selain temperatur gesekan waktu pendinginan juga berpengaruh terhadap struktur mikro pada daerah pengelasan. Dari penelitian proses pendinginan di lakukan dengan media udara terbuka.

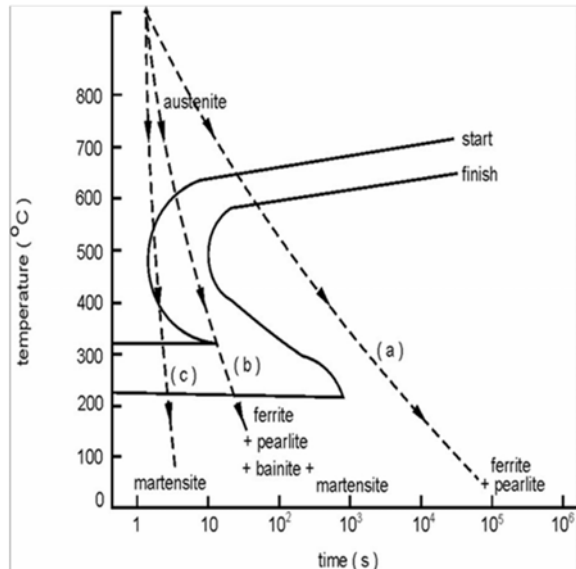
Dapat dilihat dari data table 4.1 menunjukan bahwa pada kecepatan putar 1010 Rpm dalam waktu 18 detik rata-rata temperatur pada daerah pengelasan mencapai 918°C dan pada variasi kecepatan putar 1800 Rpm dalam waktu 18 detik rata-rata temperatur pada daerah pengelasan mencapai 1221°C. dilihat dari Diagram Kesetimbangan Fasa Fe-Fe₃C dibawah



Gambar 5 Diagram Kesetimbangan Fasa Fe-Fe₃C

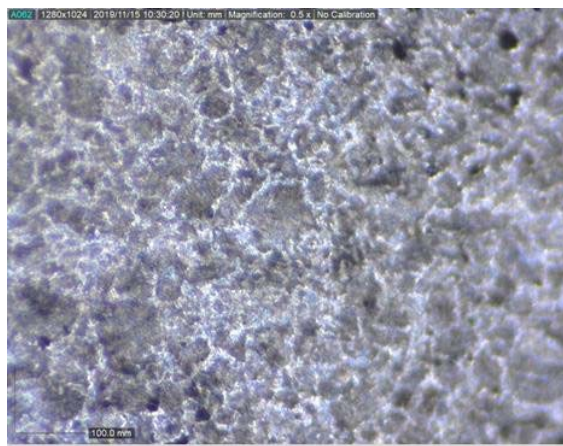
Dari Diagram Kesetimbangan Fasa Fe-Fe₃C di atas menunjukan bahwa temperatur pada daerah pengelasan terdapat pada daerah fasa austenite ditentukan dari komposisi material yang merupakan carbon medium dengan kadar C (carbon) yaitu 0,45% dan temperatur rata rata pada daerah pengelasan yang mencapai 918^oC dan 1221^oC dimana daerah fasa

austenite terletak diatas temperatur kritis (A1) yaitu 723°C sehingga dapat dipastikan pada daerah pengelasan telah mengalami perubahan struktur. Fasa *austenite* merupakan fasa sangat kritis dalam menentukan hasil akhir kekuatan mekanik suatu material berdasarkan struktur mikro. untuk mengetahui hasil akhir kekutan mekanik material dapat dilihat melalui perubahan struktur mikro material yang dapat dilihat melalui diagram CCT di bawah:



Gambar 6 Diagram CCT

Dari diagram CCT di atas menunjukkan bahwa proses pendinginan pada proses pengelasan ini memiliki kurva pendinginan dengan laju pendinginan sedang /medium dilihat dari waktu pendinginan dari suhu awal hingga 100°C material yaitu 1500 Sec, 1440 Sec, 1320 Sec, 2160 Sec, 2040 Sec, 1980 Sec. Dengan laju pendinginan kontinyu ini fasa *austenite* terdekomposisi menjadi struktur *ferrite*, *pearlite*, dan terdapat sedikit *martensit* dan *bainite*. hal ini di perkuat dengan hasil foto mikro dibawah :



Gambar 7 Foto Struktur Mikro Daerah Weld Metal

Dari hasil foto mikro terlihat fasa *ferit*, fasa *perlit* dan sedikit fasa *martensit*. Fasa ferit ditunjukkan dengan warna cerah sedangkan fasa *perlit* menunjukkan gambar yang berwarna gelap dan sedikit fasa *martensit* yang berwarna gelap yang mengumpul. Dilihat dari struktur mikro menunjukkan bahwa hasil spesimen pengelasan pada daerah weldmetal memiliki kekuatan mekanik yang relatif ulet karena fasa ferit dan martensit lebih dominan di bandingkan fasa martensit

Analisa patahan hasil uji impact

Dari hasil pengujian impact selain data kekutan *impact* (*impact strange*) patahan spesimen juga digunakan untuk menganalisa hasil lasan spesimen. Dimana dari hasil analisa menggunakan foto makro dengan perbesaran 36X memperlihatkan hasil patahan dimana secara umum terdapat 2 jenis patahan yang terjadi pada spesimen *uji impact* yaitu *Brittle-to-ductile transition* dan *brittle*, berikut hasil analisis dengan jenis patahan *Brittle-to-ductile transition* dengan gambar di bawah ini



Gambar 8 Brittle-to-ductile transition

Gambar diatas menunjukkan patahan transisi antara getas (*brittle*) menuju ke jenis patahan ulet (*ductile*) hal ini di lihat dari gambar permukaan patahan yang relative ini tampak berserat (atau karakter geser), terjadi *necking* yang mengarah ke ulet namun patah mempunyai tekstur granular (mengkilap) yang cenderung mengarah ke patah getas. Sehingga dapat di klasifikasikan pada jenis patah transisi



Gambar 9 brittle

Gambar diatas menunjukkan patahan getas (*brittle*) hal ini di lihat dari gambar permukaan patahan yang relative ini mempunyai tekstur granular (mengkilap) dan atau karakter pembelahan yang cenderung mengarah ke patah getas. Sehingga dapat di klsifikasikan pada jenis patah getas (*brittle*)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, Pengaruh kecepatan putar (*rotational speed*) 1010 Rpm dan 1800 Rpm dengan tekanan tempa 20 Kg/cm², 30 Kg/cm² dan 40 Kg/cm² maka dapat di simpulkan sebagai berikut:

1. Kecepatan putar (*rotational speed*) berpengaruh terhadap kekuatan *impact* hasil pengelasan gesek. Dimana kekuatan *impact* terbesar terdapat pada variasi kecepatan putar 1010 Rpm dengan hasil kekuatan *impact* 0.065030

J/mm² pada daerah *weld metal* sedangkan hasil *uji impact* terendah pada daerah *weld metal* di hasilkan dari variasi kecepatan putar 1800 Rpm yaitu 0.040970 J/mm² pada tekanan tempa 20 Kg/cm² untuk *uji impact*. Sedangkan pada daerah Heat Efected Zone kekuatan terbesar terdapat pada variasi kecepatan putar 1010 Rpm dengan tekanan 20 Kg/cm² yaitu 0.048070 J/mm² dan terendah pada variasi 1800 Rpm dengan tekanan 40 Kg/cm² dengan nilai 0.04097 J/mm²

2. Tekanan tempa (*axial force*) berpengaruh terhadap kekuatan *impact* hasil pengelasan gesek. Dimana kekuatan *impact* terbesar terdapat pada variasi tekanan tempa 40 Kg/cm² dengan hasil tertinggi 0.065030 J/mm² pada daerah *weld metal*. sedangkan hasil *uji impact* terendah di hasilkan dari pada tekanan tempa 20 Kg/cm² yaitu 0.040970 J/mm² untuk *uji impact*. Sedangkan pada daerah Heat Efected Zone kekuatan terbesar terdapat pada variasi kecepatan putar 1010 Rpm dengan tekanan 20 Kg/cm² yaitu 0.048070 J/mm² dan terendah pada variasi 1800 Rpm dengan tekanan 40 Kg/cm² dengan nilai 0.04097 J/mm²

REFERENSI

- [1] ANSI/AWS C6.1-89. *An American National Standard.2012. Recommended Practices for Friction Welding 1st Edition.*
- [2] ASTM E23-07a, 1993. *Volume 8-Mechanical Testing and Evaluation.* UNITED STATES OF AMERICA.
- [3] ASM *Handbook*, 1993. *Welding, Brazing and Soldering*, UNITED STATES OF AMERICA.
- [4] EN Cahyo, S Dimas Angga. 2010. Analisa Pengaruh Waktu Gesekan Terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik pada Pipa Baja ASTM A106 dengan Metode *Friction Welding*. D3 Teknik Mesin, FTI, ITS, Surabaya,
- [5] F Fauzi, 2016. Analisis Perancangan Penggerak Belakang Gokart 150cc Dohc.Universitas Muhamadiyah Yogyakarta
- [6] Faisal, Dkk,(2018). Analisis Kekuatan Tarik pada *Logam Axle Shaft* dengan Pengelasan Gesek (*Friction Welding*). Jurnal teknologi volume 19 Univesitas Muslim Indonesia
- [7] Haryanto, poedji, Dkk. 2011. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi ke-2 Tahun 2011 Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang. Pengaruh Gaya Tekan, Kecepatan Putar, Dan Waktu Kontak Pada Pengelasan Gesek Baja St60 Terhadap Kualitas Sambungan Las.
- [8] Josep Edward Shigley, 1983. *Mechanical engineering design*. Jakarta: Erlanga.
- [9] Sularso, kiyokatsu suga, 1997. Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin. Jakarta : Pradnya Paramita
- [10] M Syahril. 2013. Analisa Kegagalanporos Roda Belakang Kendaraan. balai besar teknologi kekuatan struktur (B2TKS) BPP Teknologi kawasan PUSPITEK tangerang .
- [11] Nugroho, wahyu. 2010. Pengaruh durasi gesekan, tekanan gesek dan tekanan tempa terhadap kekuatan sambungan las gesek langsung pada baja karbon aisi 1045. Teknik Mesin, FTI, ITS, Surabaya
- [12] Orlando, Noel. 2012. *Analisis finite element* pada kontruksi poros roda belakang truk fuso ps 500. Universitas Islam Indonesia
- [13] Priyanto,Eko.2013. Laporan Praktik Industri, Proses Pembuatan *Rear Axle Shaft* Di Pt IGP. Universitas Diponegoro
- [14] RS Khurmi, JK Gupta. 2005. *Theory of machines*. S. Chand & Co.Ltd., New Dehli
- [15] Satyadianto, dicky. 2015. Pengaruh Variasi Tekanan Gesek,Tekanan Tempa Dan Durasi Gesek Terhadap Kekuatan Impact Pada Sambungan Las Gesek (*Friction Welding*) Dengan Menggunakan Baja Paduan Aisi 4140
- [16] Siswanto. 2011. Konsep Dasar Teknik Las (Teori dan Praktik).Jakarta : P.T. Prestasi Pustakarya..
- [17] Sugeng, 2013. Pemeliharaan Sasis Dan Sistem Pemindah Tenaga. Direktorat Jendral Mutu Pendidik Dan Tenaga Kependidikan Kementrian Pendidikan Dan Kebudayaan
- [18] Sugiyono. 2014. Metodologi penelitian. Bandung, Alfabeta
- [19] Wahab, Rifanly Dkk, 2017. Analisis Kelelahan *Axle Shaft Truk ISUZU ELF 125 Ps*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [21] Weman, Klas., 2011 , “*Welding Process Handbook*”, Woodhead, Cambride,. England.
- [22] Wibowo.2016. Optimalisasi Heat Input Pengelasan Gmaw Baja A36 Melalui Pemeriksaan Hasil Las. Universitas sebelas maret