

Bob

Regan_3334200083_Fulltext.pdf

by 5554220034@untirta.ac.id 1

Submission date: 29-Aug-2024 05:12PM (UTC+0400)

Submission ID: 2431399190

File name: Bob_Regan_3334200083_Fulltext.pdf (2.14M)

Word count: 13000

Character count: 82908

**PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI (900°C), *TEMPERING*
(400°C) DAN PROSES PENDINGINAN TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN UJI TARIK PADA *STAINLESS STEEL 304 THIN*
FOIL UNTUK APLIKASI SENSOR MOBIL**

10
SKRIPSI

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



Oleh:

BOB REGAN
3334200083

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

2024

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI (900°C), *TEMPERING*
(400°C) DAN PROSES PENDINGINAN TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN UJI TARIK PADA *STAINLESS STEEL 304 THIN*
FOIL UNTUK APLIKASI SENSOR MOBIL**

**10
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

Pembimbing II

Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 198003072005011002

Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.
NIP. 199012142019032022

LEMBAR PERSETUJUAN

**PENGARUH TEMPERATUR AUSTENISASI (900°C), *TEMPERING*
(400°C) DAN PROSES PENDINGINAN TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN UJI TARIK PADA *STAINLESS STEEL 304 THIN*
FOIL UNTUK APLIKASI SENSOR MOBIL**

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Bob Regan

3334200083

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 4 Juli 2024

Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

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

Penguji II : Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. _____

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

Skrripsi 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 Austenisasi (900°C), *Tempering* (400°C) Dan Proses Pendinginan Terhadap Struktur Mikro Dan Uji Tarik Pada *Stainless Steel 304 Thin Foil* Untuk Aplikasi Sensor Mobil

Nama Mahasiswa : Bob Regan

NIM : 3334200083

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi di atas adalah benar - benar 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, Juli 2024

Bob Regan

NIM. 3334200083

ABSTRAK

Baja paduan *stainless steel* 304 merupakan baja tahan karat austenitik memiliki sifat mekanik yaitu kuat tarik sebesar 646 MPa, kuat luluh 270 MPa, perpanjangan 50%, kekerasan 82 HRB. Adapun tujuan dari penelitian kali ini yaitu untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas *stainless steel* 304 *thin foil* yang dipanaskan dengan temperatur tinggi lalu diuji tarik untuk mengetahui struktur mikro setelah pendinginan. Adapun batasan masalah pada penelitian ini terdapat dua variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Sehingga variabel bebasnya yaitu temperatur austenisasi, temperatur *tempering*, dan proses pendinginan, selanjutnya variabel terikatnya yaitu ukuran butir, struktur mikro, dan uji tarik pada *stainless steel* 304 *thin foil*. Sampel uji yang telah di *heat treatment* menggunakan proses pendinginan cepat (*quenching*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur mikro terlihat seperti jarum atau bilah dan memiliki warna hitam dan juga memiliki sifat mekanik yang sangat keras. Kemudian struktur mikro yang didapatkan dari pengujian ini yaitu fasa martensit dimana fasa ini terbentuk dengan memanaskan sampel hingga temperatur austenit setelah itu didinginkan cepat (*quenching*) dengan menggunakan air es. Selanjutnya pada proses pendinginan cepat ini tidak ada waktu bagi karbon untuk berdifusi keluar, sehingga transformasi terjadi ketika pergeseran atom dari kisi *face centered cubic* (FCC) menjadi *body centered tetragonal* (BCT). Pada sampel SUS 304 *thin foil* hasil uji tarik dengan ukuran butir 1,5 μm memiliki nilai *true stress* terkecil yaitu 406 MPa, dan memiliki nilai *true strain* sebesar 1. Nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 571 MPa, nilai *true strain* yaitu 1,16. Sedangkan pada sampel dengan ukuran butir 3 μm memiliki nilai *true stress* sebesar 380 Mpa, kemudian pada nilai *true strain* nya yaitu 1, sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 490 MPa, dengan nilai *true strain* 1,16.

Kata kunci: *Stainless Steel* 304 *Thin Foil*, *Heat Treatment*, Struktur Mikro, Uji Tarik, *Quenching*

KATA PENGANTAR

Segala puji hanya milik Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya. Shalawat serta salam semoga tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, sehingga berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Laporan skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Metalurgi, Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Dengan terselesaikannya laporan skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi FT. Untirta selaku pembimbing pertama
2. Ibu Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T. sebagai dosen pembimbing akademik sekaligus dosen pembimbing kedua yang selalu memberikan arahan dan motivasi kepada penulis selama menjalani perkuliahan serta senantiasa membimbing, memberikan masukan, kritik, saran, dan motivasi yang sangat berguna bagi penulis selama penyusunan skripsi.
3. Orang tua dan keluarga tercinta yang senantiasa memberikan dukungan moral, materi serta selalu memberikan do'a yang terbaik kepada penulis.
4. Bapak Rahman Faiz Suwandana, S.T., M.S selaku Koordinator Skripsi Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA
5. Seluruh dosen dan staff jurusan Teknik Metalurgi FT. UNTIRTA yang telah memberikan ilmunya selama penulis kuliah di FT. UNTIRTA.
6. Rekan rekan seperjuangan Teknik Metalurgi FT Untirta Angkatan 2020, yang telah memberikan saran serta yang selalu mendoakan.
7. Rekan rekan Asisten Laboratorium Metalurgi yang telah membantu dalam penelitian ini.
8. Serta semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih terdapat kekurangan, sehingga kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak diharapkan. Penulis berharap

agar Skripsi ini bermanfaat khususnya bagi penulis dan bagi pembaca pada umumnya.

Cilegon, Juli 2024

Bob Regan

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR 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	7
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Ruang Lingkup.....	7
1.5 Sistematika Penulisan	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Perlakuan Panas (<i>heat treatment</i>).....	9
2.2 <i>Tempering</i>	10
2.3 <i>Quenching</i>	11
2.4 Temperatur Austenisasi.....	12
2.5 Diagram Fe-Fe ₃ C	13

2.6	<i>Stainless Steel</i>	15
2.6.1	Jenis Jenis <i>Stainless Steel</i>	16
2.7	<i>Stainless Steel 304</i>	19
2.7	<i> Holding Time</i>	20
2.8	<i>Austenitic Stainless Steel (ASS)</i>	21
2.9	Metalografi	22
2.11	Jenis Martensit	24
2.12	Uji Tarik	26
BAB III METODE PENELITIAN		28
3.1	Diagram Alir	28
3.2	Alat dan Bahan	29
3.2.1	Alat yang digunakan	29
3.2.2	Bahan yang digunakan	29
3.3	Prosedur Penelitian.....	30
3.3.1	.Persiapan sampel.....	30
3.3.2	. <i>Heat Treatment</i> dan <i> Holding Time 60 menit</i>	30
3.3.3	.Pengujian Tarik	31
3.3.4	.Pengamatan Metalografi	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1	Data Pengujian <i>Stainless Steel 304 Thin Foil</i>	33
4.2	Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	35
4.3	Hasil Pengujian Tarik.....	46

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	54
5.1 Kesimpulan	54
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN	60
LAMPIRAN B GAMBAR ALAT DAN BAHAN.....	67
LAMPIRAN C DATA PENDUKUNG.....	72

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Komposisi Kimia <i>Stainless Steel</i> 304.....	19
Tabel 2.2	Jenis Baja dan Waktu Tahan Pada Proses Perlakuan Panas	12
Tabel 4.1	Dimensi Sampel	33
Tabel 4.2	Data Uji Tarik Sebelum Pengujian SUS 304 Thin Foil 1,5 μm	33
Tabel 4.3	Data Uji Tarik Sebelum Pengujian SUS 304 Thin Foil 3 μm	34
Tabel 4.4	Data <i>Engineering Strain – Engineering Stress</i> SUS 304 Thin Foil 1,5 μm	34
Tabel 4.5	Data <i>Engineering Strain – Engineering Stress</i> SUS 304 Thin Foil 3 μm	34
Tabel 4.6	Data <i>True Strain – True Stress</i> SUS 304 Thin Foil 1,5 μm	34
Tabel 4.7	Data <i>True Strain – True Stress</i> SUS 304 Thin Foil 3 μm	35
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Metalografi.....	35
Tabel 4.9	Data Hasil Fraksi Luas Permukaan Martensit	45
Tabel C.1	Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> SUS 304 Thin Foil 1,5 μm	73
Tabel C.2	Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> SUS 304 Thin Foil 3 μm	73

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Diagram <i>Continuous Cooling Transformation</i> (CCT) (Isworo & Rahman, 2020)	12
Gambar 2.2	Diagram Fe-Fe ₃ C (Isworo & Rahman, 2020)	14
Gambar 2.3	Bentuk Struktur Kristal BCC, FCC dan HCP	16
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2	Skematik <i>Heat Treatment</i> SUS 304 <i>Thin Foil</i>	22
Gambar 4.1	Omset Tahunan Produk Microforming	37
Gambar 4.2	Struktur Mikro SUS 304 1,5 µm <i>Thin Foil</i> (<i>Quenching</i> , perbesaran 200x)	40
Gambar 4.3	Struktur Mikro perbesaran 200x (Kholis & Purwanto, 2022).	40
Gambar 4.4	Struktur Mikro SUS 304 3 µm <i>Thin Foil</i> (<i>Quenching</i> , perbesaran 200x)	41
Gambar 4.5	Struktur Mikro Perbesaran 200x (Kholis & Purwanto, 2022)	42
Gambar 4.6	Hasil ImageJ Struktur Mikro 1.5 µm	43
Gambar 4.7	Hasil ImageJ Struktur Mikro 3 µm	43
Gambar 4.8	Sampel Uji Tarik	47
Gambar 4.9	Grafik Tegangan – Regangan Teknik SUS 304 <i>Thin Foil</i>	48
Gambar 4.10	Grafik <i>True Stress - Strain</i> SUS 304 <i>Thin Foil</i>	49
Gambar 4.11	Fraksi volume MPT dengan regangan sebenarnya	49

Gambar A.1 Memilih Objek Gambar	64
Gambar A.2 Kalibrasi Gambar	64
Gambar A.3 Menentukan Warna Ambang Batas	65
Gambar A.4 Menentukan Biner	65
Gambar A.5 Menentukan <i>Limit To Threshold</i>	66
Gambar A.6 Penentuan Fraksi Luas Area	66
Gambar B.1 Sampel Percobaan	68
Gambar B.2 Cawan	68
Gambar B.3 Kain <i>Polishing</i>	68
Gambar B.4 Larutan Asam <i>Hidroflourik</i>	68
Gambar B.5 Asam Nitrat	69
Gambar B.6 Mesin <i>Grinding</i> dan <i>Pollishing</i>	69
Gambar B.7 Mikroskop Optik	69
Gambar B.8 <i>Muffle Furnace</i>	69
Gambar B.9 Pasta Alumina	70
Gambar B.10 Sarung Tangan	70
Gambar B.11 Tang Penjepit	70
Gambar B.12 Aquades.....	70
Gambar B.13 Ampelas	71
Gambar B.14 Mesin Uji Tarik	71
Gambar C.1 Hasil Pengujian Kekerasan pada SUS 304 <i>Thin Foil</i> 1,5 μm (Perbesaran 50x).....	71

Gambar C.2 Hasil Pengujian Kekerasan pada SUS 304 *Thin Foil* 3 μm (Perbesaran 50x) 71

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam proses manufaktur sebuah material dapat dikatakan siap untuk digunakan apabila telah teruji secara mekanik ataupun fisik. Beberapa pengujian yang dilakukan terhadap material logam yaitu, uji tarik, uji kekerasan, uji impact dan lain-lain. Namun selain pengujian ada juga perlakuan terhadap logam agar logam tersebut memiliki sifat-sifat yang diinginkan. Perlakuan terhadap logam ini salah satunya adalah perlakuan panas, sebuah logam yang telah diproduksi dan belum memiliki sifat-sifat yang dibutuhkan untuk dapat digunakan, maka dengan perlakuan panas ini dapat menghasilkan logam dengan sifat yang diinginkan.

¹³ Kemajuan industri suatu negara pada umumnya baik langsung maupun tidak langsung tidak lepas dari peranan industri metalurgi. Apapun jenis industrinya, selalu menggunakan logam, dengan semakin berkembangnya peran industri metalurgi terhadap perkembangan industri lainnya, maka produk industri metalurgi dalam hal ini yaitu *stainless steel* harus mempunyai kualitas mutu yang baik. ¹³ Khususnya bagi industri metalurgi yang memproduksi mesin-mesin atau bagian-bagian dari suatu industri, dimana mesin-mesin atau bagian-bagian tersebut sangat mempengaruhi kelangsungan proses suatu industri. *Stainless steel* dikatakan berkualitas baik apabila baja karbon tersebut mempunyai sifat-sifat yang diperlukan sesuai dengan fungsinya, misalnya ukuran, kekerasan, kekuatan, ketahanan terhadap abrasi, dan lain-lain [1].

Perlakuan panas akan sempurna apabila memperhatikan faktor dari temperatur dan media pendingin yang digunakan. Temperatur proses akan menentukan tingkat ketahanan dan kekuatan dari material. Proses pemanasan material hingga temperatur di atas daerah kritis yakni pada temperatur 900°C akan membentuk struktur *austenite* yang merupakan larutan solid di dalam baja. Kemudian struktur *austenite* ini akan berubah menjadi struktur *martensite* pada saat didinginkan atau dicelupkan ke media pendingin. Struktur *martensite* ini akan terbentuk secara sempurna tergantung dari laju pendinginannya, kemudian laju pendinginan tersebut bergantung pada media *quenching* yang digunakan, hal ini disebabkan setiap media pendingin mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda beda [2].

Stainless steel yaitu baja paduan (*alloy steel*) yang mengandung 11,5% krom berdasarkan beratnya. *Stainless steel* mempunyai sifat yang anti korosi seperti logam baja lainnya. *Stainless steel* berbeda dari baja biasa dari kandungan krom. *Stainless steel* memiliki persentase krom yang memadai sehingga membentuk suatu lapisan pasif kromium oksida yang akan mencegah terjadinya korosi. Untuk memperoleh ketahanan yang tinggi terhadap oksidasi biasanya dilakukan dengan menambahkan kromium sebanyak 13-26 % [2].

Lapisan pasif *chromium (III) oxide* (Cr_2O_3) merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata, sehingga tidak akan mengganggu penampilan dari *stainless steel* itu sendiri. Kemudian dari sifatnya yang tahan terhadap air dan udara, *stainless steel* tidak memerlukan perlindungan logam khusus karena lapisan pasif tipis ini akan cepat terbentuk kembali ketika mengalami goresan. *Stainless steel* tipe

304 yaitu jenis baja tahan karat yang serbaguna dan paling banyak digunakan. Lalu komposisi kimia, kekuatan mekanik, dan ketahanan korosinya juga sangat baik, *stainless steel* 304 ini banyak digunakan dalam dunia industri maupun skala kecil [2].

Efek ukuran (*size effect*) yang sifat mekaniknya berbeda dari skala makro ke skala mikro, merupakan komponen penting dalam bidang pembentukan mikro. Dimana miniaturisasi dari skala makro ke skala mikro karena populasi butiran yang rendah pada logam atau foil logam tipis. Rasio ketebalan terhadap ukuran butir sangat rendah pada skala mikro dibandingkan dengan skala makro dan ketebalan logam kurang dari 1,0 mm. Semua efek ukuran dikategorikan menjadi tiga kategori yaitu efek pada kepadatan, bentuk, dan struktur. Efek ukuran pada densitas disebabkan oleh penurunan massa dan volume bahan, lalu efek ukuran pada bentuk disebabkan oleh penurunan bentuk dari skala makro ke skala mikro dan efek ukuran pada struktur disebabkan oleh penurunan massa dan volume bahan [3].

Saat ini industri skala mikro berkembang dengan sangat cepat, terutama dalam industri elektronik, biomaterial dan teknologi *microstamping* seperti *microgasket*, *micro shims*, dan cincin penyegel logam. Sebagian besar komponen mikro yang digunakan dalam industri elektronik dan biomedis dibuat dengan teknologi pembentukan mikro. Akan tetapi efek ukuran mempengaruhi aliran material dan kegagalan lembaran logam tipis, terutama karena lebih sedikit butiran. Selanjutnya pengasaran permukaan bebas meningkat seiring dengan penurunan ketebalan lembaran. Ini ditunjukkan dengan fakta bahwa rasio kekasaran permukaan dengan ketebalan lembaran tipis sebanding dengan lembaran

konvensional. Pengasaran permukaan secara signifikan mempengaruhi perilaku deformasi plastis dan rekahan ulet selama pembentukan mikro [3].

Efek ukuran dapat menyebabkan sifat material yang tidak homogen dan parameter proses yang tinggi, hal ini membuat proses pembentukan tidak dapat diprediksi pada skala mikro. Sehingga untuk mengatasi masalah ini, pembentukan mikro dengan bantuan panas atau perlakuan panas (*heat treatment*) diperlukan untuk mengurangi efek ukuran. Sehingga pada proses perlakuan panas dapat meningkatkan plastisitas logam secara signifikan. Sedangkan pada temperatur yang lebih tinggi dapat meningkatkan mobilitas dislokasi logam, yang membuat regangan plastis dari paduan sulit diubah bentuk pada suhu kamar [4].

Pembentukan mikro yaitu metode penting dalam pembuatan komponen mikro untuk digunakan dalam sistem mikro elektromekanis (MEMS) karena karakteristiknya yang mendekati bentuk bersih, produktivitas yang tinggi, dan dua sifat mekanik yang sangat baik dari komponen yang cacat. Ketika ukuran fitur dari dimensi spesimen diperkecil menjadi kurang dari 1 mm, ukuran butir dapat menyebabkan beberapa perbedaan dalam karakteristik manufaktur dasar. komponen mikro yang digunakan dalam industri otomotif dan produksi, serta komponennya dengan fitur mikro yang digunakan dalam aplikasi elektronik, masing-masing menunjukkan bahwa teknologi pembentukan mikro memiliki banyak aplikasi di berbagai industri. Saat ini, permintaan untuk *microforming* meningkat di industri seperti produk elektronik, MEMS, peralatan medis, aplikasi luar angkasa, dan teknologi sensor [5].

Industri pembentukan logam, khususnya di bidang *microforming* mendapat banyak manfaat dari penelitian ini karena kekasaran permukaan mempengaruhi *formability* pada *Thin Metal Foil* (TMF). Penelitian ini menawarkan banyak manfaat bagi industri pembentukan logam, khususnya di bidang *microforming*. *Austenite Stainless Steel* (ASS) TMF banyak digunakan dalam industri *microforming* seperti mobil, medis, biosensor, dan bioanalisis, permintaannya luar biasa dan terus meningkat setiap tahunnya. Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas mengenai pengaruh temperatur austenisasi 900°C , *tempering* 400°C dan proses pendinginan terhadap struktur mikro dan uji tarik pada *stainless steel 304 thin foil*. Pada penelitian ini melakukan perlakuan panas menggunakan *muffle furnace* dengan temperatur 400°C dan 900°C lalu melakukan *holding time* selama 60 menit, setelah itu didinginkan menggunakan media *ice cooling*. Pada hasil percobaan perlakuan panas selanjutnya dianalisis sifat kekuatan tariknya dengan alat uji tarik kemudian dilakukan pengamatan metalografi dengan menggunakan *Optical Microscope* (OM) untuk mengetahui perubahan fasa yang terjadi pada *stainless steel 304 thin foil*.

Distribusi suhu yang tidak merata dapat menyebabkan oksidasi permukaan, dan adhesi pada foil tipis masalah lain yang muncul pada suhu tinggi. Dimana arus listrik dapat mempercepat pembentukan tahap awal endapan dari keadaan lewat jenuh. Lalu terdapat rongga rongga kecil yang terdapat pada foil tipis (*microvoids*) di sekitar endapan pada batas butir akan membuat spesimen patah. Sehingga untuk menghindari pembentukan pori-pori mikro di tepi foil tipis, dilakukan pemanasan homogen karena perlakuan panas (HT) pada foil tipis mengalami pemanasan lokal.

Saat ini, proses skala mikro ini tidak begitu akurat dan presisi di industri, jadi mengurangi dampak ukuran sangat penting. Maka perlakuan panas (HT) menunjukkan hasil yang baik untuk mengurangi dampak efek ukuran [6].

Selanjutnya pada penelitian kali ini aplikasi pada SUS 304 *thin foil* yaitu pada sensor bahan bakar. Sensor adalah bagian penting dari sistem kontrol elektronik yang terlibat dalam kendaraan, dimana perangkat yang mengubah besaran fisik seperti tekanan atau akselerasi disebut sensor. Sehingga sinyal yang berfungsi sebagai input untuk kontrol sensor utama mobil adalah perangkat terpisah yang mengukur tekanan oli, tingkat bahan bakar, suhu cairan pendingin, dan informasi lainnya. Modul kontrol mesin otomotif berbasis mikroprosesor dimulai pada akhir tahun 1970 secara bertahap untuk memenuhi peraturan emisi federal [7].

Selanjutnya sistem ini membutuhkan sensor baru seperti *manifold absolute pressure* (MAP), suhu udara, dan stoikiometri gas buang untuk sensor titik operasi yang memiliki rasio udara-bahan bakar, kebutuhan akan sensor terus meningkat. Sistem permesinan mikro dan mikro elektromekanis (MEMS) merupakan kemajuan penting dalam teknologi sensor otomotif. Sensor otomotif MEMS pertama kali dibuat pada tahun 1981 dengan sensor tekanan untuk kontrol mesin. Kemudian pada awal tahun 1990-an, pengembangannya dilanjutkan dengan akselerometer untuk mendeteksi tabrakan untuk sistem keamanan udara dan sekarang dengan sensor inersia laju sudut untuk sasis stabilitas kendaraan. Sehingga MEMS sangat penting karena dapat mengurangi biaya pemrosesan dan memasukkan kecerdasan elektronik ke dalam chip [8].

1.2 Rumusan Masalah

Berikut merupakan rumusan masalah yang akan dijadikan bahasan:

1. Bagaimana pengaruh temperatur austenisasi dan *tempering* terhadap struktur mikro dan nilai kekuatan tarik pada *stainless steel 304 thin foil*
2. Bagaimana proses pendinginan dapat mempengaruhi struktur mikro dan nilai kekuatan tarik pada *stainless steel 304 thin foil*

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian kali ini yaitu sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh pemanasan terhadap struktur mikro *stainless steel 304 thin foil*
2. Untuk mengetahui pengaruh pemanasan terhadap sebaran fasa martensit di struktur mikro logam *stainless steel 304 thin foil*
3. Untuk mengetahui prediksi *surface roughening* pada suhu tinggi hasil penelitian
4. Untuk mengetahui mampu bentuk logam *thin foil* hasil penelitian
5. Untuk mengetahui pengaruh pemanasan terhadap sifat mekanik logam *ultra tipis*

1.4 Ruang Lingkup

Ruang lingkup pada penelitian kali ini yaitu:

1. Sampel pada penelitian kali ini menggunakan *stainless steel 304 thin foil*
2. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fakultas Teknik Untirta

3. Adapun batasan masalah pada penelitian ini terdapat dua variabel yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Sehingga variabel bebasnya yaitu variasi *grain size* (ukuran butir) dan proses pendinginan, selanjutnya variabel terikatnya yaitu struktur mikro dan nilai kekuatan pada *stainless steel 304 thin foil*

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi pada penelitian ini terdapat lima bab yaitu Bab 1 Pendahuluan meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup serta sistematika penulisan penelitian. Pada Bab II meliputi tinjauan pustaka, berisikan teori teori dasar terkait penelitian sebagai acuan dalam analisis pembahasan. Selanjutnya pada Bab III berisikan metode penelitian yang dilakukan meliputi diagram alir penelitian, alat dan bahan yang digunakan, serta prosedur penelitian yang dilakukan mulai dari preparasi sampel hingga ke proses pengujian. Bab IV menjelaskan mengenai hasil penelitian dan pembahasan yang telah didapat. Bab V menjelaskan mengenai kesimpulan dan Saran dari penelitian ini. Pada lampiran A berisikan tentang perhitungan penelitian yang telah dilakukan setelah pengujian dilakukan, Selanjutnya untuk lampiran B berisikan gambar dari alat dan bahan pada penelitian ini. Lalu pada lampiran C berisikan data pendukung

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 ³ Perlakuan Panas (*heat treatment*)

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan cara memanaskan spesimen pada *furnace* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air garam, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping komposisi kimianya, contoh suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya. Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu [9].

Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan sehingga penentuan bahan logam yang tepat merupakan kesepakatan antara berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan hingga sampai dimana sifat bahan logam tersebut dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Sifat –sifat bahan logam perlu dikenal secara baik karena bahan logam tersebut dipakai pada berbagai kepentingan dan dalam keadaan sesuai dengan fungsinya. Tetapi terkadang sifat-sifat bahan logam ternyata kurang

memenuhi persyaratan sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Sehingga diperlukan suatu usaha untuk dapat meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat logam, sifat-sifat logam tersebut dapat ditingkatkan dengan salah satunya adalah perlakuan panas [9].

Perlakuan panas teknik untuk mengubah sifat logam dengan memanaskan dan mengendalikan laju pendinginan, dengan atau tanpa mengubah komposisi kimia logam. Perlakuan panas dan pembesaran butir adalah dua metode untuk menghilangkan tegangan internal [10].

2.2 **Tempering**

Tempering adalah pemanasan kembali sampai temperatur kritis, hal ini dimaksudkan agar dapat mengurangi tegangan dalam, keuletan serta ketangguhannya naik kembali. Baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh, melalui proses *tempering* kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan penggunaan. Kekerasan dan kekuatan tarik akan mengalami penurunan tetapi keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Secara umum baja dilakukan proses *tempering* setelah proses *hardening*, supaya mendapat sifat mekanik yang diinginkan, selain itu juga digunakan untuk mengurangi tegangan hasil proses pendinginan *quenching* [11].

Pada proses perlakuan tempering benda dipanaskan dibawah suhu kritis, kemudian di dinginan di udara. Suhu tempering tergantung pada sifat-sifat baja yang diperlukan sekitar 180 °C- 650 °C dan lama pemanasan tergantung pada tebal bahan. Pada suhu 200 °C sampai 300 °C laju difusi lambat hanya sebagian kecil.

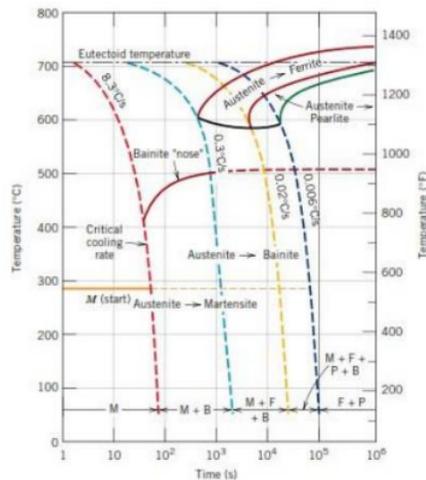
Karbon dibebaskan hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhan, pada suhu 500 °C sampai 600 °C difusi berlangsung lebih cepat dan atom yang berdifusi diantara atom baja dapat membentuk sementit. Tujuannya *tempering* pada suhu 150 °C sampai 300 °C untuk mengurangi tegangan kerut pada baja dan kerapuhan, pada suhu 300 °C sampai 550 °C memiliki tujuan untuk menambah keuletan dan mengurangi sedikit kekerasan baja, suhu 550 °C sampai 650 °C bertujuan untuk memberikan keuletan yang lebih besar dan menurunkan kekerasannya [11].

2.3 *Quenching*

Quenching merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan pada *furnace* kedalam media pendingin. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau *hardenability* yang relatif rendah [11].

Sementara itu pendinginan cepat ini dilakukan setelah baja mengalami perlakuan panas dengan tujuan untuk mencapai pembentukan struktur martensit. Kemudian media pendingin seperti air merupakan cairan pendingin yang biasa digunakan dalam proses perlakuan panas, selain itu viskositas lebih rendah akan memberikan laju pendinginan kritis untuk mencapai kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini dapat membantu dalam menentukan struktur yang terjadi setelah perlakuan panas, sementara itu dapat dilihat pada diagram *Continuous Cooling*

Transformation (CCT) yang dapat digunakan untuk memprediksi atau memperkirakan struktur yang akan terbentuk. Sehingga pada diagram ini menggambarkan hubungan antara laju pendinginan dan struktur yang akan terbentuk setelah transisi fasa [12]. Dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram *Continuous Cooling Transformation* (CCT) [12]

2.4 Temperatur Austenisasi

Selama proses pengerasan, suhu pemanasan harus dinaikkan hingga austenit (γ) melarutkan karbida sehingga menjadi larutan austenit yang dapat mengubah menjadi martensit. Hal ini diperoleh dari hasil pendinginan cepat austenit dan suhu yang dipertahankan selama beberapa waktu pada suhu austenisasi agar austenit menjadi homogen. Maka pada saat pengerasan suhu austenisasi yang disarankan

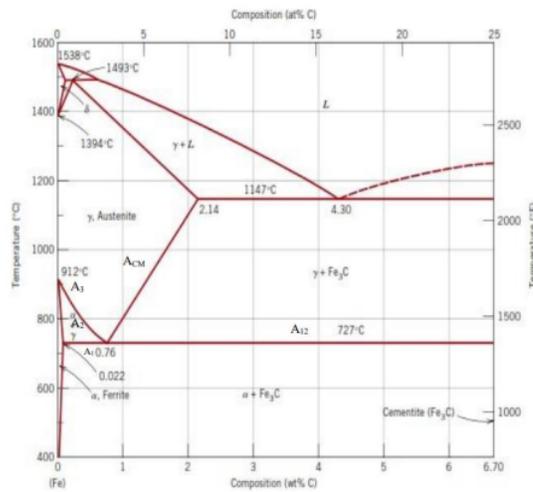
pada baja hiper eutektoid 300 °C-500 °C di atas suhu kritis A_1 dan untuk 200 °C-500 °C di atas kritis suhu A_3 pada baja hipo eutektoid [12].

Sementara itu penambahan unsur paduan akan mempengaruhi kenaikan dan penurunan pada suhu austenisasi. Sehingga penambahan unsur penstabil *austenite* seperti (C, Ni, Mn) akan menurunkan suhu pada A_1 , sedangkan penambahan unsur penstabil ferit seperti (Cr, Si, Mo, W, Al) dapat meningkatkan suhu eutektoid. Misalnya pada baja dengan paduan 3% Ni apabila dipanaskan mulai menjadi austenitik pada suhu di bawah 700°C. Sehingga baja dengan komposisi paduan Cr 12% memerlukan suhu austenisasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan baja tanpa komposisi paduan Cr [13].

2.5 Diagram Fe-Fe₃C

Pada Gambar 2.2 menunjukkan perlakuan panas pada besi dan baja menggunakan diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C. Sementara itu fasa fasanya yaitu terdiri dari ferit (α), sementit (Fe₃C), austenit (γ), besi atau dari fasa-fasa dimana keberadaannya bergantung pada temperatur dan kandungan karbon. Maka dari diagram kesetimbangan Fe-Fe₃C dapat melihat masing-masing dari fasa yang muncul pada kesetimbangan dua fasa. Sehingga hal ini difokuskan pada daerah baja hipoeutektoid dimana daerah yang kandungan karbonnya kurang dari $\leq 0,08\%$. Selain itu larutan padat ferit merupakan larutan padat interstisial dengan kelarutan karbon yang sangat rendah 0,008% C pada temperatur kamar dan 0,025% C pada 723°C. Namun fasa ini lunak dan juga memiliki resistansi rendah [13].

Berdasarkan hal tersebut diagram keseimbangan besi karbon digunakan sebagai dasar bahan besi baja. Sehingga karbon pada besi dan baja memiliki kandungan 0,25% Si, 0,3-1% Mn dan juga terdapat unsur pengotor lainnya yaitu fosfor, sulfur dan lain lain. Hal ini karena unsur unsur tersebut tidak berpengaruh kepada diagram fasa, maka diagram dapat digunakan tanpa adanya unsur - unsur tersebut. Sehingga paduan besi karbon ini terdapat fasa karbida yaitu sementit dan grafit. Grafit lebih stabil daripada sementit [13]. Dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Diagram Fe-Fe₃C [7]

Pada diagram ini menunjukkan hubungan antara temperatur pemanasan lambat dengan temperatur pendinginan lambat dengan kandungan karbon dibatasi hingga 6,7%. Hal ini penting untuk dipahami dalam bidang metalurgi, karena dapat digunakan sebagai parameter untuk mengetahui perubahan fasa apa saja dan faktor apa saja yang terjadi pada baja dengan jenis perlakuan. Sehingga diagram fasa ini

dapat digunakan dalam memilih temperatur pemanasan selama proses *annealing*, *normalizing*, dan *hardening*. Sehingga pada diagram ada beberapa simbol yaitu ferrit (α), besi delta (δ) dan *austenite* (γ) sebagai larutan padat [12].

Sementara itu ferrit memiliki struktur kristal yaitu BCC (*Body Centered Cubic*), besidelta (δ) memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*), *austenite* (γ) memiliki struktur kristal FCC (*Face Centered Cubic*). Kemudian pada garis A_1 merupakan perubahan fase pada baja *hypoeutectoid* dari austenit (γ) menjadi perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) atau disebut dengan temperatur reaksi *eutectoid*. Lalu pada garis A_2 yaitu perubahan dari titik curie memiliki sifat magnetik besi dari *ferromagnetic* ke *paramagnetic*, kemudian garis A_3 yaitu perubahan dari fasa austenit (γ) menjadi ferrit (α). Lalu pada garis A_{CM} temperatur perubahan dari fasa austenit (γ) menjadi sementit, sedangkan pada garis A_{123} yaitu temperatur perubahan austenit (γ) menjadi perlit ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) untuk baja *hypereutectoid* [12].

2.6 *Stainless Steel*

Stainless steel (baja tahan karat) yaitu jenis baja yang tahan terhadap pengaruh oksidasi. *Stainless steel* merupakan logam paduan dari beberapa unsur logam yang dipadukan dengan komposisi tertentu, dengan penambahan atau pengurangan unsur paduan yang terdapat didalamnya akan diperoleh kekuatan baja paduan tinggi. Sehingga dari perpaduan logam tersebut didapatkan logam baru dengan sifat atau karakteristik lebih unggul dari unsur logam sebelumnya. Dalam penggunaan *stainless steel* didunia semakin meningkat dikarenakan karakteristik yang menguntungkan dan terdapat penambahan tuntutan dari karakteristik material

untuk bangunan dan industri konstruksi dimana *stainless steel* dapat digunakan untuk material berpenampilan menarik (*attractive*), tahan korosi (*corrosion resistance*), rendah perawatan (*low maintenance*) dan berkekuatan tinggi (*high strength*) [14].

2.6.1 Jenis Jenis *Stainless Steel*

Meskipun semua baja tahan karat didasarkan pada kandungan kromium (Cr), unsur paduan lain ditambahkan untuk meningkatkan sifat baja tahan karat tergantung pada penerapannya. Baja tahan karat tidak seperti baja lainnya berdasarkan persentase karbonnya tetapi berdasarkan struktur metalurginya. Menurut sifat kimianya, baja tahan karat dibagi menjadi lima kelompok utama yaitu baja tahan karat austenitik, feritik, martensit, dupleks, dan pengerasan presipitasi [14].

1. *Austenitic Stainless Steel*

Baja tahan karat mengandung setidaknya 16% kromium dan 6% nikel (standar untuk 304), sampai pada *Grade Super Austenitic stainless steel* seperti 904L (dengan kandungan kromium dan nikel lebih tinggi serta tambahan elemen Mo hingga 6%). Molibdenum (Mo), Titanium (Ti) atau Tembaga (Co) berfungsi meningkatkan suhu dan ketahanan korosi. *Austenitic* juga cocok untuk aplikasi suhu rendah karena unsur nikel membuat baja tahan karat tidak terlalu rapuh pada suhu rendah. Hal ini karena jenis ini merupakan yang paling mudah dibentuk dari semua jenis baja tahan karat [14].

2. *Ferritic Stainless Steel*

Golongan paduan ini biasanya hanya mengandung kromium, sisanya sebagian besar Fe. Logam paduan ini yaitu baja tahan karat kromium sederhana dengan kandungan kromium 10,5 hingga 18 % seperti jenis 430 dan 409. Hal ini karena ketahanan korosi tidak terlalu istimewa dan relatif sulit dalam pembuatan atau permesinan. Namun kekurangan ini telah diperbaiki pada jenis 434 dan 444 secara khusus pada lapisan 3Cr12 [14].

3. *Martensitic Stainless Steel*

Baja tahan karat jenis ini memiliki komponen utama kromium (bahkan lebih sedikit dibandingkan baja tahan karat feritik) dan memiliki kadar kandungan karbon yang relatif tinggi yaitu 0,1 hingga 1,2% (dibandingkan dengan baja tahan karat feritik), misalnya pada jenis baja tahan karat tipe 410 dan 416 kandungan karbon yang tinggi merupakan hal baik terhadap panas dan memberikan kekuatan mekanik yang besar. Kemudian jenis 431 mengandung kromium hingga 16% akan tetapi struktur mikro masih martensit dikarenakan hanya mengandung 2% nikel. Hal inilah yang membuat baja pertama yang dikembangkan secara komersial [14].

4. *Duplex Stainless Steel*

Dupleks baja tahan karat karena mengandung cukup nikel untuk menghasilkan struktur austenitik penuh dan kombinasi komposisi feritik dan austenitik. Baja tahan karat dupleks seperti 2304 dan 2205 (dua digit pertama mewakili persentase kromium dan dua digit

terakhir mewakili persentase nikel). *Duplex ferritic austenitic* ini memiliki suatu kombinasi ketahanan korosi dan sifat temperatur yang relatif tinggi atau khususnya memiliki kemampuan menahan retak korosi tegangan. Walaupun kemampuan retak korosi tegangan tidak sebaik baja tahan karat feritik namun ketangguhannya jauh lebih baik dari baja feritik dan lebih buruk dari baja tahan karat austenitic [14].

5. *Precipitation Hardening Stainless Steel*

Baja tahan karat penguatan presipitasi merupakan baja tahan karat yang keras dan juga kuat karena terbentuknya endapan pada struktur mikro logam. Sehingga gerak deformasinya terhambat dan memperkuat material baja tahan karat. Baja tahan karat ini salah satu jenis baja tahan karat yang terbuat dari bahan paduan baja tahan karat yang tahan korosi jika dipanaskan. Pembentukan ini disebabkan oleh penambahan unsur tembaga (Cu), Titanium (Ti), Niobium (Nb) dan Aluminium. Sehingga termasuk pada paduan berkekuatan tinggi dengan sifat keuletan dan ketahanan korosi yang baik yang diperoleh dari perlakuan panas untuk memperoleh struktur martensit dan pemrosesan pada suhu rendah. Kemudian pada unsur paduannya terdiri dari Mo, Cu, Al, Ti, dan Nb. Tetapi baja tahan karat ini diklasifikasikan menurut tipe martensit, tipe semi *austenitic*, dan tipe *austenitic* [14].

2.7 *Stainless Steel 304*

Stainless Steel tipe 304 merupakan baja tahan karat yang paling banyak digunakan khususnya pada industri elektronik, sensor, dan bio assay. Sering disebut baja tahan karat “18-8” karena mengandung 18% kromium dan 8% nikel, baja tahan karat 304 mudah dibentuk, dilas, memiliki ketahanan panas yang sangat tinggi, ketahanan korosi, bahkan pada suhu yang sangat rendah. Baja tahan karat 304 umumnya digunakan dalam industri makanan seperti pengolahan susu, pipa, panci, fermentasi dan penyimpanan bahan baku. Selain itu juga biasa digunakan sebagai wastafel, meja, tempat minum, kulkas, kompor dan segala macam perkakas dan perlengkapan dapur [14]. Dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Stainless Steel 304*

C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni
0,042%	1,19%	0,034%	0,006%	0,04%	18,24%	8,15%

Baja paduan SS 304 merupakan baja tahan karat austenitik memiliki sifat mekanik yaitu kuat tarik sebesar 646 MPa, kuat luluh 270 MPa, perpanjangan 50%, kekerasan 82 HRB. Baja tahan karat tipe 304 merupakan baja tahan karat serbaguna dan merupakan baja tahan karat tipe yang paling banyak digunakan. Dimana komposisi kimianya, kekuatan mekaniknya, kemampuan lasnya dan ketahanan terhadap korosinya sangat baik dengan harga yang relatif terjangkau, baja tahan karat tipe 304 banyak digunakan dalam industri Penggunaannya antara lain peralatan pertambangan, elektrokimia, dan biomedis [14].

2.7 ¹ **Holding Time**

Holding time yaitu suatu proses mempertahankan atau menahan temperatur pada waktu tertentu supaya temperatur seragam dan terjadi perubahan struktur secara merata. Pada proses ini untuk mencapai kekerasan maksimum material selama pengerasan dengan mempertahankan pada suhu pengerasan untuk mencapai pemanasan yang seragam. Sehingga struktur austenit atau karbida seragam larut dalam austenit, difusi karbon dan elemen paduannya, kemudian baja harus dijaga pada suhu austenit untuk memungkinkan karbida dan austenit yang lebih seragam. Sementara itu *holding time* berpengaruh pada saat terjadinya transformasi apabila waktu penahanan yang diberikan kurang tepat atau terlalu cepat, maka transformasi yang terjadi tidak homogen, selain itu waktu tahan terlalu pendek akan menghasilkan kekerasan yang rendah hal ini disebabkan tidak cukupnya jumlah karbida yang larut dalam larutan [15]. Untuk menentukan waktu tahan pada proses perlakuan panas dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Jenis Baja dan Waktu Tahan Pada Proses Perlakuan Panas

Jenis Baja	 Holding Time
<i> Low carbon steel</i>	5-15 menit
<i> Medium alloy steel</i>	15-25 menit
<i> Low alloy tool steel</i>	10-30 menit
<i> High alloy tool steel</i>	10-60 menit
<i> Hot work tool steel</i>	15-30enit

2.8 *Austenitic Stainless Steel (ASS)*

Baja tahan karat austenitik (ASS) memiliki ketahanan terhadap korosi dan kemampuan proses yang sangat baik dan banyak digunakan dalam industri biomedis, elektronik, kimia, listrik, makanan, dan nuklir. Selain itu, tingginya permintaan akan komponen mikro telah menarik perhatian besar dalam beberapa dekade terakhir. Selain itu, teknologi *microforming* memiliki banyak masalah, termasuk aplikasi material yang terbatas dan kebutuhan produksi massal yang mahal. Ketika deformasi plastis diterapkan pada baja tahan karat austenitik, transformasi yang diinduksi martensit terjadi di ASS.

Fraksi volume fasa martensit (Mf) meningkat sebanding dengan peningkatan deformasi plastis. Transformasi fase martensitik mengurangi ketangguhan tetapi meningkatkan kekuatan pada austenitik *stainless steel*. ASS memiliki struktur kristal tetragonal (BCT) berpusat pada tubuh akibat deformasi plastis, kemudian yang menjadi fase austenitik *face centered cubic* pada suhu kamar. Ketidakstabilan plastik yang dapat terjadi pada foil logam tipis dapat tertunda seiring dengan meningkatnya pengerasan regangan akibat transformasi fasa martensitik yang terjadi.

Selanjutnya transformasi fase martensitik dapat meningkatkan kekuatan dan keuletan *austenitic stainless steel*. Kemudian transformasi fase martensitik dipengaruhi oleh komposisi kimia, tingkat regangan, dan ukuran butir (Dg) foil tipis. Transformasi fasa martensitik di permukaan lebih tinggi daripada tampilan di bagian dalam baja tahan karat. Apabila mengalami deformasi plastis, terjadi

interaksi dislokasi dan kembar terbentuk lebih sering terjadi di permukaan dibandingkan di dalam material [15].

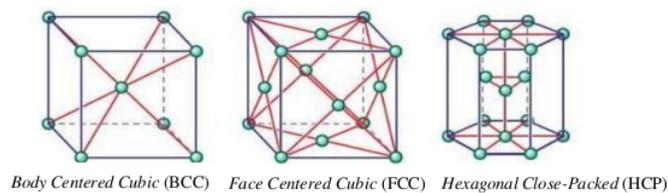
2.9 Metalografi

Metalografi adalah ilmu yang mempelajari hubungan antar struktur paduan logam. Hasil yang diperoleh adalah pengamatan terhadap bentuk struktur mikro, meliputi ukuran butir, batas butir, fasa baru, proses pengendapan, komposisi kimia, cacat kristal, dislokasi, dan lainnya yang dapat dilihat dengan gambaran struktur mikro. Proses observasi mikrostruktur berfungsi sebagai langkah pertama menuju pengetahuan gambar, memungkinkan gambar dianalisis untuk tujuan yang diinginkan. Teknik berbeda untuk memperoleh bentuk struktur mikro adalah dengan menggunakan metode sederhana seperti mikroskop optik, *scanning electron microscopy* (SEM), *energy dispersive spectroscopy* (EDS), *auger electron spectroscopy* (AES) dan dengan tingkat tinggi menggunakan *transmission electron microscope* (TEM) untuk observasi tingkat tinggi.

Dalam penelitian ini, keterbatasan analisis yang digunakan adalah hanya teknik sederhana yang dapat dilakukan dengan mudah menggunakan mikroskop optik, karena pembahasan yang diperlukan hanyalah analisis batas butir dan ukuran butir yang dapat dianalisis. SEM, EDS, AES, dan TEM dapat digunakan untuk memperoleh pengetahuan tentang komposisi kimia, cacat kristal, dan dislokasi berupa komponen. Beberapa metode diperlukan untuk memvisualisasikan struktur mikro yaitu pemolesan dan etsa. Ada tiga metode pemolesan yaitu metode elektrolitik kimia menggunakan elektrolit dan arus listrik, metode kimia mekanis

menggunakan pasta yang diaplikasikan pada amplas, dan metode elektro mekanis yang menggabungkan pemolesan elektrolit dan mekanis. Struktur mikro semua logam terdiri dari partikel partikel kristal atau butir butir.

Batas butir terlihat akibat pengikisan batas butir akibat proses etsa, batas butir terbentuk karena pengendapan (*presipitation*) atau pemisahan (*segregation*), tergantung pada sifat fisik dan kimianya. Atom bebas yang terbentuk di dalam partikel membentuk susunan teratur seperti pola bentuk ruang. Baja memiliki struktur bcc (*body centered cubic*), baja tahan karat austenitik memiliki struktur fcc (*face centered cubic*), dan magnesium memiliki struktur hcp (*hexagonal close packed*). Ketiga bentuk kristal logam ini adalah logam yang paling umum. Dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk Struktur Kristal BCC, FCC, dan HCP [16].

Struktur mikro dapat ditentukan dengan analisis mikroskop optik. Analisis mikrostruktur bertujuan untuk mengidentifikasi batas butir dengan mengetasnya menggunakan larutan etsa terpilih. Proses pembentukan batas butir dan ukuran butir tidak dapat dilihat tanpa adanya proses etsa. Selama pengetsaan, logam diserang dengan asam sehingga batas butir dan ukuran butir menjadi terlihat. Melihat batas butir dan ukuran butir memerlukan teknik dan pemilihan larutan etsa, ada berbagai

jenis proses etsa yang dapat digunakan untuk membentuk batas butir, yaitu proses etsa kimia dengan membasahi permukaan logam dengan larutan etsa dan proses etsa elektrolitik menggunakan reaksi elektrolitik dengan membiarkan logam bereaksi [16].

2.11 Jenis Martensit

Jenis martensit yang dihasilkan sebenarnya bergantung pada jumlah karbon dalam baja. Apabila kandungan karbonnya rendah maka jenis martensit yang terbentuk adalah martensit *lath*. Jika kandungan karbonnya sedang maka akan terbentuk campuran martensit dan jika kandungan karbon pada baja itu tinggi maka akan terbentuk pelat martensit. Sehingga tidak ada proses difusi atau penambahan komposisi kimia pada transformasi martensit.

Ketika suhu logam yang dapat mengalami reaksi martensit menurun, akhirnya mencapai suhu kesetimbangan yang mana memisahkan antara daerah stabilitas dari dua fase berbeda yaitu di bawah suhu, energi bebas logam berkurang karena logam mengalami perubahan fasa dari keadaan stabil pada suhu tinggi ke keadaan stabil pada suhu rendah. Dimana perbedaan energi bebas ini merupakan kekuatan pendorong utama dari reaksi martensit. Maka perubahan fasa yang terjadi selama transformasi martensit disebabkan oleh pergerakan antarmuka yang memisahkan fasa induk dari produk. Sehingga saat antarmuka bergerak, atom-atom dalam struktur kisi fase induk tersusun ulang dalam kisi fase martensit.

Sementara itu sifat pergerakan atom dalam wilayah yang membentuk antarmuka tidak diketahui. Namun demikian, tidak ada perpindahan suatu atom dibandingkan

dengan yang lebih kompleks dari suatu deformasi. Karena cara pembentukan martensit tidak ada perubahan komposisi ketika kisi awal diubah menjadi fase produk, dan tidak diperlukan difusi ke fase awal atau ke fase produk agar reaksi dapat berlangsung. Oleh karena itu, reaksi martensit biasanya disebut sebagai transformasi fase tanpa difusi.

Penataan ulang atom yang terkait dengan reaksi martensit menyebabkan deformasi mekanis seperti bentuk. Karena kisi yang baru terbentuk memiliki simetri yang berbeda dengan fase awal, maka deformasi yang terjadi lebih kompleks. Bahwa pada kembaran mekanis, regangan ditemukan berupa geseran sederhana yang sejajar dengan bidang simetri dengan kristal induk. Seperti yang ditunjukkan oleh bidang kembar adalah bidang yang tidak terdistorsi. Kembaran tidak mengubah ukuran dan jarak sudut ke segala arah dalam bidang ini.

Permukaan biasa, atau permukaan tempat terbentuknya lempeng martensit, biasanya juga diasumsikan sebagai permukaan yang tidak terdistorsi. Dimana deformasi bentuk makroskopis dalam pembentukan pelat martensit dianggap sebagai gaya geser yang sejajar dengan bidang kebiasaan dan tegangan tarik atau tekan sederhana (*uniaksial*) yang tegak lurus terhadap bidang kebiasaan. Jenis pembebanan ini yang dikenal sebagai distorsi invarian tingkat, dimana bentuk paling umum yang dapat terjadi ketika invarian tingkat dipertahankan normal. Baik geser yang sejajar dengan permukaan maupun pemuaian atau kontraksi yang tegak lurus terhadap permukaan tidak mengubah posisi atau ukuran vektor pada permukaan. [17].

2.12 Uji Tarik

Uji tarik yaitu suatu pengujian di mana gaya tarik atau tegangan diterapkan pada suatu bahan dengan tujuan untuk mengukur atau menentukan kekuatan bahan tersebut. Tegangan tarik yang digunakan merupakan tegangan luar aktual atau perpanjangan aksial benda uji. Pengujian tarik dilakukan dengan cara menarik suatu benda uji dengan gaya tarik terus menerus yang meningkat secara terus menerus dan teratur sampai bahan (perpanjangan) putus, dengan tujuan untuk mengetahui nilai tariknya. Untuk mengukur kuat tarik suatu material yang menerima beban tarik, garis-garis gaya harus berimpit dengan sumbu material agar beban terjadi pada beban tarik lurus.

Hasil uji tarik menangkap fenomena hubungan tegangan-regangan yang terjadi selama proses uji tarik. Mesin uji tarik diperlukan dalam bidang teknik untuk menentukan sifat mekanik bahan. Mesin uji tarik terdiri dari beberapa bagian pendukung utama antara lain rangka, mekanisme pegangan sampel, sistem tarik, mekanisme dan sistem pengukuran. Pengujian tarik sering dilakukan untuk melengkapi informasi dasar desain mengenai kekuatan material dan untuk menyediakan data pendukung spesifikasi material [18].

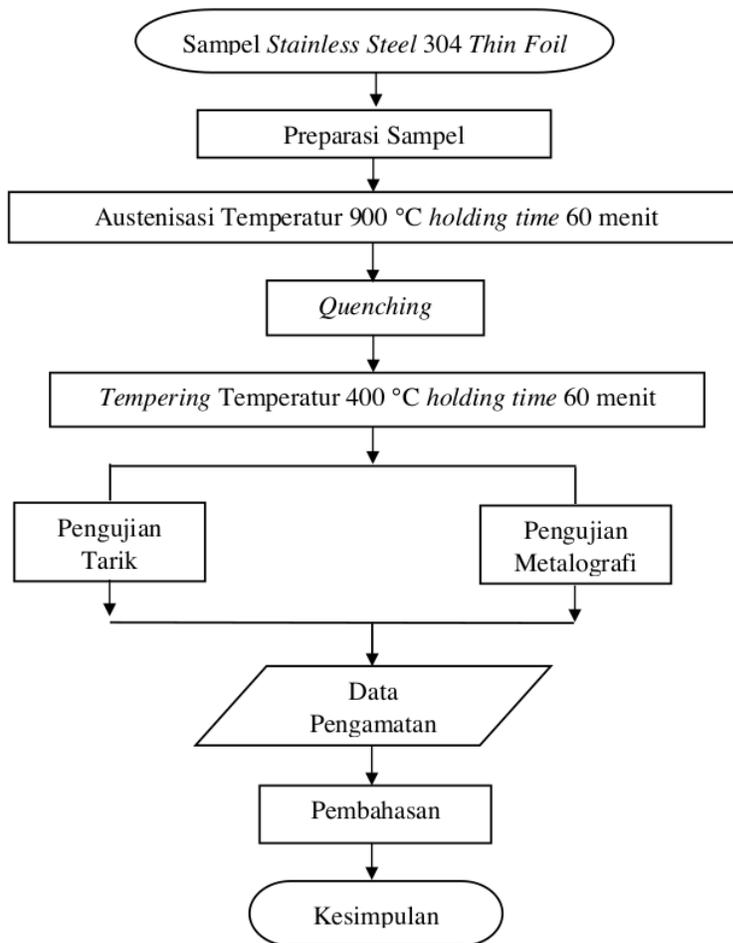
Pengujian kekuatan tarik melibatkan pembebanan material dengan menerapkan gaya reaksi pada material dengan arah menjauhi pusat. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material. Pengujian ini merupakan dasar dari pengujian dan kekuatan material dan oleh karena itu merupakan pengujian yang paling umum dilakukan. Lalu gaya tarik pada suatu bahan mengakibatkan

perubahan bentuk bahan (deformasi), yaitu perpindahan butiran kristal bahan hingga gaya maksimum memutuskan ikatan kristal. Proses deformasi material yang menyebabkan kegagalan dapat ditentukan dengan uji Tarik [19].

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir

Berikut ini merupakan diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang digunakan

Adapun alat yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu sebagai berikut:

- a) Cawan;
- b) Mesin uji Tarik;
- c) Mesin *Polishing*
- d) Mesin *Grinding*
- e) *Muffle furnace*;
- f) *Optical Microscope (OM)*
- g) Sarung tangan;
- h) Tang penjepit.

3.2.2 Bahan yang digunakan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu sebagai berikut:

- a. Ampelas
- b. Baja tahan karat 304 *thin foil*;
- c. Air es.
- d. Larutan etsa (HF, HNO₃ dan Aquades)
- e. Bahan kain untuk pemolesan
- f. Pasta Alumina

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1. Persiapan sampel

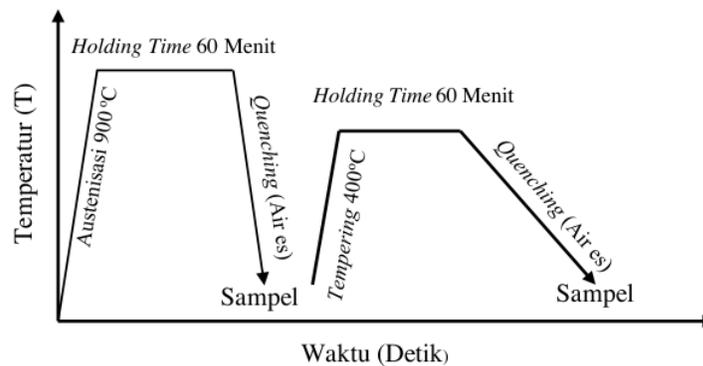
Sebelum memulai penelitian alangkah baiknya mempersiapkan sampel, alat dan bahan yang akan digunakan pada penelitian. Kemudian sampel dibagi menjadi 2 bagian yakni sampel pengujian Tarik dengan standar DIN 50125 dan pengujian metalografi

3.3.2. Heat Treatment dan Holding Time 60 menit

Proses selanjutnya yaitu perlakuan panas. Dimana sampel ditempatkan dalam *muffle furnace* dan dipanaskan pada suhu yang berbeda yaitu 400°C dan 900°C dengan *holding time* selama 60 menit. Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu

Diagram TTT menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan suhu. Proses perlakuan panas bertujuan untuk mendapatkan struktur baja yang diinginkan dan sesuai dengan tujuan penggunaan. Maka struktur yang diperoleh merupakan hasil proses transformasi dari kondisi awal. Proses konversi ini dapat dibaca dengan menggunakan diagram fasa, namun untuk kondisi tidak seimbang diagram fasa tidak dapat digunakan. Sehingga untuk kondisi seperti digunakan diagram TTT. Melalui diagram ini dapat digunakan untuk mempelajari perilaku baja pada setiap tahap perlakuan panas. Dengan demikian diagram ini juga dapat digunakan untuk memperkirakan struktur dan sifat mekanik pada baja yang dikeraskan dari

temperatur austenisasi hingga temperatur di bawah A1. Sementara itu diagram ini menunjukkan penguraian austenit dan berlaku untuk jenis baja tertentu. Oleh karena itu, bentuk diagram tergantung pada komposisi kimia terutama kandungan karbon dalam baja [20]. Dapat dilihat pada Gambar 3.2 skematik *Heat Treatment SUS 304 Thin Foil*.



Gambar 3.2 Skematik *Heat Treatment SUS 304 Thin Foil*

3.3.3. Pengujian Tarik

Prosedur uji tarik yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Ukur panjang dan diameter sampel.
2. Masukkan benda uji ke dalam alat uji tarik.
3. Mengoperasikan mesin uji tarik dan mencatat diameter sampel.
4. Catat beban yang diberikan. Sampel mengurangi diameter
5. Catat beban maksimum pada sampel.
6. Keluarkan sampel dari alat uji tarik.

7. Ukur panjang benda uji setelah uji tarik dan diameter benda uji

3.3.4. Pengamatan Metalografi

Selanjutnya sampel dilakukan pengamatan metalografi, dimana ⁸ metalografi merupakan analisis dari suatu struktur suatu logam atau paduan yang dapat dilihat secara langsung secara visual maupun dengan bantuan peralatan seperti mikroskop optik, mikroskop elektron, dan difraksi sinar x. Analisis metalografi secara kuantitatif merupakan pengujian yang cukup penting dalam proses fabrikasi suatu logam karena dapat digunakan untuk menentukan fasa yang terbentuk, ukuran butir, dan berbagai karakteristik lainnya. Informasi-informasi tersebut bersifat penting karena dari data itu kita dapat memprediksi kekerasan, ketangguhan, dan ketahanan suatu logam terhadap suatu proses degradasi, serta dapat menganalisis kerusakan yang muncul pada permukaannya

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Pengujian *Stainless Steel 304 Thin Foil*

Data pengujian penelitian ini diawali proses perlakuan panas dimana sampel dengan variasi temperatur yaitu 400°C dan 900°C. Setelah itu dilakukan pengamatan struktur mikro terhadap sampel yang telah diberikan perlakuan panas (*heat treatment*). Tahap selanjutnya dilakukan pengujian tarik terhadap sampel tersebut, untuk mencari *reduction of area* (Ra) atau reduksi penampang dimana Ra ini dapat dihitung dengan membandingkan luas penampang asli dengan luas penampang setelah sampel patah dan dihitung persentasenya. Kemudian mencari persentase martensit dapat dicari dengan cara mengolah gambar struktur mikro menggunakan *image processing software* atau ImageJ. Berikut ini data hasil uji tarik pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.7:

Tabel 4.1 Dimensi Sampel

Panjang Awal (mm)	Luas Penampang (mm)	Tebal (mm)
25	0,4	0,1

Tabel 4.2 Data Uji Tarik Sebelum Pengujian SUS 304 *Thin Foil* 1,5 µm

<i>Vickers Hardness</i>	<i>Tensile Strenght</i>	<i>Yield Strenght</i>	<i>Elongation</i>	<i>Thickness</i>	<i>Width</i>
261 HV	874 MPa	565 MPa	50,0 %	0,095 – 0,105 mm	20,000 – 20,030 mm

Tabel 4.3 Data Uji Tarik Sebelum Pengujian SUS 304 *Thin Foil* 3 μm

<i>Vickers Hardness</i>	<i>Tensile Strenght</i>	<i>Yield Strenght</i>	<i>Elongation</i>	<i>Thickness</i>	<i>Width</i>
227 HV	849 MPa	488 MPa	55,0 %	0,095 – 0,102 mm	20,000 – 20,030 mm

Tabel 4.4 Data *Engineering Strain – Engineering Stress* SUS 304 *Thin Foil* 1,5 μm

Panjang (mm)	Gaya (N)	<i>Engineering Strain</i> (ϵ)	<i>Engineering Stress</i> (MPa)
25	162,5	1	406
26	195,2	1,04	488
27	203,3	1,08	508
28	226,3	1,12	565
29	228,7	1,16	571

Tabel 4.5 Data *Engineering Strain – Engineering Stress* SUS 304 *Thin Foil* 3 μm

Panjang (mm)	Gaya (N)	<i>Engineering Strain</i> (ϵ)	<i>Engineering Stress</i> (MPa)
25	152	1	380
26	165,9	1,04	414
27	185,4	1,08	462
28	195,5	1,12	487
29	196,1	1,16	490

Tabel 4.6 Data *True Strain – True Stress* SUS 304 *Thin Foil* 1,5 μm

Panjang (mm)	Gaya (N)	<i>True Strain</i> (mm)	<i>True Stress</i> (MPa)
25	152	0	406,25
26	165,9	3,25	488
27	185,4	5,86	508,25

28	195,5	8,09	565,75
29	196,1	10,07	571,75

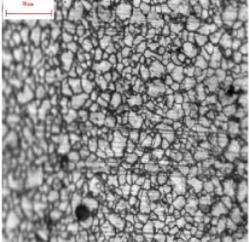
Tabel 4.7 Data *True Strain – True Stress* SUS 304 Thin Foil 3 μm

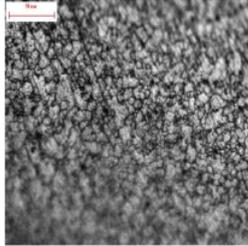
Panjang (mm)	Gaya (N)	<i>True Strain</i> (mm)	<i>True Stress</i> (MPa)
25	152	0	380
26	165,9	3,25	414,75
27	185,4	5,86	463,5
28	195,5	8,09	488,75
29	196,1	10,07	490,25

4.2 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

Setelah melakukan pengujian metalografi, maka data yang didapat dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Metalografi

Struktur Mikro	Keterangan
	<p>Setelah <i>Heat Treatment</i> Bahan: SUS 304 Thin Foil (1,5 μm) Perbesaran: 50x Perlakuan: <i>Quenching</i> (air es)</p>

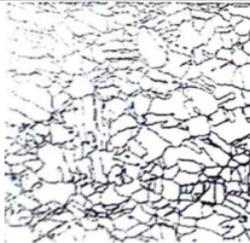


Setelah *Heat Treatment*

Bahan: SUS 304 *Thin Foil* (3 μm)

Perbesaran: 50x

Perlakuan: *Quenching* (air)



Sebelum *Heat Treatment*

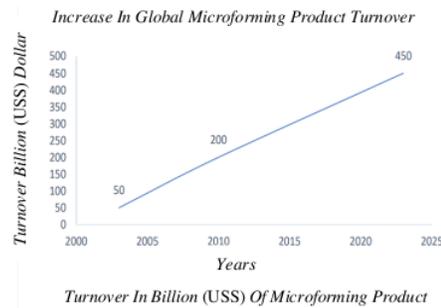
Bahan: SUS 304 *Thin Foil* (1,5 μm)



Sebelum *Heat Treatment*

Bahan: SUS 304 *Thin Foil* (3 μm)

Pada bidang industri semakin tertarik pada *microforming*, teknologi masa depan utama akibat dari tren yang sedang berlangsung menuju produk yang lebih kecil terutama di produksi elektronik tetapi juga di bidang teknologi sistem mikro dan kedokteran. Analisis pasar baru-baru ini tentang transaksi sistem mikro global menunjukkan tren ini meningkat dari US\$ 50 miliar pada tahun 2003 menjadi lebih dari US\$ 200 miliar pada tahun 2010 dan dapat mencapai lebih dari US\$ 450 miliar pada tahun 2023 [14]. Dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini:



Gambar 4.1 Omset Tahunan Produk *Microforming* [21].

Berdasarkan *Yole Development* (Villeurbanne, Prancis) memperkirakan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan/*compound annual growth rates* (CAGR) pasar sistem elektro mekanis/*microelectromechanical systems* (MEMS) di bidang manufaktur mikro dari tahun 2018 hingga tahun 2024 sebesar 7,5%, 43,6%, dan 11,0% untuk aplikasi medis, telekomunikasi, dan aplikasi industri masing-masing. Sementara itu, CAGR untuk pangsa pasar komponen mikro logam dengan karakteristik yang sangat baik seperti kekuatan, kemampuan kerja, kemampuan bentuk, dan juga keuletan akan sebanding dengan CAGR untuk pangsa pasar semikonduktor. Dengan demikian CAGR sebesar 7,4%, pendapatan global MEMS akan meningkat dari US \$ 11,5 miliar menjadi US \$ 17,7 miliar antara tahun 2019 sampai tahun 2025 [21].

Pembentukan mikro adalah metode penting dalam pembuatan komponen mikro untuk digunakan dalam sistem mikro elektromekanis (MEMS) karena karakteristiknya yang mendekati bentuk bersih, produktivitas yang tinggi, dan dua sifat mekanik yang sangat baik dari komponen yang cacat. Ketika ukuran fitur dari

dimensi spesimen diperkecil menjadi kurang dari 1 mm, ukuran butir (Dg) dapat menyebabkan beberapa perbedaan dalam karakteristik manufaktur dasar. komponen mikro yang digunakan dalam industri otomotif dan produksi, serta komponennya dengan fitur mikro yang digunakan dalam aplikasi elektronik, masing-masing menunjukkan bahwa teknologi pembentukan mikro memiliki banyak aplikasi di berbagai industri. Saat ini, permintaan untuk microforming meningkat di industri seperti produk elektronik, MEMS, peralatan medis, aplikasi luar angkasa, dan teknologi sensor [21].

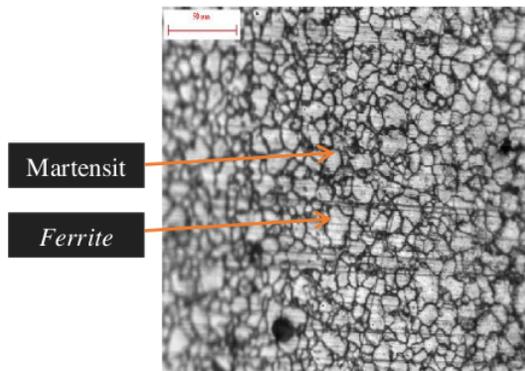
Baja tahan karat 304 *thin foil* umumnya digunakan dalam industri seperti elektrokimia, laser, biomedis, dan sensor. Baja tahan karat banyak digunakan karena mempunyai masa pakai yang lama dan ketahanan terhadap korosi yang baik. Pembentukan struktur mikro yaitu proses yang menghasilkan dimensi komponen dalam mikrometer. Di antara semua proses pembentukan struktur mikro, pembentukan ini menghasilkan skala mikro pada lembaran logam tipis (*thin metal foil*). Kemudian perilaku material pada skala mikro membuat proses ini menjadi sulit. Salah satu tantangan terbesarnya yaitu perilaku deformasi material yang bergantung pada ukuran [22].

Selanjutnya pada sifat mekanik suatu bahan sangat dipengaruhi oleh ukurannya, hal ini membatasi penerapan langsung parameter proses pembentukan logam pada proses pembentukan struktur mikro. Dalam hal ini memerlukan pengembangan teknik dan alat baru yang harus dikembangkan untuk menghasilkan struktur mikro yang diinginkan. Sehingga kondisi kontak gesekan dalam komponen kecil merupakan tantangan lain dalam pembentukan struktur mikro dan perlu

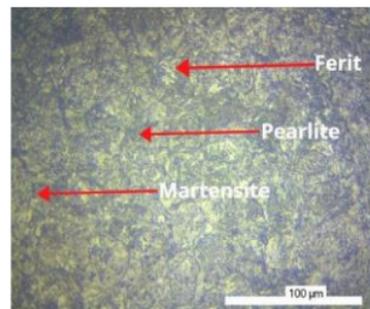
ditangani dengan lebih ketat. Sedangkan pada skala mikro, bidang kontak antara gesekan dan benda kerja sangat kecil, tetapi gesekan ini dapat menjadi faktor dominan dalam proses deformasi [22].

Berdasarkan hal tersebut untuk meningkatkan kekasaran pada permukaan dan dapat mempengaruhi keakuratan struktur mikro yang dihasilkan. Selanjutnya, untuk lembaran logam tipis, partikel yang lebih kecil pada arah ketebalan dapat mempengaruhi perilaku material dan proses deformasi. Oleh karena itu, sangat penting untuk merumuskan pendekatan baru untuk mengontrol struktur butir dan perilaku deformasi material selama pembentukan mikro. Sehingga untuk mengatasi tantangan tersebut, berbagai teknik seperti *micro stamping*, *micro extrusion*, dan *micro drawing* telah dikembangkan [22].

Sementara itu teknik-teknik ini memerlukan alat dan perlengkapan khusus yang dirancang untuk beroperasi pada skala mikro dan menghasilkan mikro yang presisi. Para peneliti menyelidiki pengaruh ukuran lembaran terhadap perilaku deformasi selama pemrosesan. Dimana pengaruh ukuran pada pembuatan komponen logam menemukan bahwa pengurangan ukuran komponen logam mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap tegangan luluh. Selain itu juga, sifat mampu bentuknya berkurang, sehingga sulit untuk mengontrol proses pembentukan struktur mikro [22]. Berikut ini hasil penelitian pengujian metalografi:



Gambar 4.2 Struktur Mikro SUS 304 1,5 μm Thin Foil (*Quenching*, perbesaran 50x)

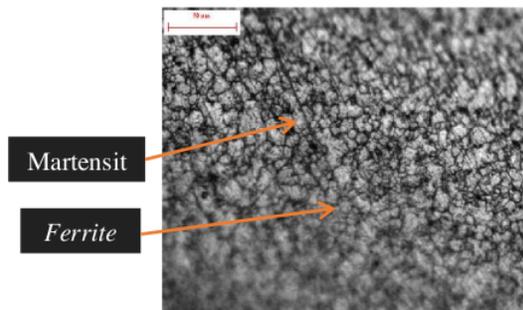


Gambar 4.3 Struktur Mikro perbesaran 200x [8].

Pada Gambar 4.2 merupakan sampel uji yang telah di *heat treatment* menggunakan proses pendinginan cepat (*quenching*) dengan perbesaran 50x. Lalu pada gambar ini terlihat seperti jarum atau bilah dan memiliki warna hitam yang sangat pekat dan juga memiliki sifat mekanik yang sangat keras. Kemudian struktur mikro yang didapatkan dari pengujian ini yaitu fasa martensit Dimana fasa ini terbentuk dengan memanaskan sampel hingga temperatur austenit setelah itu didinginkan cepat (*quenching*) dengan menggunakan air es. Selanjutnya pada proses pendinginan cepat ini tidak ada waktu bagi karbon untuk berdifusi keluar,

sehingga transformasi terjadi ketika pergeseran atom atom dari kisi *face centered cubic* menjadi *body centered tetragonal*. Untuk itu transformasi geser pada atom bisa menyebabkan kisi kisi pada kristal mengalami distorsi.

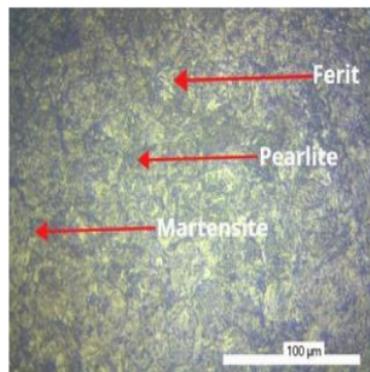
Selanjutnya untuk perbandingan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan literatur yang menjelaskan bahwa pada Gambar 4.3 Struktur mikro pada baja tahan karat didominasi oleh struktur martensit dan ferrit. Hal ini dikarenakan baja tahan karat merupakan baja tahan karat dengan komposisi karbon sebesar 0,042%. Pada proses austenisasi mengubah struktur pada baja tahan karat menjadi perlit dan martensit. Kemudian struktur martensitnya berbentuk bilah, kecil, dan padat. Lalu masuk pada proses *tempering*, dimana proses ini mengubah struktur martensit yang sebelumnya dominan menjadi struktur martensit tereduksi sebesar 30% sehingga mengakibatkan penurunan nilai kekerasan yang kurang signifikan [23].



Gambar 4.4 Struktur Mikro *Stainless Steel 304 3 μm Thin Foil (Quenching, perbesaran 50x)*

Pada Gambar 4.4 merupakan sampel uji yang telah di *heat treatment* menggunakan proses pendinginan cepat (*quenching*) dengan perbesaran 50x. Lalu

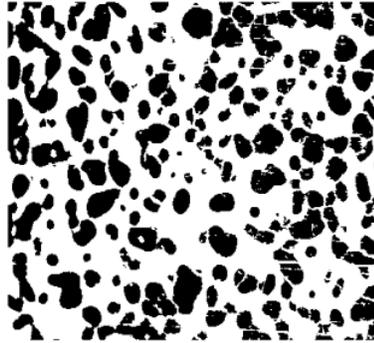
pada gambar ini terlihat seperti jarum atau bilah dan memiliki warna hitam yang sangat pekat dan juga memiliki sifat mekanik yang sangat keras. Kemudian struktur mikro yang didapatkan dari pengujian ini yaitu fasa martensit dimana fasa ini terbentuk dengan memanaskan sampel hingga temperatur austenit setelah itu didinginkan cepat (*quenching*) dengan menggunakan air es. Selanjutnya pada proses pendinginan cepat ini tidak ada waktu ¹¹ bagi karbon untuk berdifusi keluar, sehingga transformasi terjadi ketika pergeseran atom atom dari kisi *face centered cubic* menjadi *body centered tetragonal*. Untuk itu transformasi geser pada atom bisa menyebabkan kisi kisi pada kristal mengalami distorsi



Gambar 4.5 Struktur Mikro Perbesaran 200x [23].

Selanjutnya untuk perbandingan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan literatur yang menjelaskan bahwa pada Gambar 4.5 Struktur mikro pada baja tahan karat didominasi oleh struktur martensit dan ferrit. Hal ini dikarenakan baja tahan karat merupakan baja tahan karat dengan komposisi karbon sebesar 0,042%. Pada proses austenisasi mengubah struktur pada baja tahan karat menjadi perlit dan martensit. Kemudian struktur martensitnya berbentuk bilah, kecil, dan

padat. Lalu masuk pada proses *tempering*, dimana proses ini mengubah struktur martensit yang sebelumnya dominan menjadi struktur martensit tereduksi sebesar 30% sehingga mengakibatkan penurunan nilai kekerasan yang kurang signifikan.



Gambar 4.6 Hasil *ImageJ* Struktur Mikro 1.5 μm



Gambar 4.7 Hasil *ImageJ* Struktur Mikro 3 μm

Pada hasil pengamatan struktur mikro pada proses pendinginan cepat (*quenching*) di air, terdapat austenit sisa yang ditunjukkan pada daerah yang berwarna terang. Kemudian Sebagian besar austenit akan berubah menjadi martensit pada saat didinginkan ke dalam media berupa air. Lalu pada bagian yang tidak bertransformasi menjadi martensit disebut austenit sisa. Dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menghasilkan persentase luas permukaan martensit

yang berbeda, lalu untuk mendapatkan nilai persentase luas permukaan martensit menggunakan *software* ImageJ untuk menghitung persentase luas permukaan martensit berdasarkan gelap dan terang dari hasil metalografi. Hal ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh waktu pemanasan dan temperatur terhadap persentase luas permukaan martensit.

Jenis martensit yang dihasilkan sebenarnya bergantung pada jumlah karbon dalam baja. Apabila kandungan karbonnya rendah maka jenis martensit yang terbentuk adalah martensit *lath*. Jika kandungan karbonnya sedang maka akan terbentuk campuran martensit dan jika kandungan karbon pada baja itu tinggi maka akan terbentuk pelat martensit. Sehingga tidak ada proses difusi atau penambahan komposisi kimia pada transformasi martensit, faktor yang mempengaruhinya yaitu kandungan karbon, kecepatan pendinginan, dan komposisi. Ketika suhu logam yang dapat mengalami reaksi martensit menurun, akhirnya mencapai suhu kesetimbangan yang mana memisahkan antara daerah stabilitas dari dua fase berbeda yaitu di bawah suhu, energi bebas logam berkurang karena logam mengalami perubahan fasa dari keadaan stabil pada suhu tinggi ke keadaan stabil pada suhu rendah. Dimana perbedaan energi bebas ini merupakan kekuatan pendorong utama dari reaksi martensit. Maka perubahan fasa yang terjadi selama transformasi martensit disebabkan oleh pergerakan antarmuka yang memisahkan fasa induk dari produk. Sehingga saat antarmuka bergerak, atom-atom dalam struktur kisi fase induk tersusun ulang dalam kisi fase martensit.

Permukaan biasa, atau permukaan tempat terbentuknya lempeng martensit, biasanya juga diasumsikan sebagai permukaan yang tidak terdistorsi. Dimana

deformasi bentuk makroskopis dalam pembentukan pelat martensit dianggap sebagai gaya geser yang sejajar dengan bidang kebiasaan dan tegangan tarik atau tekan sederhana (*uniaksial*) yang tegak lurus terhadap bidang kebiasaan. Jenis pembebanan ini yang dikenal sebagai distorsi invarian tingkat, dimana bentuk paling umum yang dapat terjadi ketika invarian tingkat dipertahankan normal. Baik geser yang sejajar dengan permukaan maupun pemuaiian atau kontraksi yang tegak lurus terhadap permukaan tidak mengubah posisi atau ukuran vektor pada permukaan. [17]. Berikut pada Tabel 4.9 merupakan data hasil persentase luas permukaan martensit:

Tabel 4.9 Data Hasil Fraksi Luas Permukaan Martensit

Temperatur (°C)	<i> Holding Time</i>	<i> Grain Size</i> (μm)	% Luas Permukaan Martensit
400 & 900	60 Menit	1,5	87,17
400 & 900	60 Menit	3	24,30

Berdasarkan hal tersebut karena tingginya kandungan kromium sebagai penstabil ferit dan unsur karbon sebagai unsur martensit. Maka *martensitic phase transformation* (MPT) hanya terdapat pada foil logam tipis SUS 304 yang mengandung partikel halus dan kasar. Kromium merupakan senyawa karbida yang meningkatkan kekuatan partikel untuk foil logam tipis SUS 304, kekasaran permukaan meningkat secara proporsional pada butiran kasar karena persimpangan pita selip yang lebih rendah. Hal ini menghasilkan MPT dan Mf partikel kasar yang lebih rendah dibandingkan dengan partikel halus, dimana perpotongan pita selip

lebih besar pada butiran halus dibandingkan butiran kasar. Akibatnya, peningkatan MPT lebih besar pada butiran halus dibandingkan butiran kasar [17].

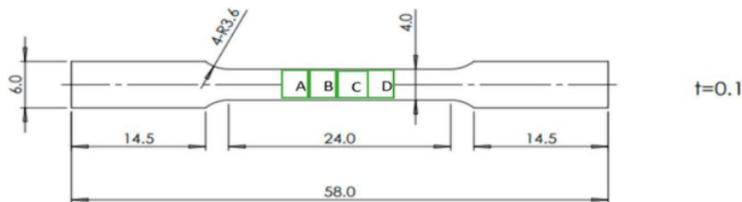
Ukuran butir (*grain size*) yang berbeda digunakan untuk menyelidiki perilaku kekasaran permukaan pada ukuran butir yang berbeda. Diketahui bahwa kekasaran permukaan partikel yang lebih besar akan meningkat secara proporsional ketika lembaran logam tipis mengalami deformasi plastis. Sehingga pada SUS 304 memiliki struktur kristal BCC dan FCC. Hal ini sangat penting untuk menjelaskan perilaku permukaan dan mekanisme kekasaran pada foil logam tipis SUS 304 dengan ukuran butir yang berbeda [15].

Adapun faktor yang mempengaruhi pada pengujian metalografi ini yaitu pada proses grinding atau pengampelasan sampel yang baik untuk menghasilkan struktur mikro yang bagus dan sesuai yang diinginkan. Kemudian faktor berikutnya yaitu polishing dimana polishing ini berperan sangat penting karena pada proses polishing permukaan sampel harus mengkilap dan tidak terdapat goresan, hal ini supaya memudahkan pada saat proses metalografi. Selanjutnya faktor lain yang mempengaruhi yaitu pada proses etching dimana pada proses ini dilakukan selama 1 menit supaya mendapatkan hasil struktur mikro yang baik, jelas dan juga tidak terjadi *over etching* yang dapat merusak struktur mikro pada sampel uji tersebut.

4.3 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan Tarik pada suatu logam. Pengujian tarik biasanya dilakukan terhadap sampel dengan memberikan beban tarik pada sampel secara perlahan lahan. Apabila sampel ditarik dengan

beban maka akan terjadi deformasi yang berupa pengecilan pada penampang atau pertambahan panjang. Dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampel uji tarik.

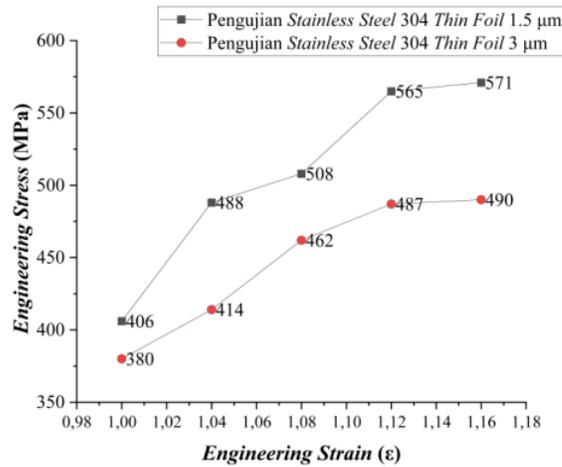


Gambar 4.8 Sampel Uji Tarik

Uji tarik yaitu suatu pengujian di mana gaya tarik atau tegangan diterapkan pada suatu bahan dengan tujuan untuk mengukur atau menentukan kekuatan bahan tersebut. Tegangan tarik yang digunakan merupakan tegangan luar aktual atau perpanjangan aksial benda uji. Pengujian tarik dilakukan dengan cara menarik suatu benda uji dengan gaya tarik terus menerus yang meningkat secara terus menerus dan teratur sampai bahan (perpanjangan) putus, dengan tujuan untuk mengetahui nilai tariknya. Untuk mengukur kuat tarik suatu material yang menerima beban tarik, garis-garis gaya harus berimpit dengan sumbu material agar beban terjadi pada beban tarik lurus [19].

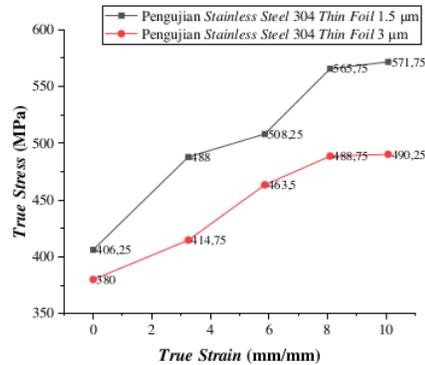
Pengujian kekuatan tarik melibatkan pembebanan material dengan menerapkan gaya reaksi pada material dengan arah menjauhi pusat. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik material. Pengujian ini merupakan dasar dari pengujian dan kekuatan material dan oleh karena itu merupakan pengujian yang paling umum dilakukan. Lalu gaya tarik pada suatu bahan mengakibatkan perubahan bentuk bahan (deformasi), yaitu perpindahan butiran kristal bahan

hingga gaya maksimum memutuskan ikatan kristal. Proses deformasi material yang menyebabkan kegagalan dapat ditentukan dengan uji Tarik [19].



Gambar 4.9 Grafik Tegangan – Regangan Teknik *Stainless Steel 304 Thin Foil*

Pada Gambar 4.9 yaitu grafik tegangan-regangan sampel *Stainless Steel 304 Thin Foil*, dimana menggunakan perbedaan variasi ukuran butir (*grain size*) yang digunakan dalam penelitian ini. Pada sampel *Stainless Steel 304 thin foil* dengan *grain size* 1,5 memiliki nilai *engineering stress* terkecil yaitu 406 MPa, lalu pada nilai *engineering strain* nya memiliki nilai sebesar 1. Kemudian memiliki nilai tertinggi yaitu 571 MPa, lalu pada nilai *engineering strain* nya memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 1,16. Sedangkan pada sampel dengan ukuran butir 3 memiliki nilai *engineering stress* terkecil sebesar 380 MPa, kemudian pada nilai *engineering strain* memiliki nilai sebesar 1, sedangkan nilai tertinggi yaitu 490 MPa, lalu pada nilai *engineering strain* memiliki nilai tertinggi sebesar 1,16.

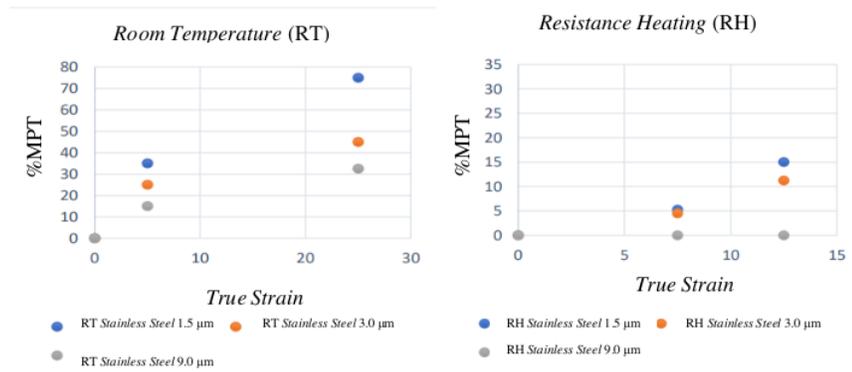


Gambar 4.10 Grafik *True Stress - True Strain* *Stainless Steel 304 Thin Foil*

Pada Gambar 4.10 yaitu grafik tegangan - regangan sesungguhnya pada sampel *Stainless Steel 304 Thin Foil*, dimana menggunakan perbedaan variasi ukuran butir (*grain size*) yang digunakan dalam penelitian ini. Pada sampel *Stainless Steel 304 thin foil* dengan *grain size* 1,5 memiliki nilai *true stress* terkecil yaitu 406 MPa, lalu pada nilai *true strain* nya memiliki nilai sebesar 1,0. Kemudian memiliki nilai tertinggi yaitu 571 MPa, lalu pada *nilai true strain* nya memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 10,07. Sedangkan pada sampel dengan ukuran butir 3 memiliki nilai *true stress* terkecil sebesar 380 MPa, kemudian pada nilai *true strain* memiliki nilai sebesar 1,0 sedangkan nilai tertinggi yaitu 490,25 MPa, lalu pada nilai *true strain* memiliki nilai tertinggi sebesar 10,07.

Pada variasi ukuran butir yang digunakan dalam penelitian kali ini yaitu SUS 304 thin foil terdapat dua jenis variasi yakni 1.5 μm dan 3 μm. Kemudian pada martensit dengan ukuran butir 1.5 μm memiliki distribusi yang seragam dan juga

memiliki kekuatan tarik yang tinggi. Sedangkan pada ukuran butir 3 μm distribusinya tidak merata sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah.



a. MPT Pada Temperatur kamar

b. MPT Pada Temperatur Tinggi

Gambar 4.11 Fraksi volume MPT dengan regangan sebenarnya

Selanjutnya untuk perbandingan hasil pengujian yang telah dilakukan dengan literatur yang menjelaskan bahwa pada Gambar 4.11 Karakteristik kekasaran permukaan pada suhu tinggi dibandingkan pada suhu kamar. Dimana MPT tidak terdapat pada butiran kasar *stainless steel 304 thin foil*, namun terjadi pada butiran halus *stainless steel 304 thin foil*. Namun, fraksi volumenya jauh lebih kecil dibandingkan pada suhu kamar. Maka kekuatan partikel seragam mikropartikel setelah pemanasan lebih rendah dibandingkan pada suhu kamar dan kekasaran permukaan akan meningkat dibandingkan pada suhu kamar. Sehingga pada suhu kamar kekuatan butir dari *stainless steel 304 thin foil* ini tidak seragam, namun jika dibandingkan pada suhu tinggi, kekuatan butir akan seragam” [21].

Distribusi suhu yang tidak merata, yang dapat menyebabkan oksidasi permukaan, dan adhesi pada foil tipis masalah lain yang muncul pada suhu tinggi.

Dimana arus listrik dapat mempercepat pembentukan tahap awal endapan dari keadaan lewat jenuh. Lalu terdapat rongga rongga kecil yang terdapat pada foil tipis (*microvoids*) di sekitar endapan pada batas butir akan membuat spesimen patah. Sehingga untuk menghindari pembentukan pori-pori mikro di tepi foil tipis, dilakukan pemanasan homogen karena perlakuan panas (HT) pada foil tipis mengalami pemanasan lokal. Saat ini, proses skala mikro ini tidak begitu akurat dan presisi di industri, jadi mengurangi dampak ukuran sangat penting. Maka perlakuan panas (HT) menunjukkan hasil yang baik untuk mengurangi dampak efek ukuran [19].

Sementara itu, plastisitas logam dapat ditingkatkan secara signifikan dengan pengerjaan panas. Dengan meningkatnya suhu, mobilitas dislokasi akan meningkat, sehingga akan terjadinya deformasi plastis pada paduan yang sulit diubah bentuknya pada suhu kamar. Ketika *austenitic stainless steel* (ASS) mengalami deformasi plastis, transformasi martensit terjadi di dalam ASS. Fraksi volume fasa martensit (Mf) meningkat sebanding dengan peningkatan deformasi plastis [18].

Sementara itu MPT dapat mengurangi ketangguhan tetapi meningkatkan kekuatan pada ASS. Sehingga *austenitic stainless steel* (ASS) memiliki fase austenitik kubik berpusat muka/*face centered cubic* (FCC) pada suhu kamar dan struktur kristal BCT setelah deformasi plastis. Dimana potensi terjadinya ketidakstabilan plastik pada TMF dapat tertunda seiring bertambahnya MPT di ASS. Oleh karena itu, MPT meningkatkan kekuatan dan keuletan ASS, maka terjadinya MPT dipengaruhi oleh komposisi kimia, perpanjangan, dan Dg film tipis ASS. supaya Mf dapat dikontrol dengan deformasi karena deformasi strip baja tahan

karat mempengaruhi M_f . Setelah deformasi plastis, MPT permukaan meningkat dibandingkan dengan MPT internal strip baja tahan karat [24].

Surface roughening yaitu proses pembentukan pada kekasaran permukaan sampel, dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya temperatur, komposisi kimia, dan juga kondisi lingkungan. Kemudian perbandingan *surface roughening* (Ra) rata rata pada penelitian ini antara suhu tinggi dan suhu ruang menunjukkan bahwa pada *surface roughening* akan meningkat signifikan pada suhu tinggi karena kekuatan butir menjadi homogen setelah mengalami proses perlakuan panas (HT) dibandingkan dengan suhu ruang. Peran suhu sangatlah penting terhadap *surface roughening*. Karena pada suhu ruang proses *surface roughening* relative lambat, sedangkan pada suhu tinggi mempercepat proses yang dapat mempengaruhi *surface roughening*.

Berdasarkan hal tersebut, dalam pembentukan mikro sifat mampu bentuk akan menurun dan pengasaran permukaan salah satu faktor yang paling berpengaruh pada hasil mampu bentuk. *Formability* merupakan parameter penting untuk berbagai aplikasi industri seperti, pembuatan pesawat terbang, pembuatan mobil dan juga pada aplikasi elektronik. Kemampuan suatu material untuk mengubah bentuknya tanpa retak atau robek. Pada penelitian kali ini menggunakan jenis logam SUS 304 *thin foil* yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena memiliki kekuatan, ketahanan korosi, dan kemampuan bentuk yang baik. Dengan demikian apabila nilai *surface roughening* (Ra) meningkat maka nilai *formability* tidak bagus, sedangkan apabila nilai *surface roughening* (Ra) menurun maka nilai *formability* bagus.

Berdasarkan hal tersebut karena tingginya kandungan kromium sebagai penstabil ferit dan unsur karbon sebagai unsur martensit. Maka *martensitic phase transformation* (MPT) hanya terdapat pada foil logam tipis SUS 304 yang mengandung partikel halus dan kasar. Kromium merupakan senyawa karbida yang meningkatkan kekuatan partikel untuk foil logam tipis SUS 304, kekasaran permukaan meningkat secara proporsional pada butiran kasar karena persimpangan pita selip yang lebih rendah. Hal ini menghasilkan MPT dan Mf partikel kasar yang lebih rendah dibandingkan dengan partikel halus, dimana perpotongan pita selip lebih besar pada butiran halus dibandingkan butiran kasar. Akibatnya, peningkatan MPT lebih besar pada butiran halus dibandingkan butiran kasar [15].

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pemanasan material hingga temperatur diatas daerah kritis yakni pada temperatur 900°C akan membentuk struktur austenite yang merupakan larutan solid di dalam baja. Kemudian struktur austenite ini akan berubah menjadi struktur martensite pada saat didinginkan atau dicelupkan ke media pendingin. Struktur martensit ini akan terbentuk secara sempurna tergantung dari laju pendinginannya, kemudian laju pendinginan tersebut bergantung pada media quenching yang digunakan, hal ini disebabkan setiap media pendingin mempunyai sifat dan karakteristik yang berbeda beda
2. Sampel uji yang telah di perlakuan panas (HT) menggunakan proses pendinginan cepat (*quenching*). Lalu pada hasil terlihat seperti jarum atau bilah dan memiliki warna hitam dan juga memiliki sifat mekanik yang sangat keras. Kemudian struktur mikro yang didapatkan dari pengujian ini yaitu fasa martensit dimana fasa ini terbentuk dengan memanaskan sampel hingga temperatur austenit setelah itu didinginkan cepat (*quenching*) dengan menggunakan air es dan air biasa. Selanjutnya pada proses pendinginan cepat ini tidak ada waktu bagi karbon untuk berdifusi

keluar, sehingga transformasi terjadi ketika pergeseran atom atom dari kisi *face centered cubic* (FCC) menjadi *body centered tetragonal* (BCT).

3. *Surface roughening* yaitu kekasaran permukaan sampel, dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya temperatur, komposisi kimia, dan juga kondisi lingkungan. Kemudian perbandingan *surface roughening* (Ra) rata rata pada penelitian ini antara suhu tinggi dan suhu ruang menunjukkan bahwa pada *surface roughening* akan menurun pada suhu tinggi karena kekuatan butir menjadi homogen setelah mengalami proses perlakuan panas (HT) dibandingkan dengan suhu ruang. Peran suhu sangatlah penting terhadap *surface roughening*. Karena pada suhu ruang perpotongan slip band lebih banyak apabila dibandingkan dengan temperatur tinggi
4. Pada penelitian kali ini menggunakan jenis logam SUS 304 *thin foil* yang banyak digunakan dalam berbagai aplikasi karena memiliki kekuatan, ketahanan korosi, dan kemampuan bentuk yang baik. Dengan demikian apabila nilai *surface roughening* (Ra) meningkat maka nilai *formability* makin rendah, sedangkan apabila nilai *surface roughening* (Ra) menurun maka nilai *formability* makin tinggi.
5. Pada sampel SUS 304 *thin foil* hasil uji tarik dengan ukuran butir 1,5 μm memiliki nilai *true stress* terkecil yaitu 406 MPa, dan memiliki nilai *true strain* sebesar 1. Nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 571 MPa, nilai *true strain* yaitu 1,16. Sedangkan pada sampel dengan ukuran butir 3 μm memiliki nilai *true stress* sebesar 380 Mpa, kemudian pada nilai *true*

strain nya yaitu 1, sedangkan nilai kekuatan tarik tertinggi yaitu 490 MPa, dengan nilai *true strain* 1,16.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

1. Pada hasil struktur mikro untuk mendapatkan hasil yang lebih jelas dan maksimal penulis sarankan untuk melakukan uji struktur mikro menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dan *Electron Backscattered Diffraction* (EBSD).
2. Perlu adanya variasi dari media pendinginan cepat (*quenching*) yang digunakan dan belum pernah digunakan oleh peneliti lain. Hal ini supaya dapat membandingkan pengaruh media pendingin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kirono, S., Diniardi, E., & Prasetyo, I. (n.d.). *Perlakuan Panas (Heat Treatment)*.
- [2] Syuffi, R. F., & Arif Irfa', M. (2014). Pengaruh Variasi Temperatur Hardening Terhadap Kekerasan Baja S45C Dengan Media Pendingin Air (Vol. 03).
- [3] Smaga M, "Deformation – Induced Martensitic Transformation in Metastable," *Material Science and Engineering A*, vol. 394, pp. 483-484, 2008.
- [4] Hao Zhang, "The Effect of Electrically – Assisted Ultrasonic Nanocrystal Surface Modification on 3 D – Printed Ti-6Al 4V Alloy," *Additive Manufacturing* 22, pp. 60-68, 2018.
- [5] S. Mashalkar, "Ultra-thin Sheet Metal Micro-forming," *International Journal for Research in Engineering Application & Management (IJREAM) ISSN : 2454-9150*, no. AMET, 2018.
- [6] Moon-Jo Kim, "Electric Current Assisted Deformation Behavior of Al-Mg-Si Alloy Under Uniaxial Tension," *International Journal of Plasticity* 94, pp. 148-170, 2017.
- [7] D. Eddy and D. Sparks, "Application of MEMS technology in automotive sensors and actuators," *Proc*, vol. 86, p. 1747–1755, August 1998.
- [8] M. Barron and W. Powers, "The role of electronic controls for future automotive mechatronic systems," *Trans. Mechatronics*, vol. 1, pp. 80 - 88, 1996.
- [9] Saefuloh, I., Pramono, A., Jamaludin, W., Rosyadi, I., & Diterima, N. (2018). *Studi Karakterisasi Sifat Mekanik Dan struktur Mikro Material Piston Aluminium-Silikon Alloy INFORMASI ARTIKEL ABSTRAK: Vol. IV (Issue 2)*.
- [10] Adipura, A., & Nafi, M. (2022). Analisa Pengaruh Heat Treatment Tempering Dengan Variasi Waktu Tahan Dan Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik Baja Karbon Rendah. In *Prosiding Senakama (Vol. 1)*.
- [11] Adi Bowo, Y. (2012). Kajian Pengaruh Tempering Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Pengelasan Stainless Steel (Vol. 2, Issue 1).

- [12] Isworo, H., & Rahman, N. (2020). *Effect Of Variations In Heating Temperature And Cooling Media On The Hardness And Microstructure Of Steel ST 41 Hardening Method. Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 5(1), 37–50.
- [13] Setyowati, V. A., Wahyu, D. E., Widodo, R., & Surabaya, T. (n.d.). Analisis Kekuatan Tarik Dan Karakteristik XRD Pada Material Stainless Steel Dengan Kadar Karbon Yang Berbeda.
- [14] Aswan, D., Ritonga, A., Idris, M., Teknik, J., Sekolah, M., Teknik, T., & Medan, H. (n.d.). Karakteristik Bahan Steel 304 Terhadap Kekuatan Impak Benda Jatuh Bebas. 6(2), 2017.
- [15] Aziz, A., & Yang, M. (2020). Effect of Martensitic Transformation and Grain Size on the Surface Roughening Behavior in SUS 304 and SUS 316 Thin Metal Foils. *Eng*, 1(2), 167–182.
- [16] Luhur, D., Saputra, I., Teknologi, P., & Radioaktif -Batan, L. (n.d.). Prosiding Hasil Penelitian dan Kegiatan Tahun 2018 Analisis Struktur Mikro Logam Stainless Steel Tipe SS 304 Di Instalasi KHIPSB3.
- [17] Reza Abbaschian., *Physical Metallurgy Principles, Fourth Edition*. 2009. USA
- [18] J., Bhaskara Sardi, V., Jokosisworo, S., & Yudo, H. (2018). Jurnal Teknik Perkapalan Pengaruh Normalizing dengan Variasi Waktu Penahanan Panas (Holding Time) Baja ST 46 terhadap Uji Kekerasan, Uji Tarik, dan Uji Mikrografi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), 142.
- [19] Denti Salindeho, R., Soukota, J., Poeng, R., Teknik, J., Universitas, M., & Ratulangi, S. (n.d.). Pemodelan Pengujian Tarik Untuk Menganalisis Sifat Mekanik Material.
- [20] Rusjdi Andika Widya Pramono Wahyu Bawono Faathir Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Baja AISI, H.,
- [21] A. Aziz, "Effects of Martensitic Transformation on the Surface Roughening Behaviors of Austenitic Thin Metal Foils," *Department of Mechanical System Engineering*, 2022.
- [22] Mahajan, P., Patil, J., & Mishra, S. (2023). Micro incremental forming of thin SS304 foils and its microstructural study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1284(1), 012045.
- [23] Kholis, N., & Purwanto, H. (2022). Analisis Pengaruh Variasi Tempering Terhadap Kekerasan dan Metalografi pada Stainless Steel Sebagai Material Alat Kesehatan. *Prosiding Sains Nasional Dan Teknologi*, 12(1), 131.

- [24] M. B.Meng, "Size effect on deformation behavior and ductile fracture in microforming of pure copper sheets considering free surface roughening," *Materials & design* 83, pp. 400-412, 2015.
- [25] Smaga M, "Deformation – Induced Martensitic Transformation in Metastable," *Material Science and Engineering A*, vol. 394, pp. 483-484, 2008.
- [26] T. Maeda, "A proposal of developing of super micro-precision press-machine," *The Japan Society for Technology of Plasticity*, pp. 12 -13, 1990.
- [27] M. B. a. W. Powers, "The role of electronic controls for future automotive mechatronic system," *Trans Mechatronics*, vol. 1, pp. 80 - 88, 1996.

5
LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

LAMPIRAN A. Contoh Perhitungan

1. Perhitungan Besaran Kekasaran pada Temperatur Tinggi ΔRa

- Ukuran Butir 1,5 μm

$$\Delta Ra/t = F_{MPT} \cdot Dg$$

$$\Delta Ra/t = 0,87 \times 1,5$$

$$= 1,35 \mu\text{m}$$

- Ukuran Butir 3 μm

$$\Delta Ra/t = F_{MPT} \cdot Dg$$

$$\Delta Ra/t = 0,24 \times 3$$

$$= 0,72 \mu\text{m}$$

2. Perhitungan Besaran Kekasaran pada Temperatur Ruang ΔRa

- Ukuran Butir 1,5 μm

$$\Delta Ra = C \times Dg \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 1 \times 1,5 \times 1$$

$$= 1,5 \mu\text{m}$$

- Ukuran Butir 3 μm

$$\Delta Ra = C \times Dg \times \varepsilon$$

$$\Delta Ra = 1 \times 3 \times 1,16$$

$$= 3,48 \mu\text{m}$$

3. Mencari *Engineering Strain* (ε)

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

$$\varepsilon = \frac{25}{25} = 1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{26}{25} = 1,04 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{27}{25} = 1,08 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{28}{25} = 1,12 \text{ mm}$$

$$\varepsilon = \frac{29}{25} = 1,16 \text{ mm}$$

4. Mencari *Engineering Stress* (MPa)

- *Grain Size* 3 μm

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{152}{0,4} = 380 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{165,9}{0,4} = 414 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{185,4}{0,4} = 462 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{195,5}{0,4} = 487 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{196,1}{0,4} = 490 \text{ MPa}$$

- *Grain Size* 1,5 μm

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma = \frac{162,5}{0,4} = 406 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{195,2}{0,4} = 488 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{203,3}{0,4} = 508 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{226,3}{0,4} = 565 \text{ MPa}$$

$$\sigma = \frac{228,7}{0,4} = 571 \text{ MPa}$$

5. Mencari *True Strain*

$$\epsilon_t = \frac{\ln}{L/L_0}$$

$$\epsilon_t = \frac{\ln}{26/25} = 3,25$$

$$\epsilon_t = \frac{\ln}{27/25} = 5,86$$

$$\epsilon_t = \frac{\ln}{28/25} = 8,09$$

$$\epsilon_t = \frac{\ln}{29/25} = 10,07$$

6. Mencari True Stress (MPa)

$$\sigma_t = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_t = \frac{152}{0,4} = 380 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{165,9}{0,4} = 414,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{185,4}{0,4} = 463,5 \text{ MPa}$$

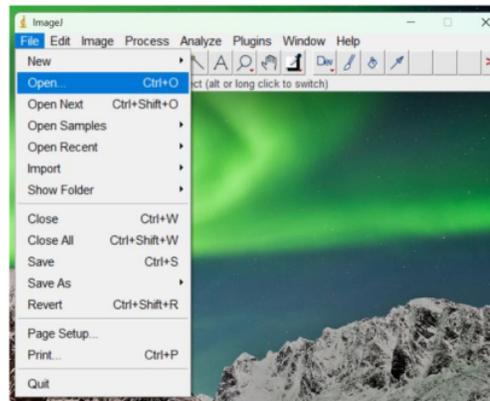
$$\sigma_t = \frac{195,5}{0,4} = 488,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_t = \frac{196,1}{0,4} = 490,25 \text{ MPa}$$

7. Perhitungan Fraksi Luas Permukaan

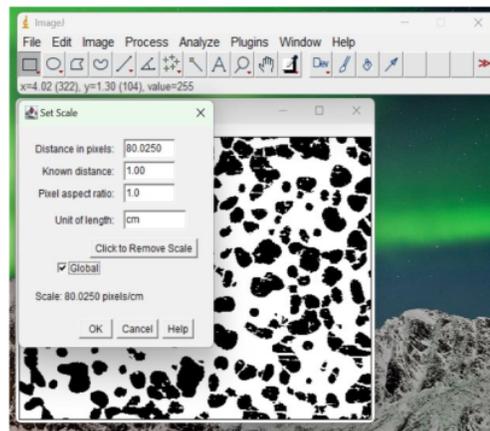
Analisis fraksi luas permukaan dilakukan menggunakan *software ImageJ* dengan memilih fitur *threshold*. Dimana pada fitur ini bisa membedakan daerah berwarna gelap dan daerah berwarah terang pada struktur mikro menjadi warna hitam dan putih (*dark*). Berikut ini contoh penentuan fraksi luas permukaan pada SUS 304 *Thin Foil*:

1. Pilih gambar struktur mikro yang akan dianalisis fraksinya dengan cara klik **File** kemudian **Open** atau bisa juga dengan **Ctrl + O**



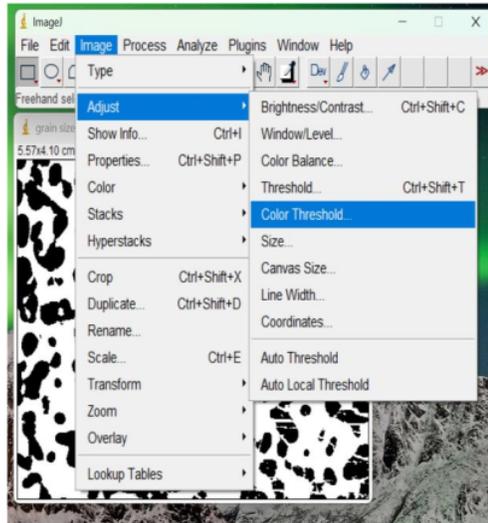
Gambar A.1 Memilih Objek Gambar

2. Kemudian kalibrasi gambar dengan cara membuat garis lurus pada skala atau bisa juga dengan klik *Analyze* lalu *Set Scale*



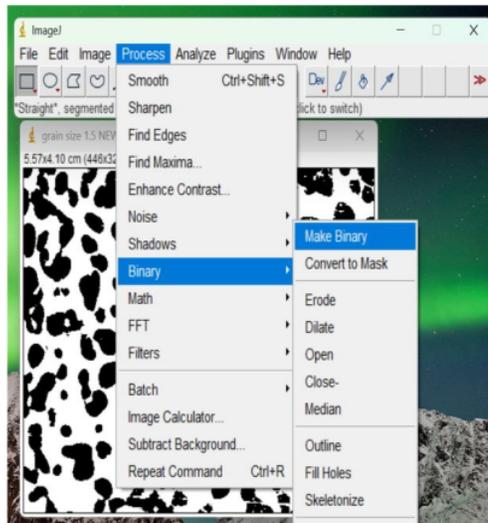
Gambar A.2 Kalibrasi Gambar

3. Selanjutnya masuk pada *Image* pilih menu *Adjust* dan pilih *Color Threshold*, lalu atur sesuaikan dengan kebutuhan masing masing



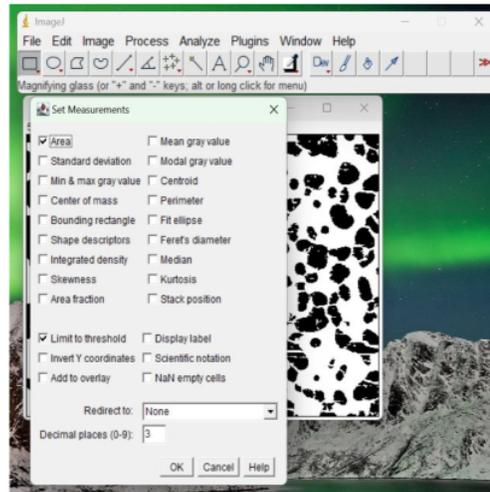
Gambar A.3 Menentukan Warna Ambang Batas

4. Setelah itu masuk pada *Process* pilih menu *Binary* dan pilih *Make Binary*, lalu atur parameter untuk mengukur luas daerah yang ditentukan sesuai kebutuhan



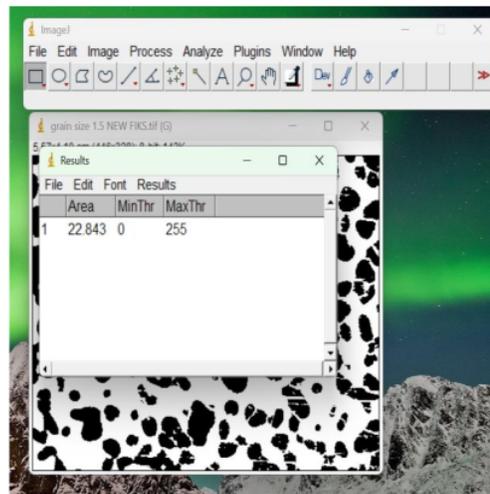
Gambar A.4 Menentukan Biner

5. Lalu Langkah selanjutnya masuk pada *Analyze* klik menu *Set Measurements*, kemudian ceklis bagian *Area* dan *Limit To Threshold* setelah selesai klik OK



Gambar A.5 Menentukan *Limit To Threshold*

6. Selanjutnya Langkah terakhir masuk pada *Analyze* klik menu *Measure* dan hasilnya akan muncul secara otomatis



Gambar A.6 Penentuan Fraksi Luas Area

LAMPIRAN B
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

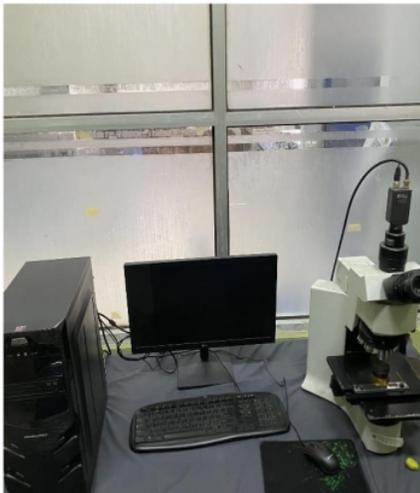
LAMPIRAN B. Gambar Alat



Gambar B.1 Mesin *Grinding* dan *Polishing*



Gambar B.2 Cawan



Gambar B.3 Mikroskop Optik



Gambar B.4 *Muffle Furnace*



Gambar B.5 Sarung Tangan



Gambar B.6 Tang Penjepit



Gambar B.7 Mesin Uji Tarik

LAMPIRAN B. Gambar Bahan



Gambar B.8 Pasta Alumina



Gambar B.9 Aquades



Gambar B.8 Air Es



Gambar B.9 Sampel Percobaan



Gambar B.10 Ampelas



Gambar B.11 Kain *Polishing*



Gambar B.12 Larutan Asam
Hidrofluorik



Gambar B.13 Larutan Asam Nitrat

LAMPIRAN C
DATA PENDUKUNG

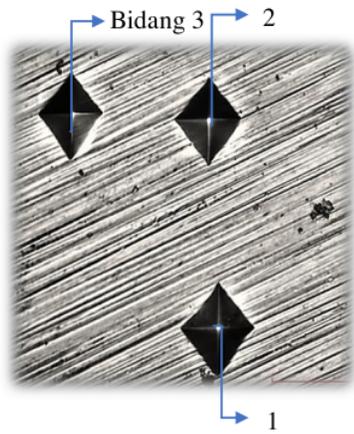
LAMPIRAN C. Data Pendukung

Tabel C.1 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers SUS 304 *Thin Foil* 1,5 μm

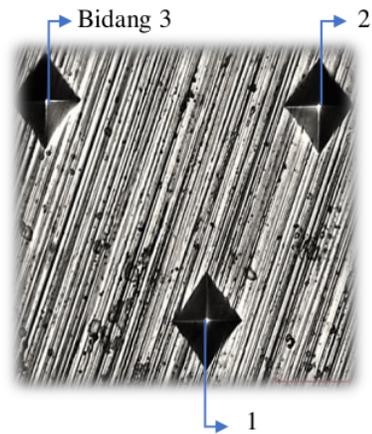
Bidang	Horizontal Diagonal (μm)	Vertical Diagonal (μm)	Hardness Vickerss (HV)
1	25,30	25,00	292,41
2	23,40	23,20	341,57
3	22,40	23,10	358,76

Tabel C.2 Hasil Pengujian Kekerasan Vickers SUS 304 *Thin Foil* 3 μm

Bidang	Horizontal Diagonal (μm)	Vertical Diagonal (μm)	Hardness Vickerss (HV)
1	24,10	25,70	299,08
2	24,10	25,30	303,65
3	23,90	25,40	304,81



Gambar C.1 Hasil Pengujian Kekerasan pada SUS 304 *Thin Foil* 1,5 μm (Perbesaran 50x)



Gambar C.2 Hasil Pengujian Kekerasan pada SUS 304 *Thin Foil* 3 μm (Perbesaran 50x)

Bob Regan_3334200083_Fulltext.pdf

ORIGINALITY REPORT

16%

SIMILARITY INDEX

15%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

9%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	lib.unnes.ac.id Internet Source	3%
2	kinematika.ulm.ac.id Internet Source	2%
3	www.researchgate.net Internet Source	2%
4	inis.iaea.org Internet Source	2%
5	eprints.untirta.ac.id Internet Source	2%
6	repository.its.ac.id Internet Source	1%
7	repository.um-surabaya.ac.id Internet Source	1%
8	pdfcoffee.com Internet Source	1%
9	penelitian.uisu.ac.id Internet Source	1%

10 Submitted to Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Student Paper 1 %

11 Submitted to Politeknik Negeri Bandung
Student Paper 1 %

12 Submitted to Universitas Andalas
Student Paper 1 %

13 www.coursehero.com
Internet Source 1 %

14 Submitted to Universitas Wahid Hasyim (Semarang)
Student Paper 1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On

Bob Regan_3334200083_Fulltext.pdf

PAGE 1

PAGE 2

PAGE 3

PAGE 4

PAGE 5

PAGE 6

PAGE 7

PAGE 8

PAGE 9

PAGE 10

PAGE 11

PAGE 12

PAGE 13

PAGE 14

PAGE 15

PAGE 16

PAGE 17

PAGE 18

PAGE 19

PAGE 20

PAGE 21

PAGE 22

PAGE 23

PAGE 24

PAGE 25

PAGE 26

PAGE 27

PAGE 28

PAGE 29

PAGE 30

PAGE 31

PAGE 32

PAGE 33

PAGE 34

PAGE 35

PAGE 36

PAGE 37

PAGE 38

PAGE 39

PAGE 40

PAGE 41

PAGE 42

PAGE 43

PAGE 44

PAGE 45

PAGE 46

PAGE 47

PAGE 48

PAGE 49

PAGE 50

PAGE 51

PAGE 52

PAGE 53

PAGE 54

PAGE 55

PAGE 56

PAGE 57

PAGE 58

PAGE 59

PAGE 60

PAGE 61

PAGE 62

PAGE 63

PAGE 64

PAGE 65

PAGE 66

PAGE 67

PAGE 68

PAGE 69

PAGE 70

PAGE 71

PAGE 72

PAGE 73

PAGE 74

PAGE 75

PAGE 76

PAGE 77

PAGE 78

PAGE 79

PAGE 80

PAGE 81

PAGE 82

PAGE 83

PAGE 84

PAGE 85

PAGE 86

PAGE 87

PAGE 88
