

**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 PENGESAHAN

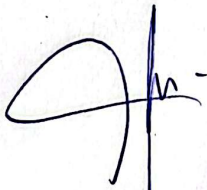
**PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN
TEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN
STRUKTUR MIKRO BAJA TAHAN KARAT
304 *THIN FOIL* UNTUK STENT**

SKRIPSI

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

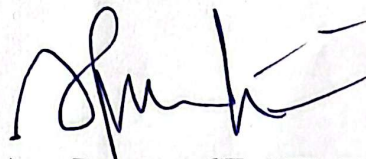
Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Abdul Aziz, ST., MT., Ph.D.
NIP. 198003072005011002

Pembimbing II



Prof. Ir. Agus Pramono, ST., MT., Ph.D. Tech.
NIP. 197608182008121012

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

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2. 1 Karakteristik <i>Stent</i>	10
Tabel 2. 2 Sifat Mekanik yang Digunakan Pada Aplikasi <i>Stent</i>	11
Tabel 2. 3 Pengaruh Penambahan Unsur Pada <i>Stainless Steel</i>	12
Tabel 2. 4 Kodifikasi Baja tahan karat.....	13
Tabel 2. 5 Komposisi Kimia <i>Stainless Steel</i> 304	16
Tabel 2. 6 Sifat Mekanik <i>Stainless Steel</i> 304.....	17
Tabel 2. 7 Komposisi 2.4 Baja Tahan Karat 316L.....	17
Tabel 2. 8 Sifat Mekanik Baja Tahan Karat 316L	18
Tabel 2. 9 Jenis Baja dan Waktu Tahan yang Dibutuhkan Pada Perlakuan Panas.....	20
Tabel 3. 1 Kode Sampel	41
Tabel 4. 1 Hasil Data Perhitungan Fraksi Volume Martensit	45
Tabel 4. 2 Hasil Data Perhitungan Ukuran Butir	46
Tabel 4. 3 Hasil Data <i>Tensile Strength</i> , <i>Yield Strength</i> , dan elongasi.....	46
Tabel 4. 4 Hasil Data Perhitungan Kekasaran Permukaan	47
Tabel B. 1 Data Hasil Persebaran Martensit.....	73
Tabel B. 2 Hasil Ukuran Batas Butir	73
Tabel B. 3 Data Hasil Hasil Uji Tarik.....	74
Tabel B. 4 Data Hasil Kekasaran Permukaan	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2. 1 Ilustrasi Implantasi <i>Stent</i> Ke Dalam	9
Gambar 2. 2 Dimensi <i>Stent</i>	9
Gambar 2. 3 <i>Thin Foil</i>	23
Gambar 2. 4 Diagram fasa Fe-Fe ₃ C	24
Gambar 2. 5 <i>Time-Temperature-Transformation</i>	26
Gambar 2. 6 Diagram <i>Stress-Strain</i>	34
Gambar 2. 8 Pengaruh Temperatur terhadap <i>Tensile Strength</i> , <i>Yield Strength</i> dan Elongasi	35
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 3. 2 Spesimen Penelitian <i>Stainless Steel</i> 304	39
Gambar 3. 3 Spesimen Uji Tarik Standar DIN 50125	39
Gambar 3. 4 Spesimen Penelitian Setelah Dilakukan Perlakuan Panas	40
Gambar 3. 5 Skematik Perlakuan Panas Penelitian	40
Gambar 4. 1 Hasi Metalografi Spesimen a) 530; b) 545 c) 560; d) 630; e) 645; f) 660; g) 730; h) 745; i) 760	44
Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Volume Martensit.....	49
Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Ukuran Butir.....	51
Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap <i>Tensile Strength</i>	52
Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap <i>Yield Strength</i>	53

Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Elongasi	54
Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Kekasaran Permukaan	55
Gambar A. 1 Tampilan <i>ImageJ</i>	65
Gambar A. 2 Membuka File Gambar	65
Gambar A. 3 Memilih Gambar	66
Gambar A. 4 Menganalisa Gambar	66
Gambar A. 5 Mengatur Pengaturan Gambar	67
Gambar A. 6 Hasil Analisa	67
Gambar A. 7 Grafik Tegangan-Regangan	69
Gambar B. 1 Analisa Persebaran Martensit Sampel 530	75
Gambar B. 2 Analisa Persebaran Martensit Sampel 545	75
Gambar B. 3 Analisa Persebaran Martensit Sampel 560	76
Gambar B. 4 Analisa Persebaran Martensit Sampel 600	76
Gambar B. 5 Analisa Persebaran Martensit Sampel 630	76
Gambar B. 6 Analisa Persebaran Martensit Sampel 660	76
Gambar B. 7 Analisa Persebaran Martensit Sampel 700	76
Gambar B. 8 Analisa Persebaran Martensit Sampel 730	76
Gambar B. 9 Analisa Persebaran Martensit Sampel 830	77
Gambar B. 10 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 530	77
Gambar B. 11 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 545	77
Gambar B. 12 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 560	77
Gambar B. 13 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 600	77
Gambar B. 14 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 645	78

Gambar B. 15 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 660	78
Gambar B. 16 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 700	78
Gambar B. 17 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 745	78
Gambar B. 18 Ukuran Butir Martensit Sampel 760.....	78
Gambar C. 1 Amplas.....	80
Gambar C. 2 Cawan Gelas	80
Gambar C. 3 Kain Wol.....	80
Gambar C. 4 Katalis.....	80
Gambar C. 5 Larutan HNO_3	80
Gambar C. 6 Larutan HF.....	80
Gambar C. 7 <i>Muffle Furnace</i>	81
Gambar C. 8 Mesin <i>Polishing</i>	81

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 II

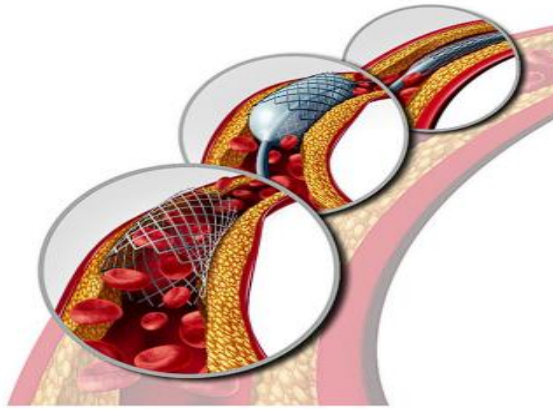
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Stent*

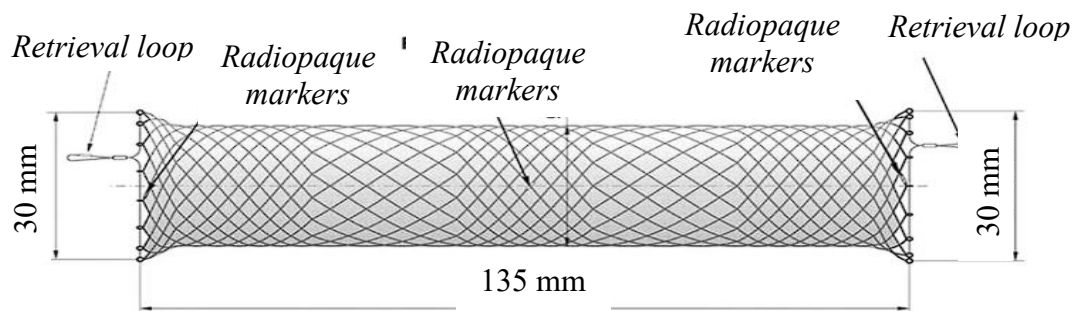
Stent merupakan biomaterial yang digunakan di dunia kesehatan (ahli bedah) untuk memperluas atau membuka sumbatan arteri yang berguna untuk menormalkan aliran darah dan mengurangi resiko serangan jantung [9]. Kondisi ini biasanya dilakukan pada pasien Penyakit Jantung Koroner (PJK). Ketika arteri koroner (arteri yang memberi makan otot jantung) menyempit oleh penumpukan timbunan lemak yang disebut plak, hal itu dapat mengurangi aliran darah. Jika aliran darah ke otot jantung berkurang, nyeri dada bisa terjadi. Jika gumpalan terbentuk dan benar-benar menghalangi aliran darah ke bagian otot jantung, maka terjadilah serangan jantung. *Stent* membantu menjaga arteri koroner tetap terbuka dan mengurangi kemungkinan serangan jantung.

Untuk membuka arteri yang menyempit, dokter dapat melakukan prosedur yang disebut *Percutaneous Coronary Intervention* (PCI) atau angioplasty. Prosedur ini bertujuan untuk mencegah penyumbatan kembali dengan pemasangan *stent*. *Stent* pertama-tama dikerutkan ketabung berujung balon (kateter), dimasukkan ke stenosis melalui pembuluh darah dan dipindahkan ke titik penyumbatan. Kemudian diperluas dengan menggembungkan balon. Ini memampatkan plak dan membuka tempat yang menyempit. Ketika lubang di pembuluh telah melebar, balon mengempis dan kateter ditarik. *Stent* tetap berada di arteri secara permanen dan menahannya agar tetap terbuka. Ini meningkatkan aliran darah ke otot jantung.

Ilustrasi implantasi *stent* dan dimensi *stent* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.



Gambar 2. 1 Ilustrasi Implantasi *Stent* Ke Dalam [10]



Gambar 2. 2 Dimensi *Stent* [11]

Stent kardiovaskular harus memiliki elastisitas yang cukup untuk dapat dipadatkan saat pengantaran dan kemudian mengembang di area lesi, serta mempertahankan ukuran yang diperlukan setelah dipasang. Berikut adalah karakteristik dari stent dapat ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Karakteristik *Stent* [10]

No	Karakteristik	Deskripsi
1	<i>Low Profile</i>	Kemampuan untuk dipadatkan pada kateter balon, memungkinkan pengiriman yang mudah.
2	Kemampuan Ekspansi yang Baik	Dapat mengembang secara optimal dan menyesuaikan bentuk dinding pembuluh darah saat balon digembungkan.
3	Kekuatan Radial yang Cukup	Mampu menopang dinding arteri dan tidak mudah runtuh setelah pemasangan.
4	Fleksibilitas yang Cukup	Dapat dikirim melalui arteri dengan berbagai ukuran dan tikungan tanpa kehilangan bentuk atau fungsi.
5	Radiopasitas/MRI yang Memadai	Dapat dilokalisasi dan dilacak dengan mudah menggunakan imaging medis seperti X-ray atau MRI.

Secara umum, bahan yang digunakan untuk pembuatan *stent* kardiovaskular adalah *stainless steel* 316 L (316 L SS), tantalum (Ta), titanium (Ti), Nitinol (Ni-Ti), kobalt-kromium (Co-Cr), platinum (Pr), besi murni, dan paduan magnesium

(WE43). Sifat mekanik yang dimiliki pada *stent* berdasarkan jenis material dapat dilihat pada Tabel 2.2 [10].

Tabel 2. 2 Sifat Mekanik yang Digunakan Pada Aplikasi *Stent* [4]

Jenis Material	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	UTS (Mpa)	<i>Elongasi</i> (%)	<i>Kekasaran permukaan</i> (μm)
<i>Stainless Steel</i> 304	207	692	35	1,5
Fe-18Cr-14Ni- 2.5Mo “316LVM” ASTM F138	340	670	48	1,5
Fe-21Cr-10Ni- 3.5Mn-2.5Mo ASTM F 1586	430	740	35	N/A
Fe-22Cr-13Ni-5Mn ASTM F 1314	448	827	45	N/A
Fe-23Mn-21Cr- 1Mo-1N Nickel free SS	607	931	49	N/A
Co-20Cr-15W- 10Ni“L605” ASTM F90	380-780	820-1200	35-55	N/A

Tabel 2. 2 (Lanjutan)

Jenis Material	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	UTS (Mpa)	<i>Elongasi</i> (%)	<i>Kekasaran permukaan</i> (μm)
CP Titanium ASTM F 67, <i>Grade 1</i>	200	300	30	N/A
Tantalum	138	207	25	N/A
Tungsten	3000	3126	103	N/A

2.2 *Stainless Steel*

Baja tahan karat atau *stainless steel* adalah jenis baja paduan yang mengandung minimal 11,5% kromium berdasarkan beratnya. *Stainless steel* memiliki sifat tahan karat yang membuatnya tidak mudah terkorosi seperti logam baja lainnya. Perbedaan utama antara *stainless steel* dan baja biasa terletak pada kandungan kromiumnya. *Stainless steel* memiliki persentase jumlah krom yang memadai sehingga akan membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi lebih lanjut. Selain krom, terdapat unsur-unsur lain yang berperan sebagai paduan dalam baja tahan karat yang setiap unsur memiliki pengaruhnya masing-masing yang dapat dilihat pada gambar 2.3.

Tabel 2. 3 Pengaruh Penambahan Unsur Pada *Stainless Steel* [4]

Unsur	Pengaruh
Aluminum	Deoksidasi
Boron	Meningkatkan kekerasan

Tabel 2. 3 (Lanjutan)

Unsur	Pengaruh
Carbon	Meningkatkan kekuatan dan kekerasan
Chromium	Meningkatkan ketahanan korosi, kekerasan, dan ketahanan aus
Lead	Meningkatkan kekerasan
Manganese	Meningkatkan kekerasan
Nickel	Meningkatkan Kekuatan pada temperatur tinggi, Menaikan ketahanan korosi
Phosphor	Meningkatkan Kekerasan, kemampuan mesin dan ketahanan korosi
Silicon	Deoksidasi, memperbaiki kekerasan dan <i>oxidation resistance</i>
Sulfur	Meningkatkan kemampuan mesin

Kodifikasi baja tahan karat menurut AISI berbeda dengan kodifikasi baja paduan biasa. Baja tahan karat menggunakan tiga angka, di mana angka pertama menunjukkan grupnya, sementara angka kedua dan ketiga tidak memiliki makna yang signifikan, hanya menunjukkan modifikasi paduannya.

Tabel 2. 4 Kodifikasi Baja tahan karat [4]

Series	Kelompok
2XX	<i>Chromium-Nickel-Manganese, Non Hardenable, Austenitic, Non magnetic</i>

Tabel 2. 4 (Lanjutan)

Series	Kelompok
3XX	<i>Chromium-Nickel, Non Hardenable, Austenitic, Non magnetic</i>
4XX	<i>Chromium, Hardenable, Mar-tensitic, Magnetic</i>
5XX	<i>Chromium, Non chromium, Heat resisting</i>

Stainless steel umumnya dibagi menjadi empat kategori berdasarkan paduan unsur kimia, yakni:

1. Baja Tahan Karat Martensitik

Baja ini merupakan paduan kromium dan karbon yang memiliki struktur martensit *body-centered cubic* (bcc) terdistorsi saat kondisi bahan dikeraskan. Baja ini merupakan ferromagnetic, bersifat dapat dikeraskan dan umumnya tahan korosi di lingkungan kurang korosif. Kandungan kromium umumnya berkisar antara 10.5-18%, dan karbon melebihi 1.2%. Kandungan kromium dan karbon dijaga agar mendapatkan struktur martensit saat proses pengerasan. Karbida berlebih meningkatkan ketahanan aus. Unsur niobium, silikon, tungsten dan vanadium ditambah untuk memperbaiki proses temper setelah proses pengerasan. Sedikit kandungan nikel meningkatkan ketahanan korosi dan ketangguhan.

2. Baja Tahan Karat Ferritik

Baja tahan karat ferritik mengandung hingga 30% kromium dan kurang dari 0,12% karbon. Karena memiliki struktur kristal kubus berpusat badan (BCC),

baja tahan karat feritik memiliki kekuatan yang baik dan keuletan yang sedang, yang berasal dari penguatan larutan padat dan pengerasan regangan. Baja jenis ini bersifat feromagnetik dan tidak dapat dikeraskan melalui perlakuan panas. Mereka memiliki ketahanan korosi yang sangat baik, kemampuan bentuk yang sedang, dan relatif murah.

3. Baja tahan karat austenitik

Baja tahan karat austenitik merupakan baja yang mengandung tidak kurang dari 18% Cr dan 8% Ni. Logam paduan ini merupakan paduan berbasis ferrous dan struktur kristal *Face Centered Cubic* (FCC). Struktur kristal akan tetap berfasa austenit bila unsur nikel dalam paduan diganti mangan (Mn) karena kedua unsur merupakan penstabil fasa austenit. Baja tahan karat ini bersifat non magnetik, memiliki sifat pembentukan dan keberlasan yang baik.

4. Baja tahan karat dupleks

Meskipun telah dikenal sejak lama, kelompok baja ini baru-baru ini menjadi penting karena meningkatnya kebutuhan akan baja dengan ketahanan yang lebih baik terhadap retak korosi tegangan klorida (SCC) dan kekuatan yang lebih tinggi. Komposisinya dirancang untuk memberikan keseimbangan antara austenit dan ferit. Beberapa kaya akan austenit, beberapa kaya akan ferit, dan beberapa lebih seimbang antara keduanya, tergantung pada kombinasi sifat yang diperlukan. Mereka memiliki karakteristik dari kedua kelompok, dengan ketahanan korosi yang mirip dengan rekan austenitiknya, tetapi ketahanan korosi tegangan yang lebih tinggi dan kekuatan tarik, serta kekuatan luluh yang

umumnya dua kali lipat dari jenis austenitik. Ketangguhan dan keuletannya sebagian besar berada di antara jenis austenitik dan feritik.

2.3 Baja Tahan Karat 304

Baja tahan karat 304 adalah salah satu jenis baja tahan karat austenitik yang memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*) dan merupakan baja dengan ketahanan korosi tinggi. Komposisi unsur-unsur paduan yang terkandung dalam baja tahan karat 304 akan menentukan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Berikut merupakan tabel komposisi kimia baja tahan karat 304 yang dapat dilihat pada Tabel 2. 5.

Tabel 2. 5 Komposisi Kimia *Stainless Steel* 304 [12]

Unsur	%wt
C	0,08
Mn	1,43
P	0,012
S	0,017
Si	0,75
Cr	18,73
Ni	9,78
Fe	<i>Balance</i>

Komposisi Kandungan unsur dalam baja AISI 304 diperoleh sifat mekanik material yang dapat dilihat pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Sifat Mekanik *Stainless Steel 304*

Sifat mekanik	Besaran Nilai
<i>Tensile Strength</i> (Mpa)	515
<i>Yield</i> (MPa)	205
<i>Elongation</i> (%)	40
<i>Hardness</i> (HVN)	88
<i>Modulus Elastisitas</i> (Gpa)	193
<i>Density</i> (Kg/m ³)	8

2.4 Baja Tahan Karat 316L

Baja Tahan Karat 316L merupakan jenis baja tahan karat austenitik yang mengandung molibdenum. Kandungan nikel dan molibdenumnya yang lebih tinggi dibandingkan tipe 304 membuat material ini memiliki ketahanan korosi yang lebih unggul, terutama terhadap korosi celah dan pitting di lingkungan yang mengandung klorida. Selain itu, *Alloy 316L* menawarkan kekuatan tarik, daya tahan terhadap creep, serta ketahanan terhadap pecah akibat tegangan pada suhu tinggi yang sangat baik. Baja ini juga dikenal mudah dibentuk dan dilas. Karena kandungan karbonnya yang rendah, 316L tidak rentan terhadap kepekaan, sehingga sangat cocok digunakan pada struktur yang memerlukan banyak proses pengelasan [13].

Tabel 2. 7 Komposisi Baja Tahan Karat 316L [13]

C %	Si %	S %	Mn %	Ni %	Cr %	Mo%	Fe %
0,029	0,390	0,035	1,648	9,930	16,86	2,057%	69%

Tabel 2. 8 Sifat Mekanik Baja Tahan Karat 316L [13]

Tensile <i>Strength</i> (Mpa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Elongation</i> (%)	<i>Hardness</i> (HRB)
485	170	40	95

2.5 Perlakuan Panas

Perlakuan panas adalah metode yang menggabungkan proses pemanasan dan pendinginan pada material logam dalam kondisi padat [14]. Dalam proses ini, laju pendinginan diatur untuk mencapai sifat-sifat tertentu pada logam tersebut. Perlakuan panas dapat mengubah karakteristik baja, misalnya dari kondisi lunak menjadi sangat keras, atau dari sifat yang mudah patah menjadi lebih ulet. Sifat-sifat baja yang dihasilkan melalui proses ini bergantung pada kandungan karbon, suhu pemanasan, sistem pendinginan.

Perlakuan panas bertujuan untuk mempersiapkan material bagi tahap pengolahan selanjutnya, mempermudah proses pemesinan, mengurangi tegangan internal, meratakan ukuran butir, meningkatkan keuletan dan kekuatan material, serta membuat logam lebih keras untuk menambah ketahanan terhadap aus dan meningkatkan daya potongnya. Perlakuan panas umumnya diterapkan pada material yang akan diproses lebih lanjut; dengan demikian, perlakuan panas berfungsi menyiapkan material setengah jadi untuk tahap pengerjaan berikutnya. Hal ini menunjukkan bahwa proses perlakuan panas dapat digunakan untuk mengatur sifat mekanik material sesuai kebutuhan. Proses laku panas pada dasarnya

terdiri dari beberapa tahapan dimulai dengan pemanasan sampai temperatur tertentu.

Yang membedakan proses laku panas dengan proses laku panas yang lain adalah :

1. Tinggi temperatur pemanasan, yakni temperatur austenisasi yang dihendaki agar transformasi yang seragam pada material tercapai
2. Lamanya waktu penahanan, lamanya waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur pemanasan tertentu
3. Media pendinginan

Selama pemanasan yang biasanya dilakukan hingga mencapai daerah austenit, baja akan mengalami transformasi fase, dimana akan terbentuk struktur austenit. Dengan waktu penahanan yang cukup, pemanasan yang homogen dapat dicapai sehingga struktur austenit juga menjadi homogen, dan karbida dapat larut ke dalam austenit, memungkinkan difusi karbon dan unsur paduan lainnya. Durasi penahanan sangat berpengaruh pada proses transformasi; jika waktu penahanan terlalu singkat atau tidak sesuai, transformasi yang terjadi tidak akan sempurna dan tidak merata. Waktu penahanan yang terlalu pendek juga dapat menghasilkan kekerasan rendah karena jumlah karbida yang larut tidak mencukupi. Sebaliknya, jika waktu penahanan terlalu lama, transformasi akan terjadi, tetapi disertai pertumbuhan butir yang dapat mengurangi ketangguhan baja [15]. Lamanya waktu penahanan dilakukan tergantung dari besarnya tingkat kelarutan karbida dan ukuran butir yang dibentuk [16]. Pedoman untuk menentukan waktu penahanan dari berbagai jenis baja dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut ini.

Tabel 2. 9 Jenis Baja dan Waktu Tahan yang Dibutuhkan Pada Perlakuan Panas [15]

Jenis baja	Waktu tahan (menit)
Baja karbon dan baja paduan rendah	5-15
Baja paduan menengah	15-25
<i>Low alloy tool steel</i>	10-30
<i>High alloy chrome steel</i>	10-60
<i>Hot-work tool steel</i>	15-30

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas adalah bagian integral dari rangkaian proses produksi. Perlakuan panas tidak seharusnya dilihat sebagai langkah terpisah dari proses produksi secara keseluruhan. Karena perlakuan panas dan proses lainnya saling memengaruhi, pelaksanaannya perlu mempertimbangkan tahapan yang telah dilalui sebelumnya, langkah yang akan diambil selanjutnya, serta sifat mekanik yang diinginkan dari keseluruhan proses.

2.3.1 *Hardening*

Hardening adalah salah satu jenis perlakuan panas yang umum dilakukan pada baja, terdiri atas dua tahap utama, yaitu austenitisasi dan *quenching*. Austenitisasi adalah proses pemanasan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, kemudian ditahan selama beberapa lama waktu. Setelah penahanan pada temperatur tersebut, baja didinginkan secara cepat dalam

media pendingin, yang disebut *quenching*. Media pendingin yang biasa digunakan untuk *quenching* adalah air, oli, dan udara. Air memiliki tingkat kecepatan pendinginan (*severity of quench*) tertinggi dibandingkan media *quenching* lainnya. *Severity of quench* merujuk pada kemampuan media *quenching* dalam menyerap panas dari spesimen.

Struktur mikro yang terbentuk setelah proses *hardening* biasanya berupa martensit. Fase martensit adalah fase metastabil yang akan berubah menjadi fase yang lebih stabil jika diberi perlakuan panas lebih lanjut. Martensit yang keras dan getas diperkirakan terbentuk akibat transformasi mekanik (geser) yang disebabkan oleh atom karbon yang terperangkap dalam struktur kristal saat terjadi transformasi polimorfik dari FCC (*Face Centered Cubic*) ke BCC (*Body Centered Cubic*). Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon dalam FCC dan BCC, serta ruang interstisial maksimum pada kedua struktur kristal tersebut. Akibatnya, terjadi distorsi pada kisi kristal BCC menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*). Distorsi kisi kristal yang terjadi akibat transformasi dalam proses pendinginan yang cepat ini berbanding lurus dengan jumlah atom karbon yang terlarut [15].

2.3.2 Tempering

Baja yang dikeraskan dengan pembentukan *martensite*, pada kondisi setelah proses *quenching* biasanya masih sangat getas, sehingga baja tidak cukup baik untuk digunakan. Pembentukan *martensite* juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi. Karena hal tersebut setelah proses pengerasan (*hardening*) selalu diikuti dengan proses pemanasan kembali (*tempering*).

Tempering dilakukan dengan cara memanaskan kembali baja yang sudah dilakukan proses *quenching* pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah, lalu membiarkannya beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan kembali. Secara umum dapat dikatakan jika temperatur tempering makin tinggi, maka kekerasan yang diakibatkan akan semakin rendah, sedangkan ketangguhannya akan semakin meningkat. Hubungan antara pengaruh suhu tempering terhadap kekuatan tarik pada baja dimana kekuatan tarik turun seiring dengan naiknya temperatur *tempering*.

2.6 Thin Foil

Thin foil adalah bahan tipis dari logam yang digulung dengan ketebalan kurang dari 0,15 mm dan memiliki lebar 1,52 meter hingga 4,06 meter. Umumnya foil tidak murni berbasis logam [17]. Dengan ketipisan dan kelembutan propertinya memungkinkan digunakan untuk komponen otomotif, bagian elektronik, perangkat biomedis, dan industri makanan. Material ini juga memiliki kemampuan konduktivitas termal dan listrik yang cukup baik, membuatnya relevan dalam aplikasi yang memerlukan efisiensi transfer panas atau arus listrik. Selain itu, karena fleksibilitasnya, thin foil dapat dengan mudah dibentuk dan dibengkokkan tanpa mengalami retak, yang menjadikannya ideal dalam pembuatan komponen mikro yang memerlukan deformasi plastis pada suhu ruang. Dalam bidang biomedis, *thin foil* berbahan dasar logam seperti *stainless steel* atau titanium juga mulai digunakan untuk aplikasi seperti stent mikro karena mampu menyesuaikan bentuk dengan lingkungan biologis tanpa menimbulkan

reaksi berbahaya terhadap jaringan tubuh. Namun, keterbatasan dalam penerapan material ini serta biaya produksi massal yang mahal menjadi tantangan paling signifikan dalam industri mikroforming [18].



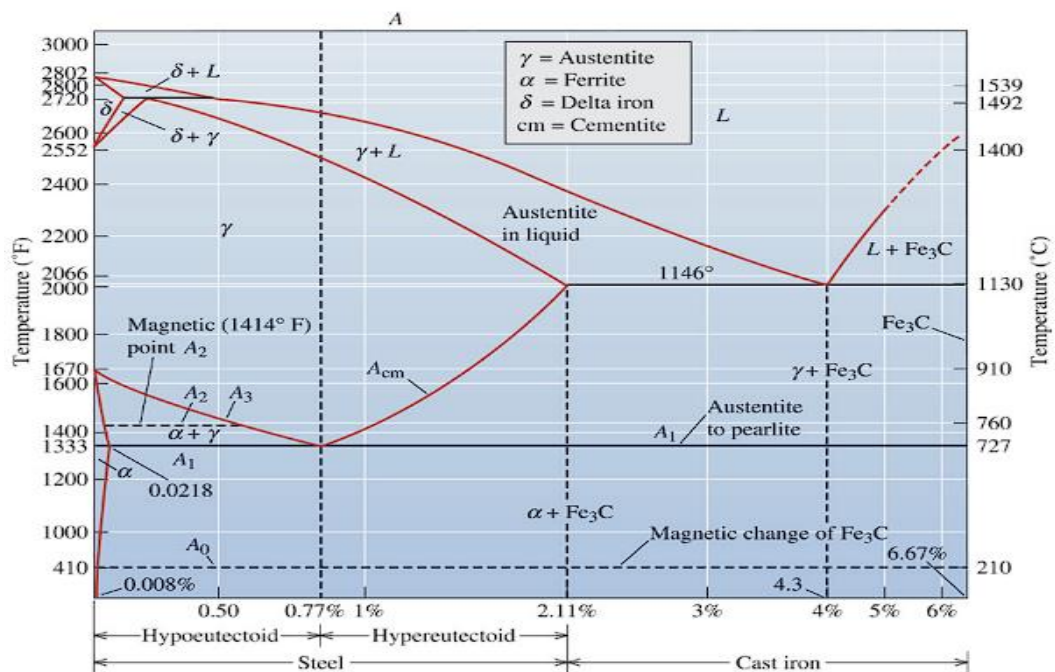
Gambar 2. 3 *Thin Foil* [19]

2.7 Diagram Fasa Fe- Fe₃C

Diagram fasa Fe- Fe₃C adalah diagram yang menampilkan hubungan antara temperatur dimana terjadi perubahan fasa selama proses pendinginan dan pemanasan yang lambat dengan kadar karbon. Diagram ini merupakan dasar pemahaman untuk semua operasi-operasi perlakuan panas. Dimana fungsi diagram fasa adalah memudahkan memilih temperatur pemanasan yang sesuai untuk setiap proses perlakuan panas. diagram fasa Fe-C terdiri fasa padat dan solid solution. Fasa padat pada diagram Fe-C yaitu sementit (Fe₃C). Sedangkan *solid solution* pada gambar Fe-C pada diagram Fe-C yaitu ferit dan austenit. Pada diagram Fe-C terdapat tiga reaksi yakni. Reaksi eutektik pada 4.3 wt% C; 1147 (Persamaan 2.1), reaksi eutektoid pada 0,76 wt% pada temperatur 727C dan reaksi peritektik pada 1495C dengan 0,17 wt%.

Pada diagram fasa terdapat tiga temperatur kritis sebagai batas-batas perbedaan fasa. Temperatur kritis tersebut terdiri dari A₁. A₃. dan A_{cm}. Temperatur A atau

biasa disebut temperatur eutektoid merupakan temperatur minimum untuk fasa austenit. Temperatur A3 merupakan temperatur minimum untuk 100% austenit pada komposisi baja hipoeutektoid (batas antara $\gamma/\alpha + \gamma$). Temperatur Acm merupakan batas fasa untuk baja hipereutektoid (batas antara $\gamma/\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$).



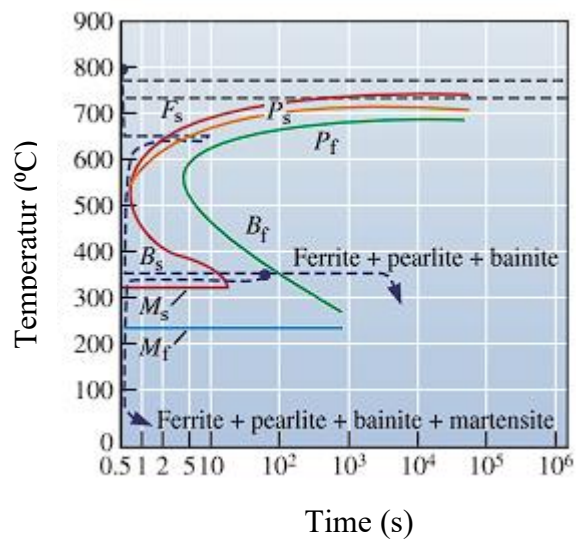
Gambar 2. 4 Diagram Fasa Fe-Fe₃C [20]

Berdasarkan Gambar 2.4, baja dapat diklasifikasikan menurut kadar karbonnya menjadi baja hipoeutektoid dan baja hipereutektoid. Baja hipoeutektoid memiliki kandungan karbon kurang dari 0,77%, sedangkan baja hipereutektoid memiliki kandungan karbon lebih dari 0,77%. Namun, menurut beberapa literatur, batas antara baja hipoeutektoid dan hipereutektoid sering disebut berada pada kadar karbon 0,8%. Perbedaan kadar karbon ini memengaruhi perbedaan temperatur dalam proses perlakuan panasnya.

2.8 Diagram TTT (*Time-Temperature-Transformation*)

Maksud utama dari proses perlakuan panas terhadap baja adalah agar diperoleh struktur yang diinginkan supaya cocok dengan penggunaan yang direncanakan. Struktur tersebut dapat diperkirakan dengan cara menerapkan proses perlakuan panas yang spesifik. Struktur yang diperoleh merupakan hasil dari proses transformasi dari kondisi sebelumnya (awal). Beberapa proses transformasi dapat dibaca melalui diagram fasa. Diagram fasa Fe-C dapat digunakan untuk memperkirakan beberapa kondisi transformasi tetapi untuk kondisi tidak setimbang tidak dapat menggunakan diagram fasa. Dengan demikian, untuk setiap kondisi transformasi lebih baik menggunakan diagram TTT. Diagram ini menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperatur. Nama lain dari diagram ini adalah diagram S atau diagram C. Melalui diagram ini dapat dipelajari kelakuan baja pada setiap tahap perlakuan panas. Diagram ini dapat juga digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik dari baja yang dilakukan *quenching* dari temperatur austenitisasinya ke suatu temperatur di bawah A₁.

Pengaruh laju pendinginan pada transformasi austenit dapat diuraikan melalui penggunaan diagram TTT untuk jenis baja tertentu. Pada diagram ini sumbu tegak menyatakan temperatur sedangkan sumbu datar menyatakan waktu yang diplot dalam skala logaritmik. Diagram ini merupakan ringkasan dari beberapa jenis struktur mikro yang diperoleh dari rangkaian percobaan yang dilakukan pada spesimen yang dipanaskan pada temperatur austenitisasinya. Diagram ini dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2. 5 *Time-Temperature-Transformation* [20]

2.9 Uji Metalografi

Metalografi merupakan bidang ilmu material yang mempelajari struktur mikro dan makro suatu material menggunakan mikroskop optik atau elektron. Hasil pengamatan struktur ini melalui proses metalografi dapat mengungkapkan karakteristik material, termasuk sifat fisik dan mekaniknya. Beberapa aspek yang dapat dianalisis meliputi bentuk dan ukuran butir, fasa material, tingkat homogenitas kimia, sebaran fasa, struktur elongasi, serta cacat material seperti dislokasi [21].

Dalam pengujian metalografi, keberhasilan pengamatan struktur mikro sangat bergantung pada persiapan spesimen uji. Spesimen yang akan diuji harus bersifat rata, bebas dari goresan, dan memiliki permukaan seperti cermin (mengkilap). Semakin sempurna preparasi benda uji, semakin jelas gambar struktur yang diperoleh, sehingga pengamatan menjadi lebih dipercaya. Tahapan persiapan benda uji metalografi secara umum, sebagai berikut:

1. Pemotongan (*cutting*)

Pemotongan pada sampel yang dilakukan secara hati-hati dengan tujuan agar struktur mikro material tidak rusak akibat oleh gesekan alat potong dengan sampel. Pencegahan terjadinya deformasi akibat panas pada struktur mikro material dapat menggunakan air sebagai media pendingin.

2. *Mounting*

Tahap ini dilakukan pada benda uji yang berukuran kecil dan tipis sehingga memudahkan pemegangan (*handling*) benda uji. Tahapan dilakukan dengan melapisi sampel dengan zat organik seperti bakelit, resin, dan sebagainya.

3. Pemolesan (*polishing*)

Tahap ini dilakukan pada permukaan yang hendak diamati, menggunakan ampelas berukuran grid kecil (kasar) sampai dengan ukuran grid sangat besar (sangat halus), dengan posisi tegak lurus setiap melakukan peningkatan penggunaan ukuran grid dari ampelas.

4. Etsa (*etching*)

Proses untuk mengikis daerah batas butir dengan larutan etsa sehingga butir lebih terlihat jelas saat diamati di bawah mikroskop optik. Jenis larutan etsa bergantung pada material yang ingin diamati.

2.10 Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah ukuran atau nilai kekasaran suatu material, yang menggambarkan tinggi atau rendahnya permukaan material yang diukur dari titik acuan tertentu . Konsep kekasaran permukaan ini dapat diterapkan dalam berbagai

bidang, seperti dalam studi aliran panas dan listrik pada material, fenomena gesekan pada permukaan material, interaksi kelekatan antar material, daerah sentuhan deformasi, serta penelitian terkait sifat korosi material. Nilai kekasaran pada permukaan logam menjadi salah satu faktor penting dalam menilai kualitas produk logam. Kualitas produk ini sangat dipengaruhi oleh hubungan antara kekasaran permukaan dengan sifat mekanik, optik, dan elektrik yang terbentuk pada produk tersebut. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai kekasaran logam meliputi proses pembentukan logam, proses pemotongan logam, kecepatan pemotongan, serta sudut pemotongan yang digunakan[22].

Berdasarkan penelitian Sattar [23], suhu *tempering* terbukti berpengaruh terhadap kekasaran permukaan baja. Dalam penelitian tersebut, digunakan baja karbon sedang sebagai bahan uji. Sampel baja mengalami perlakuan panas berupa *quenching* dan *tempering*. Proses *quenching* dilakukan dengan mendinginkan sampel yang telah dipanaskan hingga 850°C selama 1 jam didinginkan menggunakan air es. Selanjutnya, proses *tempering* dilakukan pada suhu 800°C, 900°C, dan 1000°C selama masing-masing 1 jam, lalu didinginkan di udara. Hasil dari penelitian tersebut yang dapat dilihat pada grafik membuktikan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering* maka semakin tinggi nilai kekerasannya.

Besarnya nilai dari kekerasan suatu permukaan akan berdampak terhadap laju korosi. Berdasarkan penelitian dari Aldinor yang menyatakan bahwa semakin semakin tinggi nilai kekasaran permukaan, akan menyebabkan laju korosi meningkat. Hal ini disebabkan karena permukaan yang lebih kasar akan menyebabkan beda potensial dan cenderung untuk menjadi anoda yang terkorosi.

Semakin kasar permukaan suatu logam menyebabkan ketidakhomogenan pada permukaan, hal ini memudahkan terjadinya korosi [24]. Permukaan logam yang tidak rata akan memudahkan terjadinya kutub-kutub muatan (muatan positif dan negatif), yang akhirnya akan berperan sebagai anoda dan katoda pada reaksi elektrokimia. Permukaan logam yang halus dan bersih akan menyebabkan korosi sukar terjadi, sebab sukar terjadi kutub-kutub yang akan bertindak sebagai anoda dan katoda. Maka dari itu, laju korosi akan semakin meningkat seiring bertambah kasarnya permukaan logam.

Dalam pembuatan *stent* melalui teknologi *microforming*, tantangan tambahan muncul akibat efek ukuran (*size effect*) pada material lembaran tipis. Ketika ketebalan material berkurang hingga skala mikrometer, jumlah butir kristal dalam area deformasi menjadi sangat terbatas [25], menyebabkan ketidakseragaman deformasi plastis yang termanifestasi sebagai peningkatan kekasaran permukaan bebas[26]. Furushima dkk. menemukan bahwa kekasaran permukaan meningkat seiring penurunan ketebalan lembaran, dimana rasio kekasaran permukaan terhadap ketebalan yang sebanding dengan lembaran konvensional secara signifikan mempengaruhi deformasi plastis dan fraktur duktilitas selama *microforming* [19]. Pada tembaga murni dengan ketebalan 0,05-1,0 mm tidak ditemukan dimples yang biasanya menandai fraktur duktilitas, menunjukkan bahwa patahan justru disebabkan oleh kekasaran permukaan bebas. Meng et al. melaporkan bahwa pengaruh kekasaran permukaan terhadap aliran material dan regangan fraktur menjadi sangat nyata ketika ketidakseragaman permukaan mencapai tingkat yang sama dengan ketebalan sampel. Qiu Zheng dkk. menambahkan bahwa efek ukuran

dapat menyebabkan karakteristik material tidak homogen dan variasi tinggi parameter proses, membuat proses pembentukan sulit diprediksi di skala mikro. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan yakni melakukan perlakuan panas [27].

Untuk memahami mekanisme di balik kekasaran permukaan pada baja tahan karat austenitik, banyak penelitian telah dilakukan pada lembaran baja tahan karat. Secara umum dilaporkan bahwa pengerasan permukaan meningkat secara linear dengan regangan plastik dan dipengaruhi tidak hanya oleh kondisi deformasi plastik seperti rasio regangan, tetapi juga oleh faktor material seperti ukuran butir, struktur kristal, orientasi kristal, dan persebaran martensit [27]. Selain itu juga, Misorientasi Butir mempengaruhi besaran nilai kekasaran permukaan. Misorientasi Butir (GMO) diperoleh dari perhitungan misorientasi butir di pusat butir-butir yang kemudian dirata-ratakan. Nilai ini dapat diperoleh dari peta KAM (*Kernel Average Misorientation*) hasil analisis SEM-EBSD pada struktur material setelah deformasi [5]. Berdasarkan temuan-temuan ini, berikut dikembangkan model konstitutif yang ditunjukkan pada persamaan 2.1 untuk menghitung kekasaran permukaan baja tahan karat SUS 304 [28].

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

ΔRa = Kekasaran Permukaan

F_{MPT} = Fraksi volume martensit (struktur mikro yang diperoleh)

G_{mo} = Grain moestration

D_g = Ukuran butir

ε = regangan

2.11 Uji Tarik

Pengujian tarik adalah proses pengujian yang merusak di mana gaya tarik diberikan pada material untuk menguji kekuatannya. Proses ini dilakukan dengan memberikan gaya pada benda ke arah yang berlawanan atau dengan mengikat salah satu ujung benda dan memberikan gaya pada ujung lainnya hingga benda tersebut putus. Proses pengujian tarik memiliki tujuan utama untuk mengidentifikasi kekuatan tarik dari bahan uji. Bahan uji ini diharapkan akan digunakan dalam konstruksi, sehingga mampu menanggulangi pembebanan dalam bentuk tarikan. Pembebanan tarik merujuk pada gaya yang diberikan pada suatu objek dengan arah menjauh dari titik tengahnya, atau dengan memberikan gaya tarik pada satu ujung objek dan mengikat ujung yang lainnya [29].

. Uji tarik merupakan dasar dari pengujian bahan yang menjadi landasan dalam studi tentang kekuatan suatu bahan atau material [30]. Pengujian tarik akan menghasilkan diagram *stress-strain* yang memiliki beberapa karakteristik seperti *yield strength*, *tensile strength*, *elongation*, *modulus elastic* dan lainnya yang dapat dilihat di Gambar 2.7.

1. Tegangan

Tegangan yang diperoleh dari kurva tegangan teoritis adalah tegangan rata-rata yang dihasilkan dari pengujian tarik. Tegangan ini didapatkan dengan membagi beban yang diterapkan dengan luas penampang lintang awal dari benda uji. Tegangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

2.2

$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

P = gaya yang diberikan pada benda uji (N)

Ao = luas penampang awal benda uji (mm²)

2. Regangan

Regangan yang didapatkan adalah regangan linear rata-rata, yang dihitung dengan membagi perpanjangan (gage length) benda uji dengan panjang awalnya.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L-L_o}{L_o} \dots\dots\dots (2.3)$$

3. Yield strength

Sebagian besar struktur dirancang agar hanya mengalami deformasi elastis saat menerima tegangan. Jika suatu struktur atau komponen mengalami deformasi plastis, yang bersifat permanen, maka fungsinya bisa terganggu atau bahkan gagal berfungsi sebagaimana mestinya. Oleh karena itu, penting untuk mengetahui tingkat tegangan saat deformasi plastis mulai terjadi, yang dikenal dengan fenomena leleh atau *yielding*. Pada logam yang mengalami transisi dari elastis ke plastis secara bertahap, titik leleh biasanya ditandai sebagai awal penyimpangan dari hubungan linear antara tegangan dan regangan. Titik ini, yang disebut batas proporsionalitas (*proportional limit*), menunjukkan awal deformasi plastis pada skala mikroskopis. Namun, karena sulit untuk menentukan titik ini secara presisi, maka digunakan pendekatan konvensional. Dalam pendekatan ini, dibuat garis lurus sejajar dengan bagian elastis dari kurva tegangan-regangan, dimulai dari regangan sebesar 0,002. Tegangan di

titik perpotongan garis ini dengan kurva pada daerah plastis kemudian didefinisikan sebagai kekuatan luluh atau *yield strength*. [29].

4. *Tensile strength*

Tensile strength atau kekuatan tarik (MPa atau psi) adalah tegangan maksimum pada kurva tegangan regangan teknik. ini adalah tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh struktur, jika tegangan ini diterapkan dan dipertahankan, maka *fracture* atau patah akan terjadi. Kemudian, pada tegangan maksimum ini, penyempitan kecil atau necking mulai terbentuk di beberapa titik, dan semua deformasi berikutnya terakumulasi pada daerah necking ini, dan akhirnya terjadi patah atau *fracture* [29].

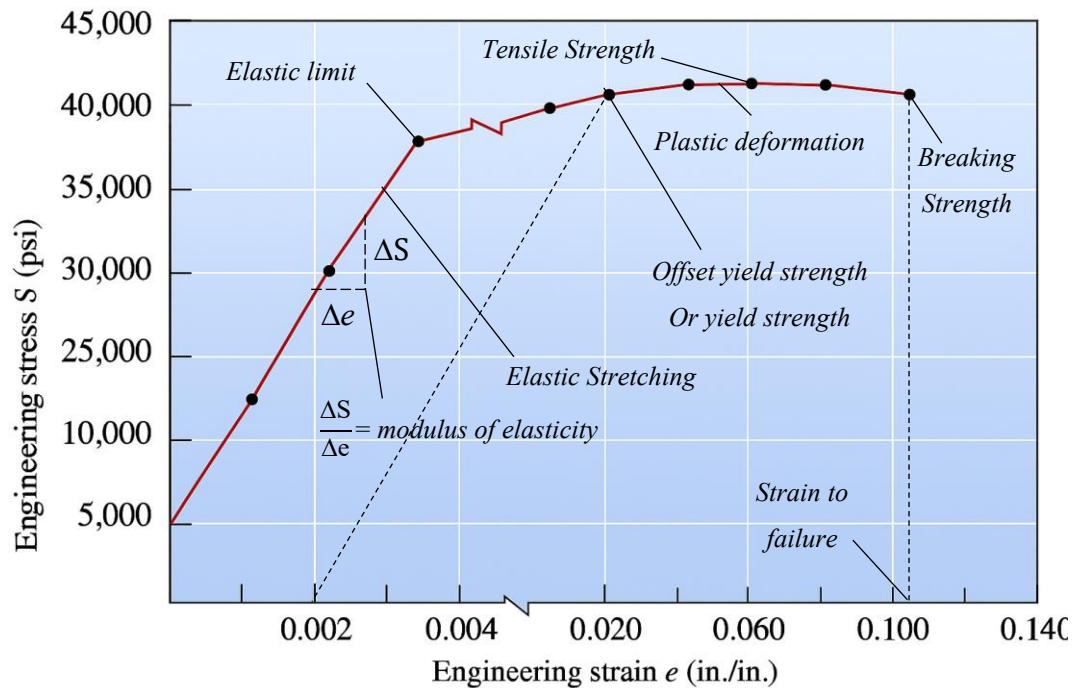
5. *Elongation*

Elongation adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan sejauh mana suatu material dapat meregang atau memanjang sebelum mengalami retak atau pecah. Dalam konteks uji tarik (*tensile testing*), elongasi diukur sebagai persentase perubahan panjang suatu sampel material setelah mengalami uji tarik.

6. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas, atau sering disebut modulus Young, adalah ukuran sejauh mana suatu bahan dapat meregang atau mengalami deformasi elastis (non-permanen) dalam merespons tegangan atau gaya yang diterapkan padanya. modulus elastisitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 [31]:

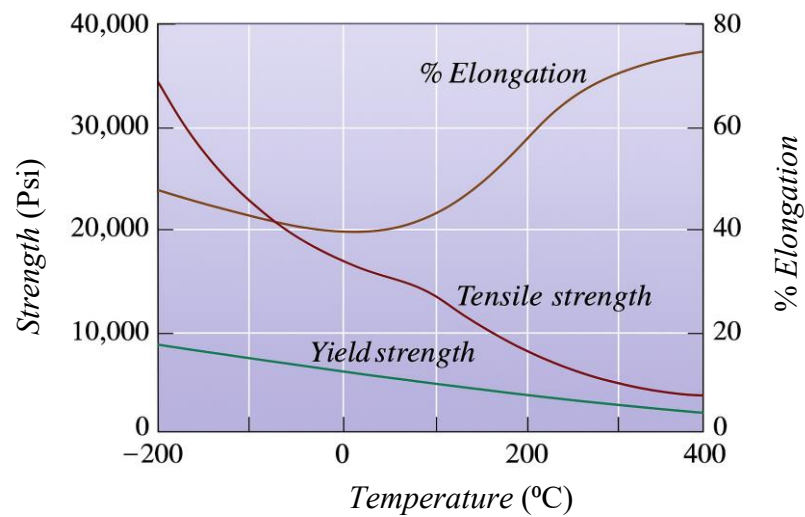
$$E = \frac{\text{Tegangan}}{\text{Regangan}} = \frac{\sigma}{\epsilon} \dots\dots\dots(2.4)$$



Gambar 2. 6 Diagram *Stress-Strain* [32]

Sifat mekanik pada material seperti *yield strength*, *tensile strength*, dan elongasi bergantung pada suhu yang dapat dilihat pada gambar 2. 7. *Yield strength*, *tensile strength*, dan modulus elastisitas menurun pada suhu yang lebih tinggi, sedangkan keuletan atau elongasi meningkat. Hal ini disebabkan dua mekanisme utama yang terjadi dalam struktur mikro. Pertama, densitas dislokasi menurun akibat meningkatnya mobilitas atom, yang memungkinkan dislokasi bergerak lebih bebas dan saling meniadakan melalui proses *recovery*. Dengan semakin sedikit dislokasi, hambatan terhadap deformasi plastis berkurang, sehingga material menjadi lebih mudah mengalami deformasi. Kedua, pertumbuhan butir (*grain growth*) terjadi karena energi termal yang tinggi memungkinkan butir-butir kecil bergabung membentuk butir yang lebih besar. Semakin besar ukuran butir, semakin sedikit batas butir yang tersedia untuk menghalangi pergerakan dislokasi. Karena

hambatan terhadap gerakan dislokasi berkurang, kekuatan luluh pun menurun. Oleh karena itu, kombinasi dari menurunnya densitas dislokasi dan bertambahnya ukuran butir menyebabkan material menjadi lebih lemah pada suhu tinggi[32].



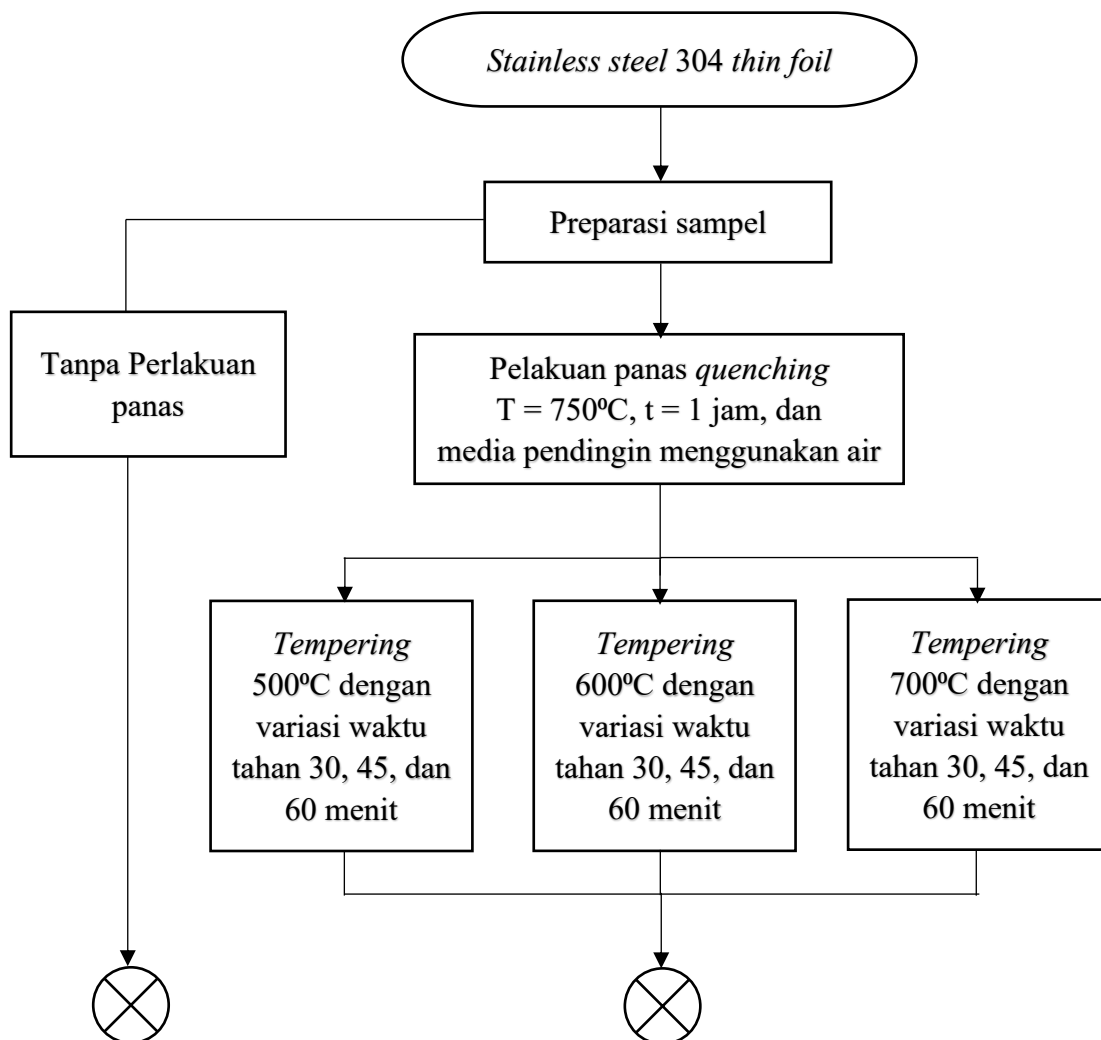
Gambar 2. 8 Pengaruh Temperatur Terhadap *Tensile Strength* ,*Yield Strength* dan Elongasi [32]

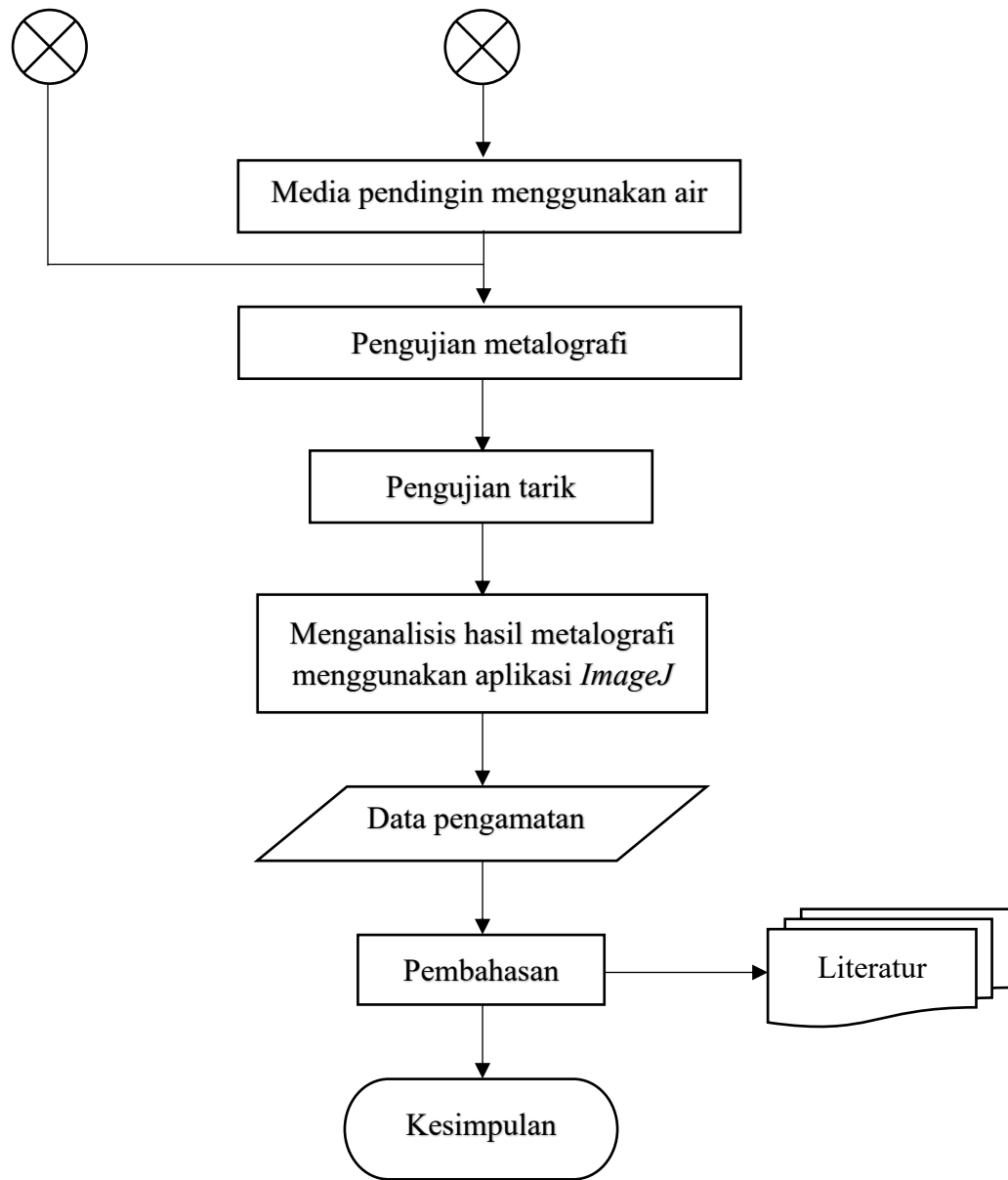
BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut ini merupakan diagram alir percobaan penelitian agar lebih memahami terkait prosedur yang digunakan pada percobaan ini.





Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1. Alat-alat yang Digunakan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini yakni:

1. Amplas

2. Gelas Cawan
3. Kain Wol
4. Mesin *muffle furnace*
5. Mesin *polishing*
6. Mesin uji tarik
7. Penjepit
8. *Software ImageJ*

3.2.2. Bahan-bahan yang digunakan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah *stainless steel* 304

1. Katalis
2. Larutan NH_4OH
3. Larutan HF
4. Pasta Alumina
5. Resin

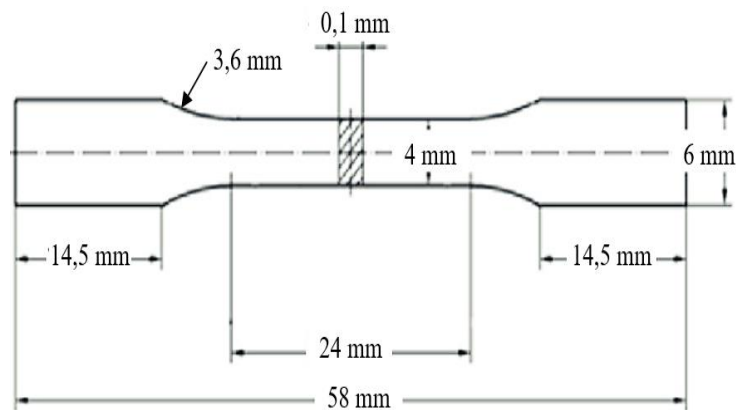
3.3 Prosedur Percobaan

3.3.1 Persiapan Spesimen

Langkah pertama dari penelitian ini yakni menyiapkan spesimen yang digunakan. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yakni *stainless steel*. Spesimen penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.2 dan ukuran spesimen penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3. Spesimen ini dibagi menjadi tiga kategori yakni spesimen untuk pengujian kekerasan sebanyak tiga buah dan spesimen untuk pengujian tarik dengan standar DIN 50125 yang dapat dilihat pada gambar 3.3 sebanyak 9 buah spesimen.



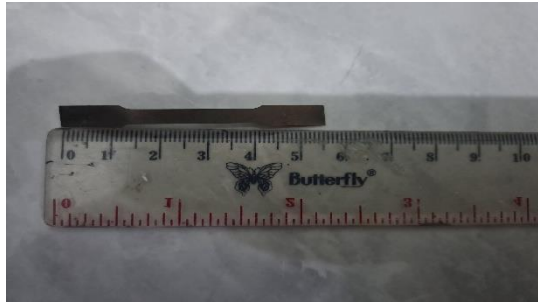
Gambar 3. 2 Spesimen Penelitian *Stainless Steel 304*



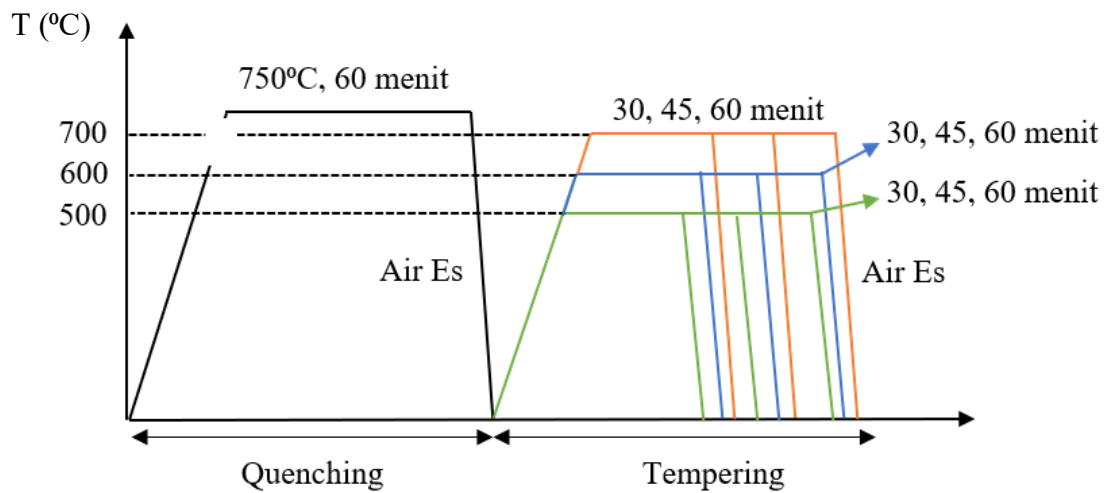
Gambar 3. 3 Spesimen Uji Tarik Standar DIN 50125 [33]

3.3.2 Heat Treatment

Langkah berikutnya adalah perlakuan panas, dengan perlakuan panas *hardening* dilakukan dengan memanaskan spesimen pada temperatur austenisasi sebesar yaitu 750°C. pemanasan ditahan selama 1 jam dan dilakukan pendinginan dengan menggunakan media air es. Setelah itu sampel dipanaskan kembali di dalam *muffle furnace* dengan variasi temperatur 500°C, 600°C, dan 700°C dengan waktu penahanan 30, 45, dan 60 menit. Setelah itu spesimen dikeluarkan dari dalam *muffle furnace* dan didinginkan di udara. Spesimen yang telah dipanaskan dapat dilihat pada gambar 3.4 dan skematik dari proses perlakuan panas dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3. 4 Spesimen Penelitian Setelah Dilakukan Perlakuan Panas



Gambar 3. 5 Skematik Perlakuan Panas Penelitian

3.3.3 Pengujian Tarik

Adapun langkah-langkah pengujian tarik yang dilakukan penelitian ini:

1. Panjang dan diameter spesimen uji diukur.
2. Mesin uji tarik yang akan digunakan disiapkan.
3. Spesimen uji diletakkan pada pencekam.
4. Mesin uji tarik dioperasikan dan diameter spesimen uji dicatat setiap penambahan panjang.
5. Beban yang diterima oleh spesimen uji yang menyebabkan pengecilan diameter (*necking*) dicatat.

6. Beban maksimum yang diterima oleh spesimen uji yang menyebabkan patah dicatat.
7. Spesimen uji dikeluarkan dari mesin uji tarik.
8. Panjang spesimen uji diukur setelah pengujian tarik.
9. Diameter spesimen uji diukur pada bagian yang mengalami *necking*.

3.3.4 Pengamatan Struktur Mikro

Sampel dianalisis menggunakan mikroskop optik untuk melihat struktur mikro yang terdapat dalam sampel. Adapun langkah-langkah pengamatan strukturmikro sebagai berikut :

1. *Mounting* dilakukan pada sampel dengan menggunakan resin dan katalis untuk mempermudah proses *grinding*, *polishing*, dan pengamatan.
2. Sampel yang telah dimounting kemudian diberi identitas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 untuk mempermudah perbedaan perlakuan panas pada sampel.

Tabel 3. 1 Kode Sampel

Kode sampel	Temperatur <i>Tempering</i> (°C)	Waktu Tahan (menit)
530	500	30
545	500	45
560	500	60
630	600	30
645	600	45

Tabel 3. 1 (Lanjutan)

Kode sampel	Temperatur <i>Tempering</i> (°C)	Waktu Tahan (menit)
660	600	60
730	700	30
745	700	45
760	700	60

3. Proses pengamplasan (*grinding*) dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang dimulai dari ukuran mesh 100, 200, 300, 600, 800, 1000, hingga 2000.
4. Proses *polishing* dilakukan dengan menggunakan pasta alumina. Polishing bertujuan untuk menghilangkan goresan yang tertinggal akibat proses grinding halus, serta sebagai persiapan untuk proses etsa.
5. Proses etsa dilakukan dengan mencelupkan sampel ke dalam larutan nital 3% selama beberapa detik.
6. Sampel diamati di bawah mikroskop optik.
7. Fasa-fasa yang terbentuk setelah perlakuan panas dianalisis. Selain itu, dilakukan juga perhitungan terhadap fasa martensit yang terbentuk serta perhitungan ukuran butir yang dihasilkan.

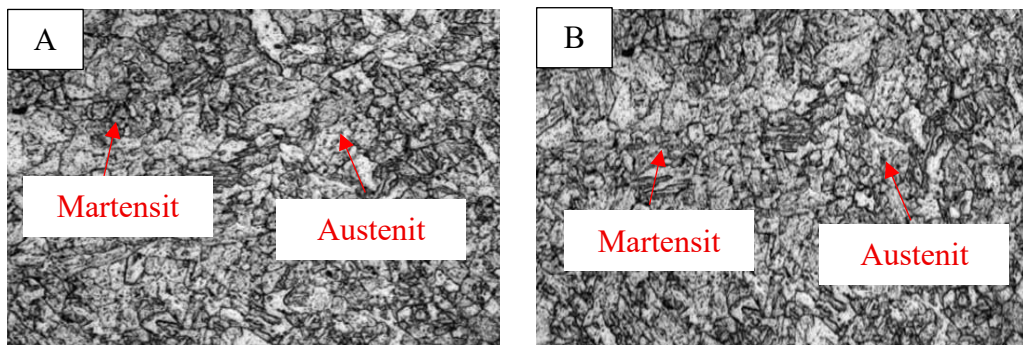
BAB IV

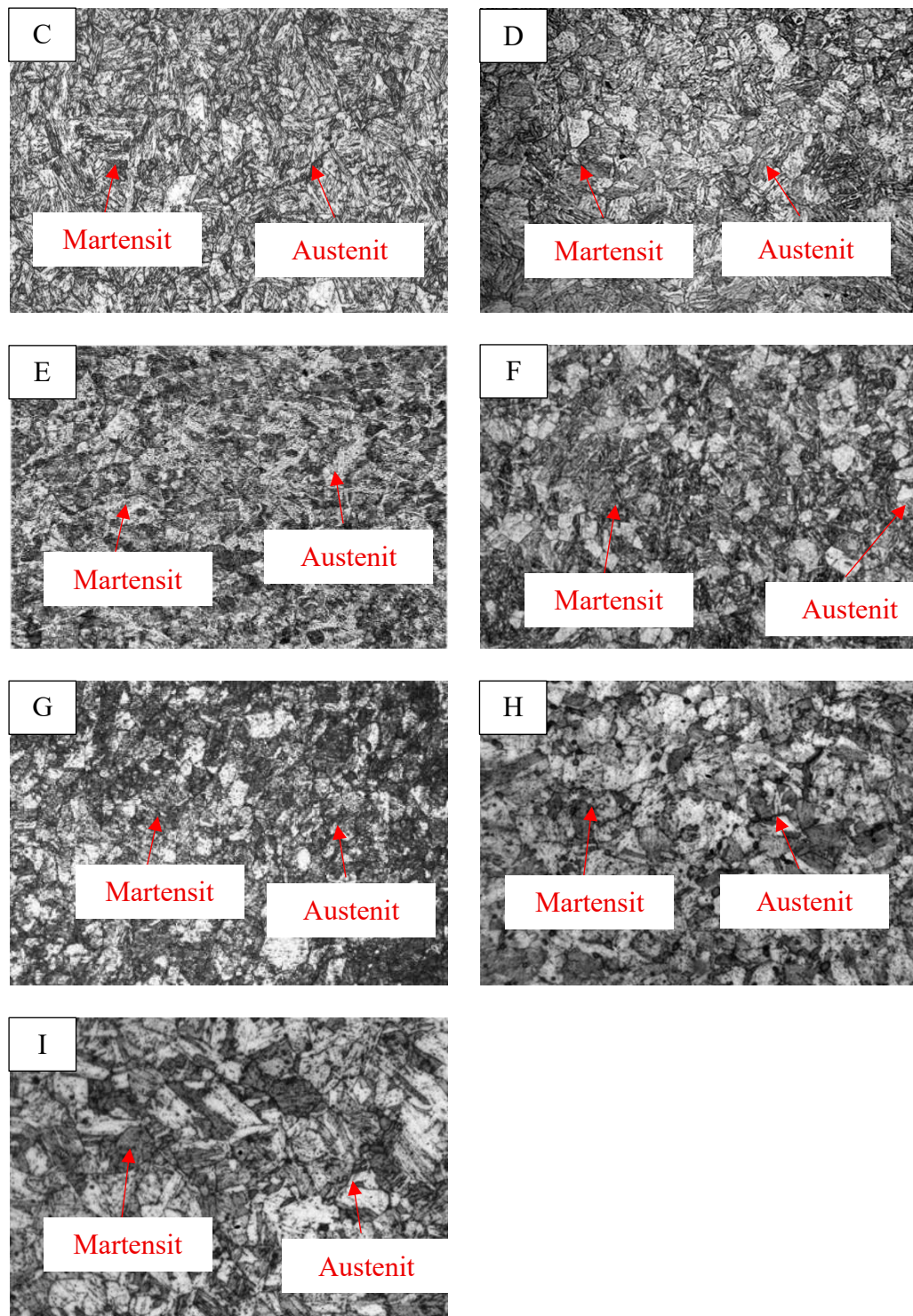
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

4.1.1 Hasil Pengamat Metalografi

Pengamatan metalografi dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik untuk fasa yang didapatkan, bentuk struktur mikro, serta banyaknya fraksi volume fasa yang dihasilkan sebelum dan setelah proses *quenching* tempering pada temperatur 500, 600 dan 700°C dengan variasi waktu tahan selama 30, 45, dan 60 menit. Pengujian metalografi telah dilakukan dengan preparasi permukaan spesimen *grinding* dan *polishing*, lalu dilakukan pengetsaan (*etching*) dengan pencelupan pada larutan etsa Nital 4% selama 10 detik serta menggunakan amplas dengan mesh 200-2000. Berikut ada data hasil metalografi setelah dilakukan perlakuan panas quenching tempering dapat dilihat pada gambar 4.1.





Gambar 4. 1 Hasi Metalografi Spesimen a) 530; b) 545 c) 560; d) 630; e) 645; f) 660; g) 730; h) 745; i) 760

4.1.2 Data Hasil Perhitungan Fraksi Volume Martensit

Perhitungan fraksi volume martensit dilakukan dengan sampling menggunakan aplikasi *imageJ* melalui hasil mikroskop optik dan dibuat pada bentuk tabel sesuai dengan kode sampel diberikan. Hasil dari perhitungan tersebut dikonversikan dengan tabel pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Data Perhitungan Fraksi Volume Martensit

Kode Sampel	Temperatur <i>Tempering</i> (°C)	<i>Holding Time</i> (menit)	Fraksi volume martensit (%)
Tanpa <i>heat treatment</i>	-	-	-
530	500	30	62
545	500	45	63
560	500	60	65
630	600	30	70
645	600	45	74
660	600	60	75
730	700	30	80
745	700	45	82
760	700	60	87

4.1.3 Data Hasil Perhitungan Ukuran Butir

Perhitungan ukuran butir dilakukan dengan sampling menggunakan aplikasi *ImageJ* melalui hasil mikroskop optik dan dibuat pada bentuk tabel

sesuai dengan kode sampel diberikan. Hasil dari perhitungan tersebut dikonversikan dengan tabel pada Tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Data Perhitungan Ukuran Butir

Kode Sampel	Temperatur <i>Tempering</i> (°C)	<i>Holding Time</i> (menit)	Ukuran Butir (μm)
530	500	30	4,638
545	500	45	6,375
560	500	60	7,357
630	600	30	7,552
645	600	45	8,059
660	600	60	8,097
730	700	30	8,234
745	700	45	13,298
760	700	60	14,395

4.1.4 Data Hasil Pengujian Tarik

Hasil dari pengaruh perlakuan panas *tempering* dengan variasi temperatur dan waktu terhadap hasil pengujian tarik dapat dilihat tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Data *Tensile Strength*, *Yield Strength*, dan elongasi

Kode Sampel	<i>Tensile Strength</i> (MPa)	<i>Yield Strength</i> (Mpa)	<i>Elongation</i> (%)
Tanpa perlakuan panas	910	547	31

Tabel 4. 3 (Lanjutan)

Kode Sampel	<i>Tensile Strength</i>	<i>Yield Strength</i>	<i>Elongation (%)</i>
	(MPa)	(Mpa)	
530	884	545	30
545	851	542	31
560	842	540	34
630	841	490	36
645	832	481	37
660	824	478	38
730	821	432	41
745	817	420	42
760	791	380	43

4.1.5 Data Hasil Kekerasan Permukaan

Hasil dari pengaruh perlakuan panas *quenching tempering* dengan variasi temperatur dan waktu terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Data Perhitungan Kekasaran Permukaan

Kode Sampel	Kekasaran Permukaan (μm)
530	0,615830
545	0,627100

Tabel 4. 4 (Lanjutan)

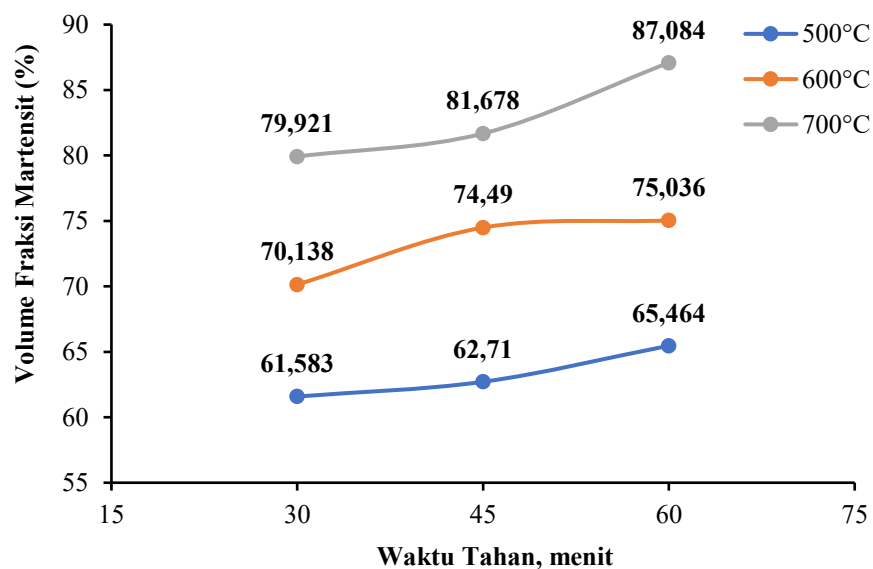
Kode Sampel	Kekerasan Permukaan (μm)
560	0,654640
630	0,701380
645	0,744900
660	0,750360
730	0,799210
745	0,816780
760	0,870840

4.2 Pembahasan Hasil Penelitian

4.2.1 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Struktur Mikro

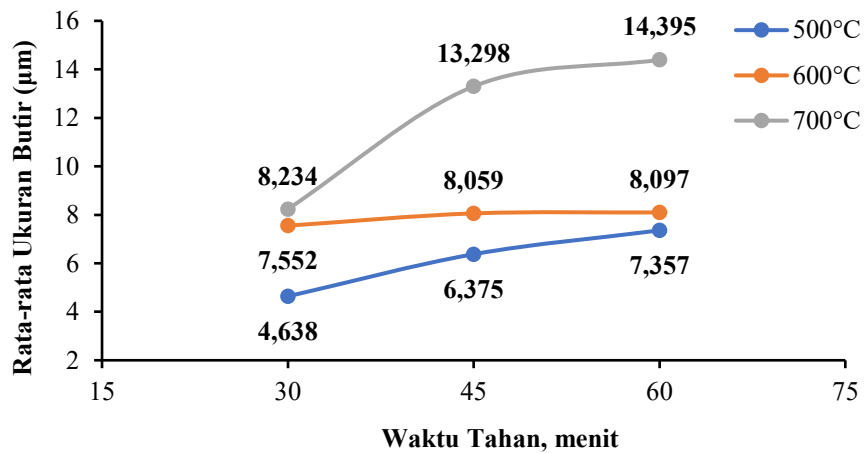
Pada Gambar 4.2 menunjukkan bahwa perlakuan panas *quenching* *tempering* dengan variasi temperatur dan waktu tahan *tempering* memiliki pengaruh terhadap struktur mikro. Struktur yang terbentuk yakni martensit dan austenit sisa. Martensit yang berwarna gelap dan austenit yang berwarna terang[34]. Austenit mulai terbentuk ketika suhu 727°C. Austenit sisa adalah bagian dari fasa austenit yang tidak berubah menjadi martensit setelah proses pendinginan cepat karena memiliki stabilitas termal yang tinggi dikarenakan Unsur nikel berfungsi sebagai penstabil austenit, sehingga tetap mempertahankan struktur aslinya [35]. Fase martensit adalah fase metastabil yang akan berubah menjadi fase yang lebih stabil jika diberi perlakuan panas lebih lanjut. Martensit yang keras dan getas diperkirakan terbentuk akibat

transformasi mekanik (geser) yang disebabkan oleh atom karbon yang terperangkap dalam struktur kristal saat terjadi transformasi polimorfik dari FCC (*Face Centered Cubic*) ke BCC (*Body Centered Cubic*). Hal ini dapat dipahami dengan membandingkan batas kelarutan atom karbon dalam FCC dan BCC, serta ruang interstisial maksimum pada kedua struktur kristal tersebut. Akibatnya, terjadi distorsi pada kisi kristal BCC menjadi BCT (*Body Centered Tetragonal*). Distorsi kisi kristal yang terjadi akibat transformasi dalam proses pendinginan yang cepat ini berbanding lurus dengan jumlah atom karbon yang terlarut. Dari Gambar 4.2 terlihat jelas bahwa adanya peningkatan martensit pada spesimen seiring dengannya temperatur dan waktu tahan *tempering*. Besaran nilai dari fraksi volume martensit pada spesimen dapat dianalisa menggunakan *software ImageJ* berdasarkan gelap dan terang dari hasil metalografi. Gambar 4.2 merupakan data hasil fraksi volume martensit dari berbagai variasi temperatur dan waktu tahan *tempering*.



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Volume Martensit

Selain volume fraksi martensit, temperatur mempengaruhi ukuran butir baja tahan karat SUS 304 *thin foil*. Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa temperatur dan waktu tahan yang digunakan pada baja tahan karat *thin foil* SUS 304 sangat berpengaruh terhadap *grain size*. *Grain size* terendah terdapat pada sampel baja tahan karat SUS 304 *thin foil* yang dilakukan *quenching-tempering* pada temperatur 500 dengan waktu tahan sebesar 30 menit. Sedangkan nilai *grain size* tertinggi terdapat pada sampel baja tahan karat *thin foil* SUS 304 yang diberikan *quenching-tempering* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan selama 60 menit. Terjadi kenaikan *grain size* seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jianjing Wang yang menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur *tempering*, maka *grain size* akan semakin tinggi [36]. Penelitian lainnya yang dilakukan oleh Vinay Kumar Pal yang membahas mengenai pengaruh waktu *tempering* terhadap ukuran butir. Dimana hasilnya semakin tinggi waktu *tempering*, maka *grain size* akan semakin tinggi [37]. Hal ini dikarenakan peningkatan suhu akan mempercepat pergerakan atom-atom melalui batas butir, sehingga butiran kecil akan bergabung dengan butiran yang lebih besar. Akibatnya, ukuran butir akhir akan menjadi lebih besar [14].



Gambar 4. 3 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap Ukuran Butir

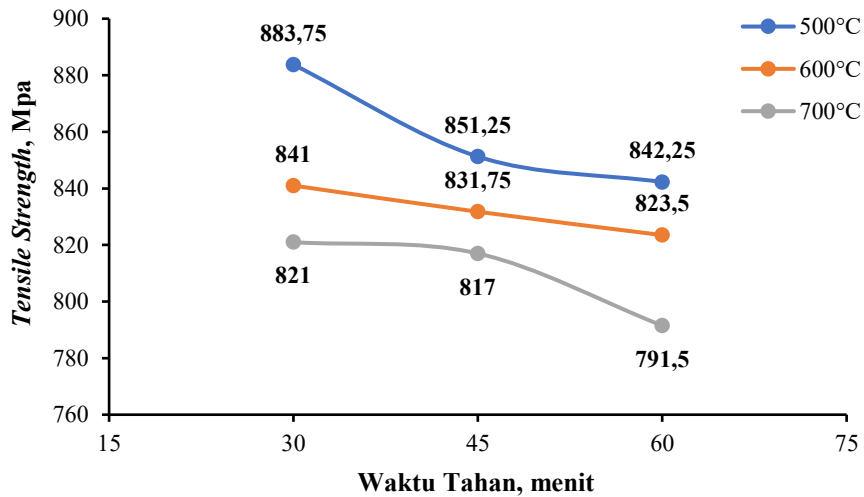
4.2.2 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap *Yield Strength*, *Tensile Strength*, dan *Elongasi*

Uji tarik adalah sebuah eksperimen yang dilakukan untuk menguji seberapa kuat suatu bahan ketika ditarik secara perlahan. Caranya adalah dengan menarik kedua ujung bahan sampai putus. Dari hasil uji ini, dapat memperoleh kurva tegangan-regangan yang memberikan informasi mengenai *yield strength*, *tensile strength*, dan *elongasi*. Berikut ini akan disajikan data pengujian tarik sampel yang telah dilakukan perlakuan panas dengan variasi temperatur dan waktu tempering dapat dilihat pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6.

Perlakuan panas pada paduan baja tahan karat tipis SUS 304 terbukti secara signifikan menurunkan kekuatan tarik (*tensile strength*) di bawah 883,75 MPa dan kekuatan luluh (*yield strength*) di bawah 545 MPa dibandingkan dengan sampel yang tidak diberi perlakuan panas. Namun,

peningkatan kekuatan ini diiringi oleh penurunan ketangguhan, yang ditunjukkan oleh penurunan elongasi di bawah 30,35% dibandingkan dengan sampel yang tidak diberi perlakuan panas.

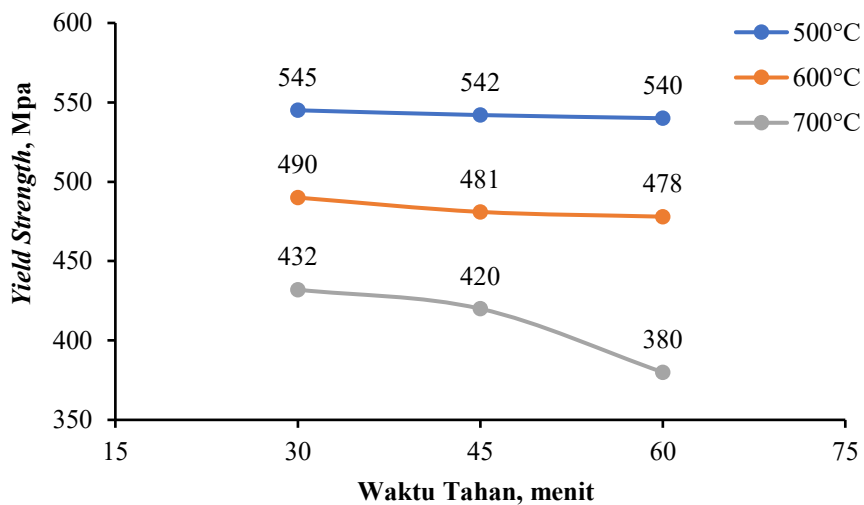
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa spesimen yang telah dilakukan proses *quenching-tempering* mengalami perubahan nilai *tensile strenght*. Semakin tinggi temperatur dan lama waktu tahan pada saat *quenching-tempering* dilakukan nilai *tensile strength* semakin turun. Nilai *tensile strength* tertinggi yaitu terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 500°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 883,75 MPa. Sedangkan nilai kuat luluh terendah terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 700°C dan waktu tahan 60 meit sebesar 791,5 MPa.



Gambar 4. 4 Grafik Pengaruh Temperatur Terhadap *Tensile Strength*

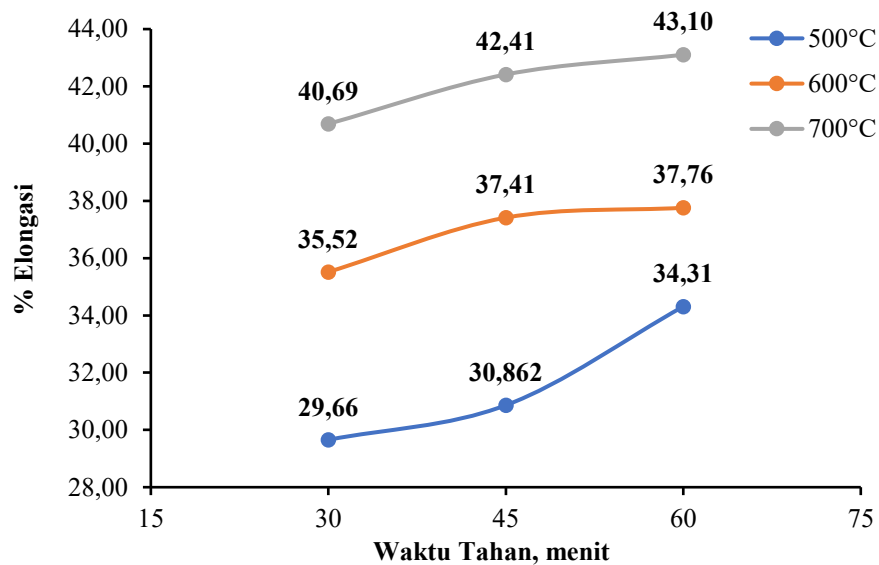
Pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa spesimen yang telah dilakukan proses *quenching-tempering* mengalami perubahan nilai *yield streghth*. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan tempering dilakukan nilai

yield strength semakin rendah. Nilai *yield strength* tertinggi yaitu terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 500°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 545 MPa. Sedangkan nilai kuat luluh terendah terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 700°C dan waktu tahan 60 menit sebesar 380 MPa.



Gambar 4. 5 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap *Yield Strength*

Pada Gambar 4.6 menunjukan bahwa spesimen yang telah dilakukan proses *quenching-tempering* mengalami perubahan nilai elongasi. Semakin tinggi temperatur dan waktu tahan tempering dilakukan nilai elongasi semakin tinggi. Nilai elongasi tertinggi yaitu terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 700°C dan waktu tahan 60 menit sebesar 43,1%. Sedangkan nilai elongasi terendah terdapat pada sampel dengan temperatur austenisasi 500°C dan waktu tahan 30 menit sebesar 29,66%.



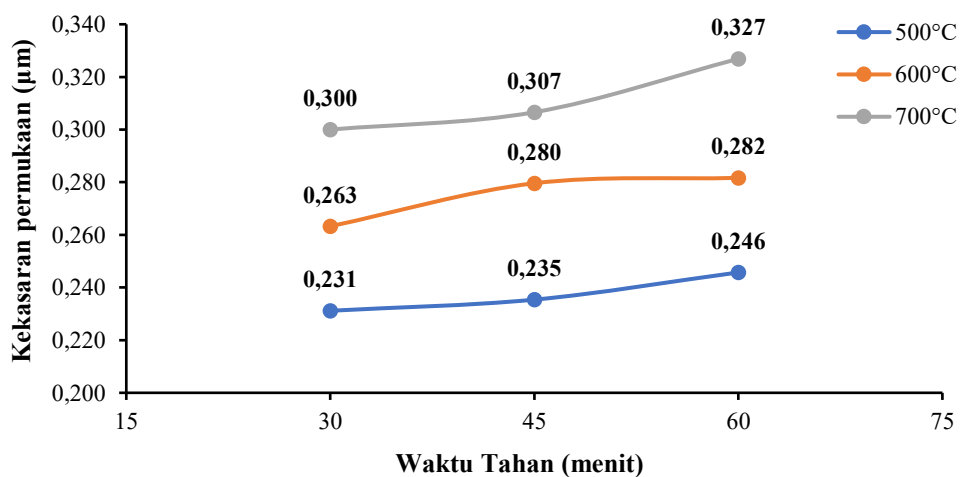
Gambar 4. 6 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Elongasi

Berdasarkan Gambar 4.4; 4.5; dan 4.6, peningkatan temperatur dan waktu tahan *tempering* pada baja tahan karat tipis SUS 304 akan menurunkan nilai *tensile strength* dan *yield strength*, namun menaikkan elongasi. Hal ini disebabkan dua mekanisme utama yang terjadi dalam struktur mikro. Pertama, densitas dislokasi menurun akibat meningkatnya mobilitas atom, yang memungkinkan dislokasi bergerak lebih bebas dan saling meniadakan melalui proses *recovery*. Dengan semakin sedikit dislokasi, hambatan terhadap deformasi plastis berkurang, sehingga material menjadi lebih mudah mengalami deformasi. Kedua, pertumbuhan butir (*grain growth*) terjadi karena energi termal yang tinggi memungkinkan butir-butir kecil bergabung membentuk butir yang lebih besar. Semakin besar ukuran butir, semakin sedikit batas butir yang tersedia untuk

menghalangi pergerakan dislokasi. Karena hambatan terhadap gerakan dislokasi berkurang, kekuatan luluh pun menurun. Oleh karena itu, kombinasi dari menurunnya densitas dislokasi dan bertambahnya ukuran butir menyebabkan material menjadi lebih lemah pada suhu tinggi [32].

4.2.3 Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan merupakan salah satu parameter penting yang menggambarkan tingkat kehalusan atau kerataan suatu material setelah mengalami proses perlakuan tertentu.. kekasaran permukaan diakibatkan oleh perubahan struktur mikro pada *foil* akibat perlakuan tertentu yang mengakibatkan struktur mikro dari *foil* menjadi tidak seragam. Adapun data hasil penelitian mengenai pengaruh temperatur dan waktu tahan terhadap kekasaran permukaan dapat dilihat pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Grafik Pengaruh Temperatur terhadap Kekasaran Permukaan

Dari Gambar 4.7 terlihat bahwa temperatur dan waktu tahan yang digunakan pada baja tahan karat 304 *thin foil* sangat berpengaruh. Nilai kekasaran permukaan terendah terdapat pada baja tahan karat 304 *thin foil* yang diberikan *tempering* pada temperatur 500°C dengan waktu tahan 30 menit sebesar 0,231. Sedangkan nilai kekasaran permukaan tertinggi terdapat pada baja tahan karat 304 *thin foil* yang diberikan *tempering* pada temperatur 700°C dengan waktu tahan 60 menit sebesar 0,327. Terjadi kenaikan kekasaran permukaan seiring dengan kenaikan temperatur dan waktu tahan *tempering*. Hal ini disebabkan karena persamaan 2.1 [18], yang menyatakan bahwa berbanding lurus dengan nilai kekasaran permukaan. Maknanya jika ukuran butir, dan regangan secara konstan, penambahan martensit dapat menambahkan nilai dari kekasaran permukaan. Begitupun sebaliknya pengurangan pengurangan martensit akan menurunkan jumlah nilai kekasaran permukaan. Secara sederhana jika jumlah martensit pada spesimen bertambah maka akan menyebabkan permukaan spesimen semakin kasar, sedangkan jika jumlah martensit pada permukaan akan menyebabkan permukaan spesimen akan semakin halus.

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.

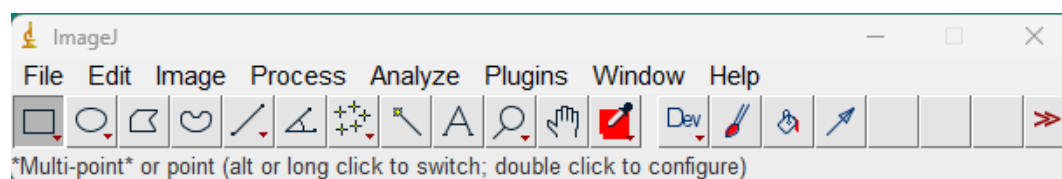
LAMPIRAN A
PERHITUNGAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

A.1 Perhitungan %Martensit yang Dihasilkan

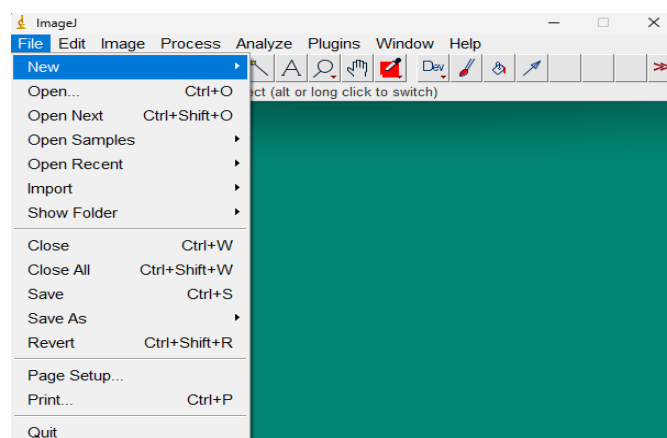
Perhitungan martensit yang dihasilkan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *ImageJ*.

1. Buka perangkat lunak *ImageJ* hingga terbuka tampilan *ImageJ* seperti gambar dibawah ini



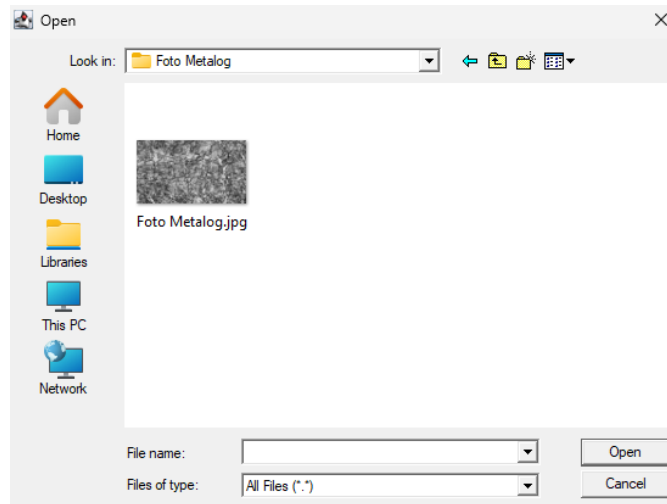
Gambar A. 1 Tampilan *ImageJ*

2. Membuka file yang ingin dianalisis dengan cara klik tab *File* lalu pilih tab *Open*



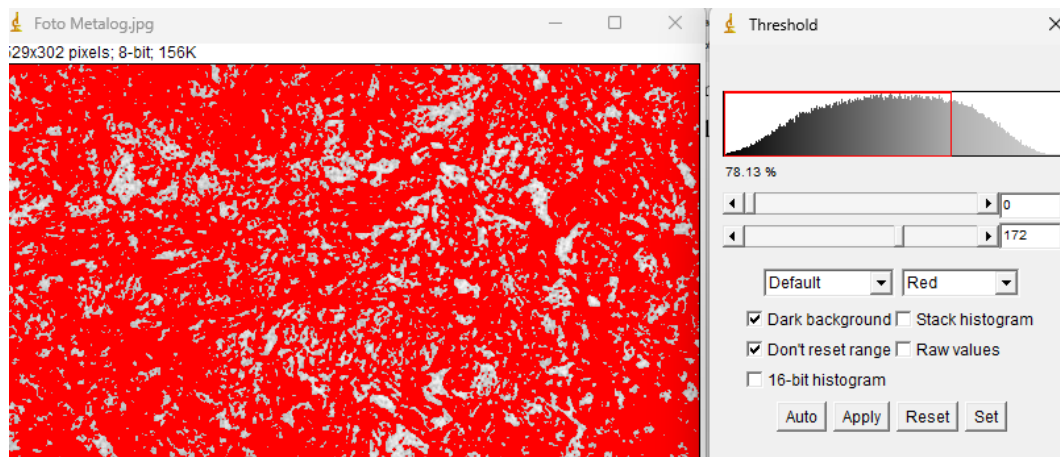
Gambar A. 2 Membuka File Gambar

3. Memilih gambar yang akan dilakukan analisa fraksi martensit dengan cara pilih gambar lalu klik open



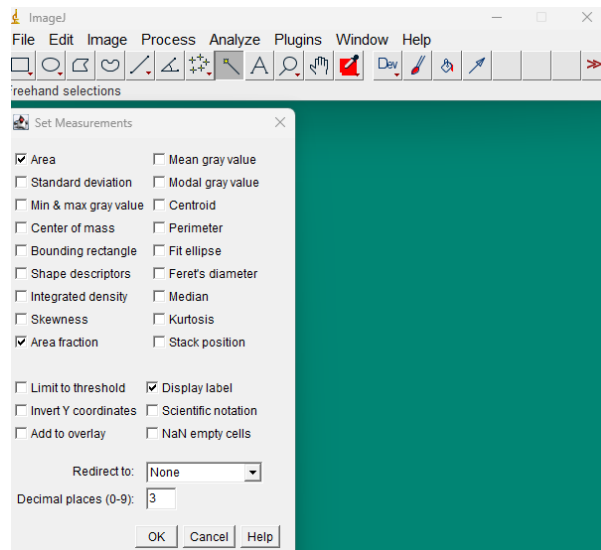
Gambar A. 3 Memilih Gambar

4. Setelah gambar telah muncul, pilih menu *Image* lalu klik *adjust* dan klik *Thershold*, lalu atur mengatur *seting-an thershold* sesuai kebutuhan.



Gambar A. 4 Menganalisa Gambar

5. Melihat hasil analisa dengan cara klik menu *Analysze* lalu klik *Set Measurements* dengan *seting* sebagai gambar berikut. Lalu klik OK



Gambar A. 5 Mengatur Pengaturan Gambar

6. Selanjutnya mendapatkan hasil analisa fraksi martensit dengan cara klik menu *Analyze* dan klik *Measure*. Lalu didapatkan hasil analisa fraksi martensit yang dapat dilihat pada gambar bawah ini

	Label	Area	%Area
1	Foto Metalog.jpg	159758	78.134

Gambar A. 6 Hasil Analisa

A.2 Perhitungan Pengujian Tarik

Tabel berikut adalah hasil pengujian tarik yang didapatkan :

Tabel A.1 Data Hasil Pengujian Tarik

Beban (kN)	Perpanjangan (mm)	Tegangan (N/mm ²)	Regangan (%)	<i>Offset</i> <i>Strain</i> 0,2%	Offset Stress
0	0	0	0,000	0,002	0
68,5	1,1	171,25	0,019	0,021	167,6722
95,9	1,5	239,75	0,026	0,028	228,644
109,2	1,7	273	0,029	0,031	259,1298
137,1	2,1	342,75	0,036	0,038	320,1016
172,3	2,7	430,75	0,047	0,049	411,5591
238	4,3	595	0,074	0,076	655,446
276,4	6	691	0,103	0,105	914,5759
288,5	8,5	721,25	0,147	0,149	1295,649
300,5	9,8	751,25	0,169	0,171	1493,807
310,9	11,9	777,25	0,205	0,207	1813,909
313,3	12,5	783,25	0,216	0,218	1905,366
325,9	14,9	814,75	0,257	0,259	2271,197
330,6	15,9	826,5	0,274	0,276	2423,626
336,9	18,4	842,25	0,317	0,319	2804,699
293,5	19,8	733,75	0,341	0,343	3018,1
20	19,9	50	0,343	0,345	3033,343

1. Luas penampang spesimen dihitung
2. Nilai beban dan tegangan dapat dilihat pada mesin uji tarik.
3. Tegangan spesimen dihitung.

$$\sigma_1 = \frac{F}{A_0} = \frac{70}{0,4} = 175 \text{ N/mm}^2$$

4. Perhitungan % regangan spesimen foil

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1,11}{24} = 4,625 \%$$

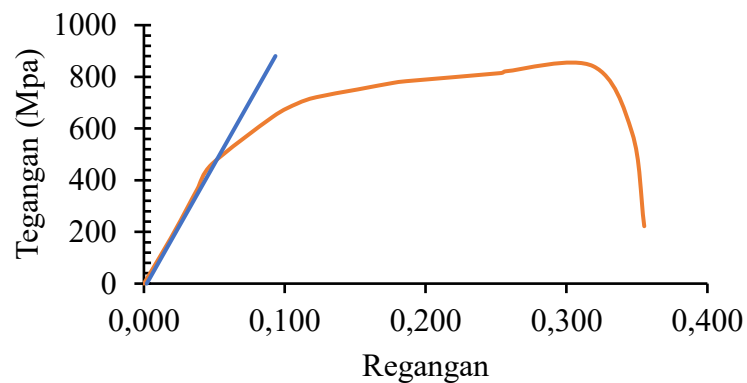
5. Perhitungan *offset strain* 0,002 spesimen

$$\text{Offset strain} = 0,002 + \text{regangan} = 0,002 + 0,019 = 0,021$$

6. Perhitungan *offset stress* 0,002 spesimen

$$\text{Offset stress} = \text{regangan} \times \text{nilai gradien} = 0,019 \times 9634,9$$

7. Membuat grafik tegangan regangan



Gambar A. 7 Grafik Tegangan-Regangan

Dari gambar tersebut didapatkan UTS sebesar 841 Mpa dan % elongasi sebesar 35,51%

A.3 Perhitungan Kekasaran Permukaan Sampel

1. Perhitungan kekasaran pada Temperatur 500

- *Holding Time* 30 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,62 + 0,62 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,231$$

- *Holding Time* 45 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,63 + 0,63 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,235$$

- *Holding Time* 60 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,65 + 0,65 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,246$$

2. Perhitungan kekasaran pada Temperatur 800

- *Holding Time* 30 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,70 + 0,70 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,263$$

- *Holding Time* 45 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,74 + 0,74 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,280$$

- *Holding Time* 60 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,75 + 0,75 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,282$$

3. Perhitungan kekasaran pada Temperatur 900

- *Holding Time* 30 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,79 + 0,79 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,300$$

- *Holding Time* 45 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,81 + 0,81 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,307$$

- *Holding Time* 60 menit

$$\Delta Ra = (F_{MPT} + G_{Mo}) \times \sqrt{D_g} \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 0,87 + 0,87 \times \sqrt{1,5} \times 0,3035$$

$$\Delta Ra = 0,327$$

LAMPIRAN B
DATA PENELITIAN

Lampiran B, Data Penelitian

1. Data hasil %Martensit yang Terbentuk

Tabel B. 1 Data Hasil Persebaran Martensit

Suhu	<i>Holding time</i>	%Martensit
500	30 menit	61,583
	45 menit	62,71
	60 menit	65,464
600	30 menit	70,138
	45 menit	74,49
	60 menit	75,036
700	30 menit	79,921
	45 menit	81,678
	60 menit	87,084

2. Data hasil Ukuran Batas Butir

Tabel B. 2 Hasil Ukuran Batas Butir

Suhu	<i>Holding time</i>	Ukuran Batas Butir
500	30 menit	4,638
	45 menit	6,375
	60 menit	7,357
600	30 menit	7,552
	45 menit	8,059
	60 menit	8,097
700	30 menit	8,234

Tabel B. 3 (Lanjutan)

Suhu	<i>Holding time</i>	Ukuran Batas Butir
700	45 menit	13,298
	60 menit	14,395

3. Data hasil Uji Tarik**Tabel B. 4** Data Hasil Hasil Uji Tarik

Suhu	<i>Holding time</i>	UTS	<i>Yield Strenth</i>	Elongasi
500	30 menit	883,75	545	29,66
	45 menit	851,25	542	30,862
	60 menit	842,25	540	34,31
600	30 menit	841	490	35,52
	45 menit	831,75	481	37,41
	60 menit	823,5	478	37,76
700	30 menit	821	432	40,69
	45 menit	817	420	42,41
	60 menit	791,5	380	43,10

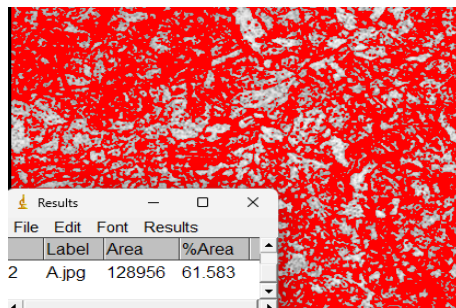
4. Data hasil Perhitungan *Surface Roughness***Tabel B. 5** Data Hasil Kekasaran Permukaan

Suhu	<i>Holding time</i>	<i>Surface Rougness</i>
700	30 menit	0,84

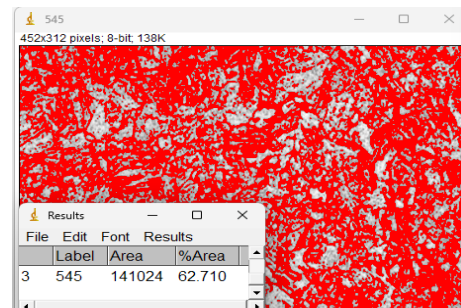
Tabel B. 6 (Lanjutan)

Suhu	<i>Holding time</i>	<i>Surface Rougness</i>
700	45 menit	0,85
	60 menit	0,90
	30 menit	1,00
800	45 menit	1,07
	60 menit	1,09
	30 menit	1,17
900	45 menit	1,22
	60 menit	1,32

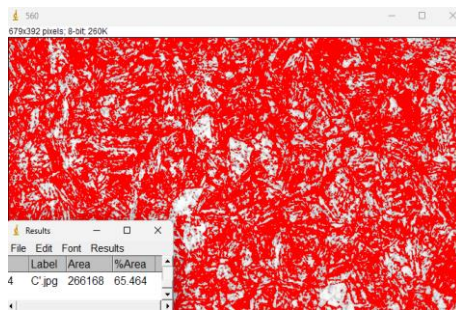
4. Data Hasil Analisa Persebaran Martensit



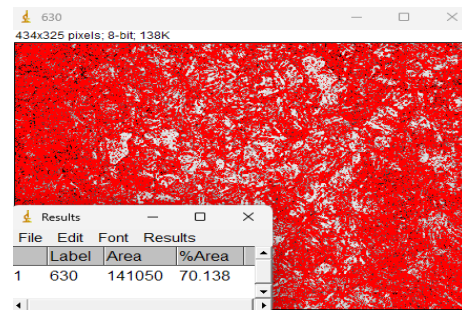
Gambar B. 1 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 530



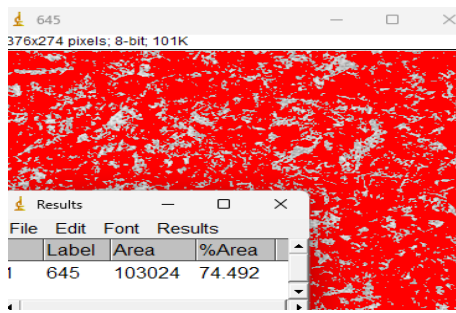
Gambar B. 2 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 545



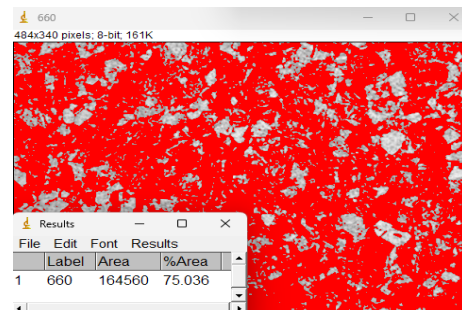
Gambar B. 3 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 560



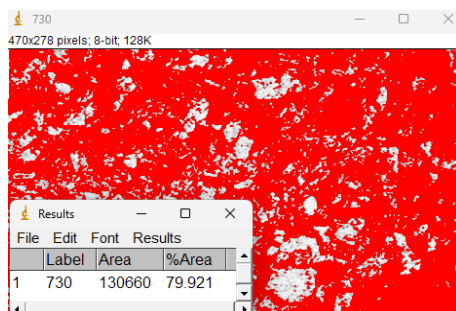
Gambar B. 4 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 600



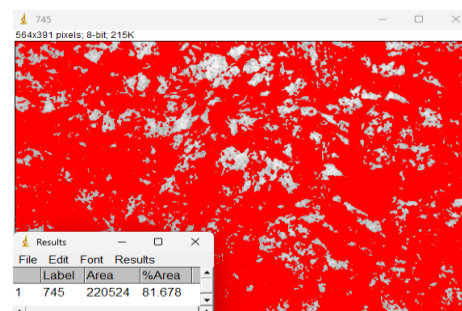
Gambar B. 5 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 630



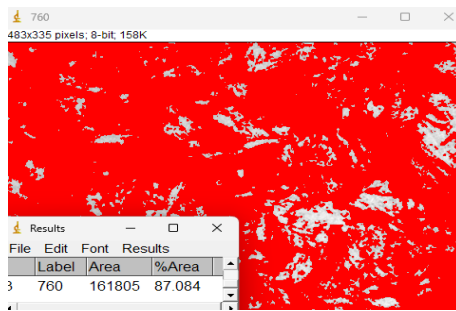
Gambar B. 6 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 660



Gambar B. 7 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 700



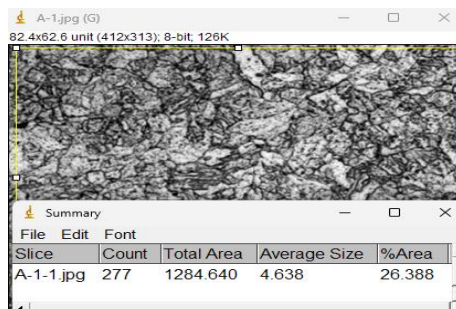
Gambar B. 8 Analisa Persebaran
Martensit Sampel 730



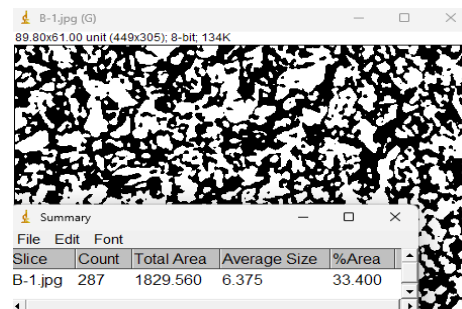
Gambar B. 9 Analisa Persebaran

Martensit Sampel 830

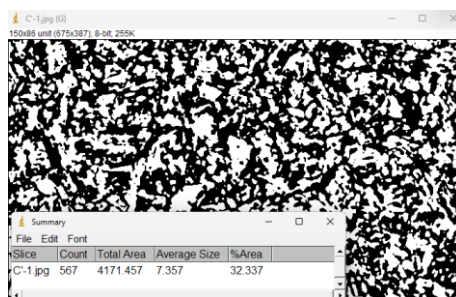
5. Hasil Analisa Ukuran Butir Menggunakan *ImageJ*



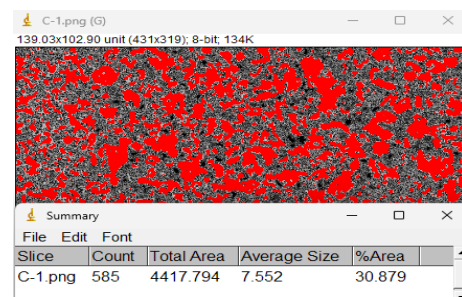
Gambar B. 10 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 530



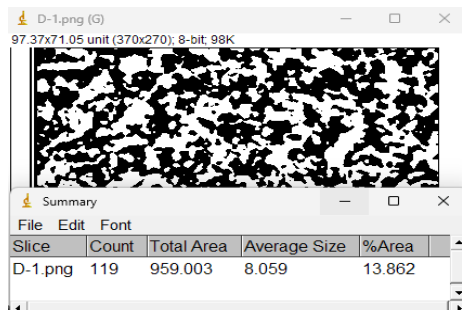
Gambar B. 11 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 545



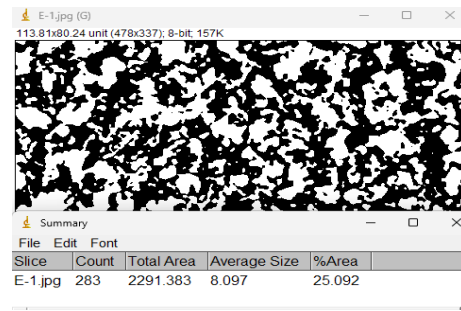
Gambar B. 12 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 560



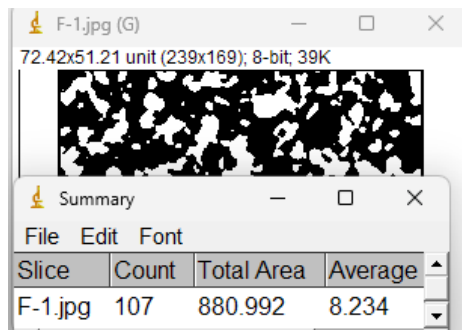
Gambar B. 13 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 600



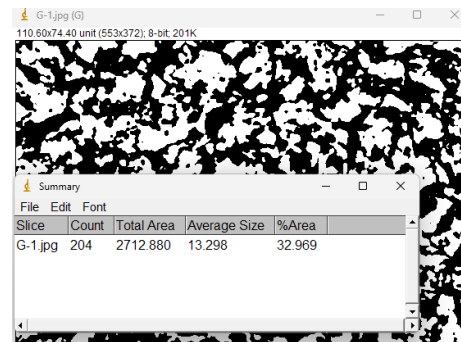
Gambar B. 14 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 645



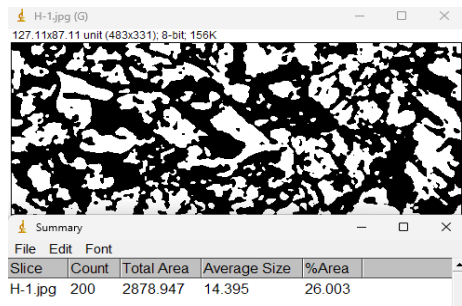
Gambar B. 15 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 660



Gambar B. 16 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 700



Gambar B. 17 Hasil Analisa Ukuran Butir Sampel 745



Gambar B. 18 Ukuran Butir Martensit Sampel 760

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT DAN BAHAN



Gambar C. 1 Amplas



Gambar C. 2 Cawan Gelas



Gambar C. 3 Kain Wol



Gambar C. 4 Katalis



Gambar C. 5 Larutan HNO_3



Gambar C. 6 Larutan HF



Gambar C. 7 *Muffle Furnace*



Gambar C. 8 *Mesin Polishing*