Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

Pengaruh Variasi *Quenching-Holding Time* terhadap Nilai Tegangan Tarik pada Proses Pengelasan Baja Karbon Rendah

Author:
Syaiful[1]
Muhammad Ghufron Fuadi[2]

Afiliation:
[1,2]Akademi Komunitas Industri Manufaktur Bantaeng

Corresponding email
syaiful@akom-bantaeng.ac.id

This is an Creative Commons License This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

Abstrak:
Pengelasan telah menjadi teknologi penting dalam berbagai bidang industri, pengelasan memegang peranan yang sangat penting dalam berbagai bidang manufaktur dan industri serta menjadi teknologi kunci yang memungkinkan produksi berbagai produk dan infrastruktur. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai tegangan tarik setiap spesimen dari proses *heat treatment*. Penelitian menggunakan metode eksperimen dengan jumlah spesimen yang akan di uji sebanyak 4 spesimen. Plat baja karbon rendah dilas terlebih dahulu dengan menggunakan las SMAW, jenis elektroda RD-260 (E 6013) dan spesimen dibentuk sesuai standar uji tarik plat ASTM E8. Kemudian dilakukan perlakuan panas pada suhu 450^0 C dengan variasi *holding time* dan media pendingin *coolant*. Hasil dari proses pembentukan spesimen akan di uji kekuatan tariknya untuk mendapatkan hasil nilai tegangan tarik pada setiap spesimen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan tarik pada spesimen hasil pengelasan dengan perlakuan panas pada suhu 450^0 C, *holding time* selama 30 menit dan media pendingin *coolant* memiliki nilai tegangan tertinggi sebesar 14,45 N/mm^2 dan mengalami penurunan nilai tegangan tarik pada *holding time* lainnya, sementara untuk spesimen *holding time* selama 0 menit memiliki nilai tegangan tarik terendah yaitu 13,71 N/mm^2. *Holding time* dengan waktu yang lama dapat meningkatkan nilai tegangan tariknya, disebabkan oleh adanya peningkatan kekuatan material pada spesimen tersebut selama proses perlakuan panas.

Kata kunci: Pengelasan, Perlakuan Panas, *Holding Time*, Uji Tarik

Pendahuluan

Pengelasan telah menjadi teknologi penting dalam berbagai industri, Pengelasan merupakan proses penyambungan material, umumnya logam, dengan cara mencairkan sebagian permukaan material tersebut dan menambahkan bahan pengisi agar keduanya menyatu ketika didinginkan. Menurut (Nawiko et al., 2022) pengelasan memegang peranan yang sangat penting dalam bidang manufaktur dan industri, menjadi teknologi kunci yang memungkinkan produksi berbagai produk dan infrastruktur. Baja karbon rendah cenderung lebih toleran terhadap panas yang dihasilkan oleh busur listrik saat pengelasan, sehingga risiko distorsi atau perubahan struktur mikro lebih rendah. Pengelasan SMAW pada baja karbon rendah biasanya menghasilkan sambungan yang kuat dan tahan lama, karena baja ini memiliki sifat mekanik yang lebih lunak dan mudah dibentuk kembali. Penyesuaian parameter yang tepat dan pemilihan elektroda yang sesuai untuk pengelasan SMAW adalah menghasilkan sambungan las yang berkualitas, kuat, dan sesuai dengan kebutuhan material yang dilas. Pemilihan elektroda yang salah bisa menyebabkan cacat las, kelemahan sambungan. (Ilahi et al., 2023) berpendapat bahwa pengelasan SMAW elektroda yang cocok untuk digunakan biasanya tipe E6013 pada kebutuhan penetrasi dan kondisi permukaan, posisi 1G mengacu pada posisi pengelasan horizontal datar, di mana benda kerja (pelat) berada dalam posisi mendatar dan

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

pengelasan dilakukan di atas permukaan benda kerja. Pada pengelasan pelat dengan posisi 1G, pelat logam diletakkan mendatar, dan pengelasan dilakukan di atas permukaan pelat secara datar.

Perlakuan panas (*heat treatment*) adalah proses yang digunakan untuk mengubah sifat fisik dan mekanis dari suatu material, khususnya logam, dengan memanaskannya hingga suhu tertentu dan kemudian mendinginkannya dengan kecepatan tertentu. Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan, kekuatan, ketangguhan, atau keuletan material, tergantung pada kebutuhan aplikasi. Perlakuan panas sangat penting dalam industri manufaktur, metalurgi, dan teknik, karena mempengaruhi performa material dalam kondisi operasi. Penelitian yang dilakukan oleh (Widiyanto et al., 2023) mengatakan bahwa perlakuan panas dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan material, melalui proses ini dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan logam untuk aplikasi yang memerlukan daya tahan terhadap beban atau aus, membuat material lebih tangguh atau lebih tahan terhadap benturan dan meningkatkan ketahanan terhadap korosi (oksidasi). Penahanan panas (*holding time*) adalah waktu di mana material, terutama logam, ditahan pada suhu tertentu selama proses perlakuan panas. (Hakim et al., 2023) memberi pernyataan jika material dibiarkan pada suhu yang ditetapkan untuk memungkinkan perubahan dalam struktur mikro terjadi secara seragam dan menyeluruh. Penahanan panas sangat penting dalam memastikan bahwa seluruh bagian material mencapai suhu yang sama dan memberikan waktu yang cukup untuk transformasi fase atau difusi atom berlangsung dengan baik. Variasi penahanan panas dilakukan untuk menyesuaikan proses perlakuan panas dengan berbagai faktor seperti ukuran dan jenis material, sifat mekanik yang diinginkan, serta tujuan manufaktur. Dengan memvariasikan durasi penahanan, kita bisa mengontrol transformasi struktur mikro, difusi atom, pelepasan tegangan, dan banyak aspek lainnya yang mempengaruhi sifat akhir material. Hal ini memberikan fleksibilitas yang penting dalam mencapai sifat-sifat optimal pada produk akhir, baik dari segi kekerasan, kekuatan, ketangguhan, maupun efisiensi proses produksi.

Uji tarik adalah salah satu metode pengujian mekanik yang digunakan untuk menentukan sifat-sifat mekanis material, khususnya dalam hal kekuatan, keuletan, dan elastisitas. Proses ini melibatkan penarikan spesimen material sampai patah, dan hasilnya memberikan informasi penting tentang kemampuan material dalam menahan beban tarik. Uji tarik bertujuan untuk mengukur kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum mengalami kerusakan menurut (Yusuf & Nurlaili, 2023). Proses pengujian tarik dapat membantu dalam memilih material yang tepat untuk aplikasi tertentu. Spesimen uji dibuat dengan bentuk dan ukuran tertentu, sering kali berbentuk silinder atau batang dengan bagian tengah yang lebih ramping, spesimen ini harus memenuhi standar yang ditetapkan (ASTM). Artikel (Prabowo et al., 2023) menyatakan bahwa tegangan tarik (*tensile stress*) merupakan ukuran gaya per satuan luas yang bekerja pada suatu material ketika material tersebut dikenai beban tarik. Tegangan tarik biasanya dilambangkan dengan simbol σ (*sigma*) dan dinyatakan dalam satuan tekanan, seperti *pascal* (Pa) atau *megapascals* (MPa).

Dengan mengacu pada literatur yang relevan, penulis akan pengembangan material yang sudah ada dengan proses *fabrikasi*, perlakuan panas dengan *quenching*, *holding time*, media pendingin dan kekuatan tarik (*ultimate tensile strength*), untuk mengetahui nilai tegangan tarik pada setiap variasi waktu penahanan (*holding time*) pada spesimen tersebut. Maka dari itu penulis akan memfokuskan pada penelitian pengaruh variasi *quenching-holding time* terhadap nilai tegangan tarik pada proses pengelasan baja karbon rendah, Sehingga kesimpulan akhir dari hasil penelitian yang diperoleh dapat memberikan berbagai informasi, dan saran kepada masyarakat luas tentang manfaat *quenching-holding time* terhadap kekuatan material. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai tegangan tarik setiap spesimen dari proses *heat treatment*.

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

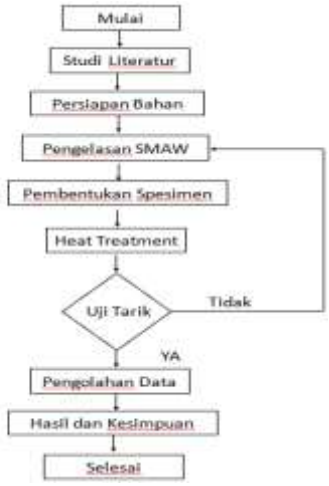
Studi Literatur

Pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) atau sering dikenal dengan pengelasan manual menggunakan elektroda terbungkus, adalah salah satu metode pengelasan yang umum digunakan untuk material karbon rendah. Material baja karbon rendah, atau biasa disebut baja lunak, memiliki kandungan karbon yang rendah (kurang dari 0,3% karbon) sehingga memiliki sifat yang mudah dilas dan sangat ideal untuk aplikasi pengelasan. Kesimpulan penelitian dari (Salahudin et al., 2023) menyatakan jika baja karbon rendah lebih mudah dilas dibandingkan dengan baja karbon tinggi karena lebih sedikit berisiko mengalami retak panas atau deformasi setelah pengelasan. Penelitian linear yang dilakukan oleh (Purwanto et al., 2023) tentang pemilihan elektroda yang tepat saat melakukan pengelasan baja karbon rendah yaitu dengan menggunakan elektroda 6013 dengan karakteristik busur yang stabil, percikan yang rendah, serta kemampuan las multi-posisi sangat ideal untuk baja karbon rendah yang banyak digunakan di berbagai industri seperti konstruksi, perkapalan, dan manufaktur umum.

Quenching adalah salah satu jenis proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan kekuatan material, terutama logam seperti baja. Proses ini melibatkan pemanasan logam hingga mencapai suhu austenitisasi, kemudian didinginkan secara cepat dengan mencelupkan logam tersebut ke dalam media pendingin seperti air, minyak, atau udara. Waktu penahanan material saat mendapatkan perlakuan panas menurut (Yudhi Chandra Dwiaji, 2023) adalah durasi di mana material dipertahankan pada suhu tertentu selama proses tersebut, sedangkan menurut (Adipura & Nafi, 2022) waktu penahanan ini bergantung pada beberapa faktor, seperti jenis material, tebalnya komponen, suhu perlakuan panas, dan tujuan dari proses tersebut. Pendinginan yang cepat ini menyebabkan perubahan struktur mikro logam, yang mengakibatkan peningkatan kekerasan, namun dengan potensi meningkatkan kerapuhan. *Quenching* juga digunakan untuk membentuk struktur mikro logam tertentu, seperti martensit, yang memberikan sifat mekanis yang diinginkan.

Metode Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Penelitian eksperimental tentang kekuatan tarik las bertujuan untuk memahami dan meningkatkan kualitas sambungan las dengan mempelajari bagaimana berbagai faktor mempengaruhi kekuatan tarik. Melalui eksperimen terstruktur dan analisis mendetail, peneliti dapat memperoleh wawasan berharga untuk mengoptimalkan proses pengelasan untuk aplikasi yang memerlukan pengelasan yang kuat dan andal.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

Penelitian diawali dengan persiapan alat, bahan, dan alat pelindung diri (APD) yang digunakan selama pelaksanaan percobaan. Pelat baja ST 37 dipilih sebagai bahan sampel. Baja karbon rendah jenis ini banyak digunakan dalam industri konstruksi dan manufaktur karena keseimbangan kinerja mekanik dan biaya produksi yang rendah. Dalam proses pengelasan pelat baja ST37 perhatian khusus harus diberikan pada metode pengelasan, parameter pengelasan dan jenis elektroda yang digunakan, karena sifat baja karbon rendah memiliki sifat tertentu yang berkaitan dengan pengelasan. Baja ST37 dikenal mudah untuk dilas dan diproses karena kandungan karbonnya yang rendah, sehingga cocok untuk berbagai metode pengelasan. Sebelum melakukan proses pengelasan, terlebih dahulu dilakukan *chamfer* pada dua buah pelat dengan dimensi panjang 600 mm, lebar 180 mm, dan tebal 12 mm seperti pada penelitian sebelumnya hingga diperoleh kampuh V dengan sudut kemiringan 60°. Proses pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) relatif sederhana dan cocok untuk pengelasan struktur, sehingga banyak digunakan untuk pengelasan baja karbon rendah seperti pelat baja ST 37. karena elektroda dapat disejajarkan dengan lebih mudah dan cairan logam cair secara alami mengikuti gravitasi dan tetap berada di jalur pengelasan, menghasilkan penetrasi yang lebih seragam dan mengurangi risiko pembentukan cacat seperti potongan, mengklaim bahwa pengelasan tangan rendah memungkinkan pengelasan lebih stabil. (porositas). Jenis elektroda RD-260 (E 6013) digunakan karena memiliki lapisan rutil yang memberikan busur las lebih seragam dan hasil pengelasan lebih indah, serta lapisan selulosa yang menjamin penetrasi lebih dalam. Karena kawat las memiliki diameter 3,2 mm, sebaiknya gunakan arus 70 hingga 110 ampere sebelum pengelasan untuk hasil pengelasan yang optimal.



Gambar 2. Plat Baja Karbon Rendah, Proses, dan Hasil Pengelasan

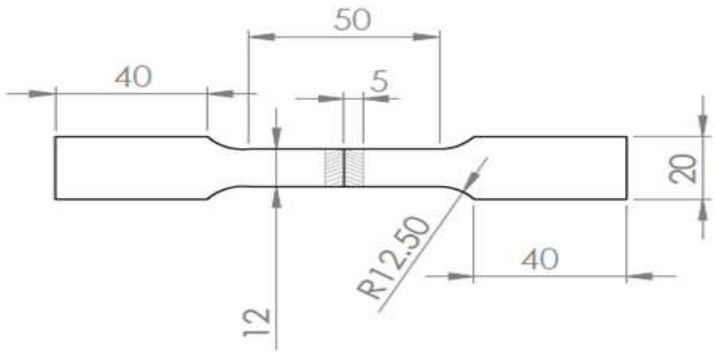
Proses selanjutnya adalah mencetak sampel. Potong pelat baja yang sudah dilas menggunakan gergaji sesuai dengan bentuk dasar sampel seperti terlihat pada foto di bawah ini.



Gambar 3. Proses dan hasil pemotongan dasar spesimen

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

Setelah dasar sampel dipotong, bentuk sampel sesuai standar uji tarik yang berlaku. Pentingnya pemilihan standar pengujian tarik yang baik menurut (Boangmanalu et al., 2024) adalah standar yang disesuaikan dalam menentukan kualitas dan performa bahan dalam berbagai aplikasi teknik. Pada penelitian ini standar yang digunakan untuk lembaran logam adalah ASTM E8 (*American Society for Testing and Materials*).



Gambar 4. Standar ASTM E8

Ukuran awal biasanya lebih besar dari sampel akhir untuk memudahkan proses pengeditan. Untuk memperoleh dimensi sampel yang akurat, sampel dipotong pada mesin milling dan dibentuk menjadi bentuk standar sesuai dengan. Setelah sampel dibentuk melalui proses pemesinan berikutnya, permukaan sampel biasanya dipoles dengan cara digerinda untuk menghilangkan goresan yang dapat mempengaruhi hasil pengujian. Di bawah ini peneliti menyajikan gambar proses pencetakan sampel sesuai standar ASTM E8 yang diinginkan, serta hasil pekerjaan dalam proses pemesinan tersebut.



Gambar 5. Proses dan Hasil Pemesinan Pembentukan Spesimen

Perlakuan panas dengan proses *quenching* merupakan salah satu tahapan dalam proses perlakuan panas *quenching* untuk memperoleh struktur mikro yang lebih keras. Penelitian sebelumnya (Zayadi et al., 2022) berkomentar bahwa penggunaan media pendingin yang sesuai dalam proses perlakuan panas *quenching* memberikan keuntungan yang signifikan dalam mengendalikan sifat mekanik dan struktur mikro material pada suhu 600 °C. Memilih media pendingin yang tepat menyeimbangkan kekerasan, ketangguhan, kekuatan, dan stabilitas material serta mencegah kerusakan seperti deformasi dan retak. Dalam penelitian ini, suhu 450 °C dan media pendingin *coolant* digunakan untuk semua sampel. Setelah mencapai suhu dan waktu penahanan yang ditentukan, dilakukan *quenching* dengan menggunakan media *coolant*. Hasil perlakuan panas *quenching* sampel kemudian dilakukan uji tarik.

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703



Gambar 6. Proses *Quenching-Heat Treatment*

Pengujian tarik dilaksanakan di Balai Latihan Kerja (BLK Makassar). Pengujian tarik sampel yang diperoleh dengan cara *quenching* pada proses perlakuan panas bertujuan untuk mengevaluasi perubahan sifat mekanik material yang dihasilkan setelah proses *quenching*. Pengujian ini penting untuk mengetahui seberapa besar perubahan kekerasan, kekuatan tarik, ketangguhan dan perpanjangan sampel setelah *quenching* menurut (Gunawan et al., 2024). Dengan melakukan uji tarik pada spesimen yang telah dimodifikasi, perubahan sifat mekanik bahan dapat dibandingkan secara langsung dengan cara ini akan membantu peneliti mengevaluasi manfaat pendinginan untuk meningkatkan sifat tertentu seperti kekuatan dan kekerasan serta memahami *trade-off* yang terjadi, seperti penurunan regangan.



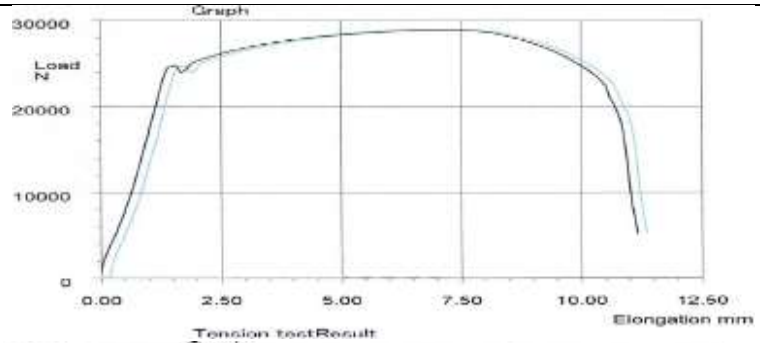
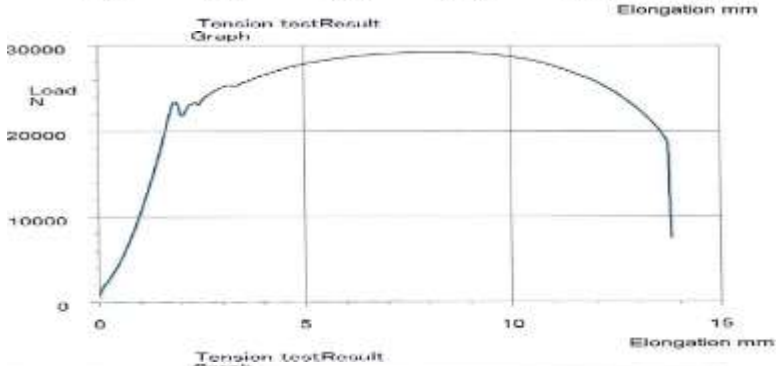
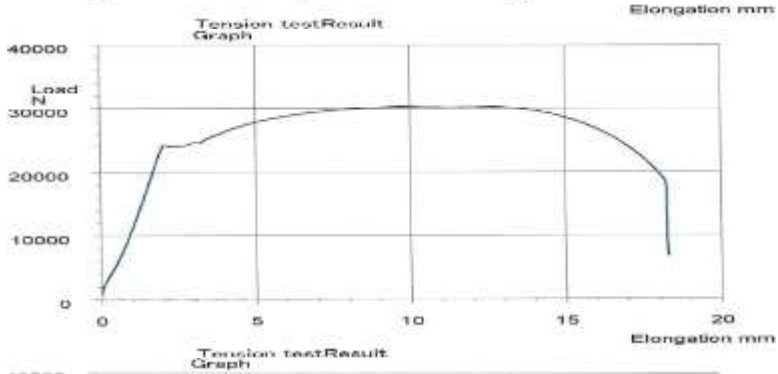
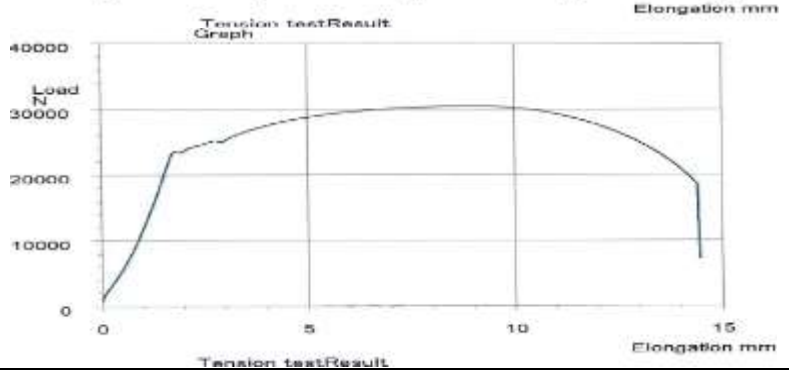
Gambar 7. Proses dan hasil dari uji tarik

Hasil

Uji tarik dilakukan pada setiap spesimen baja karbon rendah dan diperoleh data dengan nilai yang berbeda-beda. Setiap variasi *holding time* memiliki satu variabel sampel, dan deviasi standar menguraikan distribusi hasil setiap sampel relatif terhadap mean. Menurut penelitian yang dilakukan oleh (Kriswandi et al., 2022) bahwa nilai dari kekuatan tarik pada setiap sampel dipengaruhi oleh perlakuan media pendingin dan waktu penahanan yang berbeda, Pengerjaan dengan perlakuan panas dapat menghasilkan material dengan kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan pengerjaan dingin, karena rekristalisasi yang terjadi selama proses perlakuan panas dapat mengurangi tegangan internal. Perhatikan tabel di bawah ini hasil pengujian tarik pada setiap spesimen.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

Holding Time	Kekuatan Tarik (N)	Grafik *Curva*
0 Menit	28919	
10 Menit	29204	
20 Menit	30387	
30 Menit	30482	

Dari hasil pengujian tarik diketahui bahwa penahanan waktu selama 30 menit memiliki nilai kekuatan tarik tertinggi pada suhu 450 °C dan media pendingin *coolant* sebesar 30482 N, sedangkan untuk kekuatan tarik terendah terdapat pada spesimen dengan penahanan waktu 0 menit pada suhu 450 °C dan media pendingin *coolant*, yaitu sebesar 28919 N. Efek waktu penahanan pada kekuatan tarik sangat bergantung pada jenis proses perlakuan panas, suhu, dan sifat material yang diproses. Dalam beberapa kondisi, waktu penahanan

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

yang lebih lama dapat meningkatkan kekuatan tarik, namun dalam situasi lain, justru bisa menurunkannya menurut (Hamdani et al., 2021).

Pembahasan

Setelah didapatkan nilai dari kekuatan tariknya, maka penulis melakukan perhitungan tegangan tarik untuk menentukan seberapa besar beban yang dapat ditahan oleh material tersebut. (Maylano et al., 2022) berpendapat bahwa hasil dari tegangan tarik memberikan informasi tentang kekuatan maksimum yang bisa ditahan oleh material sebelum patah. rumus tegangan tarik (σ) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

- σ adalah tegangan tarik (dalam satuan pascal atau N/mm^2),
- F adalah gaya tarik yang diterapkan pada material (dalam satuan newton, N),
- A adalah luas penampang material yang dikenai gaya (dalam satuan meter persegi, mm^2).

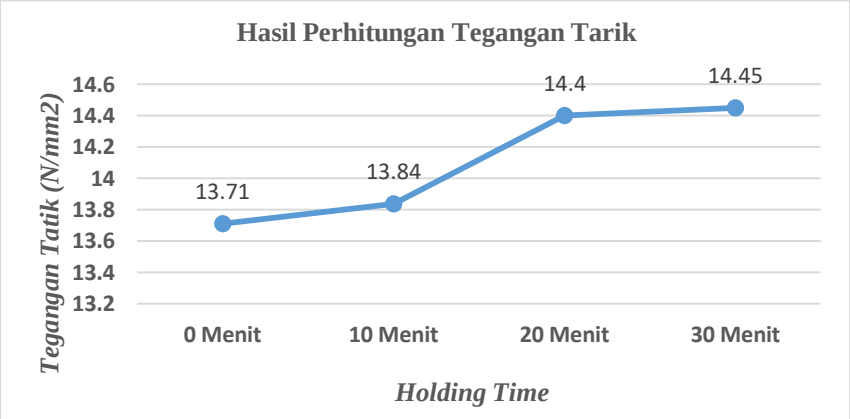
Dengan menggunakan rumus di atas, penulis dapat mengetahui nilai tegangan tarik pada setiap spesimen. Dapat terlihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tegangan Tarik

Holding Time	Kekuatan Tarik (N)	Tegangan Tarik (N/mm^2)
0 Menit	28919	13,71
10 Menit	29204	13,84
20 Menit	30387	14,40
30 Menit	30482	14,45

Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro
Volume 14, Number 01, April 2024
e-ISSN: 2830-3512X
https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4703

Nilai dari hasil perhitungan tegangan tarik di atas bergantung pada kekuatan tarik suatu material, menjelaskan bahwa kekuatan tarik adalah ukuran dari kemampuan suatu material menahan gaya yang menariknya sehingga putus. Berikut grafik nilai tegangan tarik dari perlakuan media pendingin.



Gambar 8. Grafik hasil perhitungan tegangan tarik

Pada grafik di atas telah diperlihatkan, bahwa hasil tegangan tarik yang didapatkan untuk spesimen proses pengelasan pada perlakuan panas (*heat treatment*) dengan penahanan waktu selama 30 menit pada suhu 450 °C dan media pendingin *coolant* memiliki nilai tegangan tertinggi sebesar 14,45 N/mm^2. Mengalami penurunan tegangan tarik pada pada penahanan waktu lainnya, sementara untuk spesimen dengan penahanan waktu selama 0 menit pada suhu 450 °C dan media pendingin *coolant* memiliki nilai tegangan terendah yaitu 13,71 N/mm^2. Penelitian yang dilakukan. menjelaskan bahwa penahanan waktu (*holding time*) sangat mempengaruhi kekuatan tarik pada suatu material. Penahanan waktu yang lebih singkat dapat mengurangi waktu yang tersedia untuk interaksi antar material, seperti proses difusi, reaksi kimia yang diperlukan untuk membentuk ikatan yang kuat. Jika ikatan ini tidak terbentuk secara sempurna, kekuatan tariknya juga akan berkurang. Berpendapat yang sama dengan penelitian sebelumnya (Hartanto et al., 2020) bahwa semakin sedikit waktu yang dihabiskan dalam proses interaksi antar material, semakin berkurang pula kesempatan untuk membentuk ikatan yang kuat, sehingga menyebabkan kekuatan tarik yang lebih rendah.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisa penulis tentang pengujian tarik dapat disimpulkan setelah proses perlakuan panas dengan *quenching* terhadap kekuatan material dan dilanjutkan dengan perhitungan nilai tegangan tariknya, maka dari itu dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

a. Pada hasil pengelasan dengan spesimen perlakuan panas dengan waktu penahana 0 menit memiliki nilai tegangan tarik yang rendah dibandingkan dengan nilai tegangan tarik pada spesimen perlakuan panas dengan dengan waktu penahanan 30 menit memiliki nilai tegangan tarik yang sangat tinggi.

b. Pada spesimen perlakuan panas dengan waktu penahana 0 menit memiliki nilai tegangan tarik yang lebih kecil dikarenakan tidak mendapatkan *quenching* yang rata sehingga tidak mengalami perubahan struktur mikro menyeluruh bagian spesimen. Perlakuan panas dengan proses *quenching* yang merata dapat menyebabkan pertumbuhan butir-butir kristal yang lebih kecil, yang dapat memperbaiki kekuatan material di daerah tersebut.

c. Spesimen perlakuan panas dengan waktu penahana 30 menit dapat menyebabkan spesimen menjadi sangat getas. Pendinginan dengan menggunakan *coolant* pada proses *quenching* dapat membentuk

tegangan internal yang tinggi, tegangan ini terjadi karena adanya perbedaan laju pendinginan antara permukaan dan bagian dalam spesimen, tegangan internal yang tinggi ini menyebabkan material menjadi getas.

Referensi

Adipura, A., & Nafi, M. (2022). Analisa Pengaruh Heat Treatment Temperring Dengan Variasi Waktu Tahan dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. *Prosiding Senakama*, *1*(September), 203–212. https://conference.untag-sby.ac.id/index.php/sentek/article/view/1159%0Ahttps://conference.untag-sby.ac.id/index.php/sentek/article/download/1159/612

Boangmanalu, E. P. D., Pratama, A. B., & ... (2024). The Analisis Pengendalian Kualitas Hasil Uji Tarik Material Plat ST 37 Dengan Menggunakan Metode SPC. *... (Mesin Elektro Sipil ...*, *5*(1). https://jurnal.ceredindonesia.or.id/index.php/mesil/article/view/1044%0Ahttps://jurnal.ceredindonesia.or.id/index.php/mesil/article/download/1044/1104

Gunawan, L. Van, Andika, P. S., Endramawan, T., & ... (2024). Analisis Pengaruh Variasi Suhu Tempering Pada Sifat Mekanik Baja ASTM A36 Setelah Pengelasan SMAW Menggunakan Elektroda E 7016. …, *15*(01), 187–193. https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v15i1.2144

Hakim, A. R., Nurlaila, Q., & Lase, Z. (2023). Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Proses Permesinan Baja Karbon Rendah. *Sigma Teknika*, *6*(2), 436–447. https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v6i2.5631

Hamdani, H., Jufriadi, J., Ariefin, A., Saputra, E., & Ghiffari, M. (2021). Pengaruh Pengelasan dan Media Quenching Terhadap Kekuatan Tarik dan Kekerasan Material ASTM A 36. *Jurnal Teknologi*, *21*(2), 65. https://doi.org/10.30811/teknologi.v21i2.2430

Hartanto, D. S., Suprapto, A., & Widyastuti, I. (2020). *Material St 37*. 56–64.

Ilahi, W. N., Mas'ud, M., & Huda, M. (2023). Pengaruh Jenis Elektroda E6013 Pada Pengelasan Smaw Terhadap Sifat Fisik Dan Mekanis Baja Kontruksi Jis G3350. *Journal Mechanical and Manufacture Technology (JMMT)*, *4*(2), 68–76. https://doi.org/10.35891/jmmt.v4i2.4426

Kriswandi, M. G., Jatira, J., & Nugroho, H. (2022). Analisa Pengaruh Variasi Kuat Arus Terhadap Kekuatan Tarik Sambungan Las Smaw Dengan Material Baja Karbon Rendah Dengan Profil Besi Siku Menggunakan Elektroda E6013. *Jurnal Teknologika*, *12*(1), 59–67. https://jurnal.wastukancana.ac.id/index.php/teknologika/article/view/155/107

Maylano, G. D., Budiarto, U., & Santosa, A. W. B. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Double V Pada Sambungan Las SMAW (Shield Metal Arc Welding) Baja St 37 Terhadap Kekuatan Tarik, Tekuk dan Impact. *Jurnal Teknik Perkapalan*, *5*(4), 785. http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval

Nawiko, A., Rosehan, & M. Sobron Y. Lubis. (2022). Pengaruh Variasi Kuat Arus Pengelasan SMAW Terhadap Uji Tarik Sambungan Bahan ASTM A36. *Jurnal Syntax Transformation*, *3*(05), 802–808. https://doi.org/10.46799/jst.v3i5.567

Prabowo, D., Satria Jati, U., Ulikaryani, U., & Hardini, P. (2023). Simulasi Tegangan (Stress) Pada Komponen Rangka Mesin Uji Tarik Sealent Menggunakan Solidworks. *Infotekmesin*, *14*(2), 405–412.

https://doi.org/10.35970/infotekmesin.v14i2.1947

Purwanto, A., Wijoyo, W., & Fajar Riyadin, A. (2023). Pengaruh Polaritas Mesin Las pada Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) Terhadap Sifat Fisik dan Mekanik Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Indonesia*, *2*(4), 150–158. https://doi.org/10.58860/jti.v2i4.238

Salahudin, X., Hilmy, F., Teknik, F., Tidar, U., & Tengah, J. (2023). Analisis Baja Ss400 Hasil Pengelasan Smaw Dengan Variasi Kuat Arus Terhadap Nilai Kekerasan. *Prosiding Seminar Nasional Riset Teknologi Terapan: 2023*, 1–4.

Widiyanto, N., Suprihanto, A., & Haryadi, G. D. (2023). Pengaruh Post Weld Heat Treatment Terhadap Pengelasan Smaw Pada Material Aisi 1045 Terhadap Laju Korosi Di Air Laut. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, *11*(3), 89–100.

Yudhi Chandra Dwiaji. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur Perlakuan Panas dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanis dan Mikrostruktur Aluminium 2024. *Journal of Applied Mechanical Engineering and Renewable Energy*, *3*(2), 69–75. https://doi.org/10.52158/jamere.v3i2.571

Yusuf, I., & Nurlaili, N. (2023). Pengaruh Variasi Temperatur Tempering Terhadap Nilai Kekuatan Tarik dan Kekerasan Baja Karbon Sedang. *Jurnal Serambi Engineering*, *8*(3), 6358–6364. https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6109

Zayadi, A., Sungkono, Masyhudi, & Setyawan T, E. (2022). Pengaruh Waktu Tempering terhadap Karakter Baja s45c Pasca Quenching pada 950oc dan Tempering 500 C. *Jurnal Teknologi Kedirgantaraan*, *7*(1), 34–65. https://doi.org/10.35894/jtk.v7i1.53