

**ANALISA PENGARUH *HEAT TREATMENT* TERHADAP
PERUBAHAN SIFAT MEKANIK DAN KINERJA
ELEKTRONIK *THIN FOIL* UNTUK
KOMPONEN ELEKTRONIK**

SKRIPSI

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



Oleh:

Auliya Kemuning Senja
3334200058

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA PENGARUH *HEAT TREATMENT* TERHADAP
PERUBAHAN SIFAT MEKANIK DAN KINERJA
ELEKTRONIK *THIN FOIL* UNTUK
KOMPONEN ELEKTRONIK**

SKRIPSI

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

Disetujui untuk Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



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

NIP. 198003072005011002

Pembimbing II



Muhammad Fitrullah, ST., MT.

NIP. 197804142006041002

LEMBAR PERSETUJUAN

ANALISA PENGARUH *HEAT TREATMENT* TERHADAP PERUBAHAN SIFAT MEKANIK DAN KINERJA ELEKTRONIK *THIN FOIL* UNTUK KOMPONEN ELEKTRONIK

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Auliya Kemuning Senja

3334200058

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 10 Januari 2025

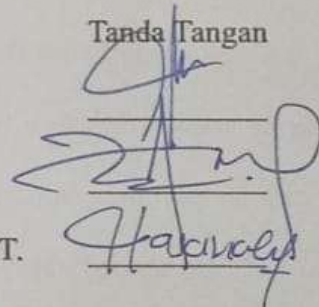
Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : Abdul Aziz, ST., MT., Ph.D.

Penguji II : Muhammad Fitrullah, ST., MT.

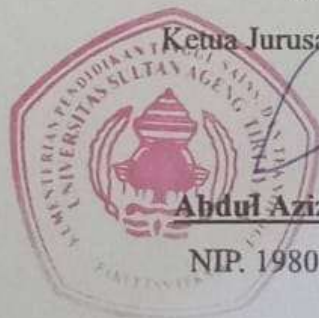
Penguji III : Dr. Indah Uswatun Hasanah, S.Si., M.T.



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

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



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

NIP. 198003072005011002

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut:

Judul : Analisa Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Perubahan
Sifat Mekanik dan Kinerja Elektronik *Thin Foil* untuk
Komponen Elektronik

Nama Mahasiswa : Auliya Kemuning Senja

NIM : 3334200058

Fakultas : Teknik

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut 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, 3 Januari 2025



Auliya Kemuning Senja
NIM.3334200058

ABSTRACT

The rapid development of the electronics industry can be seen from the increasing number of new portable devices with high technology. This creates a need for small-sized materials with good mechanical properties and electronic performance to improve efficiency during production. However, in thin materials deformation is prone to occur during the production process which can damage the mechanical properties of the material. To minimize the impact of deformation that occurs, heat treatment is performed. Heat treatment is carried out at temperatures of 400°C, 650°C, and 900°C and different cooling, namely furnace cooling, air cooling, and water cooling. Thin foil stainless steel 304 is used as a sample because it has good properties, but is prone to deformation and surface roughness. Observation to evaluate the effect of heat treatment, by heating at various temperatures and different cooling rates on the mechanical properties and electronic performance of 304 stainless steel thin foil. Tensile tests were conducted to determine changes in the mechanical properties of the sample, while for electronic performance to be observed is the conductivity carried out by the steady state method on two hot plates. The results show that the higher the temperature and the faster the cooling rate during heat treatment, the conductivity of the sample increases, the best conductivity is obtained from the water cooling sample heated at 900°C with a conductivity value of 20.38 W/mK with a time range of 515 seconds. Although the conductivity increases after heat treatment, the average value of mechanical properties decreases, from the tensile test conducted, the highest UTS of the sample is 847.75 MPa in the water cooling sample with 650 ° C heating.

Keywords: *Thin Foil Stainless Steel 304, Heat treatment, Plastic Deformation, Mechanical Properties, Thermal Conductivity*

ABSTRAK

Perkembangan industri elektronik berlangsung cepat yang dapat dilihat dari semakin banyaknya perangkat baru yang portabel dengan teknologi tinggi. Hal ini menciptakan kebutuhan akan material berukuran kecil dengan sifat mekanik dan kinerja elektronik yang baik untuk meningkatkan efisiensi selama produksi. Namun, pada jenis material tipis deformasi rentan terjadi selama proses produksi yang dapat merusak sifat mekanik material. Untuk meminimalisir dampak deformasi yang terjadi, *heat treatment* dilakukan. *Heat treatment* atau perlakuan panas dilakukan pada temperatur 400°C, 650°C, dan 900°C serta pendinginan berbeda yaitu *furnace cooling*, *air cooling*, dan *water cooling*. *Thin foil stainless steel 304* digunakan sebagai sampel karena memiliki sifat yang baik, tetapi mudah mengalami deformasi dan kekasaran permukaan. Observasi untuk mengevaluasi pengaruh *heat treatment*, dengan pemanasan pada berbagai temperatur dan laju pendinginan berbeda terhadap sifat mekanik dan kinerja elektronik *thin foil stainless steel 304*. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui perubahan sifat mekanik sampel, sedangkan untuk kinerja elektronik yang akan diamati adalah konduktivitasnya yang dilakukan dengan metode *steady state* pada dua pelat panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur dan cepat laju pendinginan selama *heat treatment* maka konduktivitas sampel semakin meningkat, konduktivitas paling baik diperoleh dari sampel *water cooling* yang dipanaskan pada 900°C dengan nilai konduktivitas 20,38 W/mK dengan kisaran waktu 515 detik. Meskipun konduktivitas meningkat setelah *heat treatment*, rata-rata nilai sifat mekanik mengalami penurunan, dari uji tarik yang dilakukan UTS tertinggi sampel 847,75 MPa pada sampel *air cooling* dengan pemanasan 650°C.

Kata Kunci: *Thin Foil Stainless Steel 304*, *Heat treatment*, Deformasi Plastis, Sifat Mekanik, Konduktivitas Termal

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Proposal Skripsi dengan judul “Analisa Pengaruh *Heat Treatment* Terhadap Perubahan Sifat Mekanik dan Kinerja Elektronik *Thin Foil* untuk Komponen Elektronik”.

Tidak lupa juga penulis sampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Abdul Aziz, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan dan dosen pembimbing 1 yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam penulisan proposal skripsi ini.
2. Ibu Andinnie Juniarsih, S.T., M.T., selaku Koordinator Skripsi di Jurusan Teknik Metalurgi FT UNTIRTA.
3. Ibu Tri Partuti, S.Si., M.Si., selaku Koordinator Seminar Proposal Jurusan Teknik Metalurgi FT UNTIRTA.
4. Bapak Muhammad Fitrullah, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan arahan serta bimbingan dalam penulisan proposal skripsi ini.
5. Bapak Rahman Faiz Suwandana, ST., M.Sc., dan Ibu Anistasi Milandia, S.T., M.T., selaku dosen wali yang telah memberikan bimbingan selama menjalani perkuliahan.
6. Kedua orang tua penulis, yaitu Bapak Arif dan Ibu Tati yang selalu menyertai penulis dengan doa dan dukungan tanpa henti.
7. Day6, Avis, Herlina, Fayel, dan BDZ yang menemani serta mendukung penulis dari awal perkuliahan hingga saat ini.
8. Teman-teman di jurusan Teknik Metalurgi angkatan 2020 dan semua pihak yang turut membantu yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Demikian ungkapan terima kasih penulis, semoga Proposal Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis khususnya dan bagi pembaca pada umumnya.

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	iv
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. <i>Thin Foil</i>	6
2.2. Kinerja Elektronik <i>Thin Foil</i>	7
2.3. Deformasi Plastis	9

2.4. <i>Heat Treatment</i>	12
2.4.1. <i>Furnace Cooling</i>	14
2.4.2. <i>Air Cooling</i>	15
2.4.3. <i>Water Cooling</i>	16
2.5. <i>Size Effect</i>	17
2.6. Sifat Mekanik	17

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian.....	21
3.2. Alat dan Bahan	22
3.2.1. Alat – Alat yang Digunakan	22
3.2.2. Bahan – Bahan yang Digunakan.....	22
3.3. Prosedur Percobaan.....	23
3.3.1. Preparasi Sampel	23
3.3.2. <i>Heat Treatment</i>	23
3.3.3. Uji Tarik.....	25
3.3.4. Konduktivitas Termal	26
3.3.5. Uji Metalografi	26

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Awal Sampel.....	28
4.2 Sifat Mekanik Sampel Uji Tarik Setelah <i>Heat Treatment</i>	30
4.3 Konduktivitas Sampel Setelah <i>Heat Treatment</i>	37

4.4 Analisa Struktur Mikro Setelah <i>Heat Treatment</i>	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48
LAMPIRAN A. CONTOH PERHITUNGAN	53
LAMPIRAN B. DATA PENELITIAN.....	62
LAMPIRAN C. DOKUMENTASI ALAT DAN BAHAN.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Komposisi Kimia <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	7
Tabel 2.2 Perbandingan Nilai Kinerja Material <i>Thin Foil</i>	8
Tabel 2.3 Sifat Mekanik <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	18
Tabel 4.1 Sifat Mekanik Sampel Uji Sebelum <i>Heat Treatment</i>	29
Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas Termal Sampel Uji Sebelum <i>Heat Treatment</i>	29
Tabel 4.3 Sifat Mekanik <i>Stainless Steel Thin Foil 304</i> setelah Pendinginan <i>Furnace Cooling</i> pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C	31
Tabel 4.4 Sifat Mekanik <i>Stainless Steel Thin Foil 304</i> setelah Pendinginan <i>Air</i> <i>Cooling</i> pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C	33
Tabel 4.5 Sifat Mekanik <i>Stainless Steel Thin Foil</i> Pendinginan <i>Furnace</i> <i>Cooling</i> pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C	34
Tabel 4.6 Nilai Konduktivitas Termal Sampel Uji Setelah <i>Heat Treatment</i>	38
Tabel B.1 Data Hasil Pengukuran Awal <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	63
Tabel B.2 Data Hasil Uji Tarik <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	63
Tabel B.3 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Furnace Cooling</i> pada Temperatur 900°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	64
Tabel B.4 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Furnace Cooling</i> pada Temperatur 650°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	65
Tabel B.5 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Furnace Cooling</i> pada Temperatur 400°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	65
Tabel B.6 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Furnace Cooling</i> pada Temperatur 400°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	66
Tabel B.7 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Air Cooling</i> pada Temperatur 900°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	66

Tabel B.8 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Air Cooling</i> pada Temperatur 900°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit.....	67
Tabel B.9 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Air Cooling</i> pada Temperatur 650°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	67
Tabel B.10 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Air Cooling</i> pada Temperatur 650°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	68
Tabel B.11 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Air Cooling</i> pada Temperatur 400°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit.....	68
Tabel B.12 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Water Cooling</i> pada Temperatur 900°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit.....	69
Tabel B. 13 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Water Cooling</i> pada Temperatur 650°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit.....	69
Tabel B 14 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Water Cooling</i> pada Temperatur 650°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	70
Tabel B.15 Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Water Cooling</i> pada Temperatur 400°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit.....	70
Tabel B.16 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen <i>Water Cooling</i> pada Temperatur 400°C dan <i>Holding Time</i> 60 menit	71
Tabel B.17 Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	71
Tabel B.18 Lanjutan Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	72
Tabel B.19 Hasil Metalografi Sampel <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	72
Tabel B.20 Lanjutan Hasil Metalografi Sampel <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	6
Gambar 2.2 a. Mekanisme Slip b. Mekanisme <i>Twinning</i>	10
Gambar 2.3 Diagram Transformasi Fasa <i>Stainless Steel 304</i>	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	21
Gambar 3.2 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji	23
Gambar 3.3 Diagram TTT untuk Menentukan Temperatur dan <i>Holding Time</i>	24
Gambar 3.4 Diagram CCT untuk Menentukan Metode Pendinginan yang akan Digunakan	25
Gambar 4.1 Kurva <i>Stress-Strain</i> Sampel Uji Tanpa <i>Heat Treatment</i>	28
Gambar 4.2 Kurva <i>Stress-Strain</i> Sampel dengan Pendinginan <i>Furnace</i> <i>Cooling</i> pada Temperatur 900°C, 650°C, dan 400°C	30
Gambar 4.3 Kurva <i>Stress-Strain</i> Sampel Hasil Pendinginan <i>Air Cooling</i> pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C	32
Gambar 4.4 Kurva <i>Stress-Strain</i> Sampel Hasil Pendinginan <i>Water Cooling</i> pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C	34
Gambar 4.5 Kurva <i>Stress-Strain</i> Sampel Setelah <i>Heat Treatment</i>	35
Gambar 4.6 Struktur Mikro Sampel <i>Furnace Cooling</i> Pada Temperatur Pemanasan 650°C	39
Gambar 4.7 Struktur Mikro Sampel <i>Furnace Cooling</i> Pada Temperatur Pemanasan 400°C	40
Gambar 4.8 Struktur Mikro Sampel <i>Air Cooling</i> Hasil Pemanasan 900°C	41
Gambar 4.9 Struktur Mikro Sampel <i>Air Cooling</i> Hasil Pemanasan 650°C	41
Gambar 4.10 Struktur Mikro Sampel <i>Air Cooling</i> Hasil Pemanasan 400°C	41

Gambar 4.11 Struktur Mikro Sampel <i>Water Cooling</i> Hasil Pemanasan 900°C....	42
Gambar 4.12 Struktur Mikro Sampel <i>Water Cooling</i> Hasil Pemanasan 650°C....	43
Gambar 4.13 Struktur Mikro Sampel <i>Water Cooling</i> Hasil Pemanasan 400°C....	43
Gambar 4.14 Perbandingan Ra dan Regangan pada Sampel Setelah <i>Heat Treatment</i>	44
Gambar C.1 Cetakan.....	75
Gambar C.2 <i>Furnace Nabertherm</i>	75
Gambar C.3 Gunting	75
Gambar C.4 Jangka Sorong.....	75
Gambar C.5 Krusibel	75
Gambar C.6 Mesin <i>Polishing</i> dan <i>Grinding</i>	75
Gambar C.7 Mesin Uji Tarik.....	75
Gambar C.8 Mikroskop Optik	75
Gambar C.9 Penggaris	76
Gambar C.10 Sarung Tangan	76
Gambar C.11 <i>Stopwatch</i>	76
Gambar C.12 Tang Penjepit	76
Gambar C.13 Wadah	76
Gambar C.14 Alat Uji Metode <i>Steady State</i> 2 Pelat Panas	76
Gambar C.15 Ampelas	77
Gambar C.16 <i>Aquades</i>	77
Gambar C.17 Kain Wool.....	77
Gambar C.18 Katalis Resin.....	77
Gambar C.19 Larutan Asam Nitrat	77
Gambar C.20 Resin	77

Gambar C.21 Pasta Alumina.....	77
Gambar C.22 <i>Thin Foil Stainless Steel 304</i>	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi terus mengalami peningkatan yang turut membawa kemajuan industri elektronik, terutama dalam bidang mikroelektronik dan telekomunikasi. Perangkat elektronik baru berteknologi tinggi dengan model yang portabel seperti ponsel pintar dengan model yang ramping semakin banyak dikembangkan, tidak seperti di masa lalu dimana semakin canggih teknologi maka perangkat elektronik akan memiliki ukuran yang semakin besar [1]. Pesatnya perkembangan yang ada membawa era baru dalam tren miniaturisasi perangkat dan kepadatan kemasan elektronik. Peningkatan miniaturisasi dengan tetap mempertahankan integrasi perangkat membutuhkan material tipis dan kinerja untuk komponen elektronik yang lebih baik, maka metode fabrikasi mikro dan nano menjadi solusi untuk miniaturisasi dengan penggunaan thin foil sebagai baku kapasitor, dioda, transistor ataupun komponen kecil lainnya. [2]

Material yang digunakan untuk bahan baku pembuatan komponen elektronik harus memenuhi syarat tertentu seperti sifat mekanik yang baik meliputi kekerasan, elastisitas serta ketahanan korosi dan kinerja elektronik seperti konduktivitas termal serta listrik juga baik [1]. *Stainless steel* 304 yang merupakan jenis baja austenitik tahan karat menjadi salah satu jenis yang banyak dikembangkan, baja tahan karat grade 304 memiliki kandungan unsur minimum 0,8% mangan, 8% nikel dan 18% kromium [3], dengan kekuatan tarik, kekerasan,

kekuatan, dan ketahanan korosi yang mumpuni ditambah dengan konduktivitas listrik dan termal yang baik serta mudah dibentuk menjadikan *thin foil stainless steel* 304 ini menjadi opsi utama yang digunakan. Namun keunggulan sifat-sifat yang dimiliki *stainless steel* 304 rentan mengalami perubahan akibat deformasi plastis selama proses manufaktur [4].

Dislokasi, perubahan batas butir, dan peningkatan kekasaran permukaan mempengaruhi *thin foil* karena hal ini berkaitan dengan *size effect*. Kekasaran permukaan disertai dislokasi yang terjadi akan merubah kekuatan dan kekerasan material serta mengganggu aliran elektron sehingga konduktivitas *thin foil* terganggu. Untuk memperbaikinya *heat treatment* dapat dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter seperti temperatur pemanasan, *holding time*, hingga laju pendinginan agar didapatkan sifat mekanik dan kinerja elektronik yang sesuai. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai parameter proses *heat treatment* yang digunakan dan pengaruhnya terhadap sifat mekanik serta kinerja elektronik *thin foil* dilakukan untuk mengoptimalkan sifat-sifat yang harus dimiliki *thin foil stainless steel* 304 untuk komponen elektronik.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka rumusan masalah penelitian ini dapat dituliskan sebagai berikut.

1. Faktor yang mempengaruhi sifat mekanik dan kinerja elektronik.
2. Bagaimana *heat treatment* mempengaruhi perubahan sifat mekanik seperti kekuatan, keuletan, dan ketangguhan serta perubahan kinerja elektronik seperti konduktivitas termal *thin foil stainless steel* 304.

3. Menganalisa hubungan *heat treatment* terhadap perubahan sifat mekanik seperti kekuatan, keuletan, dan ketangguhan *thin foil stainless steel 304* serta konduktivitas termalnya.

1.3. Tujuan Penelitian

Berikut beberapa tujuan dilakukannya penelitian ini.

1. Mengidentifikasi faktor apa saja yang bisa mempengaruhi perubahan sifat mekanik dan kinerja elektronik.
2. Mengidentifikasi dan menganalisa pengaruh *heat treatment* terhadap perubahan sifat mekanik seperti kekuatan, keuletan, dan ketangguhan *thin foil stainless steel 304* serta konduktivitas termal *thin foil stainless steel 304*.
3. Mengidentifikasi perubahan yang terjadi pada sifat mekanik seperti kekuatan, keuletan, dan ketangguhan dan kinerja elektronik berupa konduktivitas termal pada *thin foil stainless steel 304* setelah *heat treatment*.

1.4. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Sampel yang digunakan adalah *thin foil stainless steel 304*.
2. Dimensi sampel antara lain panjang keseluruhan 58mm, lebar 6mm, *gauge length* 24mm, dan ketebalan 0,1mm.
3. Proses *heat treatment* dilakukan pada temperatur 400°C, 650°C, dan 900°C, *holding time* 60 menit, serta laju pendinginan lambat (*furnace*

cooling) dengan meninggalkan sampel di dalam *furnace* sampai mencapai temperatur kamar, laju pendinginan normal (*air cooling*) di udara terbuka, dan laju pendinginan cepat (*water cooling*) dengan media air.

4. Uji tarik dilakukan hingga sampel mengalami patah dengan tujuan menciptakan deformasi dan mengukur perubahan sifat mekanik pada sampel setelah *heat treatment*.
5. Kinerja sampel untuk komponen elektronik yang akan diuji adalah kemampuan menghantarkan panas dengan metode *steady-state*.
6. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan metalografi menggunakan mikroskop optik, data yang diperoleh selanjutnya diolah menggunakan *software* ImageJ.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk sistematika penulisan laporan skripsi ini terdiri atas 5 bab ditambah daftar pustaka dan lampiran. Pada bagian awal terdiri atas judul, lembar pengesahan, lembar persetujuan, abstrak, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar, dan daftar tabel. Kemudian pada bab I merupakan pendahuluan yang meliputi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Pada bab II berisi tinjauan pustaka yang membahas spesifikasi hingga aplikasi dari pengembangan *thin foil*, *heat treatment* serta faktor-faktor yang mempengaruhi prosesnya, pengujian tarik dan analisa struktur mikro pada material. Bab III membahas metode percobaan, diagram alir percobaan serta alat dan bahan. Kemudian bab IV berisi hasil pengujian yang telah dilakukan dan

pembahasan dari analisa yang didapat setelah pengujian. Terakhir, bab V berisi kesimpulan dari pembahasan serta hasil analisa yang diperoleh selama pengujian dan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Thin Foil*

Thin foil merupakan lembaran logam tipis dengan ketebalan mulai dari 0,001 mm hingga 0,1 mm, jenis material ini banyak diaplikasikan dalam berbagai bidang [6]. *Thin foil* mulai dikembangkan pada abad ke-18 dengan emas sebagai jenis logam yang digunakan, pengerjaan dilakukan secara manual dengan metode *hammering*. Material logam yang telah dilebur dan dicetak menjadi lembaran-lembaran, kemudian dipertipis ketebalan dengan cara dipukul hingga didapat ketipisan yang diinginkan. Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, metode pembuatan *thin foil* tidak lagi dilakukan secara manual, selain itu permintaan akan *thin foil* semakin meningkatnya karena aplikasinya semakin banyak diterapkan terutama pada bidang industri elektronik [7].



Gambar 2.1 *Thin Foil Stainless Steel 304* [45]

Thin foil memiliki kinerja listrik yang baik sehingga cocok untuk digunakan dalam industri elektronik, kinerja yang dimaksud meliputi konduktivitas, resistivitas, hingga ketahanan korosi yang baik. Selain itu sifat mampu bentuknya

dan fleksibilitas yang mumpuni mengingat ukurannya yang tipis. Hasil akhir produknya juga memiliki sifat permukaan yang halus karena proses *polishing* yang dilakukan untuk menjaga permukaan material [8]. Aluminium, *stainless steel*, tembaga, dan emas menjadi beberapa jenis logam yang umum digunakan untuk membuat *thin foil*.

Jenis material dasar yang digunakan akan sangat mempengaruhi sifat mekaniknya, seperti aluminium yang kerap digunakan sebagai media pembungkus karena sifatnya yang tahan korosi dan mudah dibentuk [6]. Material lain yang banyak digunakan adalah *stainless steel*. Pemilihan jenis material ini tentunya karena keunggulan sifat-sifat mekanik yang dimiliki serta materialnya masih mudah didapatkan dengan harga yang lebih terjangkau jika dibandingkan dengan material yang memiliki sifat mekanik sejenis dengan harga yang lebih mahal. Komposisi kimia *thin foil stainless steel 304* dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia *Thin Foil Stainless Steel 304* [6]

	Cr	Ni	S	P	C	Si	Mn
Min	18,00	8,00	-	-	-	-	-
Max	20,00	10,50	0,030	0,045	0,08	1,00	2,00
-	18,01	8,03	0,004	0,030	0,05	0,39	1,10

2.2. Kinerja Elektronik *Thin Foil*

Perkembangan industri elektronik terutama dalam bidang mikroelektronik serta telekomunikasi terus mengalami peningkatan dan menjadikan *thin foil stainless steel 304* sebagai salah satu bahan baku untuk pembuatan piranti elektronik seperti kapasitor, transistor, dioda atau komponen kecil lainnya.

Pemilihan ini didasari pada tren miniaturisasi perangkat yang terus berkembang dan juga material tipis memiliki sifat listrik bahan yang seseuai [9]. Sifat listrik bahan yang harus dimiliki material tipis yang akan digunakan antara lain konduktivitas, resistivitas, permivitas, kuat dielektrik, serta ketahanan isolasi [10]. Melalui sifat-sifat itulah kinerja elektronik *thin foil stainless steel* 304 diukur untuk menilai performanya saat digunakan dalam perangkat elektronik nantinya.

Tabel 2.2 Perbandingan Nilai Kinerja Material *Thin Foil* [11]

Jenis Material	Konduktivitas	Konduktivitas	Resistivitas
	Termal (W/mK)	Listrik (S/m)	Listrik ($\mu\Omega\text{m}$)
<i>Stainless steel</i> 304	16,2	$1,44 \times 10^6$	694
Aluminium	237	$9,71 \times 10^7$	10,3
Tembaga	401	$6,34 \times 10^8$	1,57

Salah satu tantangan yang dihadapi dalam pengembangan *thin foil stainless steel* 304 untuk komponen elektronik adalah mudahnya deformasi plastis terjadi pada jenis material tipis. Selain itu miniaturisasi perangkat menghasilkan fluks panas yang lebih tinggi pada area kecil [11]. Sehingga dibutuhkan juga konduktivitas panas material yang baik untuk menjaga kualitas perangkat elektronik yang diproduksi. Selain deformasi plastis akibat proses manufaktur yang dilakukan, kinerja elektronik yang dimiliki *thin foil stainless steel* 304 juga dapat dipengaruhi faktor-faktor lain.

Faktor pertama yang dapat mempengaruhi kinerja elektronik suatu bahan adalah jenis material yang digunakan. Kemampuan hantar suatu bahan akan

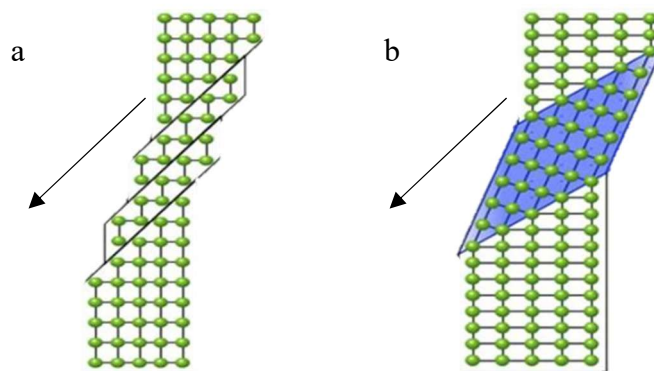
berbeda pada setiap jenisnya, seperti aluminium umumnya memiliki konduktivitas tinggi dan *stainless steel* memiliki resistansi yang tinggi. Perbedaan sifat ini dipengaruhi ukuran butir dan cacat pada material, semakin halus ukuran butir dan minim cacat suatu material, maka kinerja listriknya akan semakin baik. Selain itu ketebalan material juga berpengaruh pada kemampuan hantar atau konduktivitas material karena adanya peningkatan hamburan elektron saat ketebalan meningkat.

Selanjutnya permukaan material, hal ini berkaitan dengan cacat, kekasaran permukaan, oksidasi ataupun adanya korosi akan mempengaruhi ketahanan dan konduktivitas *thin foil*. Salah satu penyebab kerusakan pada permukaan *thin foil* umumnya dipicu deformasi plastis ataupun *heat treatment* yang tidak tepat saat proses produksi. Karenanya pengujian perlu dilakukan untuk mengetahui seberapa baik kinerja *thin foil* untuk penggunaan komponen elektronik. Ada beberapa metode pengujian yang dapat digunakan seperti uji resistivitas listrik suatu material, metode *four-point probe* (FPP) biasa digunakan [9], uji semprotan garam untuk mengetahui ketahanan korosi [12], dan uji kemampuan hantar panas menggunakan metode *steady state*.

2.3. Deformasi Plastis

Deformasi plastis adalah proses perubahan struktur atom pada material yang dikenai pembebanan dan tidak dapat kembali ke bentuk semula [13]. Deformasi berkaitan dengan rusaknya ikatan antar atom karena sejumlah besar atom bergerak untuk menghilangkan tekanan, namun setelah tekanan hilang atom-atom tersebut tidak kembali ke posisinya semula. Untuk sebagian besar bahan logam, deformasi elastis hanya dapat bertahan sampai regangan pada kisaran 0,005 dan saat

deformasi yang terjadi melebihi nilai tersebut, maka itu adalah deformasi plastis [14]. Salah satu penyebab terjadinya deformasi plastis adalah proses manufaktur dan penanganan material, hal ini terjadi karena metode pengerjaan atau penangan yang dilakukan kurang tepat dan menyebabkan cacat halus hingga perubahan bentuk permanen pada material yang mengalami deformasi plastis akibat proses manufaktur [15].



Gambar 2.2 a. Mekanisme Slip b. Mekanisme *Twinning* [46]

Sedangkan secara mikroskopis deformasi plastis diidentifikasi sebagai perubahan struktur mikro yang disebabkan pergerakan atom-atom dari tempatnya semula, pergerakan yang terjadi bertujuan untuk menghilangkan tegangan akibat pembebanan namun atom-atom yang bergerak tidak kembali ke posisi semula meski pembebanan sudah dihilangkan [13]. Karena pada dasarnya deformasi plastis merujuk pada gerakan dislokasi yang terjadi dalam skala makro, kerusakan atau cacat yang timbul pun dapat diamati secara visual seperti material bengkok, permukaan yang bergelombang atau terdapat banyak goresan akibat pemotongan selama proses manufaktur [15]. Ada dua mekanisme deformasi plastis yang umum diketahui yaitu sistem slip dan *twinning*, pada mekanisme slip pergerakan terjadi sepanjang bidang kristal dengan arah tertentu dan terjadi bagian per bagian.

Sedangkan pada mekanisme *twinning*, pergerakan terjadi secara bersamaan dan menghasilkan struktur kristal baru yang sama [8].

Proses manufaktur ataupun pengujian material menjadi salah satu penyebab terjadinya deformasi plastis, selain itu ada faktor-faktor lain yang turut mempengaruhi nilai atau tingkat deformasi plastis yang dialami *thin foil*, seperti jenis material, temperatur, kecepatan deformasi, orientasi kristal, dan penguatan material. Tingkat deformasi plastis pada material akan berbeda di setiap jenisnya karena struktur kristal, sifat atom, dan cacat bawaan yang berbeda, selain itu orientasi kristal juga turut mempengaruhi arah deformasi yang terjadi. Pada temperatur tinggi, atom dalam struktur mikro material dapat bergerak lebih aktif karena banyaknya energi, pada keadaan ini deformasi plastis rentan terjadi apalagi saat temperatur mengalami penurunan secara drastis. Kecepatan deformasi menjadi faktor berikutnya yang mempengaruhi, semakin cepat deformasi terjadi maka semakin mudah juga deformasi plastis terbentuk pada *thin foil*, untuk mengatasinya penguatan dapat dilakukan dengan menghadirkan cacat berupa dislokasi, batas butir ataupun inklusi yang dapat menghambat pergerakan dislokasi saat *thin foil* mengalami pembebanan secara spontan [8].

Deformasi plastis yang terjadi pada material memberikan dampak yang cukup signifikan pada sifat mekanik dan pada material *thin foil* dampak yang ditimbulkan lebih besar karena dipengaruhi oleh fenomena *size effect*. Pada *thin foil*, kerapatan dislokasi meningkat dan lebih sulit bergerak selama deformasi terjadi sehingga menyebabkan kekasaran permukaan material meningkat [6]. Peningkatan kekasaran permukaan pada *thin foil* dapat merusak sifat mekanik serta penurunan sifat mampu listrik atau kinerja elektronik yang dimiliki *thin foil* [13].

2.4. *Heat Treatment*

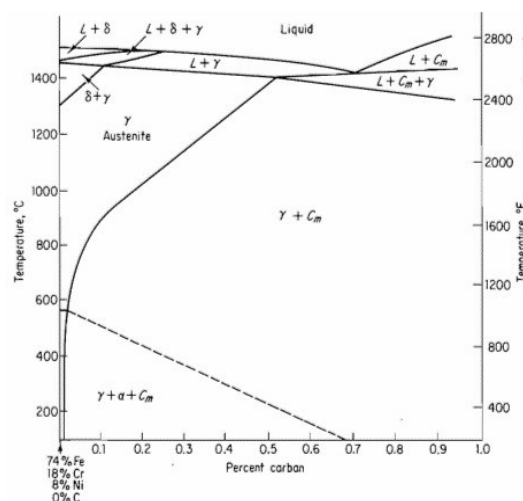
Perlakuan panas atau *heat treatment* menjadi metode yang biasa digunakan untuk memperbaiki struktur mikro atau mengubah sifat mekanik suatu material. Metode *heat treatment* modern mulai dikembangkan sejak abad ke-18 oleh Rene-Antonie Ferchaulut de Reaumur (1683-1757) melalui penelitian tentang pengaruh yang ditimbulkan dari pemanasan dan pendinginan material terhadap sifat-sifat yang dimiliki material [16]. Melalui proses *heat treatment* beberapa sifat mekanik material seperti kekerasan, kekuatan, keuletan, ketangguhan, hingga sifat mampu mesin dapat ditingkatkan atau dikurangi sesuai kebutuhan. Selain itu proses *heat treatment* juga dapat membantu mengurangi tegangan sisa dari material akibat proses manufaktur yang dilakukan, memperhalus ukuran butir ataupun mengubah struktur mikro suatu material juga mungkin dilakukan dengan *heat treatment* [17].

Beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain komposisi material, temperatur pemanasan, *holding time*, dan media pendingin. Setiap material memiliki komposisi berbeda dengan sifat berbeda, karenanya mengetahui komposisi dari material yang akan diperlukan dalam perhitungan menentukan temperatur hingga laju pendinginan yang digunakan selama proses [18]. Semakin tinggi temperatur akan semakin mempermudah perubahan struktur mikro terjadi, karenanya pemanasan biasa dilakukan hingga melewati temperatur austenisasi namun tetap berada di bawah *melting point* material. Selanjutnya *holding time* yang dilakukan bertujuan untuk meratakan pemanasan pada seluruh permukaan untuk menghasilkan struktur mikro yang homogen [19].

Pendinginan dapat dilakukan dengan berbagai media seperti air, udara terbuka, minyak atau oli, dan di dalam tungku pemanasnya (ruang tertutup). Media

pendingin yang digunakan akan mempengaruhi struktur mikro akhir yang terbentuk dari material yang dipanaskan [20]. Semakin cepat laju pendinginan maka akan semakin keras material yang dihasilkan karena stuktur mikro semakuin rapat dan semakin lambat laju pendinginan struktu mikro akan semakin besar sehingga menurunkan kekerasan material yang dihasilkan. Karenanya pemilihan media pendingin perlu diperhatikan untuk menghasilkan material yang sesuai [5].

Penggunaan metode *heat treatment* yang sesuai dapat meningkatkan sifat serta memperpanjang umur pakai dari material, sesuai dengan tujuan dasar dilakukannya *heat treatment*. Namun penggunaannya pada *thin foil* jauh lebih rentan dengan ukuran yang tipis, dibutuhkan penanganan yang lebih intens karena material dapat mengalami distorsi bentuk selama pemanasan dan pendinginan dilakukan [29]. Selama pemanasan dan pendinginan terjadi, masalah utama yang sangat dihindari terjadi pada *thin foil* yaitu kekasaran permukaan material juga memiliki kemungkinan tinggi terbentuk. Kekasaran permukaan yang semakin meningkat ini akan menurunkan ketahanan korosi material serta mengganggu beberapa sifat penting lain yang dimiliki material seperti ketahanan aus serta konduktivitas termal material [18].



Gambar 2.3 Diagram Transformasi Fasa *Stainless Steel 304* [18]

Heat treatment kini telah banyak mengalami perkembangan dari yang awalnya harus dilakukan langsung menggunakan tungku dan melakukan pengamatan secara manual terhadap material hasil pemanasan. Kini dapat dilakukan dengan teknologi melalui *software* untuk simulasi dan analisa seperti Ansys dan yang lainnya. Sebelum teknologi berkembang seperti sekarang penggunaan diagram fasa telah banyak membantu dalam proses analisa manual untuk memperkirakan faktor-faktor yang tepat untuk proses dan perkiraan hasil akhir yang didapat setelah *heat treatment*. Bahkan hingga saat ini penggunaanya masih banyak ditengah perkembangan teknologi yang ada, diagram-diagram ini memuat informasi mengenai bagaimana reaksi material terhadap pemanasan dan pendinginan yang dilakukan.

2.4.1. Furnace Cooling

Heat treatment dengan pendinginan lambat atau juga disebut *furnace cooling* menjadi metode yang cukup banyak digunakan untuk menghilangkan tegangan sisa pada material akibat proses manufaktur yang dilakukan [16]. Dalam aplikasinya untuk *thin foil stainless steel 304* metode pendinginan lambat ini dilakukan dengan tujuan memperbaiki sifat mampu bentuk dan keuletannya. Melalui pendinginan lambat ini akan dihasilkan struktur mikro material yang lebih seragam dan berukuran besar, karenanya pada *thin foil stainless steel 304* yang melalui *furnace cooling* akan memiliki sifat yang lebih lunak dan mudah dibentuk. Pengaturan temperatur dan waktu penahanan selama *furnace cooling* pada *thin foil stainless steel 304* perlu dipertimbangkan dengan baik karena temperatur pemanasan dan waktu penahanan berlebih dapat menyebabkan pertumbuhan butir berlebih

dan berpengaruh terhadap penurunan ketahanan korosi dan kekuatan *thin foil*. [21]

2.4.2. Air Cooling

Air cooling atau *normalizing* menjadi metode lainnya yang digunakan dalam perlakuan panas, pendinginan akan dilakukan pada udara terbuka hingga spesimen mencapai temperatur ruang [22]. Secara umum *air cooling* dilakukan untuk mendapatkan material dengan ukuran butir yang lebih halus dan seragam serta meningkatkan keuletan material melalui pendingin pada udara terbuka secara perlahan, atom pada struktur mikro material akan memiliki kesempatan berdifusi membentuk struktur mikro baru berbeda dengan pendinginan menggunakan media air yang cepat namun proses pendinginan tidak terjadi secara merata [23]. *Air cooling* yang dilakukan pada *thin foil* dapat membantu meningkatkan keuletan materialnya tanpa menurunkan kekerasan dan kekuatan tarik yang dimiliki *thin foil*. Metode ini juga membantu meningkatkan konduktivitas *thin foil stainless steel 304* karena struktur mikro yang terbentuk homogen serta cacat kristal akibat deformasi berkurang [24].

Air cooling banyak menghasilkan fasa perlit atau ferit dengan besar butir dan persebaran yang lebih seragam jika dibandingkan dengan proses *heat treatment* lainnya [25]. Namun *air cooling* pada *thin foil* dapat meningkatkan kekasaran permukaan dan menurunkan ketahanan aus *thin foil* akibat pendinginan yang tidak merata. Hal ini terjadi karena bagian yang

berkontak langsung dengan udara akan mengalami pendinginan sedangkan bagian yang berkontak dengan wadah material akan lebih lambat [26].

2.4.3. *Water Cooling*

Metode terakhir adalah *water cooling*, pada metode *heat treatment* ini pendinginan material dilakukan secara cepat menggunakan media seperti air. Pendinginan cepat banyak dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan kekerasan material [27]. Tujuan dilakukannya *water cooling* adalah meningkatkan kekerasan, kekuatan, ketahanan aus, ketahanan korosi, ataupun sifat khusus seperti magnetik dan konduktivitas material. Saat pendinginan cepat terjadi, struktur mikro yang dihasilkan lebih kecil karena proses difusi terhambat dan menyebabkan atom terjebak pada struktur mikro material.

Namun dalam aplikasi *thin foil*, pendinginan cepat perlu dihindari karena dapat meningkatkan kekasaran permukaan yang mengganggu sifat-sifat bawaan material. Tujuan pendinginan cepat selain meningkatkan sifat mekanik material juga untuk memperbaiki struktur mikro maupun deformasi akibat proses manufakturnya [28]. Struktur mikro yang terbentuk berukuran kecil namun tidak seragam akibat dari pendinginan cepat yang dilakukan, selain itu batas butir serta fasa martensit semakin banyak terbentuk pada struktur mikronya menurunkan konduktivitas dan ketahanan korosi *thin foil* [23]. Hal ini disebabkan laju pendinginan yang cepat membuat material gagal berdifusi dan akhirnya terjebak pada struktur atom material, selain itu pendinginan yang terjadi pada permukaan menjadi tidak

merata sehingga kontraksi termal permukaan pun terjadi dan meningkatkan kekasaran permukaan [6].

2.5. Size Effect

Size effect merupakan fenomena yang merujuk pada perubahan sifat-sifat yang dimiliki material akibat pengurangan ukuran hingga skala mikro atau nanometer. Pada material seperti *thin foil stainless steel* yang kini banyak dikembangkan, *size effect* menjadi faktor penting yang diperhatikan dalam pengembangan jenis material ini karena ukurannya yang kecil. Fenomena ukuran ini berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik, sifat listrik dan termal, hingga sifat mampu bentuk material. Selain itu *size effect* turut berpengaruh pada sifat permukaan material seperti *roughness* dan reaktivitas kimia [49].

Pengembangan *thin foil* dari *stainless steel* banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan industri yang membutuhkan material berukuran kecil. Namun hal ini memicu meningkatnya ketidaksempurnaan struktur mikro pada *thin foil* seperti dislokasi dan batas butir. Jika dibandingkan dengan material yang lebih tebal, *thin foil* jauh lebih mudah mengalami deformasi plastis meski memiliki sifat mampu bentuk yang baik. Perbandingan antara luas permukaan terhadap volume juga menyebabkan rasio energi yang tertinggal pada permukaan *thin foil* lebih tinggi dari pada material umumnya.

2.6. Sifat Mekanik

Sifat mekanik merupakan parameter yang digunakan untuk mendeskripsikan bagaimana material merespon gaya atau deformasi yang

diterimanya [25]. Sebagai bentuk respon yang diberikan material atas deformasi yang diterimanya, sifat mekanik menjadi penting diketahui karena akan menentukan bagaimana kinerja material ketika digunakan dalam dalam industri, sifat mekanik pada material dapat berbeda-beda pada setiap jenisnya tergantung pada komposisi dan struktur kristal yang materialnya [30]. Ada beberapa sifat mekanik yang umum dimiliki material seperti kekuatan, kekerasan, keuletan, kegetasan, ketangguhan, elastisitas dan lainnya, sifat mekanik yang dimiliki material menjadi salah satu acuan dalam memilih material untuk bahan baku suatu produk, pemilihan material dengan sifat mekanik yang tepat akan meningkatkan kualitas dari produk yang dibuat [8]. Sifat mekanik yang dimiliki material menunjukkan bagaimana material merespon pembebanan yang diberikan tanpa mengalami deformasi berat, tidak terkecuali pada *thin foil*, sifat mekanik akan menentukan kualitas dan kesesuaian *thin foil* dalam aplikasinya, ada beberapa sifat mekanik yang penting untuk dimiliki *thin foil* dalam aplikasinya untuk komponen elektronik seperti keuletan, kekuatan, dan kekerasan [31].

Tabel 2.3 Sifat Mekanik *Thin Foil Stainless Steel 304*

Sifat Mekanik	Nilai	Satuan
Kekuatan tarik (UTS)	510 - 725	MPa
Kekuatan mulur (<i>yield strength</i>)	205 - 345	MPa
Elongasi	40 – 60	%
Modulus elastisitas	193 - 200	GPa
Kekerasan (<i>hardness rockwell B</i>)	85 - 95	HRB
Densitas	7,93 – 8,03	g/cm ³

Thin foil yang akan diaplikasikan dalam komponen elektronik harus memiliki keuletan dan duktilitas yang baik. Kedua sifat yang dimiliki *thin foil* tersebut menunjukkan kemampuannya untuk menerima dan menahan deformasi tanpa pecah ataupun patah serta memastikan *thin foil* tidak akan retak saat dibentuk menjadi bentuk yang kompleks ataupun saat proses perakitan [25]. Elongasi dan modulus elastisitas akan menjadi nilai acuan yang menentukan kedua sifat mekanik ini, semakin tinggi nilai elongasi dan modulus elastisitas yang dimiliki *thin foil*, maka semakin baik keuletan dan duktilitasnya [13]. Untuk mengetahui keuletan dan duktilitas *thin foil* sebelum diaplikasikan, pengujian sifat mekanik dengan uji tarik dapat dilakukan pada material.

Meski memiliki sifat duktil dan ulet, *thin foil* juga perlu memiliki kekakuan dan kekuatan yang baik. Kekuatan menunjukkan kemampuan untuk menerima beban yang sangat besar sebelum akhirnya mengalami kerusakan [8]. Nilai kekuatan material akan berbeda-beda pada setiap pembebanan yang diterima, seperti kekuatan impak yang menunjukkan ketangguhan, kekerasan menunjukkan kemampuan material untuk menahan pembebanan indentasi atau penekanan dan bentuk kekuatan material lainnya menyesuaikan aplikasi material [22]. Pada *thin foil* jenis *stainless steel* 304, sifat-sifat mekanik yang dimilikinya sudah baik dan sesuai untuk digunakan sebagai komponen elektronik.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik material, baik dari materialnya sendiri atau faktor lingkungan [30]. Faktor internal yang mempengaruhi sifat mekanik material meliputi komposisi kimia, struktur mikro, serta cacat pada material selama proses manufaktur. Unsur paduan yang ditambahkan ke dalam *thin foil*, akan mempengaruhi susunan struktur mikro

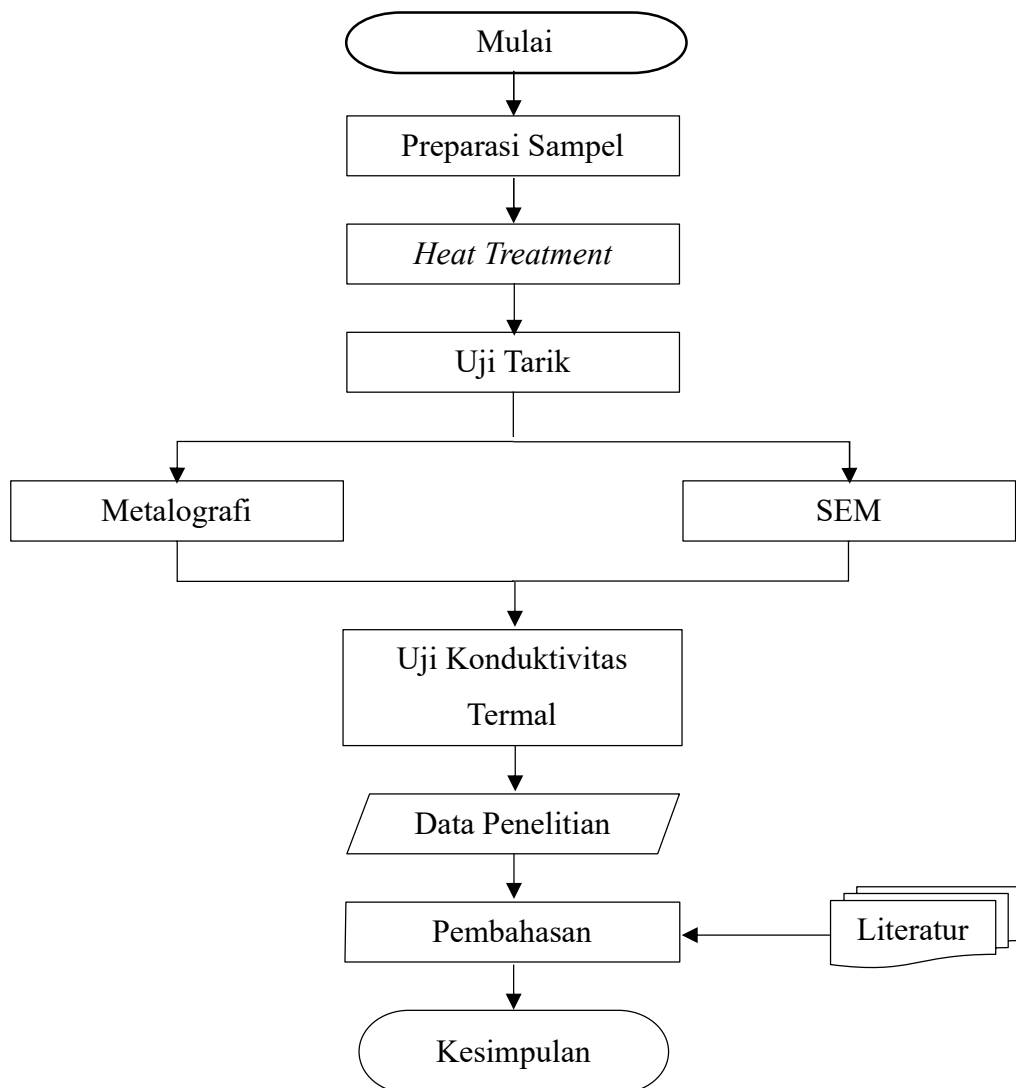
materianya hingga berdampak pada perubahan sifat mekanik pada material [7]. Sedangkan faktor eksternal yang mempengaruhi sifat mekanik *thin foil* meliputi kondisi lingkungan seperti perlakuan panas, deformasi dan pembebanan selama proses manufaktur, serta efek elektromagnetik [8]. Pada faktor eksternal, ada lebih banyak variabel yang dapat mempengaruhi sifat mekanik *thin foil*, karenanya mengetahui faktor-faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik *thin foil* dapat membantu untuk mengatasi dan memperbaiki kerusakan sifat materialnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Dalam penelitian pengaruh metode *heat treatment* dan deformasi plastis terhadap sifat mekanik dan kinerja elektronik *thin foil* akan diamati, pengujian dilakukan menggunakan *thin foil stainless steel 304*. Prosedur penelitian dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat – Alat yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan dalam percobaan ini meliputi

1. Apron
2. Cetakan
3. *Furnace nabertherm*
4. Gunting
5. *Hair dryer*
6. Krusibel
7. Mesin *grinding* dan *polishing*
8. Mesin uji tarik
9. Mikroskop optik
10. Penggaris/alat ukur
11. Pemanas
12. Sarung tangan
13. *Stopwatch*
14. Tang penjepit
15. Termometer
16. *Voltmeter*/multimeter

3.2.2. Bahan – Bahan yang Digunakan

Berikut daftar bahan yang digunakan dalam percobaan:

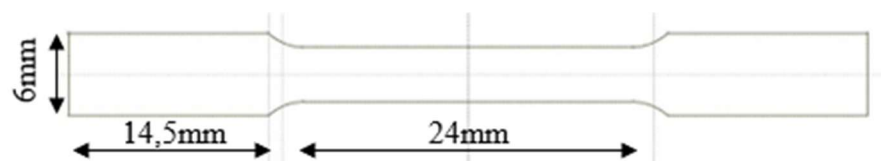
1. Amplas
2. *Aquades*

3. Aseton/etanol
4. Kain *wool*
5. Katalis resin
6. Asam oksalat
7. Pasta alumina
8. Resin
9. *Thin foil stainless steel 304*

3.3. Prosedur Percobaan

3.3.1. Preparasi Sampel

Thin foil stainless steel 304 yang akan digunakan sebagai sampel, disiapkan dengan dimensi panjang 58mm, lebar 6mm, *gauge length* 24mm, dan ketebalan 0,01mm standar uji tarik DIN 50125. Sampel dibagi menjadi sampel tanpa perlakuan dan sampel yang akan diberikan perlakuan panas dengan pendinginan berbeda. Pembagian sampel ini dilakukan untuk membandingkan dan melihat pengaruh perlakuan yang diberikan pada sifat mekanik, kinerja elektronik, dan struktur mikro spesimen uji.

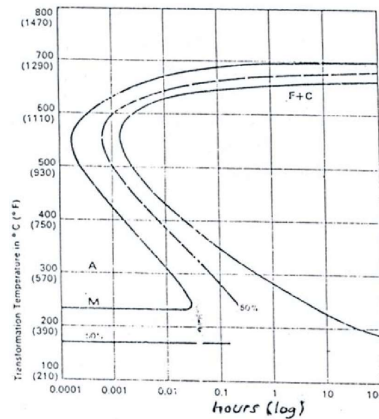


Gambar 3.2 Dimensi dan Bentuk Spesimen Uji

3.3.2. Heat Treatment

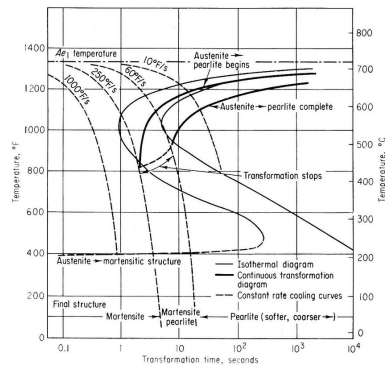
- a. Spesimen uji disiapkan untuk perlakuan panas, permukaan spesimen dibersihkan menggunakan larutan etanol.

- b. Penentuan temperatur yang akan digunakan saat *heat treatment* dilakukan menggunakan diagram TTT (*Time, Temperature, Transformation*) dan ditetapkan temperatur yang akan digunakan adalah 400°C, 650°C, dan 900°C serta *holding time* selama 60 menit.



Gambar 3.3 Diagram TTT untuk Menentukan Temperatur dan Holding Time [33]

- c. Selanjutnya sampel dibagi menjadi tiga kategori pada setiap variasi untuk pendinginan dengan laju pendinginan berbeda, tandai setiap sampel berdasarkan variasi temperaturnya.
- d. Penentuan metode pendinginan dilakukan dengan memperhatikan diagram CCT (*Continuous Cooling Temperatur*) dan ditetapkan pendinginan cepat dengan media air (*water cooling*), pendinginan pada udara terbuka secara perlahan (*air cooling*), dan metode pendinginan lambat (*furnace cooling*) dengan membiarkan sampel mendingin di dalam *furnace*, tandai kembali sampel berdasarkan metode pendinginan.



Gambar 3.4 Diagram CCT untuk Menentukan Metode Pendinginan yang akan Digunakan [33]

- e. Dilanjutkan metalografi pada setiap sampel untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang terjadi setelah *heat treatment*.

3.3.3. Uji Tarik

- a. Sebelum pengujian dimensi awal spesimen uji diukur dan dicatat, luas penampang awal dihitung menggunakan persamaan 3.1.

$$A_0 = t \times L \dots \dots \dots (3.2)$$

- b. Kecepatan dan tegangan dikalibrasi sebelum dilakukan pengujian.
- c. Spesimen uji dipasang pada kedua bagian penjepit/klem mesin uji tarik.
- d. Pengujian dilakukan hingga spesimen uji putus atau patah.
- e. Beban yang diterima (F) dan pertambahan panjang (mm) dicatat.
- f. Dimensi spesimen uji diukur kembali setelah pengujian.
- g. Regangan dan tegangan dihitung menggunakan data yang diperoleh sebelumnya menggunakan persamaan 3.2 dan 3.3.

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A_0} \dots \dots \dots (3.2)$$

$$\epsilon_n = \frac{\Delta l}{l_0} \dots \dots \dots (3.3)$$

h. Elongasi sampel dihitung menggunakan persamaan 3.5.

$$\%E = \frac{(P_{akhir} - P_0)}{P_0} \times 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

3.3.4. Konduktivitas Termal

- a. Dimensi sampel diukur secara keseluruhan dan dicatat.
- b. Termometer atau sensor sampel dipasang pada kedua sisi sampel.
- c. Sampel diisolasi sekitarnya untuk meminimalisir kehilangan panas ke lingkungan.
- d. Alat pemanas dipasang pada salah satu sisi sampel dan dikalibrasi.
- e. Temperatur awal sampel diukur dan dicatat.
- f. *Stopwatch* dinyalakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan sampai sistem mencapai keadaan tunak, waktu akhir dicatat.
- g. Konduktivitas termal dihitung menggunakan persamaan 3.2

$$q = -kA \left(\frac{dT}{dx} \right) \dots \dots \dots (3.2)$$

3.3.5. Uji Metalografi

Metalografi dilakukan pada *thin foil stainless steel 304* untuk mengamati perubahan struktur mikro yang terjadi sebelum dan setelah perlakuan dilakukan. Metalografi dilakukan setelah *heat treatment* dan setelah uji tarik dilakukan untuk mengamati transformasi fasa serta apakah

struktur mikro spesimen uji terbentuk homogen atau heterogen, tahapan metalografi dilakukan sebagai berikut.

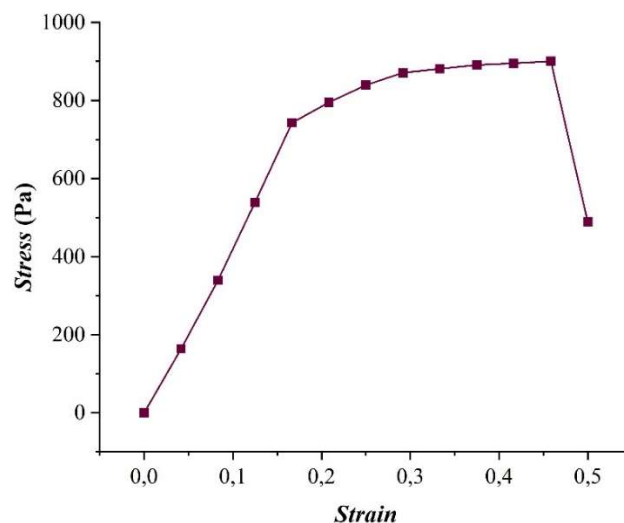
- a. Sampel dipotong menjadi bagian kecil untuk mempermudah pengamatan mikroskop optik.
- b. Permukaan sampel dibersihkan dengan kertas ampelas dan aseton.
- c. *Mounting block* dibuat dengan resin, lalu sampel yang telah dipotong sebelumnya ditempelkan.
- d. *Grinding* permukaan spesimen dengan kertas ampelas dilakukan hingga permukaan sampel halus dan bebas goresan.
- e. Sampel dibilas dengan aquades setelah proses *grinding*.
- f. Larutan etsa menggunakan larutan asam oksalat disiapkan.
- g. Spesimen direndam dalam larutan etsa selama beberapa detik untuk memperjelas struktur mikro.
- h. Sampel kemudian dikeringkan menggunakan *hydrier*.
- i. Struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik.
- j. Gambar struktur mikro setiap sampel disimpan dan diamati perubahannya, pertimbangkan parameter proses, *heat treatment* serta deformasi yang dialami sampel

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakterisasi Awal Sampel

Sampel penelitian yang digunakan adalah *stainless steel* 304 berbentuk *thin foil* yang dibuat melalui proses *hot rolling* dengan ketebalan 0,1mm. Pada dasarnya *stainless steel* 304 memiliki sifat mekanik yang baik, kekuatan tarik (UTS) *stainless steel* 304 berkisar 510-725MPa, *yield strength* 205-345 MPa, elongasi sekitar 40-60%, dan modulus elastisitas sekitar 193-200 GPa. Selain sampel yang dipanaskan dalam penelitian ini, uji tarik juga dilakukan pada sampel uji yang belum melalui proses *heat treatment* untuk mengetahui sifat mekanik sampel secara aktual selain berdasarkan referensi yang sudah ada sebelumnya, sifat mekanik *thin foil stainless steel* 304 yang diuji tarik sebelum *heat treatment* dapat dilihat pada. Grafik *stress-strain* uji tarik dari *thin foil stainless steel grade* 304 yang digunakan sebagai sampel dalam penelitian ini seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Kurva *Stress-Strain* Sampel Uji Tanpa *Heat Treatment*

Tabel 4.1 Sifat Mekanik Sampel Uji Sebelum *Heat Treatment*

Sifat Mekanik	Satuan	<i>Stainless Steel 304</i>
Kekuatan tarik (UTS)	MPa	900,25
Kekuatan mulur (<i>yield strength</i>)	MPa	742,75
Elongasi	%	50
Modulus elastisitas	Pa	$4464,6 \times 10^6$

Kekuatan tarik tertinggi sampel sebelum dipanaskan ada pada kisaran 900,25 MPa dengan *yield strength* 742,75 MPa. Elongasi sampel selama pengujian mencapai 50% dari ukuran aslinya, sedangkan modulus elastisitas sampel tanpa *heat treatment* ada pada kisaran $4464,6 \times 10^6$ Pa. Selain pengujian tarik untuk mengetahui sifat mekaniknya, sampel yang belum dipanaskan perlu diketahui kinerja elektroniknya. Dalam penelitian ini konduktivitas termal sampel akan menjadi sifat yang diuji dengan metode *steady state* antara dua pelat panas, sampel yang dipotong berbentuk persegi dengan perbandingan ukuran 1:1. Hasil pengujian konduktivitas termal sampel terlampir pada Tabel 4.2.

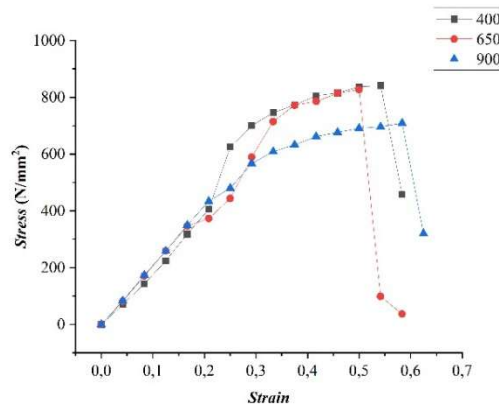
Tabel 4.2 Nilai Konduktivitas Termal Sampel Uji Sebelum *Heat Treatment*

Percobaan	Temperatur (°C)		Waktu (s)
	P1	P2	
1	65,5	40	1316
2	64,9	40,5	1322
3	65,1	40,3	1298

4.2 Sifat Mekanik Sampel Uji Tarik Setelah *Heat Treatment*

Sifat mekanik merujuk pada bagaimana suatu material merespon gaya yang diterimanya dari luar [25]. Ada beberapa jenis sifat mekanik yang dimiliki material dan untuk penggunaan komponen elektronik kekuatan, kekerasan, dan keuletan menjadi sifat yang penting untuk dimiliki material [31]. Pada pengujian ini sampel lebih dulu melalui *heat treatment* dengan metode pendinginan berbeda yaitu *furnace cooling*, *air cooling*, dan *water cooling*. *Heat treatment* dilakukan pada temperatur berbeda pada setiap metode pendinginan dan *holding time* disamakan menjadi 60 menit.

Pengujian sifat mekanik dengan uji tarik untuk mengetahui sifat mekanik sampel berupa kekuatan tarik dan mulur, elongasi, serta modulus elastisnya. Sampel diuji menggunakan mesin uji tarik hingga mengalami patah, data yang didapat selama pengujian kemudian dihitung untuk mengetahui nilai sifat mekanik sampel berdasarkan perlakuan yang diterimanya. Sampel pertama yang diuji adalah sampel *furnace cooling* yang dipanaskan pada temperatur 900°C, 650°C, dan 400°C. Grafik *stress-strain* dan nilai sifat mekanik dari ketiga sampel hasil uji tarik secara berurut dapat dilihat pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.3.



Gambar 4.2 Kurva *Stress-Strain* Sampel dengan Pendinginan *Furnace Cooling* pada Temperatur 900°C, 650°C, dan 400°C

Tabel 4.3 Sifat Mekanik *Stainless Steel Thin Foil* 304 setelah Pendinginan *Furnace Cooling* pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C

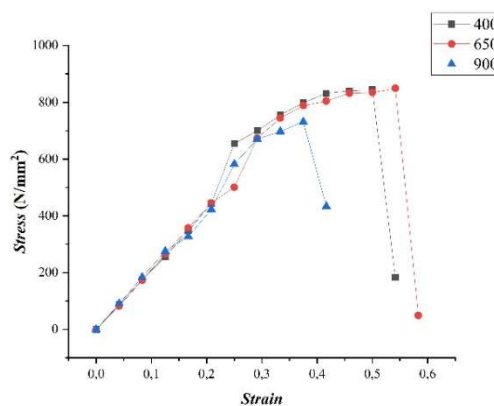
Sifat Mekanik	<i>Furnace Cooling</i>		
	900°C	650°C	400°C
UTS (MPa)	709	827,25	833,75
<i>Yield strength</i> (MPa)	434	346,25	405,5
Elongasi (%)	62,5	58,3	58,3
Modulus elastisitas (Pa)	2091,8×10 ⁶	2086,8×10 ⁶	1954,4×10 ⁶

Ketiga sampel pertama ini dipanaskan pada temperatur berbeda dengan metode pendinginan yang sama yaitu *furnace cooling*. Pada metode ini laju pendinginan berlangsung lambat karena sampel dibiarkan di dalam *furnace* hingga mencapai temperatur ruang setelah pemanasan dan *holding time* [16]. *Furnace cooling* umum dilakukan dengan tujuan menghilangkan tegangan sisa ataupun memperbaiki sifat mampu bentuk dan keuletan material. Namun metode pendinginan lambat ini dapat menurunkan kekuatan dan kekerasan material, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 dimana rata-rata nilai UTS sampel mengalami penurunan setelah *furnace cooling* dilakukan [21].

Gambar 4.2 menunjukkan kurva hasil uji tarik sampel *furnace cooling* pada temperatur 900°C, 650°C, dan 400°C secara berurutan. Pada temperatur 900°C memiliki nilai kekuatan tarik yang paling rendah yaitu 709 MPa, sedangkan pada temperatur 650°C dan 400°C nilai kekuatan tariknya cukup baik. Namun elongasi dan kekuatan mulur sampel *furnace cooling* pada temperatur 900°C menjadi yang paling tinggi di antara ketiga sampel yang ada. Untuk modulus elastisitas pada setiap sampel memperoleh nilai yang hampir sama antar satu dengan lainnya.

Sampel yang dipanaskan pada temperatur 900°C menjadi yang paling rendah kemampuan tariknya, hal ini dipengaruhi metode pendinginan yang digunakan. Pendinginan lambat yang dilakukan memberikan waktu yang cukup untuk pertumbuhan butir baru dan menghasilkan ukuran butir yang besar, namun persebaran butirnya tidak merata. Struktur mikro yang terbentuk dengan ukuran butir besar memberikan lebih banyak ruang dimana dislokasi terjadi, hal ini yang menjadi penyebab kekuatan sampel menurun [21]. Selain itu temperatur pemasanan turut memberikan pengaruh terhadap perubahan sifat mekanik yang terjadi, rekristalisasi atau pembentukan ulang butir pada struktur mikro sampel dapat terjadi secara maksimal saat pemanasan dilakukan di atas temperatur austenisasinya.

Pada sampel berikutnya *normalizing* diterapkan, dimana setelah dipanaskan dan *holding time*, sampel didinginkan secara perlahan pada udara terbuka hingga mencapai temperatur ruang [22], Pada Gambar 4.3 ditunjukkan kurva hasil uji tarik pada temperatur berbeda dengan metode *normalizing*. Sampel yang dipanaskan pada temperatur 900°C kembali menjadi sampel dengan kekuatan tarik yang paling rendah. Secara lengkapnya perbandingan sifat mekanik sampel pada temperatur ini dapat dilihat di Tabel 4.4.



Gambar 4.3 Kurva *Stress-Strain* Sampel Hasil Pendinginan *Air Cooling* pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C

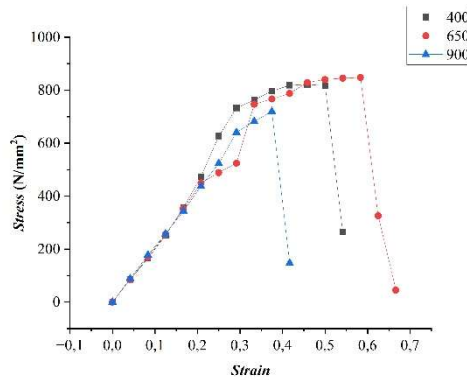
Tabel 4.4 Sifat Mekanik *Stainless Steel Thin Foil* 304 setelah Pendinginan *Air Cooling* pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C

Sifat Mekanik	<i>Air Cooling</i>		
	900°C	650°C	400°C
UTS (MPa)	720	834,5	844
<i>Yield strength</i> (MPa)	377,25	445,5	443
Elongasi (%)	41,7	58,3	54,2
Modulus elastisitas (Pa)	$2253,6 \times 10^6$	$2156,2 \times 10^6$	$2109,9 \times 10^6$

Jika dilihat secara keseluruhan, pada *air cooling* ini memiliki rata-rata kekuatan tarik yang lebih baik dari sampel yang didinginkan secara lambat dengan *furnace cooling* sebelumnya. Keuletan sampel turut meningkat pada pendinginan normal yang dilakukan tanpa menyebabkan penurunan signifikan pada kekuatan sampel meski masih di bawah kekuatan sampel yang tidak mengalami *heat treatment* [24]. Sampel yang dipanaskan pada temperatur 400°C memiliki kekuatan tarik paling baik yaitu 844 MPa, sedangkan untuk *yield strength* paling baik didapat dari sampel yang dipanaskan pada temperatur 650°C. Struktur material yang dihasilkan lebih seragam serta ukurannya lebih halus meski fasa yang terbentuk sama seperti pendinginan lambat yaitu ferit dan perlit [25].

Sampel terakhir yang diuji tarik adalah sampel yang mengalami pendinginan cepat dengan *water cooling*. *Quenching* merupakan metode *heat treatment* dengan laju pendinginan cepat, salah satu media pendingin yang umum digunakan untuk *quenching* adalah air [27]. Berdasarkan kurva pada Gambar 4.4 menunjukkan garis horizontal pada kurva relatif pendek dibanding kurva sampel

lainnya, hal ini membuktikan bahwa sampel yang dihasilkan getas. Perbandingan nilai sifat mekanik yang diuji dapat dilihat pada Tabel 4.5.



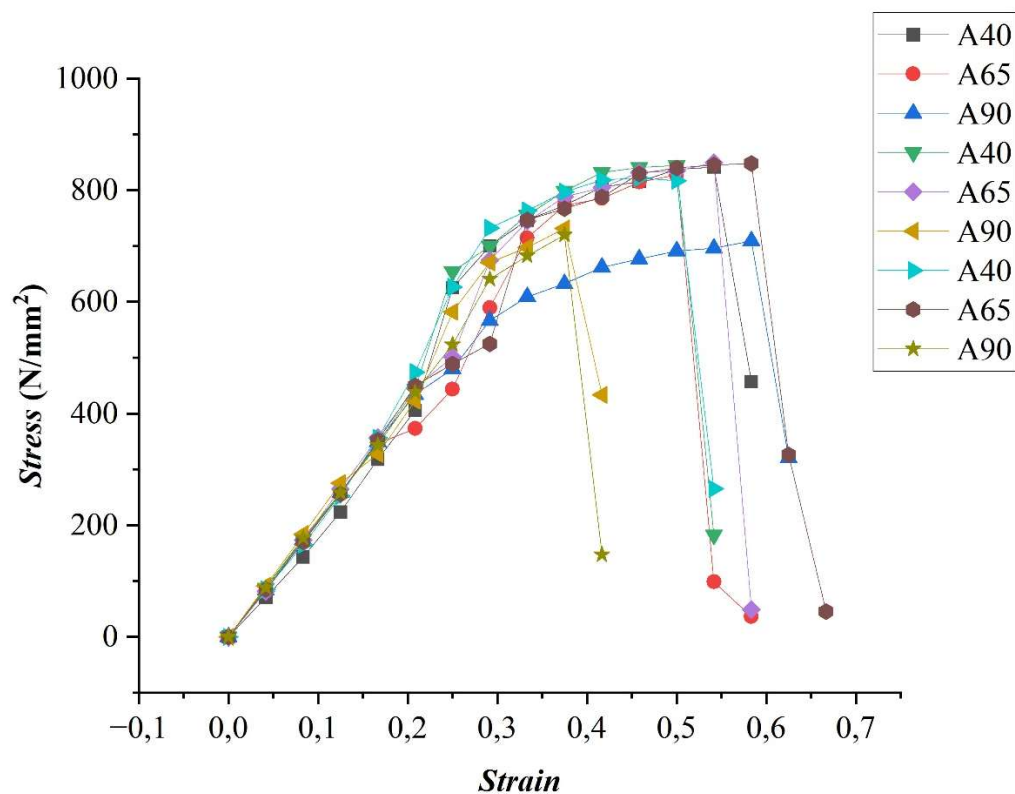
Gambar 4.4 Kurva *Stress-Strain* Sampel Hasil Pendinginan *Water Cooling* pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C

Tabel 4.5 Sifat Mekanik *Stainless Steel Thin Foil 304* Pendinginan *Furnace Cooling* pada Temperatur Pemanasan 900°C, 650°C, dan 400°C

Sifat Mekanik	<i>Water Cooling</i>		
	900°C	650°C	400°C
UTS (MPa)	731,25	847,75	821,5
<i>Yield strength</i> (MPa)	640,75	449,75	626,5
Elongasi (%)	41,7	58,3	54,2
Modulus elastisitas (Pa)	2151×10^6	$2149,9 \times 10^6$	2442×10^6

Sampel yang mengalami *quenching treatment* secara umum memiliki sifat mekanik yang lebih getas dibanding sampel lain. *water cooling* yang dilakukan pada percobaan ini menghasilkan laju pendinginan cepat dengan tujuan meningkatkan kekerasan material namun dapat menurunkan keuletan dan meningkatkan tegangan sisa di dalam material. Sampel yang dipanaskan pada

temperatur 650°C memiliki kekuatan tarik paling tinggi yaitu 847,75 MPa, sedangkan kekuatan mulur paling tinggi dimiliki sampel yang dipanaskan pada temperatur 900°C yaitu 640,75 Pa. Sifat getas yang dimiliki sampel *quenching* disebabkan fasa martensit yang terbentuk selama pendinginan terjadi [28], pendinginan cepat yang dilakukan menghasilkan struktur mikro yang lebih kecil dan halus sehingga dislokasi sukar terjadi dan kekuatan serta kekerasan material meningkat [27].



Gambar 4.5 Kurva *Stress-Strain* Sampel Setelah *Heat Treatment*

Gambar 4.5 menampilkan perbandingan hasil uji tarik sampel secara keseluruhan dan diketahui bahwa sampel dengan pendinginan *water cooling* yang dipanaskan pada temperatur 650°C memiliki kekuatan tarik paling tinggi yaitu 847,75 MPa. Sampel dengan kekuatan tarik paling rendah adalah sampel dengan

metode *furnace cooling* yang dipanaskan pada temperatur 900°C, dimana nilai kekuatan tariknya hanya 709 MPa. Dalam percobaan ini *heat treatment* yang dilakukan mempengaruhi perubahan struktur mikro dan fasa yang terbentuk sesuai pada laju pendinginan yang diterapkan. Pada pendinginan lambat dengan *furnace cooling* dan *air cooling* menghasilkan susunan struktur mikro yang hampir sama dengan fasa yang terbentuk adalah perlit dan ferit.

Perbedaannya terletak pada sampel dengan pendinginan lambat *furnace cooling* memiliki ukuran butir yang lebih besar dan tidak seragam, dari struktur dan fasa yang terbentuk ini menghasilkan sampel yang kekuatan dan keuletan yang lebih baik. Sedangkan pada pendinginan cepat dengan *water cooling* struktur mikro yang dihasilkan lebih halus dan rapat dengan fasa martensit yang dominan terbentuk. Faktor selanjutnya yang dapat mempengaruhi perubahan sifat mekanik material adalah dislokasi, cacat, dan peningkatan kekasaran permukaan. Deformasi akibat uji tarik yang dilakukan meningkatkan dislokasi, cacat, dan kekasaran permukaan sampel yang dapat diperhatikan dari kekuatan sampel yang semakin menurun akibat deformasi setelah uji tarik.

Namun jika dilakukan perbandingan dengan sifat mekanik sampel tanpa perlakuan, dapat dilihat penurunan kekuatan sampel terjadi cukup signifikan. Parameter yang digunakan selama *heat treatment* kembali ditelaah dan diketahui faktor yang dapat mempengaruhi sifat akhir material meliputi temperatur pemanasan, *holding time*, media pendingin, serta komposisi material yang digunakan itu sendiri. Jenis material yang digunakan sebagai sampel hanya satu yaitu *thin foil stainless steel 304*, variasi pengujian dilakukan pada media pendingin

dan temperatur pemanasan yang digunakan. Faktor terakhir yang tidak divariasikan adalah *holding time*, semua sampel mengalami *holding time* yang sama.

Penggunaan *holding time* seharusnya disesuaikan dengan temperatur serta media pendingin yang akan digunakan. Karena akan memberikan efek sifat mekanik yang berbeda, *holding time* yang terlalu lama berpeluang menurunkan kekerasan serta kekuatan material [48]. Selain itu temperatur tinggi yang digunakan mempermudah difusi terjadi sehingga fasa terus mengalami pertumbuhan berlebih ditambah dengan *holding time* yang lambat, maka semakin banyak kesempatan atom untuk berdifusi. Meski pendinginan cepat yang dilakukan, kekuatan sampel tetap mengalami penurunan karena terjadi *overheating* dan pelunakan pada sampel akibat dislokasi yang bebas bergerak pada temperatur tinggi [48].

4.3 Konduktivitas Sampel Setelah *Heat Treatment*

Konduktivitas atau kemampuan hantar menjadi salah satu sifat yang harus dimiliki material yang akan digunakan dalam pembuatan perangkat elektronik. *Stainless steel* umumnya memiliki resistansi yang tinggi berkisar $694 \mu\Omega\text{m}$, namun konduktivitasnya lebih rendah dibanding jenis material lainnya, konduktivitas termal *stainless steel* berkisar $16,2 \text{ W/mK}$ dan konduktivitas listriknya $1,44 \times 10^6 \text{ s/m}$ [11]. Konduktivitas termalnya juga mudah terpengaruhi selama proses produksi dilakukan, pengujian konduktivitas termal setelah *heat treatment* dilakukan untuk mengetahui apakah konduktivitas termal dapat ditingkatkan melalui *heat treatment*. Hasil pengujian pada sampel yang telah melalui *heat treatment* dapat dilihat pada Tabel 4.6.

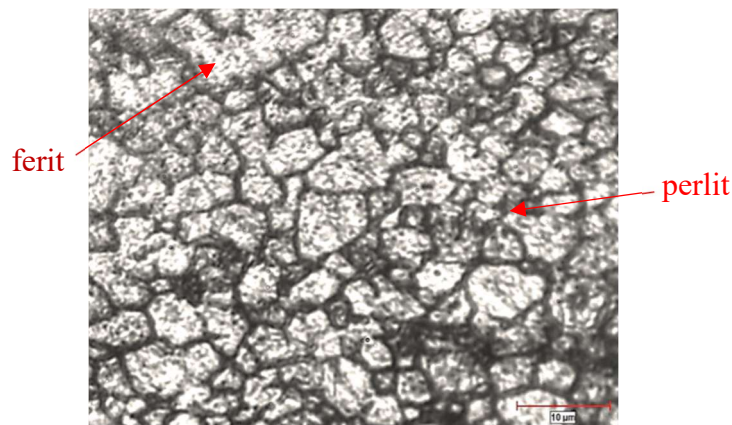
Tabel 4.6 Nilai Konduktivitas Termal Sampel Uji Setelah *Heat Treatment*

Perlakuan (°C)	Waktu (s)	x (mm)	T (°C)		Konduktivitas (W/m.K)
			P1	P2	
<i>Furnace Cooling</i> (900)	541	2	60,7	40,5	19,98
<i>Furnace Cooling</i> (650)	914	2	61,2	40,5	19,49
<i>Furnace Cooling</i> (400)	848	2	62,2	40,2	18,34
<i>Air Cooling</i> (900)	508	2	60	40,2	20,38
<i>Air Cooling</i> (650)	902	2	63,2	40,1	17,47
<i>Air Cooling</i> (400)	832	2	63,7	40,4	17,32
<i>Water Cooling</i> (900)	515	2	60,3	40,5	20,38
<i>Water Cooling</i> (650)	911	2	62,7	40	17,78
<i>Water Cooling</i> (400)	840	2	64,6	40,4	16,67

Sampel hasil *quenching* dan *normalizing* membutuhkan waktu lebih singkat untuk mencapai kondisi tunak, sedangkan sampel yang didinginkan dengan metode *furnace cooling* membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai keadaan tunak pada setiap temperatur. Secara umum penurunan konduktivitas *stainless steel* dapat dipengaruhi beberapa faktor seperti cacat, kekasaran permukaan, oksidasi, ataupun adanya korosi [12]. Jika dibandingkan dengan nilai konduktivitas sampel sebelum *heat treatment*, konduktivitas sampel mengalami peningkatan. *Heat treatment* yang dilakukan mampu meminimalisir penurunan kemampuan hantar panas material karena deformasi plastis yang terjadi akibat uji tarik.

4.4 Analisa Struktur Mikro Setelah *Heat Treatment*

Berdasarkan hasil uji yang dilakukan, *heat treatment* dan deformasi plastis yang terjadi pada sampel berpengaruh terhadap sifat mekanik dan konduktivitas termal sampel. Konduktivitas sampel mengalami peningkatan setelah *heat treatment*, namun sifat mekanik sampel justru mengalami penurunan terutama pada sampel yang dipanaskan hingga temperatur austenisasi. Karenanya struktur mikro sampel dianalisa untuk mengetahui fasa yang terbentuk, sampel pertama yang diamati adalah sampel hasil *annealing* yang dipanaskan pada temperatur berbeda dengan *holding time* 60 menit. *Annealing* dengan metode *furnace cooling* dilakukan bertujuan meningkatkan keuletan material [33].

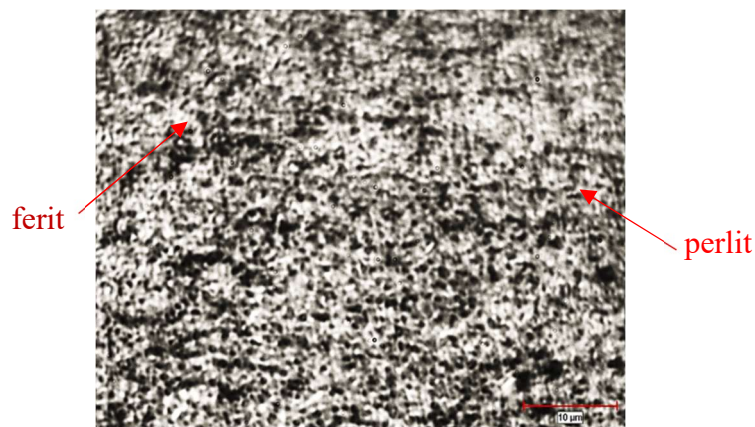


Gambar 4.6 Struktur Mikro Sampel *Furnace Cooling* Pada Temperatur Pemanasan 650°C

Struktur perlit memiliki bentuk *lamellar* (berlapis) di antara fasa ferit yang berwarna terang dan sementit yang lebih gelap [34]. Sifat mekanik yang tercipta pada material yang memiliki fasa perlit dan ferit dalam struktur mikronya akan memiliki sifat yang lebih lunak dan ulet. Pada Gambar 4.6 ditunjukkan hasil metalografi sampel hasil *furnace cooling* dari pemanasan 650°C, fasa yang terbentuk meliputi ferit dan perlit seperti yang ditunjukkan pada gambar. Struktur

mikro yang terbentuk membentuk butir besar dan melalui ImageJ diketahui ukuran rata-rata butir sampel hasil *furnace cooling* adalah 620,214 μm .

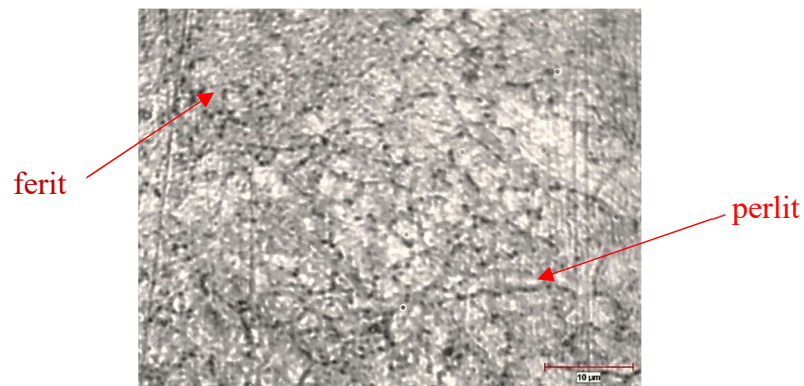
Sedangkan pada Gambar 4.7 ditunjukkan hasil metalografi sampel hasil *furnace cooling* dari pemanasan 400°C, melalui ImageJ diketahui rata-rata ukuran butirnya diketahui pada kisaran 472,806 μm . Perbedaan yang terlihat pada hasil ImageJ sampel hasil *furnace cooling* pada temperatur 400°C dan 650°C adalah ukuran struktur mikro yang terbentuk lebih kecil dari sampel hasil *furnace cooling* pada temperatur 650°C. Pada sampel hasil *furnace cooling* semakin tinggi temperatur pemanasan yang digunakan didapati bahwa rata-rata ukuran butir turut mengalami peningkatan. Semakin meningkatnya ukuran butir menyebabkan semakin menurunnya kekuatan material seperti yang dapat dilihat melalui hasil uji tarik, namun konduktivitas termal sampel membaik.



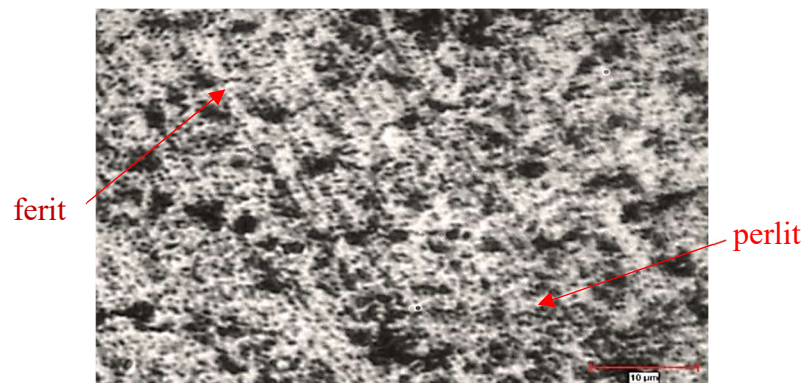
Gambar 4.7 Struktur Mikro Sampel *Furnace Cooling* Pada Temperatur Pemanasan 400°C

Selanjutnya analisa struktur mikro dilakukan pada sampel hasil *air cooling*, dimana sampel mengalami pendinginan dengan metode *air cooling*. Secara umum *air cooling* bertujuan untuk menurunkan tegangan sisa pada material, fasa yang terbentuk pada laju pendinginan ini didominasi ferit dan perlit dengan ukuran dan

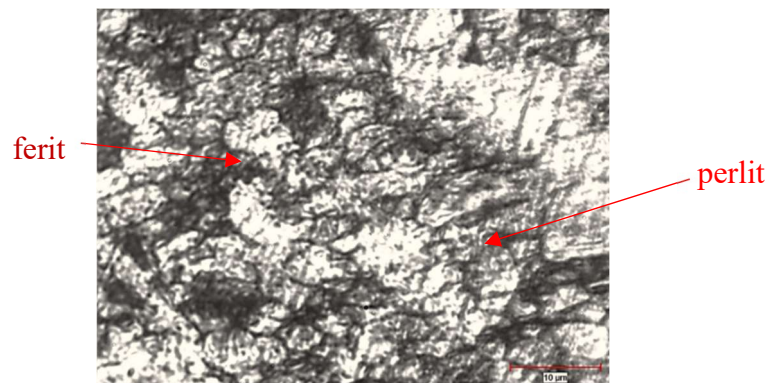
persebaran yang lebih seragam dibandingkan hasil *furnace cooling*. Dari pengujian yang sebelumnya dilakukan diketahui bahwa kekuatan material mengalami peningkatan dibanding sampel pada laju pendinginan lambat. Konduktivitas termal sampel juga mencapai nilai tertinggi pada sampel hasil *air cooling*.



Gambar 4.8 Struktur Mikro Sampel *Air Cooling* Hasil Pemanasan 900°C



Gambar 4.9 Struktur Mikro Sampel *Air Cooling* Hasil Pemanasan 650°C



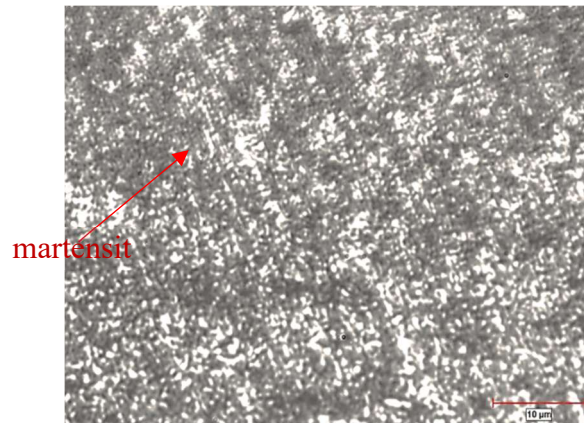
Gambar 4.10 Struktur Mikro Sampel *Air Cooling* Hasil Pemanasan 400°C

Pada Gambar 4.8 ditunjukkan struktur mikro sampel temperatur 900°C rata-rata ukuran butirnya 384,082 μm . Sampel temperatur 650°C memiliki rata-rata ukuran butir 791,676 μm dan pada sampel temperatur 400°C rata-rata ukuran butirnya 441,063 μm . Pada *air cooling* fasa yang terbentuk adalah ferit dan perlit sama seperti pada pendinginan lambat dengan *furnace cooling*. Hasil uji tarik pada sampel hasil *air cooling* menunjukkan bahwa kekuatan sampel membaik, selain itu konduktivitas termal sampel juga mencapai nilai terbaiknya.

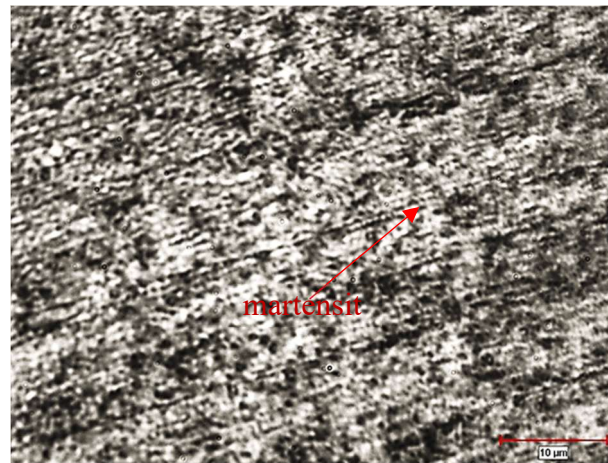
Ketiga sampel terakhir dilakukan *water cooling*, dimana setelah pemanasan akan dilakukan pendinginan cepat dengan air [27]. Pendinginan cepat ini menghasilkan struktur mikro yang kecil menyerupai jarum yang halus dan rapat karena banyak atom terjebak dalam struktur mikro material akibat proses difusi terlalu singkat. Struktur mikro sampel terlihat jelas pada hasil metalografi sampel yang dipanaskan pada temperatur 900°C karena austenisasi terjadi sehingga rekristalisasi dapat terjadi dengan baik. Rata-rata ukuran butir sampel *water cooling* adalah 215,336 μm pada temperatur 900°C, 102,902 μm pada temperatur 650°C, dan 268,891 μm pada temperatur 400°C. Tampilan struktur mikro sampel dengan media air setelah *heat treatment* pada temperatur 900°C, 650°C, dan 400°C.



Gambar 4.11 Struktur Mikro Sampel *Water Cooling* Hasil Pemanasan 900°C



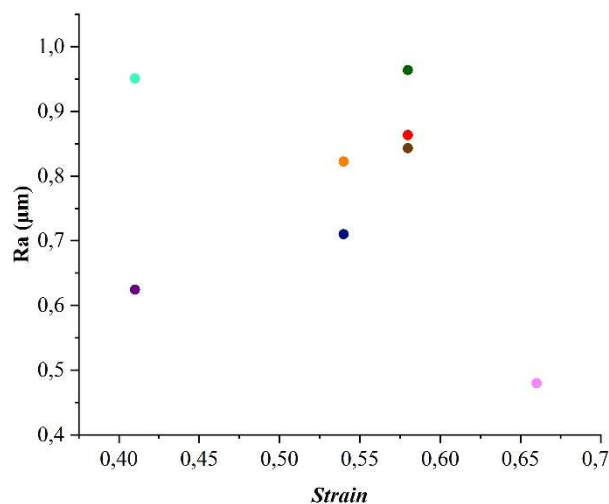
Gambar 4.12 Struktur Mikro Sampel *Water Cooling* Hasil Pemanasan 650°C



Gambar 4.13 Struktur Mikro Sampel *Water Cooling* Hasil Pemanasan 400°C

Struktur mikro yang rapat ini meminimalisir terjadinya dislokasi pada material, karenanya kekuatan dan kegetasan meningkat. Peningkatan kekuatan dapat dilihat dari hasil uji tarik dilakukan dimana kekuatan material membaik namun elongasinya menurun. Namun pada sampel hasil *water cooling* penurunan kekuatan tarik pada temperatur pemanasan 900°C. Pada sampel yang dipanaskan pada temperatur 900°C, *holding time* yang terlalu lama justru menghasilkan rata-rata ukuran butir yang lebih besar pada keseluruhan area sehingga meningkatkan kekasaran permukaan dan menurunkan kekuatan material.

Selanjutnya kekasaran permukaan material diamati, hasil metalografi yang yang didapat kemudian diolah menggunakan *software* ImageJ untuk mengetahui %area pada struktur mikro sampel yang akan digunakan dalam perhitungan Ra. Peningkatan kekasaran permukaan pada material menjadi faktor terbesar dalam kerusakan sifat mekanik karena adanya pengaruh *size effect*. Deformasi yang muncul akibat uji tarik yang sebelumnya dilakukan menjadi pemicu peningkatan kekasaran permukaan material. Hasil perhitungan perbandingan Ra dan regangan ditunjukkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Perbandingan Ra dan Regangan pada Sampel Setelah *Heat Treatment*

Kekasaran permukaan pada sampel menjadi salah satu faktor yang paling dihindari dari aplikasi material tipis. Peningkatan kekasaran permukaan pada material tipis dapat merusak sifat mekanik material, peningkatan kekasaran permukaan material dapat menurunkan kekuatan hingga memperpendek umur pakai material karena meningkatnya potensi korosi. Sebagai data tambahan dilakukan perhitungan dari data yang didapat dari hasil ImageJ dan didapat bahwa

sampel yang dipanaskan pada temperatur 650°C dengan pendinginan *air cooling* memiliki kekasaran permukaan paling tinggi yaitu 0,96 μm pada gambar ditandai dengan titik berwarna hijau. Sedangkan sampel dengan kekasaran permukaan paling rendah adalah sampel yang dipanaskan pada temperatur 650°C dengan pendinginan *water cooling* dengan nilai sebesar 0,48 μm pada gambar ditandai dengan titik berwarna ungu muda.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Setelah *heat treatment* dan uji tarik dilakukan dapat disimpulkan bahwa *quenching* dapat membantu meningkatkan sifat mekanik, dimana sampel pada pemanasan 650°C dengan laju pendinginan cepat *water cooling* memiliki UTS 847,75 MPa, *yield strength* 449, 75 MPa, dan elongasi 58,3%.
2. *Heat treatment* pada sampel yang akan mengalami deformasi membantu dalam meningkatkan kemampuan hantar panas material dilihat dari perbandingan antara sampel yang mengalami pemanasan dan tidak, dimana konduktivitas termal sampel paling baik diperoleh pada sampel yang dipanaskan pada temperatur 900°C pada pendinginan *air cooling*, kisaran waktu yang dibutuhkan untuk mencapai kondisi tunak adalah 508 detik atau sekitar 8 menit dan konduktivitas termalnya sekitar 20,38 W/mK.
3. Sebagai tambahan didapati bahwa kekasaran permukaan mengalami peningkatan dengan kenaikan paling tinggi pada sampel yang dipanaskan pada temperatur 650°C dan pendinginan *air cooling* memiliki kekasaran permukaan paling tinggi yaitu 0,96 μm .

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya, sebagai berikut:

1. Menentukan *holding time* ataupun parameter lainnya menyesuaikan pada tujuan akhir yang ingin dicapai, pertimbangkan jenis material ataupun keadaan material yang akan digunakan sebelum *heat treatment* dilakukan.
2. Melakukan pengujian kinerja elektronik menggunakan metode-metode lain seperti pengujian korosi, resistivitas ataupun kemampuan hantar listrik material.
3. Menggunakan jenis material yang berbeda dalam pengujian sehingga ada bahan pembanding yang dapat digunakan sebagai bahan baku perangkat elektronik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sholley, *Electronic Materials Science: An Introduction*, Wiley, 2017.
- [2] I. Filippou, V. Tselepi and K. Ellinas, "A Review of Microfabrication Approaches for The Development of Thin, Flattened Heat Pipes and Vapor Chambers for Passive Electronic Cooling Applications," *Micro and Nano Engineering*, pp. 1-18, 2024.
- [3] ASTM International, "ASTM A240/A240M - Standard Specification for Chromium-Nickel-Austenitic Stainless Steel Sheet, Strip, Plate, and Coil".
- [4] F. Tavakkoli, S. Ebrahimi, S. Wang and K. Vafai, "Analysis of Critical Thermal Issues in 3D Integrated Circuits," *Heat Mass Transfer*, pp. 337-352, 2016.
- [5] Margono, B. H. Priyambodo and K. C. Nugroho, "Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C," *Creative Research in Engineering*, vol. I, no. 2, pp. 60-66, 2021.
- [6] A. Aziz and M. Yang, "Effect of Martensitic Transformation and Grain Size on the Surface Roughening Behavior in SUS 304 and SUS 316 Thin Metal Foils," vol. I, pp. 167-182, 2020.
- [7] T. Muhandarman, *Mikroskopi Elektron untuk Karakterisasi Struktur Mikro*, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 2020.
- [8] W. D. J. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 10th ed., John Wiley & Sons, 2020.
- [9] J. Safitri, M. Yusfi and Astuti, "Rancang Bangun Alat Ukur Resistivitas pada Lapisan Tipis Menggunakan Metode 4 Probe Berbasis ATmega8535 dengan Tampilan LCD Karakter 2 X 16," *Jurnal Fisika Unand*, vol. III, no. 2, pp. 65-73, 2014.
- [10] Y. Miaoa, M. C. Rajagopalb, K. Valavalab, K. Moa, Z.-G. Meia, S. Bhattacharya, L. Jamison, S. Sinha and A. M. Yacout, "An Exploration of Measuring Lower-Length-Scale Structures in Nuclear Materials: Thermal Conductivity of U-Mo Fuel Particle," *Nuclear Materials*, pp. 1-22, 2019.

- [11] A. Al-Saadawi, M. El-Shenawy, A. Ashraf and A. Abdel-Aleem, "Aplication of Thin Foil Stainless Steel in Contruction," vol. 146, 2020.
- [12] R. McGlen, R. Jachuck and S. Lin, "Integrated Thermal Management Techniques for High Power Electronic Devices," *Applied Thermal Engineering*, vol. 24, no. 8-9, pp. 1143-1156, 2004.
- [13] ASTM, "Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus. B117-11," 2011.
- [14] E. Didik, Mardjuki and Jumiadi, "Analisa Pengaruh Deformasi Plastis Terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan pada Baja ST 42," *Transmisi*, vol. XI, no. 1, pp. 19-26, 2015.
- [15] W. D. J. Callister and D. G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering An Introduction*, 10th ed., Amerika Serikat: ohn Wiley & Sons, Inc, 2018.
- [16] B. Budiana, F. Nakul, N. Wivanius, B. Sugandi, R. Yolanda, D. Aminullah and I. Saputra, "Analisis Kekasaran Permukaan Besi ASTM36 dengan menggunakan Surftest dan Image –J," *Applied Electrical Engineering*, vol. IV, no. 2, pp. 49-54, 2020.
- [17] G. Krauss, *Steels: Heat Treatment and Structure*, 2nd ed., ASM International, 1994.
- [18] H. Bhadeshia, *Materials Science*, 4th ed., Elsevier, 2017.
- [19] H. Hestiawan, Zuliantoni and D. Febriyanto, "Heat Treatment Effect on Mechanical Properties of JIS SCM4 Steel," *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin: Rekayasa Mekanik*, vol. 3, no. 2, 2019.
- [20] L. J. da Silva, D. M. Souza, D. B. de Araújo, R. P. Reis and A. Scotti, "Concept and Validation of an Active Cooling Technique to Mitigate Heat Accumulation in WAAM," *Advanced Manufacturing Technology*, vol. 107, no. 5, 2020.
- [21] Y. Bai, D. Wang, Y. Yang and H. Wang, "Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Maraging Steel by Selective Laser Melting," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 760, pp. 105-117, 2019.
- [22] Y. Li, L. Wang, X. Wu and J. Li, "Effect of Annealing Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of 304 Stainless Steel Thin Foil," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 725, pp. 501-508, 2018.

- [23] R. E. Purwanto, Subagiyo, A. Murdani and Listiono, *Perlakuan Bahan*, 1st ed., Malang: Polinema Press, 2016.
- [24] H. Godin, J.-D. Mithieux, C. Parrens, G. Badinier, M. Sennour, A. Françoise and G. Lorenzon, "Effects of Cooling Path and Resulting Microstructure on the Impact Toughness of a Hot Stamping Martensitic Stainless Steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 742, pp. 597-607, 2020.
- [25] S. Sharma, A. Dubey and S. Sharma, "Influence of Normalizing on the Electrical Conductivity of Stainless Steel Thin Foils," *Materials Research*, vol. 14, no. 1, 2015.
- [26] M. Djuanda and T. B. Prakoso, *Struktur Mikro dan Sifat Material*, Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2021.
- [27] A. Gupta, "Effect of Normalizing Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of AISI 304 Stainless Steel Thin Foil," 2016.
- [28] G. Totten and D. S. MacKenzie, *Handbook of Quenching and Distortion Control*, 2nd ed., ASM International, 2006.
- [29] E. Tkachev, S. Borisov, A. Belyakov, T. Kniaziuk, O. Vagina, S. Gaidar and R. Kaibyshev, "Effect of Quenching and Tempering on Structure and Mechanical Properties of a Low-Alloy 0.25C Steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 868, 2023.
- [30] R. A. Linberg, W. A. Craig and L. H. Amstead, *Heat Treatment of Metals*, ASM International, 1999.
- [31] D. R. Askeland and W. J. Wright, *The Science and Engineering of Materials*, 7th ed., Cengage Learning, 2018.
- [32] S. Sumiyanto and A. Abdunnaser, "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon ASTM A-36," *Bina Teknika*, vol. 11, 2017.
- [33] R. Purwanto, "Perlakuan Bahan", Malang: Polinema Press, 2016.
- [34] Sumiyanto and A. Abdunnaser, "Pengaruh Media Pendingin Terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Plat Baja Karbon ASTM A-36," *Bina Teknika*, vol. 11, p. 155, 2017.
- [35] W. D. Calister and D. G. Rethwisch, *Material Science and Engineering: An Introduction*, Wiley, 2013.

- [36] "TWI Global," TWI Limited, [Online]. Available: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-are-the-microstructural-constituents-austenite-martensite-bainite-pearlite-and-ferrite>. [Accessed 15 December 2024].
- [37] R. C. M. C. F. K.H. Buschow, B. Ilshner, E. J. Kramer and S. Mahajan, *Encyclopedia of Materials: Science and Technology*, vol. XI, Elsevier Science Ltd., 2001.
- [38] Y. Li, Z. Lu, T. Li, D. Li, J. Lu, P. K. Liaw and Y. Zou, "Effect of drawing speed on surface roughness and mechanical properties of 7050 aluminum alloy thin foil. *Materials*," 2020.
- [39] A. Bhowmik and M. A. Khan, "Surface Roughness Analysis and Prediction in Cold Rolling of AA1050 Aluminum Alloy Using Artificial Neural Network," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 251, pp. 152-162, 2018.
- [40] X. Y. Li, W. D. Li, Z. G. Yang, C. F. Wang and H. B. Li, "Effect of Tempering Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of CrMnNi Stainless Steel Thin Foils," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 33, pp. 1234-1242, 2023.
- [41] E. Gadelmawla, M. Koura, T. Maksoud, I. Elewa and H. Soliman, "Roughness parameters," *Journal of Material, Process, and Technology*, vol. 123, pp. 133-145, 2002.
- [42] W. Zhang, W. Sun, Z. Chen, F. Liu, L. Ma and Y. Wang, "Effect of Tempering Temperature on the Microstructure and Mechanical Properties of CrMnNi Stainless Steel Thin Foils," *Materials Science and Engineering: A*, 2023.
- [43] X. Wang, C. Liu, Y. Qin, Y. Li, Z. Yang, X. Long, M. Wang and F. Zhang, "Effect of Tempering Temperature on Microstructure and Mechanical Properties of Nanostructured Bainitic Steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 832, 2022.
- [44] M. Pang, Z. Xiaoming, P. Chen and X. B. Su, "The Effect of Chemical Composition and Annealing Condition Oon the Microstructure and Tensile Properties of a Resource-Saving Duplex Stainless Steel," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 788, 2020.
- [45] P. Kejzlar, J. Machuta and I. Nová, "Comparison of the Structure of CuZn40MnAl Alloy Casted into Sand and Metal Moulds," *Manufacturing Technology*, vol. 17, 2017.

- [46] Y. Lin, Y. Liu, K. Chou and Q. Shu, " Effects of Oxygen Atmosphere, FeO x and Basicity on Mineralogical Phases of $\text{CaO-SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-P}_2\text{O}_5$ Steelmaking Slag," *Ironmaking & Steelmaking*, vol. 46, 2018.
- [47] A. Bhanage and P. Krishnan, "Sub-zero Quasi-static and Fatigue Behavior of SAE 1040 Automotive Anti-roll Bars in Flexure," *SAE International Journal of Passenger Cars - Electronic and Electrical Systems*, vol. 16, 2023.
- [48] Y. Li, Z. Lu, T. Li, D. Li, J. Lu, P. K. Liaw and Y. Zou, "Effects of Surface Severe Plastic Deformation on the Mechanical Behavior of 304 Stainless Steel," *Journal of Materials Science*, vol. 10, 2020.
- [49] EUROLAB, "EUROLAB Laboratory Service," 2017. [Online]. Available: <https://www.laboratuar.com/id/testler/astm-testleri/astm-e345-metalik-folyo-cekme-testi-icin-standart/>. [Accessed 16 May 2024].
- [50] Toppr, "Toppr," 2023. [Online]. Available: <https://www.toppr.com/guides/physics/elasticity/plastic-deformation/>. [Accessed 18 May 2024].
- [51] A. Gupta, S. Sharma, A. Jha and A. Goyal, "The Effect of Plastic Deformation and Heat Treatment on the Mechanical Properties of Aluminum Alloy Thin Foils," *Materials Science and Engineering:A*, vol. 702, pp. 110-119, 2017.

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

Lampiran A. Contoh Perhitungan

A.1. Perhitungan luas penampang awal

Diketahui:

$$t = 0,1 \text{ mm}$$

$$L = 4 \text{ mm}$$

Perhitungan

$$A_0 = 0,1 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} = 0,4 \text{ mm}^2$$

A.2. Perhitungan *Engineering Stress*

Diketahui:

$$A_0 = 0,4 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan pada sampel sebelum *heat treatment*:

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A_0}$$

$$\sigma_0 = \frac{0,00}{0,4} = 0 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = \frac{65,60}{0,4} = 164 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{135,80}{0,4} = 339,50 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{215,50}{0,4} = 538,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{297,10}{0,4} = 742,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_5 = \frac{318,10}{0,4} = 792,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_6 = \frac{335,60}{0,4} = 839 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_7 = \frac{348,30}{0,4} = 870,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_8 = \frac{325,50}{0,4} = 813,75 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_9 = \frac{356,40}{0,4} = 891 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{10} = \frac{358,10}{0,4} = 895,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{11} = \frac{360,10}{0,4} = 900,25 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{12} = \frac{195,50}{0,4} = 488,75 \text{ N/mm}^2$$

Contoh konversi nilai tegangan ke N/m^2 atau Pa pada sampel tanpa perlakuan

$$\sigma_1 = \frac{65,60}{0,4} = 164 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_1 = 164 \text{ N/mm}^2 = 164 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

A.3. Perhitungan *Engineering Strain*

Diketahui:

$$P_0 = 24 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan pada sampel sebelum *heat treatment*:

$$\epsilon_n = \frac{F_n}{A_0}$$

$$\epsilon_0 = \frac{0,00}{24} = 0$$

$$\epsilon_1 = \frac{1,00}{24} = 0,0417$$

$$\epsilon_2 = \frac{2,00}{24} = 0,0833$$

$$\epsilon_3 = \frac{3,00}{24} = 0,1250$$

$$\epsilon_4 = \frac{4,00}{24} = 0,1667$$

$$\epsilon_5 = \frac{5,00}{24} = 0,2083$$

$$\epsilon_6 = \frac{6,00}{24} = 0,25$$

$$\epsilon_7 = \frac{7,00}{24} = 0,2917$$

$$\epsilon_8 = \frac{8,00}{24} = 0,3333$$

$$\epsilon_9 = \frac{9,00}{24} = 0,3750$$

$$\epsilon_{10} = \frac{10,00}{24} = 0,4167$$

$$\epsilon_{11} = \frac{11,00}{24} = 0,4583$$

$$\epsilon_{12} = \frac{12,00}{24} = 0,5$$

A.4. Perhitungan % Elongasi

Diketahui:

$$P_0 = 24\text{mm}$$

$$\%E = \frac{\Delta l}{P_0} \times 100\%$$

Perhitungan pada sampel sebelum *heat treatment*:

$$\%E = \frac{(36-24)}{24} \times 100\% = 50\%$$

Perhitungan pada sampel *furnace cooling* temperatur 900°C:

$$\%E = \frac{(39-24)}{24} \times 100\% = 62,5\%$$

Perhitungan pada sampel *furnace cooling* temperatur 650°C:

$$\%E = \frac{(38-24)}{24} \times 100\% = 58,3\%$$

Perhitungan pada sampel *furnace cooling* temperatur 400°C:

$$\%E = \frac{(38-24)}{24} \times 100\% = 58,3\%$$

Perhitungan pada sampel *air cooling* temperatur 900°C:

$$\%E = \frac{(34-24)}{24} \times 100\% = 41,7\%$$

Perhitungan pada sampel *air cooling* temperatur 650°C:

$$\%E = \frac{(38-24)}{24} \times 100\% = 58,3\%$$

Perhitungan pada sampel *air cooling* temperatur 400°C:

$$\%E = \frac{(37-24)}{24} \times 100\% = 54,2\%$$

Perhitungan pada sampel *water cooling* temperatur 900°C:

$$\%E = \frac{(34-24)}{24} \times 100\% = 41,7\%$$

Perhitungan pada sampel *water cooling* temperatur 650°C:

$$\%E = \frac{(40-24)}{24} \times 100\% = 66,7\%$$

Perhitungan pada sampel *water cooling* temperatur 400°C:

$$\%E = \frac{(37-24)}{24} \times 100\% = 54,2\%$$

A.5. Perhitungan kekasaran permukaan

Diketahui:

$$D_g = 3 \mu\text{m}$$

$$\Delta R_a = C \times \sqrt{D_g} \times \epsilon$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *furnace cooling* temperatur 650°C

$$\Delta R_a = 0,84 \times \sqrt{3} \times 0,58 = 0,86 \mu\text{m}$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *furnace cooling* temperatur 400°C

$$\Delta R_a = 0,86 \times \sqrt{3} \times 0,58 = 0,86 \mu\text{m}$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *air cooling* temperatur 900°C

$$\Delta R_a = 0,88 \times \sqrt{3} \times 0,41 = 0,62 \mu\text{m}$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *air cooling* temperatur 650°C

$$\Delta R_a = 0,96 \times \sqrt{3} \times 0,58 = 0,96 \mu\text{m}$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *air cooling* temperatur 400°C

$$\Delta R_a = 0,76 \times \sqrt{3} \times 0,54 = 0,71 \mu\text{m}$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *water cooling* temperatur 900°C

$$\Delta R_a = 1,34 \times \sqrt{3} \times 0,41 = 0,95 \mu\text{m}$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *water cooling* temperatur 650°C

$$\Delta R_a = 0,42 \times \sqrt{3} \times 0,66 = 0,48 \mu\text{m}$$

Menghitung kekasaran permukaan sampel *water cooling* temperatur 400°C

$$\Delta Ra = 0,88 \times \sqrt{3} \times 0,54 = 0,82 \mu m$$

A.6. Perhitungan konduktivitas termal

Diketahui:

$$A_0 = 0,4 \text{ mm}^2 = 0,0004 \text{ m}^2$$

$$x = 2 \text{ cm} = 0,02 \text{ m}$$

$$k = 16,2 \text{ W/m.K (standar)}$$

Menghitung laju aliran panas pada sampel tanpa perlakuan

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$q = -16,2 \times 0,0004 \times \frac{(40,2-65,1)}{0,02}$$

$$q = 8,07 \text{ W}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *furnace cooling* temperatur 900°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,5-60,7)}{0,02}$$

$$k = 19,97 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *furnace cooling* temperatur 650°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,5-61,2)}{0,02}$$

$$k = 19,49 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *air cooling* temperatur 400°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,2-62,2)}{0,02}$$

$$k = 18,34 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *air cooling* temperatur 900°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,2-60)}{0,02}$$

$$k = 20,37 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *air cooling* temperatur 650°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,1-63,2)}{0,02}$$

$$k = 17,47 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *air cooling* temperatur 400°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,4-63,7)}{0,02}$$

$$k = 17,32 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *water cooling* temperatur 900°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,5-60,3)}{0,02}$$

$$k = 20,38 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *water cooling* temperatur 650°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40-62,7)}{0,02}$$

$$k = 17,77 \text{ W/m.K}$$

Menghitung konduktivitas termal sampel *water cooling* temperatur 400°C

$$q = -k \times A_0 \times \frac{dT}{dx}$$

$$8,07 = -k \times 0,0004 \times \frac{(40,4-64,6)}{0,02}$$

$$k = 16,67 \text{ W/m.K}$$

LAMPIRAN B
DATA PENELITIAN

Lampiran B. Data Penelitian

1. Data Awal *Thin Foil Stainless Steel 304*

Tabel B.1 Data Hasil Pengukuran Awal *Thin Foil Stainless Steel 304*

	Tebal (mm)	Lebar (mm)	Panjang (mm)	Luas Penampang
Sampel	0,1	4	24	0,4

Tabel B.2 Data Hasil Uji Tarik *Thin Foil Stainless Steel 304*

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm²)
0,0	0,00	0,00	0,00
65,6	1,00	0,0417	164
135,8	2,00	0,0833	339,50
215,5	3,00	0,1250	538,75
297,10	4,00	0,1667	742,75
318,10	5,00	0,2083	795,25
335,60	6,00	0,25	839
348,30	7,00	0,2917	870,75
352,50	8,00	0,3333	881,25
356,40	9,00	0,3750	891
358,10	10,00	0,4167	895,25
358,10	11,00	0,4583	900,25
195,50	12,00	0,50	488,75

2. Hasil Uji Tarik *Thin Foil Stainless Steel 304* Setelah *Heat Treatment* dengan *Furnace Cooling*

Tabel B.3 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Furnace Cooling* pada Temperatur 900°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
33,50	1,00	0,0417	83,75
69,50	2,00	0,0833	173,75
103,40	3,00	0,1250	258,50
139,60	4,00	0,1667	349
173,60	5,00	0,2083	434
191,90	6,00	0,25	479,75
226,70	7,00	0,2917	566,75
243,50	8,00	0,3333	608,75
253,10	9,00	0,3750	632,75
264,70	10,00	0,4167	661,75
270,70	11,00	0,4583	676,75
276,50	12,00	0,50	691,25
278,40	13,00	0,5417	696
283,60	14,00	0,5833	709
128,30	15,00	0,6250	320,75

Tabel B.4 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Furnace Cooling* pada Temperatur 650°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
32,60	1,00	0,0416	81,50
68,50	2,00	0,0833	171,25
103,40	3,00	0,1250	258,50
138,50	4,00	0,1667	346,25
149,30	5,00	0,2083	373,25
177,50	6,00	0,25	443,75
235,80	7,00	0,2916	589,50
285,80	8,00	0,3333	714,50
309,00	9,00	0,3750	772,50
314,10	10,00	0,4167	785,25
325,80	11,00	0,4583	814,50
330,90	12,00	0,50	827,25
39,40	13,00	0,5416	98,50
14,50	14,00	0,5833	36,25

Tabel B.5 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Furnace Cooling* pada Temperatur 400°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
28,20	1,00	0,0417	70,50
57,30	2,00	0,0833	143,25

Tabel B.6 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Furnace Cooling* pada Temperatur 400°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
89,40	3,00	0,1250	223,50
127,20	4,00	0,1667	318,00
162,20	5,00	0,2083	405,50
250,10	6,00	0,2500	625,25
280,00	7,00	0,2917	700,00
298,50	8,00	0,3333	746,25
309,10	9,00	0,3750	772,75
322,20	10,00	0,4167	805,50
326,10	11,00	0,4583	815,25
334,90	12,00	0,5000	827,25
336,50	13,00	0,5417	833,75
182,90	14,00	0,5833	457,25

3. Hasil Uji Tarik *Thin Foil Stainless Steel* 304 Setelah *Heat Treatment* dengan *Air Cooling*

Tabel B.7 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Air Cooling* pada Temperatur 900°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
36,40	1,00	0,0417	91,00
73,60	2,00	0,0833	184,00
110,20	3,00	0,1250	275,50

Tabel B.8 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Air Cooling* pada Temperatur 900°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
130,90	4,00	0,1667	377,25
169,20	5,00	0,2083	423,00
232,80	6,00	0,2500	582,00
268,30	7,00	0,2917	670,75
279,00	8,00	0,3333	697,50
292,50	9,00	0,3750	720,00
173,30	10,00	0,4167	433,25

Tabel B.9 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Air Cooling* pada Temperatur 650°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
32,70	1,00	0,0417	81,75
69,40	2,00	0,0833	173,50
105,90	3,00	0,1250	264,75
142,80	4,00	0,1667	357
178,20	5,00	0,2083	445,50
200,40	6,00	0,25	501
269,60	7,00	0,2917	674
297,70	8,00	0,3333	744,25
315,30	9,00	0,3750	788,25
321,80	10,00	0,4167	804,50

Tabel B.10 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Air Cooling* pada Temperatur 650°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
332,60	11,00	0,4583	831,50
333,80	12,00	0,500	834,50
339,70	13,00	0,5417	849,25
19,50	14,00	0,5833	48,75

Tabel B.11 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Air Cooling* pada Temperatur 400°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
34,90	1,00	0,0417	87,25
70,00	2,00	0,0833	175
102,50	3,00	0,1250	256,25
139,00	4,00	0,1667	347,50
177,20	5,00	0,2083	443
261,70	6,00	0,25	654,25
280,00	7,00	0,2917	700
302,20	8,00	0,3333	755,50
319,20	9,00	0,3750	798
332,70	10,00	0,4167	831,75
336,20	11,00	0,4583	840,50
337,60	12,00	0,500	844
73,10	13,00	0,5417	182,75

4. Hasil Uji Tarik Spesimen Setelah *Heat Treatment* dengan *Water Cooling*

Tabel B.12 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Water Cooling* pada Temperatur 900°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
35,30	1,00	0,0417	88,25
70,90	2,00	0,0833	177,25
103,20	3,00	0,1250	258,00
137,40	4,00	0,1667	343,50
175,10	5,00	0,2083	437,75
209,40	6,00	0,2500	523,50
256,30	7,00	0,2917	640,75
273,00	8,00	0,3333	682,50
288,00	9,00	0,3750	731,25
58,90	10,00	0,4167	147,25

Tabel B. 13 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Water Cooling* pada Temperatur 650°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
34,00	1,00	0,0417	85,00
34,30	2,00	0,0833	170,25
34,10	3,00	0,1250	255,75
38,60	4,00	0,1667	352,00
47,90	5,00	0,2083	449,75

Tabel B 14 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Water Cooling* pada Temperatur 650°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
135,50	6,00	0,25	488,75
209,90	7,00	0,2917	524,75
298,70	8,00	0,3333	746,75
306,80	9,00	0,3750	767,00
315,10	10,00	0,4167	787,75
331,60	11,00	0,4583	829,00
335,90	12,00	0,50	839,75
338,00	13,00	0,5417	845,00
339,10	14,00	0,5833	847,75
130,50	15,00	0,6250	326,25
18,20	16,00	0,6667	45,50

Tabel B.15 Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Water Cooling* pada Temperatur 400°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
33,90	1,00	0,0417	84,75
66,10	2,00	0,0833	165,25
100,90	3,00	0,1250	252,25
142,50	4,00	0,1667	356,25
189,60	5,00	0,2083	474
250,60	6,00	0,25	626,50

Tabel B.16 Lanjutan Data Hasil Uji Tarik Spesimen *Water Cooling* pada Temperatur 400°C dan *Holding Time* 60 menit

Beban (N)	l (mm)	Regangan	Tegangan (N/mm ²)
0,00	0,00	0,00	0,00
33,90	1,00	0,0417	84,75
66,10	2,00	0,0833	165,25
100,90	3,00	0,1250	252,25
142,50	4,00	0,1667	356,25
189,60	5,00	0,2083	474
250,60	6,00	0,25	626,50
292,90	7,00	0,2917	732,25

5. Hasil pengujian konduktivitas termal

Tabel B.17 Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal *Thin Foil Stainless Steel 304*

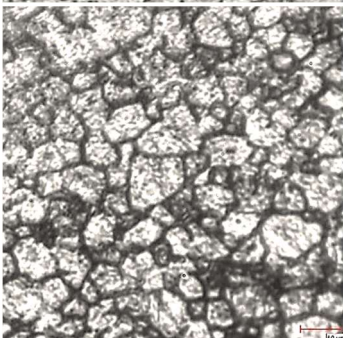
Perlakuan (°C)	t (s)	x (mm)	Temperatur (°C)		Konduktivitas (W/m.K)
			Pelat 1	Pelat 2	
Tanpa perlakuan	1312	2	65,1	40,2	16,20
<i>Furnace cooling</i> (900)	541	2	60,7	40,5	19,98
<i>Furnace cooling</i> (650)	914	2	61,2	40,5	19,49
<i>Furnace cooling</i> (400)	848	2	62,2	40,2	18,34
<i>Air cooling</i> (900)	508	2	60	40,2	20,38
<i>Air cooling</i> (650)	902	2	63,2	40,1	17,47
<i>Air cooling</i> (400)	832	2	63,7	40,4	17,32
<i>Water cooling</i> (900)	515	2	60,3	40,5	20,38

Tabel B.18 Lanjutan Data Hasil Pengujian Konduktivitas Termal *Thin Foil Stainless Steel 304*

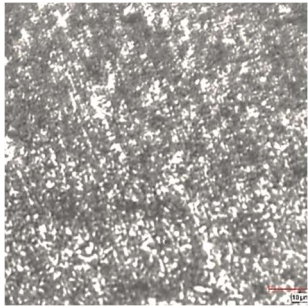
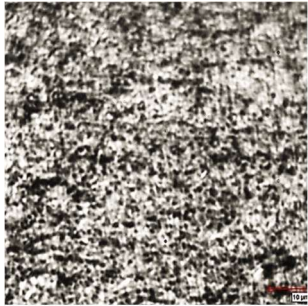
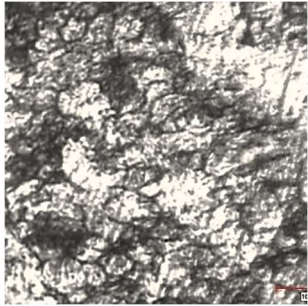
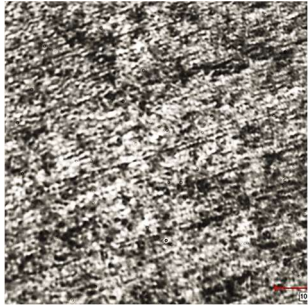
Perlakuan (°C)	t (s)	x (mm)	Temperatur (°C)		Konduktivitas (W/m.K)
			Pelat 1	Pelat 2	
<i>Water cooling</i> (650)	911	2	62,7	40	17,78
<i>Water cooling</i> (400)	840	2	64,6	40,4	16,67

6. Hasil metalografi sampel *thin foil stainless steel 304*

Tabel B.19 Hasil Metalografi Sampel *Thin Foil Stainless Steel 304*

T (°C)	Perlakuan	Perbesaran 1000
900	<i>Air cooling</i>	
900	<i>Water cooling</i>	
650	<i>Furnace cooling</i>	

Tabel B.20 Lanjutan Hasil Metalografi Sampel *Thin Foil Stainless Steel 304*

T (°C)	Perlakuan	Perbesaran 1000
650	<i>Air cooling</i>	
650	<i>Water cooling</i>	
400	<i>Furnace cooling</i>	
400	<i>Air cooling</i>	
400	<i>Water cooling</i>	

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI ALAT DAN BAHAN

C.1. Alat



Gambar C.1 Cetakan



Gambar C.2 *Furnace Nabertherm*



Gambar C.3 Gunting



Gambar C.4 Jangka Sorong



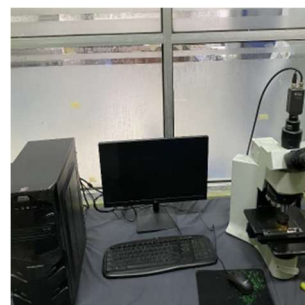
Gambar C.5 Krusibel



Gambar C.6 Mesin *Polishing dan Grinding*



Gambar C.7 Mesin Uji Tarik



Gambar C.8 Mikroskop Optik



Gambar C.9 Penggaris



Gambar C.10 Sarung Tangan



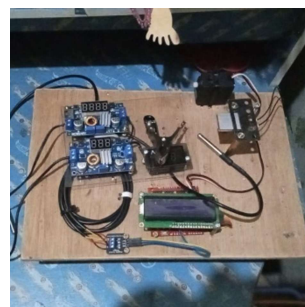
Gambar C.11 Stopwatch



Gambar C.12 Tang Penjepit



Gambar C.13 Wadah



Gambar C.14 Alat Uji Metode *Steady State* 2 Pelat Panas

C.2. Bahan



Gambar C.15 Ampelas



Gambar C.16 *Aquades*



Gambar C.17 Kain Wool



Gambar C.18 Katalis Resin



Gambar C.19 Larutan Asam Nitrat
(HNO₃)



Gambar C.20 Resin



Gambar C.21 Pasta Alumina



Gambar C.22 *Thin Foil Stainless
Steel 304*