

Analisa Pengaruh Media Quenching dan Waktu Pengelasan Terhadap Kekuatan Tarik Pada Friction Welding Baja ST60 Dengan Menggunakan Metode Taguchi

Achmad Jazi' Nur Cahyono¹⁾, Febi Rahmadianto²⁾

^{1),2)}Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Raya Karanglo, Km 2 Malang
Email : achmadjazik@gmail.com

Abstrak. Metode pengelasan untuk penyambungan logam sering dilakukan di dunia industri khususnya pada bidang manufaktur, karena berperan sangat penting didalam rekayasa dan memproduksi logam. Cara kerja dari pengelasan dibedakan menjadi beberapa bagian diantaranya adalah pengelasan cair, las tekan dan pematrian. Didalam las tekan terdapat macam - macam las, salah satunya las gesek. Pengelasan gesek adalah suatu teknik pengelasan yang memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh gesekan. Pada Permukaan dari kedua material yang akan las, satu berputar sedangkan yang satunya tidak berputar, kemudian bersentuhan akibat dorongan dari gaya tekan. Dalam metode penelitian ini menggunakan variasi media quenching air mineral, oli SAE 20W-50 dan coolant. Waktu pengelasan yang digunakan 30 detik, 45 detik dan 60 detik dengan material baja st 60. Dari hasil penelitian pada pengelasan gesek baja st 60 dengan menggunakan metode taguchi, berdasarkan larger is better didapatkan nilai kekuatan tarik terbesar pada media quenching coolant yaitu sebesar 23,02 kgf/mm² dan waktu pengelasan 60 detik yaitu sebesar 22,03 kgf/mm².

Kata kunci : Pengelasan Gesek, Baja ST 60, Metode Taguchi.

1. Pendahuluan

Metode pengelasan untuk penyambungan logam sering dilakukan di dunia industri khususnya pada bidang manufaktur, karena berperan sangat penting didalam rekayasa dan memproduksi logam. Cara kerja dari pengelasan dibedakan menjadi beberapa bagian diantaranya adalah pengelasan cair, las tekan dan pematrian. Didalam las tekan terdapat macam - macam las, salah satunya las gesek. Pengelasan menggunakan elektroda terbungkus sangat sering digunakan oleh masyarakat. Pada pengelasan menggunakan elektroda terbungkus lebih cocok digunakan untuk mengelas material plat datar. Untuk mengelas material dengan bentuk pejal, pengelasan dengan menggunakan elektroda terbungkus sangat sulit dilakukan. Apabila digunakan untuk mengelas material dengan bentuk pejal, hasilnya akan kurang baik. Adapun solusi untuk mengelas material berbentuk pejal yaitu menggunakan pengelasan gesek (*friction welding*).

Pengelasan gesek adalah suatu teknik pengelasan yang memanfaatkan panas yang dihasilkan oleh gesekan. Pada Permukaan dari kedua material yang akan las, satu berputar sedangkan yang satunya tidak berputar, kemudian bersentuhan akibat dorongan dari gaya tekan. Gesekan dari kedua material dilakukan secara konstan sehingga panas yang dihasilkan akibat gesekan yang berkelanjutan akan terus meningkat dan berkelanjutan. Dengan menggunakan panas dan gaya tekan dikedua permukaan material hingga kedua material bersentuhan dan mencapai suhu leleh (*melting temperature*) maka akan terjadi proses pengelasan. Hasil sambungan las gesek cenderung lebih bersih dan rapi sehingga cocok untuk bahan aluminium yang sering digunakan untuk membuat rangka sepeda, body kapal, hingga *spare part* otomotif lainnya. Bahan lain yang juga sering digunakan pada metode pengelasan *Friction Welding* adalah Baja, Alloy, Stainless Steels serta beberapa logam lainnya.

Didalam proses pengelasan, suhu yang tinggi dilibatkan untuk melebur bagian logam pengisi dan logam induk. Suhu tinggi yang dilibatkan tersebut bukan tanpa alasan, yang mana struktur dari logam tersebut akan berubah, selanjutnya akan dilakukan proses pendinginan pada logam tersebut, didalam proses pendinginan struktur akan mengalami perubahan dan mengakibatkan sifat mekanis dan sifat fisis pada logam. Perubahan tersebut terjadi terutama disekitar pengelasan atau biasa disebut dengan daerah HAZ (*Heat Affected Zone*). Daerah HAZ tersebut letaknya disekitar logam induk kiri dan kanan pada logam

hasil lasan dan struktur mikro akan mengalami perubahan yang terbesar. Akibat struktur mikro tersebut berubah maka sifat mekanis mulai dari kekenyalan, kekuatan, kekerasan, keliatan, kegetasan, dan ketahanan ausnya juga akan mengalami perubahan.

Haikal, Dkk. (2020) dalam penelitiannya yang berjudul “Pengaruh Tekanan dan Waktu Pengelasan pada Pengelasan Gesek (*Friction Welding*) terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Sambungan Logam Tak Sejenis antara AISI 316 dan AISI 4140” menjelaskan bahwa semakin besar tekanan gesek dan waktu gesek yang diberikan, semakin besar pula kekuatan tarik yang dicapai. Pada penelitian tersebut menggunakan variasi tekanan dan waktu pengelasan. Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian sifat fisik dan sifat mekanik yang meliputi uji tarik, uji kekerasan dan uji struktur mikro.

Agus, Rohman & Dimas (2022) dalam penelitiannya yang berjudul “Analisis Sifat Mekanis Baja ST 60 Hasil Pengelasan *Friction Welding* Dengan Variasi pendingin” menjelaskan bahwa media pendingin yang digunakan mempengaruhi kekuatan tarik dan kekerasan heat treatment. Pada penelitian tersebut peneliti menggunakan variasi pendingin berupa oli, air garam, udara dan air. Material yang digunakan baja ST 60. Pengujian yang dilakukan berupa uji kekerasan dan uji tarik.

2. Pembahasan

2.1. Rumusan Masalah

Adapun Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh media *quenching* dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik pada *friction welding* baja st60?

2.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh media *quenching* dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik pada *friction welding* baja st60.

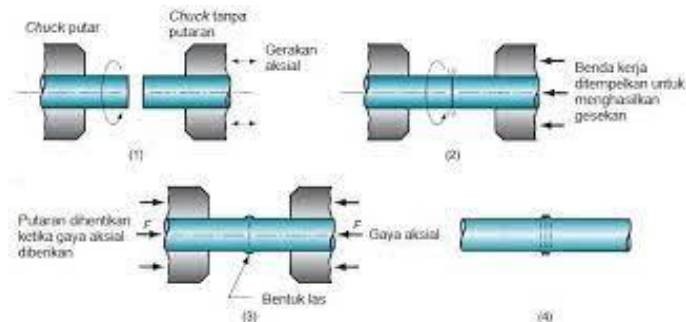
2.3. Pengelasan

Pengelasan adalah sebuah proses menyambung logam, proses penyambungan lainnya seperti keling dan baut. Berbeda diantara keduanya bahwa pengelasan harus mendapatkan perhatian khusus diantaranya yaitu jenis-jenis pengelasan, klasifikasi-klasifikasi pengelasan, dan karakteristik pengelasan. *Deutsche Industrie Normen* (DIN) menjelaskan bahwa las merupakan proses metalurgi pada sambungan logam paduan dan dilakukan dengan keadaan cair. berdasarkan pengertian tersebut dapat didefinisikan lebih lanjut bahwa las merupakan proses menyambung dua logam atau lebih menggunakan energi panas. Akibat proses pengelasan, logam yang berada disekitar daerah lasan akan mengalami siklus termal yang cepat dan akan mengakibatkan terjadinya sebuah proses perubahan tegangan termal, metalurgi yang rumit dan deformasi. Dalam hal ini sangat erat hubungannya dengan cacat las, ketangguhan, retakan dan sebagainya yang pada umumnya terdapat pengaruh yang sangat fatal pada keamanan dari benda yang lakukan pengelasan dan sifat logam lunak dan logam kuat akan berubah akibat terjadinya panas pengelasan. Jika dibandingkan dengan teknik penyambungan yang lain, teknik pengelasan lebih banyak digunakan. Hal ini dikarenakan penyambungan dengan las sangat mudah dilakukan, yang mana dengan mencairkan terlebih dahulu sebelum dilakukan penyambungan. Pada umumnya struktur mikro dan sifat mekanis pada logam bergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu austenite sampai ke suhu kamar. Akibat perubahan sstruktur ini maka sifat-sifat mekanis yang dimiliki juga berubah dengan sendirinya. Apabila kecepatan pendingin meningkat yang berarti waktu pendingin dari suhu *austenite* turun, struktur akhir yang terjadi berubah dari campuran *ferit-perlit* ke campuran *ferit-perlit-bainit-martensit*, *ferit-bainit-martensit*, kemudian *bainit-martensit* dan akhirnya pada pendingin kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah *martensit* [1].

2.4. Las Gesek (*Friction Welding*)

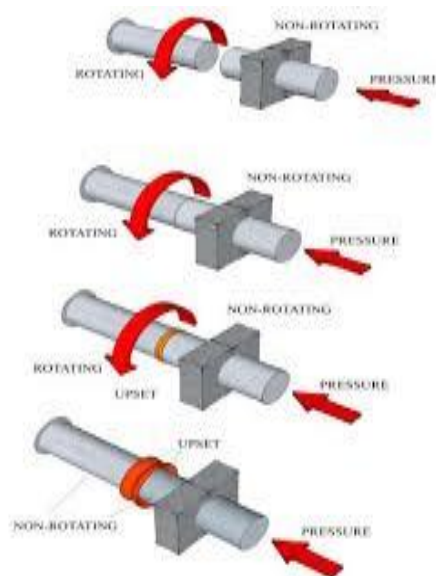
Las gesek atau *friction welding* merupakan pengelasan dengan solid-state yang mana penyambungan didapatkan berdasarkan kombinasi dari panas yang diakibatkan gesekan dan tekanan. Gesekan terjadi di dua permukaan material yang mana satu berputar dan yang satu diam kemudian suhu dari kedua permukaan material akan meningkat. Suhu yang didapatkan biasanya dalam kisaran suhu pengerjaan

panas. Kedua material tersebut kemudian disatukan menggunakan gaya yang tepat agar menghasilkan bentuk ikatan metalurgi. Las gesek biasanya tidak menggunakan bahan pengisi. Pengelasan ini juga tidak membutuhkan fluks. Selain itu, FRW tidak menggunakan gas pelindung dan tidak melelehkan benda kerja [2].



Gambar 1. *Friction Welding*

2.5. Prinsip Kerja Las Gesek



Gambar 2. Skema Pengelasan Gesek

AL Chudikov pada 1950, ahli mesin yang berasal dari Uni Soviet, menjelaskan tentang hasil dari pengamatannya tentang teori tenaga mekanik dapat diubah menjadi energi panas. Sebuah gesekan yang terjadi didalam bagian mesin yang bergerak dapat mengakibatkan kerugian yang banyak dikarenakan sebagian dari tenaga mekanik yang dihasilkan dapat berubah menjadi panas. Menurut Chudikov, proses ini seharusnya bisa digunakan untuk proses pengelasan. Setelah melakukan penelitian dan percobaan yang dilakukan, dia sukses dalam mengelas dengan memanfaatkan energy panas yang ditimbulkan oleh gesekan. Untuk meningkatkan panas yang didapatkan, material tidak hanya diputar pada salah satu sisinya, akan tetapi juga ditekan satu dengan yang lainnya. Tekanan juga dapat berfungsi untuk mempercepat fusi. Cara seperti ini disebut las gesek [3]. Pada gambar 2 ditunjukan sebuah skema proses dari proses pengelasan gesek, kedua material yang akan dilas dengan menggunakan pengelasan gesek, material yang satu berputar dan material satunya tidak berputar. Proses gesekan terjadi disaat material yang tidak berputar diberi gaya tekan, panas yang terjadi akibat gesekan akan meningkat secara terus menerus selama diberikan gaya tekan gaya tekan di berikan secara terus menerus sampai mendapatkan suhu leleh (*melting*) dan akan terjadi fusi dikedua permukaan material yang saling bergesekan.

2.6. Baja ST 60

Baja karbon ialah baja yang mengandung karbon antara 0,3% sampai 1,7%. Baja ST60 merupakan golongan baja karbon sedang, yaitu mempunyai kandungan karbon 0,564%. Pada baja ST60 terdapat kandungan mangan 0,697% yang mempunyai sifat tahan aus dan keras. DIN (*Deutsches Institut for Normung*) merupakan kode standarisasi dari jerman yang mana merupakan kode dari baja ST60 itu sendiri. kode St adalah singkatan *steel* sedangkan angka yang berada dibelakang St adalah kode yang menunjukkan nilai kekuatan tarik maksimum dari baja ST60. Baja ST60 mempunyai nilai kekuatan tarik hingga 600 kg/mm². Baja ST60 biasanya diaplikasikan untuk material roda gigi, poros, rangka jembatan dan peralatan pemesinan [4].

2.7. Quenching

Quenching atau pendinginan cepat merupakan salah satu proses perlakuan panas dengan laju pendinginan cepat yang menggunakan media pendingin air, oli dan *coolant*. Tujuan dari proses pendinginan adalah untuk menghasilkan kekerasan pada sifat mekanik. *Quenching* merupakan sebuah proses perpindahan panas pada material baja akibat pendinginan dengan sangat cepat mulai fasa austenit pada suhu 815-870°C. Media untuk pendinginan yang digunakan untuk proses pendinginan yaitu menggunakan air, oli, coolant, larutan garam, larutan cuka dan udara. Media pendinginan yang digunakan tergantung pada komposisi kimia baja yang akan diproses, kekerasan yang akan dicapai, dan kompleksitas dari bentuk material. Metode *quenching* dapat diperoleh berdasarkan jenis baja yang digunakan, ketebalan penampang dari material, dan sifat yang akan didapatkan dari material yang akan diproses [5].

2.8. Pengujian Tarik

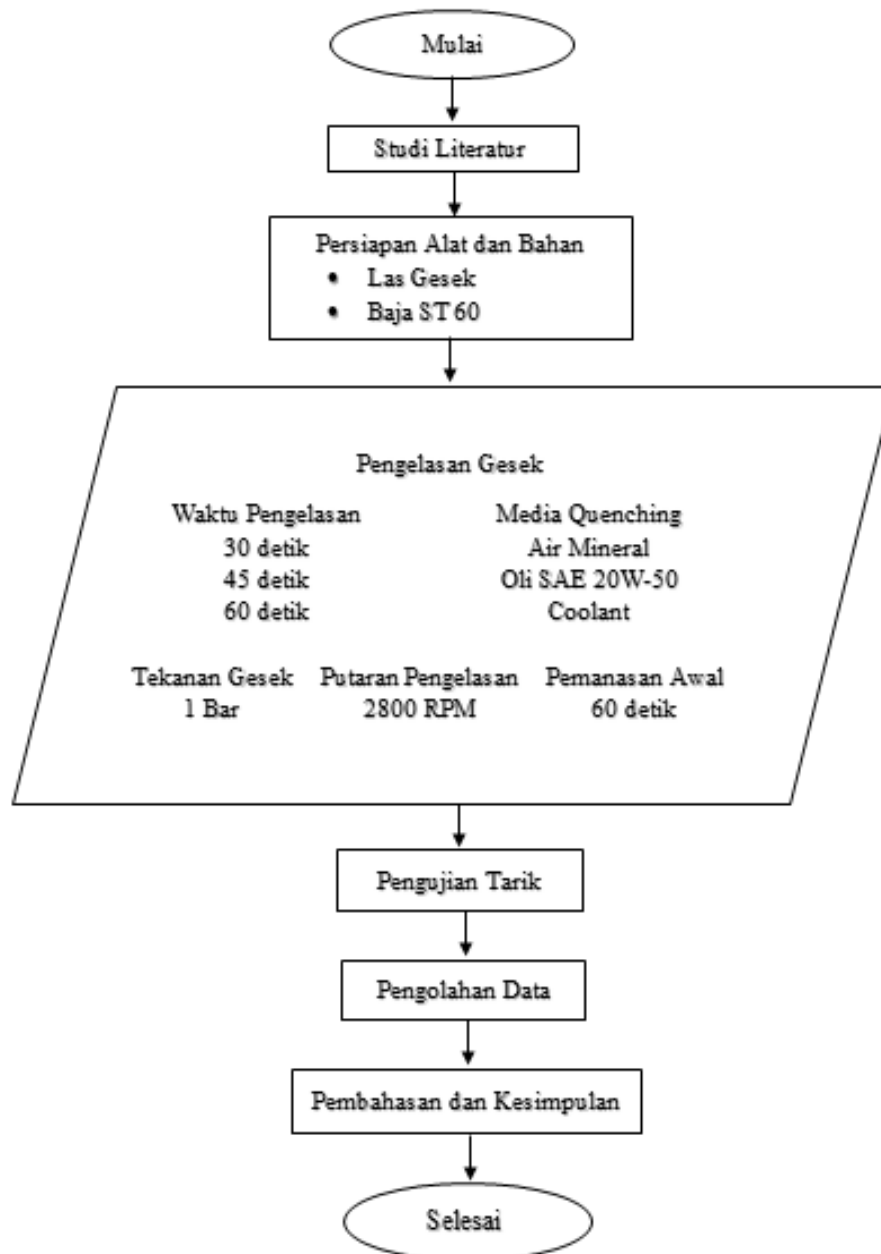
Pengujian tarik merupakan pengujian mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan tarik dari material [6]. Saat pengujian, material ditarik hingga putus, maka akan menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kurva hasil pengujian. Hubungan antara gaya tarik dan perubahan panjang juga ditunjukkan dalam kurva tersebut. Dalam pengujian tarik, material yang diuji akan diberikan beban gaya tarik dan akan bertambah secara konstan kemudian akan putus, selama proses pengujian juga melakukan pengamatan terhadap nilai perpanjangan yang dihasilkan oleh material uji. Pada pengamatan perpanjangan material uji juga akan mendapatkan kurva tegangan regangan rekayasa.

2.9. Metode Taguchi

Pada tahun 1949, Dr. Genichi Taguchi mencetuskan metode taguchi saat dia diberikan tugas untuk memperbaiki sistem telekomunikasi yang berada di Jepang. Metode taguchi bertujuan untuk memperbaiki kualitas dari produk serta juga dapat meminimalisir biaya. Metode taguchi merupakan metode baru didalam bidang teknik. Sasaran dari Metode Taguchi yaitu membuat produk *robust* terhadap *noise*, oleh karenanya sering disebut *Robust Design*. Menurut taguchi definisi kualitas ialah kerugian yang didapatkan oleh masyarakat saat pengiriman produk [7]. Karakteristik kualitas merupakan hasil dari suatu proses yang berkaitan erat dengan kualitas produk yang melalui proses tersebut. Menurut taguchi, karakteristik dari kualitas yang terukur bisa dibagi menjadi 3 kategori.

1. *Nominal is the best*
Karakteristik kualitas yang menuju suatu nilai terget yang tepat disuatu nilai tertentu.
2. *Smaller the better*
Pencapaian karakteristik bila semakin rendah (mendekati nol : nol merupakan nilai ideal dalam hal ini) semakin baik.
3. *Larger the better*
Pencapaian karakteristik kualitas semakin tinggi semakin baik.

2.10. Metodologi Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

1. Studi Literatur
 Studi literatur merupakan langkah mencari referensi yang relevan dengan permasalahan atau kasus yang didapatkan. Bertujuan untuk mendukung permasalahan dan juga sebagai dasar teori dalam melaksanakan penelitian.
2. Persiapan Alat dan Bahan
 Proses mempersiapkan alat-alat yang digunakan untuk penelitian, dimana alat tersebut berupa las gesek. Selain itu dalam tahap ini juga dipersiapkan material untuk spesimen berupa Baja ST 60.
3. Pengelasan Gesek
 Proses pengelasan gesek menggunakan variasi waktu pengelasan, yaitu 30 detik, 45 detik dan 60 detik. Variasi media quenching menggunakan air mineral, oli SAE 20W-50 dan *coolant*. Tekanan gesek saat pengelasan konstan, yaitu 1 bar. Kecepatan putar pengelasan konstan, yaitu 2800 RPM. Pemanasan awal sebelum pengelasan konstan, yaitu 60 detik.

4. Pengujian Tarik
Pengujian tarik dilakukan setelah spesimen dilas dan dibubut menggunakan mesin bubut *type* SN-46-S-1000 *European Standard*. Spesimen uji tarik dibuat menurut *standart* ASTM E8. Pengujian tarik dilakukan dengan alat uji tarik pada Laboratorium Material Teknik Mesin ITN MALANG.
5. Pengolahan Data
Pengolahan data dilaksanakan dengan cara membandingkan hasil dari penelitian dan pengujian pada masing-masing material yang telah diberi perlakuan berbeda untuk selanjutnya dianalisis dalam pembahasan.
6. Pembahasan dan Kesimpulan
Pembahasan adalah proses menganalisis data hasil pengujian berdasarkan referensi yang berhubungan dengan permasalahan dalam penelitian dengan metode taguchi. Proses penarikan kesimpulan adalah proses akhir dari penelitian yang berisi kesimpulan hasil pengaruh variasi media *quenching* dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik pada *friction welding* baja ST 60 dengan menggunakan metode taguchi.

2.11. Perencanaan Penelitian

Terdapat beberapa variabel yang digunakan dalam perencanaan penelitian, yaitu :

1. Variabel bebas
Variabel bebas adalah variabel yang ditentukan sebelum penelitian.
Variabel bebas pada penelitian ini adalah :
 - a. Variasi media pendinginan menggunakan air mineral, oli SAE 20W-50 dan *coolant*.
 - b. Variasi waktu pengelasan 30 detik, 45 detik dan 60 detik.
2. Variabel terikat
Variabel terikat merupakan variabel yang nilainya bergantung pada variabel bebas.
Variabel terikat pada penelitian ini adalah : kekuatan tarik
3. Variabel terkontrol
Variabel terkontrol merupakan variabel yang nilainya dikendalikan selama penelitian.
Variabel terkontrol pada penelitian ini adalah :
 - a. Putaran saat pengelasan 2800 RPM
 - b. Tekanan gesek saat pengelasan 1 Bar
 - c. Pemanasan awal sebelum pengelasan 60 detik
 - d. Material yang digunakan baja ST 60 Ø 16 mm

2.12. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan selama 3 bulan, mulai dari bulan Maret sampai Mei 2022 dan dilaksanakan di dua tempat berbeda, yaitu :

1. Pengerjaan : Laboratorium Proses Produksi II Teknik Mesin ITN Malang
2. Pengujian : Laboratorium Material Teknik Mesin ITN Malang

2.13. Hasil dan Pembahasan

Pengujian Tarik dilaksanakan setelah spesimen dilas menggunakan las gesek dan dilakukan pendinginan cepat. Pengujian tarik dilaksanakan di laboratorium material Teknik Mesin ITN Malang. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja ST 60 yang digunakan pada poros *rear axle shaft*. Spesimen uji tarik dijelaskan sebagai berikut :

1. Standar : ASTM E8
2. Jumlah spesimen : 54 Buah



Gambar 3. Sampel Uji Tarik

Tabel 1. Hasil Pengujian tarik

No	Media Quenching	Waktu Pengelasan	Tekanan Gesek	Uji 1 (Kgf/mm ²)	Uji 2 (Kgf/mm ²)	Uji 3 (Kgf/mm ²)	Rata-rata (Kgf/mm ²)
1	Air Mineral	30 detik	1 bar	4,686	3,008	0,839	2,844
2	Air Mineral	45 detik	1 bar	46,997	43,023	1,987	30,669
3	Air Mineral	60 detik	1 bar	28,150	47,812	9,831	28,597
4	Oli SAE 20W-50	30 detik	1 bar	28,833	10,215	9,309	16,119
5	Oli SAE 20W-50	45 detik	1 bar	51,016	39,484	5,766	32,088
6	Oli SAE 20W-50	60 detik	1 bar	26,511	35,626	4,557	22,231
7	Coolant	30 detik	1 bar	28,734	42,485	6,875	26,031
8	Coolant	45 detik	1 bar	13,059	28,387	12,664	21,370
9	Coolant	60 detik	1 bar	30,712	51,224	10,256	30,730

Tabel 2. Data Metode Taguchi

Minitab - Untitled						
File Edit Data Calc Stat Graph View Help Assistant Predictive Analytics Module Add						
↓	C1-T	C2-T	C3-T	C4	C5	C6
	Media Quenching	Waktu Pengelasan	Tekanan Gesek	Uji 1	Uji 2	Uji 3
1	Air Mineral	30 detik	1 bar	4,686	3,008	0,839
2	Air Mineral	45 detik	1 bar	46,997	43,023	1,987
3	Air Mineral	60 detik	1 bar	28,150	47,812	9,831
4	Oli SAE 20W-50	30 detik	1 bar	28,833	10,215	9,309
5	Oli SAE 20W-50	45 detik	1 bar	51,016	39,484	5,766
6	Oli SAE 20W-50	60 detik	1 bar	26,511	35,626	4,557
7	Coolant	30 detik	1 bar	28,734	42,485	6,875
8	Coolant	45 detik	1 bar	13,059	28,387	12,664
9	Coolant	60 detik	1 bar	30,712	51,224	10,256

Data hasil Taguchi

————— 06/06/2022 20 : 11 : 31 —————

Welcome to Minitab, press F1 for help.
 Results for : Worksheet 2

Taguchi Design

Taguchi Orthogonal Array Design

L9(3**3)

Factors : 3

Runs : 9

Columns of L9(3**4) Array

1 2 3

Taguchi Analysis : Uji 1; Uji 2; ... versus Media Quench; Waktu Pengel; ...

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Media Waktu Tekanan

Level Quenching Pengelasan Gesek

1 12,49 15,08 14,69

2 19,63 18,03 18,79

3 23,02 22,03 21,66

Delta 10,53 6,95 6,97

Rank 1 3 2

Response Table for Means

Media Waktu Tekanan

Level Quenching Pengelasan Gesek

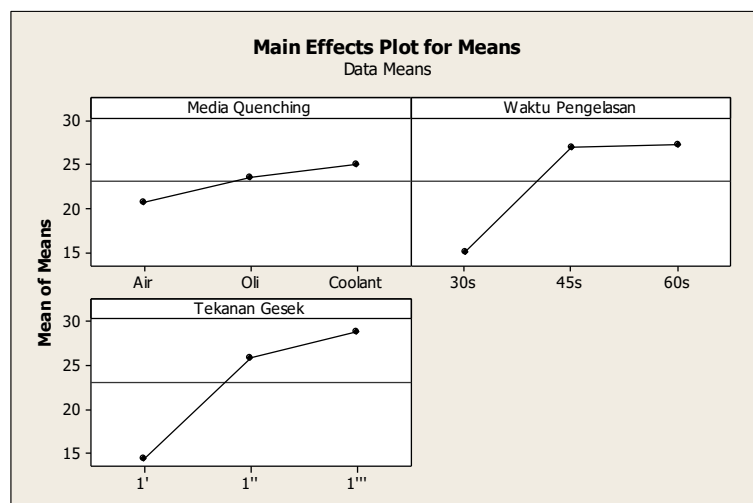
1 20,70 15,00 14,37

2 23,48 26,93 25,84

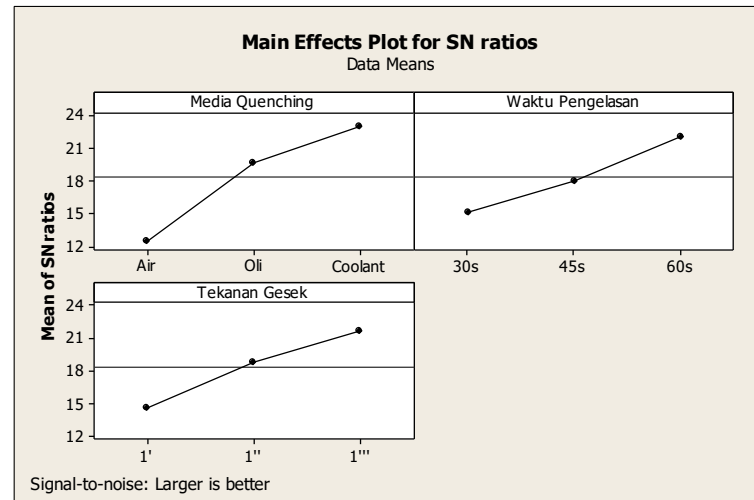
3 24,93 27,19 28,91

Delta 4,23 12,19 14,54

Rank 3 2 1



Gambar 4. Grafik *Response Table for Means*



Gambar 5. Grafik *Larger is Better*

Dari hasil pengujian yang dilakukan menghasilkan nilai kekuatan tarik dengan variasi media *quenching* dan variasi waktu pengelasan dalam bentuk tabel. Tabel diatas menunjukkan nilai kekuatan tarik terbesar terdapat pada media *quenching* oli dengan variasi waktu pegelasan 45 detik yaitu sebesar 32,088 kgf/mm². Sedangkan nilai kekuatan tarik terkecil terdapat pada media *quenching* air mineral dengan variasi waktu 30 detik yaitu sebesar 2,844 kgf/mm². Hasil pengujian metode taguchi, berdasarkan *response table for signal to noise ratios* dan plot grafik diatas, dapat dilihat bahwa nilai kekuatan tarik terbesar dengan *larger is better* pada media *quenching* terdapat pada *coolant* yaitu sebesar 23,02 kgf/mm², sedangkan nilai terkecil terdapat pada air yaitu sebesar 12,49 kgf/mm². Pada variasi waktu pengelasan, nilai terbesar terdapat pada variasi waktu 60 detik yaitu sebesar 22,03 kgf/mm², sedangkan nilai terkecil terdapat pada variasi waktu 30 detik yaitu sebesar 15,08 kgf/mm².

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan terhadap pengaruh variasi media *quenching* dan waktu pengelasan terhadap kekuatan tarik pada *friction welding* baja ST 60 dengan menggunakan metode taguchi, dapat disimpulkan bahwa nilai kekuatan tarik dapat di pengaruhi oleh media *quenching* dan waktu pengelasan. Hal tersebut dapat dibuktikan dari hasil pengujian yang menghasilkan nilai dari kekuatan terbesar terjadi pada media *quenching coolant* dan waktu pengelasan 60 detik.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaika kepada berbagai pihak yang telah banyak membantu selama proses penelitian hingga penyusunan jurnal.

1. Prof. Dr. Eng. Ir. Abraham Lomi, MSEE, selaku Rektor ITN Malang
2. Dr. Ellysa Nuranti, ST. MT., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri ITN Malang
3. Dr. I Komang Astana Widi, ST. MT., selaku ketua Program Studi Teknik Mesin S-1 ITN Malang
4. Bapak Febi Rahmadiano, ST. MT., selaku dosen pembimbing
5. Orang tua serta keluarga, yang telah memberikan do'a, semangat, dukungan, dan motivasi serta telah membiayai penulis
6. Rekan seperjuangan khususnya Teknik Mesin S-1

Daftar Pustaka

- [1]. Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2000). *Teknologi Pengelasan Logam*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- [2]. Derniawan, T. H., Nurdin, Fakhriza, & Mawardi. (2021). Analisa Pengaruh Putaran Spindel Pada Friction Welding Terhadap Tensile Strength Aluminium 6061. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, V, 46-51.
- [3]. Saputra, W. A. (2020). *Analisis Pengaruh Variasi Pemanasan dan Waktu Penekanan Terhadap Sifat Mekanis Hasil Pengelasan Gesek Baja ST 37 dengan Metode Taguchi*. Malang : Institut Teknologi Nasional Malang.
- [4]. Putra, R. R., Jokosisworo, S., & Santosa, A. W. (2017). Analisa Kekuatan Puntir, Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja ST 60 sebagai Bahan Poros Baling-baling Kapal (Propeller Shaft) setelah Proses Tempering. *Jurnal Teknik Perkapalan*, V, 257-264.
- [5]. Waas, K., & Waas, V. D. (2020). Pengaruh Holding Time Dan Variasi Media Quenching Terhadap Nilai Kekerasan Baja Karbon Rendah ST 42 Pada Proses Pengkarbonan Padat Menggunakan Arang Batok Biji Pala (*Myristica Fagrans*). *Jurnal Simetrik*, X, 269-278.
- [6]. Rahmadiano, F., Purnowidodo, A., & Soenoko, R. (2014). Upaya Peningkatan Sifat Mekanik Baja Mild Steel Melalui Perbaikan Kualitas dengan Heat Treatment Annealing dan Holding Time pada Heat Treatment dengan Taguchi Method. *Jurnal Rekayasa Mesin*, V, 9-16.
- [7]. Anggraini, D., Dewi, S. K., & Saputro, T. E. (2015). Aplikasi Metode Taguchi Untuk Menurunkan Tingkat Kecacatan Pada Produk Paving. *Jurnal Teknik Industri*, XVI, 1-9.