

Amru An Naafi

Iswahyudi_3334180043_Fulltext

by Turnitin Indonesia

Submission date: 05-Jan-2023 02:03AM (UTC-0600)

Submission ID: 1988753767

File name: Amru_An_Naafi_Iswahyudi_3334180043_Fulltext.pdf (3.83M)

Word count: 14133

Character count: 84674

**PENGARUH PROSES *POST WELD HEAT TREATMENT*
TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA *STAINLESS*
STEEL 304 DENGAN LAS GTAW**

SKRIPSI

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



Oleh:

Amru An Naafi Iswahyudi
3334180043

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

202

LEMBAR PENGESAHAN

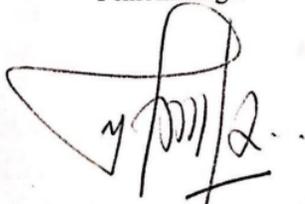
**PENGARUH PROSES *POST WELD HEAT TREATMENT*
TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA *STAINLESS*
STEEL 304 DENGAN LAS GTAW**

SKRIPSI

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

Disetujui oleh Jurusan Teknik Metalurgi oleh:

Pembimbing I



Yeni Muriani Zulaida, ST., MT
NIP. 197401032005012001

Pembimbing II



Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D Tech
NIP. 197608182008121012

LEMBAR PERSETUJUAN

PENGARUH PROSES *POST WELD HEAT TREATMENT* TERHADAP KETAHANAN KOROSI PADA *STAINLESS* *STEEL* 304 DENGAN LAS GTAW

SKRIPSI

Disusun dan diajukan oleh:

Amru An Naafi Iswahyudi
3334180043

Telah disidangkan di depan dewan penguji pada tanggal 6 Desember 2022

Susunan Dewan Penguji

Tanda Tangan

Penguji I : Yeni Muriani Zulaida, ST., MT

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

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



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

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Metalurgi



Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc.

NIP. 197804102003121001

LEMBAR PERNYATAAN

Judul : Pengaruh Proses *Post Weld Heat Treatment* terhadap
Ketahanan Korosi pada *Stainless steel 304* dengan Las GTAW
Nama Mahasiswa : Amru An Naafi Iswahyudi
NIM : 3334180043
Fakultas : Teknik Metalurgi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang telah dikerjakan benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari ditemukan beberapa hal yang menunjukkan bahwa Sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, saya bersedia dituntut melalui jalur hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat yang timbul dari pernyataan yang secara sadar saya nyatakan melalui lembar pernyataan ini baik secara hukum yang berlaku.

Cilegon, Desember 2022



Amru An Naafi Iswahyudi

NIM. 3334180043

ABSTRAK

Penggunaan bahan *stainless steel* memiliki performa yang baik sebagai baja paduan yang memiliki sifat tahan korosi. Adanya proses mekanik dapat menimbulkan korosi pada *stainless steel* yang ditemukan pada industri pengelasan. Fenomena korosi tersebut dapat diantisipasi dengan menggunakan metode *annealing* yang dapat memperbaiki ketahanan korosi. Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari pengaruh pengelasan terhadap terbentuknya karbida krom yang menimbulkan fenomena sensitisasi serta menganalisis pengaruh perlakuan panas dan waktu penahanan menggunakan metode *annealing* yang berdampak pada terbentuknya presipitasi karbida. Bahan dasar yang digunakan yaitu stainless steel 304 setelah itu dilanjutkan dengan melakukan pengelasan GTAW sesuai dengan WPS, perlakuan panas dengan variasi temperatur (800, 900, dan 1000°C) serta variasi waktu penahanan (20, 40, dan 60 menit), pengujian *non destructive test* dengan metode *ultrasonic test* untuk pemilihan sampel pengujian. Kemudian dilakukan analisa data menggunakan foto mikro dengan perbesaran 500×, pengujian impak sesuai dengan ASTM E23, pengujian korosi dengan metode *weight loss* sesuai dengan ASTM A262, dan karakterisasi SEM-EDX. Hasil laju korosi terendah didapatkan pada perlakuan panas dengan temperatur 800°C dan waktu penahanan 20 menit dengan laju korosi sebesar 175,23 mm/y dimana pada temperatur tersebut mengalami penurunan laju korosi dibandingkan dengan tanpa PWHT. Ketangguhan sampel terbesar pada pengujian impak diperoleh pada temperatur 1000°C dan waktu penahanan 60 menit dengan harga impak yang didapatkan sebesar 0,2349 J/mm². Terjadinya korosi intergranular dibuktikan pada SEM-EDX pada salah satu sampel terburuk dinyatakan bahwa laju korosi yang tinggi menunjukkan penurunan kadar krom di daerah dekat batas butir yaitu 17,73% dibandingkan kadar krom pada batas butir yaitu 22,34%.

Kata Kunci: Pengelasan, Sensitisasi, *Stainless Steel*, Laju Korosi, Ketangguhan.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi rahmat dan ridho-Nya sehingga mendapatkan kemudahan dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Proses *Post Weld Heat Treatment* terhadap Ketahanan Korosi pada *Stainless steel* 304 dengan Las GTAW”. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang tidak henti memberikan selama penulisan skripsi kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT atas berkat karunia dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Adhitya Trenggono, S.T., M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Metalurgi.
3. Ibu Yeni Muriani Zulaida, ST., MT selaku Dosen Pembimbing 1 dan Bapak Ir. Agus Pramono, S.T., M.T., Ph.D Tech selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan baik moril maupun materil dalam pelaksanaan penelitian sampai penyusunan skripsi.
4. Orang Tua penulis yaitu Bapak Eko Wahyudi dan Ibu Iis Rohanah yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada Penulis dalam penyusunan skripsi ini.
5. Syifa Sylvia Rahman selaku teman hidup yang selalu memberikan dukungan moril terhadap penulis
6. Farrel Shadiq Wibisana selaku partner penelitian dan Keluarga besar Teknik Metalurgi 2018 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang membantu Penulis dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga Skripsi ini bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa maupun pihak-pihak lain yang memerlukannya sebagai bahan kajian maupun sumber referensi. Atas perhatiannya, Penulis ucapkan terima kasih.

Cilegon, Oktober 2022

Amru An Naafi Iswahyudi

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 <i>Stainless Steel</i>	6
2.2 <i>Austenitic Stainless Steel</i>	6
2.3 Unsur Paduan <i>Stainless Steel</i>	7
2.4 Diagram Fasa Baja Tahan Karat Austenitik	8
2.5 Sensitisasi pada Baja Tahan Karat	11
2.6 Korosi	13
2.6.1 Korosi Antar Butir	13
2.7 Pengelasan GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>)	14
2.8 Daerah HAZ (<i>Heat Affected Zone</i>)	16
2.9 <i>Post Weld Heat Treatment</i> (PWHT)	17
2.9.1 <i>Annealing</i>	18

2.10 Diagram CCT (<i>Continous Cooling Transformation</i>).....	20
2.11 Laju Korosi	21
2.12 Asam Sulfat (H ₂ SO ₄).....	22
2.13 Uji Impak.....	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Diagram Alir Penelitian	24
3.2 Alat dan Bahan.....	25
3.2.1 Alat yang Digunakan.....	25
3.2.2 Bahan yang Digunakan	25
3.3 Prosedur Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro.....	31
4.2 Hasil Pengujian Impak	38
4.3 Hasil Pengujian Korosi	41
4.4 Analisa SEM-EDX.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	47
5.1 Kesimpulan.....	47
5.2 Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LAMPIRAN A CONTOH PERHITUNGAN.....	53
LAMPIRAN B DATA HASIL PENELITIAN.....	56
LAMPIRAN C GAMBAR ALAT DAN BAHAN.....	66

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul Tabel	Halaman
Tabel 2.1	Fungsi Unsur Paduan Baja Tahan Karat Austenitik	10
Tabel 3.1	Data Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan	27
Tabel 4.1	Pengamatan Struktur Mikro	32
Tabel 4.2	Data Hasil Uji Impak	38
Tabel 4.3	Data Hasil Uji Korosi	41
Tabel 4.4	Hasil Kuantitatif EDX Komposisi Unsur Cr dan C	44
Tabel B.1	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 1A dengan Aplikasi ImageJ	57
Tabel B.2	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 2A dengan Aplikasi ImageJ	57
Tabel B.3	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 3A dengan Aplikasi ImageJ	58
Tabel B.4	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 4A dengan Aplikasi ImageJ	58
Tabel B.5	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 5A dengan Aplikasi ImageJ	59
Tabel B.6	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 6A dengan Aplikasi ImageJ	59
Tabel B.7	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 7A dengan Aplikasi ImageJ	60
Tabel B.8	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 8A dengan Aplikasi ImageJ	60
Tabel B.9	Pengamatan Ukuran Butir Sampel 9A dengan Aplikasi ImageJ	61
Tabel B.10	Pengamatan Ukuran Butir Sampel Non PWHT dengan Aplikasi ImageJ	61
Tabel B.11	<i>Welding Prosedur Spesification (WPS) page 1</i>	62
Tabel B.12	<i>Welding Prosedur Spesification (WPS) page 2</i>	63
Tabel B.13	Hasil Karakterisasi EDX Titik (a)	64
Tabel B.14	Hasil Karakterisasi EDX Titik (b)	65

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul Gambar	Halaman
Gambar 2.1	Austenitic Stainless Steel.....	7
Gambar 2.2	Diagram Fasa Fe-C.....	8
Gambar 2.3	Diagram Fasa Fe-Cr.....	9
Gambar 2.4	Diagram Fasa Fe-Ni-Cr.....	9
Gambar 2.5	Laju Presipitasi Karbida Krom.....	11
Gambar 2.6	Daerah yang Mengalami Penurunan Kadar Krom.....	12
Gambar 2.7	Fenomena sensitisasi pada hasil lasan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 250× pada ASTM A262.....	12
Gambar 2.8	Skema Korosi Batas Butir.....	14
Gambar 2.9	Skema Pengelasan GTAW.....	15
Gambar 2.10	Transformasi Fasa pada Daerah HAZ.....	16
Gambar 2.11	Diagram CCT.....	20
Gambar 2.12	Alat Uji Impak (Charpy).....	23
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian Perlakuan Panas Pasca Pengelasan terhadap Ketahanan Korosi.....	24
Gambar 3.2	Hasil Sampel Pengelasan.....	26
Gambar 3.3	Sampel Cacat <i>Porosity</i> Dengan Ultrasonic Test.....	28
Gambar 3.4	Rangkaian Alat Pengujian Korosi Metode <i>Weight Loss Ferric Sulfate-Sulfuric Acid</i>	30
Gambar 4.1	Grafik Ukuran Butir Sampel.....	36
Gambar 4.2	Grafik Ukuran Butir Terhadap Temperatur.....	37
Gambar 4.3	Grafik Ukuran Butir Terhadap Waktu Penahanan.....	37
Gambar 4.4	Grafik Harga Impak Setiap Sampel.....	39
Gambar 4.5	Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur.....	39
Gambar 4.6	Grafik Harga Impak Terhadap Waktu Penahanan.....	40
Gambar 4.7	Grafik Laju Korosi Selama 120 Jam Metode <i>Weight Loss</i>	42
Gambar 4.8	Grafik Laju Korosi Selama 120 Jam Terhadap Temperatur.....	42
Gambar 4.9	Grafik Laju Korosi Selama 120 Jam Terhadap Waktu Penahanan.....	43

⁴⁴ Gambar 4.10 Hasil Morfologi SEM	44
Gambar 4.11 Hasil Sampel Terburuk	45
Gambar C.1.1 Alat Uji Impak	67
Gambar C.1.2 Alat Uji Mikroskop	67
Gambar C.1.3 Alat Uji SEM-EDX	67
Gambar C.1.4 Alat Uji <i>Ultrasonic</i>	67
Gambar C.1.5 Desikator	68
Gambar C.1.6 Erlenmeyer	68
Gambar C.1.7 Gerinda	68
Gambar C.1.8 <i>Hot Plate</i>	68
Gambar C.1.9 Kondensor	69
Gambar C.1.10 Las GTAW	69
Gambar C.1.11 Timbangan Digital	69
Gambar C.1.12 Tungku	69
²⁶ Gambar C.2.1 Air Suling	70
Gambar C.2.2 Asam Klorida	70
Gambar C.2.3 Asam Nitrit	70
Gambar C.2.4 Asam Sulfat	70
Gambar C.2.5 <i>Boiling Chips</i>	71
Gambar C.2.6 Besi Sulfat	71
²⁶ Gambar C.2.7 Elektroda ER308L	71
Gambar C.2.8 <i>Stainless Steel 308</i>	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stainless steel atau baja tahan karat adalah baja paduan yang memiliki sifat ketahanan korosi baik. Unsur paduan utamanya yaitu Krom (Cr) dan Nikel (Ni) dengan sedikit unsur paduan lain seperti Molibdenum (Mo), Tembaga (Cu) dan Mangan (Mn). Kandungan kromium merupakan pembentuk *passive protective layer* pada permukaan yang dapat mencegah terjadinya oksidasi dan korosi. *Stainless steel* 304 memiliki kandungan Cr 18-20% dan Ni 8-10,5%. Baja ini memiliki ketahanan temperature >760 °C. komposisi kimia *stainless steel* 304 yaitu: C (0,05%), Mn (1,5%), Cr (18,5%), Mo (1%), Ni (9%) (Steel, 2013).

Baja *stainless steel* banyak digunakan di Industri kimia, industri pengolahan makanan dan obat-obatan, industri minyak dan gas, dan industri pupuk. Salah satu jenis baja *stainless steel* yang umum digunakan yaitu jenis *stainless steel* 304. Baja *stainless steel* 304 memiliki keunggulan yaitu kekuatannya terhadap serangan korosi, maka dari itu baja ini sering digunakan untuk konstruksi, boiler dan lain-lain (Laleh et al., 2019). Namun material ini juga memiliki masalah pada saat proses pengelasannya yaitu terhadap sensitisasi. Sensitisasi adalah sebuah fenomena yang terjadi dalam *stainless steel*. Ketika *stainless steel* dipanaskan antara suhu 500-850°C. Terjadi pengendapan krom karbida sepanjang batas butir *Stainless steel*. Fenomena sensitisasi ini cenderung sering terjadi pada saat proses pengelasan. Terbentuknya senyawa karbida pada area batas butir mengakibatkan area yang bertetangga langsung dengan batas butir kekurangan kadar krom (Cr) (Anwar Budianto, Kristina Purwantini, 2009).

Terbentuknya sensitisasi pada *stainless steel* berdampak menurunkan ketahanan korosi pada batas butir. Korosi yang terdapat pada batas butir disebut korosi intergranular, Korosi intergranular pada *stainless steel* merupakan salah satu jenis korosi terlokalisasi. Jika *stainless steel* terserang korosi intergranular, maka permukaan logam akan terlihat mulus dan cerah namun rentan terhadap tekanan luar. Korosi ini sangat sulit untuk dilihat oleh kasat mata sehingga tidak ada tanda kerusakan pada logam namun kerusakan akan terjadi secara tiba-tiba (S. Lin, W.

Bao, J. Gao, 2012). Terjadinya korosi intergranular karena penurunan kadar kromium pada batas butir yang menyebabkan terbentuknya kromium karbida (Cr_{23}C_6). Selain kromium karbida terdapat beberapa fasa lain yaitu Cr_6C dan fasa sigma, fasa intermetalik *chi* dan *laves*. Oleh karena itu, untuk dapat mengurangi sensitisasi yang akan menimbulkan terjadinya korosi antar butir pada *stainless steel* 304 di lakukan *post weld heat treatment* (PWHT). Perlakuan panas dari baja tahan karat berfungsi untuk menghasilkan perubahan kondisi fisik, sifat mekanik, dan tingkat tegangan sisa, selain itu dapat mengembalikan ketahanan korosi maksimum ketika sifat tersebut telah terpengaruh oleh fabrikasi atau pemanasan sebelumnya (ASM International, 1991). Perlakuan panas memungkinkan pembentukan partikel presipitat karbida krom kecil di sepanjang batas butir dengan reaksi antara kromium dan karbon dalam *stainless steel*. Baik kromium dan karbon harus berdifusi ke batas butir untuk membentuk presipitat, meninggalkan *chromium depleted zone* yang berdekatan dengan batas butir. Akibatnya, daerah batas butir menjadi sangat rentan terhadap korosi (Budianto dkk, 2009). Untuk material *stainless steel* 304 perlakuan panas yang direkomendasikan yaitu dengan metode *annealing*. Selama pemanasan *annealing* dengan rentang suhu 955 hingga 1120°C menyebabkan semua endapan kromium karbida batas butir larut dan kembali menjadi ferit, serta melunakkan baja sepenuhnya. Waktu pemanasan yang lebih dari 1 jam bahkan dapat melarutkan beberapa ferit yang ada dan selanjutnya mengurangi kemungkinan pembentukan kembali pada pendinginan lambat (ASM International, 1991).

Beberapa peneliti sudah melakukan penelitian pengaruh perlakuan panas pada ketahanan korosi. Adhi Setiawan dkk, melakukan Analisa perlakuan panas terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosi *intergranular* material SA-240 TP316L. Perlakuan panas yang dilakukan dengan suhu 1040°C berpengaruh terhadap sifat mekanik dan ketahanan korosinya (Setiawan et al., 2020). Kumar dkk, menyelidiki sensitisasi karena pengaruh korosi dan sifat metalurgi yang dilakukan pada SS 304, menyatakan *post weld thermal aging* (PWTA) menyebabkan derajat sensitisasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi dilas (Kumar et al., 2018). Pada penelitian lainnya, menyatakan bahwa daerah yang sangat berpengaruh pada korosi didominasi pada daerah HAZ. Penelitian tersebut dilakukan dengan suhu 650

°C namun menghasilkan tingkat sensitisasi yang besar (Kumar et al., 2019). Pada Penelitian yang dilakukan oleh Eun-Jong Oh dkk, perlakuan panas rentan 0,5~1,0 jam per 2,54 cm ketebalan material pada 1,038~1,121°C, yang digunakan oleh industri tenaga nuklir, terbukti mencegah korosi batas butir dengan menghambat sensitisasi baja tahan karat austenitik yang tidak stabil (Oh et al., 2020). Selain itu pada penelitian Anwar menyatakan dengan tebal spesimen 6 mm dilakukan pemanasan 900°C dengan holding time 3 jam dapat menurunkan kadar krom karbida pada batas butir (Anwar Budianto, Kristina Purwantini, 2009). Pada penelitian Sugiyarto dilakukan dengan menggunakan bahan *stainless steel* 202 yang di las menggunakan SMAW, bahan tersebut setelah itu dilakukan perlakuan panas dengan pendinginan yang berbeda yaitu *quenching*, *full annealing* dan *normalizing*. Pada hasil perlakuan *full annealing* memiliki hasil uji impak yang tertinggi dibandingkan perlakuan yang lain. Bahan tersebut memiliki kekuatan yang tinggi dan menghasilkan patahan yang ulet. Namun pada struktur mikro didapati bahwa perlakuan *full annealing* memiliki karbida Cr yang cukup banyak (Sugiyarto, 2012).

1.2 Identifikasi Masalah

Pada industri pengelasan bahan dasar *stainless steel* 304 merupakan bahan yang bagus untuk digunakan pada beberapa bidang karena kekuatannya terhadap serangan korosi. Namun bahan ini memiliki kelemahan pada hasil setelah pengelasannya, maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari perlakuan panas setelah pengelasan terhadap terbentuknya sensitisasi yang berdampak pada kecenderungan penurunan kekuatan mengakibatkan korosi batas butir dan sifat mekanik pada material *stainless steel* 304 menggunakan pengelasan GTAW. Hasil yang diinginkan yaitu menganalisa sensitisasi yang berdampak pada sifat mekanik dan ketahanan material terhadap serangan korosi batas butir.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini secara umum adalah mengetahui sensitisasi pada ketangguhan material dan ketahanan korosi yang terjadi setelah proses pengelasan. Secara khusus, tujuan penelitian ini meliputi :

1. Untuk menganalisis pengaruh PWHT terhadap kadar Cr pada *stainless steel 304*
2. Untuk menganalisis pengaruh PWHT menggunakan metode *annealing* dengan variasi temperatur terhadap terbentuknya fenomena sensitisasi yang berdampak pada sifat mekanik dan kecenderungan material akan korosi.
3. Untuk menganalisis pengaruh variasi waktu penahanan pada saat PWHT menggunakan metode *annealing* yang berdampak terhadap terbentuknya fenomena sensitisasi sehingga berakibat pada sifat mekanik dan kecenderungan material akan korosi.
4. Untuk menganalisis fasa yang terjadi pada daerah HAZ setelah dilakukan PWHT.

19

1.4 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah untuk penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *stainless steel 304*
2. Penelitian dilaksanakan di PT. SHINKO dan dilanjutkan di Laboratorium Metalurgi Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
3. Proses pengelasan akan dilakukan dengan pengelasan GTAW dengan menggunakan elektroda ER308, arus 140 A, tegangan 12 V, kecepatan pengelasan 10 cm/min.
4. Proses perlakuan panas yang digunakan yaitu *annealing* dengan variasi temperatur 800°C, 900°C, 1000 °C. Dan waktu penahanan akan divariasikan yaitu 20, 40, 60 menit.
5. Karakterisasi spesimen dilakukan setelah proses perlakuan panas yaitu menggunakan mikroskop optik untuk melihat benda uji secara lebih detail.
6. Proses pengujian sifat mekanik spesimen menggunakan *impact test* dengan metode *charpy*. Dilanjutkan dengan proses pengujian korosi dilakukan dengan metode *weight loss* dengan metode *Ferric Sulfate-Sulfuric Acid*.
7. Karakterisasi spesimen dilakukan setelah perhitungan laju korosi dengan menggunakan SEM-EDX untuk mendapatkan morfologi benda uji serta kadar unsur.

1.5 Sistematika Penulisan¹⁹

Adapun sistematika penulisan skripsi ini terdiri dari lima bab, yaitu sebagai berikut:

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini menjabarkan latar belakang dari penelitian mengenai pengaruh proses perlakuan panas pasca pengelasan terhadap terbentuknya sensitisasi sehingga berdampak pada ketahanan korosi, identifikasi masalah, tujuan penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.²²

Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini berisikan uraian tentang teori yang memperkuat penelitian mengenai proses perlakuan panas pasca pengelasan terhadap terbentuknya sensitisasi sehingga berdampak pada ketahanan korosi.⁵

Bab III Metode Penelitian

Pada bab ini menjabarkan mengenai diagram alir penelitian, alat dan bahan, serta prosedur penelitian mulai dari proses preparasi sampel hingga proses pengujian sampel.

Bab IV Hasil dan Pembahasan⁸³

Pada bab ini menjabarkan data hasil dan pembahasan yang telah didapatkan melalui beberapa pengujian dan Analisa hingga menjawab tujuan-tujuan yang diinginkan dari penelitian ini.²⁰

Bab V Kesimpulan dan Saran²⁰

Pada bab ini menjabarkan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran-saran untuk penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka¹¹

Daftar Pustaka berisi referensi yang digunakan dalam penyusunan laporan skripsi.

Lampiran

Lampiran berisi beberapa perhitungan data hasil penelitian, gambar alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini¹⁰⁵

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Stainless Steel*

Stainless Steel merupakan jenis material yang banyak digunakan dalam dunia industri karena memiliki keunggulan yaitu ketahanan terhadap korosi. *Stainless steel* akan membentuk suatu lapisan pasif oksida kromium yang membantu mencegah terjadinya korosi lebih lanjut. Lapisan pasif ini sangat tipis sehingga hanya bisa dilihat oleh alat mikroskop optik. Lapisan pasif ini akan terbentuk lagi jika material logam mengalami goresan atau gesekan, begitu terus menerus. Berdasarkan struktur kristal, baja tahan karat memiliki lima kelompok yaitu, *austenitic stainless steel*, *ferritic stainless steels*, *martensitic stainless steels*, *duplex stainless steels*, dan *depositional hardening stainless steels* (Coob, 2010).

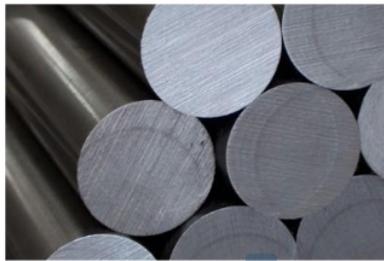
2.2 *Austenitic Stainless Steel*

Austenitic stainless steel adalah jenis baja yang memiliki ketahanan korosi, mampu bentuk, mampu las dan sifat non-ferromagnetik yang baik. Pada suhu rendah, material ini biasa digunakan untuk aplikasi kriogenik. Baja tahan karat austenitik yang mengandung krom dan nikel 18-8 (Cr-Ni) diberi nomor seri 300. *Austenitic stainless steel* 304 merupakan jenis baja tahan karat austenitik dengan kemampuan las, kekuatan mekanik, dan ketahanan korosi yang baik. *Stainless steel* 304 dapat diaplikasikan pada berbagai bidang industri maupun non industri. Penggunaan SS-304 meliputi tangki dan kontainer, peralatan pertambangan, kimia, makanan, dan industri farmasi. Walaupun memiliki ketahanan korosi namun SS 304 juga dapat terkorosi di lingkungan yang sangat korosif (Coob, 2010).

Austenitic stainless steel termasuk kedalam jenis baja paduan yang memiliki kandungan 16–26% Cr, 0.75–19.0% Mn, 0-2% Mo, 1–40% Ni, 0.03–0.35% C, dan N sebagai penstabil austenit pada temperatur ruang dan kenaikan temperatur tertentu (Totten, 2006). Tipe AAS yang digunakan pada penelitian ini yaitu tipe *stainless steel* 304, dimana memiliki komposisi 0,042% C, 1,19% Mn, 0,034% P, 0,006% S, 0,049% Si, 18% Cr, 8,15% Ni, dan sisanya Fe. Paduan ini memiliki ketahanan terhadap korosi yang tinggi namun bukan berarti tidak dapat terkorosi,

baja SS 304 akan terkorosi bila terdapat pada lingkungan korosi yang tinggi. Baja ini memiliki karakteristik meliputi kekuatan tarik 646 MPa, *yield strength* 270 MPa, *elongation* 50% dan nilai kekerasan 82 HRA (Coob, 2010). *Stainless steel* 304 banyak digunakan industri karena kualitas yang diberikan dalam jangka waktu yang lama, sehingga memiliki ketahanan yang tinggi akan korosi karena terdapat lapisan kromium oksida pada permukaannya. Aplikasi baja jenis ini biasa digunakan untuk material konstruksi dalam industri kimia, nuklir, makanan dan lain-lain (Husnul Fata, Muhammad Razi, 2019). Walaupun *austenitic stainless steel* banyak digunakan pada industri namun baja ini memiliki beberapa kelemahan antara lain (ASM International, 2008):

- A. Memiliki *thermal fatigue* atau kelelahan yang rendah, hal ini dikarenakan koefisien ekspansi *thermal* yang relatif tinggi.
- B. Memiliki kerentanan terhadap *cyclic oxidation* jika dibandingkan dengan tipe *ferritic*, hal ini dikarenakan koefisien ekspansi *thermal* yang tinggi sehingga menyebabkan rusaknya lapisan oksida kromium.
- C. Memiliki *fatigue endurance limit* yang rendah dibandingkan dengan tipe *ferritic*, dimana *austenitic* (~ 30% *tensile strength*) dan *ferritic* (~ 50 – 60% *tensile strength*).



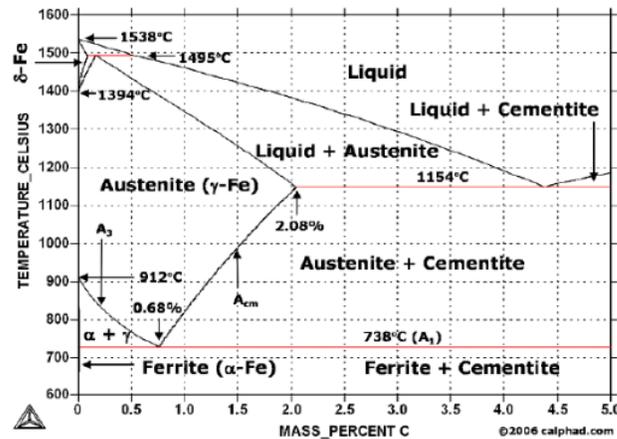
Gambar 2.1 Austenitic Stainless Steel

(<https://www.steelindopersada.com>)

2.3 Unsur Paduan *Stainless Steel*

Unsur paduan baja tahan karat dapat diketahui pada Gambar 2.2. Dimana pada diagram tersebut berkaitan dengan kandungan karbon (C) dan temperatur pemanas yang berhubungan dengan jenis struktur baja. Pada diagram fasa Fe-C terlihat

austenit yang memiliki struktur berbentuk *face centered cubic* (FCC), dimana kandungan 0,028% karbon (C) pada temperatur 738°C. Jika temperatur naik mencapai 1154°C maka kandungan karbonnya mencapai 2,08% (Anwar Budiando, Kristina Purwantini, 2009).

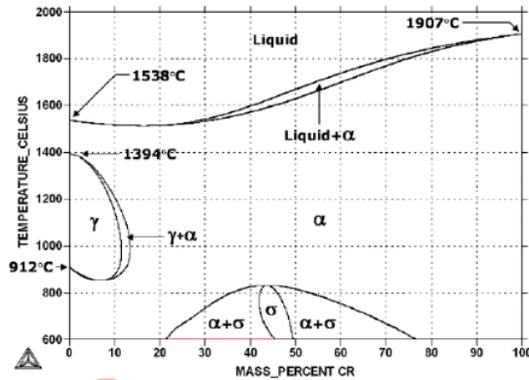


Gambar 2.2 Diagram Fasa Fe-C

(Anwar Budiando, Kristina Purwantini, 2009)

2.4 Diagram Fasa Baja Tahan Karat Austenitik

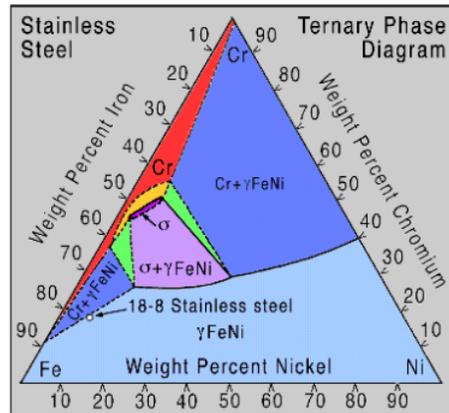
Diagram fasa merupakan diagram yang menghubungkan temperatur, komposisi kimia, dan fasa. Pada proses pendinginan yang sangat lambat perubahan fasa akan berlangsung seperti pada diagram fasa, akan tetapi kondisi seperti itu hampir tidak pernah tercapai karena pada kondisi normal pendinginan berlangsung lebih cepat dari waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya perubahan fasa seperti yang tercantum dalam diagram fasa. Dalam hal ini yang disajikan pada Gambar 2.3 adalah diagram fasa baja tahan karat austenitik. Dimana baja tahan karat austenitik memiliki unsur paduan utama krom dan nikel. Penambahan nikel kepada sistem Fe-Cr akan meningkatkan daerah fasa austenit dan dapat menstabilkan austenit pada temperatur kamar.



Gambar 2.3 Diagram Fasa Fe-Cr

(Safitri, 2018)

Penambahan nikel pada sistem Fe-Cr akan menimbulkan peningkatan daerah fasa austenit dan dapat menstabilkan austenit pada temperatur kamar. Maka perlu diuraikan mengenai diagram fasa besi-krom-nikel yang memanfaatkan keefektifan unsur Fe-Cr-Ni pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Fasa Fe-Ni-Cr

(Safitri, 2018)

Selain unsur tersebut ada beberapa unsur tambahan pada baja tahan karat austenitik. Unsur-unsur tersebut antara lain yaitu Ti, Cu, Nb, Mo, dan Al. unsur Cr yang berperan sangat penting pada baja tahan karat austenitik dalam menaikkan

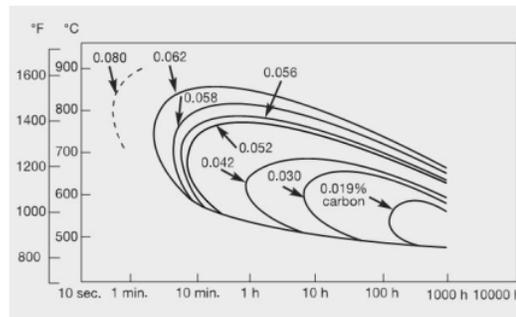
ketahanan korosi baja tahan karat. Disamping unsur Cr yang memiliki peran utama pada baja tahan karat, unsur lain juga memiliki masing-masing fungsi tertentu yang ditunjukkan pada Tabel 2.1(Safitri, 2018).

Tabel 2.1 Fungsi Unsur Paduan Baja Tahan Karat Austenitik

NO	UNSUR	PENGARUH
1	Karbon (C)	- Menaikkan kekerasan - Pembentukan karbida krom menurunkan ketahanan korosi
2	Krom (Cr)	- Pembentuk ferrit - Menaikkan ketahanan korosi
3	Nikel (Ni)	- Pembentuk austenit - Menaikkan kekuatan pada temperatur tinggi
4	Nitrogen (N)	- Pembentukan austenit yang sangat kuat, 26-30 kali lebih dari Ni
5	Niobium (Nb)	- Unsur pembentuk karbida yang kuat, sehingga menghindari terjadinya karbida krom - Pembentuk ferrit
6	Mangan (Mn)	- Pembentuk ferrit pada temperatur tinggi - Menstabilkan austenit pada temperatur tinggi
7	Molybdenum (Mo)	- Menaikkan kekuatan pada temperatur tinggi - Pembentuk ferrit
8	Titanium (Ti)	- Unsur pembentuk karbida yang kuat, menghindari karbida krom - Pembentuk ferrit - Menaikkan mampu mesin
9	Phospor (P)	- Sedikit menurunkan ketahanan korosi
10	Sulfur (S)	- Menaikkan kegetasan, kadarnya hanya antara 0,025-0,03%

2.5 Sensitisasi pada Baja Tahan Karat

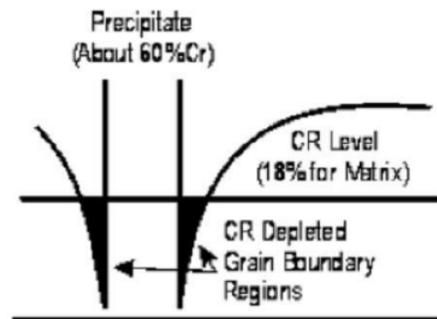
Sensitisasi merupakan fenomena buruk yang terjadi pada *stainless steel* Ketika dilakukan peningkatan suhu yang tidak tepat seperti yang terjadi pada proses pengelasan antara suhu 450-850°C. hal ini yang akan menimbulkan terjadinya pengendapan krom karbida disepanjang batas butir *stainless steel* (Lestarinigrum, 2018). Presipitasi karbida terjadi akibat adanya unsur paduan sehingga membentuk senyawa karena adanya energi yang dapat mengaktifasi unsur-unsur tersebut. Energi yang ditimbulkan tersebut akibat proses fabrikasi seperti yang terjadi pada saat proses pengelasan. Maka dari penjelasan diatas faktor yang sangat berpengaruh sehingga mengakibatkan terjadinya presipitasi karbida krom yaitu jumlah dan jenis unsur paduan dalam baja serta perlakuan panas yang dialami baja tahan karat. Hal ini merupakan fenomena terbentuknya presipitasi karbida krom ($Cr_{23}C_6$) pada area batas butir austenit akibat pendinginan lambat yang dapat dilihat lajunya pada Gambar 2.5.



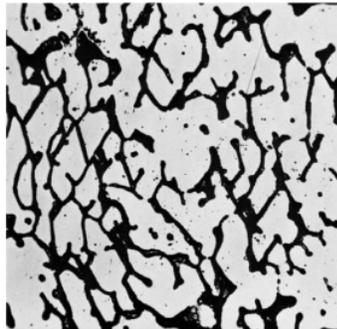
Gambar 2.5 Laju Presipitasi Karbida Krom
(Aisyah, 2010)

Fenomena ini disebut juga *intergranular corrosion* (IGC), dimana peristiwa tersebut mengakibatkan *chromium depletion* yang berada di area sekitar batas butir yang dapat dilihat pada Gambar 2.6 sehingga menyebabkan turunnya *passive protective layer* di area yang mengalami penurunan kadar krom (Cr) (R.C. Mudjiyanto et al, 2019). Sensitisasi akan lebih parah terjadi apabila baja tahan karat austenitik mengandung jumlah karbon (C) yang tinggi, paduannya mengalami deformasi (dikerjakan dengan dingin) sebelum pengelasan, tidak ada penambahan

paduan dengan afinitas yang lebih besar untuk C daripada Cr, dan masukan panas las tinggi (Robert W. Messler, 2004). Dalam kasus pengelasan yang terjadi pada baja tahan karat, daerah *Heat Affected Zone* (HAZ) akan mengalami sensitisasi sehingga menyebabkan krom (Cr) berpindah ke batas butir sedangkan di daerah lain akan memiliki krom yang lebih sedikit sekitar dibawah 10-12%. Hal ini yang mengakibatkan pembuatan film oksida tidak maksimal untuk menahan korosi pada baja tahan karat. Selain menyebabkan degradasi ketahanan korosi, sensitisasi juga dapat menurunkan sifat mekanik baja tahan karat (Burhanuddin, 2007). Contoh hasil mikroskop optik pada lasan yang membentuk fenomena sensitisasi terlihat pada Gambar 2.7 .



Gambar 2.6 Daerah yang Mengalami Penurunan Kadar Krom
(Anwar Budianto, Kristina Purwantini, 2009)



Gambar 2.7 Fenomena sensitisasi pada hasil lasan menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran 250× pada ASTM A262

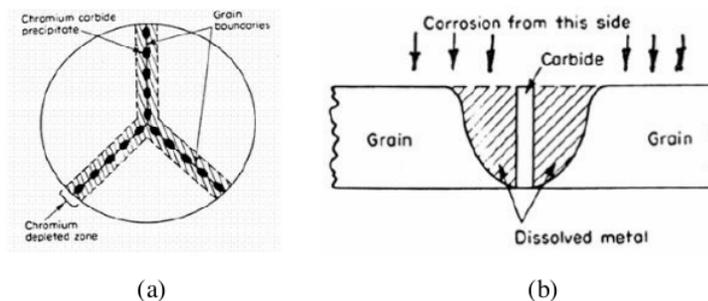
2.6 Korosi

Korosi didefinisikan sebagai degradasi material atau penurunan mutu logam akibat dari reaksi kimia (elektrokimia) antar material maupun antara material dengan lingkungannya. Korosi dapat diklasifikasikan melalui berbagai macam metode antara lain: metode membagi korosi menjadi korosi pada temperatur rendah dan temperatur tinggi, metode memisahkan korosi menjadi kombinasi langsung (oksidasi) dan korosi elektrokimia, terakhir ada metode yang sering digunakan yaitu membagi korosi menjadi korosi basah (*wet corrosion*) dan korosi kering (*dry corrosion*). Korosi basah terjadi ketika material berinteraksi dengan cairan. Biasanya melibatkan larutan yang mengandung air atau elektrolit. Sedangkan pada korosi kering terjadi ketika material berinteraksi dengan uap dan gas, dimana korosi kering berhubungan dengan korosi pada temperatur tinggi (Santoso, 2019). Menurut Fontana, terdapat 8 jenis korosi yaitu: korosi homogen (*uniform corrosion*), korosi galvanis (*galvanic corrosion*), korosi celah (*crevice corrosion*), korosi sumur (*pitting corrosion*), korosi antar butir (*intergranular corrosion*), korosi selektif (*selective corrosion*), korosi erosi (*erosion corrosion*), dan korosi tegangan (*stress corrosion*) (Fontana, 1987). Namun pada penelitian kali ini difokuskan pada korosi antar butir (*intergranular corrosion*), dimana korosi tersebut menyerang batas butir yang terjadi setelah adanya pengelasan.

2.6.1 Korosi Antar Butir

Korosi antar butir merupakan salah satu jenis korosi yang terjadi daerah batas butir akibat adanya endapan didalamnya. Korosi batas butir juga dapat terjadi karena adanya presipitasi karbida krom sehingga terjadi penurunan kadar krom di daerah batas butir. Presipitasi karbida krom akan terpengaruh pada suhu 500-900°C, dimana pada suhu 600-800°C nilai presipitasinya akan meningkat. Batas butir lebih banyak disukai untuk tempat proses pengendapan (*presipitation*) dan pemisahan (*segregation*). Korosi dapat terjadi karena beberapa faktor yang mempengaruhi cepat dan lambatnya material akan korosi. Seperti proses material konstruksi, fungsi konstruksi, bentuk material, dan kondisi lingkungan atau media yang berada disekitar material tersebut.

Terdapat beberapa bahan asing dalam struktur logam ada 2 macam yaitu logam antara (*intermetallic*) dan senyawa. Logam antara (*intermetallic*) merupakan unsur-unsur yang terbentuk dari atom-atom logam sehingga memiliki rumus kimia yang mudah dikenali. Contohnya yaitu karbida krom (Cr_{23}C_6), sedangkan senyawa merupakan bahan yang terbentuk dari logam dan unsur-unsur bukan logam yang mengandung logam seperti hidrogen, karbon, silikon, nitrogen, dan oksigen. Logam yang mengandung logam antara atau senyawa akan rentan terhadap korosi antar butir (*intergranular corrosion*), biasanya akan sering dialami oleh baja tahan karat austenitik (Anwar Budianto, Kristina Purwantini, 2009). Skema korosi batas butir dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Skema Korosi Batas Butir

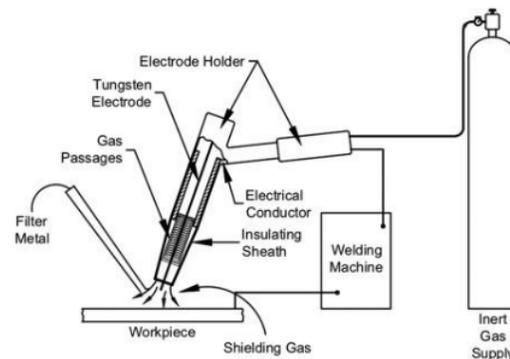
(a) Tersensitisasi, (b) Potongan Melintang

(Anwar Budianto, Kristina Purwantini, 2009)

2.7 Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*)

Pengelasan GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) merupakan salah satu proses pengelasan busur listrik, dimana energi fusi dihasilkan dari pembakaran busur listrik antara benda kerja dengan elektroda tungsten. Selama proses pengelasan elektroda, busur dan *weld pool* dilindungi terhadap efek merusak dari udara atmosfer oleh gas pelindung inert. Pengelasan GTAW atau TIG berbeda dari proses las busur lainnya dengan fakta bahwa elektroda tidak dikonsumsi seperti elektroda dalam proses lain seperti MIG/MAG dan MM. GTAW paling sering digunakan untuk mengelas bagian tipis baja tahan karat dan logam non-ferrous seperti aluminium, magnesium, dan paduan tembaga. Proses ini memberikan kontrol yang

lebih besar kepada operator atas lasan daripada proses lain seperti GMAW dan SMAW, hal ini yang membuat keunggulan dari pengelasan GTAW sehingga memungkinkan hasil lasan yang lebih kuat dan berkualitas lebih tinggi. Namun pengelasan GTAW juga memiliki kelemahan yaitu kecepatannya yang lambat secara umum sehingga deposisinya rendah dan peralatannya yang cukup mahal (Devakumar & Jabaraj, 2014). Skema pengelasan GTAW dapat dilihat pada Gambar 2.9. Gas pelindung yang digunakan pada las GTAW yaitu gas Ar (Argon). Hal ini dikarenakan argon memiliki kemampuan untuk melindungi logam las cair dari cacat las seperti porositas. Gas pelindung juga dapat menyebabkan perubahan struktur mikro sehingga terjadinya perubahan sifat mekanis hasil lasan (Yahya, 2021).



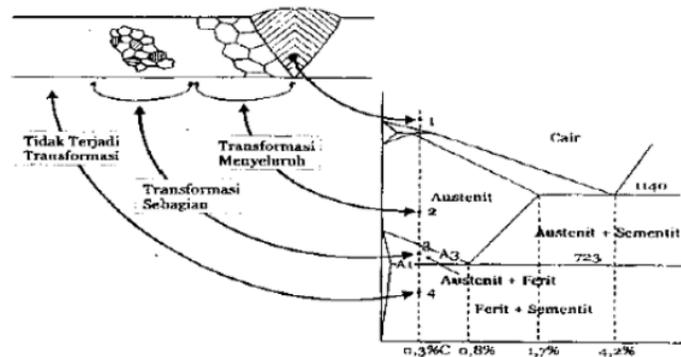
Gambar 2.9 Skema Pengelasan GTAW

(Stewart, 2021)

Sumber listrik yang digunakan oleh las GTAW yaitu listrik DC atau listrik AC. Untuk penggunaan listrik DC maka rangkaian listriknya dapat dilakukan dengan polaritas lurus, dimana kutub positif dihubungkan dengan *base metal* dan kutub negatif dihubungkan dengan batang elektroda atau rangkaian sebaliknya yang disebut polaritas balik. Sedangkan jika penggunaan dengan arus AC maka proses yang terjadi akan sama dengan menggunakan arus searah dengan polaritas lurus dan polaritas balik yang digunakan secara bergantian atau biasa disebut arus bolak balik (Nugroho, 2017).

2.8 Daerah HAZ (*Heat Affected Zone*)

Selama proses pemanasan lokal di permukaan logam pada proses pengelasan maupun proses perlakuan panas pasca pengelasan terjadi proses pemanasan dan pendinginan. Maka dari itu daerah HAZ (*Heat Affected Zone*) merupakan daerah paling kritis yang terjadi pada sambungan las, karena terdapat perubahan struktur dan sifat yang terjadi pada daerah ini. Hal ini disebabkan lamanya pendinginan dan komposisi dari filler dan logam induk tersebut. Oleh karena itu daerah sensitisasi pada austenitic stainless steel banyak ditemukan di daerah HAZ dimana presipitasi karbida Cr terbentuk (Suryanto, 2018).



Gambar 2.10 Transformasi Fasa pada Daerah HAZ

(Sari, 2015)

Transformasi fasa pada daerah HAZ dapat dilihat pada Gambar 2.10, dimana terdapat tiga titik berbeda di daerah HAZ. Titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan yang mencapai daerah berfasa austenit, daerah ini menyebabkan transformasi menyeluruh yang berarti struktur mikro awal ferit + perlit kemudian bertransformasi menjadi austenite seluruhnya. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa ferit + austenit, daerah ini menyebabkan transformasi Sebagian yang berarti struktur mikro awal ferit + perlit kemudian bertransformasi menjadi ferit + austenit (Sari, 2015).

2.9 Post Weld Heat Treatment (PWHT)

Post weld heat treatment (PWHT) merupakan salah satu jenis perlakuan panas atau *heat treatment* yang digunakan untuk pelepasan tegangan sisa pada material yang sebelumnya mengalami proses fabrikasi yaitu pengelasan. Selain itu PWHT dapat mengurangi terjadinya retak, menyeragamkan struktur mikro, mengurangi resiko terjadinya korosi, dan dapat meningkatkan ketangguhan material sehingga dapat memperbaiki kualitas suatu material (Putra Nugraha et al., 2017). Perlakuan panas merupakan proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat fisis dari logam tersebut. Dengan proses perlakuan panas yang tepat maka ketangguhan dapat meningkat atau memiliki permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet, butir dapat diperbesar maupun diperkecil, dan dapat menghilangkan tegangan (Anwar Budianto, Kristina Purwantini, 2009). Untuk memungkinkan perlakuan panas yang tepat maka susunan kimia logam baja harus diketahui karena akan ada perubahan komposisi kimia pada saat proses perlakuan panas berlangsung, khususnya unsur karbon yang mengakibatkan perubahan fisis pada material logam baja. Pada logam baja paduan yang memiliki beberapa unsur seperti nikel, krom, mangan, molibden, tungsten, silikon, vanadium, dan tembaga biasanya memiliki sifat-sifat yang lebih unggul, sehingga baja paduan memiliki kegunaan yang lebih luas dibandingkan dengan baja karbon biasa (Handoko, 2017).

Laju pendinginan merupakan faktor pengendali pada saat perlakuan panas, jika pendinginan cepat maka menghasilkan struktur yang keras, sedangkan jika pendinginan lambat maka menghasilkan struktur yang lunak atau ulet. Secara garis besar proses perlakuan panas dibedakan menurut tinggi temperatur, waktu tahan panas (*holding time*), dan laju pendinginannya. Proses perlakuan panas dikelompokkan menjadi dua yaitu perlakuan panas menghasilkan struktur ekuilibrium dan non-ekuilibrium, struktur ekuilibrium dihasilkan dari metode *annealing*, *normalizing*, *spheroidising* dan lain-lain. Sedangkan struktur non-ekuilibrium dihasilkan dari metode pengerasan atau *hardening* (Handoko, 2017). Terdapat beberapa jenis perlakuan panas pada material baja yang dimana setiap jenisnya mempunyai tujuan dan fungsi masing-masing.

2.9.1 Annealing

Annealing adalah istilah umum yang menunjukkan perlakuan yang terdiri dari pemanasan dan penahanan pada suhu yang sesuai diikuti dengan pendinginan pada tingkat yang sesuai, terutama untuk pelunakan pada bahan logam (ASM International, 1991). *Annealing* bertujuan untuk menghaluskan butiran, atau melunakkan, atau memperbaiki *machinability*. Selain itu dapat juga memperbaiki sifat kelistrikan dan kemagnetan. *Annealing* juga dapat menghilangkan tegangan sisa dan memperbaiki keuletan (Handoko, 2017). Terdapat berbagai jenis *annealing* pada *heat treatment*, hal ini bergantung pada karakterisasi dari perubahan yang diinginkan seperti pada struktur mikro. Jenis-jenis *annealing* diantaranya adalah *full annealing*, *stress-relief annealing*, *isothermal annealing*, *quench annealing*, *homogenizing annealing* dan lain-lain (Wulanari, 2016).

1. Full annealing

Full annealing meliputi dari austenisasi baja lalu diteruskan dengan pendinginan lambat didalam dapur. Bahan yang dilakukan *full annealing* berada dalam kondisi metalurgi yang optimal, dengan fase sekunder yang benar-benar larut dan dihomogenisasi. Kondisi ini menghasilkan ketahanan korosi dan daktilitas terbaik. Karena dilakukan pada suhu tinggi, anil di udara menghasilkan kerak oksida permukaan yang harus dihilangkan dengan kerak dan pengawetan untuk mengembalikan ketahanan korosi permukaan, Suhu biasanya antara 750 hingga 1200 °C tergantung pada grade baja dan tujuan dari anil (Outokumpu, 2013). Kondisi ini akan memperbaiki mampu mesin dan dapat menaikkan kekuatan, hal itu dikarenakan butir – butirnya menjadi halus.

2. Stress-relief annealing

Stress-relief annealing merupakan proses perlakuan panas yang ditujukan untuk menghilangkan tegangan yang terdapat didalam benda kerja, memperkecil distorsi yang terjadi selama proses perlakuan panas dan dapat mencegah timbulnya retak. Terdapat beberapa faktor yang dapat menimbulkan timbulnya tegangan di dalam logam sebagai akibat dari proses pembuatan logam yang bersangkutan menjadi sebuah komponen.

faktor-faktor tersebut yaitu Pemesinan, Pembentukan, Perlakuan panas, Pengecoran, Pengelasan, dan lainnya. Penghilangan tegangan sisa dari baja dilakukan dengan memanaskan baja tersebut pada temperatur sekitar 500 – 700°C, tergantung pada jenis baja yang diproses.

3. *Isothermal annealing*

Isothermal annealing merupakan proses yang memanfaatkan pelunakkan baja-baja sebelum dilakukannya proses pemesinan. Proses ini terdiri dari austenisasi pada temperatur *Full annealing* setelah itu dilanjutkan dengan pendinginan yang relatif cepat pada temperatur 50-60°C.

4. *Quench annealing*

Quench annealing merupakan proses pemanasan di temperatur *Full annealing* lalu dilakukan pencelupan pada temperatur pengerasannya dengan laju pendinginan yang sangat tinggi. Hal itu dapat memperoleh kekerasan yang diinginkan.

5. *Homogenizing annealing*

Homogenizing annealing terjadi pada rentang temperatur 1100-1200 °C, karena proses difusi yang terjadi pada temperature ini akan menyeragamkan komposisi baja. Proses homogenisasi dilakukan selama beberapa jam pada temperatur sekitar 1150°C - 1200°C. Setelah itu, benda kerja didinginkan ke 800°C - 850°C, dan selanjutnya didinginkan diudara. Perlakuan seperti ini hanya dilakukan untuk kasus-kasus yang khusus karena biaya prosesnya sangat tinggi.

Pada penelitian kali ini akan dilakukan dengan jenis perlakuan panas *annealing*. Karena dengan metode *annealing* dapat melarutkan karbida kromium, pemanasan *annealing* untuk austenitik *stainless steel* dengan rentang suhu 955-1120°C. Hal itu menyebabkan semua endapan kromium karbida batas butir larut dan Kembali menjadi ferit, serta melunakkan baja sepenuhnya. Waktu pemanasan yang lebih dari 1 jam bahkan dapat melarutkan beberapa ferit yang ada dan selanjutnya mengurangi kemungkinan pembentukan kembali pada pendinginan lambat (ASM International, 1991).

2.10 Diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*)

Struktur mikro, sifat mekanik dan transformasi yang terjadi pada daerah HAZ dapat dianalisa pada diagram transformasi pendinginan berlanjut atau biasa disebut diagram CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Pada umumnya struktur mikro logam baja tergantung dari kecepatan pendinginan dari temperatur daerah austenit sampai ke suhu ruang. Perubahan struktur yang terjadi maka akan diiringi oleh sifat-sifat mekanik yang berubah juga. Hubungan dari kecepatan pendinginan yang dilakukan dan struktur mikro yang terbentuk digambarkan dalam diagram yang berhubungan dengan waktu, suhu dan transformasi fasa. Diagram ini biasanya membahas pengaruh struktur terhadap retak las, keuletan dan lain sebagainya sehingga dapat menjadi acuan untuk menentukan prosedur pengelasan (Suryanto, 2018).



Gambar 2.11 Diagram CCT

(Sari, 2015)

Pada Gambar 2.11 diperlihatkan diagram CCT yang memiliki hubungan temperatur dan waktu pendinginan. Dari diagram tersebut terdapat fasa-fasa yang akan terbentuk sesuai dengan pendinginan yang terjadi. Huruf A menunjukkan fasa austenite, huruf F menunjukkan fasa ferrit, huruf P menunjukkan fasa perlit, huruf B menunjukkan fasa bainit, dan huruf M menunjukkan fasa martensit (Sari, 2015). Garis yang terdapat pada diagram CCT menunjukkan batas antara satu fasa dengan fasa lain.

2.11 Laju Korosi

Tujuan dari *corrosion monitoring* untuk mengetahui laju korosi pada material logam, sehingga laju korosi dapat mengetahui kapan dan berapa lama struktur pada material logam dapat bertahan terhadap serangan korosi. Laju korosi merupakan peristiwa merambatnya korosi pada logam yang dapat menyebabkan penurunan mutu dan kualitas logam. Pengujian laju korosi diperlukan untuk mengetahui mutu dan kualitas logam terhadap ketahanan korosi, dari hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan apakah material dalam kondisi baik atau tidak. Ketahanan terhadap korosi pada material logam umumnya memiliki nilai laju korosi antara 1-200 mpy (Handoko, 2017). Teknik *corrosion monitoring* dapat dibagi menjadi dua metode yang dipakai yaitu kinetika (*weight loss*) dan elektrokimia (polarisasi).

Metode paling sederhana yang sering digunakan yaitu metode kinetika (*weight loss*), metode ini menggunakan perbandingan berat logam awal dengan berat logam akhir. Prinsipnya dengan menghitung banyaknya material yang hilang setelah dilakukannya pengujian pencelupan material pada lingkungan yang korosif (Santoso, 2019). Sedangkan metode elektrokimia menggunakan sel elektrokimia (elektroda) dengan memberikan potensial pada benda uji sehingga terjadi korosi pada benda uji. Pada reaksi elektrokimia yang terjadi pada saat proses korosi berlangsung, laju pergerakan elektron yang berinteraksi dengan permukaan merupakan nilai dari laju reaksinya (Octaviana, 2019). Walaupun metode *weight loss* sederhana namun diperlukan waktu penelitian yang lama untuk mendapatkan laju korosi dari kehilangan berat material.

Dalam penelitian ini menggunakan metode kinetika (*weight loss*) atau metode kehilangan berat untuk menghitung laju korosi dengan mengukur berat kehilangan akibat adanya korosi. Mengacu pada ASTM A262 dengan rumus untuk menghitung laju korosi sebagai berikut:

$$\text{Corrosion rate} = \frac{K \times W}{D \times A \times T} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

K = Konstanta

W = Kehilangan berat (g)

D = Densitas (g/cm^3)

A = luas permukaan yang terkorosi (cm^2)

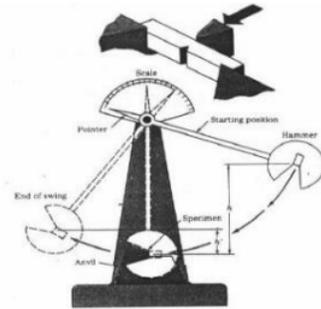
T = Waktu exposure (Jam)

2.12 Asam Sulfat (H_2SO_4)

Asam sulfat merupakan asam mineral (anorganik) yang kuat sehingga bersifat sangat korosif. Asam sulfat dapat menyerang material logam karena dipengaruhi oleh konsentrasi asam sulfat (Setiawan & Dewi, 2019). Asam ini terbentuk melalui oksidasi mineral sulfida, air yang dihasilkan sangat asam sehingga sering disebut air asam tambang. Asam sulfat mampu melarutkan logam yang ada dalam bijih sulfida, sehingga dapat menghasilkan uap berwarna cerah yang beracun. Asam ini bereaksi dengan logam melalui reaksi penggantian tunggal sehingga dapat menghasilkan gas hidrogen dan logam sulfat. Logam yang biasa menyerang asam sulfat yaitu seng, mangan, aluminium, nikel, dan besi (Zaeni, 2013).

2.13 Uji Impak

Uji impak atau ketangguhan adalah salah satu pengujian mekanik yang menggambarkan keadaan suatu material konstruksi dimana beban tidak selalu datang perlahan terkadang juga datang secara kejut. Pengujian impak dapat dipakai untuk menganalisis karakteristik bahan seperti kemampuan bahan terhadap benturan dan karakteristik keuletan bahan terhadap perubahan suhu. Keadaan bisa terjadi pada kerangka kendaraan yaitu tabrakan dengan kendaraan lain yang mengakibatkan terjadinya kerusakan pada bagian rangka dan bodi. Alat uji yang biasa digunakan dalam pengembangan bahan struktur material dalam mengukur kemampuan beban kejut dapat di lihat pada Gambar 2.12 (Furkan et al., 2020).



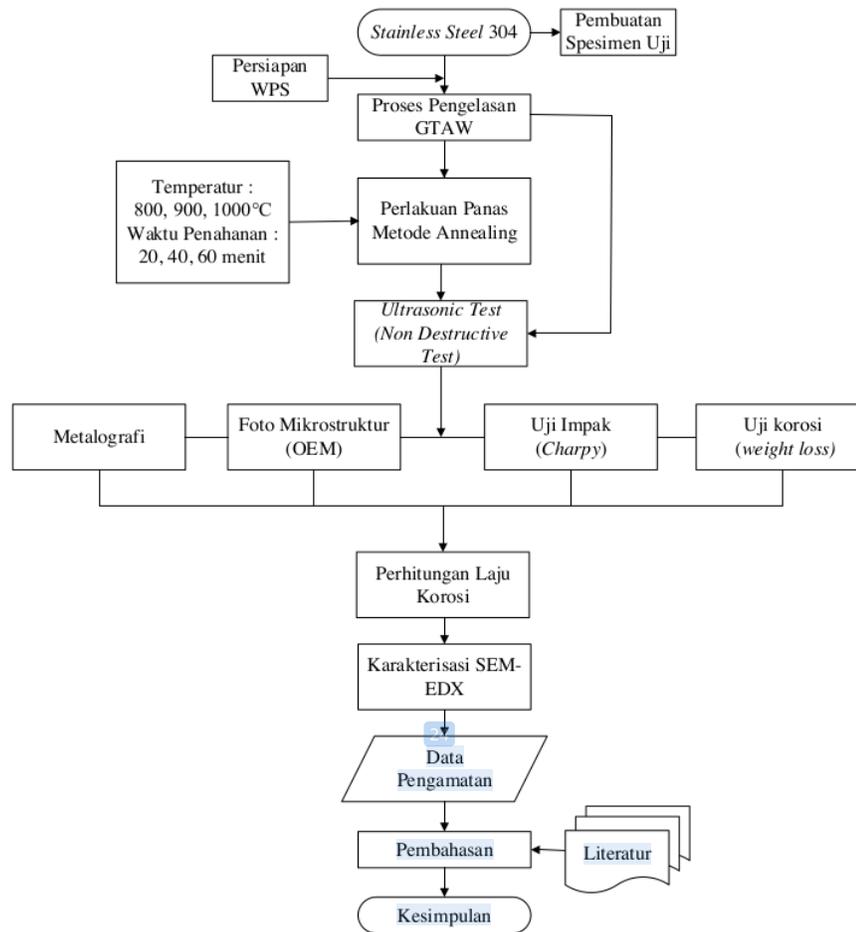
Gambar 2.12 Alat Uji Impak (Charpy)
(Furkan et al., 2020)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Berikut merupakan prosedur percobaan pada penelitian ini yang dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian Perlakuan Panas Pasca Pengelasan terhadap Ketahanan Korosi

3.2 Alat dan Bahan

3.2.1 Alat yang Digunakan

Berikut ini merupakan alat-alat yang digunakan sebagai berikut:

1. Alat Uji Impak (*Charpy*)
2. Alat Uji Mikroskop Optik
3. Alat Uji SEM-EDX
4. Alat Uji *Ultrasonic Test*
5. Desikator
6. Erlenmeyer
7. Gerinda
8. *Hot Plate*
9. Kondensor
10. Las GTAW
11. Timbangan Digital
12. Tungku

3.2.2 Bahan yang Digunakan

Berikut ini merupakan bahan-bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Air Suling
2. Asam Klorida (HCl)
3. Asam Nitrit (HNO₃)
4. Asam Sulfat (H₂SO₄)
5. *Boiling Chips*
6. Besi Sulfat (Fe₂(SO₄)₃)
7. Elektroda ER308
8. *Stainless Steel 304*

3.3 Prosedur Penelitian

Adapun beberapa prosedur yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Spesimen Uji

Tahapan pertama pada penelitian ini adalah membuat spesimen uji SS304 yang didapatkan dari PT SHINKO dengan panjang spesimen 20 cm dan lebar 10 cm, kemudian dipotong menjadi dua bagian dengan panjang masing-masing 20 cm dan lebar 5 cm. spesimen tersebut memiliki ketebalan sebesar 6 mm. Setelah itu membuat kampuh V sebesar 34° dengan jarak 1,5 mm pada masing-masing spesimen sebagai tempat *weld metal*.

2. Pengelasan GTAW

Proses pengelasan GTAW yaitu proses pengelasan busur listrik, dimana energi fusi yang dihasilkan dari pembakaran busur listrik antara benda kerja dengan elektroda tungsten. Proses ini diawali dengan menyiapkan mesin las GTAW, lalu menyiapkan spesimen yang telah dipotong dan elektroda yang digunakan adalah jenis ER308L. Kemudian membuka gas pelindung belakang serta bagian stang. Setelah itu melakukan kalibrasi ampere menggunakan spesimen lain dengan arus 140 A dan tegangan 12 V, hal ini bertujuan untuk memastikan agar lasan tersebut baik digunakan, setelah lasan sudah dipastikan baik digunakan, maka dapat melakukan pengelasan pada spesimen SS304 yang telah disiapkan. Pengelasan dilakukan dengan kecepatan 10 cm/min. Terakhir membersihkan hasil lasan untuk menghilangkan terak yang terbentuk. Dimana hasil sampel yang telah dilas dapat ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Hasil Sampel Pengelasan

3. Perlakuan Panas Metode *Annealing*

Melakukan proses perlakuan panas pasca pengelasan (*annealing*) menggunakan tungku dengan variasi temperature dan waktu penahanan seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Data Variasi Temperatur dan Waktu Penahanan

Sampel	Temperatur	Waktu Penahanan
Non PWHT		
9A	800°C	20 menit
8A		40 menit
7A		60 menit
6A	900°C	20 menit
5A		40 menit
4A		60 menit
3A	1000°C	20 menit
2A		40 menit
1A		60 menit

4. *Ultrasonic Test*

Melakukan NDT (*non destructive test*) jenis *ultrasonic test* untuk pemilihan sampel. Pertama melakukan kalibrasi dengan menggunakan bahan yang sama untuk pengujian yaitu SS304, selanjutnya memastikan permukaan benda bersih dari segala jenis kotoran, kemudian pemberian *couplant* pada permukaan benda agar gelombang *ultrasonic* dapat diteruskan menuju spesimen, setelah itu melakukan pengujian dengan menggosokkan *probe* pada spesimen yang akan dilihat pada hasil lasan. Cacat yang dapat dilihat pada ultrasonic test yaitu cacat *porosity* yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Sampel Cacat *Porosity* Dengan Ultrasonic Test

5. Metalografi

Proses ini dilakukan dengan cara melakukan *grinding* dan *polishing* pada sisi sampel yang akan dilakukan pengamatan foto mikrostruktur. Setelah itu dilakukan proses *etching* dengan cara mencelupkan spesimen ke dalam campuran asam nitrit dan asam klorida dengan perbandingan larutan berturut-turut sebesar 30 ml : 90 ml. Proses ini dilakukan selama 2,5 menit pada sisi sampel yang telah di *grinding* dan *polishing* agar dapat menentukan daerah *weld metal*, HAZ, dan *base metal*.

6. Foto Mikrostruktur

Setelah dilakukan proses metalografi dilanjutkan dengan pengamatan foto mikroskop optik (500x) pada daerah HAZ untuk melihat struktur pada spesimen lebih detail serta mengetahui fasa yang terbentuk dan pertumbuhan karbida krom yang terjadi. Setelah didapatkan hasil foto mikro dilakukan perhitungan ukuran butir dengan aplikasi ImageJ. Sehingga akan diketahui struktur besar atau kecil dan kasar atau halus. Alat mikroskop optik ditunjukkan pada Gambar C.2.

7. Uji Impak

Pengujian ketangguhan dilakukan menggunakan alat uji impak (*charpy*) dengan dimensi spesimen 55,13x10 mm dan tebal sampel 5 mm. tiap spesimen dibuatkan *v-notch* Sebagai titik pembebanan kejut yang ditempatkan pada bagian pusat sambungan las. Semua spesimen dilakukan

pengujian pada temperatur kamar. Beban impact yang digunakan 26,03 kg hal ini sesuai dengan standar ASTM E23. Dari pengujian impact akan dihasilkan energi impact yang ditandai dari indikator alat impact, data tersebut akan dilakukan perhitungan untuk menghasilkan HI (Harga Impact). Secara matematis dapat dilihat pada rumus 3.1. Gambar C.1 menunjukkan mesin uji impact yang digunakan.

$$\text{Harga Impact (HI)} : \frac{E}{A} \dots \dots \dots (3.1)$$

Keterangan:

E = Energi Impact (J),

A = luas penampang (mm²)

8. Uji Korosi Metode *Weight Loss*

Pengujian korosi dilakukan menggunakan metode *weight loss Ferric Sulfate-Sulfuric Acid*. Langkah pertama yaitu memasukan air suling sebanyak 400 mL ke dalam erlenmeyer 500 mL, kemudian memasukan asam sulfat sebanyak 236 mL ke dalam Erlenmeyer 250 mL, menuangkan asam sulfat tersebut ke dalam Erlenmeyer yang berisi air suling secara perlahan agar menghindari terjadinya penguapan, setelah itu menambahkan 25 gram Fe₂(SO₄)₃ ke dalam larutan asam sulat, lalu memasukan *boiling chips* yang berfungsi untuk meratakan panas, setelah itu memasukan spesimen hasil lasan yang dipotong berukuran 13 mm. Langkah kedua yaitu menyusun alat pengujian dengan meletakkan Erlenmeyer yang berisikan campuran tadi di atas *hot plate*, kemudian memasang kondensor pada Erlenmeyer, setelah itu temperatur pada *hot plate* diatur hingga 93°C dan didiamkan selama 120 jam. Setelah 120 jam, menimbang spesimen tersebut untuk melihat perubahan massnya. Dapat dilihat pada Gambar 3.6 rangkaian alat pada pengujian korosi metode *weight loss Ferric Sulfate-Sulfuric Acid*.



Gambar 3.4 Rangkaian Alat Pengujian Korosi Metode *Weight Loss* *Ferric Sulfate-Sulfuric Acid*.

9. Perhitungan Laju Korosi

Untuk mengetahui laju korosi, maka perlu melakukan penimbangan spesimen uji untuk mengetahui banyaknya material yang hilang (*weight loss*) setelah pencelupan material pada lingkungan yang korosif. Perhitungan tersebut yaitu membandingkan berat logam awal dengan berat logam akhir, secara matematis dapat dilihat pada rumus 2.1

10. Karakterisasi SEM-EDX

Melakukan karakterisasi SEM-EDX setelah dilakukannya pengujian untuk mengetahui bentuk & morfologi spesimen serta kadar kromium sehingga dapat diidentifikasi fenomena sensitisasi.

BAB IV

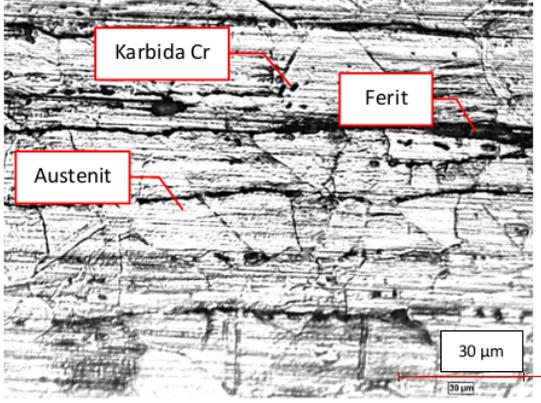
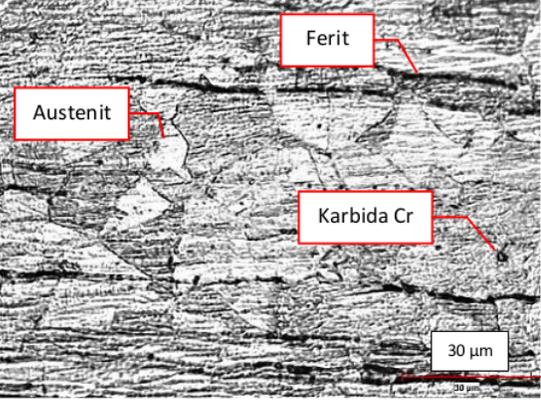
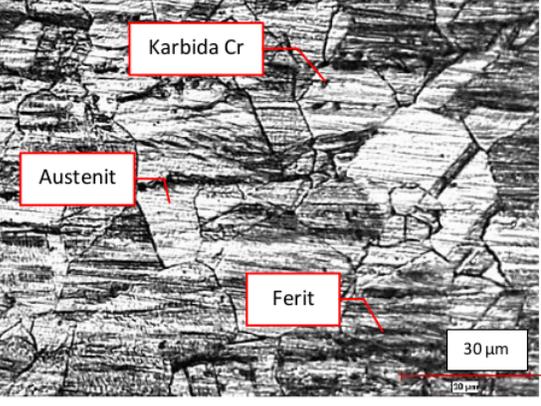
HASIL DAN PEMBAHASAN

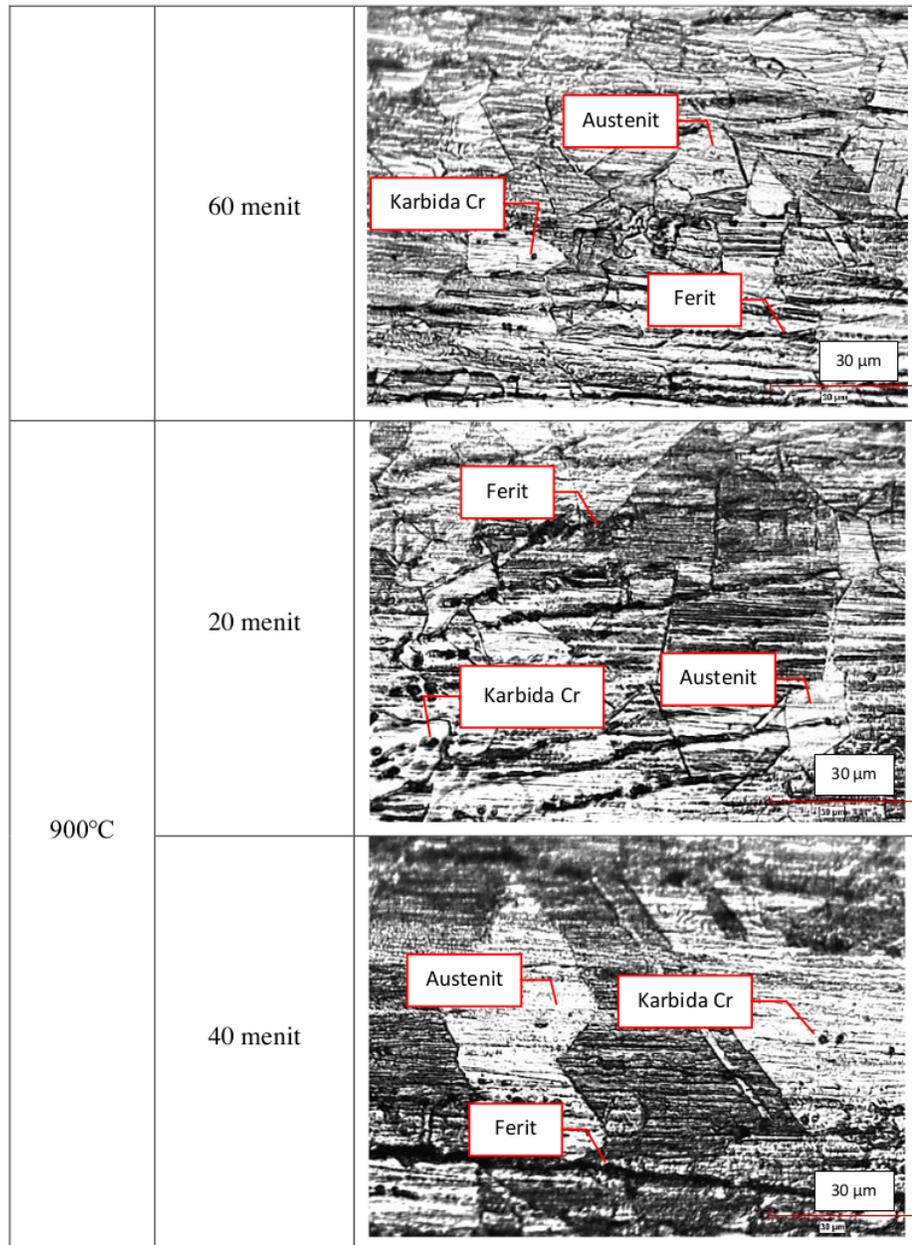
Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas pasca pengelasan terhadap sensitisasi yang terbentuk pada sambungan las *stainless steel* 304, dimana jenis pengelasan yang digunakan adalah las GTAW (*gas tungsten arc welding*). Perlakuan panas yang terjadi dilakukan dengan metode *annealing* dengan variasi suhu dan waktu penahanan yang disebutkan kode sampel pada Tabel 3.1. Sampel selanjutnya melewati pengujian *non destructive test* (NDT) dengan metode *ultrasonic test* setelah dilakukan pengelasan dan perlakuan panas pasca pengelasan untuk pemilihan sampel pengujian yang akan dilakukan selanjutnya. Sampel yang terlihat memiliki cacat terdapat pada 1 sampel yaitu 6A yang memiliki cacat *porosity* dapat dilihat pada Gambar 3.3. Setelah itu dilakukan beberapa pengujian yang dapat dilihat hasil melalui pengamatan struktur mikro untuk mengetahui fasa yang terbentuk dan pertumbuhan karbida krom yang terjadi, dilanjutkan dengan pengujian impak untuk mengetahui ketangguhan sampel dan melihat sifat keuletannya, lalu dilakukan pengujian korosi untuk mengetahui laju korosinya dan terakhir melakukan analisa SEM-EDX pada salah satu sampel terburuk untuk mengetahui bentuk & morfologi spesimen serta kadar kromiumnya. Sehingga dapat disimpulkan pengaruh dari variasi temperatur dan waktu penahanan pada *post weld heat treatment* (PWHT).

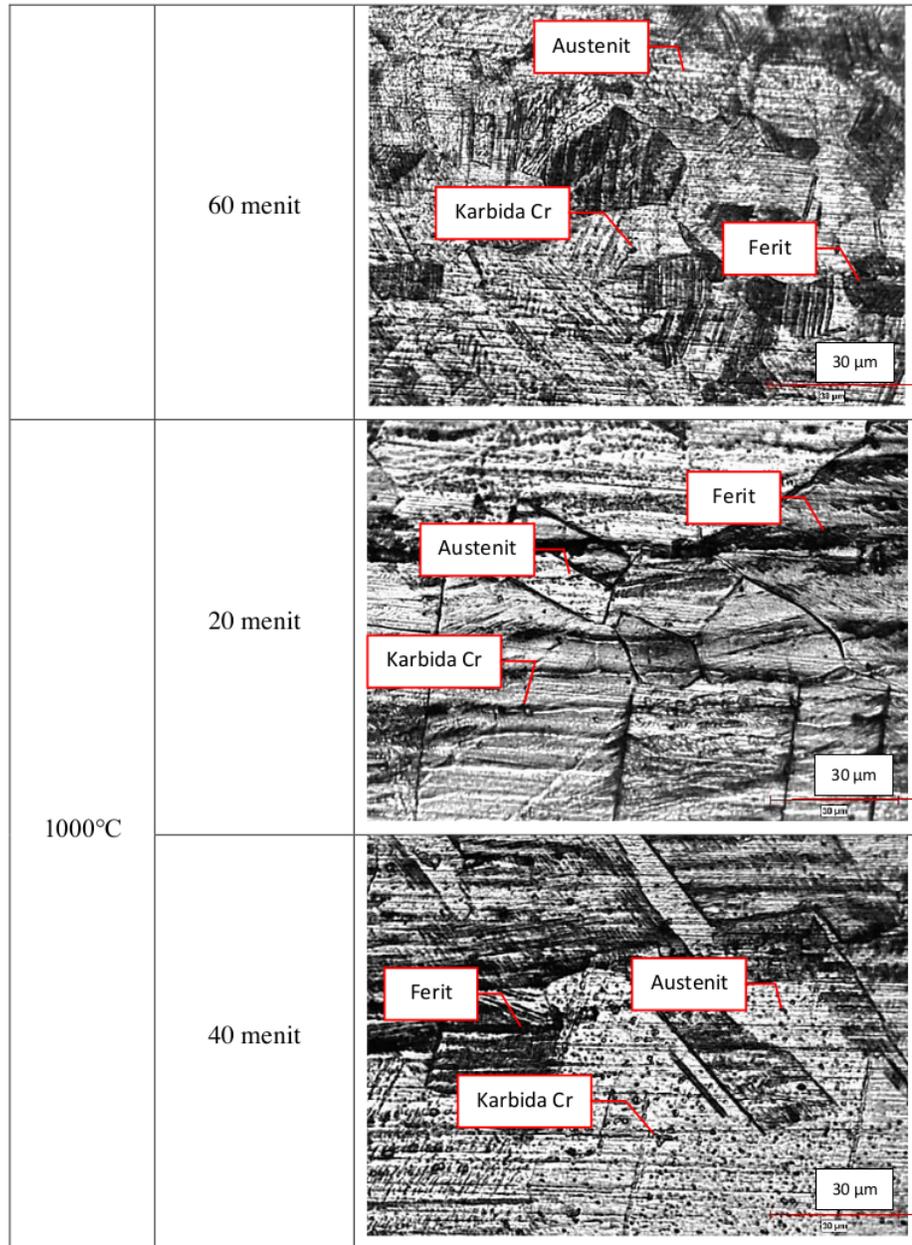
4.1 Hasil Pengamatan Struktur Mikro

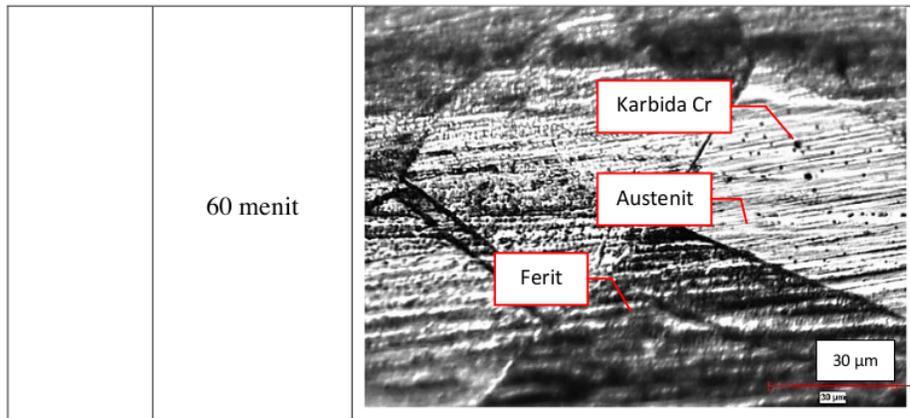
Pengamatan struktur mikro dilakukan menggunakan alat mikroskop optik dengan perbesaran 500x. Dalam pengamatan struktur mikro dilakukan pada daerah HAZ. Dimana dalam daerah HAZ memiliki banyak presipitat karbida yang menimbulkan fenomena sensitisasi. Hal ini yang menjadi dasar untuk melakukan pengamatan struktur mikro yang akan menjadi pendukung data hasil penelitian. Hasil pengamatan struktur mikro dapat diamati pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Pengamatan Struktur Mikro

Temperatur	Waktu Penahanan	Struktur Mikro (500x)
Non PWHT		
800°C	20 menit	
	40 menit	

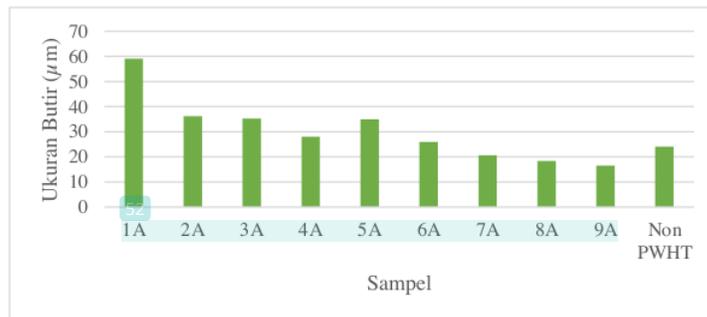






Dari hasil pengamatan hasil mikroskop yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 dihasilkan beberapa fasa yang tampak jelas yaitu ferit yang berwarna hitam, austenit yang berwarna putih dan karbida Cr (*Chromium*) yang berbentuk bintik hitam. Pada daerah HAZ akan tetap fasa austenit dan ferit walaupun dilakukan pengelasan pada material. Hal itu karena fasa sangat stabil sehingga panas yang diberikan pada proses pengelasan dan perlakuan panas pasca pengelasan tidak akan mengubah fasenya. Namun pada material tersebut akan terbentuk karbida Cr akibat adanya peluruhan las. Seperti yang dilaporkan oleh (Hariyanto & Mangando, 2019) pada pendinginan lambat suhu 680°C ke 480°C akan terbentuk karbida Cr disekitar batas butir. Dan yang dilaporkan oleh (Buwono, 2020) fasa yang terbentuk pada baja tahan karat austenite setelah dilakukan PWHT yaitu fasa austenit, ferit dan karbida Cr.

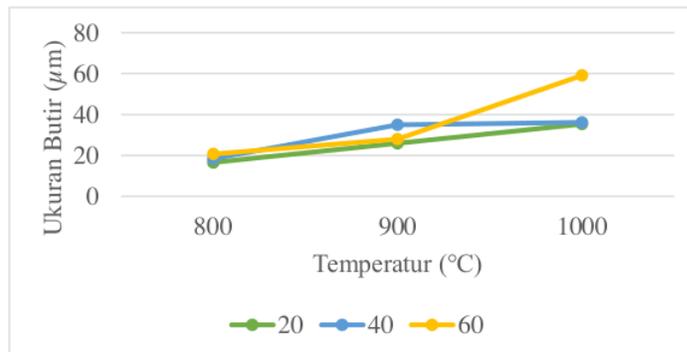
Pada hasil foto mikro dilakukan pengukuran struktur butir dengan aplikasi ImageJ sehingga dapat dilihat besar atau kecil dan kasar atau halus butir akibat dari temperatur dan waktu penahanan PWHT. Hasil pengukuran menunjukkan perbesaran batas butir seiring dengan temperatur yang semakin tinggi. Hal ini menyebabkan semakin tinggi temperatur pemanasannya maka struktur butir yang dihasilkan semakin kasar. Yang dapat dilihat pada grafik Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Ukuran Butir Sampel

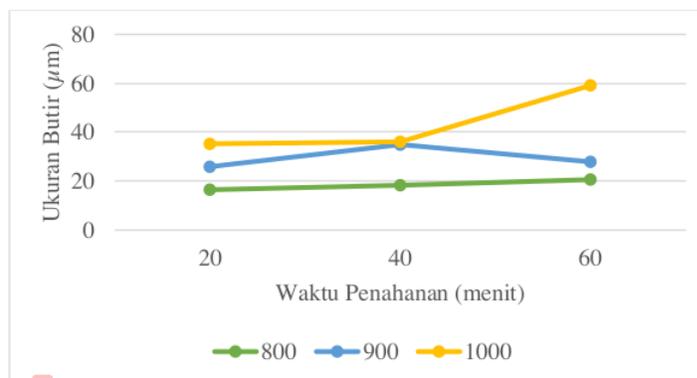
17 Pada Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa sampel 1A yang menggunakan temperatur 1000°C dan waktu tahan 60 menit menghasilkan ukuran butir paling besar. Sedangkan pada sampel 9A yang menggunakan temperatur 800°C dan waktu tahan 20 menit menghasilkan ukuran butir paling kecil. Terlihat pada sampel non PWHT memiliki ukuran butir lebih besar dari temperatur 800°C hal ini merupakan dampak dari perlakuan panas pasca pengelasan yang dihasilkan. Ukuran butir tersebut mempengaruhi akan sifat kekerasan dan keuletan dari material yang dilakukan perlakuan panas. Semakin kecil ukurannya maka akan memiliki sifat kekerasan yang tinggi, begitupun sebaliknya semakin besar ukuran butir maka akan memiliki sifat keuletan yang tinggi.

Seperti yang dilaporkan oleh (Reisa Ramandani W, Muhammad Wahyu Darajat, 2020) Butiran yang berbentuk kecil akan mengakibatkan kristal menjadi lebih padat dan keras, sehingga menghasilkan nilai kekerasan yang baik. Lalu dibuat grafik yang dapat mempermudah dalam melihat fenomena yang terjadi dari ukuran butir terhadap temperatur dan waktu penahan pada Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Grafik Ukuran Butir Terhadap Temperatur

Pada Gambar 4.2 dapat dilihat dimana sehingga semakin tinggi temperatur pemanasannya maka struktur butir yang dihasilkan semakin besar dan semakin rendah temperatur pemanasannya maka struktur butir yang dihasilkan semakin kecil. Hal ini berakibat adanya proses PWHT menimbulkan adanya pertumbuhan butir (*grain growth*), dimana fasa ferit menjadi semakin lebar dan menipis seiring pertambahan temperatur sehingga mengakibatkan ukuran semakin besar dan kasar. Seperti yang dilaporkan oleh (Ariyanto et al., 2022) Ukuran butiran ferit ini bertambah besar seiring dengan peningkatan temperatur PWHT, Ini dikarenakan paparan panas yang diterima daerah HAZ telah menyebabkan timbulnya *grain growth* setelah mengalami PWHT.



Gambar 4.3 Grafik Ukuran Butir Terhadap Waktu Penahanan

Pada Gambar 4.3, terlihat pada grafik bahwa semakin lama waktu penahanan maka semakin besar pula ukuran butir yang dihasilkan karena waktu penahanan

mempengaruhi panas yang dihasilkan semakin besar pada material. Hal ini dikarenakan semakin lama waktu penahanan dapat meningkatkan energi aktivasi pertumbuhan. Sehingga pertumbuhan batas butir tidak terhalang oleh dislokasi akhirnya butir semakin membesar. Seperti yang dilaporkan oleh (Manurung & Napitupulu, 2014) semakin lama waktu penahanan dapat memperbesar temperatur aktivasi yang dapat menguraikan dislokasi yang terbentuk sebelumnya.

4.2 Hasil Pengujian Impak

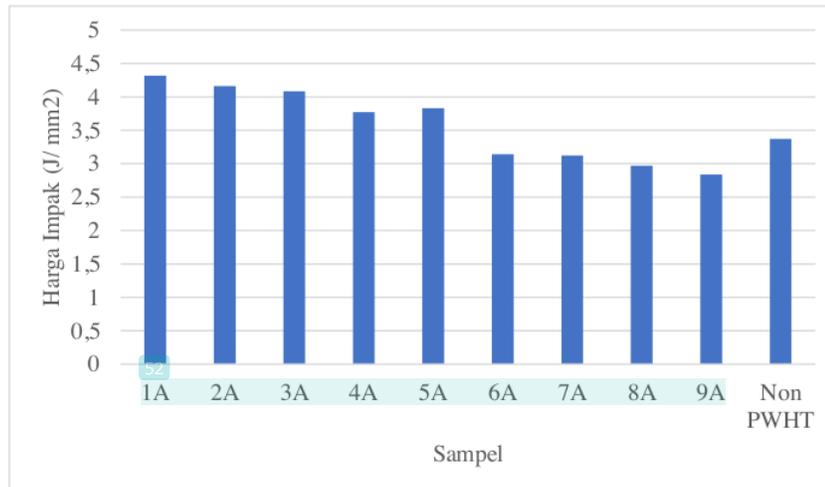
Ketangguhan hasil lasan dapat ditinjau melalui pengujian impak. Tabel 4.2 menunjukkan data sampel dengan variasi temperatur dan waktu penahanan.

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Impak

Sampel	Temperatur (°C)	Waktu Penahanan (menit)	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Energi Impak (J)	Harga Impak (J/mm ²)
Non PWHT			55,13	10	30	101,09	3,3697
9A	800	20	55,13	10	30	85,135	2,8378
8A		40	55,13	10	30	89,093	2,9697
7A		60	55,13	10	30	93,645	3,1215
6A	900	20	55,13	10	30	94,216	3,1405
5A		40	55,13	10	30	114,97	3,8323
4A		60	55,13	10	30	113,23	3,7743
3A	1000	20	55,13	10	30	122,54	4,0846
2A		40	55,13	10	30	124,87	4,1623
1A		60	55,13	10	30	129,53	4,3177

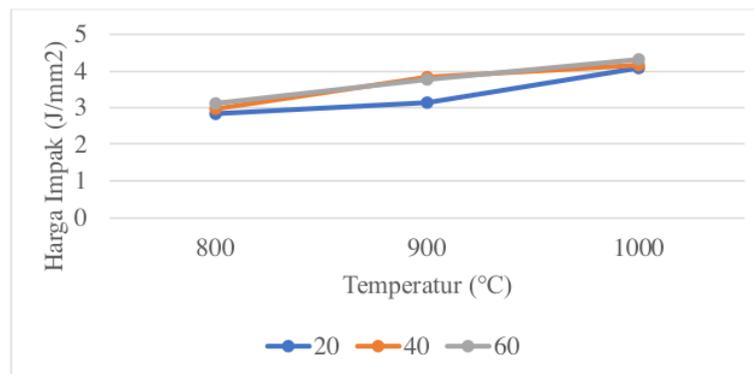
Dari Tabel 4.2 dihasilkan harga impak paling rendah ditunjukkan pada sampel 9A dengan temperatur 800°C dan waktu penahanan 20 menit yaitu sebesar 2,8378 J/mm². Harga impak paling tinggi di tunjukkan pada sampel 1A dengan temperatur 1000°C dan waktu penahanan 60 menit yaitu sebesar 4,3177 J/mm². Data lain juga diperlihatkan satu sampel tanpa menggunakan PWHT memiliki harga impak sebesar 3,3697 J/mm². Dari data tersebut dihasilkan peningkatan harga impak dibandingkan penelitian sebelumnya oleh (Sugiyarto, 2012) yang melakukan

PWHT temperatur 900°C dan waktu penahanan 1 jam serta pendinginan lambat pada tungku dihasilkan 0,497 J/mm². Sehingga dari tabel tersebut dibuat grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik Harga Impak Setiap Sampel

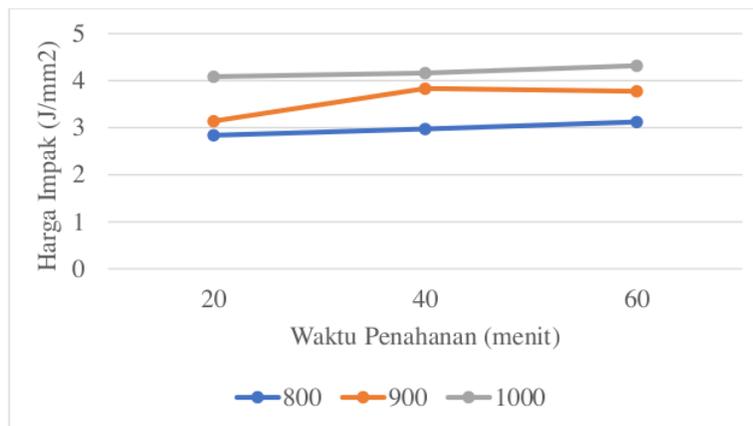
Lalu dibuat grafik yang dapat mempermudah dalam melihat fenomena yang terjadi dari harga impact metode *charpy* terhadap temperatur dan waktu penahanan pada Gambar 4.5 dan 4.6.



Gambar 4.5 Grafik Harga Impak Terhadap Temperatur

Pada Gambar 4.5, memperlihatkan bahwa harga impact semakin besar seiring dengan peningkatan temperatur, fasa ferit yang melebar sehingga menyebabkan

sifat keuletan logam semakin baik bila dibandingkan dengan baja yang mempunyai ukuran struktur ferit yang kecil. Peningkatan energi impact dari sampel setelah proses PWHT dapat dikaitkan dengan fase transformasi sampel dan efek penghilangan *stress*. Dari kasus proses anil dan pendinginan lambat dari sampel dalam tungku setelah pemanasan di atas rekristalisasi suhu akan menghilangkan *stress* sehingga terjadi peningkatan sifat daktilitas. Seperti yang dilaporkan oleh (Arif Munanda, Akhyar Ibrahim, 2022) yaitu ¹⁶ **impact mulai mengalami peningkatan antara suhu 200 °C dan 300 °C ini menunjukkan yang bahwa semakin tinggi suhu yang diberikan semakin mengalami perubahan.**



Gambar 4.6 Grafik Harga Impact Terhadap Waktu Penahanan

⁷⁹ Pada Gambar 4.6, pengaruh waktu penahanan yang singkat akan mengakibatkan temperatur yang tidak merata pada bagian dalam dan luar sampel. Sedangkan jika waktu penahanan yang lama mengakibatkan ⁷⁹ pemulihan tegangan berlangsung efektif sehingga ketangguhan meningkat. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya harga impact yang fluktuatif di setiap penambahan waktu penahanan. Waktu penahanan dapat mempengaruhi harga impact, dimana semakin lama waktu penahanan akan menghasilkan ketangguhan sampel yang baik. Seperti yang dilaporkan oleh (Basori, 2021) yaitu ⁴⁸ **semakin lama waktu penahanan yang dilakukan maka akan semakin tinggi juga nilai impactnya**

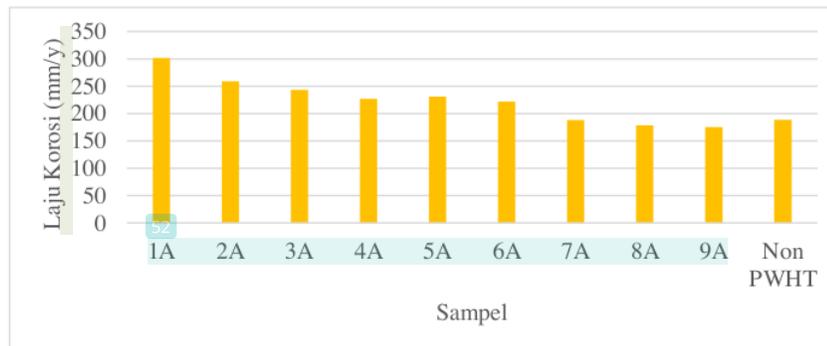
4.3 Hasil Pengujian Korosi

Setelah dilakukannya pengujian korosi maka akan dianalisa dalam bentuk Tabel 4.3 yang dimana data tersebut mencantumkan hasil pengurangan massa berat dan perhitungan laju korosi yang sesuai dengan lamanya perendaman.

Tabel 4.3 Data Hasil Uji Korosi

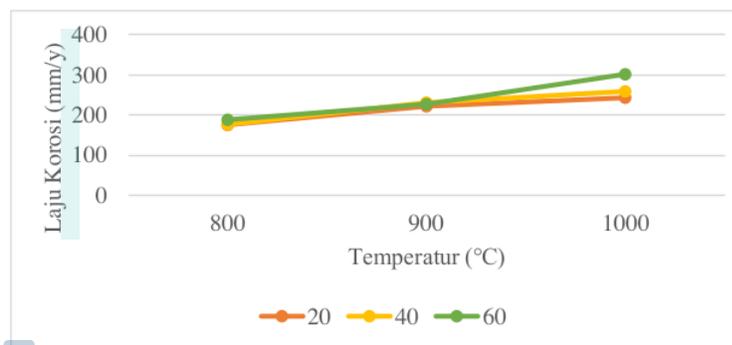
Sampel	Temperatur (°C)	Waktu Penahanan (menit)	Waktu Pencelupan (Jam)	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	Kehilangan Massa (gr)	Laju Korosi (mm/y)
Non PWHT				42,36	30,12	12,24	188,52
9A	800	20	120	43,88	32,51	11,37	175,23
8A		40		39,23	27,78	11,45	176,46
7A		60		41,15	28,95	12,2	188,04
6A	900	20		43,91	29,51	14,4	222
5A		40		46,32	31,33	14,99	231
4A		60		39,39	24,67	14,72	226,8
3A	1000	20		45,07	29,3	15,77	243
2A		40		45,24	28,44	16,8	258,96
1A		60		42,21	21,62	19,59	301,8

Tabel 4.3 menunjukkan hasil dari perhitungan laju korosi akibat adanya perendaman selama 120 jam. Sampel hasil lasan tanpa menggunakan PWHT memiliki laju korosi sebesar 188,52 mm/y. Namun setelah dilakukannya pemanasan pada suhu 800°C dengan waktu penahanan 20 menit mengalami penurunan laju korosi yang sangat signifikan sebesar 175,23 mm/y. Meskipun mengalami penurunan namun seiring peningkatan temperatur yang diberikan membuat laju korosi semakin besar bahkan melebihi dari sampel non PWHT. Pada temperatur 1000°C memiliki laju korosi yang paling besar yaitu 301,8 mm/y. pada data tersebut dibuat grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Laju Korosi Selama 120 Jam Metode Weight Loss

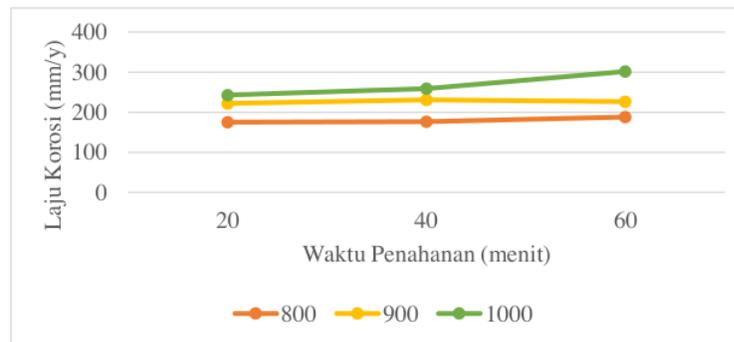
Kemudian dibuat kembali grafik yang dapat mempermudah dalam melihat fenomena yang terjadi dari laju korosi menggunakan metode *weight loss* terhadap temperatur dan waktu penahan seperti yang ditampilkan pada Gambar 4.8 dan 4.9.



Gambar 4.8 Grafik Laju Korosi Selama 120 Jam Terhadap Temperatur

Gambar 4.8 hasil perhitungan laju korosi pada perendaman 120 jam mengalami peningkatan seiring dengan besarnya temperatur perlakuan panas pasca pengelasan yang diberikan. Namun hasil baik yang didapatkan pada perlakuan panas pasca pengelasan dengan temperatur 800°C dimana terjadi penurunan laju korosi dibandingkan dengan sampel non PWHT. Hal ini membuktikan bahwa PWHT dapat memperbaiki laju korosi yang tinggi pada sampel non PWHT. Dilaporkan sebelumnya oleh (Perdana, 2017) semakin tinggi temperatur pemanasan maka banyak korosi yang terjadi sehingga menimbulkan laju korosi makin tinggi. Melalui pengamatan didapatkan hasil korosi yang dihasilkan yaitu korosi pitting,

seperti yang dilaporkan oleh (Fajar Ferdian Mulya, 2019) bahan *stainless steel 304* ini jika dilakukan uji korosi dengan perendaman mengalami korosi pitting seragam disemua permukaan.

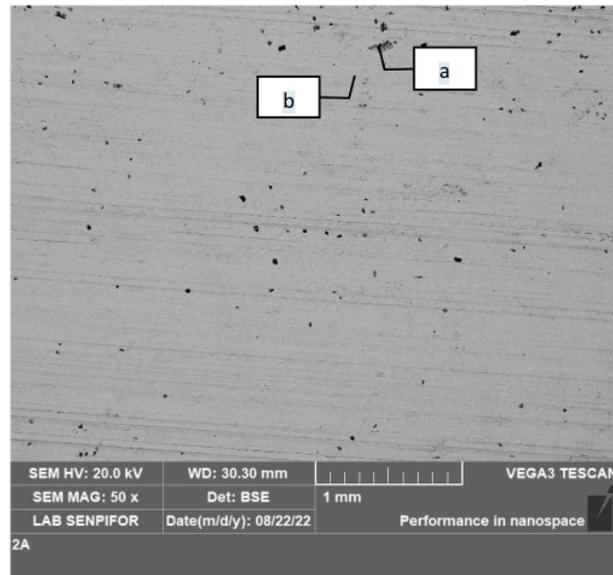


Gambar 4.9 Grafik Laju Korosi Selama 120 Jam Terhadap Waktu Penahanan

Pada Gambar 4.9 dihasilkan perhitungan laju korosi pada perendaman 120 jam yang juga mengalami peningkatan seiring lamanya waktu penahanan yang diberikan. Hal ini dikarenakan pada saat proses *heat treatment* menyebabkan pelarutan kembali kromium karbida pada batas butir (*grain boundary*), namun dengan pendinginan lambat membuat pembentukan kembali sensitisasi yang menyebabkan penurunan ketahanan korosi. Seperti yang di laporkan (Setiawan et al., 2020) proses *heat treatment* setelah pengelasan disertai dengan pendinginan cepat menghasilkan ketahanan korosi intergranular yang lebih baik. Dan (Silva et al., 2017) menyatakan *heat treatment* dapat memungkinkan larutnya (*dissolution*) kromium karbida ($Cr_{23}C_6$) yang terbentuk pada batas butir akibat proses pengelasan.

4.4 Analisa SEM-EDX

SEM-EDX dilakukan untuk memperlihatkan morfologi dan membuktikan secara kuantitatif kadar Cr yang terdapat pada batas butir sehingga dapat menentukan apakah fenomena tersebut adalah fenomena sensitisasi. Analisa ini menggunakan salah satu sampel yang terburuk pada daerah HAZ sehingga dapat terlihat pengurangan kadar Cr yang terjadi pada daerah dekat batas butir. Dimana hasil morfologi SEM dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Hasil Morfologi SEM

Dari hasil morfologi SEM pada Gambar 4.10 yang dilakukan terhadap sampel terburuk dimana pada hasil OEM memiliki presipitat karbida Cr paling banyak. Terlihat pada titik (a) tersebut terdapat endapan hitam yang diperkirakan merupakan endapan presipitat karbida Cr (Cr_{23}C_6). Sedangkan dari titik (b) pada daerah dekat endapan presipitat karbida Cr terlihat tidak ada endapan berwarna hitam. Untuk membuktikan endapan tersebut merupakan endapan presipitat karbida Cr atau tidak, dilakukan karakterisasi EDX secara kuantitatif untuk memperlihatkan kadar krom (Cr) dan karbon (C) pada kedua titik tersebut. Seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.4 Hasil Kuantitatif EDX Komposisi Unsur Cr dan C

Titik	Cr (wt%)	C (wt%)
(a)	22,34	6,58
(b)	17,73	25,26

Pada Tabel 4.4 dari kedua titik memiliki konsentrasi Cr yang berbeda. Dimana pada titik (b) yaitu titik daerah dekat endapan memiliki kadar Cr yang lebih rendah dibandingkan pada titik (a) yaitu titik daerah endapan. Perbedaan konsentrasi kadar Cr dapat disimpulkan bahwa endapan hitam tersebut merupakan benar endapan presipitat karbida Cr (Cr_{23}C_6). Hal ini sangat membuktikan bahwa sampel tersebut mengalami fenomena sensitisasi sehingga mengurangi kadar Cr dan memperbesar kemungkinan untuk terkorosi lebih tinggi. Selain itu atom C yang dimana memiliki nomor atom paling kecil dibandingkan dengan atom unsur lain pada *stainless steel* 304. Karbon (C) akan cenderung berdifusi menuju ke susunan atom-atom yang memiliki energi lebih tinggi, dimana menuju batas butir yang memiliki susunan kisi kristal tidak beraturan dan bereaksi dengan atom Cr. Terlihat pada konsentrasi kadar C di tabel 4.4 titik (b) memiliki kadar C yang lebih tinggi dibandingkan titik (a). hal itu karena titik (a) merupakan batas butir yang dimana C akan bereaksi dengan Cr membentuk senyawa baru karbida Cr. Seperti yang dilaporkan pada (Nirmolo, 2012) Cr yang bereaksi dengan karbon di batas butir kemudian akan meninggalkan daerah didekat batas butir yang berkurang kadar Cr, oleh sebab itu daerah yang berkurang Cr berpotensi terserang korosi. Dari hasil kuantitatif SEM-EDX tersebut diperlihatkan hasil foto aktual yang terjadi pada sampel terburuk setelah pengujian korosi akibat adanya endapan karbida Cr pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil Sampel Terburuk

28
Sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel tersebut mengalami korosi intergranular yang menyebabkan adanya penurunan kadar Cr. Hal ini berdampak buruk sehingga menghasilkan penurunan *passive layer* yang terdapat pada sampel *stainless steel* dengan laju korosi terburuk. Dari Gambar 4.11 terlihat dari hasil pengujian korosi pada sampel terburuk dilihat pada kasat mata korosi *pitting* yang terjadi pada seluruh permukaan sampel *stainless steel*. Untuk membuktikan terjadinya korosi *intergranular* dilakukan karakterisasi unsur Cr yang terdapat pada sampel tersebut sehingga dapat dinyatakan sampel tersebut terjadi fenomena sensitisasi yang menimbulkan penurunan kadar Cr.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Proses *post weld heat treatment* (PWHT) berdampak pada pertumbuhan karbida Cr yang terlihat pada pengamatan struktur mikro dimana semakin tinggi temperatur maka semakin banyak pertumbuhan karbida Cr di batas butir. Hal ini berkaitan dengan fenomena sensitisasi yang menimbulkan adanya korosi intergranular karena adanya pengurangan kadar Cr yang berdekatan pada batas butir, hal itu dibuktikan pada karakterisasi SEM-EDX pada salah satu sampel terburuk dihasilkan pengurangan kadar Cr pada titik (a) yaitu batas butir memiliki kadar Cr 22,34%. Sedangkan pada titik (b) yaitu daerah dekat batas butir memiliki kadar Cr 17,73%.
2. Hasil uji dampak didapatkan harga dampak paling tinggi di tunjukkan pada sampel dengan temperatur 1000°C dan waktu penahanan 60 menit yaitu sebesar 0,2349 J/mm². Sedangkan harga dampak paling rendah ditunjukkan pada sampel dengan temperatur 800°C dan waktu penahanan 20 menit yaitu sebesar 0,1544 J/mm². Data lain juga diperlihatkan satu sampel tanpa menggunakan PWHT memiliki harga dampak sebesar 0,1833 J/mm². Hal ini menyatakan bahwa semakin tinggi temperatur dan semakin lama waktu penahanan maka harga dampak yang dihasilkan juga semakin besar sehingga mempengaruhi sifat ketangguhan dan keuletan sampel.
3. Hasil uji korosi didapatkan penurunan laju korosi pada sampel temperatur 800°C yang sangat signifikan sebesar 175,23 mm/y, dibandingkan tanpa menggunakan proses PWHT yang memiliki laju korosi sebesar 188,52 mm/y. Namun seiring peningkatan temperatur yang diberikan membuat laju korosi semakin besar bahkan melebihi dari sampel non PWHT. Dimana laju korosi tertinggi pada sampel temperatur 1000°C yaitu 301,8 mm/y. Hal ini menyatakan bahwa PWHT dinilai mampu memperbaiki ketahanan korosi pada stainless steel yang sebelumnya terpengaruh karena adanya proses fabrikasi atau pengelasan pada material. Namun seiring besarnya temperatur

PWHT menimbulkan ketahanan korosi yang lemah pula. Pada pengamatan visual hasil korosi yang dihasilkan yaitu korosi pitting.

4. Pengamatan sktruktur mikro yang dilihat pada daerah HAZ dihasilkan beberapa fasa yaitu fasa austenit, ferit dan karbida Cr. Seiring tingginya temperatur PWHT menimbulkan ukuran batas butir yang semakin lebar dan kasar. Hal ini karena fasa ferit melebar jika semakin tinggi temperatur PWHT.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Melakukan pengujian korosi dengan metode DLEPR sehingga dapat dilihat kurva laju korosi intergranular yang terjadi pada sampel.
2. Melakukan pengujian kekerasan material sehingga dapat dibandingkan dari hasil uji impak yang melihat ketangguhan material dan uji keras yang melihat kekerasan material.

DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah. (2010). Sensitisasi Pada Pengelasan Tabung Baja Tahan Karat AISI 304 Wadah Limbah Sumber 226RA Bekas Radioterapi. *Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN*, 42–50.
- Anwar Budianto, Kristina Purwantini, B. (2009). Pengamatan Struktur Mikro Pada Korosi Antar Butir Dari Material Baja Tahan Karat Austenitik Setelah Mengalami Proses Pemanasan. *Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN*, 107–130.
- Arif Munanda, Akhyar Ibrahim, A. S. I. (2022). Efek suhu annealing terhadap kekerasan dan ketangguhan impak pada kuningan C38500. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 6(1), 1–5.
- Ariyanto, N. P., Siregar, A. P., Widiastuti, H., Rossbandrio, W., Fajrin, A., & Nugroho, C. B. (2022). Pengujian Kekerasan dan Struktur Mikro Sambungan Low- Carbon Steel dan Austenitic Stainless Steel. *Jurnal Teknologi Dan Riset Terapan*, 4(1), 40–44.
- ASM International. (1991). Heat Treating. In *ASM International, Materials Park, OH* (Vol. 4).
- ASM International. (2008). *Stainless Steel for Design Engineers*. American Technical Publishers Ltd.
- Basori, A. I. (2021). Fenomena Kekerasan, Impak, dan Struktur Mikro Baja 0.074 Wt.% Karbon Pasca Quenching Coolant. *Jurnal Konvensi Energi Dan Manufaktur*, 7, 35–41.
- Burhanuddin, I. S. & Y. (2007). The Effect Of Sensitization Temperature On Stress Corrosion Cracking Of Stainless Steel AISI 304 in Sulphate Acid Environment. *Jurnal Teknik-Universitas Lampung*, 14, 0854–2139.
- Buwono, M. K. (2020). *Pengaruh Perlakuan Panas pada Pengelasan Baja Tahan Karat Austenit terhadap Pengujian Tarik, Struktur Mikro, dan Komposisi Kimia*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Coob, H. M. (2010). The History of Stainless Steel. In *ASM International*.
- Devakumar, D., & Jabaraj, D. (2014). Research on Gas Tungsten Arc Welding of Stainless Steel—An Overview. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(1), 1612.
- Fajar Ferdian Mulya. (2019). *Analisa Korosi Retak Tegangan pada Stainless Steel (AISI 304) yang diberi Perlakuan Panas dengan Variasi* (Issue Aisi 304).
- Fontana, M. G. (1987). *Corrosion Engineering* (Third). Materials Technology

Institute of the Chemical Process Industries, Inc.

¹⁰ Furkan, Ibrahim, A., & Azwar. (2020). Pengaruh Temperatur Cryogenic Terhadap Ketangguhan Impact Sambungan Pengelasan Stainless Steel AISI 304. *Jurnal Mesin Sains Terapan*, 4(1).

⁹ Handoko, B. D. (2017). *Analisis Pengaruh Heat Treatment Terhadap Laju Korosi dan Sifat Mekanis Material Pipa Baja Api 5L Grade B di Lingkungan Laut*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

⁵⁰ Hariyanto, A., & Mangando, M. T. (2019). Pengaruh Kekerasan Terhadap Variasi Post Weld Heat Treatment Pada Pengelasan Dissimilar Metals Antara Baja Karbon (St42) Dan Baja Tahan Karat (Aisi 304). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat, 2019*(Aisi 304), 56–62.

¹⁶ Husnul Fata, Muhammad Razi, S. (2019). Pengaruh Variasi Sudut Kampuh Bevel Groove Terhadap Kekuatan Tarik Material Stainless Steel 304. *Journal of Welding Technology*, 2(1), 8–12.

⁴⁰ Kumar, M., Babbar, A., Sharma, A., & Shahi, A. S. (2019). Effect of post weld thermal aging (PWTA) sensitization on micro-hardness and corrosion behavior of AISI 304 weld joints. *Journal of Physics: Conference Series*, 1240(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1240/1/012078>

⁴⁶ Kumar, M., Sharma, A., & Shahi, A. S. (2018). A sensitization studies on the metallurgical and corrosion behavior of AISI 304 SS welds. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (Vol. PartF7). Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-1724-8_25

²³ Laleh, M., Hughes, A. E., Xu, W., Haghdadi, N., Wang, K., Cizek, P., Gibson, I., & Tan, M. Y. (2019). On the unusual intergranular corrosion resistance of 316L stainless steel additively manufactured by selective laser melting. *Corrosion Science*, 161, 108189. <https://doi.org/10.1016/J.CORSCI.2019.108189>

¹ Lestarinigrum, A. U. (2018). *Analisa Sensitisasi Pada Baja Tahan Karat AISI 302 Menggunakan Laku Panas Normalizing Dengan Variasi Temperatur*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

¹⁹ Manurung, C., & Napitupulu, D. R. A. M. (2014). *Terhadap Besar Butir Austenit Dan Kekerasan Pada Proses Heat Treatment*.

²⁹ Nirmolo, A. (2012). *Analisa Ketahanan Korosi Dari Daerah Sensitisasi Pada Sambungan Lasan Logam Berbeda Jenis Antara Baja Tahan Karat SS304 dan Baja Karbon A36 Dengan Parameter Ketebalan dan Posisi Pengelasan*.

¹ Nugroho, G. (2017). Pengelasan Gtaw Terhadap Kerentanan Korosi Batas Butir Baja Aisi 316L [Institut Teknologi Sepuluh Nopember]. In *Industri, Fakultas*

113
 Teknologi. http://repository.its.ac.id/2884/1/2114105025-Undergraduate_Theses.pdf

1
 Octaviana, N. (2019). *Studi Eksperimen Pengaruh Heat Input Pengelasan GTAW dan Konsentrasi NaClO Terhadap Laju Korosi Stainless Steel 304*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

43
 Oh, E.-J., Lee, D.-H., Cho, S.-W., Choi, Y.-I., & Nam, K.-W. (2020). Effect of the Holding Time during Solution Heat Treatment on Intergranular Corrosion of Unstabilized Austenitic Stainless Steels. *Journal of Welding and Joining*, 38(3), 278–288. <https://doi.org/10.5781/JWJ.2020.38.3.7>

66
 Outokumpu. (2013). *Handbook of Stainless Steel*. Outokumpu Oyj. <http://www.outokumpu.com/sitecollectiondocuments/outokumpu-stainless-steel-handbook.pdf>

54
 Perdana, D. (2017). Pengaruh Variasi Temperatur pada Proses Perlakuan Panas Baja AISI 304 terhadap Laju Korosi. *Teknika : Engineering and Sains Journal*, 1(1), 67–72.

45
 Putra Nugraha, Y. D., Suharno, S., & Estriyanto, Y. (2017). Pengaruh Proses Post Weld Heat Treatment (Pwht) Pada Pengelasan Material Paduan Super Berbasis Nikel Dengan Metode Tungsten Inert Gas (Tig) Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, 10(2), 75. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v10i2.16916>

59
 R.C. Mudjiyanto et al. (2019). Analisis Terjadinya Korosi Batas Butir Akibat Proses Pengelasan GTAW Pada Material Austenitic Stainless Steel AISI A304. *Program Studi Teknik Mesin*.

73
 Reisa Ramandani W, Muhammad Wahyu Darajat, W. (2020). Pengaruh Post Weld Heat Treatment (PWHT) terhadap Struktur Mikro dan Kekerasan Sambungan Las Stainless Steel. *TRAKSI: Majalah Ilmiah Teknik Mesin*, 20(1), 45–58.

Robert W. Messler, J. (2004). *Principle of Welding*. Weiheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KgaA.

4
 S. Lin, W. Bao, J. Gao, and J. W. (2012). Intergranular Corrosion of Austenitic Stainless Steel. *Mechanics and Materials*, 229–231, 14–17.

1
 Safitri, R. H. N. (2018). *Analisa Sensitisasi Pada Baja Tahan Karat Tipe AISI 304 Menggunakan Laku Panas Normalizing Dengan Variasi Waktu Penahanan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

56
 Santoso, K. A. (2019). Analisa Pengaruh Laju Korosi Plat Baja ST 40 dan Stainless Steel 304 terhadap Larutan Asam Sulfat. *Majapahit Techno*, 1(1), 24–35.

- ⁶² Sari, D. M. (2015). *Pengaruh Suhu Preheating Pada Hasil Pengelasan Gtaw Terhadap Sifat Fisis Dan Mekanis Stainless Steel 304*. Universitas Negeri Semarang.
- ² Setiawan, A., & Dewi, A. K. (2019). Pengaruh Surface Treatment Terhadap Ketahanan Korosi Baja Karbon Tercoating Zinc Fosfat Pada Media Asam Sulfat. *J. Teknologi*, *11*(1), 57–66.
- ⁴ Setiawan, A., Pribadhi, P., & Ari, M. (2020). Analisis Pengaruh Heat Treatment Terhadap Sifat Mekanik dan Ketahanan Korosi Intergranular SA-240 TP316L. *JST (Jurnal Sains Terapan)*, *6*(1).
<https://doi.org/10.32487/jst.v6i1.803>
- ³⁷ Silva, F. J. G., Santos, J., & Gouveia, R. (2017). Dissolution of grain boundary carbides by the effect of solution annealing heat treatment and aging treatment on heat-resistant cast steel HK30. *Metals*, *7*(7).
<https://doi.org/10.3390/met7070251>
- ¹⁷ Steel, A. (2013). The Atlas Steels Technical Handbook of Stainless Steels. In *Atlas steels Technical Department* (Issue August).
- ⁹² Stewart, M. (2021). Fabrication, welding, and in-shop inspection. In *Surface Production Operations* (pp. 197–284). Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803722-5.00006-9>
- ³⁴ Sugiyarto. (2012). *Penelitian stainless steel 202 hasil las smaw dengan post weld heat treatment 900*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- ¹ Suryanto, E. D. I. (2018). *Pengaruh Heat Input Terhadap Sifat Mekanik Sambungan Dissimilar Metal Antara Austenitic Stainless Steel Ss 304H Dan Low Alloy Steel T22 Dengan Proses Gtaw*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- ¹⁹ Totten, G. (2006). *Steel heat treatment: metallurgy and technologies* (Second). CRC press.
- ¹ Wulanari, D. N. (2016). Studi Pengaruh Temperatur dan Holding Time Solution Annealing Terhadap Struktur Mikro dan Ketahanan Korosi Pada Super Duplex SAF 2507 [Institut Teknologi Sepuluh Nopember].
- ⁶¹ Yahya, M. Z. & Y. (2021). Pengaruh Variasi dan Kecepatan Aliran Gas Pelindung Pada Pengelasan Material SS-304 Menggunakan Las TIG Terhadap Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro. *Jurusan Teknik Mesin*, *09*, 145–150.
- ⁹ Zaeni, A. (2013). *Pengaruh Konsentrasi Asam Sulfat Terhadap Laju Korosi Material Austenitic Stainless Steel*. Universitas Brawijaya.

LAMPIRAN A
CONTOH PERHITUNGAN

Perhitungan Harga Impak

Diketahui : Luas Penampang (A) : 30 mm²

Sampel :

- a. 1A : Energi Impak (E) : 129,53 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{129,53}{30} = 4,3177 \text{ J/mm}^2$
- b. 2A : Energi Impak (E) : 124,87 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{124,87}{30} = 4,1623 \text{ J/mm}^2$
- c. 3A : Energi Impak (E) : 122,54 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{122,54}{30} = 4,0846 \text{ J/mm}^2$
- d. 4A : Energi Impak (E) : 113,23 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{113,23}{30} = 3,7743 \text{ J/mm}^2$
- e. 5A : Energi Impak (E) : 114,97 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{114,97}{30} = 3,8323 \text{ J/mm}^2$
- f. 6A : Energi Impak (E) : 94,216 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{94,216}{30} = 3,1405 \text{ J/mm}^2$
- g. 7A : Energi Impak (E) : 93,645 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{93,645}{30} = 3,1215 \text{ J/mm}^2$
- h. 8A : Energi Impak (E) : 89,093 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{89,093}{30} = 2,9697 \text{ J/mm}^2$
- i. 9A : Energi Impak (E) : 85,135 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{85,135}{30} = 2,8378 \text{ J/mm}^2$
- j. Non PWHT : Energi Impak (E) : 101,09 J
 Harga Impak (HI) : $\frac{101,09}{30} = 3,3697 \text{ J/mm}^2$

Perhitungan Laju Korosi pada Perendaman 120 Jam

Diketahui : Konstanta (K) : 7305 (Standar ASTM A262)

Densitas (D) : 7,9 g/cm³

Luas Permukaan (A) : 6 cm²

Waktu Exposure (T) : 120 Jam

- a. 1A : Selisih massa (W) : 19,59 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 19,59}{7,9 \times 6 \times 120} = 25,15 \times 12 = 301,8 \text{ mm/y}$
- b. 2A : Selisih massa (W) : 16,8 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 16,8}{7,9 \times 6 \times 120} = 21,58 \times 12 = 258,96 \text{ mm/y}$
- c. 3A : Selisih massa (W) : 15,77 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 15,77}{7,9 \times 6 \times 120} = 20,25 \times 12 = 243 \text{ mm/y}$
- d. 4A : Selisih massa (W) : 14,72 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 14,72}{7,9 \times 6 \times 120} = 18,9 \times 12 = 226,8 \text{ mm/y}$
- e. 5A : Selisih massa (W) : 14,99 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 14,99}{7,9 \times 6 \times 120} = 19,25 \times 12 = 231 \text{ mm/y}$
- f. 6A : Selisih massa (W) : 14,4 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 14,4}{7,9 \times 6 \times 120} = 18,5 \times 12 = 222 \text{ mm/y}$
- g. 7A : Selisih massa (W) : 12,2 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 12,2}{7,9 \times 6 \times 120} = 15,67 \times 12 = 188,04 \text{ mm/y}$
- h. 8A : Selisih massa (W) : 11,45 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 11,45}{7,9 \times 6 \times 120} = 14,705 \times 12 = 176,46 \text{ mm/y}$
- i. 9A : Selisih massa (W) : 11,37 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 11,37}{7,9 \times 6 \times 120} = 14,602 \times 12 = 175,23 \text{ mm/y}$
- j. Non PWHT : Selisih massa (W) : 12,24 g
 Laju Korosi (mm/month) : $\frac{7305 \times 12,24}{7,9 \times 6 \times 120} = 15,71 \times 12 = 188,52 \text{ mm/y}$

LAMPIRAN B
DATA HASIL PENELITIAN

Tabel B.1 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 1A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 1A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	12.326	164.398	69.895	42.302	57.671
2	11.189	170.632	67.658	-33.495	52.171
3	16.192	176.401	66.300	12.038	75.669
4	14.919	153.090	70.199	-95.083	69.801
5	8.778	194.930	56.185	64.370	40.922
6	10.279	200.103	53.431	-22.228	47.921
7	12.736	193.880	54.448	17.329	59.427
8	14.828	193.189	59.952	-60.277	69.254
Rata-Rata					59,105

Tabel B.2 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 2A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 2A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	5.276	71.602	67.737	65.225	38.429
2	6.049	69.339	70.184	-18.983	28.192
3	8.005	69.185	71.342	115.393	37.300
4	7.414	61.053	53.011	21.342	46.575
5	7.687	171.050	71.910	-46.925	35.912
6	3.320	179.319	52.456	22.989	25.290
7	8.506	162.106	65.734	-27.529	39.683
8	6.413	167.943	62.277	102.352	37.910
Rata-Rata					36,161

Tabel B.3 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 3A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 3A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	8.324	137.644	58.650	0.630	38.818
2	6.686	141.053	65.156	-95.906	31.089
3	9.779	144.919	64.781	-43.862	45.552
4	11.326	135.449	58.996	37.147	52.977
5	6.732	84.471	65.604	-169.834	31.417
6	5.367	144.390	63.844	-72.646	25.025
7	7.005	152.148	61.555	-20.336	32.525
8	5.413	143.526	63.079	49.821	25.122
Rata-Rata					35,316

Tabel B.4 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 4A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 4A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	7.368	83.971	66.221	-175.737	34.432
2	5.322	71.278	57.542	-88.519	24.748
3	6.231	69.812	47.301	-28.443	29.106
4	6.277	92.869	63.646	46.484	29.115
5	6.504	154.226	70.235	19.328	30.285
6	3.275	156.782	76.177	-60.555	15.184
7	7.232	165.007	79.347	-2.899	33.740
8	5.822	169.731	59.040	-134.363	27.147
Rata-Rata					27,970

Tabel B.5 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 5A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 5A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	7.368	218.863	53.033	25.296	34.440
2	12.008	189.860	77.204	-61.581	26.016
3	11.917	195.198	67.895	81.187	55.681
4	9.142	217.900	49.548	-9.509	42.600
5	7.005	78.819	61.139	21.871	32.633
6	10.007	107.442	75.759	-36.451	25.665
7	8.642	105.575	71.656	73.388	32.283
8	8.915	93.716	71.406	-63.172	30.585
Rata-Rata					34,988

Tabel B.6 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 6A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 6A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	5.776	184.230	81.255	9.162	26.787
2	4.548	168.371	80.224	-76.527	21.053
3	7.368	161.263	80.866	-29.745	34.389
4	6.413	126.210	83.456	42.109	29.897
5	5.958	194.788	72.269	-46.245	27.755
6	3.684	203.435	71.576	37.875	17.022
7	5.731	191.490	82.458	-22.655	26.577
8	5.231	195.181	68.753	-75.231	24.261
Rata-Rata					25,968

Tabel B.7 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 7A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 7A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	4.958	231.304	49.959	-4.764	23.113
2	2.547	186.040	82.612	-92.083	11.738
3	4.276	213.348	43.282	-30.964	19.897
4	4.094	219.182	45.710	26.854	18.885
5	3.184	207.356	53.821	-74.962	14.796
6	3.684	207.616	41.790	12.295	35.026
7	4.139	199.077	53.798	-35.463	25.115
8	3.684	203.105	57.679	-112.068	17.030
Rata-Rata					20,700

Tabel B.8 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 8A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 8A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	7.050	166.942	56.825	1.860	20.861
2	6.231	144.396	70.668	-100.981	17.111
3	5.413	157.675	66.420	-41.553	25.079
4	5.413	147.593	69.074	29.384	15.210
5	4.457	162.873	62.194	-111.801	20.673
6	1.819	143.278	69.628	-16.557	8.232
7	3.957	192.059	51.961	-95.974	18.441
8	4.685	186.412	51.952	53.807	21.670
Rata-Rata					18,410

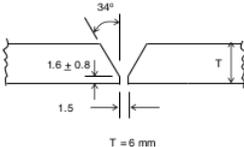
Tabel B.9 Pengamatan Ukuran Butir Sampel 9A dengan Aplikasi ImageJ

Sampel 9A	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	3.684	221.699	46.468	34.287	17.036
2	1.910	208.755	62.546	-45.000	28.747
3	2.956	211.892	69.366	7.237	13.544
4	3.639	218.793	39.272	-124.695	16.860
5	2.866	224.900	42.229	-67.166	20.190
6	2.775	231.016	29.882	12.426	12.885
7	2.320	216.580	40.579	-120.174	8.608
8	3.184	223.165	40.888	-21.337	14.654
Rata-Rata					16,566

Tabel B.10 Pengamatan Ukuran Butir Sampel Non PWHT dengan Aplikasi ImageJ

Sampel Non PWHT	Area	Mean	StdDev	Angel	Length
1	4.503	210.190	43.768	-83.530	20.820
2	4.958	190.330	64.077	-0.531	23.034
3	7.596	196.265	66.738	-31.969	35.447
4	5.231	219.180	37.235	-144.638	24.321
5	4.776	225.964	52.479	-73.301	22.266
6	4.003	241.285	24.523	5.906	18.654
7	3.730	195.874	71.997	-130.986	17.234
8	6.641	210.226	57.042	-29.745	30.950
Rata-Rata					24,091

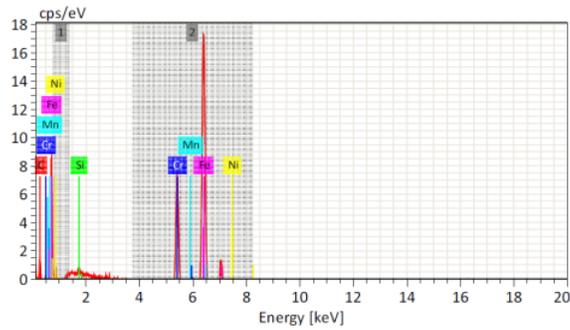
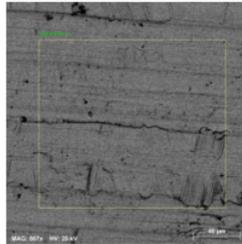
Tabel B.11 Welding Prosedur Spesification (WPS) page 1

P. 1 of 2	
<p>21 QW-482 WELDING PROCEDURE SPECIFICATIONS (WPS) (See QW-201.1, Section IX, ASME Boiler and Pressure Vessel Code)</p>	
Company Name <u>PT. SHINKO PLANTECH</u> By: <u>Adi Setia W.</u>	
Welding Procedure Specification No. _____ Date <u>June 10, 2022</u> Supporting PQR No. (s) _____	
Revision No. <u>0</u> Date _____ Type (s) <u>Manual</u>	
(Automatic, Manual, Machine, or Semi-Auto.)	
<p>JOINTS (QW-402)</p> Joint Design _____ (see Details) Backing (Yes) <input type="checkbox"/> Applicable (No) <input checked="" type="checkbox"/> Backing Material (Type) <u>same as base metal or equivalent</u> <input checked="" type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Nonfusing Metal <input type="checkbox"/> Nonmetallic <input type="checkbox"/> Other Sketches, Production Drawings, Weld Symbols or Written Description should show the general arrangement of the parts to be welded. Where applicable, the root spacing and the details of weld groove may be specified. (At the option of the Mgr., sketches may be attached to illustrate joint design, weld layers and bead sequence, e.g. for notch toughness procedures, for multiple process procedures, etc.)	<p style="text-align: center;">Details</p>  <p style="text-align: center;">T = 6 mm</p>
<p>21 • BASE METALS (QW-403)</p> P. No. <u>8</u> Group No. <u>1</u> to P.No. <u>8</u> Group No. <u>1</u> OR Specification type and grade <u>ASTM A312 TP 304/304L</u> to _____ or equivalent Specification type and grade <u>Same or in combination</u> Thickness Range : Base Metal : Groove <u>6 mm</u> Fillet <u>All</u> Pipe Dia. Range : Groove <u>All size</u> Fillet <u>All</u> Other _____	
<p>58 • FILLER METALS (QW-404)</p> Spec. No. (SFA) <u>A 5.9</u> AWS No. (Class) <u>ER 308L or equivalent</u> F-No. <u>6</u> A-No. <u>5</u> Size of filler metals <u>ø 1.5 mm</u> Trade Name <u>TG-S308L</u> Weld Metal Thk Range Groove <u>6 mm</u> Fillet <u>All</u> Electrode-Flux (Class) <u>N/A</u> Flux Trade Name <u>N/A</u> Consumable Insert <u>None</u> Other <u>None</u>	
* Each base metal-filler metal combination should be recorded individually	

Tabel B.12 Welding Prosedur Spesifikasi (WPS) page 2

P. 2 of 2																							
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">30</div> QW-482 (Back)				WPS No. _____																			
POSITIONS (QW-405) Position(s) of Groove _____ ALL _____ Welding Progressions Up <input checked="" type="checkbox"/> Down _____ Position(s) of Fillet _____ All _____				POSTWELD HEAT TREATMENT (QW-407) Temperature Range _____ 800-1000°C _____ Time Range _____ 20-60 min _____																			
PREHEAT (QW-406) Preheat Temp. Min. _____ N/A _____ Interpass Temp. Max. _____ N/A _____ Preheat Maintenance _____ N/A _____ (Continuous or special heating where applicable should be recorded)				GAS (QW-408) Percent Composition <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Gas(es)</th> <th>(Mixture)</th> <th>Flow Rate</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Shielding</td> <td>Argon</td> <td>99,90%</td> <td>8 to 15 l/min</td> </tr> <tr> <td>Trailing</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> <td>N/A</td> </tr> <tr> <td>Backing</td> <td>Argon</td> <td>99,90%</td> <td>5 to 20 l/min</td> </tr> </tbody> </table>					Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate	Shielding	Argon	99,90%	8 to 15 l/min	Trailing	N/A	N/A	N/A	Backing	Argon	99,90%	5 to 20 l/min
	Gas(es)	(Mixture)	Flow Rate																				
Shielding	Argon	99,90%	8 to 15 l/min																				
Trailing	N/A	N/A	N/A																				
Backing	Argon	99,90%	5 to 20 l/min																				
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">31</div> ELECTRICAL CHARACTERISTICS (QW-409) Current AC or DC _____ See Below _____ Polarity _____ See Below _____ Amps (Range) _____ See Below _____ Volts (Range) _____ See Below _____ (Amps and volts range should be recorded for each electrode size, position and thickness, etc. This information may be listed in a tabular form similar to that shown below)																							
Tungsten Electrode Size and Type _____				_____ ø 1.5 mm, 2% Thoriated _____																			
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">41</div> Mode of Metal Transfer for GMAW _____				_____ N/A _____																			
Electrode Wire feed speed range _____				_____ N/A _____																			
TECHNIQUE (QW-410) String or Weave Bead _____ String and Weave _____ Orifice or Gas Cup Size _____ 8 to 10 mm _____ Initial and Interpass Cleaning (Brushing, Grinding, etc) _____ Brushing and/or Grinding _____ Method of Back Gouging _____ N/A _____ Oscillation _____ N/A _____ Contact Tube to Work Distance _____ N/A _____ Multiple or Single Pass (per side) _____ Multiple Pass _____ Multiple or Single Electrodes _____ N/A _____ Travel Speed (Range) _____ See Below _____ Peening _____ N/A _____ Other _____ --- _____																							
Weld Layer (s)	Welding Process(es)	Filler Metal		Current			Travel Speed Range (cm/min)	Remarks															
		AWS Class	Dia. (ø mm)	Type Polarity	Amp. Range (A)	Volt Range (V)																	
1st ~ end	GTAW	ER 308L (or equivalent)	1.5	DC EN	80 - 140	15	10																

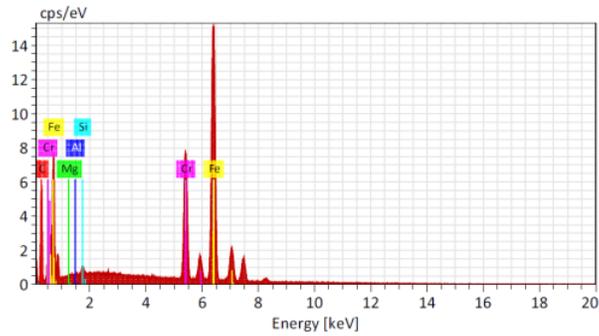
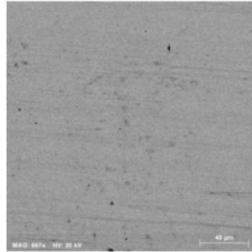
Tabel B.13 Hasil Karakterisasi EDX Titik (a)



Spectrum 1

Element	At. No.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [% (1 sigma)]	rel. error [% (1 sigma)]
Carbon	6	1664	1.33	6.58	23.64	0.29	21.68
Silicon	14	1102	0.83	4.11	6.30	0.07	8.88
Chromium	24	31132	4.52	<u>22.34</u>	18.52	0.15	3.31
Manganese	25	1283	0.20	0.99	0.77	0.03	16.64
Iron	26	73416	12.31	60.89	47.01	0.35	2.88
Nickel	28	5531	1.03	5.10	3.75	0.06	5.48
		Sum	20.22	100.00	100.00		

Tabel B.14 Hasil Karakterisasi EDX Titik (b)



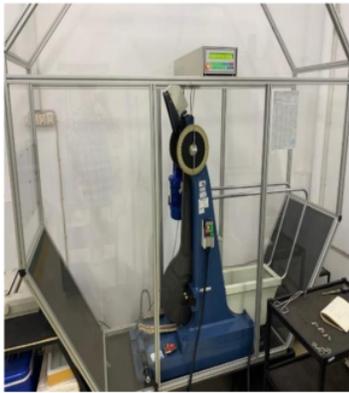
Acquisition 83

Element	At. No.	Netto	Mass [%]	Mass Norm. [%]	Atom [%]	abs. error [%] (1 sigma)	rel. error [%] (1 sigma)
Iron	26	209860	8.82	48.78	24.02	0.26	2.94
Carbon	6	25491	4.63	25.56	58.54	0.60	13.05
Chromium	24	88240	3.21	<u>17.73</u>	9.38	0.11	3.48
Silicon	14	3919	0.79	4.39	4.30	0.06	7.96
Aluminium	13	879	0.38	2.08	2.12	0.05	13.34
Magnesium	12	1328	0.26	1.46	1.65	0.04	16.33
Sum			18.09	100.00	100.00		

LAMPIRAN C
GAMBAR ALAT DAN BAHAN

7
Lampiran C. Gambar Alat dan Bahan

C.1 Gambar Alat



Gambar C.1.1 Alat Uji Impak
(Charpy)



Gambar C.1.2 Alat Uji Mikroskop
Optik



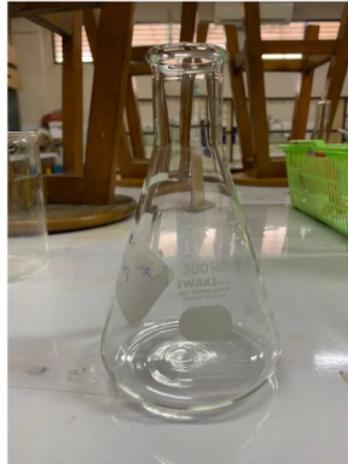
Gambar C.1.3 Alat Uji SEM-EDX



Gambar C.1.4 Alat Uji *Ultrasonic*
Test



Gambar C.1.5 Desikator



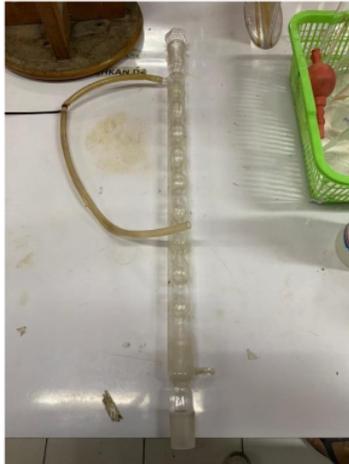
Gambar C.1.6 Erlenmeyer



Gambar C.1.7 Gerinda



Gambar C.1.8 Hot Plate



Gambar C.1.9 Kondensor



Gambar C.1.10 Las GTAW



Gambar C.1.11 Timbangan Digital



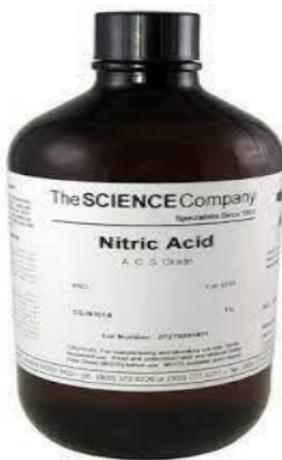
Gambar C.1.12 Tungku

C.2 Gambar Bahan

26
Gambar C.2.1 Air Suling



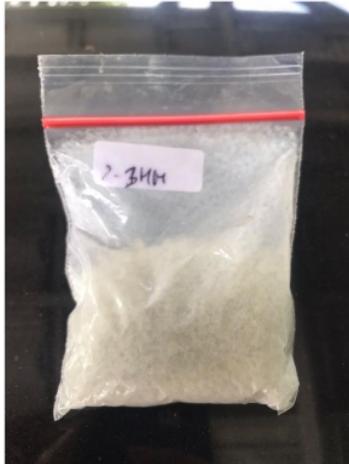
Gambar C.2.2 Asam Klorida



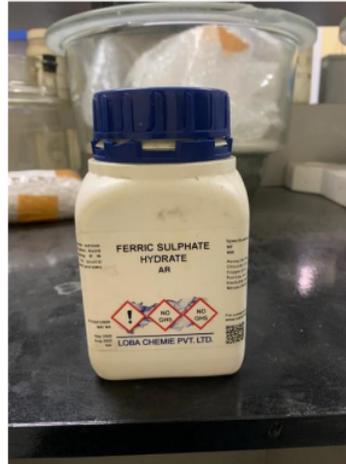
Gambar C.2.3 Asam Nitrit



Gambar C.2.4 Asam Sulfat



Gambar C.2.5 *Boiling Chips*



Gambar C.2.6 *Besi Sulfat*



Gambar C.2.7 *Elektroda ER308L*



Gambar C.2.8 *Stainless Steel 308*

Amru An Naafi Iswahyudi_3334180043_Fulltext

ORIGINALITY REPORT

36%

SIMILARITY INDEX

36%

INTERNET SOURCES

10%

PUBLICATIONS

15%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.its.ac.id Internet Source	6%
2	123dok.com Internet Source	2%
3	jurnal.batan.go.id Internet Source	1%
4	jurnal.poltekba.ac.id Internet Source	1%
5	lib.ui.ac.id Internet Source	1%
6	www.coursehero.com Internet Source	1%
7	es.scribd.com Internet Source	1%
8	pt.scribd.com Internet Source	1%
9	repository.ub.ac.id Internet Source	1%

10	lib.unnes.ac.id Internet Source	1 %
11	text-id.123dok.com Internet Source	1 %
12	stt-wastukancana.ac.id Internet Source	1 %
13	digilib.unila.ac.id Internet Source	1 %
14	journal.unigres.ac.id Internet Source	1 %
15	www.slideshare.net Internet Source	1 %
16	e-jurnal.pnl.ac.id Internet Source	1 %
17	docplayer.info Internet Source	1 %
18	repositori.usu.ac.id Internet Source	1 %
19	adoc.pub Internet Source	1 %
20	repository.usd.ac.id Internet Source	1 %
21	pdfcoffee.com Internet Source	1 %

22	repository.uir.ac.id Internet Source	<1 %
23	research.utwente.nl Internet Source	<1 %
24	Submitted to Universitas Sultan Ageng Tirtayasa Student Paper	<1 %
25	repository.ppns.ac.id Internet Source	<1 %
26	doku.pub Internet Source	<1 %
27	eprints.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
28	docobook.com Internet Source	<1 %
29	repository.unpas.ac.id Internet Source	<1 %
30	www.mynet2.com Internet Source	<1 %
31	anyflip.com Internet Source	<1 %
32	ejurnal.its.ac.id Internet Source	<1 %
33	id.123dok.com Internet Source	<1 %

<1 %

34

eprints.ums.ac.id

Internet Source

<1 %

35

eprints.undip.ac.id

Internet Source

<1 %

36

id.mfgrobots.com

Internet Source

<1 %

37

www.mdpi.com

Internet Source

<1 %

38

www.researchgate.net

Internet Source

<1 %

39

Submitted to Purdue University

Student Paper

<1 %

40

Atul Babbar, Vivek Jain, Dheeraj Gupta.
"Preliminary investigations of rotary
ultrasonic neurosurgical bone grinding using
Grey-Taguchi optimization methodology",
Grey Systems: Theory and Application, 2020

Publication

<1 %

41

documents.mx

Internet Source

<1 %

42

repository.unhas.ac.id

Internet Source

<1 %

www.e-jwj.org

43

Internet Source

<1 %

44

digilib.uinsby.ac.id

Internet Source

<1 %

45

jurnal.uns.ac.id

Internet Source

<1 %

46

Submitted to University of Strathclyde

Student Paper

<1 %

47

hooligandonjon.wordpress.com

Internet Source

<1 %

48

journal.unj.ac.id

Internet Source

<1 %

49

azis5.blogspot.com

Internet Source

<1 %

50

jurnal.poliupg.ac.id

Internet Source

<1 %

51

kc.umn.ac.id

Internet Source

<1 %

52

core.ac.uk

Internet Source

<1 %

53

Submitted to Kookmin University

Student Paper

<1 %

54

ejournal.undiksha.ac.id

Internet Source

<1 %

55	dergipark.org.tr Internet Source	<1 %
56	ejurnal.unim.ac.id Internet Source	<1 %
57	eprints.umm.ac.id Internet Source	<1 %
58	www.scribd.com Internet Source	<1 %
59	jurnalmetal.or.id Internet Source	<1 %
60	logamceper.com Internet Source	<1 %
61	ejournal.unesa.ac.id Internet Source	<1 %
62	jurnal.untad.ac.id Internet Source	<1 %
63	repository.unilibre.edu.co Internet Source	<1 %
64	www.sciencedev.net Internet Source	<1 %
65	journal.isi.ac.id Internet Source	<1 %
66	kth.diva-portal.org Internet Source	<1 %

67

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

<1 %

68

www.aas-co.ir

Internet Source

<1 %

69

Submitted to Universitas Pertamina

Student Paper

<1 %

70

artikel.ubl.ac.id

Internet Source

<1 %

71

Submitted to Universitas Islam Riau

Student Paper

<1 %

72

Submitted to Universitas Khairun

Student Paper

<1 %

73

jurnal.unimus.ac.id

Internet Source

<1 %

74

repository.maranatha.edu

Internet Source

<1 %

75

"Řízení rizik procesů, zařízení a složitých technických děl zacílené na bezpečnost",
Czech Technical University in Prague - Central
Library, 2022

Publication

<1 %

76

Hanji Park, Cheolho Park, Junghoon Lee,
Hyunbin Nam, Byungrok Moon, Younghoon
Moon, Namhyun Kang. "Microstructural
aspects of hydrogen stress cracking in

<1 %

seawater for low carbon steel welds produced by flux-cored arc welding", Materials Science and Engineering: A, 2021

Publication

77	Submitted to Universitas Pamulang Student Paper	<1 %
78	ejurnal.itenas.ac.id Internet Source	<1 %
79	jurnal.umj.ac.id Internet Source	<1 %
80	nanopdf.com Internet Source	<1 %
81	repository.ipb.ac.id Internet Source	<1 %
82	repository.uma.ac.id Internet Source	<1 %
83	repository.upnvj.ac.id Internet Source	<1 %
84	Submitted to Binus University International Student Paper	<1 %
85	Submitted to Politeknik Negeri Bandung Student Paper	<1 %
86	automationforum.in Internet Source	<1 %

87	materialunib.blogspot.com Internet Source	<1 %
88	ojs.uma.ac.id Internet Source	<1 %
89	repository.unmuhpnk.ac.id Internet Source	<1 %
90	repository.unpkediri.ac.id Internet Source	<1 %
91	vdocuments.site Internet Source	<1 %
92	Submitted to Queensland University of Technology Student Paper	<1 %
93	utpedia.utp.edu.my Internet Source	<1 %
94	vendyone.blogspot.com Internet Source	<1 %
95	bacabse.blogspot.com Internet Source	<1 %
96	www.springerprofessional.de Internet Source	<1 %
97	Submitted to University of Queensland Student Paper	<1 %
98	akademik.uhn.ac.id	

Internet Source

<1 %

99 eprints.polsri.ac.id
Internet Source

<1 %

100 id.scribd.com
Internet Source

<1 %

101 katalog.ukdw.ac.id
Internet Source

<1 %

102 nlistsp.inflibnet.ac.in
Internet Source

<1 %

103 repository.unj.ac.id
Internet Source

<1 %

104 repository.upi.edu
Internet Source

<1 %

105 digilibadmin.unismuh.ac.id
Internet Source

<1 %

106 ejurnal.itats.ac.id
Internet Source

<1 %

107 media.neliti.com
Internet Source

<1 %

108 repositorio.ufrn.br
Internet Source

<1 %

109 repository.poliupg.ac.id
Internet Source

<1 %

110	Lukito Dwi Yuono, Untung Surya Dharma. "PENGARUH PENDINGINAN CEPAT TERHADAP LAJU KOROSI HASIL PENGELASAN BAJA AISI 1045", Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin, 2017 Publication	<1 %
111	ambuauindah.blogspot.com Internet Source	<1 %
112	eprints.uny.ac.id Internet Source	<1 %
113	fdocuments.net Internet Source	<1 %
114	ijatec.com Internet Source	<1 %
115	nadyameichristinakl17.wordpress.com Internet Source	<1 %
116	repository.uin-suska.ac.id Internet Source	<1 %
117	repository.usu.ac.id Internet Source	<1 %

Exclude quotes Off

Exclude matches Off

Exclude bibliography Off