

TUGAS AKHIR – TL184834

**STUDI PENGARUH WAKTU PEMANASAN SENSITISASI
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK
STAINLESS STEEL 304 PADA TEMPERATUR 600°C**

THOMAS ALVIN SUGANDA
NRP. 0251184000073

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
NIP. 196203261987011001
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
NIP. 198205262012121002

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



TUGAS AKHIR – TL184834

**STUDI PENGARUH WAKTU PEMANASAN SENSITISASI
TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK
STAINLESS STEEL 304 PADA TEMPERATUR 600°C**

THOMAS ALVIN SUGANDA
NRP. 0251184000073

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
NIP. 196203261987011001
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
NIP. 198205262012121002

Program Studi Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT – TL184834

**STUDY OF THE EFFECT OF SENSITIZATION TIME ON
MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF
304 STAINLESS STEEL AT TEMPERATURE OF 600°C**

THOMAS ALVIN SUGANDA
NRP. 0251184000073

Advisor
Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
NIP. 196203261987011001
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.
NIP. 198205262012121002

Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

(This page is intentionally blank)

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI PENGARUH WAKTU PEMANASAN SENSITISASI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK *STAINLESS STEEL 304* PADA TEMPERATUR 600°C

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Material
Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **THOMAS ALVIN SUGANDA**
NRP. 02511840000073

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA

Pembimbing

2. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

Ko-Pembimbing

3. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc.

Penguji

4. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T.

Penguji

SURABAYA
Juli, 2022

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

APPROVAL SHEET





STUDY OF THE EFFECT OF SENSITIZATION TIME ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 304 STAINLESS STEEL AT TEMPERATURE OF 600°C

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements
for obtaining a degree of bachelor of engineering at
Undergraduate Study Program of Materials Engineering
Departement of Materials and Metallurgical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

By : **THOMAS ALVIN SUGANDA**
NRP. 0251184000073

Approved by Final Project Examiner Team :

- | | | |
|---|---|------------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA |  | Advisor |
| 2. Tubagus Noor Rohmannudin, S.T. M.Sc. |  | Co-Advisor |
| 3. Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. |  | Examiner |
| 4. Mavindra Ramadhani, S.T., M.T. |  | Examiner |

SURABAYA
July, 2022

(This page is intentionally blank)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa/NRP : Thomas Alvin Suganda/02511840000073
Departemen : Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Dosen Pembimbing/NIP : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA/196203261987011001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “STUDI PENGARUH WAKTU PEMANASAN SENSITISASI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK *STAINLESS STEEL* 304 PADA TEMPERATUR 600°C” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 14 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA)
NIP. 196203261987011001

Mahasiswa



(Thomas Alvin Suganda)
NRP. 02511840000073

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student/NRP : Thomas Alvin Suganda/02511840000073
Departement : Department of Materials and Metallurgical Engineering
Advisor/NIP : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA/ 196203261987011001

Hereby declare that the Final Project with the title of "STUDY OF THE EFFECT OF SENSITIZATION TIME ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 304 STAINLESS STEEL AT TEMPERATURE OF 600°C" is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 14th July 2022

Acknowledged

Advisor



(Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA)
NIP. 196203261987011001

Student



(Thomas Alvin Suganda)
NRP. 02511840000073

(This page is intentionally blank)

**STUDI PENGARUH WAKTU PEMANASAN SENSITISASI TERHADAP
STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK *STAINLESS STEEL* 304
PADA TEMPERATUR 600°C**

Nama Mahasiswa / NRP : Thomas Alvin Suganda/02511840000073
Departemen : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Dosen Pembimbing 2 : Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

Abstrak

Stainless steel 304 merupakan salah satu jenis *stainless steel* austenitik yang umum digunakan di industri karena memiliki sifat mekanik yang baik, serta memiliki rentang temperatur kerja yang luas. Akan tetapi, pada temperatur yang tinggi, *stainless steel* 304 rentan mengalami fenomena yang disebut sensitisasi yang dapat mempengaruhi sifat mekanik dan struktur mikro. Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian mengenai sensitisasi *stainless steel* 304 yang diberi perlakuan berupa pemanasan pada temperatur 600°C dengan variasi waktu yaitu 3, 5, dan 7 jam dengan pendinginan yang dilakukan di luar *furnace* dengan media udara, serta satu spesimen tanpa sensitisasi. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik dan kekerasan untuk mendapatkan sifat mekanik dari spesimen, serta metalografi untuk mengamati struktur mikro dari spesimen. Hasil pengamatan metalografi menunjukkan adanya pengaruh waktu sensitisasi terhadap struktur mikro dari *stainless steel* 304 yaitu menyebabkan perubahan struktur dari *step* menjadi *dual* kemudian *ditch*. Sementara itu, terjadi perubahan pada ketebalan batas butir akibat adanya perlakuan panas. Ketebalan batas butir meningkat dari 0,574 μm menjadi 0,760 μm , 1,164 μm , dan 1,651 μm . Variasi waktu sensitisasi juga menyebabkan perubahan sifat mekanik. Kekerasan dari spesimen *stainless steel* 304 mengalami peningkatan dari 163,30 HV menjadi 183,85 HV, 188,10 HV, dan 212,20 HV. Waktu sensitisasi yang semakin panjang juga menyebabkan tren peningkatan kekuatan tarik dari spesimen *stainless steel* 304 dari 656 MPa menjadi 673,5 MPa, 665 MPa, dan 680 MPa. Kekuatan luluh juga mengalami tren peningkatan dari 323 MPa menjadi 325 MPa. Sementara itu, keuletan dari spesimen SS304 mengalami penurunan dari 51,60% menjadi 48,91%, 48,83%, dan 48,70% akibat adanya perlakuan panas.

Kata Kunci: *Austenitic stainless steel, presipitasi kromium karbida, sensitisasi, sifat mekanik, struktur mikro*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDY OF THE EFFECT OF SENSITIZATION TIME ON MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 304 STAINLESS STEEL AT TEMPERATURE OF 600°C

Student Name / NRP : Thomas Alvin Suganda/02511840000073
Departement : Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS
Advisor : Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA
Co-Advisor : Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

Abstract

Stainless steel 304 is one type of austenitic stainless steel that is commonly used in industry because it has good mechanical properties, and has a wide working temperature range. However, at high temperatures, stainless steel 304 is prone to a phenomenon called sensitization that can affect its mechanical properties and microstructures. Therefore, it is necessary to have research on the sensitization of stainless steel 304 which is heat treated at temperature of 600°C with various holding time of 3, 5, and 7 hours, as well as one as received specimen. Cooling process was carried out outside the furnace with air media. The tests carried out are tensile and hardness testing to analyze the mechanical properties of the specimen, as well as metallography to observe the microstructure of the specimen. The results of metallographic observations showed that there was an influence of holding time on the microstructure of stainless steel 304, which caused a change in structure from step to dual, and then ditch structure. Moreover, there is a change in the thickness of the grain boundary due to heat treatment. The grain boundary thickness is increased from 0.574 μm to 0.760 μm , 1.164 μm , and 1.651 μm . Variations in holding time also cause changes in mechanical properties. The hardness of the 304 stainless steel specimen increased from 163.30 HV to 183.85 HV, 188.10 HV, and 212.20 HV. The increase of holding time has also led to a trend of increasing the tensile strength of 304 stainless steel specimens from 656 MPa to 673.5 MPa, 665 MPa, and 680 MPa. Yield strength also experienced an increasing trend from 323 MPa to 325 MPa. Meanwhile, the ductility of the SS304 specimens decreased from 51.60% to 48.91%, 48.83%, and 48.70% due to sensitization.

Keywords: *austenitic stainless steel, chromium carbide precipitation, mechanical properties, microstructure, sensitization*

(This page is intentionally blank)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tugas akhir dengan judul, “STUDI PENGARUH WAKTU PEMANASAN SENSITISASI TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MEKANIK *STAINLESS STEEL* 304 PADA TEMPERATUR 600°C”. terselesaikannya laporan tugas akhir ini tidak luput dari dukungan, bantuan, motivasi, serta partisipasi dari semua pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA dan Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir atas segala ilmu dan bimbingan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir
2. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D., selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FT-IRS ITS
3. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc., selaku dosen wali penulis yang senantiasa memberikan arahan selama masa perkuliahan
4. Bapak/Ibu Dosen yang telah membimbing dan memberikan banyak ilmu kepada penulis
5. Orang tua, keluarga, dan teman penulis yang selalu memberikan dukungan kepada penulis

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan seluruh pihak terkait.

Surabaya, 14 Juli 2022

Penulis

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
APPROVAL SHEET.....	vii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ix
STATEMENT OF ORIGINALITY.....	xi
ABSTRAK.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
KATA PENGANTAR.....	xvii
DAFTAR ISI.....	xix
DAFTAR GAMBAR.....	xxi
DAFTAR TABEL.....	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 <i>Stainless Steel</i>	3
2.1.1 <i>Austenitic Stainless Steel</i>	5
2.1.2 <i>Stainless Steel 304</i>	6
2.2 Sensitisasi pada <i>Austenitic Stainless Steel</i>	6
2.3 Korosi.....	9
2.3.1 Korosi Batas Butir.....	9
2.4 <i>Optical Emmision Spectroscopy</i>	9
2.5 Sifat Mekanik.....	9
2.5.1 Pengujian Tarik.....	10
2.5.2 Kekerasan.....	11
2.6 Metalografi.....	11
2.7 Penelitian Terdahulu.....	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	17
3.1 Diagram Alir.....	17
3.2 Bahan Penelitian.....	18
3.3 Alat Penelitian.....	18
3.4 Metode Penelitian.....	21
3.4.1 Prosedur Preparasi Spesimen.....	21
3.4.2 Prosedur Pemanasan Spesimen.....	23
3.4.3 Prosedur Pengamatan Metalografi.....	23
3.5 Rancangan Penelitian.....	24
3.6 Pengujian.....	24
3.7 Jadwal Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
4.1 Komposisi Kimia Spesimen <i>Stainless Steel 304</i>	27
4.2 Pengamatan Metalografi.....	27
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan.....	31
4.4 Hasil Pengujian Tarik.....	33
4.4.1 Kekuatan.....	33
4.4.2 Keuletan.....	34

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran.....	37
DAFTAR PUSTAKA.....	39
LAMPIRAN.....	43
UCAPAN TERIMA KASIH	69
BIODATA PENULIS.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Schaeffler-Delong.....	3
Gambar 2.2	Diagram fasa (a) Besi-Krom (Fe-Cr) pada kandungan Krom (Cr) sebesar 18% dan (b) Besi-Nikel (Fe-Ni) pada kandungan Krom (Cr) sebesar 18%	5
Gambar 2.3	Struktur mikro <i>stainless steel 304</i>	6
Gambar 2.4	Kurva pengaruh kadar karbon terhadap presipitasi karbida krom; Presipitasi karbida terbentuk pada daerah di sebelah kanan dari masing-masing kurva	7
Gambar 2.5	Presipitasi kromium karbida yang menyebabkan penurunan kadar kromium	7
Gambar 2.6	Struktur (a) <i>step</i> ; (b) <i>ditch</i> dan; (c) <i>dual</i> diamati dengan mikroskop optik dengan perbesaran 250x	8
Gambar 2.7	Kurva <i>stress-strain</i> ; kekuatan tarik ditunjukkan oleh titik M dengan nilai kekuatan tarik sebesar TS	10
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	17
Gambar 3.2	Mesin uji tarik.....	18
Gambar 3.3	Alat uji kekerasan	19
Gambar 3.4	<i>Muffle furnace</i>	19
Gambar 3.5	Mesin poles.....	20
Gambar 3.6	<i>Rectifier</i>	20
Gambar 3.7	Mikroskop optik Olympus BX51M.....	21
Gambar 3.8	Spesimen pengujian OES	21
Gambar 3.9	Spesimen uji tarik sesuai ASTM E8.....	22
Gambar 3.10	Spesimen pengujian kekerasan.....	22
Gambar 3.11	Spesimen metalografi	23
Gambar 4.1	Struktur mikro SS304 dengan waktu sensitisasi (a) tanpa sensitisasi, (b) 3 jam, (c) 5 jam, (d) 7 jam pada perbesaran 500x	28
Gambar 4.2	Struktur mikro SS304 dengan waktu sensitisasi (a) tanpa sensitisasi, (b) 3 jam, (c) 5 jam, (d) 7 jam pada perbesaran 1000x	29
Gambar 4.3	Nilai ketebalan batas butir terhadap variasi waktu sensitisasi.....	31
Gambar 4.4	Nilai kekerasan SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi	32
Gambar 4.5	Nilai kekuatan spesimen SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi.....	34
Gambar 4.6	Nilai elongasi spesimen SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi.....	35

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengaruh unsur paduan pada <i>stainless steel</i>	4
Tabel 2.2	Komposisi unsur <i>stainless steel</i> 304	6
Tabel 2.3	Sifat mekanik <i>stainless steel</i> 304	6
Tabel 2.5	Penelitian terdahulu	12
Tabel 3.1	Dimensi spesimen uji tarik berdasarkan ASTM E8	22
Tabel 3.2	Rancangan Penelitian	24
Tabel 3.3	Jadwal penelitian	25
Tabel 4.1	Perbandingan komposisi kimia SS304 hasil uji OES dengan Handbook Steel Product Manual	27
Tabel 4.2	Struktur yang terbentuk pada spesimen SS304 dengan variasi waktu sensitisasi	28
Tabel 4.3	Hasil pengukuran ketebalan batas butir spesimen SS304	30
Tabel 4.4	Hasil uji kekerasan SS304 dengan variasi waktu sensitisasi	32
Tabel 4.5	Kekuatan SS304 dengan variasi waktu sensitisasi	33
Tabel 4.7	Keuletan SS304 dengan variasi waktu sensitisasi	35

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi pada masa sekarang terus bertumbuh semakin pesat. Pertumbuhan ini dapat dilihat dengan semakin meningkatnya jumlah industri yang membutuhkan teknologi yang semakin canggih. Perkembangan teknologi ini tentunya harus mampu didukung oleh sumber daya agar dapat terus terjadi secara berkesinambungan. Salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat perkembangan dari suatu teknologi adalah kemajuan dari ilmu material. Material merupakan komponen penting yang harus selalu berkembang dengan cara direkayasa sedemikian rupa sehingga bisa memenuhi kebutuhan dari perkembangan teknologi. Material yang sekarang ini banyak digunakan di industri adalah baja.

Secara umum, baja merupakan paduan antara besi (Fe) dengan karbon (C) sebagai paduan utama dengan kadar karbon antara 0,008% hingga 2,14% (Callister Jr & Rethwisch, 2018). Akan tetapi, pada praktiknya terdapat beberapa aplikasi pada industri yang membutuhkan material yang memiliki sifat ketahanan korosi yang lebih baik dari baja. Oleh karena itu, dilakukan rekayasa pada baja dengan menambahkan unsur-unsur paduan lain seperti krom (Cr) hingga 12% untuk mendapatkan sifat tahan korosi yang lebih baik (Lleweuyn & Hudd, 1998). Paduan antara baja dan krom (Cr) ini disebut dengan baja tahan karat (*stainless steel*).

Stainless steel adalah salah satu contoh baja paduan yang digunakan karena memiliki sifat tahan korosi yang lebih baik dari baja karbon akibat adanya unsur paduan berupa krom. Unsur tersebut bereaksi dengan oksigen membentuk lapisan oksida krom (Cr_2O_3) pada permukaan *stainless steel*. Lapisan ini memiliki sifat yang sangat stabil sehingga mampu melindungi *stainless steel* dari korosi atmosfer. *Austenitic stainless steel* merupakan *stainless steel* yang paling banyak digunakan dibanding jenis *stainless steel* yang lain. Alasan utama mengapa *austenitic stainless steel* banyak digunakan adalah sifat dari *austenitic stainless steel* itu sendiri yang sangat mudah dibentuk dan dilas, serta memiliki rentang temperatur kerja yang luas mulai dari temperatur rendah (kriogenik) hingga temperatur tinggi (Pradhan & Matawale, 2020).

Stainless Steel 304 (SS304) merupakan salah satu contoh *stainless steel* austenitik, yang berarti SS304 memiliki struktur dominan berupa austenite. SS304 merupakan *stainless steel* yang banyak digunakan pada berbagai aplikasi karena SS304 memiliki ketahanan terhadap korosi yang baik. SS304 ini banyak digunakan pada aplikasi komponen pesawat seperti poros, katup, dan komponen yang banyak terpapar lingkungan korosif. Selain itu, SS304 juga banyak digunakan sebagai material standar untuk konstruksi berbagai industri karena memiliki ketahanan korosi yang tinggi, kekuatan mekanik yang tinggi, serta *weldability* yang baik (Pradhan & Matawale, 2020). Sementara itu, pada aplikasi temperatur tinggi, *stainless steel 304* digunakan sebagai material dari komponen *superheater* pada *boiler* yang dapat beroperasi pada rentang temperatur 500-700°C. Akan tetapi, pada aplikasi temperatur tinggi ini, SS304 mengalami kegagalan berupa *crack* yang disebabkan oleh fenomena yang disebut dengan sensitisasi (Bahrami et al., 2019).

Sensitisasi adalah fenomena di mana terjadi presipitasi kromium karbida pada batas butir *stainless steel* dan terjadi pada rentang temperatur 450-850°C. Telah dilakukan berbagai penelitian terhadap fenomena sensitisasi yang terjadi pada *stainless steel*, khususnya SS304. Kelidari pada tahun 2020 telah melakukan penelitian terhadap pengaruh sensitisasi terhadap struktur mikro dari SS304 yang dipanaskan pada temperatur 650°C dan 750°C (Kelidari et al., 2020). Agbokwor pada tahun 2019 telah melakukan penelitian mengenai pengaruh sensitisasi terhadap kekuatan tarik dan kekerasan dengan variasi waktu pemanasan pada temperatur 750°C (Ezedinma Agbokwor & Ikechukwu Neife, 2019). Pengaruh sensitisasi terhadap sifat mekanik juga telah dilakukan oleh Sungkono pada tahun 2021 dengan spesimen SS304 yang dipanaskan

pada temperatur 600°C dan waktu tahan selama 30, 60, dan 90 menit. Penelitian yang dilakukan oleh Sungkono menghasilkan sifat mekanik yang relatif sama dengan spesimen yang tidak diberi perlakuan. Oleh karena itu, diperlukan adanya penelitian lebih lanjut mengenai *stainless steel* 304 yang dipanaskan pada temperatur 600°C dengan waktu tahan yang lebih panjang serta pengaruhnya terhadap struktur mikro dan sifat mekanik. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi mengenai perilaku dari SS304 apabila digunakan pada aplikasi yang melibatkan temperatur kerja yang tinggi.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana pengaruh dari waktu sensitisasi terhadap struktur mikro dan sifat mekanik dari *stainless steel* 304 yang dipanaskan pada temperatur 600°C dengan variasi waktu 3, 5, dan 7 jam.

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menggunakan SS304 dengan batasan penelitian sebagai berikut:

1. Temperatur dan tekanan udara pada saat pemanasan dianggap konstan dan stabil
2. Kondisi spesimen SS304 dianggap homogen dan tidak terdapat cacat
3. *Impurities* yang terdapat di dalam spesimen SS304 diabaikan
4. Pengaruh lingkungan selama proses pemanasan diabaikan

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh waktu sensitisasi terhadap struktur mikro *stainless steel* 304 yang dipanaskan pada temperatur 600°C dengan variasi waktu 3, 5, dan 7 jam
2. Menganalisis pengaruh waktu sensitisasi terhadap sifat mekanik *stainless steel* 304 yang dipanaskan pada temperatur 600°C dengan variasi waktu 3, 5, dan 7 jam

1.5 Manfaat Penelitian

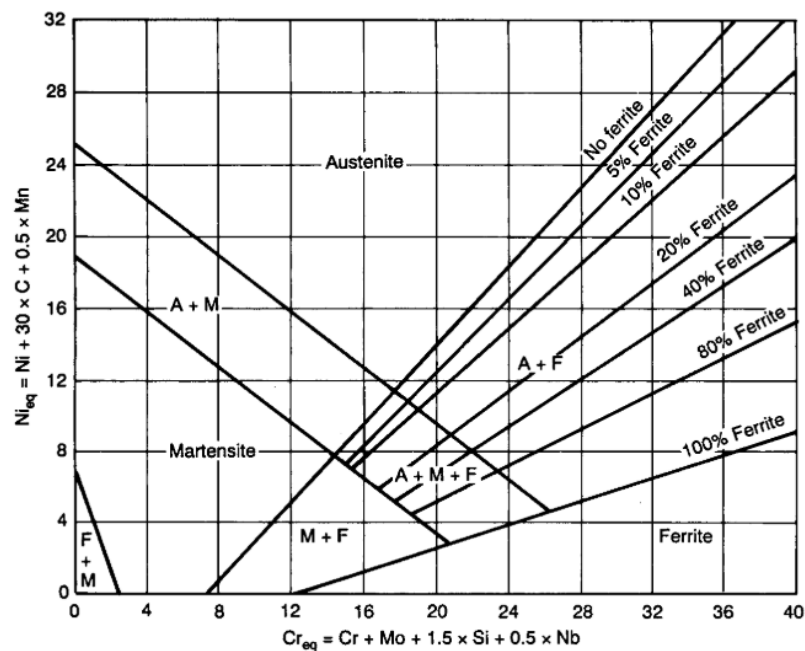
Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempelajari pengaruh waktu sensitisasi terhadap struktur mikro *stainless steel* 304
2. Mempelajari pengaruh waktu sensitisasi terhadap sifat mekanik *stainless steel* 304
3. Hasil penelitian dapat dijadikan informasi bagi penelitian selanjutnya mengenai perilaku *stainless steel* 304 pada temperatur tinggi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Stainless Steel*

Stainless steel adalah baja paduan yang memiliki ketahanan terhadap korosi pada berbagai lingkungan, terutama lingkungan atmosfer. Unsur paduan utama dari *stainless steel* adalah krom (Cr) (Callister Jr & Rethwisch, 2018). Penambahan unsur krom hingga 12% berat mampu memberikan perlindungan terhadap korosi atmosfer sehingga baja paduan dapat dikategorikan sebagai baja tahan karat ketika memiliki kandungan krom sebesar 12% berat (Lleweuyn & Hudd, 1998). Sementara itu, untuk meningkatkan ketahanan korosi pada temperatur tinggi, dapat ditambahkan unsur paduan yang lain seperti nikel (Ni) dan molibdenum (Mo) (Hedström, 2007).



Gambar 2.1 Diagram Schaeffler-Delong (McGuire, 2008)

Struktur dari *stainless steel* sangat bergantung dengan komposisi unsur yang terkandung di dalamnya dan ditunjukkan oleh diagram Scaeffler-Delong pada Gambar 2.1. Cr_{eq} merupakan ukuran dari berbagai unsur yang berperan sebagai *ferrite stabilizer*. Sementara Ni_{eq} merupakan ukuran dari berbagai unsur yang berperan sebagai *austenite stabilizer* (S. Zhang et al., 2021). Perhitungan nilai Cr_{eq} dan Ni_{eq} didapatkan dari persamaan berikut:

$$Cr_{eq} = Cr + Mo + 1,5Si + 0,5Nb \quad (2.1)$$

$$Ni_{eq} = Ni + 30C + 0,5Mn \quad (2.2)$$

Secara umum, sistem penamaan dari *stainless steel* diambil dari struktur yang dimiliki oleh *stainless steel* tersebut pada temperatur kamar. *Stainless steel* dapat diklasifikasikan menjadi lima, yaitu *ferritic stainless steel*, *austenitic stainless steel*, *martensitic stainless steel*, *duplex stainless steel*, dan *precipitation hardening stainless steel* (Hedström, 2007).

Pada praktiknya, terdapat unsur-unsur paduan di samping kromium yang ditambahkan ke dalam *stainless steel*. Penambahan unsur ini dapat mempengaruhi karakteristik dari *stainless*

steel. Tabel 2.1 di bawah adalah rangkuman pengaruh penambahan unsur paduan pada *stainless steel* (Farrar, 2004).

Tabel 2.1 Pengaruh unsur paduan pada *stainless steel* (Farrar, 2004; Outokumpu, 2013)

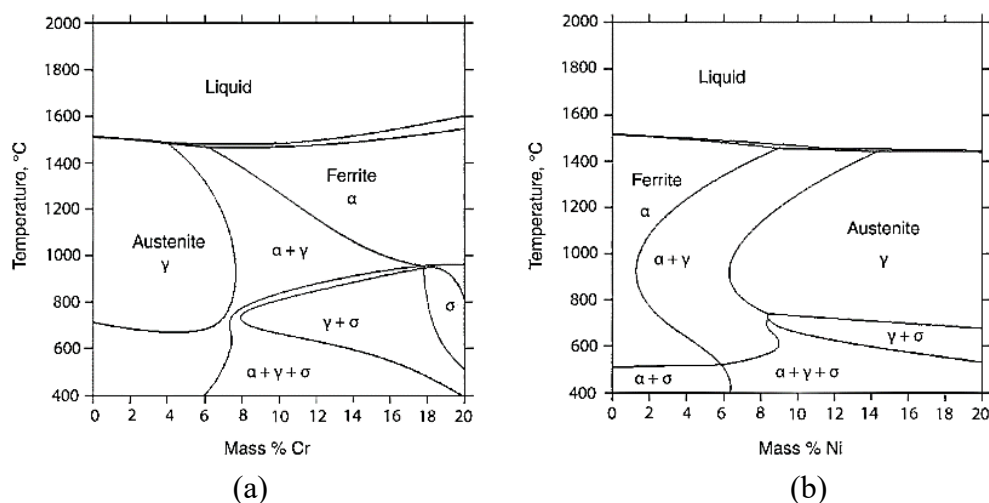
Konstituen	Pengaruh
Karbon (C)	<ul style="list-style-type: none"> - Menstabilkan <i>austenite</i> - Meningkatkan kekuatan mekanik. - Menurunkan ketahanan terhadap korosi batas butir.
Nitrogen (N)	<ul style="list-style-type: none"> - Penstabil <i>austenite</i> - Meningkatkan kekuatan dan ketahanan terhadap korosi sumuran dan celah pada <i>duplex</i>, <i>superduplex</i>, dan <i>superaustenitic stainless steel</i>. - Menurunkan ketahanan korosi dan ketangguhan pada <i>ferritic stainless steel</i> - Meningkatkan kekerasan dan kekuatan namun menurunkan ketangguhan pada <i>martensitic stainless steel</i>
Aluminium (Al)	<ul style="list-style-type: none"> - Pada <i>precipitation hardening stainless steel</i>, Al dapat meningkatkan sifat mekanik dengan pemberian perlakuan berupa <i>age-hardening</i>.
Silikon (Si)	<ul style="list-style-type: none"> - Menstabilkan lapisan oksida dan pembentuk struktur ferit
Titanium (Ti)	<ul style="list-style-type: none"> - Merupakan pembentuk karbida yang kuat. - Meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap korosi batas butir pada <i>austenitic stainless steel</i>
Kromium (Cr)	<ul style="list-style-type: none"> - Pembentuk lapisan oksida yang meningkatkan ketahanan terhadap korosi. - Penstabil struktur ferit
Mangan (Mn)	<ul style="list-style-type: none"> - Menstabilkan struktur <i>austenite</i> - Meningkatkan kelarutan nitrogen untuk pada <i>duplex</i> dan <i>austenitic stainless steel</i>
Kobalt (Co)	<ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan kekerasan dan ketahanan <i>tempering</i> pada <i>martensitic stainless steel</i>
Nikel (Ni)	<ul style="list-style-type: none"> - Menstabilkan struktur <i>austenite</i> - Meningkatkan ketahanan terhadap <i>stress corrosion cracking</i>. - Meningkatkan keuletan, ketangguhan, dan <i>weldability</i>
Tembaga (Cu)	<ul style="list-style-type: none"> - Meningkatkan ketahanan terhadap korosi pada lingkungan - Menstabilkan struktur <i>austenite</i>.
Niobium (Nb)	<ul style="list-style-type: none"> - Pembentuk karbida yang kuat - Menstabilkan struktur ferit - Meningkatkan ketahanan terhadap korosi batas butir pada <i>austenitic stainless steel</i>

- Menurunkan kekerasan dan meningkatkan ketahanan *tempering* pada *martensitic stainless steel*
- Molibdenum (Mo)
- Meningkatkan ketahanan terhadap korosi sumuran dan celah
 - Menstabilkan struktur ferit
 - Meningkatkan risiko terbentuknya fasa sekunder pada *ferritic*, *duplex*, dan *austenitic stainless steel*
- Tungsten (W)
- Meningkatkan ketahanan terhadap korosi sumuran dan korosi celah
- Sulfur (S)
- Meningkatkan *machinability*
 - Penambahan dalam jumlah banyak dapat menyebabkan penurunan ketahanan korosi, keuletan, *weldability*, dan *formability*.

2.1.1 Austenitic Stainless Steel

Austenitic stainless steel merupakan *stainless steel* yang paling banyak digunakan dibanding *stainless steel* jenis lain. Hal ini disebabkan karena *austenitic stainless steel* tidak hanya memiliki ketahanan korosi yang baik, tetapi juga memiliki kekuatan yang baik pada temperatur tinggi, stabil pada temperatur kriogenik, dan mudah difabrikasi serta dilas (Khatak & Raj, 2002). Dilihat dari aspek metalurgi, *austenitic stainless steel* memiliki keuntungan, yaitu dapat dibuat dengan rentang kekuatan yang luas mulai dari 200 MPa hingga 2000 MPa. Selain itu, struktur austenit yang terdapat di dalam *austenitic stainless steel* memiliki sifat yang tangguh dan ulet bahkan hingga temperatur di bawah 0°C. Pada temperatur tinggi, struktur austenit tidak mengalami penurunan kekuatan yang signifikan seperti struktur ferit pada paduan besi feritik (McGuire, 2008).

Austenitic stainless steel seri 300 biasanya mengandung unsur tambahan berupa nikel (Ni), yang dapat membuat struktur *Face-Centered Cubic* (FCC) austenit menjadi stabil pada temperatur kamar. Nilai dari nikel ekuivalen (Ni_{eq}) yang terdapat dalam *austenitic stainless steel* harus mencukupi untuk mempertahankan struktur austenit tetap stabil pada temperatur kamar. Sebagai contoh, *stainless steel* 18/8 memiliki kadar krom sebesar 18% dan nikel sebesar 8% (Hedström, 2007). Gambar 2.2 di bawah adalah diagram fasa yang menunjukkan variasi struktur di berbagai rentang komposisi unsur paduan.



Gambar 2.2 Diagram fasa (a) Besi-Krom (Fe-Cr) pada kandungan Nikel (Ni) sebesar 18% dan (b) Besi-Nikel (Fe-Ni) pada kandungan Krom (Cr) sebesar 18% (McGuire, 2008)

2.1.2 *Stainless Steel 304*

Stainless steel 304 (SS304) merupakan salah satu jenis *stainless steel* yang paling banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan sifat ketahanan korosi dan *formability* yang baik (Lleweuyn & Hudd, 1998). *Stainless steel 304* memiliki komposisi unsur seperti yang terdapat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi unsur *stainless steel 304* (Cobb, 1999)

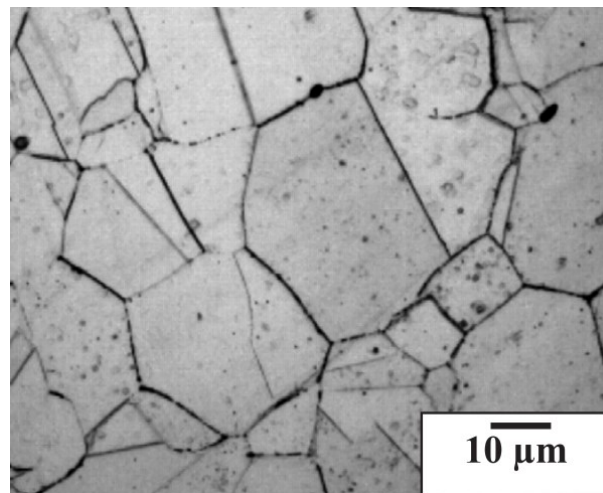
Unsur	C	Mn	P	S	Si	Cr	Ni	N
wt%	0,08	2,00	0,045	0,030	1,00	18,0-20,0	8,0-12,0	0.10

Sementara itu, *stainless steel 304* juga memiliki keuletan, *oxidation resistance*, kemudahan fabrikasi, *weldability*, keuletan, dan kekuatan impak pada temperatur rendah yang sangat baik, serta memiliki kekuatan pada temperatur tinggi yang baik (Li et al., 2019). Sifat mekanik dari SS304 dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat mekanik *stainless steel 304* (Cobb, 1999)

<i>Tensile strength</i> (MPa)	<i>Yield strength</i> 0,2% offset (MPa)	<i>Elongation</i> (%) in 50 mm)	<i>Rockwell</i> <i>Hardness B</i> (HRB)	<i>Brinell</i> <i>Hardness</i> (HB)
517	207	40	92	201

Sementara itu, struktur mikro dari *stainless steel 304* terdiri dari butir austenite, yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3 berikut ini.

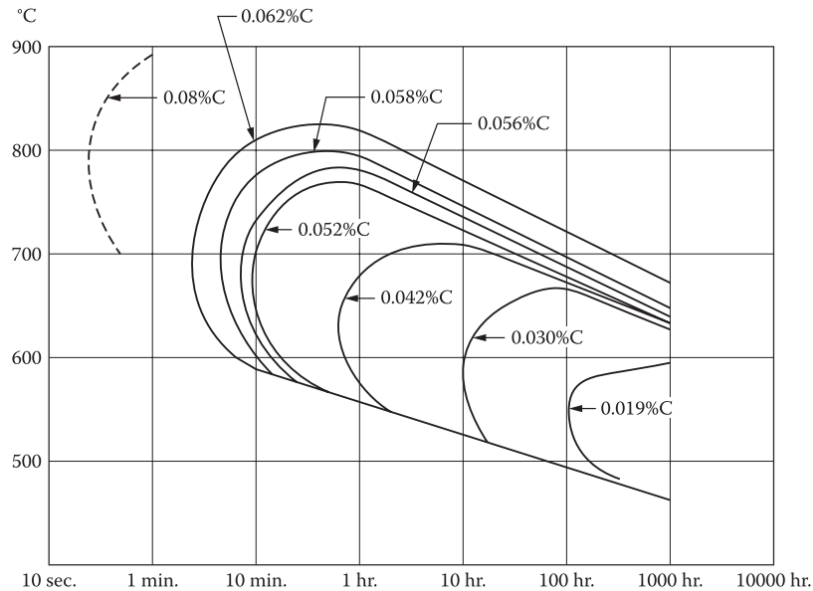


Gambar 2.3 Struktur mikro *stainless steel 304* (Mallick et al., 2017)

2.2 Sensitisasi pada *Austenitic Stainless Steel*

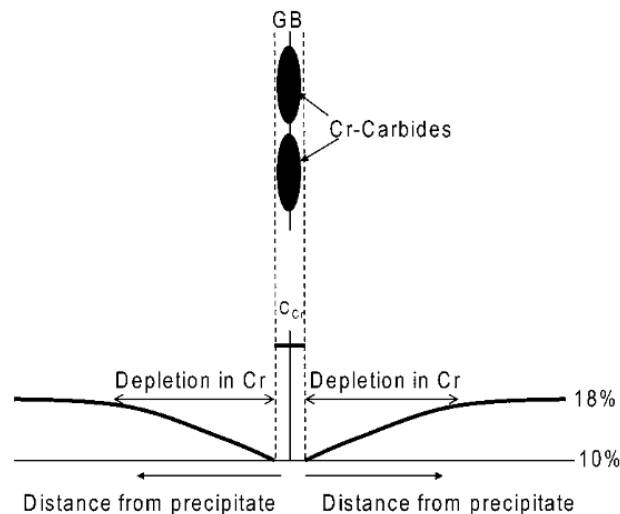
Pada temperatur kamar, *diffusivity* dari sebagian besar unsur sangat rendah sehingga membutuhkan waktu yang tak terhingga untuk mencapai kesetimbangan (Khatak & Raj, 2002). Akan tetapi, ketika temperatur dinaikkan hingga ke temperatur sensitisasi (723K-1123K), $Cr_{23}C_6$ dan juga karbon memiliki kelarutan yang rendah di dalam larutan pada austenit. Pada temperatur ini, atom-atom karbon (C) berdifusi dengan cepat ke batas butir, di mana atom karbon (C) ini berikatan dengan atom kromium (Cr) yang berdifusi lebih lambat membentuk presipitasi kromium karbida ($Cr_{23}C_6$) (McGuire, 2008).

Presipitasi karbida merupakan fenomena yang sangat bergantung pada temperatur dan waktu, dan ditentukan oleh difusi dari karbon pada temperatur rendah dan kelarutan krom pada temperatur tinggi. Gambar 2.4 di bawah ini adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar karbon dengan temperatur dan waktu sensitisasi dari *stainless steel*.



Gambar 2.4 Kurva pengaruh kadar karbon terhadap presipitasi karbida krom; Presipitasi karbida terbentuk pada daerah di sebelah kanan dari masing-masing kurva (Schweitzer, 2013)

Proses presipitasi karbida krom ini menarik krom dari daerah di sekitar batas butir, yang membuat kadar krom di daerah tersebut lebih rendah dari kadar krom yang terkandung di dalam *stainless steel* (Lleweuyn & Hudd, 1998). Gambar 2.5 memperlihatkan adanya penurunan kadar kromium di sekitar batas butir akibat sensitisasi. Daerah yang kekurangan kromium ini bertindak sebagai anoda yang lebih aktif dibandingkan dengan butir (McGuire, 2008).

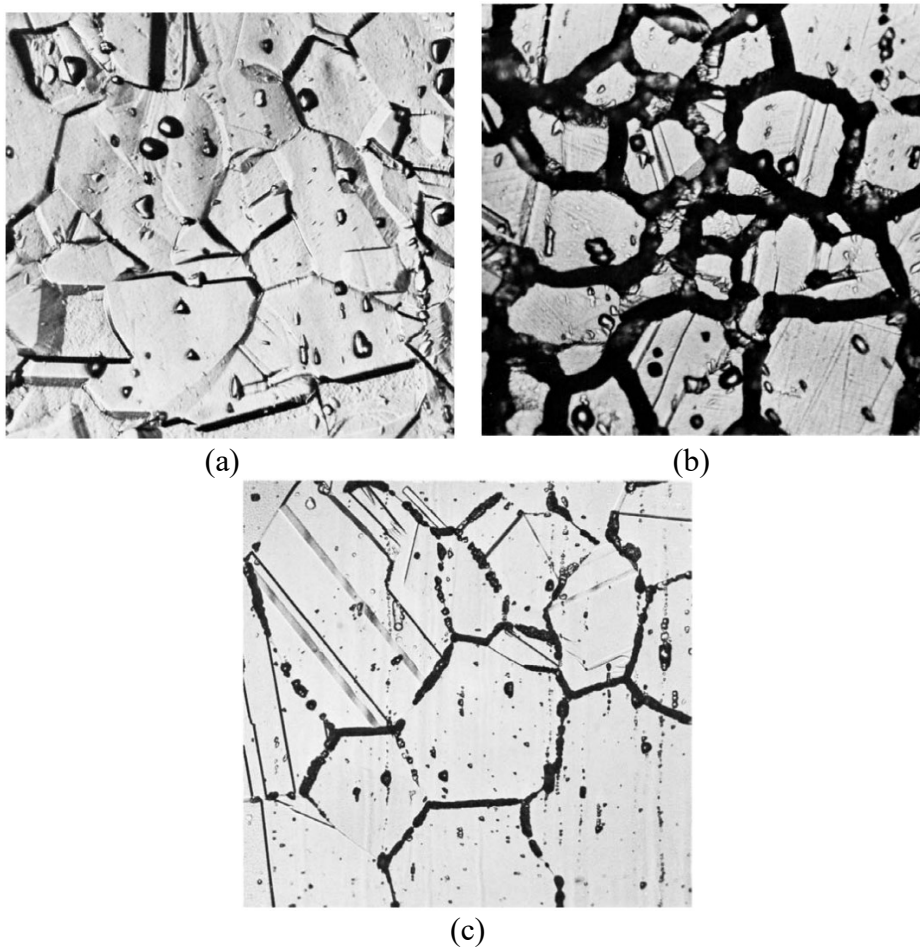


Gambar 2.5 Presipitasi kromium karbida yang menyebabkan penurunan kadar kromium (McGuire, 2008)

Perilaku sensitisasi dari *stainless steel* pada temperatur dan waktu tertentu sangat dipengaruhi oleh kandungan karbon yang terdapat di dalam *stainless steel* tersebut. Sebagai

contoh, sebuah *stainless steel* 18-8 yang memiliki karbon sebanyak 0,1% dapat mengalami sensitisasi yang cukup parah ketika dipanaskan pada temperatur 600°C selama 5 menit, sedangkan *stainless steel* yang memiliki kandungan karbon lebih rendah yaitu sebesar 0,06% mengalami sensitisasi yang lebih sedikit (Uhlig & Winston, 2008).

Struktur dari *austenitic stainless steel* yang telah mengalami sensitisasi dapat diamati dengan terlebih dahulu dilakukan etsa menggunakan larutan asam oksalat sesuai dengan standar ASTM A262. Struktur kemudian diamati di bawah mikroskop optik. Terdapat tiga klasifikasi struktur yang dapat terbentuk, yaitu *step structure*, *ditch structure*, dan *dual structure* yang ditunjukkan pada Gambar 2.6 (ASTM Standard, 2021).



Gambar 2.6 Struktur (a) *step*; (b) *ditch* dan; (c) *dual* diamati dengan mikroskop optik dengan perbesaran 250x (ASTM Standard, 2021)

Terdapat beberapa tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi pembentukan krom karbida, antara lain:

1. Melakukan *solution treatment*, yaitu dengan memanaskan *stainless steel* hingga temperatur 950-1100°C untuk melarutkan kembali $M_{23}C_6$, kemudian melakukan pendinginan cepat (*quenching*)
2. Mengurangi kadar karbon hingga di bawah 0,03% berat
3. Mengontrol kinetika pembentukan karbida dengan menambah unsur paduan berupa molibdenum (Mo) untuk memperpanjang waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya sensitisasi
4. Menambahkan unsur paduan yang merupakan pembentuk karbida yang lebih kuat dari krom. Contoh unsur yang dapat digunakan adalah niobium (Nb) dan titanium (Ti).

Dengan penambahan dua unsur tersebut, karbon akan lebih dahulu membentuk karbida dengan niobium atau titanium sebelum berikatan dengan krom.

5. Melakukan modifikasi pada batas butir sehingga batas butir memiliki energi yang lebih rendah.

2.3 Korosi

Roberge mendefinisikan korosi sebagai serangan destruktif terhadap suatu material oleh reaksi dengan lingkungannya (Pierre R. Roberge, 1999). Pada dasarnya, korosi adalah hasil dari interaksi antara material dan lingkungannya. Korosi sendiri merupakan proses alami yang tidak dapat dicegah, tetapi proses korosi dapat dikontrol (Zaki Ahmad, 2006). Ketiga definisi korosi di atas memiliki kesamaan, yaitu menyatakan bahwa korosi adalah proses perusakan dari suatu material akibat adanya interaksi antara material dengan lingkungannya.

2.3.1 Korosi Batas Butir

Batas butir adalah daerah di dalam struktur metal yang merupakan pertemuan dari dua buah butir. Umumnya, kedua butir tersebut mengalami *mismatch* pada batas butirnya sehingga menyebabkan batas butir menjadi lebih aktif daripada daerah butir. Apabila daerah batas butir ini terpapar oleh lingkungan yang korosif, dapat terjadi korosi yang disebut dengan korosi batas butir (Schweitzer, 2013).

Korosi batas butir adalah korosi yang terjadi di batas butir dan daerah di sekitar batas butir, dengan butir yang relatif tidak terkorosi. Batas butir yang terdapat di dalam material bertindak sebagai anoda, sedangkan butir bertindak sebagai katoda. Hal ini mengakibatkan adanya aliran energi dari katoda yang relatif sempit menuju ke katoda yang luas sehingga korosi yang terbentuk dapat melakukan penetrasi yang dalam ke bagian dalam dari logam (Schweitzer, 2013).

Pada material *stainless steel*, korosi batas butir dapat terjadi akibat adanya penurunan kadar krom di daerah batas butir yang disebabkan oleh fenomena sensitisasi. Sensitisasi dapat terjadi ketika sebuah baja tahan karat austenitik dipanaskan atau didinginkan dengan lambat pada rentang temperatur 1123K hingga 723K. Pada rentang temperatur tersebut, terjadi presipitasi karbida kromium ($M_{23}C_6$) pada batas butir dari *stainless steel* (Khatak & Raj, 2002).

2.4 Optical Emission Spectroscopy

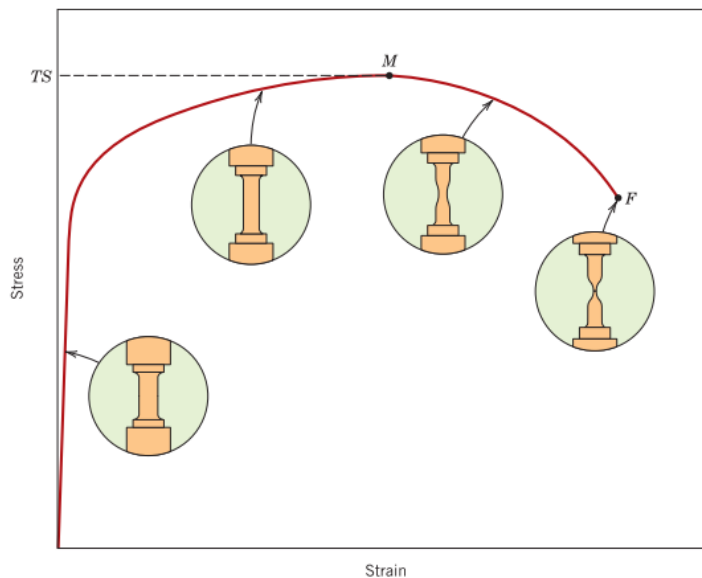
Optical Emission Spectroscopy (OES) digunakan untuk mendeteksi unsur logam maupun non logam, baik secara kualitatif atau kuantitatif. Prinsip kerja dari OES adalah dengan mengeksitasi atom sehingga atom memancarkan radiasi berupa sinar di rentang cahaya tampak hingga ultraviolet, yang kemudian dapat dideteksi dengan spektrometer. Pancaran radiasi yang dihasilkan memiliki frekuensi tertentu yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi spesi tertentu yang terdapat di dalam spesimen. OES sendiri terdiri dari beberapa bagian, yaitu spesimen, elektroda lawan, *monochromator*, *photomultiplier*, serta komputer untuk mengolah data (Fifield, F. W. and Kealey, 2000; Herman, 1996; Nayan et al., 2009).

2.5 Sifat Mekanik

Banyak material mengalami pembebanan ketika digunakan. Oleh karena itu, dibutuhkan pemahaman mengenai karakteristik dari material tersebut ketika dikenai beban tertentu untuk mengurangi kemungkinan material tersebut mengalami kegagalan ketika digunakan. Karakteristik ini dikenal dengan sifat mekanik dari suatu material (Callister Jr & Rethwisch, 2018).

2.5.1 Pengujian Tarik

Pengujian tarik adalah pengujian yang paling umum dilakukan untuk memperoleh sifat mekanik dari suatu material. Pengujian tarik dilakukan dengan memberikan beban *uniaxial* pada material. Spesimen yang digunakan dalam pengujian tarik umumnya berbentuk *rod* dengan penampang berupa lingkaran. Akan tetapi, spesimen berbentuk persegi panjang juga dapat digunakan. Spesimen ini diletakkan di dalam mesin uji dan dijepit di kedua ujungnya. Mesin uji tarik sendiri akan memberikan beban tarik sehingga spesimen mengalami elongasi dengan laju yang tetap. Selama pengujian, mesin uji akan mengukur besarnya pembebanan dan elongasi yang dihasilkan secara berkala (Callister Jr & Rethwisch, 2018). Setelah pengujian dilakukan, akan didapat kurva tegangan-regangan seperti Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kurva *stress-strain*; kekuatan tarik ditunjukkan oleh titik M dengan nilai kekuatan tarik sebesar TS (Callister Jr & Rethwisch, 2018)

Dari kurva tersebut, terdapat beberapa hal yang dapat diambil, antara lain:

1. Yield Strength

Yield strength adalah besarnya tegangan yang mampu ditahan oleh spesimen sebelum spesimen mengalami deformasi plastis. Umumnya penentuan *yield strength* dilakukan dengan menggunakan metode *off-set* pada regangan sebesar 0.002 (Callister Jr & Rethwisch, 2018).

2. Tensile Strength

Tensile strength, atau disebut juga dengan *Ultimate Tensile Strength* (UTS), merupakan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh spesimen sebelum spesimen mengalami *necking* dan kemudian patah (Callister Jr & Rethwisch, 2018).

3. Keuletan

Keuletan adalah suatu ukuran dari deformasi plastis yang dialami oleh spesimen sebelum mengalami patah. Keuletan dapat di sebagai persentase elongasi (%EL) dari spesimen, yang diekspresikan dengan Persamaan 2.3 berikut (Callister Jr & Rethwisch, 2018).

$$\%EL = \left(\frac{l_f - l_0}{l_0} \right) \times 100 \quad (2.3)$$

Dimana,

- l_f : Panjang saat patah
- l_0 : Panjang awal

2.5.2 Kekerasan

Kekerasan adalah suatu ukuran dari kemampuan material untuk menahan deformasi plastis lokal. Pengukuran kuantitatif dari kekerasan dilakukan dengan melakukan indentasi permukaan material dengan *indenter* dengan beban tertentu, yang akan meninggalkan jejak berupa indentasi. Indentasi yang terbentuk kemudian diukur baik kedalaman atau ukuran. Pada material yang lunak, indentasi yang terbentuk akan semakin dalam dan besar, menyebabkan hasil pengukuran kekerasan menjadi rendah (Callister Jr & Rethwisch, 2018).

Salah satu jenis pengujian kekerasan yang umum digunakan adalah pengujian kekerasan Vickers. Pengujian kekerasan ini menggunakan *indenter* berupa intan dengan bentuk piramida segi empat dengan sudut antar permukaan sebesar 136°. Hasil kekerasan vickers (HV) didapatkan dari Persamaan 2.4 berikut (Callister Jr & Rethwisch, 2018).

$$HV = \frac{1.854L}{d^2} \quad (2.4)$$

Dimana,

L : Pembebanan (kg)

d : Panjang diagonal indentasi (mm)

2.6 Metalografi

Metalografi merupakan sebuah disiplin ilmu mengenai struktur dari logam atau paduan. Pengamatan struktur dapat dilakukan dengan rentang perbesaran yang luas, mulai dari perbesaran yang kecil sekitar 20x menggunakan mikroskop optik hingga perbesaran 1.000.000 kali menggunakan mikroskop elektron (International, 2004). Dengan melakukan pengamatan terhadap struktur dari suatu material, dapat diketahui performa dari material tersebut. Oleh karena itu, metalografi banyak digunakan di bidang pengembangan material, proses inspeksi, proses kontrol dari produksi dan manufaktur, serta analisis kegagalan material (Zipperian, 2011).

Proses metalografi sendiri dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu:

1. *Sampling*

Sampling adalah proses pengambilan spesimen berukuran kecil dari material yang akan diamati. Ukuran dari spesimen yang diambil umumnya berbentuk lingkaran berdiameter di atas 20 mm atau berbentuk persegi dengan panjang sisi minimal 20 mm untuk mempermudah proses preparasi spesimen (Higgins, 1999).

2. *Mounting*

Mounting dapat dilakukan apabila spesimen yang tersedia berukuran cukup kecil dan sulit untuk diampelas. *Mounting* yang digunakan umumnya terbuat dari plastik akrilik, poliester, atau *epoxy resin* (Higgins, 1999).

3. *Grinding* dan *Polishing*

Proses *grinding* dan *polishing* dilakukan untuk memproduksi permukaan spesimen yang rata. *Grinding* dapat dilakukan dengan menggunakan kikir maupun ampelas. Pada proses *grinding*, panas yang dihasilkan akibat gesekan antara spesimen dengan kikir atau ampelas harus diperhatikan agar tidak mengakibatkan perubahan struktur dari spesimen. Sementara itu, *polishing* dilakukan menggunakan pasta poles yang ditaruh di atas kain halus untuk membuat permukaan yang lebih rata (Higgins, 1999).

4. *Etching*

Tujuan dari dilakukannya etsa adalah untuk menampilkan mikrostruktur dengan lebih jelas secara selektif. Proses etsa sendiri dapat dilakukan dengan menggunakan larutan etsa (*chemical etching*) maupun cara lain seperti menggunakan *molten salt* dan elektrolisis (Zipperian, 2011). Setelah etsa dilakukan, spesimen perlu dibilas dan dikeringkan dengan cepat untuk meminimalisir terbentuknya bercak cairan pada permukaan spesimen (Higgins, 1999).

2.7 Penelitian Terdahulu

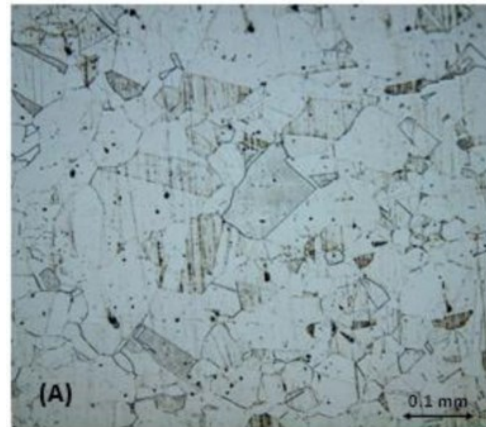
Tabel 2.4 Penelitian terdahulu

Pengarang	Material	Perlakuan	Hasil Penelitian
(Sungkono & Ismarwanti, 2021)	SS304	Perlakuan berupa pemanasan hingga temperatur 1100°C kemudian diturunkan ke 600°C dan 700°C kemudian di- <i>hold</i> dengan variasi waktu 30, 60, dan 90 menit	Pemanasan pada temperatur 600°C menghasilkan kekuatan tarik yang relatif sama dibandingkan spesimen yang tidak mendapat perlakuan. Pemanasan pada temperatur 700°C menghasilkan kekuatan tarik yang lebih rendah dibandingkan spesimen yang tidak mendapat perlakuan.

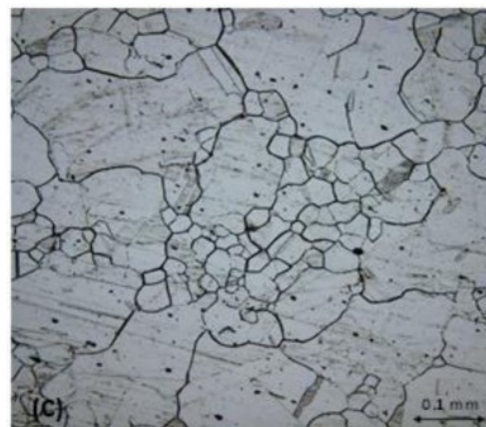
Struktur mikro yang terdapat dalam spesimen yang telah mengalami sensitisasi terdiri dari austenit, δ -*ferrite*, dan kromium karbida

(Kelidari et al., 2020)

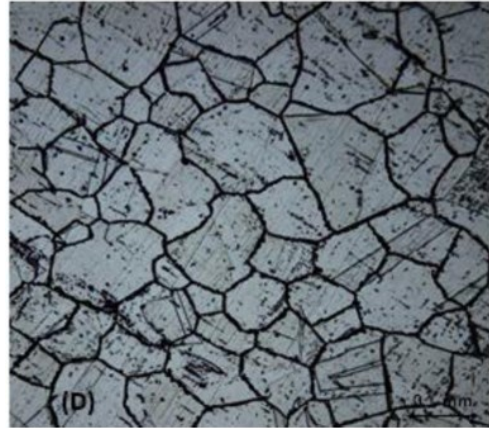
Perlakuan berupa pemanasan spesimen SS304 pada temperatur 650°C dan 750°C dengan variasi waktu 1, 2, 4, 6, 10, 15, dan 20 jam.



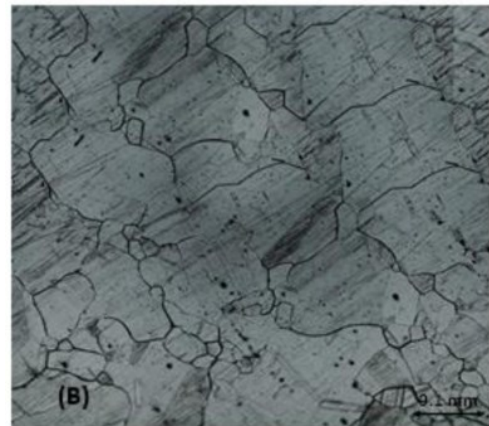
Struktur yang terbentuk pada spesimen tanpa perlakuan adalah *step structure*.



Struktur yang terbentuk pada spesimen SS304 yang dipanaskan pada temperatur 650°C selama 1 jam adalah *ditch structure*



Struktur yang terbentuk pada spesimen SS304 yang dipanaskan pada temperatur 650°C selama 20 jam adalah *ditch structure*

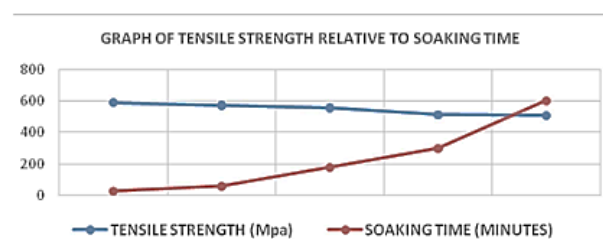


Struktur yang terbentuk pada spesimen SS304 yang dipanaskan pada temperatur 750°C selama 20 jam adalah *dual structure*

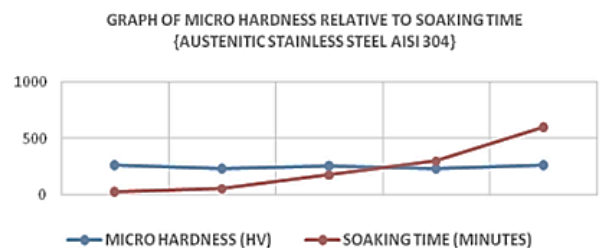
(Ezedinma Agbokwor & Ikechukwu Neife, 2019)

SS304

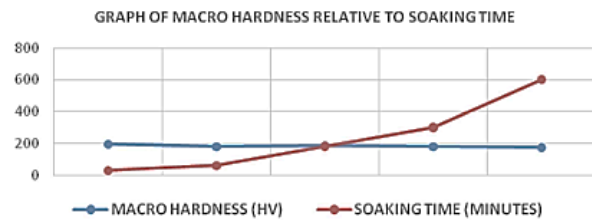
Perlakuan berupa pemanasan pada temperatur 750°C selama 30, 60, 180, 300, dan 600 menit, serta diikuti dengan pendinginan cepat di dalam media air



Pemanasan yang semakin lama menyebabkan penurunan kekuatan tarik.



Pemanasan yang semakin lama menyebabkan penurunan *microhardness*.



Pemanasan yang semakin lama menyebabkan penurunan *macrohardness*.

(J. Zhang et al., 2022)	SS304	Perlakuan berupa <i>laser welding</i> dengan variasi <i>heat input</i> antara 2000-5000 W serta <i>welding speed</i> antara 1-4 m.min ⁻¹	<p>Sensitisasi terjadi pada jarak 3 milimeter dari garis <i>solid-liquid</i>. Kadar kromium yang terdapat pada batas butir jauh lebih tinggi daripada daerah di sekitarnya.</p> <p>Pada daerah HAZ dengan pendinginan yang relatif cepat, orientasi dari kristal yang terbentuk lebih beragam, yang membuat batas butir memiliki <i>mismatch</i> yang tinggi dan menyebabkan energi dari batas butir meningkat.</p> <p>Waktu pendinginan yang lebih lambat mampu membuat orientasi kristal yang terbentuk lebih tidak acak, yang menyebabkan batas butir memiliki energi yang lebih rendah dan meningkatkan ketahanan korosi dari SS304</p>
(X. Zhang et al., 2019)	SS304	Perlakuan berupa <i>pre-strain</i> sebesar 0%, 1%, 2%, 10%, dan 20% dilanjutkan dengan <i>aging</i> pada temperatur 750°C selama 1 jam	Semakin besar <i>pre-strain</i> yang diberikan, spesimen SS304 mengalami peningkatan kekerasan. Selain itu, sensitisasi yang terjadi juga semakin banyak.
(Sinha et al., 2019)	SS304L N	Perlakuan berupa <i>annealing</i> pada temperatur 1100°C selama 1 jam kemudian sensitisasi pada temperatur 620°C selama 5-10 jam.	<p>Pada spesimen dengan perlakuan sensitisasi pada temperatur 620°C, nilai DOS yang terukur semakin besar seiring dengan bertambahnya waktu tahan. Nilai DOS yang semakin tinggi mengindikasikan adanya sensitisasi yang semakin parah.</p> <p>Terjadinya sensitisasi menyebabkan meningkatnya sifat feromagnetik.</p>
(Singh & Shahi, 2018)	SS304L	Pengelasan dengan SS304L sebagai <i>base</i>	Perlakuan berupa <i>aging</i> mengakibatkan SS304L mengalami sensitisasi. Semakin

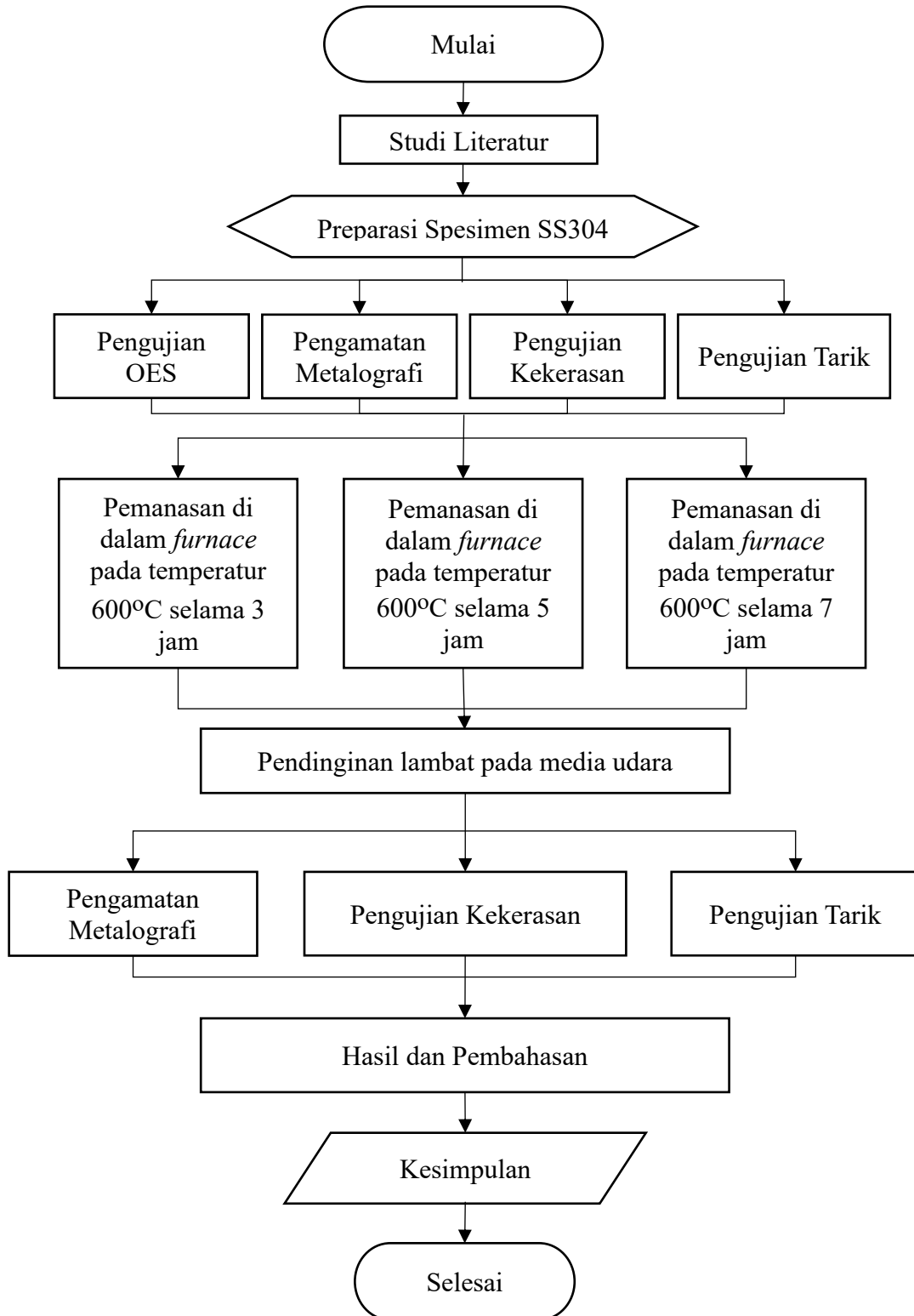
metal dan
SS308L sebagai
filler metal,
dilanjutkan
dengan *aging*
pada temperatur
750°C selama 0,5
dan 4 jam.

lama waktu *aging*, sensitisasi yang terjadi
semakin bertambah.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. *Stainless Steel* tipe 304
Pada penelitian ini, digunakan *stainless steel type 304* (SS304) sebagai spesimen.
2. Asam Oksalat
Asam oksalat ($H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$) digunakan sebagai bahan larutan etsa pada pengujian metalografi. Larutan etsa asam oksalat berfungsi untuk mengkorosi bagian batas butir dari spesimen sehingga struktur mikro dari spesimen dapat terlihat dengan jelas.
3. Akuades
Akuades digunakan sebagai pelarut dari asam oksalat.
4. Larutan Alkohol 95%
Larutan alkohol 95% digunakan untuk membilas spesimen setelah dilakukan proses etsa untuk mencegah terjadinya kristalisasi dari asam oksalat pada permukaan spesimen.

3.3 Alat Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Gerinda
Gerinda digunakan untuk melakukan *machining* pada spesimen untuk mendapatkan dimensi yang telah ditetapkan.
2. Jangka Sorong
Jangka sorong digunakan untuk mengukur dimensi spesimen sebelum dilakukan *machining*, setelah *machining*, serta pada saat pengujian tarik.
3. *Optical Emmision Spectroscopy*
Mesin uji OES digunakan untuk menganalisis komposisi unsur dari spesimen SS304. Pada penelitian ini digunakan mesin uji OES yang terdapat di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
4. Mesin Uji Tarik



Gambar 3.2 Mesin uji tarik (Dokumentasi pribadi, 2022)

Mesin uji tarik digunakan untuk melakukan uji tarik sehingga didapatkan kurva tegangan-regangan dari spesimen SS304. Pada penelitian ini, mesin uji tarik yang digunakan

bermerek GOTECH GT-7001-LC50 dan terdapat di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS.

5. Alat Uji Kekerasan Micro-Vickers



Gambar 3.3 Alat uji kekerasan (Dokumentasi pribadi, 2022)

Alat uji kekerasan digunakan untuk menguji kekerasan dari spesimen SSS304 sehingga didapatkan nilai kekerasan Vickers. Pada penelitian ini, alat uji kekerasan yang digunakan terdapat di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS.

6. *Muffle furnace*



Gambar 3.4 *Muffle furnace* (Dokumentasi pribadi, 2022)

Electric furnace digunakan untuk memanaskan spesimen SS304 hingga temperatur 600°C dengan variasi waktu 3, 5, dan 7 jam. Pada penelitian ini, *muffle furnace* yang digunakan terdapat di Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material Departemen Teknik Material ITS.

7. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu sensitisasi dari spesimen.

8. Kertas Abrasif

Kertas abrasif digunakan untuk proses *grinding* spesimen SS304 saat metalografi

9. Mesin *Grinding* dan *Polishing*



Gambar 3.5 Mesin poles (Dokumentasi pribadi, 2022)

Mesin *grinding* dan poles digunakan untuk melakukan *grinding* dan *polishing* spesimen SS304 pada saat proses metalografi. Mesin *grinding* dan *polishing* yang digunakan terdapat di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS.

10. Timbangan digital

Timbangan digital digunakan untuk mengukur massa dari kristal asam oksalat yang digunakan sebagai larutan etsa.

11. Gelas Ukur

Gelas ukur digunakan untuk mengukur volume dari akuades yang digunakan untuk membuat larutan etsa asam oksalat.

12. Gelas Beker

Gelas beker yang digunakan pada penelitian ini adalah gelas beker dengan volume 1000 ml. Gelas beker ini digunakan sebagai wadah penampung larutan etsa yaitu larutan asam oksalat.

13. *Rectifier*



Gambar 3.6 *Rectifier* (Dokumentasi pribadi, 2022)

Rectifier berfungsi sebagai penyearah arus listrik pada proses etsa. *Rectifier* perlu digunakan karena sumber arus listrik yang tersedia merupakan sumber arus bolak-balik (AC), sedangkan proses etsa membutuhkan sumber arus searah (DC).

14. Mikroskop Optik



Gambar 3.7 Mikroskop optik Olympus BX51M (Dokumentasi pribadi, 2022)

Mikroskop optik digunakan untuk melakukan pengamatan visual dari struktur mikro spesimen SS304. Pada penelitian ini digunakan mikroskop optik yang terdapat di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS.

3.4 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

3.4.1 Prosedur Preparasi Spesimen

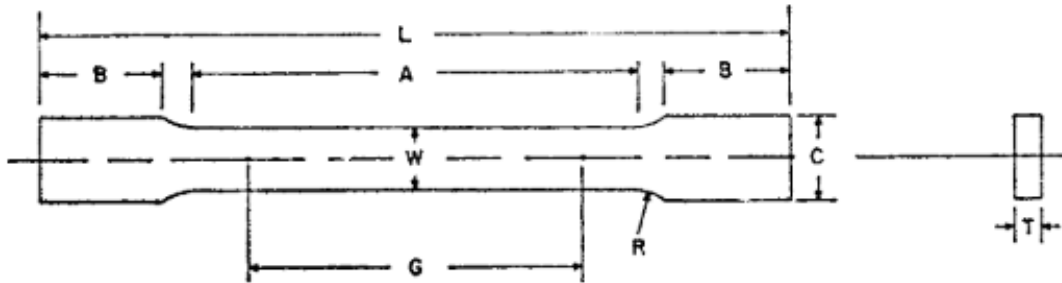
Berikut ini adalah prosedur yang dilakukan untuk proses preparasi spesimen

1. Spesimen yang diuji dengan OES dibuat dengan cara dipotong dengan gerinda hingga berbentuk persegi dengan dimensi 30 x 30 mm dengan ketebalan 3 mm seperti pada Gambar 3.8



Gambar 3.8 Spesimen pengujian OES (Dokumentasi pribadi, 2022)

2. Spesimen yang digunakan untuk pengujian tarik dibuat dengan cara *machining* menggunakan gerinda hingga didapatkan spesimen seperti pada Gambar 3.9 dan dimensi seperti pada Tabel 3.1



Gambar 3.9 Spesimen uji tarik sesuai ASTM E8 (ASTM E8, 2010)

Tabel 3.1 Dimensi spesimen uji tarik berdasarkan ASTM E8 (ASTM E8, 2010)

Simbol	Keterangan	Dimensi
G	Gauge length	50 ± 0,1 mm
W	Width	12,5 ± 0,2 mm
R	Radius of fillet (min)	12,5 mm
L	Overall length (min)	200 mm
A	Length of reduced section (min)	57 mm
B	Length of grip section (min)	50 mm
C	Width of grip section (min)	20 mm
T	Thickness	3 mm

3. Spesimen yang digunakan untuk pengujian kekerasan dipersiapkan dengan cara dipotong menggunakan gerinda hingga didapatkan spesimen berbentuk persegi dengan dimensi 15 x 15 mm dengan ketebalan 3 mm seperti pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Spesimen pengujian kekerasan (Dokumentasi pribadi, 2022)

4. Spesimen yang digunakan untuk pengujian metalografi dipersiapkan dengan cara dipotong menggunakan gerinda hingga didapatkan spesimen berbentuk persegi dengan dimensi 15 x 15 mm dengan ketebalan 3 mm seperti pada Gambar 3.11



Gambar 3.11 Spesimen metalografi (Dokumentasi pribadi, 2022)

3.4.2 Prosedur Pemanasan Spesimen

Berikut ini adalah prosedur yang dilakukan untuk melakukan pemanasan pada spesimen

1. Dilakukan *pre-heating* pada *furnace* hingga temperatur 600°C
2. Setelah temperatur *furnace* mencapai 600°C , spesimen dimasukkan ke dalam *furnace* dan dipanaskan selama 3 jam
3. Setelah waktu 3 jam tercapai, spesimen dikeluarkan dari *furnace* dan didinginkan dengan lambat pada media udara
4. Langkah 2 dan 3 diulang dengan variasi waktu sensitisasi yang berbeda yaitu selama 5 dan 7 jam

3.4.3 Prosedur Pengamatan Metalografi

Berikut ini adalah prosedur yang dilakukan untuk melakukan metalografi pada spesimen

1. Spesimen diampelas dan dipoles hingga permukaannya rata dan mengkilap
2. Gelas beker diisi dengan akuades sebanyak 900 ml
3. Kristal asam oksalat ditimbang pada timbangan digital hingga didapat kristal asam oksalat seberat 100 gram
4. 100 gram asam oksalat tersebut kemudian dimasukkan ke dalam gelas beker berisi akuades
5. Larutan kemudian diaduk hingga seluruh kristal larut dalam akuades
6. Spesimen, *rectifier*, dan katoda SS disambungkan secara elektrik
7. *Rectifier* dinyalakan dan diatur pada tegangan 9V
8. Spesimen dan katoda dicelupkan ke dalam larutan etsa asam oksalat
9. Arus dari *rectifier* diatur hingga didapatkan arus yang mengalir sebesar 1,5 A. Besarnya arus dilihat dari hasil bacaan pada *rectifier*
10. Proses etsa dilakukan selama 90 detik
11. Setelah 90 detik tercapai, katode dan spesimen dikeluarkan dari larutan
12. Spesimen dibilas dengan air panas dan dilanjutkan dengan larutan alkohol 95% lalu dikeringkan
13. Spesimen diamati secara visual menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran

3.5 Rancangan Penelitian

Rancangan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Rancangan Penelitian

Material	Temperatur	Waktu Sensitisasi	Uji OES	Pengamatan Metalografi	Pengujian Kekerasan	Pengujian Tarik
SS304-0	-	-	✓	✓	✓	✓
SS304-3	600°C	3 jam	-	✓	✓	✓
SS304-5	600°C	5 jam	-	✓	✓	✓
SS304-7	600°C	7 jam	-	✓	✓	✓

3.6 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Pengujian OES

Pengujian OES (*Optical Emission Spectroscopy*) merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur dari suatu material. Pengujian OES pada penelitian ini dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS).

2. Metalografi

Metalografi dilakukan untuk memperlihatkan struktur mikro dari *stainless steel* 304. Standar yang digunakan pada proses metalografi adalah ASTM A262 *Practice-A* dengan larutan etsa berupa asam oksalat ($H_2C_2O_4$). Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik.

3. Pengujian Kekerasan Micro-vickers

Pengujian kekerasan micro-vickers dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan dari spesimen *stainless steel* 304. Standar yang digunakan adalah ASTM E384 dan pengujian dilakukan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS.

4. Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari spesimen *stainless steel* 304. Prinsip dasar dari pengujian tarik adalah memberikan pembebanan tarik pada spesimen uji hingga spesimen tersebut patah. Pengujian tarik pada penelitian ini dilakukan berdasarkan standar ASTM E8 dengan tipe spesimen *sheet* dan dimensi *gauge length* sebesar 50,0 mm. Pengujian tarik dilakukan di laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material ITS.

3.7 Jadwal Penelitian

Tabel 3.3 Jadwal penelitian

Kegiatan	Bulan											
	Maret			April			Mei			Juni		
Studi Literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Asistensi	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Penyusunan Proposal	■	■										
Persiapan Alat dan Bahan		■	■	■								
Pengujian OES				■	■							
Pemanasan Spesimen					■	■	■					
Pengamatan Metalografi							■	■	■	■	■	
Pengujian Kekerasan							■	■	■	■	■	
Pengujian Tarik							■	■	■	■	■	
Penyusunan Laporan Tugas Akhir	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Komposisi Kimia Spesimen *Stainless Steel 304*

Spesimen SS304 berukuran 30x30 mm dan ketebalan 3 mm diuji komposisi kimia menggunakan *Optical Emmision Spectroscopy* (OES). Pengujian *Optical Emmision Spectroscopy* dilakukan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya dengan standar uji ASTM E1086-14. Tabel 4.1 di bawah merupakan hasil komposisi kimia dari spesimen hasil pengujian *Optical Emmision Spectroscopy* dibandingkan dengan komposisi kimia SS304 berdasarkan buku *Steel Product Manual*.

Tabel 4.1 Perbandingan komposisi kimia SS304 hasil uji OES dengan Handbook Steel Product Manual

Unsur	Referensi (wt%)	Hasil Uji (wt%)
C	0,08 max	0,0514
Mn	2,00 max	1,06
P	0,045 max	0,0302
S	0,030 max	0,0097
Si	1,00 max	0,439
Cr	18,0-20,0	18,2
Ni	8,0-12,0	8,67
N	0,10 max	0,0801
Fe	Bal.	Bal.

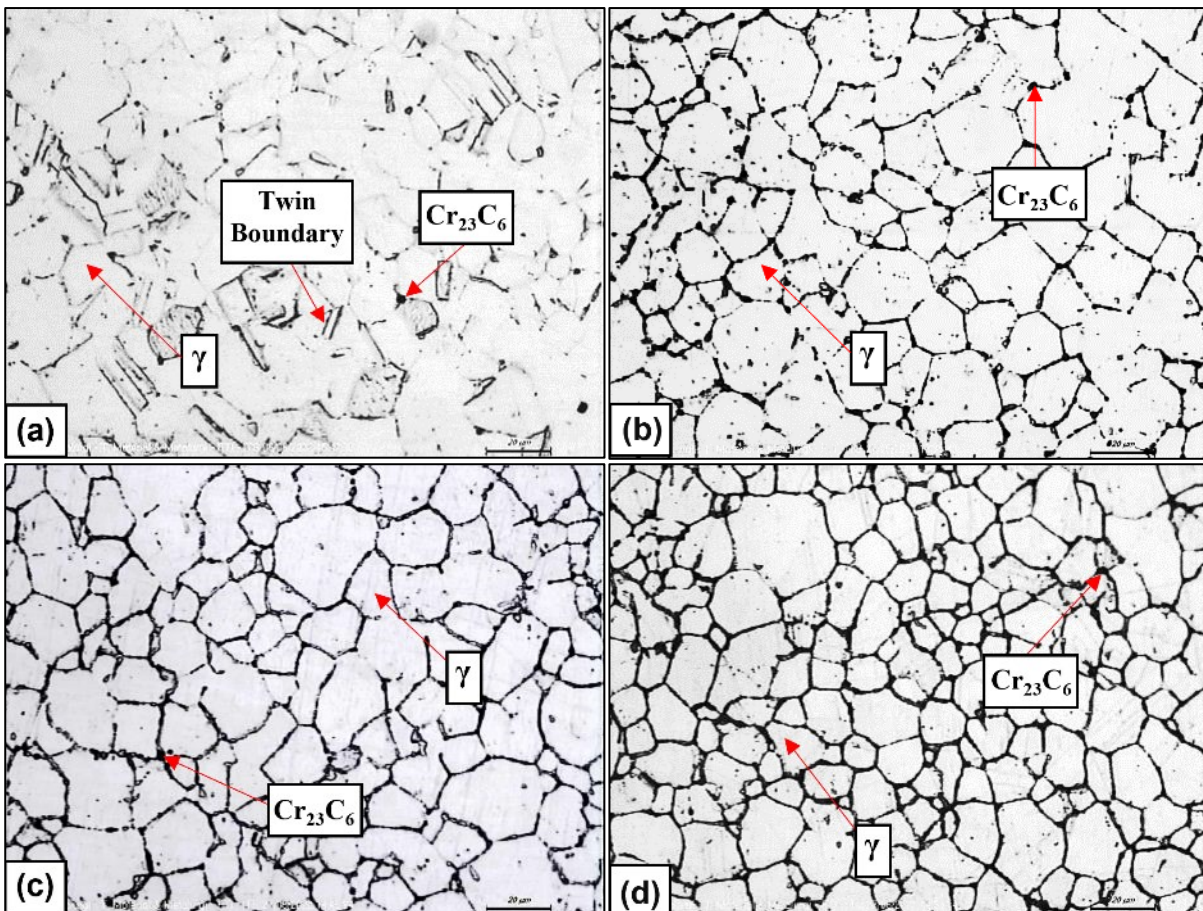
Pada spesimen hasil uji, kadar karbon (C) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 0,0514%, di mana nilai ini tidak melebihi batas maksimal persentase karbon (Cr) yang terdapat pada Handbook Steel Product Manual yaitu 0,08%. Kadar kromium (Cr) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 18,2%, di mana nilai ini berada di dalam rentang persentase kromium (Cr) yaitu 18%-20%. Kadar nikel (Ni) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 8,67% di mana nilai ini berada di dalam rentang persentase nikel (Ni) yaitu 8,0%-12,0%. Kadar mangan (Mn) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 1,06%, di mana nilai ini tidak melebihi batas maksimal persentase mangan (Mn) yaitu 2,00%. Kadar fosfor (P) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 0,0302%, di mana nilai ini tidak melebihi batas maksimal persentase fosfor (P) yaitu 0,045%. Kadar sulfur (S) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 0,0097%, di mana nilai ini tidak melebihi batas maksimal persentase sulfur (S) yaitu 0,03%. Kadar silikon (Si) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 0,439%, di mana nilai ini tidak melebihi batas maksimal persentase silikon (Si) yaitu 1,00%. Kadar nitrogen (N) yang terkandung pada spesimen SS304 adalah 0,0801%, di mana nilai ini tidak melebihi batas maksimal persentase sulfur (S) yaitu 0,10%. Dengan demikian, spesimen SS304 yang diuji memiliki komposisi yang sesuai dengan komposisi yang tercantum pada Handbook Steel Product Manual.

4.2 Pengamatan Metalografi

Proses metalografi diawali dengan melakukan preparasi pada spesimen SS304 berukuran 15x15 mm dan ketebalan 3 mm dengan melakukan *grinding* menggunakan kertas ampelas grade 80 sampai 2000 dengan tujuan untuk meratakan permukaan. Spesimen kemudian dipoles menggunakan kain bludru yang diberi pasta *autosol*. Proses selanjutnya adalah proses etsa menggunakan larutan asam oksalat 10%. Proses etsa dilakukan secara *electro-etching* menggunakan *rectifier* dengan tegangan 9V dan arus 1,5A selama 90 detik dengan katoda

berupa *stainless steel* (disambungkan ke kutub negatif) dan spesimen SS304 sebagai anoda (disambungkan ke kutub positif). Setelah proses etsa dilakukan, spesimen dibilas menggunakan alkohol dan air mengalir, kemudian dikeringkan. Proses selanjutnya adalah pengamatan struktur mikro yang dilakukan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 500x dan 1000x.

Pengamatan struktur mikro dengan perbesaran 500x memiliki tujuan untuk mengidentifikasi struktur yang terbentuk berdasarkan standar ASTM A262 Practice A. Pada standar tersebut, terdapat tiga jenis struktur yaitu *step*, *dual*, dan *ditch*. Pada struktur *step*, batas butir yang tersensitisasi sangat minim dan tidak sampai mengelilingi butir dari spesimen. Struktur *dual* merupakan struktur di mana terdapat sebagian butir yang telah dikelilingi oleh batas butir yang tersensitisasi. Sementara itu, pada struktur *ditch*, seluruh butir pada spesimen telah dikelilingi oleh batas butir yang tersensitisasi. Gambar 4.1 di bawah merupakan hasil pengamatan metalografi dari spesimen. Sementara itu, struktur yang terbentuk pada masing-masing variasi waktu sensitisasi ditunjukkan pada Tabel 4.2.

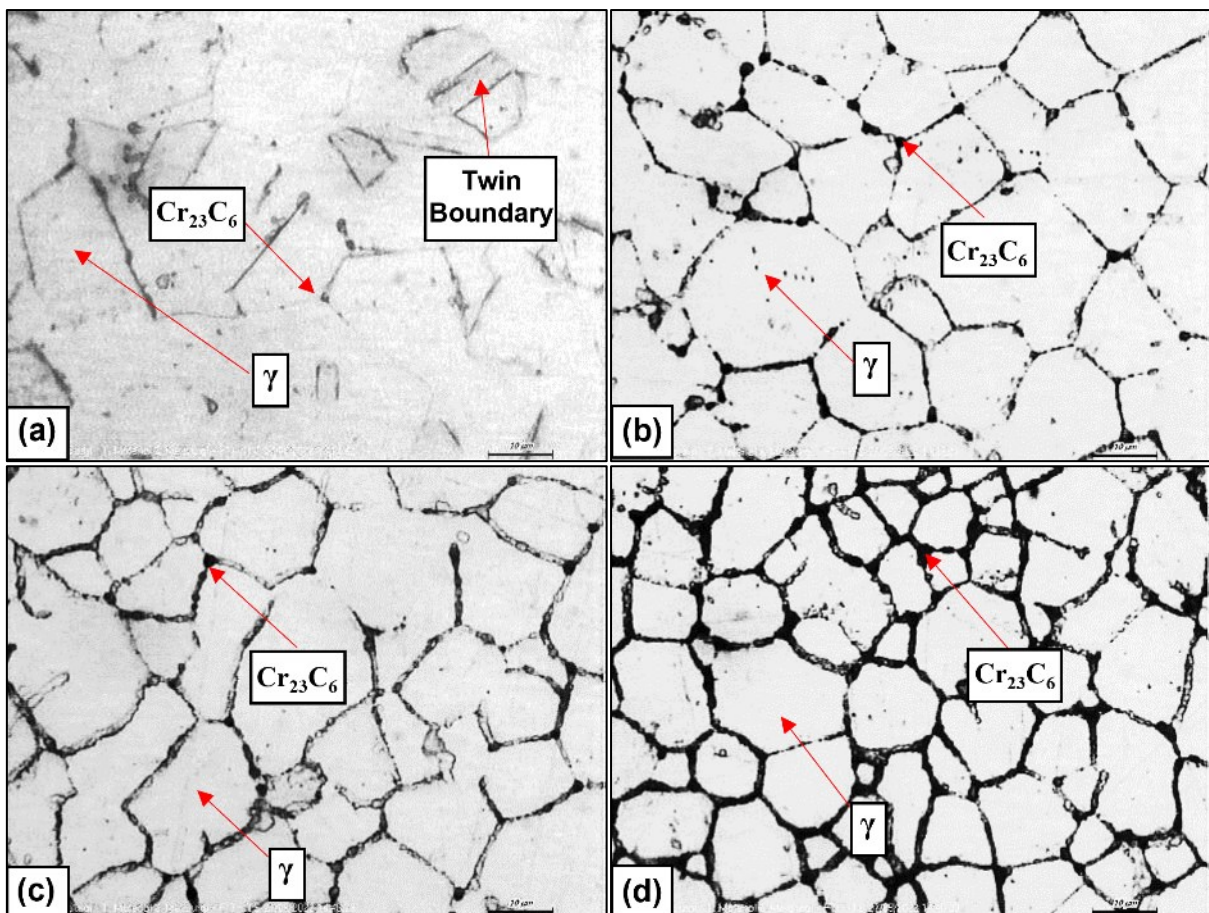


Gambar 4.1 Struktur mikro SS304 dengan waktu sensitisasi (a) tanpa sensitisasi, (b) 3 jam, (c) 5 jam, (d) 7 jam pada perbesaran 500x

Tabel 4.2 Struktur yang terbentuk pada spesimen SS304 dengan variasi waktu sensitisasi

No.	Spesimen	Waktu sensitisasi	Struktur
1	SS304-0	-	<i>Step structure</i>
2	SS304-3	3 jam	<i>Dual structure</i>
3	SS304-5	5 jam	<i>Dual structure</i>
4	SS304-7	7 jam	<i>Ditch structure</i>

Pada spesimen tanpa sensitisasi, terbentuk struktur berupa *step structure*, hal ini menunjukkan bahwa sensitisasi yang terjadi sangat kecil. Sementara itu, pada spesimen SS304 dengan waktu sensitisasi 3 jam dan 5 jam sama-sama menghasilkan struktur berupa *dual structure*. Akan tetapi, pada spesimen dengan waktu sensitisasi 5 jam, jumlah butir yang dikelilingi oleh batas butir lebih banyak daripada spesimen dengan waktu sensitisasi 3 jam. Hal ini mengindikasikan bahwa sensitisasi yang terjadi pada spesimen dengan waktu sensitisasi 5 jam lebih banyak dibandingkan spesimen dengan waktu sensitisasi 3 jam. Sementara itu, pada spesimen dengan waktu sensitisasi 7 jam, struktur yang terbentuk berupa *ditch structure* karena pada hasil pengamatan mikroskop, terlihat bahwa seluruh butir yang terdapat pada spesimen telah dikelilingi oleh batas butir sepenuhnya. Struktur *ditch* yang terbentuk pada spesimen dengan waktu sensitisasi 7 jam mengindikasikan bahwa seluruh batas butir telah mengalami sensitisasi. Berdasarkan analisis, dapat diketahui bahwa semakin lama waktu sensitisasi yang diberikan, maka struktur secara bertahap akan berubah dari *step* ke *dual* kemudian menjadi *ditch* karena daerah *chromium-depleted zone* akan semakin melebar (Bansod et al., 2016).



Gambar 4.2 Struktur mikro SS304 dengan waktu sensitisasi (a) tanpa sensitisasi, (b) 3 jam, (c) 5 jam, (d) 7 jam pada perbesaran 1000x

Gambar 4.2 memperlihatkan hasil pengamatan dari spesimen SS304 tanpa sensitisasi serta variasi perlakuan waktu sensitisasi selama 3, 5, dan 7 jam dengan perbesaran 1000x. Secara umum, semua spesimen memiliki struktur yang hampir sama yaitu terdiri dari butir austenit. Austenit dapat terbentuk pada temperatur kamar dikarenakan adanya penambahan unsur nikel (Ni) yang mampu menstabilkan struktur austenit (Hedström, 2007). Pada spesimen tanpa sensitisasi, terdapat sedikit kromium karbida yang telah terbentuk meskipun tidak

diberikan perlakuan panas. Selain itu, juga terdapat beberapa *twin boundary* pada struktur mikronya. *Twin boundary* pada *austenitic stainless steel* dapat disebabkan oleh proses *rolling* dan juga *annealing* pada saat proses manufaktur dari spesimen dilakukan (Chen et al., 2018; Mallick et al., 2017). Pada spesimen dengan variasi waktu sensitisasi 3 jam, sudah mulai tampak adanya presipitat karbida krom pada batas butir. Pada spesimen dengan variasi waktu sensitisasi 5 jam, presipitat kromium karbida yang terbentuk semakin banyak. Sementara itu, presipitat kromium karbida paling banyak terbentuk pada spesimen dengan variasi waktu sensitisasi 7 jam.

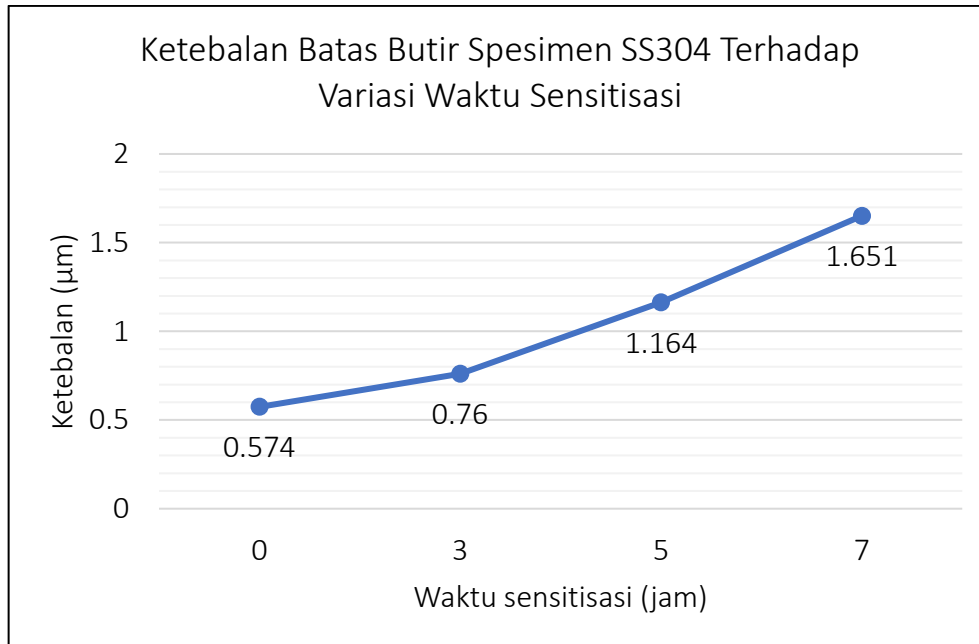
Pembentukan kromium karbida sangat dipengaruhi oleh temperatur, waktu, dan kadar karbon pada *stainless steel*. Pada temperatur 600°C presipitasi karbida kromium mulai terjadi ketika pemanasan dilakukan selama lebih dari 10 menit untuk *stainless steel* dengan kadar karbon sebesar 0,052% (Schweitzer, 2013). Hasil metalografi yang didapatkan pun juga sejalan dengan teori tersebut, di mana pemanasan spesimen selama 3, 5, dan 7 jam pada temperatur 600°C telah mengakibatkan terbentuknya presipitat kromium karbida pada batas butir. Sementara itu, pada spesimen *stainless steel 304* tanpa sensitisasi, telah terbentuk kromium karbida dalam jumlah yang sangat kecil. Hal ini dapat disebabkan karena adanya perlakuan panas yang dilakukan ketika proses manufaktur dari spesimen berlangsung. Sementara itu, semakin lama waktu sensitisasi yang diberikan pada spesimen, presipitasi kromium karbida yang terbentuk semakin banyak. Hal ini disebabkan karena dengan adanya waktu sensitisasi yang semakin panjang, unsur krom dan karbon yang berada di matriks memiliki waktu yang lebih panjang untuk berdifusi ke batas butir dan membentuk presipitat kromium karbida (Sungkono & Ismarwanti, 2021).

Selain jumlah presipitat karbida krom yang semakin banyak, variasi waktu sensitisasi juga berpengaruh terhadap ketebalan batas butir spesimen. Berikut ini adalah hasil pengukuran ketebalan batas butir.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran ketebalan batas butir spesimen SS304

No.	Spesimen	Waktu sensitisasi	Ketebalan Batas Butir (μm)
1	SS304-0	-	0,574
2	SS304-3	3 jam	0,760
3	SS304-5	5 jam	1,164
4	SS304-7	7 jam	1,651

Berdasarkan Tabel 4.3, dapat diketahui bahwa adanya variasi perlakuan waktu sensitisasi memberikan pengaruh terhadap ketebalan batas butir yang terbentuk. Nilai ketebalan batas butir pada spesimen SS304-0 adalah 0,574 μm . Nilai ini kemudian meningkat pada spesimen SS304-3 menjadi 0,760 μm . Spesimen SS304-5 dengan variasi waktu sensitisasi selama 5 jam juga menunjukkan peningkatan nilai ketebalan batas butir menjadi 1,164 μm . Nilai ketebalan batas butir tertinggi didapat pada spesimen SS304-7 dengan variasi waktu sensitisasi selama 7 jam, yang secara berturut-turut bernilai 1,651 μm . Berdasarkan data di atas, dapat diketahui bahwa semakin lama waktu sensitisasi yang diberikan ke spesimen SS304 menyebabkan peningkatan ketebalan batas butir.



Gambar 4.3 Nilai ketebalan batas butir SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan antara ketebalan batas butir terhadap waktu sensitisasi. Berdasarkan diagram di atas, dapat diketahui bahwa ketebalan batas butir mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu sensitisasi. Batas butir yang semakin tebal mengindikasikan adanya korosi batas butir yang semakin banyak. Adanya perlakuan panas pada temperatur 600°C menyebabkan terjadinya presipitasi kromium karbida pada batas butir. Proses presipitasi kromium karbida ini menarik unsur krom dari daerah di sekitar batas butir sehingga terjadi penurunan kadar kromium di daerah tersebut. Penurunan kadar kromium ini membentuk *chromium-depleted zone* dan menyebabkan tidak terbentuknya lapisan pelindung kromium oksida (Cr_2O_3) pada daerah tersebut. Akibatnya, ketika spesimen terpapar lingkungan korosif seperti larutan etsa, daerah *chromium-depleted zone* akan menjadi anodik dan dengan mudah mengalami korosi batas butir sehingga tampak tebal (Budianto et al., 2009). Sementara itu, daerah *chromium-depleted zone* ini semakin melebar seiring dengan bertambahnya waktu sensitisasi yang menyebabkan batas butir dari spesimen SS304 menjadi semakin tebal dengan bertambahnya waktu sensitisasi (Bansod et al., 2016).

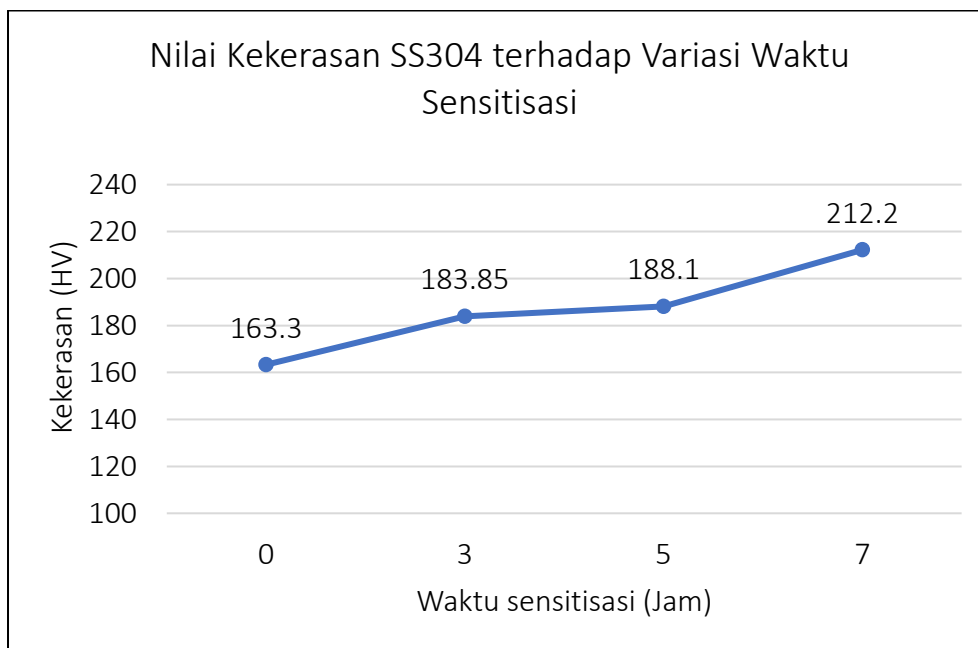
4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi perubahan dari kekerasan spesimen dengan variasi waktu sensitisasi. Spesimen SS304 yang diuji memiliki dimensi 15x15 mm dengan ketebalan 3 mm. Preparasi dari spesimen dilakukan dengan melakukan *grinding* menggunakan kertas abrasif mulai grade 80 hingga 2000 kemudian melakukan *polishing* menggunakan pasta poles *autosol*. Pengujian kekerasan dilakukan di Laboratorium Metalurgi dan Manufaktur, Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS dengan menggunakan Alat Uji Kekerasan *Micro-Vickers*. Pengujian dilakukan di 5 titik untuk masing-masing spesimen yang diuji, yang kemudian dihitung nilai rata-ratanya. Berikut ini adalah data yang diperoleh dari pengujian kekerasan untuk setiap spesimen SS304.

Tabel 4.4 Hasil uji kekerasan SS304 dengan variasi waktu sensitisasi

No.	Spesimen	Waktu Sensitisasi	Kekerasan (HV)					Rata-rata (HV)
			1	2	3	4	5	
1	SS304-0	-	153,7	158,6	182,9	160,9	160,4	163,30
2	SS304-3	3 jam	183,6	184,1	181,9	186,4	185,1	183,85
3	SS304-5	5 jam	190,6	183,7	190,0	179,2	173,6	188,10
4	SS304-7	7 jam	217,9	213,1	214,2	203,3	212,7	212,20

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat diketahui bahwa adanya variasi waktu sensitisasi menghasilkan nilai kekerasan yang beragam dari spesimen SS304. Nilai kekerasan spesimen SS304-0 tanpa sensitisasi yaitu sebesar 163,3 HV. Pada spesimen SS304-3 dengan perlakuan waktu sensitisasi selama 3 jam, nilai kekerasan mengalami peningkatan menjadi 183,85 HV. Nilai kekerasan kembali mengalami peningkatan pada spesimen SS304-5 dengan variasi waktu sensitisasi selama 5 jam yaitu sebesar 188,1 HV. Nilai kekerasan kemudian mengalami peningkatan kembali pada spesimen SS304-7 dengan variasi waktu sensitisasi selama 7 jam yaitu sebesar 212,2 HV, yang sekaligus menjadi nilai kekerasan terendah di antara semua spesimen SS304 yang diuji.



Gambar 4.4 Nilai kekerasan SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara variasi waktu sensitisasi terhadap nilai kekerasan dari spesimen SS304. Berdasarkan diagram tersebut, terjadi peningkatan nilai kekerasan seiring dengan bertambahnya waktu sensitisasi. Peningkatan nilai kekerasan disebabkan oleh adanya presipitasi kromium karbida pada batas butir. Berdasarkan analisis dari pengamatan metalografi, semakin lama waktu sensitisasi yang diberikan pada spesimen SS304, presipitat kromium karbida yang terbentuk pada batas butir akan semakin banyak. Presipitat kromium karbida ini bertindak sebagai penghambat dislokasi pada struktur dari spesimen SS304 (Tukur et al., 2014). Adanya penghambat dislokasi ini menyebabkan deformasi semakin sulit terjadi sehingga dibutuhkan beban yang lebih besar untuk bisa mengakibatkan deformasi plastis sehingga sifat kekerasan dari spesimen mengalami peningkatan (Callister Jr & Rethwisch, 2018).

4.4 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan kurva tegangan-regangan dari masing-masing spesimen SS304. Kemudian dilakukan analisis untuk mengetahui perubahan sifat mekanik berupa kekuatan dan keuletan dari setiap spesimen. Pengujian tarik dilakukan dengan menggunakan *Universal Testing Machine* dengan beban maksimum 20 ton yang terdapat di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material dan Metalurgi ITS dan Laboratorium Konstruksi dan Kekuatan Kapal di Departemen Teknik Perkapalan ITS. Preparasi spesimen dilakukan menggunakan standar ASTM E8 dengan tipe spesimen berupa *sheet* dengan ketebalan 3 mm dan *gauge length* sebesar 50,0 mm. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali pengulangan untuk setiap variasi waktu sensitisasi.

4.4.1 Kekuatan

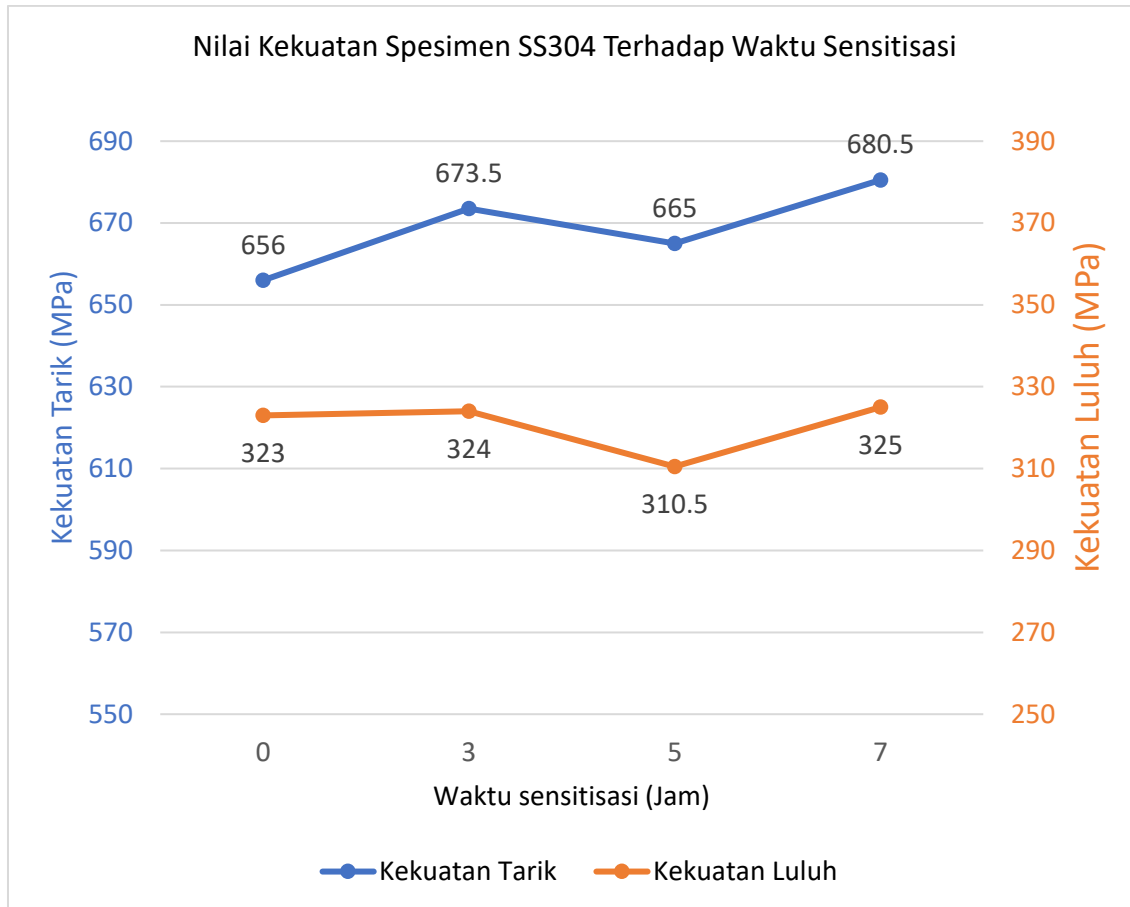
Kekuatan tarik merupakan nilai tegangan maksimum yang dapat diterima oleh suatu material sebelum akhirnya mengalami kegagalan. Sedangkan kekuatan luluh merupakan nilai tegangan yang dapat diterima suatu material sebelum mengalami peralihan dari deformasi elastis ke deformasi plastis. Tabel 4.5 di bawah adalah data kekuatan dari spesimen SS304.

Tabel 4.5 Kekuatan SS304 dengan variasi waktu sensitisasi

No.	Spesimen	Waktu Sensitisasi	Rata-rata Kekuatan Tarik (MPa)	Rata-rata Kekuatan Luluh (MPa)
1	SS304-0	-	656	323,0
2	SS304-3	3 jam	673.5	324,0
3	SS304-5	5 jam	665	310,5
4	SS304-7	7 jam	680.5	325,0

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat diketahui bahwa adanya variasi waktu sensitisasi menghasilkan nilai kekuatan tarik yang beragam dari spesimen SS304. Nilai kekuatan tarik paling rendah didapatkan pada spesimen SS304-0 tanpa sensitisasi yaitu sebesar 656 MPa. Pada spesimen SS304-3 dengan perlakuan waktu sensitisasi selama 3 jam, nilai kekuatan tarik mengalami kenaikan menjadi 673,5 MPa. Nilai kekuatan tarik kemudian mengalami penurunan pada spesimen SS304-5 dengan variasi waktu sensitisasi selama 5 jam yaitu sebesar 665 MPa. Nilai kekuatan tarik mengalami peningkatan kembali pada spesimen SS304-7 dengan variasi waktu sensitisasi selama 7 jam yaitu sebesar 680,5 MPa, yang sekaligus menjadi nilai kekuatan tarik tertinggi di antara semua spesimen yang diuji. Keempat spesimen menunjukkan tren peningkatan kekuatan tarik seiring dengan bertambahnya waktu sensitisasi.

Sementara itu, berdasarkan Tabel 4.5 juga dapat diketahui bahwa adanya variasi waktu sensitisasi menghasilkan nilai kekuatan luluh yang beragam dari spesimen SS304. Nilai kekuatan luluh spesimen SS304-0 tanpa sensitisasi selama yaitu sebesar 323 MPa. Pada spesimen SS304-3 dengan perlakuan waktu sensitisasi selama 3 jam, nilai kekuatan luluh mengalami kenaikan menjadi 324 MPa. Nilai kekuatan luluh kemudian mengalami penurunan pada spesimen SS304-5 dengan variasi waktu sensitisasi selama 5 jam yaitu sebesar 310,5 MPa. Nilai kekuatan luluh mengalami peningkatan kembali pada spesimen SS304-7 dengan variasi waktu sensitisasi selama 7 jam yaitu sebesar 325 MPa, yang sekaligus menjadi nilai kekuatan luluh tertinggi di antara semua spesimen yang diuji.



Gambar 4.5 Nilai kekuatan spesimen SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara variasi waktu sensitisasi terhadap kekuatan tarik dan luluh dari spesimen SS304. Berdasarkan diagram tersebut, terjadi tren peningkatan kekuatan tarik dan kekuatan luluh seiring dengan bertambahnya waktu sensitisasi. Tren peningkatan kekuatan tarik disebabkan oleh adanya presipitasi kromium karbida yang terbentuk ketika spesimen diberikan perlakuan panas pada temperatur 600°C. Berdasarkan analisis dari pengamatan metalografi, semakin lama waktu sensitisasi yang diberikan pada spesimen SS304, presipitat kromium karbida yang terbentuk akan semakin banyak. Presipitat kromium karbida ini memberikan efek penguat dengan cara bertindak sebagai penghambat dislokasi (Jung & Kim, 2019). Adanya penghambat dislokasi menyebabkan spesimen lebih sulit mengalami deformasi plastis sehingga dibutuhkan beban lebih besar untuk bisa menyebabkan deformasi pada spesimen (Callister Jr & Rethwisch, 2018). Oleh karena itu, semakin lama waktu sensitisasi yang diberikan, kekuatan dari SS304 dapat mengalami peningkatan. Terdapat penurunan kekuatan terjadi pada spesimen SS304-5 dengan variasi waktu sensitisasi 5 jam. Penurunan ini diduga disebabkan karena ukuran butir dari spesimen SS304-5 lebih besar daripada SS304-3 dengan variasi waktu sensitisasi 3 jam. Butir yang semakin kecil memiliki batas butir yang lebih banyak untuk menghambat dislokasi dibandingkan dengan ukuran butir yang lebih besar (Callister Jr & Rethwisch, 2018). Oleh sebab itu, ukuran butir yang lebih besar mengakibatkan penurunan kekuatan tarik dan kekuatan luluh (Naghizadeh & Mirzadeh, 2019).

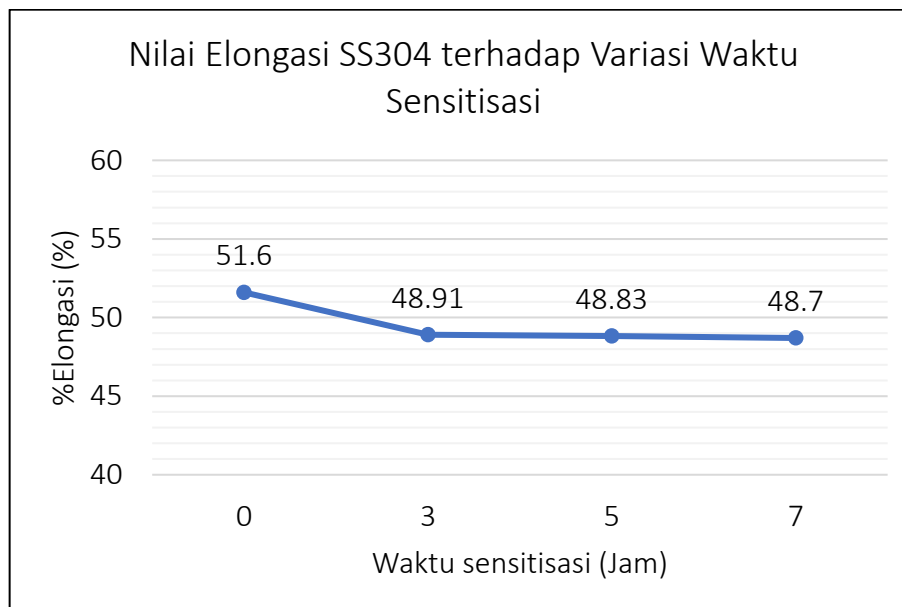
4.4.2 Keuletan

Keuletan dari spesimen didapatkan dengan menghitung persentase elongasi dari masing-masing spesimen. Keuletan menunjukkan kemampuan dari suatu material untuk mengalami deformasi plastis sebelum pada akhirnya mengalami kegagalan.

Tabel 4.6 Keuletan SS304 dengan variasi waktu sensitisasi

No.	Spesimen	Waktu Sensitisasi	Elongation (%)		Rata-rata (%)
			Percobaan 1	Percobaan 2	
1	SS304-0	-	53,60	49,60	51.60
2	SS304-3	3 jam	48,94	48,88	48.91
3	SS304-5	5 jam	47,62	50,04	48.83
4	SS304-7	7 jam	48,43	48,96	48.70

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat diketahui bahwa adanya variasi waktu sensitisasi menghasilkan nilai elongasi yang beragam dari spesimen SS304. Nilai elongasi spesimen SS304-0 tanpa sensitisasi yaitu sebesar 51,6%. Pada spesimen SS304-3 dengan perlakuan waktu sensitisasi selama 3 jam, nilai elongasi mengalami penurunan menjadi 48,91%. Nilai elongasi kembali mengalami penurunan pada spesimen SS304-5 dengan variasi waktu sensitisasi selama 5 jam yaitu sebesar 48,83%. Nilai elongasi kemudian mengalami penurunan kembali pada spesimen SS304-7 dengan variasi waktu sensitisasi selama 7 jam yaitu sebesar 48,7%, yang sekaligus menjadi nilai elongasi terendah di antara semua spesimen yang diuji.



Gambar 4.6 Nilai elongasi spesimen SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi

Gambar 4.6 memperlihatkan hubungan antara elongasi dari spesimen SS304 terhadap variasi waktu sensitisasi. Elongasi dari spesimen SS304 mengalami penurunan ketika waktu sensitisasi semakin lama, yang mengindikasikan adanya penurunan keuletan dari spesimen. Hal ini disebabkan oleh presipitasi kromium karbida yang terjadi pada saat proses perlakuan panas dilakukan pada temperatur 600°C. Berdasarkan analisis dari pengamatan metalografi, semakin lama waktu sensitisasi yang diberikan pada spesimen SS304, presipitat kromium karbida yang terbentuk di batas butir akan semakin banyak. Presipitasi kromium karbida yang semakin banyak menyebabkan semakin banyak hambatan bagi struktur untuk mengalami dislokasi. Oleh karena itu, ketika spesimen diberikan beban, spesimen mengalami dislokasi yang semakin sedikit sehingga pertambahan panjang dari spesimen berkurang dan menyebabkan keuletan dari spesimen juga berkurang (Tukur et al., 2014). Selain itu, pada saat spesimen diberikan beban tarik, adanya presipitasi kromium karbida dapat bertindak sebagai tempat inisiasi dari void. Dengan penambahan waktu sensitisasi, presipitasi kromium karbida yang terbentuk semakin

banyak dan meningkatkan tempat inisiasi dari *void* pada spesimen SS304 (Ghosh et al., 2009). Inisiasi dari *void* terjadi pada presipitat kromium karbida disebabkan karena kromium karbida memiliki sifat yang lebih getas daripada matriks austenit, yang kemudian mengurangi daya ikat antar matriks austenit. Akibatnya, inisiasi dari *crack* dan *void* menjadi lebih mudah terjadi karena tegangan pada saat beban tarik diberikan terkonsentrasi pada batas butir (Jung & Kim, 2019).

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Struktur mikro *stainless steel* 304 mengalami perubahan ketika dipanaskan pada temperatur 600°C dengan variasi waktu 3, 5, dan 7 jam. Pada spesimen tanpa sensitisasi, struktur yang terbentuk adalah *step*. Kemudian secara berturut-turut, struktur yang terbentuk berubah secara bertahap menjadi *dual*, *dual*, dan *ditch*. Selain itu, presipitasi dari kromium karbida pada batas butir juga meningkat seiring dengan meningkatnya waktu sensitisasi, serta menyebabkan peningkatan ketebalan batas butir. Peningkatan presipitasi dan ketebalan batas butir ini berbanding lurus dengan melebarnya *chromium-depleted zone* pada daerah di sekitar batas butir sehingga batas butir akan menjadi semakin tebal seiring dengan bertambahnya waktu sensitisasi.
2. Waktu sensitisasi memberikan pengaruh terhadap sifat mekanik *stainless steel* 304. Kekuatan tarik, kekuatan luluh, dan kekerasan menunjukkan tren peningkatan seiring bertambahnya waktu sensitisasi ketika *stainless steel* 304 dipanaskan pada temperatur 600°C. Sementara itu, keuletan dari *stainless steel* 304 mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya waktu sensitisasi ketika *stainless steel* 304 dipanaskan pada temperatur 600°C.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat digunakan pada penelitian-penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Perlunya dilakukan proses *annealing* dengan memanaskan spesimen pada temperatur 1200°C untuk menghilangkan kromium karbida yang terbentuk ketika proses manufaktur dari spesimen
2. Menambahkan variasi baru berupa temperatur untuk mengetahui lebih jauh pengaruh temperatur terhadap sifat mekanik maupun struktur mikro dari *stainless steel* 304
3. Menambah jumlah pengulangan pada pengujian tarik agar hasil yang didapat lebih akurat
4. Melakukan pengujian mekanik lain seperti uji *bending* dan uji impak untuk mengetahui lebih jauh pengaruh sensitisasi terhadap sifat mekanik *stainless steel* 304

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E8. (2010). ASTM E8/E8M standard test methods for tension testing of metallic materials 1. *Annual Book of ASTM Standards 4, C*, 1–27. <https://doi.org/10.1520/E0008>
- ASTM Standard. (2021). Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Austenitic Stainless Steels. *ASTM International, West Conshohocken, PS, 01*(Reapproved), 1–17. <https://doi.org/10.1520/A0262-15>.
- Bahrami, A., Rafiaei, S. M., & Yazdan Mehr, M. (2019). Root Cause Analysis of Failure in Superheater Tubes in a Power Plant. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 8(2), 275–280. <https://doi.org/10.1007/s13632-019-00533-4>
- Bansod, A. V., Patil, A. P., Moon, A. P., & Khobragade, N. N. (2016). Intergranular Corrosion Behavior of Low-Nickel and 304 Austenitic Stainless Steels. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(9), 3615–3626. <https://doi.org/10.1007/s11665-016-2221-2>
- Budianto, A., Purwantini, K., & Sujitno, B. T. (2009). Pengamatan Struktur Mikro pada Korosi Antar Butir Dari Material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasan. *JFN*, 3(2), 107–130.
- Callister Jr, W. D., & Rethwisch, D. G. (2018). *Materials Science and Engineering - An Introduction 10th Edition*.
- Chen, X., Zhou, C., Zheng, J., & Zhang, L. (2018). Effects of α' martensite and deformation twin on hydrogen-assisted fatigue crack growth in cold/warm-rolled type 304 stainless steel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(6), 3342–3352. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2017.12.173>
- Cobb, H. M. (1999). Steel Products Manual: Stainless Steels. In *Iron & Steel Society* (p. 116).
- Ezedinma Agbokwor, S., & Ikechukwu Neife, S. (2019). Investigation of the Effects of Soaking Time on the Properties of Stainless Steel. *American Journal of Mechanical and Materials Engineering*, 3(3), 47. <https://doi.org/10.11648/j.ajmme.20190303.11>
- Farrar, J. C. M. (2004). *The alloy tree : A guide to low-alloy steels, stainless steels and nickel-base alloys*.
- Fifield, F. W. and Kealey, D. (2000). *Principle and practice of analytical Chemistry*. http://sci-lib.org/books_1/F/fifield.pdf
- Ghosh, S., Kain, V., Ray, A., Roy, H., Sivaprasad, S., Tarafder, S., & Ray, K. K. (2009). Deterioration in fracture toughness of 304LN austenitic stainless steel due to sensitization. *Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science*, 40(12), 2938–2949. <https://doi.org/10.1007/s11661-009-0023-y>
- Hedström, P. (2007). Deformation and Martensitic Phase Transformation in Stainless Steels. In *Luleå University of Technology*.
- Herman, I. P. (1996). *Optical Diagnostics for Thin Film Processing*.
- Higgins, R. (1999). Engineering Metallurgy: Applied Physical Metallurgy. *Edward Arnold, 1999*, 560.
- International, A. (2004). ASM Metals Handbook, Volume 09 Metallography and Microstructures Handbook. In *ASM Handbook* (Vol. 9, p. 2733). <http://www.worldcat.org/oclc/42469467>
- Jung, K.-H., & Kim, S.-J. (2019). Influence of Sensitization on Mechanical Properties of AISI 304 Stainless Steel under High-Temperature. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 19(7), 4265–4269. <https://doi.org/10.1166/jnn.2019.16270>
- Kelidari, Y., Kashefi, M., Mirjalili, M., Seyedi, M., & Krause, T. W. (2020). Eddy current technique as a nondestructive method for evaluating the degree of sensitization of 304 stainless steel. *Corrosion Science*, 173(March).

- <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108742>
- Khatak, H. S., & Raj, B. (2002). Corrosion of Austenitic Stainless Steels. In *Corrosion of Austenitic Stainless Steels*. <https://doi.org/10.1533/9780857094018>
- Li, Y., Zhao, J., & Li, B. (2019). Physical and mechanical properties. In *Loess and Loess Geohazards in China*. <https://doi.org/10.1201/9781315177281-4>
- Lleweuyn, D. T., & Hudd, R. C. (1998). *Steels: Metallurgy and Applications Third Edition*.
- Mallick, P., Tewary, N. K., Ghosh, S. K., & Chattopadhyay, P. P. (2017). Microstructure-tensile property correlation in 304 stainless steel after cold deformation and austenite reversion. *Materials Science and Engineering A*, 707(September), 488–500. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2017.09.070>
- McGuire, M. F. (2008). Stainless Steels for Design Engineers. In *Stainless Steels for Design Engineers*. <https://doi.org/10.31399/asm.tb.ssde.9781627082860>
- Naghizadeh, M., & Mirzadeh, H. (2019). Effects of Grain Size on Mechanical Properties and Work-Hardening Behavior of AISI 304 Austenitic Stainless Steel. *Steel Research International*, 90(10), 1–9. <https://doi.org/10.1002/srin.201900153>
- Nayan, N., Sanudin, R., Nadzlin, T., & Ibrahim, T. (2009). An Introduction to Optical Emission Spectroscopy and Laser-Aided Spectroscopy Techniques for Low-Temperature Plasma Analyses. *Engineering and Technology*, 1–4.
- Outokumpu. (2013). *Handbook of Stainless Steel*. 1–89. <http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf>
- Pierre R. Roberge. (1999). Handbook of Corrosion Engineering Library of Congress. In *Corrosion*.
- Pradhan, K. K., & Matawale, C. R. (2020). Heat treatment analysis of SS304 for gas turbine application. *Materials Today: Proceedings*, 33(xxxx), 5734–5739. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.102>
- Schweitzer, P. A. (2013). Fundamentals of Corrosion-Mechanisms, Causes, and Preventative Methods. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).
- Singh, J., & Shahi, A. S. (2018). Weld joint design and thermal aging influence on the metallurgical, sensitization and pitting corrosion behavior of AISI 304L stainless steel welds. *Journal of Manufacturing Processes*, 33(May), 126–135. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2018.05.004>
- Sinha, P., Chakravarty, S., Singh, R., Singh, P. K., & G., V. S. M. (2019). Magnetization study of the sensitization in SS304LN. *Materials Research Bulletin*, 109, 149–154. <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2018.09.028>
- Sungkono, & Ismarwanti, S. (2021). Perilaku Tarik dan Struktur Mikro Baja Tahan Karat AISI 304 Pasca Perlakuan Panas pada Daerah Sensitisasi 600-700oC. *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, 27(3), 123–132.
- Tukur, S. A., Dambatta, M. S., & Ahmed, A. (2014). *Effect of Heat Treatment Temperature on Mechanical Properties of the AISI 304*. 3(2), 9516–9520.
- Uhlig, H. H., & Winston, R. R. (2008). CORROSION AND CORROSION CONTROL CORROSION AND An Introduction to Corrosion Science and Engineering. In *A John Wiley and Sons, INC., publication*.
- Zaki Ahmad. (2006). *Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control*.
- Zhang, J., Hu, K., Zhao, J., Duan, S., & Zhan, X. (2022). Effect of heat input on microstructure and corrosion resistance in heat affected zone of 304 stainless steel joint by laser welding. *Materials Today Communications*, 30(November 2021), 103054. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2021.103054>
- Zhang, S., Wang, Q., Yang, R., & Dong, C. (2021). Composition equivalents of stainless steels

-
- understood via gamma stabilizing efficiency. *Scientific Reports*, 11(1), 5423. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84917-z>
- Zhang, X., Tang, J., Liu, H., & Gong, J. (2019). Effects of pre-strain on sensitization and intergranular corrosion for 304 stainless steel. *Engineering Failure Analysis*, 106(August), 104179. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2019.104179>
- Zipperian, D. C. (2011). Metallographic Handbook. In *PACE Technologies*.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

1. Hasil Pengujian Optical Emission Spectroscopy (OES)



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA DAN PRODUKSI
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya 60111
TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444
Laman : www.ppns.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
REPORT ON THE TEST RESULT

Nomor Number	: 088	/PL19/BJP/2022
-----------------	-------	----------------

PELANGGAN / Customer		
1.	Nama Name	: LEON SUTANTO T. MATERIAL ITS
2.	Alamat Address	: Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
BENDA UJI / Test Specimen		
1.	Tanggal Diterima Date of Received	: March 28, 2022
2.	Spesimen Uji Test Specimen	: Stainless Steel Plate
3.	Identifikasi Material Identification of Material	: 304
4.	Proses Las /Posisi Las/Juru Las Weld Process/Position/Welder	: -
5.	Proyek Project	: -
PENGUJIAN / Testing		
1.	Tanggal Pengujian Date of Testing	: March 29, 2022
2.	Lokasi Pengujian Location of Testing	: Laboratorium Uji Bahan PPNS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya
3.	Jenis Pengujian Type of Testing	: Chemical Analysis
4.	Kondisi Lingkungan Environmental Condition	: Suhu 27°C
5.	Metode uji Test Method	: ASTM E1086-14
ALAT / Equipment		
1.	Nama Name	: OES Foundry Master Pro -
2.	Tipe/Model Type/Model	: Foundry Master Pro -
3.	Kapasitas Capacity	: All Material / Global -
4.	Merek/Buatan Manufacturer	: Oxford, Germany -
5.	Nomor Seri Serial Number	: 44P0070 -
6.	Nilai Ketidak pastian Number of uncertainty	: - -
7.	Keterelusuran Traceability	: LK-022-IDN -
HASIL PENGUJIAN / Result of Testing		: (Terlampir) (Attached)
DITERBITKAN TANGGAL Date of Issue		: March 31, 2022

Kalab. Uji Bahan
Head of DT & NDT Laboratory

Hendri Budi Kurbawanto, SST., MT
NIP. 199003072019031010



Keterangan / Notes :

1. Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
2. Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman
1 dari 2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA DAN PRODUKSI
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya 60111
TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444
Laman : www.ppns.ac.id

LAPORAN HASIL PENGUJIAN
REPORT ON THE TEST RESULT

Nomor Number	: 0288 /PL19/BJP/2022
-----------------	-----------------------

PELANGGAN / Customer		
1. Nama Name	: LEON SUTANTO T. MATERIAL ITS	
2. Alamat Address	: Kampus ITS Sukolilo, Surabaya	
BENDA UJI / Test Specimen		
1. Tanggal Diterima Date of Received	: March 28, 2022	
2. Spesimen Uji Test Specimen	: Stainless Steel Plate	
3. Identifikasi Material Identification of Material	: 304	
4. Proses Las /Posisi Las/Juru Las Weld Process/Position/Welder	: -	
5. Proyek Project	: -	
PENGUJIAN / Testing		
1. Tanggal Pengujian Date of Testing	: March 29, 2022	
2. Lokasi Pengujian Location of Testing	: Laboratorium Uji Bahan PPNS, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya	
3. Jenis Pengujian Type of Testing	: Chemical Analysis	
4. Kondisi Lingkungan Environmental Condition	: Suhu 27°C	
5. Metode uji Test Method	: ASTM E1086-14	
ALAT / Equipment		
1. Nama Name	: OES Foundry Master Pro	-
2. Tipe/Model Type/Model	: Foundry Master Pro	-
3. Kapasitas Capacity	: All Material / Global	-
4. Merek/Buatan Manufacturer	: Oxford, Germany	-
5. Nomor Seri Serial Number	: 44P0070	-
6. Nilai Ketidak pastian Number of uncertainty	: -	-
7. Keterelusuran Traceability	: LK-022-IDN	-
HASIL PENGUJIAN / Result of Testing	: (Terlampir) (Attached)	
DITERBITKAN TANGGAL Date of Issue	: March 31, 2022	

Kalab. Uji Bahan

Head of DT & MRT Laboratory

Hendri Budi Kurniawanto, SST., MT
NIP. 199003072019031010



Keterangan / Note: PRODUKSI

- Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
- Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman
1 dari 2



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
POLITEKNIK PERKAPALAN NEGERI SURABAYA
UNIT LAYANAN BISNIS, JASA DAN PRODUKSI
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS, Sukolilo - Surabaya 60111
TELP. (031) 5947186 - 5994444 FAX. (031) 5994444
Laman : www.ppns.ac.id

LAMPIRAN HASIL PENGUJIAN
ATTACHMENT OF THE TEST RESULT

Nomor
Number : 0286 /PL19/BJP/2022

No. SPK. 55-III/PL19/BJP/2022

F.08-LUB-PPNS

CHEMICAL COMPOSITION TEST									
Identification	COMPOSITION (%)								
	Element	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
304	Value	70.9	0.0514	0.439	1.06	0.0302	0.0097	18.2	< 0.0010
	Element	Ni	Al	Co	Cu	Nb	Ti	V	W
	Value	8.67	0.0039	0.262	0.0198	< 0.0010	< 0.0010	0.121	0.0049
	Element	Pb	Sn	B	Ca	N	Se	Sb	Ta
	Value	0.0017	0.0044	0.0028	0.0022	0.0801	< 0.0020	0.0018	< 0.0046

Surabaya, March 29, 2022
Examined by,

M. Handri Buisi K.
UNIT LAYANAN BISNIS DAN
JASA PRODUKSI

Keterangan / Notes :

- Dilarang memperbanyak sertifikat ini dengan tujuan apapun tanpa ijin resmi dari PPNS
It is forbidden to copy this certificate for any purpose without permission from PPNS
- Hasil pengujian ini tidak untuk diumumkan dan hanya berlaku untuk material yang diujikan dalam pengujian ini
This testing report is not for public consumption, it is only valid for tested material above

Halaman
2 dari 2

2. Hasil Pengukuran Batas Butir

a. SS304-0

No.	Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length (μm)
1		0.137	182.323	178.5	188	23.199	0.940
2		0.091	203.067	194.6	210	21.801	0.665
3		0.061	207.083	199.333	219	161.565	0.390
4		0.076	220.8	212.5	238	153.435	0.552
5		0.091	216.54	210.4	232	53.13	0.617
6		0.076	194.262	185.625	209	45	0.524
7		0.076	207.75	197	229	135	0.524
8		0.107	183.746	176	200	45	0.698
9		0.046	203.333	200	208	26.565	0.276
10		0.076	204.4	198	220	-26.565	0.552
	Mean	0.084	202.33	195.196	215.3	63.813	0.574
	SD	0.025	12.524	12.116	15.341	63.637	0.179
	Min	0.046	182.323	176	188	-26.565	0.276
	Max	0.137	220.8	212.5	238	161.565	0.940

b. SS304-3

No.	Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length (μm)
1		0.107	197.595	181.111	215	-38.66	0.791
2		0.107	162.222	132	203	135	0.698
3		0.091	175.133	158.6	195	36.87	0.617
4		0.107	193.794	165	230	128.66	0.791
5		0.091	206.867	190	229	36.87	0.617
6		0.152	175.667	164.667	202	96.34	1.118
7		0.122	186.143	173	216	15.945	0.899
8		0.091	176.833	163.8	190	21.801	0.665
9		0.107	177.841	168.889	199	51.34	0.791
10		0.091	179.573	168.76	197	36.87	0.617
	Mean	0.107	183.167	166.583	207.6	52.104	0.76
	SD	0.019	13.049	15.218	14.112	53.593	0.158
	Min	0.091	162.222	132	190	-38.66	0.617
	Max	0.152	206.867	190	230	135	1.118

c. SS304-5

No.	Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length (μm)
1		0.137	150.194	131	185	104.036	1.018
2		0.168	170.755	151.72	203	135	1.222
3		0.107	173.746	167.333	181.5	38.66	0.791
4		0.152	184.026	164.333	223	147.995	1.165
5		0.152	186.765	165.802	217	57.995	1.165
6		0.168	186.247	171.16	239	143.13	1.235
7		0.152	162.433	149	181	161.565	1.171
8		0.168	171.877	155.8	221	119.055	1.271
9		0.183	167.828	148.479	199	146.31	1.335
10		0.168	195.991	172.85	215.4	60.945	1.271
	Mean	0.155	174.986	157.748	206.49	111.469	1.164
	SD	0.021	13.503	13.022	19.816	44.02	0.157
	Min	0.107	150.194	131	181	38.66	0.791
	Max	0.183	195.991	172.85	239	161.565	1.335

d. SS304-7

No.	Label	Area	Mean	Min	Max	Angle	Length (μm)
1		0.244	161.625	149	181	0	1.852
2		0.198	170.385	161	189	0	1.481
3		0.168	171.027	155.55	208	150.945	1.271
4		0.198	176.762	161.062	204	24.444	1.492
5		0.183	202.53	176	224.091	-15.255	1.408
6		0.229	175.01	157.286	210	175.914	1.733
7		0.259	169.555	151.375	190	93.576	1.979
8		0.244	183.148	171.6	206	31.608	1.884
9		0.229	197.613	171.327	222	-126.027	1.679
10		0.229	182.133	171	195	90	1.728
	Mean	0.218	178.979	162.52	202.909	42.521	1.651
	SD	0.03	12.81	9.434	14.153	88.33	0.229
	Min	0.168	161.625	149	181	-126.027	1.271
	Max	0.259	202.53	176	224.091	175.914	1.979

3. Pengujian Tarik





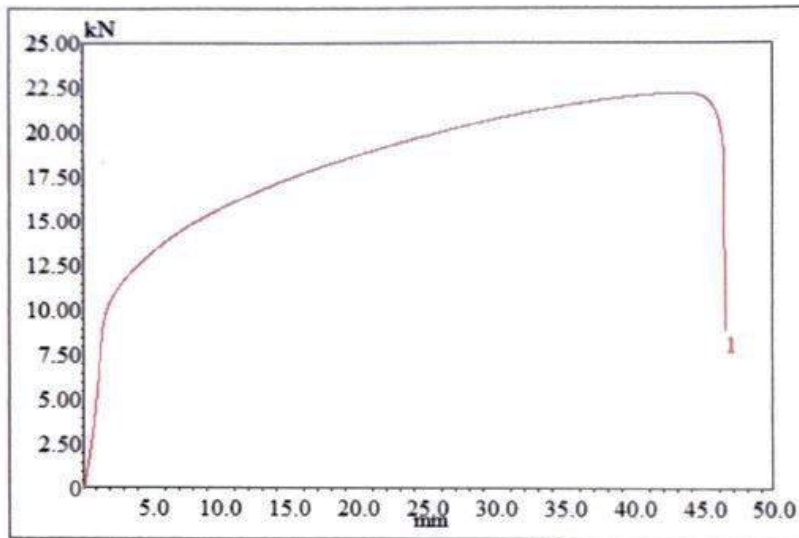


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kN	Yield str. N/mm ²	Max. Load kN	UTS N/mm ²	Elong. %
304-0	12.54	2.77	34.74	9.62	277	22.23	640	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

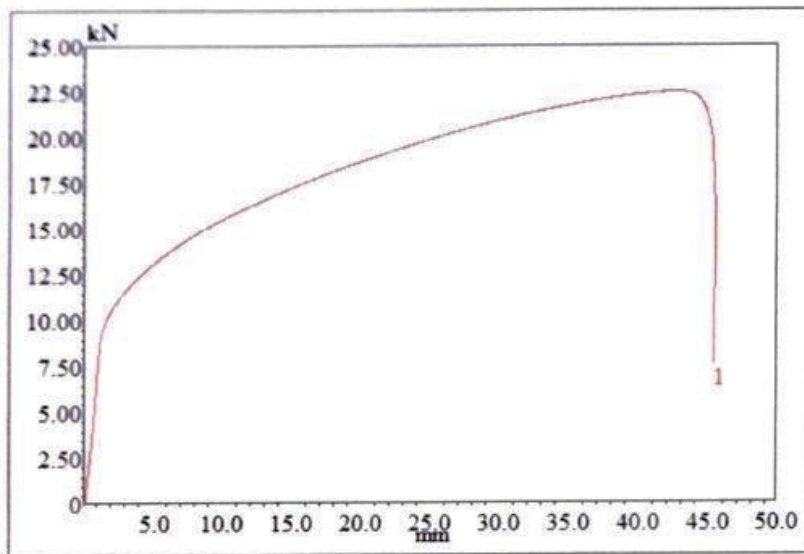


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date 23-05-2022

Test Result



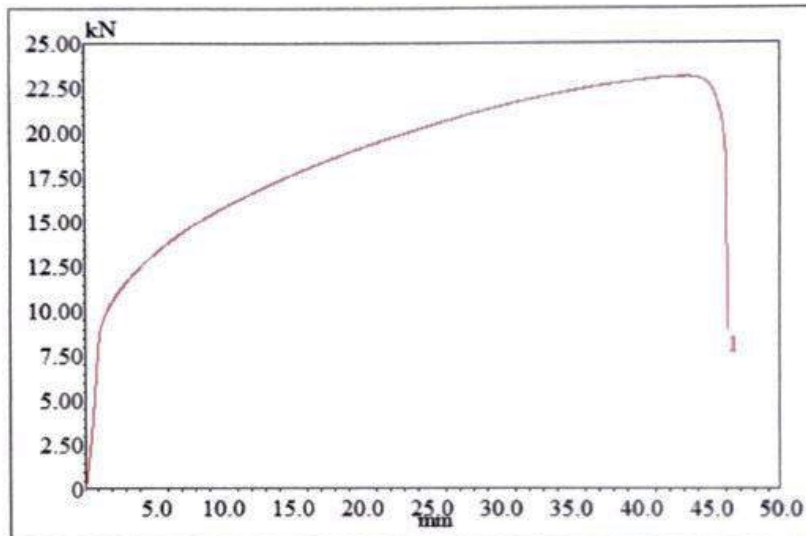
Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kN	Yield str. N/mm ²	Max. Load kN	UTS N/mm ²	Elong. %
304-3	12.26	2.79	34.21	9.40	275	22.51	658	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result



Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kN	Yield str. N/mm ²	Max. Load kN	UTS N/mm ²	Elong. %
304-5	12.90	2.83	36.51	9.15	251	23.13	634	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

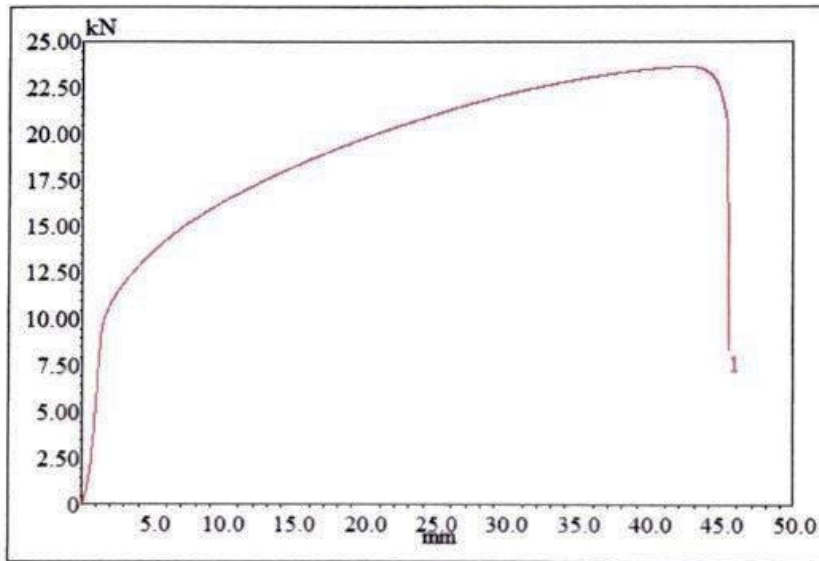


Laboratorium Metalurgi Manufaktur

Departemen Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember - Surabaya

Test Date : 23-05-2022

Test Result




Specimen Code	Width mm	Thickness mm	Area mm ²	Yield Point kN	Yield str. N/mm ²	Max. Load kN	UTS N/mm ²	Elong. %
304-7	12.69	2.78	35.28	9.78	277	23.67	671	
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---

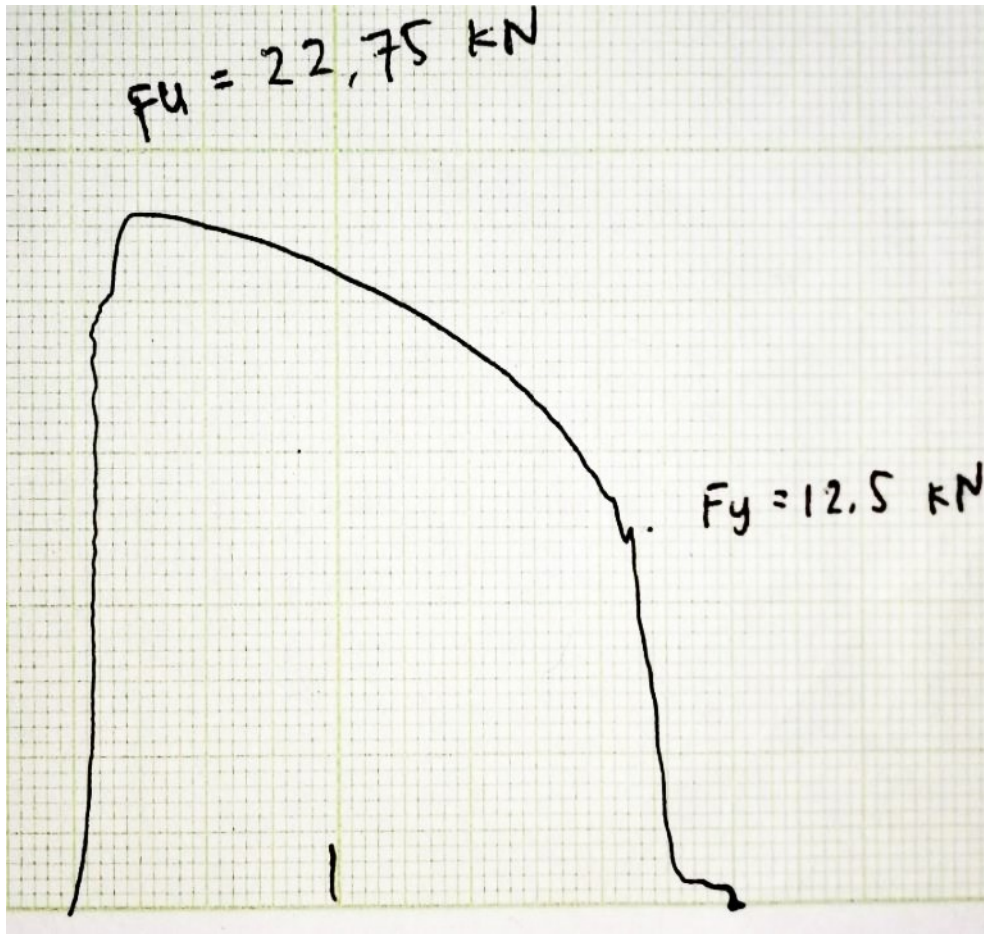


LABORATORIUM KONSTRUKSI DAN KEKUATAN KAPAL
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
PAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Gedung W - Lantai 1, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111
Telp./Fax. 031 599 4833, Email: labkonjtp@gmail.com

REPORT ON TEST RESULT NO. : /IT2.4.1.1/PM.05.02/20

DATE : 21 Juni 2022
ORDER FROM :
TEST STANDARD : ASTM E8
MATERIAL SPECS. : Stainless Steel 304
PROJECT : Tugas Akhir

1. TENSION TEST										
NO	CODE MATERIAL	SPECIFICATION SAMPLE				TENSILE TEST RESULTS				REMARK
		WIDTH (mm)	THICK (mm)	DIA. (mm)	CSA (mm ²)	YIELD STRESS (MPa)	ULTIMATE STRESS (MPa)	ELONGATION (%)	REDUCT. of AREA (%)	
1	304A	12,30	2,75		33,825	369,55	672,58	48,6	58,49	
2	304B	12,61	2,76		34,804	373,52	683,58	48,88	60,60	
3	304C	12,27	2,75		33,743	370,45	656,44	50,04	54,30	
4	304D	12,64	2,75		34,760	373,99	690,45	48,96	59,64	
NO	F. YIELD		F. ULTIMATE		Lo	L1	D1/Wd.1	Th.1	A1	
	KN	N	KN	N						
1	12,5	12500	22,75	22750	50	74,79	8,36	1,68	14,04	
2	13	13000	24	24000	50	74,44	8,78	1,56	13,70	
3	12,5	12500	23,5	23500	50	75,19	8,71	1,77	15,42	
4	13	13000	24	24000	50	74,48	8,88	1,58	14,03	
Witnessed by :					The Laboratory Of Ships Strength And Construction FT. Kelautan ITS					
1.										
2.										
3.										
4.										
5.										



Perhitungan Yield Strength dan Ultimate Strength

Dari grafik hasil uji tarik diatas dapat diketahui bahwa spesimen stainless steel 304-0 diketahui sebagai berikut,

1. Beban Luluh (F_y) : 12,5 kN
2. Beban Maksimum (F_u) : 22,75 kN

Sehingga dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut,

- a. σ_y (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = \frac{12,5}{33,825} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

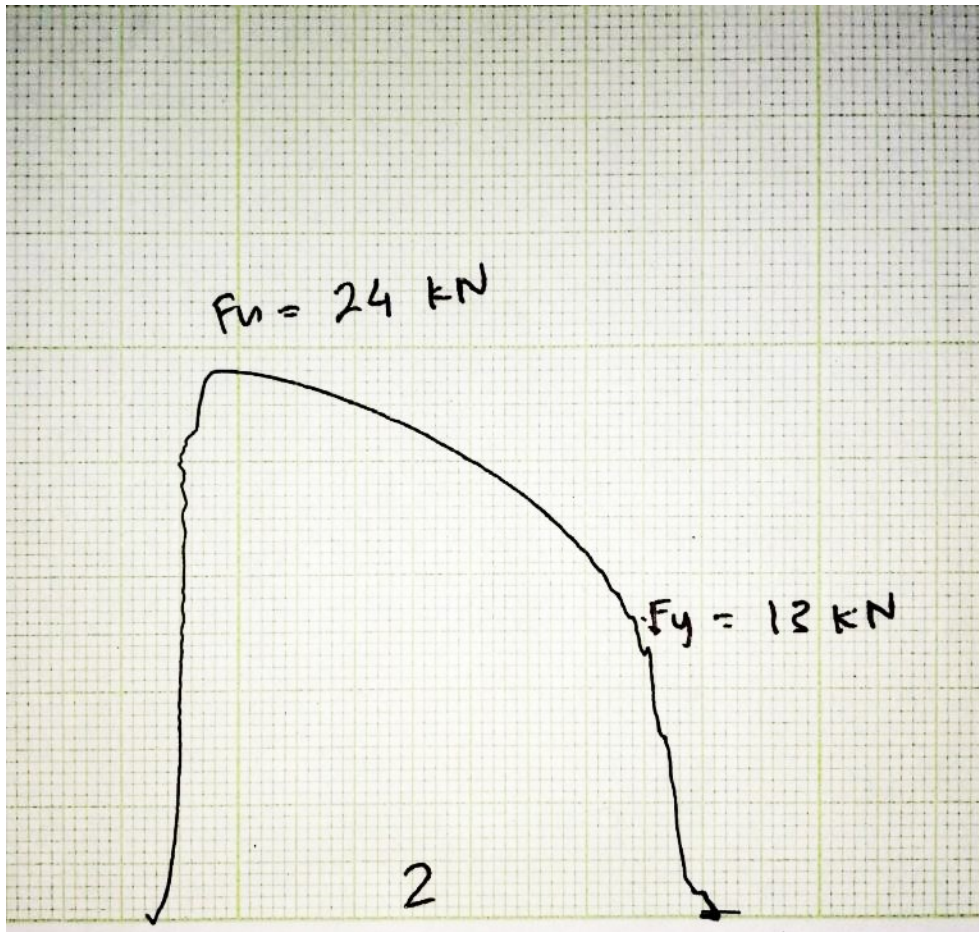
$$\sigma_y = 369,55 \text{ MPa}$$

- b. σ_u (Ultimate Strength)

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_u = \frac{22,75}{33,825} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_u = 672,58 \text{ MPa}$$



Perhitungan Yield Strength dan Ultimate Strength

Dari grafik hasil uji tarik diatas dapat diketahui bahwa spesimen stainless steel 304-3 diketahui sebagai berikut,

1. Beban Luluh (F_y) : 13 kN
2. Beban Maksimum (F_u) : 24 kN

Sehingga dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut,

- a. σ_y (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = \frac{13}{34,804} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

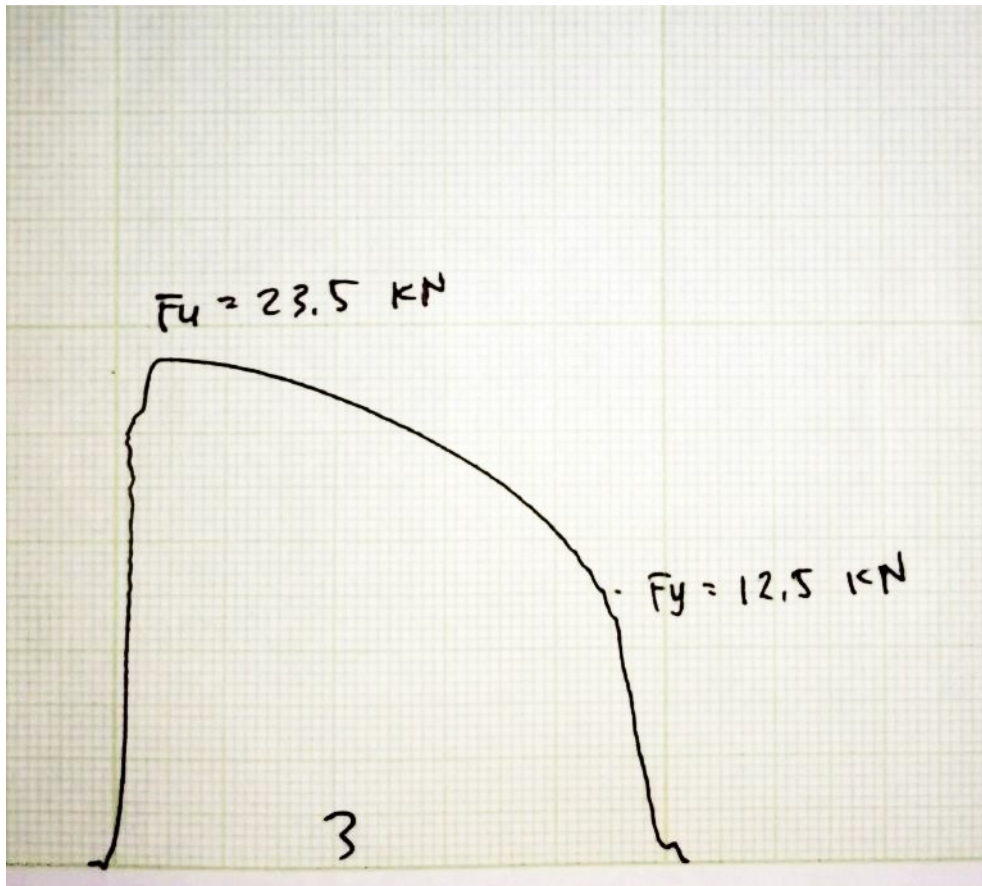
$$\sigma_y = 373,52 \text{ MPa}$$

- b. σ_u (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_u}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = \frac{24,0}{34,804} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = 689,58 \text{ MPa}$$



Perhitungan Yield Strength dan Ultimate Strength

Dari grafik hasil uji tarik diatas dapat diketahui bahwa spesimen stainless steel 304-3 diketahui sebagai berikut,

1. Beban Luluh (F_y) : 12,5 kN
2. Beban Maksimum (F_u) : 23,5 kN

Sehingga dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut,

- a. σ_y (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = \frac{12,5}{33,743} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

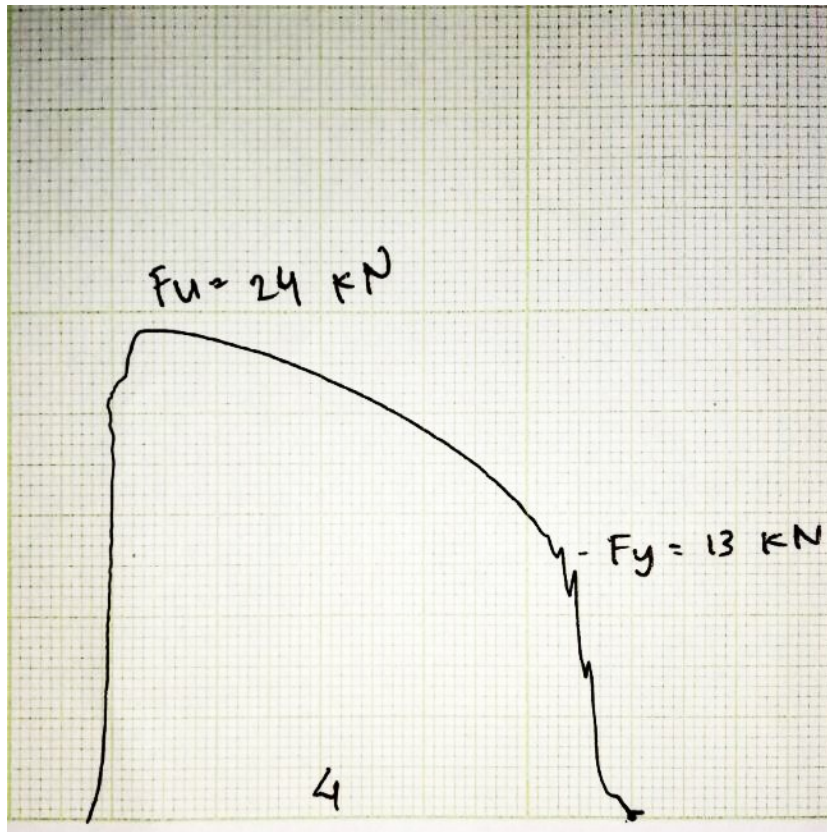
$$\sigma_y = 370,45 \text{ MPa}$$

- b. σ_u (Ultimate Strength)

$$\sigma_u = \frac{F_u}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_u = \frac{23,5}{33,743} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_u = 696,44 \text{ MPa}$$



Perhitungan Yield Strength dan Ultimate Strength

Dari grafik hasil uji tarik diatas dapat diketahui bahwa spesimen stainless steel 304-3 diketahui sebagai berikut,

1. Beban Luluh (F_y) : 13 kN
2. Beban Maksimum (F_u) : 24 kN

Sehingga dapat dihitung nilai yield strength dan ultimate strength sebagai berikut,

a. σ_y (Yield Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = \frac{13}{34,760} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = 373,99 \text{ MPa}$$

b. σ_u (Ultimate Strength)

$$\sigma_y = \frac{F_u}{A_0} \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = \frac{24,0}{34,760} \times 1000 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_y = 690,45 \text{ MPa}$$

4. Perhitungan %Elongasi

SS304-0

lo (mm)	If (mm)	If-lo (mm)	%EL
50.63	77.77	27.14	53.60%

SS304-3

lo (mm)	If (mm)	If-lo (mm)	%EL
50.12	74.65	24.53	48.94%

SS304-5

lo (mm)	If (mm)	If-lo (mm)	%EL
50.67	74.8	24.13	47.62%

SS304-7

lo (mm)	If (mm)	If-lo (mm)	%EL
50.4	74.81	24.41	48.43%

Perhitungan %Elongasi spesimen SS304-0

$$\%El = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\%El = \frac{77,77 - 50,63}{50,63} \times 100\%$$

$$\%El = \frac{27,14}{50,63} \times 100\%$$

$$\%El = 53,60\%$$

Perhitungan %Elongasi spesimen SS304-3

$$\%El = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\%El = \frac{74,65 - 50,12}{50,12} \times 100\%$$

$$\%El = \frac{24,53}{50,12} \times 100\%$$

$$\%El = 48,94\%$$

Perhitungan %Elongasi spesimen SS304-5

$$\%El = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\%El = \frac{74,8 - 50,67}{50,67} \times 100\%$$

$$\%El = \frac{24,13}{50,67} \times 100\%$$

$$\%El = 47,62\%$$

Perhitungan %Elongasi spesimen SS304-7

$$\%El = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\%El = \frac{74,81 - 50,40}{50,40} \times 100\%$$

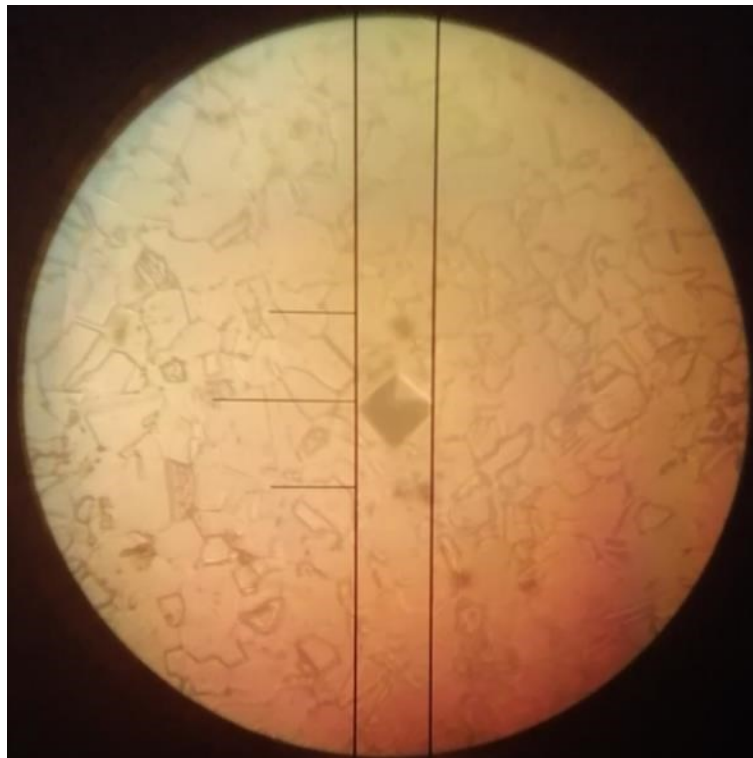
$$\%El = \frac{24,41}{50,40} \times 100\%$$

$$\%El = 48,43\%$$

5. Pengujian Kekerasan

TEST NO	
DATE	:24-06-22
TIME	:18.52
HVO.100	
X	:163.3
NO	:5
S.DEV	:10.1
MAX	:182.9
MIN	:153.7
R	:29.2
XCON	:163.3HV(H)
HVO.100	
1	153.7
2	158.6
3	182.9
4	160.9
5	160.4

Hasil nilai kekerasan spesimen SS304-0



Contoh hasil indentasi pada spesimen SS304-0

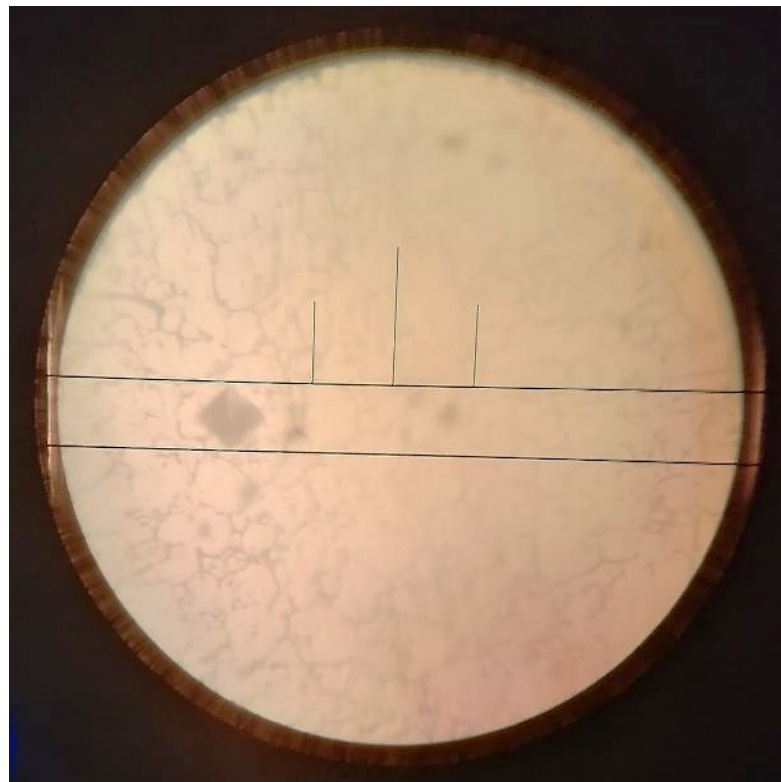
```
TEST NO
DATE :24-06-22
TIME :21.16

HVO.100
X :182.6
NO :6
S.DEV :3.7
MAX :186.4
MIN :175.0
R :11.4
XCON :182.6HV(H)

HVO.100

1 183.6
2 184.1
3 181.9
4 186.4
5 175.0
6 185.1
```

Hasil nilai kekerasan spesimen SS304-3



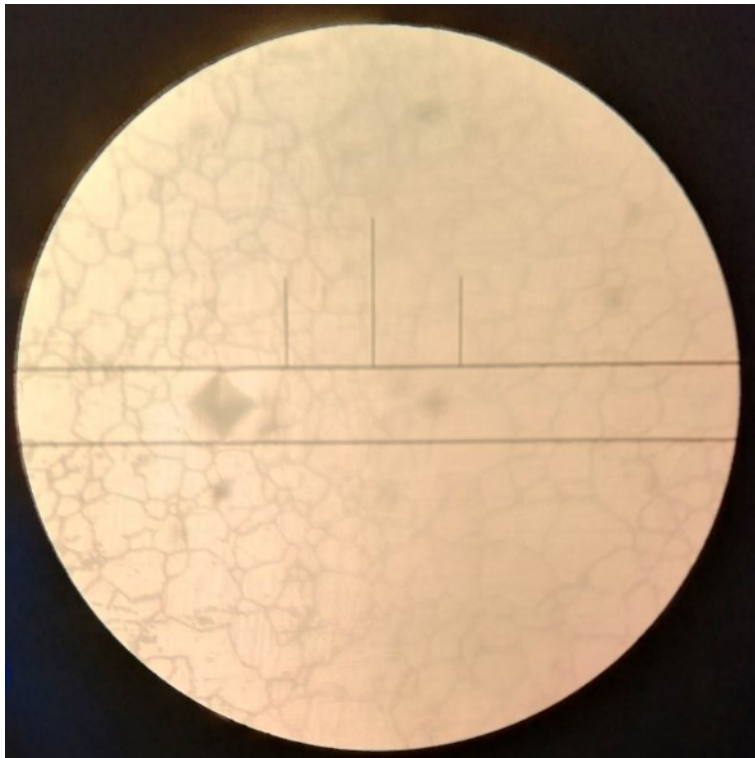
Contoh hasil indentasi pada spesimen SS304-3

TEST NO
DATE :24-06-22
TIME :21.33

HVO.100
X :183.4
NO :5
S.DEV :6.4
MAX :190.6
MIN :173.6
R :17.0
XCON :183.4HV(H)

HVO.100
1 190.6
2 183.7
3 190.0
4 179.2
5 173.6

Hasil nilai kekerasan spesimen SS304-5



Contoh indentasi pada spesimen SS304-5

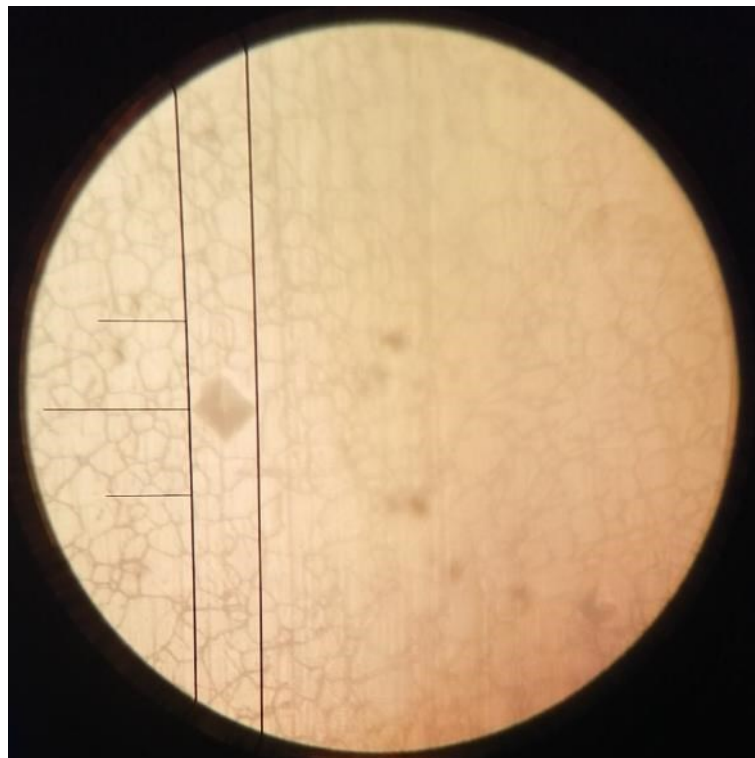
TEST NO
DATE :24-06-22
TIME :11.25

HVO.100
X :212.2
NO :5
S.DEV :4.8
MAX :217.9
MIN :203.3
R :14.6
XCON :212.2HV(H)

HVO.100

1	217.9
2	213.1
3	214.2
4	203.3
5	212.7

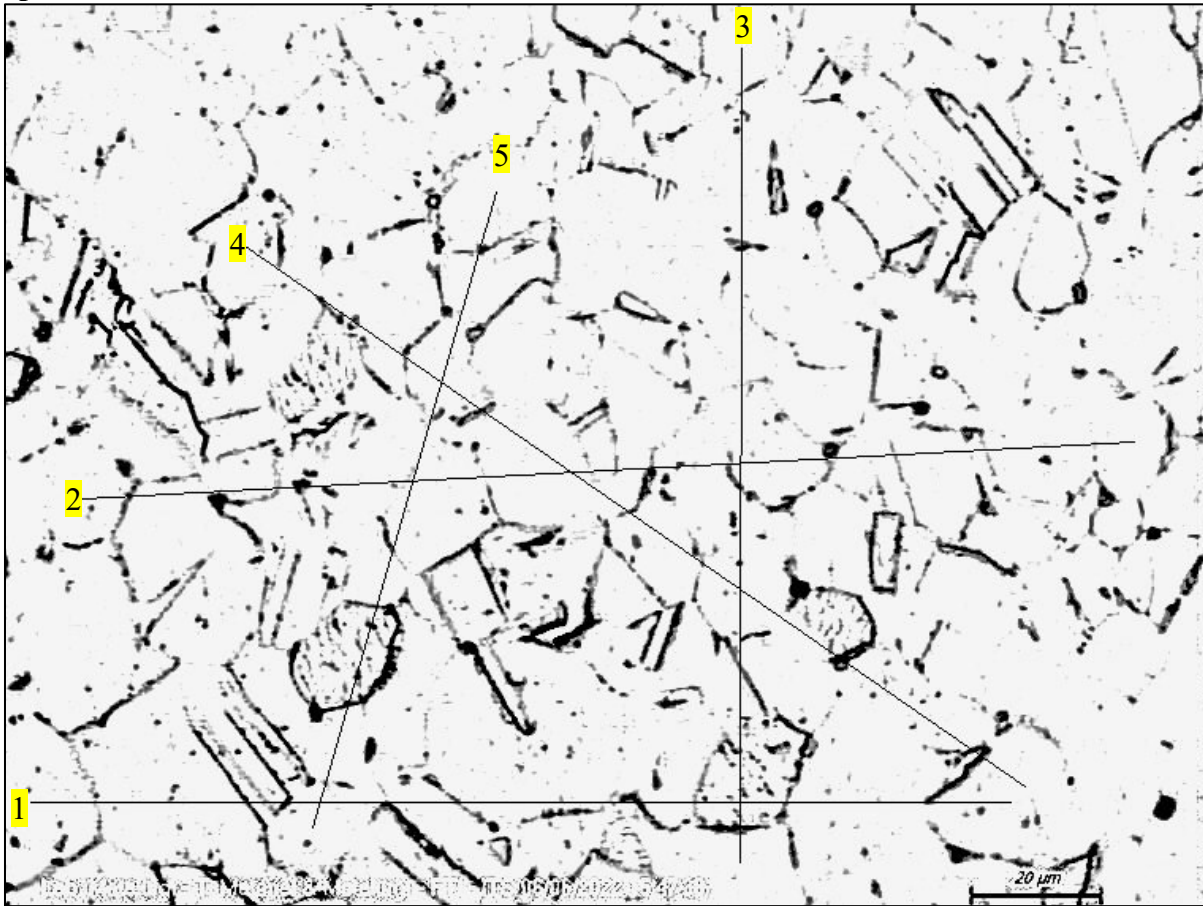
Hasil nilai kekerasan spesimen SS304-7



Contoh indentasi pada spesimen SS304-7

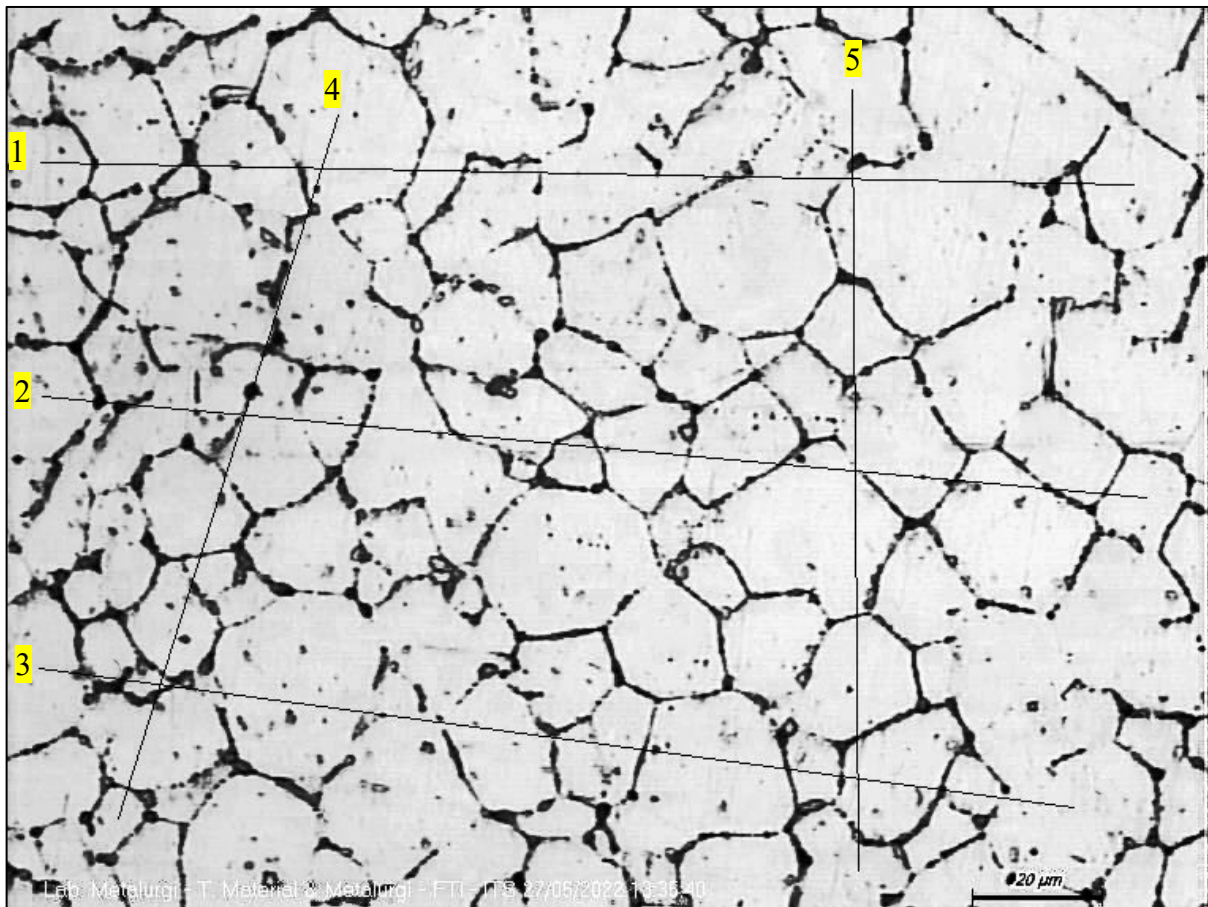
6. Perhitungan Ukuran Butir

Spesimen SS304-0



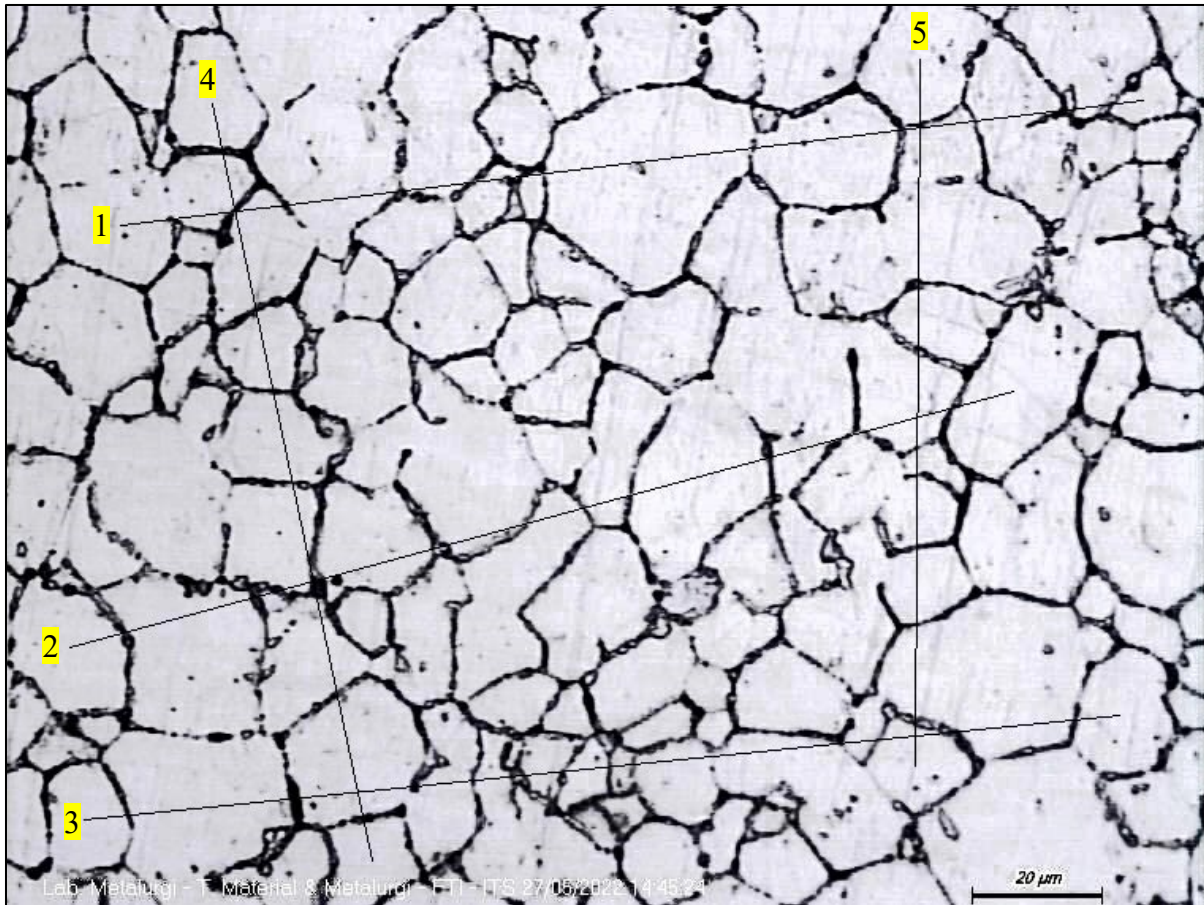
SS304-0					
No.	Jumlah Butir	Panjang Garis (μm)	Ukuran Butir (μm)	NL (mm ⁻¹)	ASTM Grain Size
1	10	152.8	15.28	65.4450	8.78
2	14	164.438	11.74557143	85.1385	9.54
3	10	127.161	12.7161	78.6405	9.31
4	12	147.684	12.307	81.2546	9.40
5	8	103.309	12.913625	77.4376	9.26
		Rata-rata	12.99245929	77.5832	9.26

Spesimen SS304-3



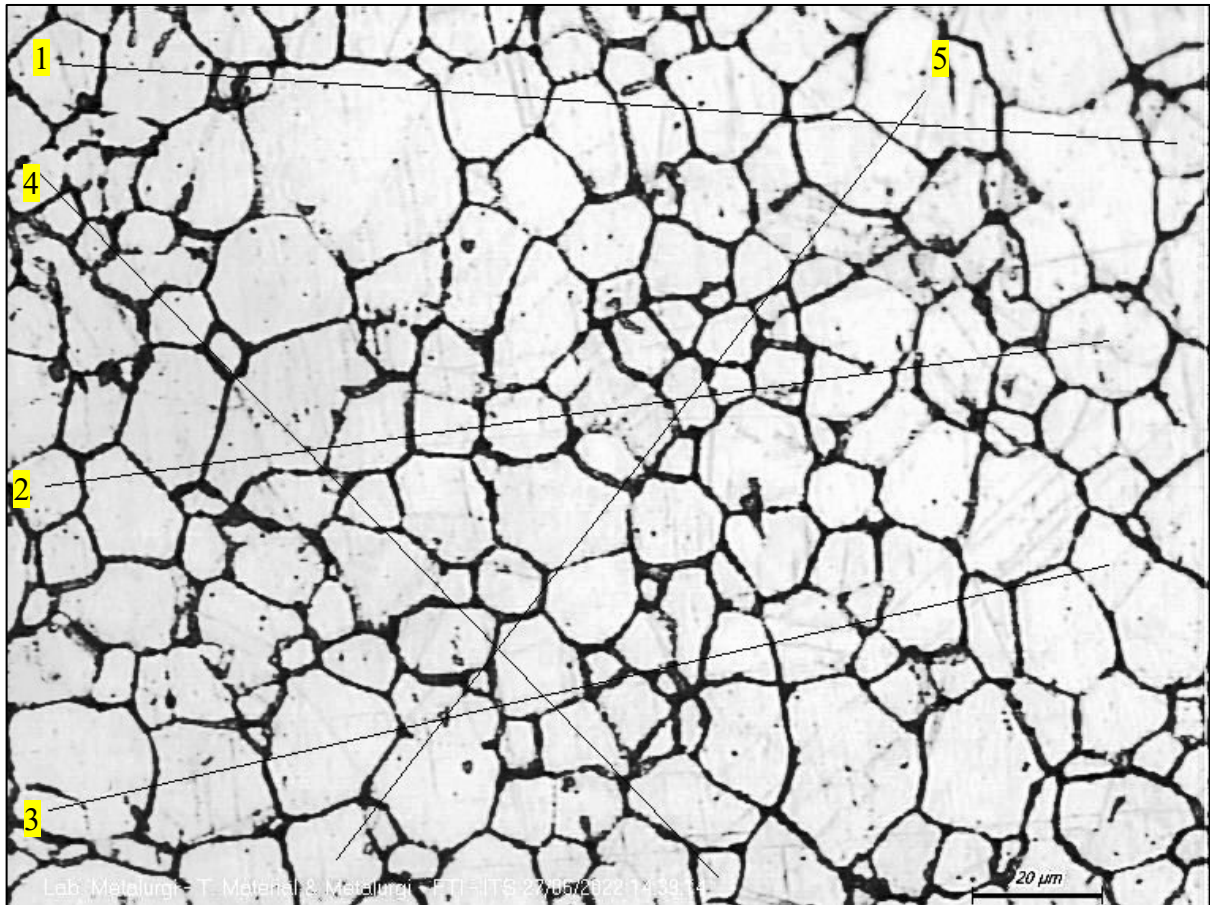
SS304-3					
No.	Jumlah Butir	Panjang Garis (μm)	Ukuran Butir (μm)	NL (mm^{-1})	ASTM Grain Size
1	14	170.652	12.18942857	82.0383	9.43
2	16	173.069	10.8168125	92.4487	9.77
3	14	162.937	11.63835714	85.9228	9.56
4	11	115.112	10.46472727	95.5591	9.87
5	8	121.979	15.247375	65.5851	8.78
		Rata-rata	12.0713401	84.3108	9.48

Spesimen SS304-5



SS304-5					
No.	Jumlah Butir	Panjang Garis (μm)	Ukuran Butir (μm)	NL (mm ⁻¹)	ASTM Grain Size
1	13	162.229	12.47915385	80.1336	9.36
2	12	153.714	12.8095	78.0671	9.29
3	13	161.45	12.41923077	80.5203	9.37
4	9	120.872	13.43022222	74.4589	9.15
5	9	111.371	12.37455556	80.8110	9.38
		Rata-rata	12.70253248	78.7982	9.31

Spesimen SS304-7



SS304-7					
No.	Jumlah Butir	Panjang Garis (μm)	Ukuran Butir	NL (mm ⁻¹)	ASTM Grain Size
1	14	174.758	12.48271429	80.1108	9.36
2	15	167.474	11.16493333	89.5661	9.68
3	17	169.801	9.988294118	100.1172	10.00
4	15	152.621	10.17473333	98.2827	9.95
5	16	151.118	9.444875	105.8775	10.16
		Rata-rata	10.65111001	94.7909	9.83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam mengerjakan laporan penelitian tugas akhir ini, Penulis juga mendapat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu. Diantaranya :

1. Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, ilmu, dan kekuatan sehingga penulis mampu menjalankan proses penelitian Tugas Akhir dengan baik dari awal sampai akhir.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Sulistijono, DEA selaku dosen pembimbing I Tugas Akhir yang telah membimbing dengan sabar, membantu memberikan masukan dan saran mengenai penelitian yang membangun kepada penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc selaku dosen pembimbing II Tugas Akhir yang telah membimbing dengan sabar, memberikan motivasi dan membantu memberikan masukan dan saran mengenai penelitian yang membangun kepada penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Rochman Rochiem, M.Sc selaku dosen yang telah membimbing penulis dengan sabar, memberikan motivasi, ilmu, dan masukan mengenai penelitian yang membangun kepada penulis dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
5. Bapak Sigit Tri Wicaksono, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
6. Ibu Dian Mughni Fellicia, S.T., M.Sc. selaku dosen wali yang telah membimbing saya selama empat tahun masa perkuliahan di Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTIRS-ITS.
7. Ayah, Ibu, dan adik-adik saya yang telah mendukung selama pengerjaan Tugas Akhir secara moral dan finansial, sehingga laporan Tugas Akhir dapat terselesaikan.
8. Mischell dan Gilang selaku *partner* Tugas Akhir penulis yang telah memberikan semangat dan motivasi, serta berbagi ilmu selama pengerjaan Tugas Akhir, sehingga Tugas Akhir dapat terselesaikan dengan baik dan maksimal.
9. Grup TA KTT (Mischell, Leon, Gilang, Farhan) yang sudah mau bertukar ilmu, saling membantu satu sama lain ketika menghadapi kendala dalam pengujian yang penuh dengan suka duka, drama, serta bertukar tawa dalam proses pengerjaan Tugas Akhir.
10. Pak Dafikin, Cak Asman, Pak Chanan, dan Pak Agil yang membantu dalam proses running *muffle furnace*, metalografi dengan mesin poles, serta pengujian tarik.
11. Dwiki, Sesar, Leon, Mischell, Edric, Fransisca, Ezra yang telah menjadi teman seperjalanan dan memberikan banyak pengalaman dan kenangan indah selama perkuliahan di ITS.
12. Samuel, William, Vedo, Adela, Khrisna yang telah menjadi sahabat yang baik. memberi dukungan moral, motivasi, semangat, dan menjadi tempat berbagi cerita untuk penulis sejak bangku sekolah
13. KMK St. Ignatius Loyola kabinet Virendra dan BSO KWU HMMT yang telah memberikan banyak pengalaman organisasi kepada penulis selama masa perkuliahan.
14. Segenap asisten laboratorium Kimia Material (2019/2020 dan 2020/2021) serta Korosi dan Kegagalan Material (2020/2021 dan 2021/2022) yang telah memberikan banyak pengalaman serta menjadi tempat untuk bertukar ilmu satu sama lain.
15. Keluarga besar MT20 yang selalu memberikan semangat untuk angkatan selama 4 tahun ini.
16. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Semoga penelitian ini dapat memberikan dampak yang positif dan kemanfaatan bagi pembaca dan semua yang membutuhkan.

Surabaya, 14 Juli 2022

Penulis

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama Thomas Alvin Suganda lahir di Semarang, 20 April 2001. Pendidikan formal penulis dimulai di Sekolah Dasar Kanisius Kurmosari Semarang dan lulus pada tahun 2013. Penulis kemudian melanjutkan pendidikan ke Sekolah Menengah Pertama Pangudi Luhur Domenico Savio Semarang dan lulus pada tahun 2015 dengan program akselerasi. Penulis kemudian melanjutkan pendidikannya ke Sekolah Menengah Atas Kolese Loyola Semarang dan lulus pada tahun 2018. Penulis menempuh jenjang perkuliahan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, tepatnya di Departemen Teknik Material dan Metalurgi. Selama perkuliahan, penulis aktif dalam kegiatan organisasi kerohanian dan menjabat sebagai Sekretaris Departemen Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa Keluarga Mahasiswa Katolik ITS (PSDM KMK ITS). Selain organisasi, penulis juga aktif bekerja sebagai Asisten Laboratorium Kimia Material pada tahun 2019-2021 serta Asisten Laboratorium Korosi dan Kegagalan Material pada tahun 2020-2022. Dalam bidang akademik, penulis mengikuti program Kerja Praktik di PT. Pertamina Geothermal Energy pada tahun 2021. Untuk menyelesaikan studi S-1, penulis melakukan penelitian di bidang Korosi dan Kegagalan Material dengan tugas akhir berjudul “*Studi Pengaruh Waktu Pemanasan Sensitisasi terhadap Struktur Mikro dan Sifat Mekanik Stainless Steel 304 pada Temperatur 600°C*”. Penulis dapat dihubungi melalui alamat e-mail : alvinsuganda025@gmail.com dan nomor telepon +6285326849575.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)
