

PENGARUH *QUENCHING-TEMPERING* TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO HASIL LAS FRICTION PADA *WELDING REPAIR REAR AXLE SHAFT MEDIUM CARBON STEEL*

Risqy Pratama Sidiq

S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: risqypratamasidiq@mhs.unesa.ac.id

Akhmad Hafizh Ainur Rasyid

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: akhmadrasidiq@unesa.ac.id

Abstrak

Kegagalan patah, banyak dijumpai pada poros roda belakang truk. Hal ini disebabkan oleh kualitas jalan dan regulasi yang mengaturnya. Kegagalan ini berimplikasi terhadap meningkatnya jumlah limbah poros roda belakang truk. Prinsip pengelolaan limbah, *repair* memungkinkan penggunaan kembali limbah poros roda belakang dengan perbaikan dan perlakuan pada limbah. Proses penyambungan pada limbah poros menggunakan pengelasan gesek, menyebabkan perbedaan struktur mikro dan nilai kekerasan pada logam paduan hasil pengelasan. Melihat fenomena di atas peneliti ingin mengetahui pengaruh perlakuan panas *quenching – tempering* terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada poros hasil *repair*, dan untuk mengetahui perbedaan nilai sifat mekanik *rear axle shaft repair* dengan *rear axle genuine 7.5 ton*. Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen dan teknik analisis data *one way anova*. Hasil penelitian menunjukkan *quenching-tempering* berpengaruh secara signifikan, pada kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro poros hasil *repair* pengelasan gesek. Spesifikasi mekanik *repair rear axle shaft* mempunyai nilai kuat tarik melebihi spesifikasi mekanik *rear axle shaft genuine 7.5 ton*, tetapi nilai kekerasan dan elongasi masih di bawah *rear axle shaft genuine 7.5 ton*.

Kata kunci: poros roda belakang, *quenching-tempering*, perbaikan, pengelasan gesek

Abstract

Failure is broken, often found on the rear axle of the truck. This is caused by the quality of the road and the regulations that it stipulates. This failure has implications for the amount of truck rear axle waste. The principle of waste management, *repair* allows reuse of the rear axle with repair and maintenance on waste. The connection process on shaft flow uses friction welding, causing differences in the microstructure and the value of the opposition to the welded alloy metal. Seeing the above phenomenon the researcher wants to find out how to improve *quenching - tempering* heat against tensile strength, hardness and microstructure on the improved shaft, and to find out the difference in mechanical properties of the rear axle repair with the original 7.5 ton rear axle. This research method uses one way ANOVA research methods and data analysis techniques. The results showed that *quenching-tempering* had a significant effect on the tensile strength, hardness, and microstructure of the shaft resulting in improved friction welding. Mechanical specifications for rear axle improvement have tensile strength values exceeding the original 7.5 tons rear axle mechanical specifications, but the point of hardness and elongation are still below the original 7.5 tons rear axle.

Keywords: rear axle shaft, *quenching-tempering*, repair, friction welding

PENDAHULUAN

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. Menggeliatnya pembangunan perekonomian dan infrastruktur nasional

memberi pengaruh yang besar terhadap pertumbuhan pasar truk domestik.

Peningkatan pertumbuhan truk tidak diimbangi dengan peningkatan kualitas dan regulasi yang menjadi instrumen penting proses transportasi. Sehingga menyebabkan fenomena kegagalan pada komponen *rear axle* yaitu patahnya poros roda belakang. Prinsip pengelolaan limbah 4R (*Repair*) dapat digunakan sebagai usaha untuk mengurangi limbah *rear axle shaft*.

Metode perbaikan poros menggunakan 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.

Pengelasan menimbulkan efek merugikan seperti perubahan struktur mikro yang menyebabkan sifat mekanik bahan menurun, distorsi dan tegangan sisa pada material (Wibowo, 2016). Hasil penelitian Hermawan Widi (2017) menunjukkan hasil dari pengujian tarik dan kekerasan permukaan belum mencapai hasil dari poros baru, dimana tegangan tarik maksimum tertinggi yaitu 670,78 Mpa, sedangkan spesifikasi mekanik material rear axle shaft baru kapasitas 7.5 ton mempunyai kuat tarik maksimum sebesar 843 Mpa. Perbedaan struktur mikro antara daerah pengelasan, logam induk dan daerah HAZ (*heat affected zone*) berdampak penurunan sifat mekanik poros repair.

Perlakuan panas dilakukan untuk meningkatkan dan memperbaiki sifat mekanik hasil *repair*, proses *hardening quenching* dilakukan untuk meningkatkan kekerasan, ketahanan dan kekuatan tarik, tetapi material mempunyai tegangan sisa dan bersifat getas. Perlakuan tempering dilakukan untuk mengurangi tegangan sisa dan meningkatkan keuletan material akibat perlakuan *quenching*. Berdasarkan uraian diatas penelitian ini akan menganalisa pengaruh perlakuan panas *quenching-tempering* terhadap sifat mekanik dan struktur mikro hasil las *friction welding repair rear axle shaft medium carbon steel*.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- Bagaimana pengaruh *heat treatment quenching-tempering* terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada poros hasil *repair* pengelasan gesek
- Bagaimana kekerasan dan kekuatan tarik dari *repair rear axle shaft*, dibandingkan dengan *rear axle shaft truk genuine*

Tujuan Penelitian

Adapun dari tujuan penelitian ini adalah:

- Mengetahui pengaruh *heat treatment quenching-tempering* terhadap kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada poros hasil *repair* menggunakan pengelasan gesek

- Mengetahui perbedaan nilai dari kekerasan dan kekuatan tarik antara *rear axle shaft repair* dengan *genuine*

Metode

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen kualitatif dan eksperimen kuantitatif, yaitu cara untuk mencari hubungan sebab akibat antara beberapa faktor yang saling berpengaruh.

Eksperimen dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Permesinan Universitas Negeri Surabaya, Laboratorium Pengujian Bahan Universitas Brawijaya dan Laboratorium Pengujian Bahan Politeknik Negeri Malang dalam kondisi dan peralatan yang disesuaikan guna memperoleh data tentang pengaruh perlakuan panas *quenching-tempering* terhadap kekuatan tarik dan nilai kekerasan material *medium carbon ST60* hasil pengelasan gesek sebagai aplikasi *repair rear axle shaft*

Tempat dan Waktu Penelitian

- Tempat Penelitian

Proses penelitian dilakukan di laboratorium CNC Universitas Negeri Surabaya.

- Waktu Penelitian

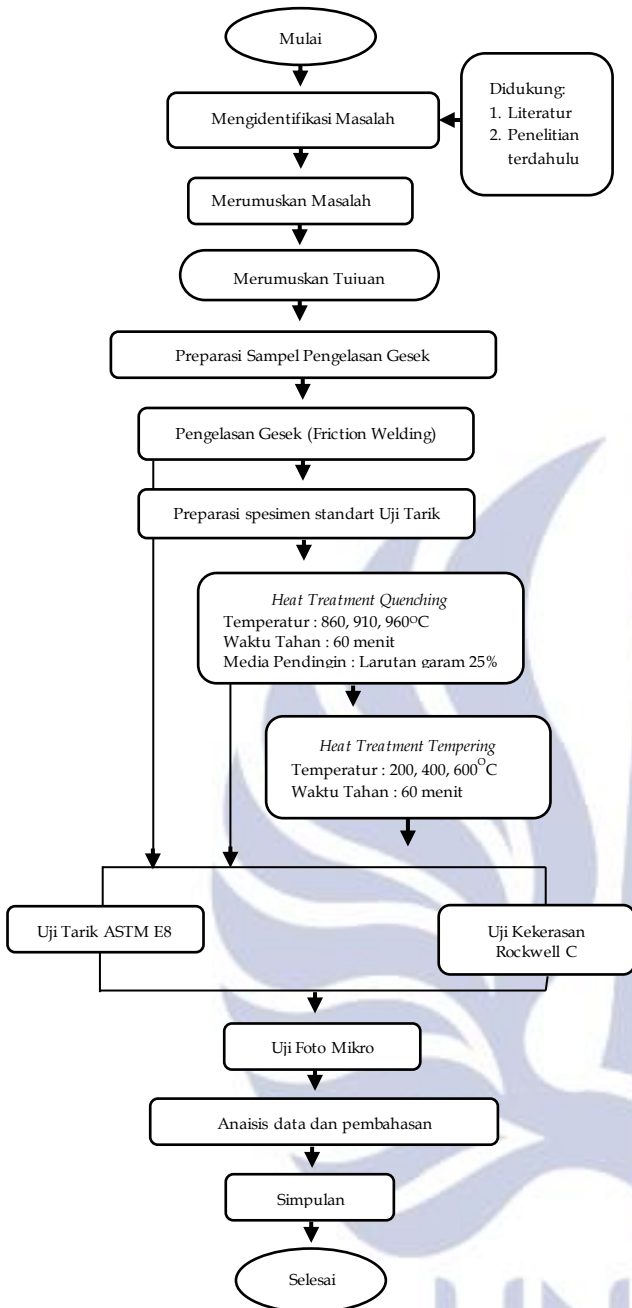
Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan, mulai bulan Mei 2019 sampai bulan September 2019.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

- Variabel Bebas
 - Suhu *quenching* 860, 910 dan 960°C
 - Suhu *tempering* 200, 400 dan 600°C
- Variabel Kontrol
 - Operator dan parameter *friction welding*
 - Waktu tahan Austenisasi selama 60 menit
 - Waktu tahan *Tempering* selama 60 menit
 - Media pendingin *quenching* yaitu larutan garam
 - Material yang digunakan adalah *medium carbon ST60 rear axle shaft* truk
- Variabel terikat
 - Kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro material *repair rear axle shaft* yang telah dilakukan perlakuan *quenching-tempering*

Flowchart Penelitian



Gambar 1 Flowchart Penelitian

Teknik Analisis Data

Penelitian ini menggunakan metode analisis statistik kuantitatif dengan mengumpulkan data-data atau informasi dari setiap hasil perubahan yang terjadi melalui eksperimen secara langsung dan dapat ditarik kesimpulan. Dari data-data yang diperoleh akan disajikan dalam bentuk tabel dan dihitung untuk mengetahui seberapa besar tingkat pengaruh dari setiap variabel menggunakan metode anova tunggal (*One-way Anova*) dengan aplikasi SPSS 25 dan *Independent Sample F-Test* atau uji F. Sebelum dilakukan pengujian

anova terlebih dahulu dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas guna dipastikan bahwa data dari masing-masing varian berdistribusi normal dan sampel tidak berhubungan satu sama lain. Sehingga akan terlihat pengaruh atau tidaknya pengaruh variasi suhu *quenching* dan *tempering* terhadap kuat tarik, kekerasan dan struktur mikro hasil las *friction*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Tarik (*Tensile Test*)

• **Pengujian tanpa proses perlakuan panas**

Pengujian kekuatan tarik dilakukan di laboratorium pengujian bahan jurusan Teknik Sipil universitas Brawijaya. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja *medium carbon ST60* yang digunakan pada poros *rear axle shaft* sebelum perlakuan panas *quenching-tempering*. Spesimen uji tarik dapat dideskripsikan sebagai berikut :

Dimensi : ASTM E8M

Jumlah : 3 spesimen



Gambar2 Spesimen Uji Tarik

Hasil Uji kekuatan tarik pada spesimen pengelasan gesek sebelum perlakuan panas *quenching-tempering*, adalah sebagai berikut :

Tabel 1 Hasil Uji Tarik Spesimen Tanpa Perlakuan

No	P gesek (mpa)	P tempa (mpa)	T gesek (s)	T tempa (s)	RPM	O MPA	ε%	Suhu °C
1	2,757	4,136	6	2	1800	578,9	21,8	663
2	2,757	4,136	6	2	1800	554,4	23,6	663
3	2,757	4,136	6	2	1800	603,3	25,5	663

• **Pengujian dengan proses *quenching-tempering***

Pengujian kekuatan tarik dilakukan di laboratorium pengujian bahan jurusan Teknik Sipil universitas Brawijaya. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja *medium carbon ST60* yang digunakan pada poros *rear axle shaft* dengan perlakuan panas *quenching-tempering*. Spesimen uji tarik dapat dideskripsikan sebagai berikut :

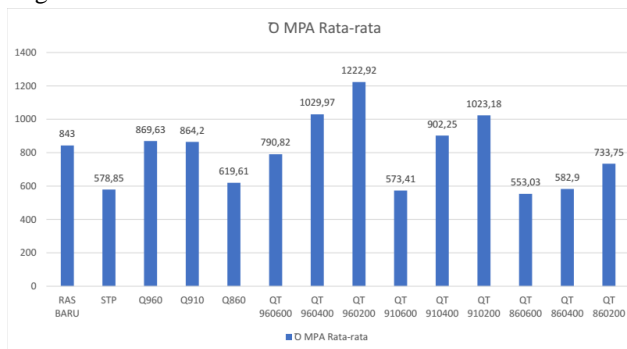
Dimensi : ASTM E8M

Jumlah : 36 spesimen

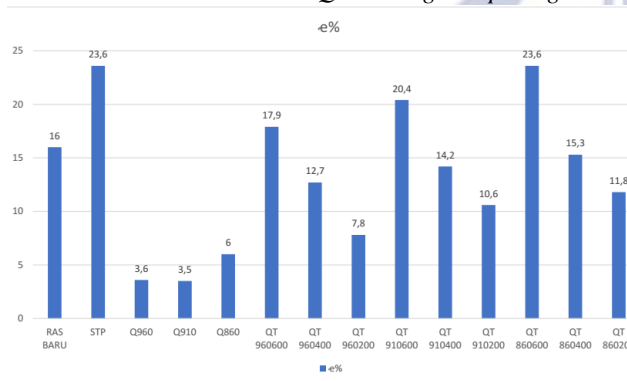


Gambar2 Spesimen Uji Tarik

Dalam pengujian quenching menggunakan media air garam dengan kadar 25% dan pendinginan *tempering* di dalam *furnace*, berikut hasil pengujian tarik tertera di gambar 5.



Gambar 3. Diagram Hasil Pengujian Rata-rata Kekuatan Tarik Spesimen Pengelasan Gesek Setelah Perlakuan Panas *Quenching-Tempering*



Gambar 4. Diagram Hasil Pengujian Rata-rata elongasi Spesimen Pengelasan Gesek Setelah Perlakuan Panas *Quenching-Tempering*

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 3 diatas adalah hasil uji tarik dengan perlakuan panas *quenching-tempering*, nilai kuat tarik tertinggi di tunjukkan pada *quenching-tempering* 960200 yaitu sebesar 1222,9 Mpa dan nilai terendah pada *quenching-tempering* 860600 sebesar 434,8 Mpa.

Grafik yang ditunjukkan pada gambar 4 diatas adalah elongasi dengan perlakuan panas *quenching-tempering*, nilai elongasi tertinggi ditunjukkan pada *quenching-tempering* 860600 sebesar 23,6% dan nilai terendah pada *quenching* 960 yaitu 3,6%.

Pada suhu *tempering* 200°C, terjadi peningkatan nilai kekuatan dan elongasi, dibandingkan nilai pada perlakuan *quenching*. Hal ini mengindikasikan lepasnya tegangan internal akibat proses *quenching*. Sedangkan pada bertambahnya suhu *tempering* menyebabkan penurunan nilai kekuatan tarik, kekerasan dan kenaikan keuletan.

Dalam uji statistik metode anova didapatkan bahwasanya data nilai uji atrik berdistribusi normal dan tidak homogen, tetapi pengujian anova dapat

berlanjut sepanjang distribusi data bersifat proporsional. Dalam pengujian *independent Sample F-Test* atau uji F dapat diketahui bahwa ada pengaruh yang signifikan pada variasi perlakuan panas *quenching* 960, 910, 860 dan *tempering* 200, 400, 600 terhadap kekuatan tarik spesimen hasil pengelasan *friction*

Hasil Pengujian Kekerasan

Hasil Pengujian Kekerasan (*Hardness Test*)

• **Pengujian Tanpa Proses Perlakuan Panas**

Pengujian kekerasan yang dipakai adalah metode Rockwell skala HRC di laboratorium pengujian bahan jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja *medium carbon ST60* yang digunakan pada poros *rear axle shaft* sebelum perlakuan panas *quenching-tempering*. Spesimen uji tarik dapat dideskripsikan sebagai berikut :

Dimensi : ASTM E8M

Jumlah : 39 spesimen



Gambar 5 Titik Pengujian Kekerasan

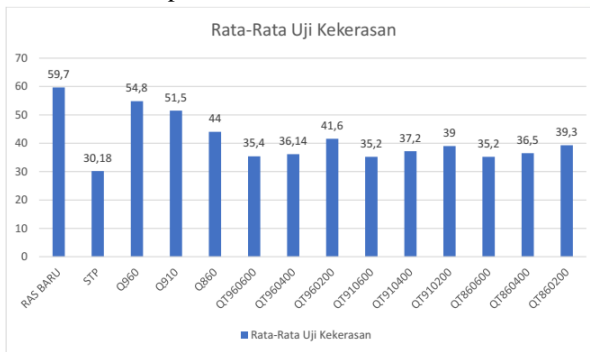
Hasil Uji kekuatan tarik pada spesimen pengelasan gesek sebelum perlakuan panas *quenching-tempering*, adalah seba gai berikut :

Tabel 2 Hasil Uji Kekerasan Spesimen Tanpa Perlakuan

KEKERASAN								
No	VARIABEL	HAZ	LAS	BM	HAZ	LAS	BM	RATA"
1	STP	1	31,2	37,8	19,5	32,36	38,56	19,63
		2	32,9	39,9	19,7			
		3	33	38	19,7			
								30,18

Pengujian Kekerasan dilakukan pada 3 daerah spesimen, yaitu *weld metal*, *heat affected zone* dan *base metal*. Efek pengelasan gesek menyebabkan perbedaan kekerasan, dimana *weld metal* mempunyai nilai kekerasan rata-rata yang lebih tinggi daripada daerah pengelasan lain. Hal ini disebabkan oleh tekanan tempa yang menyebabkan *weld metal* mempunyai kepadatan yang lebih tinggi daripada daerah lain.

- Pengujian dengan proses *quenching-tempering***
 Pengujian kekuatan tarik dilakukan di laboratorium pengujian bahan jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja *medium carbon ST60* yang digunakan pada poros *rear axle shaft* dengan perlakuan panas *quenching-tempering*. Spesimen uji tarik dapat dideskripsikan sebagai berikut :
 Dimensi : ASTM E8M
 Jumlah : 36 spesimen



Gambar 6. Diagram Hasil Pengujian Rata-rata Kekerasan Spesimen Pengelasan Gesek Setelah Perlakuan Panas *Quenching-Tempering*

grafik yang ditunjukkan pada gambar 6 diatas adalah hasil uji kekerasan dengan perlakuan *quenching-tempering*, nilai kekerasan tertinggi pada perlakuan *quenching* didapat pada perlakuan *quenching960* sebesar 54,8 HRC sedangkan nilai kekerasan terendah pada *quenching860* yaitu 41,4 HRC. sedangkan pada perlakuan *quenching-tempering* nilai tertinggi didapat pada *quenching-tempering960200* sebesar 40,1 HRC dan nilai terendah pada *quenching-tempering860600* sebesar 35,2 HRC.

Dalam uji statistik metode anova didapatkan bahwasanya data nilai uji Kekerasan berdistribusi normal dan bersifat homogen, Dalam pengujian *independent Sample F-Test* atau uji F dapat diketahui bahwa ada pengaruh yang signifikan pada variasi perlakuan panas *quenching* 960, 910, 860 dan *tempering* 200, 400, 600 terhadap kekerasan spesimen hasil pengelasan *friction*

Hasil Pengujian Struktur Mikro

Pengamatan struktur mikro bertujuan untuk melihat perubahan struktur mikro atau sifat mekanik yang terjadi sebelum dan setelah mengalami proses perlakuan panas *quenching-tempering*. Perbesaran yang digunakan dalam pengamatan ini adalah perbesaran 900 X. Pengujian ini dilakukan di laboratorium pengujian bahan Politeknik Negeri Malang, sampel yang akan

digunakan dalam penelitian ini memiliki deskripsi sebagai berikut:

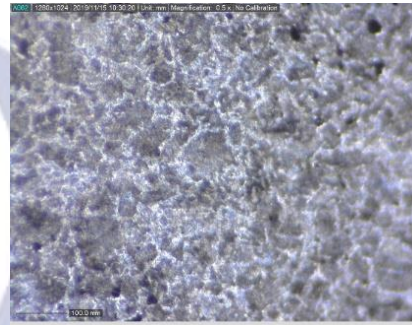
Dimensi : ASTM E8M

Jumlah : 39 spesimen



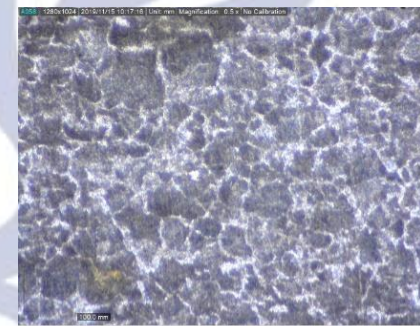
Gambar 7 Titik Pengujian Struktur Mikro Berikut hasil uji struktur mikro :

- Weld Metal* Spesimen Pengelasan**



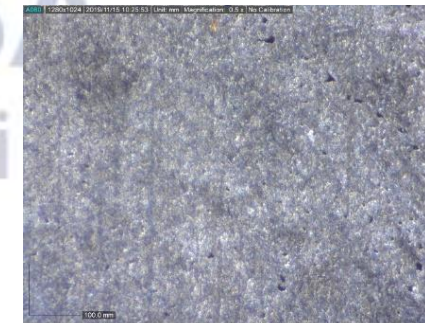
Gambar 8 *Weld Metal* Spesimen Pengelasan

- Weld Metal* Spesimen Perlakuan *Quenching***



Gambar 9 *Weld Metal* Spesimen Pengelasan Perlakuan *Quenching*

- Weld Metal* Spesimen Perlakuan *Tempering***



Gambar 10 *Weld Metal* Spesimen Pengelasan Perlakuan *Tempering*

Pada gambar 8 menunjukkan hasil foto mikro terlihat fasa ferit, fasa perlit dan fasa martensit. Fasa ferit ditunjukkan dengan warna cerah sedangkan fasa perlit ditunjukkan gambar yang berwarna gelap

halus yang menyebar dan fasa martensit yang berwarna gelap mengumpul. Jumlah fasa perlit terlihat lebih banyak dibanding fasa martensit dan terlihat sedikit fasa martensit yang menandakan bahwa *weld metal* bersifat ulet dan keras. Hal ini diperkuat dari hasil pengujian kekerasan dimana *weld metal* mempunyai nilai kekerasan yang lebih tinggi dibanding daerah *heat affected zone* dan *base metal*.

Pada gambar 9 menunjukkan hasil struktur mikro setelah perlakuan *quenching* dengan media air garam dan dihasilkan reaksi eutektoid pada pendinginan dari proses austenisasi 960°C sampai ke temperatur kamar. Dari gambar tersebut terlihat fasa martensit lebih dominan daripada fasa perlit dan ferit, sehingga dapat disimpulkan bahwa pada *weld metal* spesimen hasil pengelasan gesek yang diberi perlakuan *quenching* memiliki sifat mekanik keras dan kuat, tetapi getas. Hal ini diperkuat dari hasil pengujian kekerasan, dimana spesimen *quenching* memiliki nilai kekerasan yang tinggi, dan mengalami peningkatan nilai kuat tarik setelah perlakuan dibanding nilai kuat tarik spesimen pengelasan tanpa perlakuan, tetapi spesimen bersifat getas yang dikonfirmasi pada bentuk patahan yang berbentuk kristal.

Pada gambar 10 menunjukkan hasil struktur mikro setelah perlakuan tempering suhu 600°C yang didinginkan secara perlahan didalam furnace, ukuran butir setelah perlakuan tempering terlihat lebih halus dibanding butir pada perlakuan *quenching*. Pada gambar terlihat fasa ferit dan perlit lebih mendominasi matrik fasa, fasa martensit terlihat berbentuk bulat yang hitam yang jumlahnya sedikit, sehingga dapat diketahui spesimen pengelasan dengan perlakuan *quenching-tempering* bersifat sedikit keras dan juga ulet. Hal ini diperkuat dari pengujian kekerasan dan kuat tarik, setiap bertambahnya suhu *tempering* mengalami penurunan nilai kekerasan dan kuat tarik, tetapi nilai elongasi spesimen mengalami peningkatan.

Analisa Patahan Spesimen Uji Tarik

- Patahan Spesimen *Friction Welding*



Gambar 11 Patahan Hasil *Friction Welding*

- Patahan Spesimen *Quenching* 960°C



Gambar 12 Patahan Hasil *Quenching*

- Patahan Spesimen *Tempering* 600°C



Gambar 13 Patahan Hasil *Tempering* 600°C

- Patahan Spesimen *Tempering* 400°C



Gambar 14 Patahan Hasil *Tempering* 400°C

- Patahan Spesimen *Tempering* 200°C



Gambar 15 Patahan Hasil *Tempering* 200°C

Gambar 11 menunjukkan patahan hasil uji tarik pada spesimen pengelasan gesek (*friction welding*), patahan terjadi pada daerah *heat affected zone*. Pada spesimen pengelasan memiliki sifat mekanik kuat tarik sebesar 578,8 Mpa, elongasi 23% dan kekerasan sebesar 30,1 HRc, nilai elongasi mempengaruhi besarnya *necking* yang terjadi pada material spesimen.

Gambar 12 menunjukkan patahan hasil uji tarik pada spesimen perlakuan *quenching* 960°C. Patahan terjadi pada daerah *weld metal*. Spesimen *quenching* 960°C memiliki kuat tarik tertinggi pada perlaakuannya sebesar 804,2 Mpa, elongasi 3,5% dan kekerasan sebesar 54,8 HRc.

Gambar 13 menunjukkan patahan hasil uji tarik pada spesimen *quenching* 960°C dan *tempering* 600°C. Patahan terjadi pada daerah *heat affected zone* dan terlihat *necking* yang besar pada spesimen. Spesimen *tempering* 600°C memiliki nilai kuat tarik tertinggi pada perlaakuannya, yakni sebesar 790,8 Mpa, elongasi 17% dan kekerasan yakni 35,4 HRc.

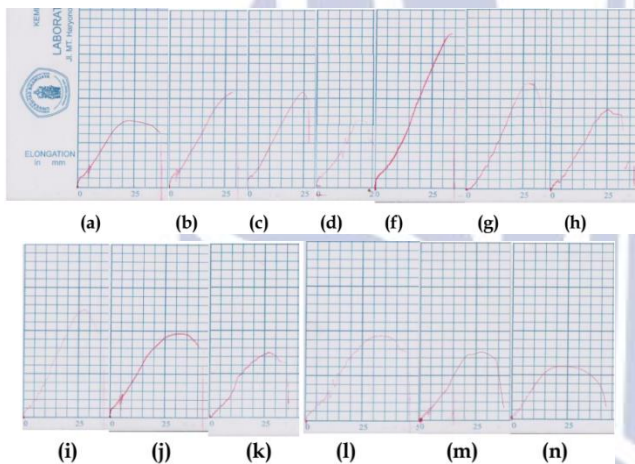
Gambar 14 menunjukkan patahan hasil uji tarik pada spesimen *quenching* 960°C dan *tempering* 400°C. Patahan terjadi pada daerah *heat affected zone* dan

terlihat necking yang besar pada spesimen. Spesimen *tempering* 400°C memiliki nilai kuat tarik tertinggi pada perlakuannya, yakni sebesar 1029,9 Mpa, elongasi 12% dan kekerasan yakni 36,16 HRc.

Gambar 15 menunjukkan patahan hasil uji tarik pada spesimen *quenching* 960°C dan *tempering* 200°C. Patahan terjadi pada daerah *weld metal* dan terlihat necking yang kecil pada spesimen. Spesimen *tempering* 200°C memiliki nilai kuat tarik tertinggi pada perlakuannya, yakni sebesar 1222,9 Mpa, elongasi 7,8% dan kekerasan yakni 41,6 HRc

Analisa Ketangguhan Spesimen Uji Tarik

Ketangguhan merupakan kemampuan menyerap energi tanpa mengakibatkan patah, dapat diukur dengan luasan yang berada dibawah kurva tegangan-regangan dari



hasil pengujian tarik

Gambar 12 Grafik Regangan-Tegangan Pengujian Tarik

Gambar 12 pada point (a) merupakan garfik tegangan-regangan tanpa perlakuan, point (b,c,d) grafik perlakuan *quenching* 960, 910 dan 860°C, point (f,g,h) grafik perlakuan *quenching* 960, 910, 860°C *tempering* 200°C, point (i,j,k) grafik perlakuan *quenching* 960, 910, 860°C *tempering* 400°C, point (l,m,n) grafik perlakuan *quenching* 960, 910, 860°C *tempering* 600°C.

Berdasarkan gambar 12 terlihat pengaruh pengaruh *tempering* terhadap ketangguhan, dimana *tempering* suhu 200°C terlihat peningkatan ketangguhan daripada spesimen dengan perlakuan *quenching*. Terlihat lebih besar luasan pada kurva tegangan-regangan.

Penambahan suhu *tempering* menunjukkan grafik semakin bertambah panjang ke sumbu x, tetapi grafik semakin menurun pada sumbu y. Hal ini menunjukkan semakin grafik bertambah panjang ke kanan, ketangguhan bahan semakin meningkat, tetapi nilai kekuatan tarik yang mampu diterima bahan semakin menurun.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut:

- Proses perlakuan panas *quenching-tempering* dengan variasi suhu *quenching* 960, 910, 860°C dan suhu *tempering* 200, 400, 600°C berpengaruh terhadap nilai kekuatan tarik, kekerasan dan struktur mikro pada poros hasil *repair* menggunakan pengelasan gesek. Dimana nilai kekuatan tarik yang tertinggi dari penelitian ini adalah dengan perlakuan *quenching* 960°C *tempering* 200°C sebesar 1222,9 Mpa dan nilai terendah pada *quenching* 860°C *tempering* 600°C sebesar 553 Mpa. Nilai kekerasan tertinggi pada perlakuan *quenching* sebesar 54,8 HRc, sedangkan nilai kekerasan terendah pada perlakuan *quenching* 910°C *tempering* 600°C sebesar 35,2 HRc. Dimana fasa martensit yang terbentuk pada perlakuan *quenching* mempengaruhi nilai kuat tarik dan kekerasan pada poros hasil *repair* menggunakan pengelasan gesek
- Kekerasan dan kekuatan tarik pada *rear axle shaft genuine* mempunyai spesifikasi kuat tarik yaitu Oult 843 Mpa, elongasi 16,3% dan kekerasan sebesar 55,3-64,1%. Pada kekerasan dan kekuatan tarik *repair rear axle shaft* mempunyai nilai yang terbaik pada pembahasan, yaitu pada perlakuan panas *quenching* 910°C *tempering* 400°C dengan nilai kuat tarik sebesar Oult 902,2 Mpa, elongasi 14,2% dan kekerasan sebesar 37,2. Pada proses *repair rear axle shaft* truk kuat tarik melebihi spesifikasi mekanik *rear axle shaft* truk *genuine* tetapi nilai kekerasan dan elongasi masih dibawah nilai *rear axle shaft* truk *genuine*

Saran

- Pada penelitian selanjutnya memfokuskan untuk memperhatikan konstruksi alat pengelasan gesek agar lebih rigid sehingga hasil pengelasan gesek mempunyai *alignment* yang baik dan mengurangi *trouble* pada hasil pengelasan
- Penelitian selanjutnya diharapkan untuk meneliti pengaruh pengerasan menggunakan metode *induction hardening* terhadap kekuatan tarik dan kekerasan pada *repair rear axle shaft* truk
- Pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk meneliti pengaruh variasi tekanan dan waktu, pada langkah gesek *friction welding* dengan aplikasi *repair rear axle shaft medium carbon steel*
- Pada penelitian selanjutnya diperlukan lagi lebih banyak variasi untuk menentukan suhu *quenching-*

tempering yang terbaik untuk proses repair rear axle shaft dan menambah referensi keilmuan repair rear axle shaft

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook Vol.4. 1991. *Heat treating*. United states: ASM International
- ASM Handbook Vol.6. 1993. *Welding Brazing and Soldering*. United State:ASM International
- Collins, J. 1981. *Failure of Materials in Mechanical Design*. United States
- Djafrie Sriatie. 1986. *Meta;urgi Mekanik Edisi Ketiga*.
- Firdaus. 2013. "Laporan Kerja Praktik di Pt Inti Ganda Perdana, Yogyakarta: UGM.
- George E. Totten. 2007. *Steel Heat Treatment. Second Edition*. USA: Taylor and Francis Group
- Groover, P, Mikell. 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing Material. Fourth edition*. USA
- Herman, W, Sugiyanto. 2017. "Pengujian Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Pada Sambungan Pengelasan Gesek Sama Jenis Baja ST60, Sama Jenis AISI 201, dan Beda Jenis Baja ST60 dengan AISI 201", Semarang: Polines
- Orosa, N. R. 2012. "Analisis Kegagalan *Rear Axle Shaft Truck* Kapasitas 7.5 Ton", Depok: UI
- S. H. Avner, 1974. *Introduction to Physical Metallurgy, Second Edition*: McGraw Hill Book Company
- Wirjosumarto, H, Okumura. 2000. *Teknologi Pengelasan Logam*

