

ANALISIS TEGANGAN DAN REGANGAN PADA KAWAT STAINLESS STEEL 304 HASIL PERLAKUAN *HARDENING* DAN *TEMPERING*

Sekiwa¹, Agus Suprpto², Dewi Izzatus Tsamroh^{3*)}, Rusdijanto⁴

^{1,2,4} Fakultas Teknik, Universitas Merdeka Malang, Indonesia

^{3*)} Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Malang, Indonesia

^{*)}Corresponding author: dewiizza07@gmail.com

ABSTRACT

Currently, the demand for materials, especially metals, is very significant. Iron and steel are inseparable basic needs. However, with diverse needs, the desired mechanical characteristics of a material also vary. These mechanical aspects include hardness, ductility, strength, and toughness. The use of stainless steel is increasing worldwide due to its superior characteristics. One of them is using stainless steel wire. This research aims to identify the tensile strength limit of 304 stainless steel wire with variations in hardening and tempering. The test results show that the unheat treated 304 stainless steel wire has a higher stress value than the heat treated one. The test results show that the stress value in the test object which has undergone heat treatment of hardening at a temperature of 820°C with a holding time of 30 minutes with water cooling and tempering at a temperature of 400°C with a holding time of 20, 30, 40 minutes with air cooling has decreased. This can be compared with raw or untreated specimens which have a stress value of 176.815 kg/mm². For specimens that underwent the hardening heat treatment process, the stress value decreased to a value of 88.025 kg/mm². Meanwhile, for test objects that underwent a tempering process, the stress also decreased compared to normal or untreated test objects with stress values for 20 minutes of tempering 87,261 kg/mm², 30 minutes of tempering 87,261 kg/mm², and 40 minutes of tempering 87,006 kg/mm².

Keywords: *Tensile test, Hardening, Tempering, Stress, Strain*

ABSTRAK

Saat ini, permintaan akan material, terutama logam, sangat signifikan. Besi dan baja menjadi kebutuhan dasar yang tak terpisahkan. Namun, dengan kebutuhan yang beragam, karakteristik mekanik yang diinginkan dari suatu bahan juga berbeda-beda. Aspek-aspek mekanik ini mencakup kekerasan, keuletan, kekuatan, dan ketangguhan. Penggunaan baja tahan karat semakin meningkat di seluruh dunia karena keunggulan karakteristiknya. Salah satunya adalah menggunakan kawat stainless steel. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi batas kekuatan tarik kawat stainless steel 304 dengan variasi hardening dan tempering. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kawat baja tahan karat 304 yang tidak diperlakukan panas memiliki nilai tegangan yang lebih tinggi daripada yang telah diberi perlakuan panas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan pada benda uji yang telah mengalami perlakuan panas hardening pada suhu 820°C dengan waktu penahanan 30 menit dengan pendinginan air dan tempering pada suhu 400°C dengan waktu penahanan 20, 30, 40 menit dengan pendinginan udara mengalami penurunan. Hal ini dapat dibandingkan dengan spesimen raw atau tanpa perlakuan yang memiliki nilai tegangan 176,815 kg/mm². Spesimen yang mengalami proses perlakuan panas hardening nilai tegangannya mengalami penurunan dengan nilai 88,025 kg/mm².

Sedangkan pada benda uji yang mengalami proses tempering, tegangannya juga mengalami penurunan jika dibandingkan dengan benda uji normal atau tanpa perlakuan dengan nilai tegangan tempering 20 menit 87.261 kg/mm², tempering 30 menit 87.261 kg/mm², dan tempering 40 menit 87.006 kg/mm².

Kata Kunci: Uji tarik, Hardening, Tempering, Tegangan, Regangan

PENDAHULUAN

Saat ini, kebutuhan akan bahan terutama logam sangat penting [1]. Salah satu logam yang memiliki peranan penting yaitu baja. Baja memiliki ketersediaan yang tinggi dan karakteristik mekanik yang memadai. Oleh karena itu, baja menjadi logam yang umum digunakan dalam industri [2]. Baja dan paduannya digunakan untuk memenuhi beberapa macam kebutuhan industri, terutama yang memerlukan sifat mekanik tertentu. Material memiliki banyak sifat mekanik. Sifat mekanik ini terutama meliputi kekerasan, keuletan, kekuatan, dan ketangguhan. Oleh karena itu, ada banyak cara untuk menguji sifat suatu bahan. Pengujian tarik merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan dan keuletan bahan. Oleh karena itu, uji tarik banyak digunakan dalam bidang pengujian sifat mekanik bahan [3].

Penelitian lain menunjukkan bahwa pemanasan logam secara signifikan memengaruhi sifat tarik dan kekerasan pada paduan stainless steel seri J4. Secara umum, peningkatan suhu pemanasan menyebabkan penurunan nilai kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan kekerasan, tetapi disertai dengan peningkatan ketangguhan dan perpanjangan. Perubahan ini terjadi karena fasa martensit bertransformasi menjadi fasa austenit seiring meningkatnya suhu. Namun, pada rentang temperatur pemanasan 700°C, terjadi penurunan lokal pada nilai ketangguhan, kekuatan luluh, dan elongasi. Hal ini mengindikasikan adanya proses sensitisasi pada paduan baja tahan karat J4, yang berpotensi meningkatkan kerentanannya terhadap retak korosi tegangan [4].

Baja tahan karat atau biasa disebut stainless steel ialah baja paduan yang mengandung kurang lebih 12% Cr yang memberikan lapisan ketahanan korosi karena pembentukan lapisan kromium oksida (Cr₂O₃). Baja tahan karat kuat terhadap korosi dan oksidasi dikarenakan mempunyai unsur yang dibubuhi atau ditambahkan pada paduan besi mirip dengan nikel, mangan, molybdenum, nitrogen serta elemen lain, yang dapat mempengaruhi properties material. Berdasarkan kandungan presentasi Cr-Ni baja tahan karat dibagi sebagai austenitic, martensitic, ferritic serta duplex [5].

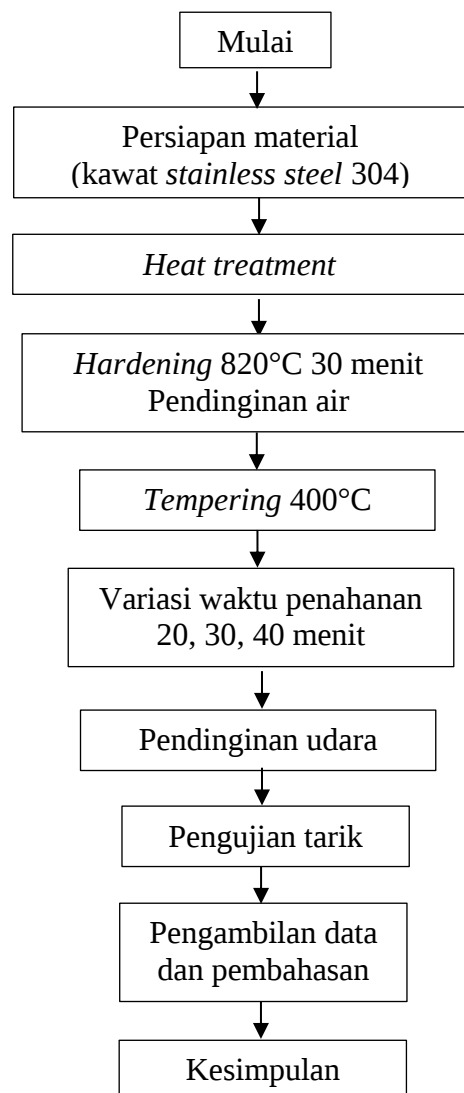
Penelitian lain yang berjudul “Pengaruh Proses Perlakuan Panas Plat Strip Stainless Steel AISI 304 dengan Media Pendingin Air Pohon Pisang, Air Garam, dan Air terhadap Uji Kekerasan Vickers, Uji Impact, dan Struktur Mikro” menunjukkan perubahan sifat mekanik material setelah perlakuan panas. Hasil pengujian kekerasan Vickers tanpa perlakuan adalah 235,92 kg/mm². Setelah dilakukan *quenching* dengan media pendingin yang berbeda, kekerasan menurun, masing-masing menjadi 194,32 kg/mm² (air pohon pisang), 197,76 kg/mm² (air garam), dan 203,21 kg/mm² (air). Hasil uji impact juga menunjukkan perbedaan. Tanpa perlakuan, nilai impact adalah 90,18 J/mm², sedangkan setelah *quenching* nilai impact meningkat menjadi 95,21 J/mm² (air pohon pisang), 91,28 J/mm² (air garam), dan 105,09 J/mm² (air). Pengamatan struktur mikro menunjukkan bahwa spesimen tanpa perlakuan menghasilkan struktur berupa austenit, ferit, dan bainit. Sementara itu, spesimen yang di-*quenching* dengan media pendingin menghasilkan struktur mikro berupa austenit, martensit, ferit, dan bainit [6].

Uji tarik merupakan metode pengujian mekanik yang dilakukan dengan memberikan beban secara perlahan pada material, sehingga menghasilkan pertambahan panjang yang sebanding dengan gaya yang diberikan. Salah satu material yang digunakan untuk pengujian tarik adalah stainless steel 304. Stainless steel 304 merupakan material yang banyak digunakan dalam berbagai peralatan industri karena memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, bahkan terhadap bahan kimia, serta toleransi terhadap lingkungan dengan tingkat keasaman tinggi. Dalam penelitian ini,

baja tahan karat 304 akan digunakan untuk uji tarik. Sebelum dilakukan pengujian, material akan melalui proses perlakuan panas, yaitu *hardening* dan *tempering*. Proses *hardening* bertujuan untuk meningkatkan kekerasan material, sedangkan *tempering* berfungsi untuk menghilangkan tegangan sisa akibat proses *hardening*. Meski kekerasan material sedikit menurun setelah proses *tempering*, keuletannya justru meningkat, sehingga material memiliki keseimbangan sifat mekanik yang lebih baik [7]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tegangan dan regangan pada stainless steel 304 hasil *hardening* dan *tempering*.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian jenis eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Pengujian Logam Universitas Merdeka Malang. Berikut disajikan diagram alir penelitian yang menunjukkan langkah-langkah penelitian.



Gambar 1. Diagram Alir

1. Bahan Penelitian

Baja tahan karat 304 adalah jenis *austenitic stainless-steel* yang memiliki sifat *non magnetic*, dapat dikeraskan dengan pengerjaan dingin namun tidak bisa dikeraskan dengan perlakuan panas. Pada kondisi aneal baja tahan karat mempunyai sifat *formability*. Tipe 304 baja tahan karat sangat banyak dipergunakan, menggunakan 18% Cr serta 8% Ni [5]. Penggunaan AISI

304 pada industri di antaranya: kimia, *petrochemical*, pengolahan kuliner dan minuman, farmasi, kriyogenik, serta *heat exchanger* [8].

Bahan penelitian pada pengujian kali ini adalah baja tahan karat tipe 304. Baja tahan karat tipe 304 merupakan logam paduan dengan unsur karbon yang rendah yaitu (0,042%) serta mengandung kromium (antara 18% dan 20%) dan nikel (antara 8% dan 10,5%) memiliki sifat ulet, tahan lelah yang lebih baik. Adapun beberapa unsur kimia yang mempengaruhi keuletan dan tahan lelah yaitu, unsur nikel 8.00- 10.50 % dan carbon 0,42% [7].



Gambar 2. *Stainless Steel 304*

Tabel 1. Komposisi Kimia Baja Tahan Karat

Elemen	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
Weight %	0.08	2.00	1.00	18.0-20.0	8.0-10.5	0.045	0.03

Sumber: [9]

2. Variabel Penelitian

a. Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi variabel terikat, besarnya ditentukan oleh peneliti. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah waktu penahanan pada proses *tempering* adalah 20 menit, 30 menit, dan 40 menit dan pada proses *hardening* adalah 30 menit. Waktu penahanan ditentukan berdasarkan hasil penelitian lain yang menyebutkan bahwa pada range waktu tersebut sudah cukup untuk membuat struktur mikro homogen. Sedangkan suhu yang digunakan pada proses *tempering* adalah 400°C dan pada proses *hardening* adalah 820°C.

b. Variabel Terikat

Variabel terikat yang ditentukan pada penelitian ini adalah nilai tegangan dan regangan kawat stainless steel 304 hasil *hardening* dan *tempering*.

3. Prosedur Perlakuan Panas

1. Proses *hardening*

- Menyiapkan bahan uji
- Masukan spesimen ke dalam tungku pemanasan
- Nyalakan tungku pemanasan
- Atur suhu yang digunakan yaitu 820°C
- Waktu penahanan 30 menit jika sudah selesai kawat *stainless steel* 304 di angkat lalu didinginkan dengan media air

- Jika sudah didinginkan kawat *stainless steel* 304 akan dilakukan uji tarik
2. Proses *tempering*
- Menyiapkan bahan uji
 - Masukkan spesimen ke dalam tungku pemanasan
 - Nyalakan tungku pemanasan
 - Atur suhu yang digunakan yaitu 400°C
 - Waktu penahanan 20, 30, dan 40 menit jika sudah selesai kawat *stainless steel* 304 diangkat lalu didinginkan dengan udara.

4. Pengujian Kekuatan Tarik

Berikut merupakan langkah-langkah dalam melaksanakan pengujian kekuatan tarik:

- Menyiakan bahan *stainless steel* 304 yang telah diperlakukan panas
- Menjepit kawat pada alat uji tarik
- Mengencangkan baut pada penjepit kawat
- Mengatur dongkrak
- Menghidupkan timbangan digital
- Menyiapkan kamera untuk mengamati proses uji tarik
- Pengujian tarik dilakukan sampai kawat putus
- Alat uji tarik ini digunakan untuk menarik kawat *stainless steel* 304

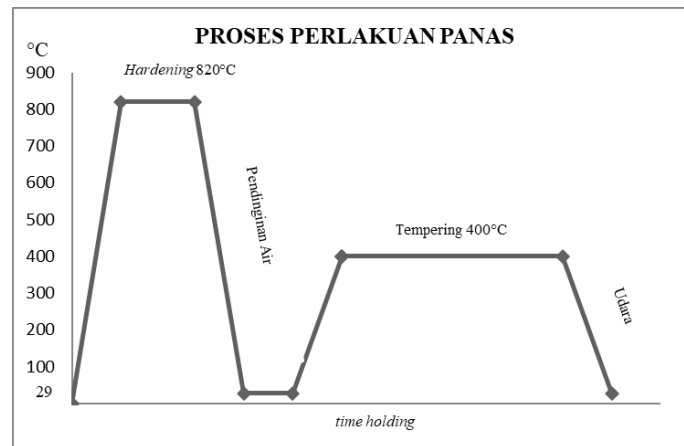


Gambar 3. Alat Uji Tarik Sistem Dongkrak Hidrolik

HASIL DAN PEMBAHASAN

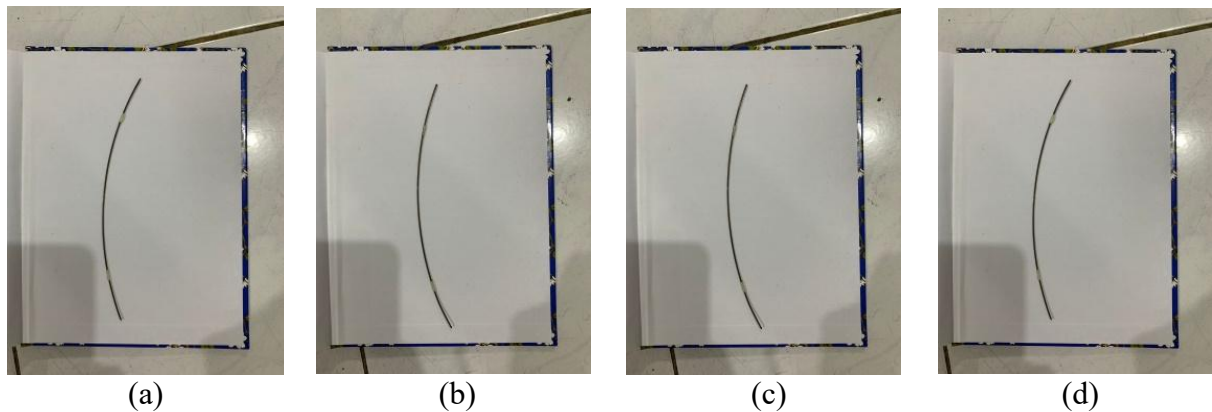
1. Hasil *Tempering* dan *Hardening*

Berikut disajikan diagram perlakuan panas yang dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 4. Diagram Perlakuan Panas *Hardening* dan *Tempering*

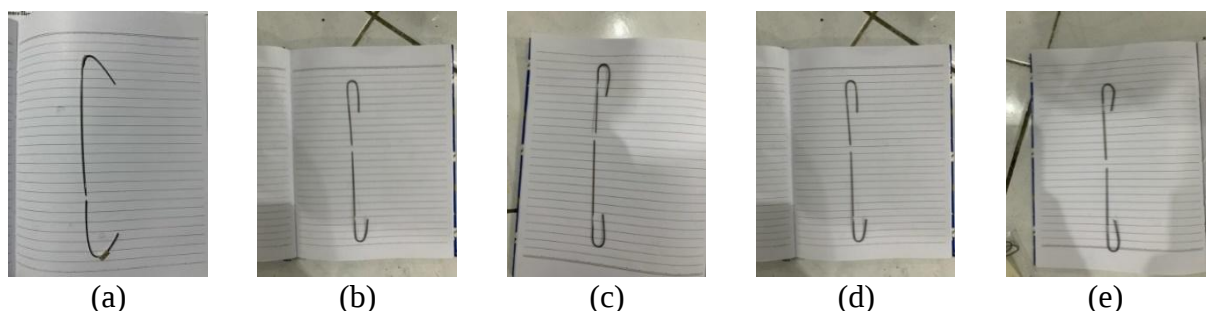
Gambar 4 menunjukkan bahwa dalam proses *hardening*, suhu yang diberikan pada *stainless steel* yaitu sebesar 820°C, waktu penahanan yang digunakan adalah 30 menit dengan media pendingin air. Sedangkan pada proses *tempering*, suhu yang digunakan 400°C serta waktu penahanan yang digunakan adalah 20, 30, 40 menit dengan media pendinginan udara. Gambar 5 menunjukkan specimen setelah mendapatkan perlakuan panas.



Gambar 5. Spesimen Hasil Perlakuan Panas (a) *Hardening*, (b) *Tempering* 20 menit, (c) *Tempering* 30 menit, (d) *Tempering* 40 menit.

2. Hasil Uji Tarik

Gambar 6 merupakan specimen hasil pengujian tarik menggunakan bahan *stainless steel* 304 terdiri dari satu specimen (tanpa perlakuan), satu specimen melalui proses *hardening* dan tiga specimen melalui proses *tempering*. Lalu persepisimen akan di jepit pada alat uji tarik dengan posisi vertikal, dimana ujung-ujung kawat *stainless steel* 304 di jepit menggunakan penjepit pada alat uji tarik. Perlu diketahui bahwa beban maksimum yang bisa di tarik pada alat uji tarik sistem dongkrak hidrolik ini adalah 300 kg.

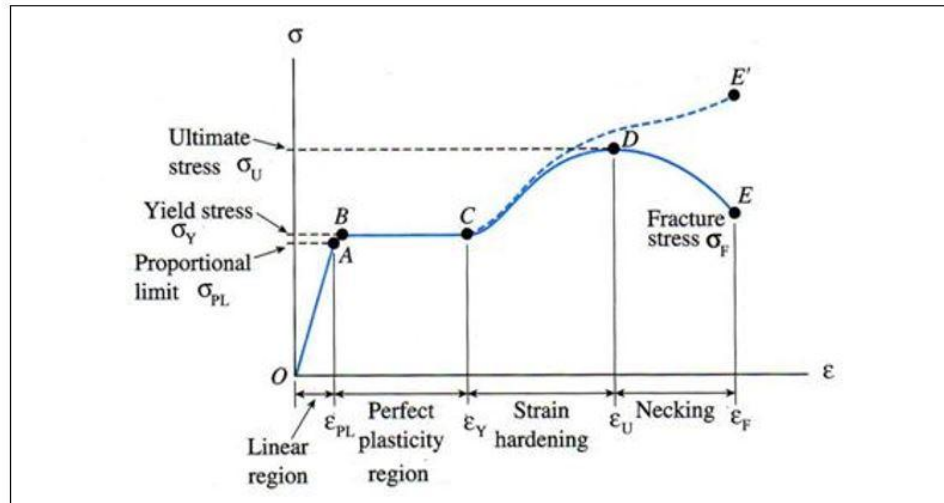


Gambar 6. Spesimen Hasil Uji Tarik (a) Tanpa Perlakuan Panas (b) *Hardening*, (c) *Tempering* 20 menit, (d) *Tempering* 30 menit, (e) *Tempering* 40 menit.

Tabel 2. Data Pengujian Tarik

Waktu	Bahan	Perlakuan	Suhu (°C)	Panjang (mm)		Diameter (mm)		Beban Maksimum (kg)	Tegangan (kg/mm²)	Regangan
				Lo	Li	Do	Di			
30	Stainless Steel 304	Hardening	820	115	143	1	0,75	69,1	88,025	0,243
20					142		0,75	68,5	87,261	0,235
30		Tempering	400		141		0,75	68,5	87,261	0,226
40					141		0,75	68,3	87,006	0,226
-		Tanpa perlakuan					122		0,9	138,8

Tabel 2 merupakan data hasil pengujian Tarik, berdasarkan hasil pengujian pada kawat *stainless steel* 304 tanpa perlakuan dan menggunakan perlakuan di dapatkan hasil dimana kawat *stainless steel* 304 yang diberi perlakuan nilai tegangannya menurun dan keuletan meningkat dibandingkan *stainless steel* 304 tanpa perlakuan nilai tegangannya lebih besar, ini sebabkan perlakuan *hardening* dan *tempering* dimana *stainless steel* 304 tidak bisa dikeraskan dengan proses *hardening* akan tetapi nilai keuletannya meningkat, karena disebabkan oleh proses *tempering*. Hasil pengujian didapatkan bahwa nilai tegangan pada spesimen yang telah mengalami perlakuan panas baik *hardening* maupun *tempering* mengalami penurunan nilai tegangannya. Hal ini dapat dibandingkan dengan spesimen normal atau tanpa perlakuan yang mempunyai nilai tegangan 176,815 kg/mm². Spesimen yang mengalami proses perlakuan panas (*hardening*) dengan media pendingin air, nilai tegangan menurun dengan nilai 88,025 kg/mm². Sementara itu spesimen yang mengalami proses perlakuan panas (*tempering*) dengan media pendingin udara pada suhu kamar, tegangannya juga menurun jika dibandingkan dengan spesimen raw atau tanpa perlakuan dengan nilai regangan pada variasi *tempering* 20 menit 87,261 kg/mm², 30 menit 87,261 kg/mm² dan 40 menit 87,006 kg/mm² [4].



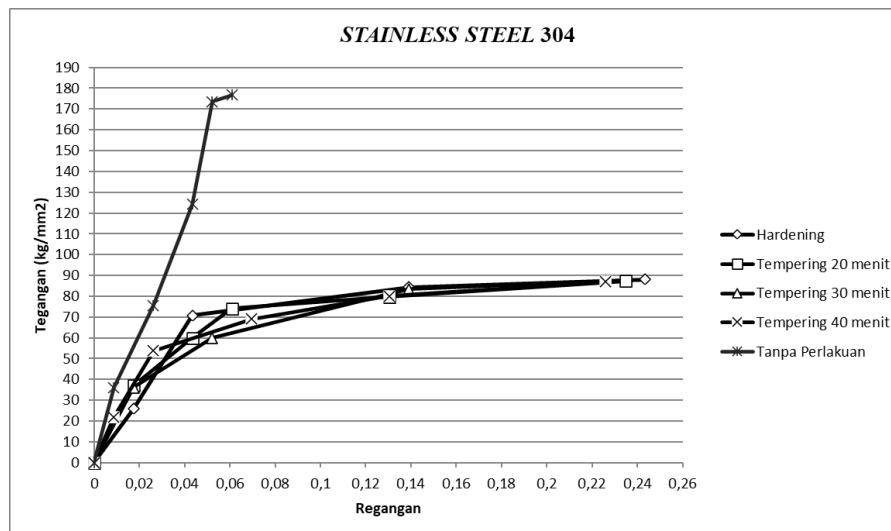
Gambar 7. Kurva Tegangan dan Regangan pada Baja [5]

Gambar 7 menunjukkan kurva tegangan-regangan, sedangkan Gambar 8 merupakan diagram tegangan-regangan dari *stainless steel* AISI 304. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya, terlihat bahwa nilai kekerasan pada plat strip *stainless steel* AISI 304 mengalami penurunan setelah melalui proses perlakuan panas dengan berbagai media pendingin. Penurunan nilai kekerasan ini mengindikasikan adanya peningkatan keuletan material.

Hasil pengujian kekerasan Vickers menunjukkan bahwa kekerasan awal tanpa perlakuan adalah sebesar 235,92 kg/mm². Setelah dilakukan proses *quenching* menggunakan media pendingin yang berbeda, nilai kekerasan material mengalami penurunan menjadi 194,32 kg/mm² saat menggunakan media pendingin air pohon pisang, 197,76 kg/mm² dengan air garam, dan

203,21 kg/mm² dengan air biasa. Penurunan kekerasan ini disebabkan oleh perubahan struktur mikro material yang terjadi selama proses perlakuan panas, di mana sebagian fasa martensit bertransformasi menjadi austenit dan ferit, yang memiliki sifat lebih lunak namun lebih ulet.

Selain itu, hasil dari kurva tegangan-regangan juga menunjukkan adanya peningkatan regangan maksimum, yang semakin menguatkan bukti bahwa material menjadi lebih ulet setelah perlakuan panas. Keuletan yang meningkat ini sangat bermanfaat dalam aplikasi industri yang membutuhkan material tahan deformasi tanpa mudah retak atau patah. Dengan demikian, variasi media pendingin yang digunakan dalam proses *quenching* memiliki pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik stainless steel AISI 304, khususnya dalam keseimbangan antara kekerasan dan keuletan [6][10].



Gambar 8. Diagram Tegangan dan Regangan Stainless Steel 304

KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa pengujian tarik kawat stainless steel 304 dengan perlakuan panas yaitu *hardening* 820°C waktu penahanan 30 menit dengan media pendingin air serta *tempering* 400°C waktu penahanan 20, 30, 40 menit menggunakan media pendingin udara dan tanpa perlakuan menghasilkan kekuatan tarik yaitu hasil kekuatan uji tarik *hardening* suhu 820°C dengan pendinginan air, waktu penahanan 30 menit (88,025kg/mm²). Hasil kekuatan uji tarik *tempering* suhu 400°C dengan pendinginan udara, waktu penahanan 20 menit (87,261kg/mm²), 30 menit (87,261kg/mm²), dan 40 menit (87,006kg/mm²). Hasil kekuatan uji tarik tanpa perlakuan (176,815kg/mm²). Hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan panas, khususnya kombinasi antara *hardening* dan *tempering*, memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik stainless steel 304. Penurunan kekuatan tarik setelah perlakuan panas dapat dikaitkan dengan perubahan struktur mikro material, seperti transformasi fasa martensit ke austenit parsial atau pelunakan akibat tempering. Oleh karena itu, proses perlakuan panas harus disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi, terutama untuk mencapai keseimbangan optimal antara kekuatan, keuletan, dan kekerasan material.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] D. I. Tsamroh, "Comparison finite element analysis on duralium strength against multistage artificial aging process," *Arch. Mater. Sci. Eng.*, vol. 109, no. 1, pp. 29–34, 2021, doi: 10.5604/01.3001.0015.0512.
- [2] Y. Yang, M. Li, and Q. Zhou, "Corrosion performance of typical stainless steels in concentrated seawater under vacuum and boiling condition," *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 18, no. 12, p. 100387, 2023, doi: 10.1016/J.IJOES.2023.100387.

- [3] H. N. Ramadhani, “Active Learning pada Pembelajaran Daring Guru Rumpun Pendidikan Agama Islam dan Respons Siswa Kelas Bahasa dan Budaya di MAN 1 Yogyakarta,” Universitas Islam Indonesia, 2021.
- [4] G. Priyotomo, I. N. G. P. Astawa, and F. Rokhmanto, “The Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of J4 Series Stainless Steel Metals,” *Teknik*, vol. 42, no. 2, pp. 117–122, 2021, doi: 10.14710/teknik.v42i2.36461.
- [5] A. Di Schino, “Manufacturing and applications of stainless steels,” *Metals (Basel)*, vol. 10, no. 3, pp. 2–4, 2020, doi: 10.3390/met10030327.
- [6] A. K. L. Wujakshana, S. Sinarep, and I. Okariawan, “Pengaruh Proses Perlakuan Panas Plat Strip Stainless Steel AISI 304 dengan Media Pendingin Air Pohon Pisang, Air Garam, dan Air Terhadap Uji Kekerasan Vickers, Uji Impact, dan Struktur Mikro,” Universitas Mataram, 2021.
- [7] X. Zhao *et al.*, “Microstructure and mechanical properties of 304 stainless steel produced by interpass milling hybrid direct energy deposition-arc,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 27, no. October, pp. 3744–3756, 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.10.137.
- [8] A. P. A. Pratama, “Pengaruh Laju Aliran Fluida dan Perbandingan Luasan Permukaan pada Laju dan Karakteristik Korosi Galvanic Coupling pada Baja AISI 1045 dan SS 304 Menggunakan Metode Flow Loop System di Lingkungan NaCl 3,5%,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2019.
- [9] Y. Sun, “The use of aluminum alloys in structures: Review and outlook,” *Structures*, vol. 57, no. May, p. 105290, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.105290.
- [10] Y. Yakub and M. Nofri, “Sifat Mekanik Mikro Sambungan Las Baja Tahan Karat Aisi 304,” *E-Journal Widya Eksakta*, vol. 1, no. I, 2013.