

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
TEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO BAJA TAHAN KARAT
304 *THIN FOIL* UNTUK STENT**

SKRIPSI

Dibuat untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari
Jurusan Teknik Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



Oleh:

Rafi Nurdwi Raharjo
3334200081

**JURUSAN TEKNIK METALURGI FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
CILEGON-BANTEN**

2025

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
TEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO BAJA TAHAN KARAT
304 THIN FOIL UNTUK STENT**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Rafi Nurdwi Raharjo

3334200081

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal

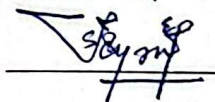
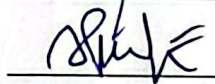
Susunan Dewan Penguji

Penguji I : Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

Penguji II : Prof. Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D. Tech.

Penguji III : Suryana, S.T., M.Si

Tanda Tangan



Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut :

Judul : Pengaruh Temperatur Dan Waktu Tahan Tempering
Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja
Tahan Karat 304 thin foil untuk stent

Nama Mahasiswa : Rafi Nurdwi Raharjo

NIM : 3334200081

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benarbenar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 10 Febuari 2025



Rafi Nurdwi Raharjo

NIM.3334200081

ABSTRAK

Pada tahun 2023, penyakit kardiovaskular menjadi salah satu penyebab utama kematian di dunia. Salah satu metode penanganannya adalah pemasangan stent, yakni tabung kecil yang dimasukkan ke pembuluh darah untuk menjaga kelancaran aliran darah. *Stainless steel 304 thin foil* sering digunakan sebagai material stent karena sifatnya yang biokompatibel, tahan korosi, dan memiliki sifat mekanis yang sesuai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan waktu tahan pada proses perlakuan panas terhadap struktur mikro, kekuatan tarik, kekuatan luluh, elongasi, dan kekasaran permukaan stainless steel 304 thin foil. Proses perlakuan panas meliputi *quenching* pada suhu 750°C selama 60 menit yang diikuti pendinginan air es, serta *tempering* pada suhu 500°C, 600°C, dan 700°C dengan waktu tahan 30, 45, dan 60 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan panas memengaruhi ukuran butir, pembentukan martensit, serta sifat mekanik material. Semakin tinggi temperatur dan durasi *tempering*, *tensile strength* dan *yield strength* menurun, sedangkan elongasi dan kekasaran permukaan meningkat. Nilai kekuatan tertinggi dicapai pada 500°C selama 30 menit, dan elongasi maksimum pada 700°C selama 60 menit. Kekasaran permukaan tertinggi tercatat 0,8708 μm .

Kata kunci: kekasaran permukaan, *stainless steel 304 thin foil*, perlakuan panas, uji tarik, struktur mikro

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas keberadaan Allah SWT karena atas berkat rahmat, hidayah, dan karunia-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir berupa skripsi dengan judul “Pengaruh Perlakuan Panas Quenching-Tempering Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan Tempering Terhadap Sifat Mekanik Dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat Thin Foil 304 Untuk Aplikasi Stent”. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan kelulusan yang nantinya untuk kelulusan pada program Strata-1 (S-1) di Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Penyusunan laporan skripsi tentunya penulis tidak bekerja secara sendiri, akan tetapi penulis mendapat bantuan serta dukungan dari orang-orang secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak terkait, antara lain ialah:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. Selaku ketua program studi Teknik Metalurgi Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dan sekaligus sebagai pembimbing pertama.
2. Bapak Prof. Ir. Agus Pramono, ST., MT., Ph.D, Tech. Selaku pembimbing kedua yang membimbing penulis dalam penelitian hingga menyelesaikan skripsi ini.

3. Ibu Andinnie Juniarsih S.T., M.T. Selaku koordinator skripsi jurusan Teknik Metalurgi.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Metalurgi UNTIRTA.
5. Kedua orang tua yang selalu memberi doa dan dukungan kepada penulis.
6. Rekan-rekan Teknik Metalurgi angkatan 2020.
7. Keluarga yang selalu memberikan dukungan emosional, semangat, dan motivasi sepanjang proses penyusunan proposal skripsi ini. Doa dan kontribusi mereka menjadi faktor utama yang mendorong penulis untuk menyelesaikan laporan skripsi ini.

Penulis menyadari adanya kekurangan pada pembuatan laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar kesalahan yang sama tidak terulang di masa yang akan datang. Semoga penyusunan laporan skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kemajuan bagi bidang pendidikan dan dapat diterapkan di lapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut menjadi penelitian yang lebih sempurna. Kritik serta saran yang membangun dari pembaca, dapat disampaikan melalui alamat surat elektronik (email) penulis, rafinurdwiraharjo@gmail.com. Terimakasih.

Cilegon, 10 Febuari 2025



Rafi Nurdwi Raharjo

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan penelitian	5
1.4 Ruang Lingkup Peneltian	6
1.5 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8

2.1	<i>Stent</i>	8
2.2	<i>Stainless Steel</i>	12
2.3	Baja Tahan Karat 304	16
2.4	Baja Tahan Karat 316L.....	17
2.5	Perlakuan Panas.....	18
2.6	<i>Thin Foil</i>	22
2.7	Diagram Fasa Fe-C	23
2.8	Diagram TTT (<i>Time-Temperature-Transformastion</i>)	25
2.9	Uji Metalografi	26
2.10	Kekasaran Permukaan	27
2.11	UJI Tarik.....	31
BAB III METODE PENELITIAN		36
3.1	Diagram Alir Penelitian.....	36
3.2	Alat dan Bahan	37
3.2.1.	Alat-alat yang Digunakan	37
3.2.2.	Bahan-bahan yang digunakan.....	38
3.3	Prosedur Percobaan	38
3.3.1	Persiapan Spesimen	38
3.3.2	<i>Heat Treatment</i>	39
3.3.3	Pengujian Tarik.....	40

3.3.4	Pengamatan Struktur Mikro.....	41
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1	Data Hasil Penelitian	43
4.1.1	Hasil Pengamat Metalografi	43
4.1.2	Data Hasil Perhitungan Fraksi Volume Martensit.....	45
4.1.3	Data Hasil Perhitungan Ukuran Butir.....	45
4.1.4	Data Hasil Pengujian Tarik.....	46
4.1.5	Data Hasil Kekerasan Permukaan	47
4.2	Pembahasan Hasil Penelitian.....	48
4.2.1	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro.....	48
4.2.2	Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap <i>Yield Strength Tensile</i> <i>Strength</i> , dan Elongasi	51
4.2.3	Pengaruh Perlakuan Panas terhadap Kekasaran Permukaan	55
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	57
5.1	Kesimpulan.....	57
4.3	Saran	58
DAFTAR PUSTAKA		59
LAMPIRAN A PERHITUNGAN		64
LAMPIRAN B DATA PENELITIAN		72
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN		79

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pada tahun 2023, tercatat orang meninggal dunia sebanyak 68 juta orang meninggal dunia di dunia . Salah satu penyakit yang menyumbangkan angka kematian di dunia adalah *cardiovascular diseases* (CVD) yaitu suatu keadaan dimana terjadinya gangguan pada sistem jantung dan pembuluh darah. Penyakit kardiovaskular, termasuk penyakit jantung, *stroke*, dan kondisi terkait lainnya, telah lama menjadi penyumbang signifikan terhadap angka kematian global. Kematian akibat kardiovaskular mencapai 20,5 juta orang meninggal dunia. Di Indonesia, *cardiovascular diseases* tiap tahun terus meningkat. Sebagai upaya untuk mengatasi penyakit kardiovaskular, pemasangan *stent* menjadi salah satu prosedur medis yang semakin umum dilakukan di Indonesia [1].

Stent adalah perangkat berbentuk tabung kecil yang terbuat dari logam yang digunakan dalam tubuh manusia untuk mengatasi pembuluh darah yang lemah atau menyempit akibat pembentukan lesi. *Stent* membantu meningkatkan aliran darah dan mencegah pembuluh darah tertutup kembali atau pecah. *Stent* dipasang langsung melalui pembuluh darah atau arteri tanpa perlu operasi jantung terbuka[2]. Artinya *stent* koroner dipasang menggunakan prosedur yang dikenal sebagai angioplasti koroner atau *percutaneous coronary intervention* (PCI). Dalam prosedur ini, dokter memasukkan kateter dengan balon kecil di ujungnya melalui pembuluh darah, biasanya di pergelangan tangan atau pangkal paha, hingga

mencapai area yang tersumbat atau menyempit di arteri koroner[3]. Proses ini memungkinkan pemasangan *stent* tanpa harus melakukan operasi besar seperti bedah jantung terbuka, sehingga pemulihan pasien biasanya lebih cepat dan risiko komplikasinya lebih rendah. Hal ini menjadi keunggulan utama dari penggunaan *stent*.

Pembuatan *stent* harus memenuhi kriteria dari sudut pandang dokter selaku pelaku tenaga kesehatan dan sudut pandang engineer selaku produsen. Bagian tubuh manusia sangat sensitif apabila terdapat benda-benda asing, oleh karena itu Material *stent* yang ideal harus sepenuhnya tahan korosi, kompatibel dengan pembuluh darah, tahan terhadap kelelahan, dan dapat terlihat menggunakan metode standar sinar-X dan MRI. [4].

Stainless steel 304 sering digunakan sebagai material untuk *stent* karena memiliki sifat-sifat yang sangat cocok untuk aplikasi medis, terutama dalam tubuh manusia. Material ini biokompatibel, artinya tidak menimbulkan reaksi toksik atau penolakan yang signifikan dari tubuh, sehingga aman untuk digunakan dalam jangka panjang. Selain itu, *stainless steel* memiliki kekuatan mekanis yang tinggi, memungkinkannya menahan tekanan dari dinding pembuluh darah tanpa mudah rusak atau berubah bentuk. Ketahanan terhadap korosi juga menjadi alasan utama, karena *stainless steel*, khususnya grade 304, memiliki lapisan oksida pasif yang melindunginya dari lingkungan tubuh yang mengandung cairan seperti darah. Selain itu juga, nilai kekasaran permukaan (Ra) pada material *stainless steel* 304 dengan *coarse grains* lebih tinggi dibandingkan *stainless steel* 316L *coarse grains*. Hal ini disebabkan kekuatan butir pada *stainless steel* 304 yang lebih tinggi

daripada *stainless steel* 316L, sebagaimana tercermin dari nilai kekuatan tarik material SUS 304 yang lebih besar [5]. *Stainless steel* 304 ini memiliki permasalahan khusus yang digunakan pada penelitian ini yakni memiliki regangan yang belum sesuai dengan standar ASTM F 1314 dimana memiliki nilai *yield strength* sebesar 340 Mpa, *ultimate tensile strength* sebesar 670 MPa, dan elongasi 48%. Salah satu cara untuk memperoleh sifat mekanik yang sesuai untuk aplikasi stent adalah melalui perlakuan panas dan penambahan unsur paduan. Dalam penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh I Nyoman Jujur dkk. [6], ditemukan bahwa penambahan unsur Niobium dapat menurunkan nilai *ultimate tensile strength* dan *yield strength*, namun meningkatkan nilai elongasi.

Selain penambahan unsur paduan, perlakuan panas juga merupakan metode yang umum dilakukan untuk mencapai sifat mekanik yang diinginkan, Perlakuan panas adalah metode yang menggabungkan proses pemanasan dan pendinginan pada material logam dalam kondisi padat. Tujuan dari perlakuan panas pada material adalah mengetahui perubahan struktur mikro, dan ukuran butir. perubahan-perubahan tersebut yang dihasilkan melalui proses perlakuan panas bergantung pada suhu pemanasan, dan waktu tahan.

Perubahan ini menghasilkan transformasi fasa yang memengaruhi sifat mekanik material. Besarnya perubahan struktur mikro dapat mengindikasikan pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan dan keuletan material. Pengaruh ini dipengaruhi oleh suhu dan durasi perlakuan panas. Semakin tinggi suhu atau semakin lama waktu pemanasan, semakin besar kemungkinan terjadinya

pertumbuhan butir, yang menyebabkan kekuatan material menurun akibat berkurangnya hambatan pada pergerakan dislokasi.

Selain itu juga, temperatur juga memiliki pengaruh terhadap kekasaran permukaan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ajit, dimana membahas mengenai pengaruh temperatur terhadap kekasaran permukaan. Hasil penelitian tersebut menghasilkan semakin tinggi temperatur semakin tinggi nilai kekasaran permukaan yang dihasilkan[7]. Besarnya nilai dari kekasaran suatu permukaan akan berdampak terhadap laju korosi. Berdasarkan penelitian dari Daniel, dkk yang menyatakan bahwa semakin semakin tinggi nilai kekasaran permukaan, akan menyebabkan laju korosi meningkat[8]. Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidak homogenan pada permukaan, hal ini memudahkan terjadinya korosi.

Untuk memastikan material stent memiliki sifat yang optimal, penting untuk memahami bagaimana perlakuan panas yang mempengaruhi struktur mikro, sifat mekanik, dan kekasaran permukaan baja tahan karat. Hal ini krusial karena kekasaran permukaan yang tinggi dapat memengaruhi laju korosi. Permukaan logam yang lebih kasar akan menimbulkan beda potensial pada permukaan, semakin kasar maka semakin besar juga beda potensial antar permukaan tersebut. Hal ini menyebabkan permukaan tersebut memiliki kecenderungan untuk menjadi anoda yang terkorosi. Akibatnya, ketahanan korosi material menurun secara signifikan, yang pada akhirnya berpengaruh pada kinerja dan umur pakai stent di dalam tubuh pasien. Penelitian fokus pada perlakuan panas *quenching-tempering* pada baja tahan karat SUS304 *thin foil* dengan variasi temperatur dan waktu tahan

tempering. untuk diketahui pengaruhnya terhadap struktur mikro dan sifat mekanik (kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan kekasaran permukaan).

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana hasil pengujian metalografi baja tahan karat SUS 304 *thin foil* yang telah dilakukan perlakuan panas *quenching tempering* dengan tiga variasi temperatur dan waktu tahan.
- b. Bagaimana hasil uji tarik baja tahan karat SUS 304 *thin foil* yang telah dilakukan perlakuan panas *quenching tempering* dengan tiga variasi temperatur dan waktu tahan.
- c. Bagaimana nilai kekasaran permukaan yang telah dilakukan perlakuan panas *quenching tempering* dengan tiga variasi temperatur dan waktu tahan.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis hasil pengujian metalografi baja tahan karat SUS 304 *thin foil* yang telah dilakukan perlakuan panas *quenching tempering* dengan tiga variasi temperatur dan waktu tahan.
- b. Menganalisis hasil uji tarik baja tahan karat SUS 304 *thin foil* yang telah dilakukan perlakuan panas *quenching tempering* dengan tiga variasi temperatur dan waktu tahan.

- d. Menganalisis nilai kekasaran permukaan yang telah dilakukan perlakuan panas *quenching tempering* dengan tiga variasi temperatur dan waktu tahan.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian dengan judul “Pengaruh Perlakuan Panas Quenching-Tempering dengan Variasi Temperatur dan Waktu Tahan *Tempering* Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat Thin Foil 304 Untuk Aplikasi Stent” dapat dilihat sebagai berikut.

- a. Sampel yang digunakan pada penelitian ini merupakan *stainless steel* SUS 304
- b. Variabel Bebas
 - 1. Variasi temperatur *tempering* 500°C, 600°C, dan 700°C
 - 2. Variasi waktu tahan *tempering* 30 menit, 45 menit, dan 60 menit
- c. Variabel terikat
 - 1. Struktur mikro
 - 2. Ukuran butir
 - 3. Volume martensit %
 - 4. Kekasaran permukaan
- d. Pengujian yang dilakukan
 - 1. Pengamatan struktur mikro
 - 2. Pengujian tarik

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini diawali dengan Bab I yaitu pendahuluan yang menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan masalah, hipotesis, adanya tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, dan juga sistematika penulisannya. Lalu, dilanjut dengan Bab II yang membahas beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini. Selanjutnya ialah Bab III yang berisikan bagaimana prosedur penelitian ini dilakukan dengan alat dan bahan yang sudah disiapkan. Kemudian adanya Bab IV yang berisikan hasil dan pembahasan penelitian. Selanjutnya, Bab V yang berisikan kesimpulan dan saran. Lalu, diakhiri dengan adanya daftar pustaka dan lampiran pendukung dalam penulisan dan penyusunan laporan penelitian ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan proses penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan diantaranya

1. Proses *quenching* dan *tempering* dengan variasi temperatur serta waktu tahan memengaruhi struktur mikro dan ukuran butir baja. struktur yang terbentuk adalah martensit dan austenit sisa. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan *tempering*, ukuran butir meningkat. Di mana suhu 700°C menunjukkan pertumbuhan butir yang paling tinggi hingga mencapai 14,395 μm dengan waktu tahan 60 menit, sedangkan ukuran terkecil terdapat pada temperatur 500°C dengan waktu tahan 30 menit sebesar 4,638 μm .
2. *Quenching-tempering* dengan variasi temperatur dan waktu tahan mempengaruhi hasil uji tarik. Terjadi kenaikan *Yield Strength* dan *Tensile Strength* namun seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan *tempering*, namun menurunkan elongasi.
3. Terjadi kenaikan kekasaran permukaan seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan *tempering*. Hal ini dapat ditunjukan pada temperatur 700°C menghasilkan kekasaran permukaan terbesar (0,327

μm) setelah 60 menit, sedangkan kombinasi 500°C dan 30 menit menghasilkan butir paling kecil $0,231\ \mu\text{m}$.

4.3 Saran

Adapun saran untuk penelitian berikutnya adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan perlakuan panas dengan variasi temperatur yang digunakan dibawah 500°C .
- b. Menggunakan variasi waktu tahan yang optimal, agar didapatkannya sifat mekanik yang diinginkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization, “The Top 10 Causes Of Death,” www.who.int. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- [2] J. Lévesque, D. Dubé, M. Fiset, and D. Mantovani, “Materials And Properties For Coronary Stents,” *Advanced Materials and Processes*, vol. 162, no. 9, pp. 45–48, 2004.
- [3] S. Harselia, “Tindakan Percutaneous Coronary Intervention Pada Pasien Stenosis Arteri Koroner Kanan,” *ARKAVI [Arsip Kardiovaskular Indonesia]*, vol. 3, no. 1, pp. 186–191, 2018, doi: 10.22236/arkavi.v3i1.3687.
- [4] P. Poncin and J. Proft, “Stent tubing: Understanding The Desired Attributes,” *Medical Device Materials - Proceedings of the Materials and Processes for Medical Devices Conference 2003*, no. September, pp. 253–259, 2003.
- [5] A. Aziz, M. Yang, T. Shimizu, and T. Furushima, “Effect of Martensitic Transformation and Grain Misorientation on Surface Roughening Behavior of Stainless Steel Thin Foils,” *Eng*, vol. 2, no. 3, pp. 372–385, 2021, doi: 10.3390/eng2030024.
- [6] I. N. Jujur, S. E. Susilowati, S. Roseno, and A. H. S. Wargadipura, “The Effect of Niobium Addition on Mechanical Properties and Corrosion Resistance of a Medical Grade SS316L,” 2021. doi: 10.22146/ajche.63778.
- [7] A. Behera and S. Aich, “Characterisation and properties of magnetron sputtered nanoscale bi-layered Ni / Ti thin films and effect of annealing,” no. December, 2020, doi: 10.1002/sia.5777.
- [8] D. Sianipar *et al.*, “Pengaruh Kekasaran *Stainless Steel* Tipe 304 yang Digunakan Untuk Kawat Ortodontik Terhadap Laju Korosi Pada Larutan Saliva,” vol. 12, no. 2, pp. 25–36, 2024.

- [9] A. Nasution, "Aplikasi Biomaterial Dalam Kardiologi: Stent Koronaria," *Photon*, vol. 2, no. 2, pp. 1–9, 2012, doi: <https://doi.org/10.37859/jp.v2i2.13>.
- [10] Y. Zheng and H. Yang, *Manufacturing of cardiovascular stents*. LTD, 2020. doi: 10.1016/B978-0-08-102965-7.00009-6.
- [11] Y. Dai, S. S. Chopra, M. Steinbach, S. Kneif, and M. Hünnerbein, "Esophageal Stents for Leaks and Perforations," *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, vol. 23, no. 2, pp. 159–162, 2011, doi: 10.1053/j.semtcvs.2011.08.004.
- [12] Y. A. Klyachko, V. G. Starchak, R. K. Melekhov, and I. I. Vasilenko, "Effect Of Heat Treatment On The Corrosion Resistance And Mechanical Properties Of Steel 16gnma," *Metal Science and Heat Treatment*, vol. 14, no. 11, pp. 1019–1021, 1972, doi: 10.1007/BF00652010.
- [13] A. J. Sinaga and C. Manurung, "Analisa Laju Korosi dan Kekerasan Pada Stainless Steel 316 L Dalam Larutan 10 % NaCl Dengan Variasi Waktu Perendaman," *Sprocket Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 92–99, 2020, doi: 10.36655/sprocket.v1i2.186.
- [14] S. H. Avner, *Introduction to Physical Physical Metallurgy*, 2nd ed. Auckland; Singapore; Sydney; Tokyo: McGRAW-Hill, Inc, 1974.
- [15] A. Pramono, J. Teknik, M. Fakultas, T. Universitas, S. Ageng, and T. Cilegon, "Karakterisrik Mekanik Proses Hardening Baja Aisi 1045 Media Quenching Untuk Aplikasi Sprocket Rantai," vol. 5, no. 1, pp. 32–38, 2011.
- [16] A. S. Ismy, "Hardening Pada Baja AISI C 1045," *Politeknik Negeri Lhokseumawe*, pp. 217–222, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/313731-hardening-pada-baja-aisi-c-1045-a596d7b5.pdf>
- [17] Ariani Nurul and Mahmudah Liyati, "Recycle Of Aluminium Foil Waste From Packaging As Coagulant On Wastewater Treatment Liayati Mahmudah," *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, vol. 2, no. 2, pp. 71–75, 2017, doi: <http://dx.doi.org/10.36048/jtpii.v2i2.3496>.
- [18] A. Aziz, M. Yang, T. Shimizu, and T. Furushima, "The Relationship Between Surface roughening and Resistance Heating in Austenitic Thin

Metal Foils of SUS 304 and SUS 316 During Tensile Test,” no. 1, pp. 17–25, 2021.

- [19] T. Furushima, H. Tsunozaki, and Y. Hirose, “Fracture and Surface Roughening Behaviors in Micro Metal Forming,” *Procedia Manuf*, vol. 15, pp. 1481–1486, 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.331.
- [20] A. L. Bement, *The Science and Engineering of Materials*, vol. 18, no. 1. 1987. doi: 10.1007/BF02658426.
- [21] R. D. Pravitasari, R. D. Mayasari, W. Rianti, and D. Gustiono, “Variasi Parameter Chemical Etching Naoh pada Sampel Ingot Silikon Polikristal terhadap Permukaan Mikrostruktur,” *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)*, vol. 4, pp. SNF2015-VII, 2015.
- [22] B. Budiana, F. Nakul, N. Wivanius, B. Sugandi, and R. Yolanda, “Analisis Kekasaran Permukaan Besi ASTM36 dengan Menggunakan SurfTest dan Image –J,” *Journal of Applied Electrical Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 49–54, 2020, doi: 10.30871/jaee.v4i2.2747.
- [23] S. H. A. Alfatlawi, “Influence the Quenching and Tempering on the Microstructure, Mechanical Properties and Surface Roughness, of Medium Carbon Steel,” *the Iraqi Journal for Mechanical and Materials Engineering*, vol. 18, no. 1, pp. 125–135, 2018, doi: 10.32852/ijqfmme.vol18.iss1.78.
- [24] A. Setiawan, A. Suprihanto, and Sulisty, “Pengaruh kekasaran permukaan terhadap ketahanan korosi stainless steel 444 dalam cairan saliva buatan,” *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 16, no. 2, pp. 92–96, 2021.
- [25] F. Vollertsen, H. Schulze Niehoff, and Z. Hu, “State of the art in micro forming,” *Int J Mach Tools Manuf*, vol. 46, no. 11 SPEC. ISS., pp. 1172–1179, 2006, doi: 10.1016/j.ijmachtools.2006.01.033.
- [26] K. Osakada and M. Oyane, “On the Roughening Phenomena of Free Surface in Deformation Process,” *Chemical Pharmaceutical Bulletin*, no. 43, p. 2091, 2002. Available: <http://www.mendeley.com/research/geology-volcanic-history-eruptive-style-yakedake-volcano-group-central-japan/>

- [27] Q. Zheng, T. Shimizu, T. Shiratori, and M. Yang, "Tensile properties and Constitutive Model of Ultrathin Pure Titanium Foils at Elevated Temperatures in Microforming Assisted by Resistance Heating Method," *Mater Des*, vol. 63, pp. 389–397, 2014, doi: 10.1016/j.matdes.2014.06.039.
- [28] A. Aziz, M. Yang, T. Shimizu, and T. Furushima, "Constitutive Model of the Surface Roughening Behavior of Austenitic Stainless Steel," *Materials*, vol. 15, no. 12, 2022, doi: 10.3390/ma15124348.
- [29] W. Callister, "Materials Science and Engineering an Introduction," in *Physical Basis of Plasticity in Solids*, 10th ed., L. Rosatone, Ed., WORLD SCIENTIFIC, 2011, pp. 13–37. doi: 10.1142/9789814374064_0002.
- [30] Ciptanto Lubis P, Budiarto U, and Jokosisworo S, "Analisa Pengaruh Variasi Waktu Post Weld Heat Treatment Pada Pengelasan SMAW Baja A36 Terhadap Kekuatan Uji Tarik, Uji Impak dan Struktur Mikro," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 10, no. 3, p. 48, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- [31] Nizar, "Pengaruh Variasi Beban Indentor Vickers Hardness Tester Terhadap Hasil Uji Kekerasan Material Aluminium Dan Besi Cor," *Mer-C*, vol. 1, no. 10, pp. 1–5, 2018.
- [32] D. R. Askeland, *The Science and Engineering of Materials*, 6th ed. Stamford: Christopher M. Shortt, 2011.
- [33] A. Aziz and M. Yang, "Effect of Martensitic Transformation and Grain Size on the Surface Roughening Behavior in SUS 304 and SUS 316 Thin Metal Foils," *Eng*, vol. 1, no. 2, pp. 167–182, 2020, doi: 10.3390/eng1020011.
- [34] H. Perdana, A. Juniarsih, and M. Efendi, "Pengaruh Temperatur dan Waktu Tahan Tempering Terhadap Kekerasan, Struktur Mikro dan Laju Korosi Pada Baja Tahan Karat Martensitik 13Cr3Mo3Ni," *Jurnal Furnace*, vol. 03, p. 01, 2017.
- [35] M.- Rohmah, "Pengaruh Penempaan Dan Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanik Dan Ketahanan Korosi Pada Modifikasi Baja Laterit a-588," *Metalurgi*, vol. 36, no. 1, p. 33, 2021, doi: 10.14203/metalurgi.v36i1.579.

- [36] J. Wang, Y. Kang, H. Yu, and W. Ge, “Effect of Quenching Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Q1030 Steel,” *Materials Sciences and Applications*, vol. 10, no. 10, pp. 665–675, 2019, doi: 10.4236/msa.2019.1010047.

- [37] V. K. Pal and L. P. Singh, “Effect of Varying Heat Treatment Regimes on Microstructure and Mechanical Properties of P92 Steel Welds,” *Journal of Mechanical Engineering*, vol. 25, no. 1, pp. 38–59, 2022, doi: 10.15407/pmach2022.02.038.